Ε. Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΝ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Ἐκ τῶν παραδόσεων τοῦ Καθηγητοῦ

Γ. ΚΑΡΑΚΑΣΣΩΝΗ

ΑΘΗΝΑΙ — 1960

Ε.Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΝ

ΦΡΑ.013-ΛΑ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Ἐκ τῶν παραδόσεων τοῦ καθηγητοῦ

Γ. ΚΑΡΑΚΑΣΣΩΝΗ

ΑΘΗΝΑΙ – 1968

ΛΙΘΟΓΡΑΦΕΙΟΝ Μ.Λ. ΠΕΤΡΗ

Χαριλ. Τρικούπη 79

ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Α. ΦΡΑΓΜΑΤΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Α. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

I. Ὑδρολογικὰ στοιχεῖα

II. Τοπογραφικὰ στοιχεῖα

III. Γεωλογικὰ στοιχεῖα

Β. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

I. Γενικαὶ μορφαὶ καὶ εἴδη φραγμάτων

II. Ἔδαφος, ὑπέδαφος καὶ θεμελιώσεις. Γεωλογία, πετρογραφία, ὑδατοπερατότης, ἐδαφομηχανική.

III. Στατικοὶ ὑπολογισμοί, διάταξις καὶ κατασκευὴ τῶν καθ' ἕκαστα φραγμάτων.

1. Βαρύτητος (λίθινα ἢ σκυρόδεμα)
2. Τοξωτά
3. Ἀντηριδωτά
4. Λιλόριπτα
5. Χωμάτινα

III. Εἰδικὰ ἔργα... (ὑπερχειλήσεις, ὑδροληψία, ὑπερύψωσις, λεκάναι ἠρεμίας, βάνναι, διόδα ἰχθύων, κλειθιάδες κ.λ.π.)

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΝ

ΡΟΥΦΡΑΚΤΑΙ

I. Σταθεροί

II. Κινητοί

III. Κινητοὶ ἐπὶ σταθερῶν.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τά ἔργα ἅτινα κατασκευάζονται ἐπί τοῦ ροῦ τῶν ἐπιφανειακῶν ὑδάτων, ἤ χρησιμοποιοῦν ταῦτα ἤ καί συλλέγουν τά ὑπόγεια ὕδατα πρός χρησιμοποίησιν αὐτῶν διά διαφόρους σκοπούς ἐκμεταλλεύσεως αὐτῶν διά τήν οἰκονομίαν ἑνός τόπου, καλοῦμεν γενικῶς ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ ἤ ΕΡΓΑ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ.

Τά ὑδραυλικά ἔργα χρησιμοποιοῦνται διά πλείστους σκοπούς τῆς οἰκονομίας καί ἀναλόγως τοῦ σκοποῦ αὐτῶν κατατάσσονται εἰς τάς ἀκολούθους κατηγορίας.

I. Ἐξυγιαντικά ἔργα

1. Ἔργα ἀστικῶν ἤ βιομηχανικῶν ὑδρεύσεων. Ὑδρεύσεις πόλεων, συνοικισμῶν ἐργοστασίων.
2. Ἔργα ἐξυγιάνσεων πόλεων. Ἔργα διά νά ἐπανέλθουν χρησιμοποιηθέντα ὕδατα πόλεων ἤ βιομηχανιῶν εἰς τήν ἀρχικήν αὐτῶν κατάστασιν.
3. Ἔργα ἐξυγιάνσεως τοῦ ἐδάφους. Ἔργα ἀποξηράνσεως τοῦ ἐδάφους διά νά χρησιμοποιηθῇ τοῦτο εἰς τήν γεωργίαν.

II. Ἐγγειοβελτιωτικά ἔργα.

4. Ἀρδευτικά ἔργα. Ἔργα χρησιμοποιήσεως τοῦ ὕδατος διά ἀρδευσιν ξηρῶν ἐδαφῶν, μή ποτιζομένων ἐπαρκῶς ὑπό τῆς φυσικῆς βροχῆς.

5. Ἔργα διευθετήσεως ποταμῶν καὶ χειμάρρων δι' ὧν ρυθμίζεται ὁ ροῦς τῶν φυσικῶν ὑποδοχέων, δι' ἐλάττωσιν διαβρώσεων, ἀποφυγὴν ἐπιλήσεων.

6. Ἔργα ἀντιπλημμυρικά δι' ὧν προασπίζονται τὰ παρὰ τοὺς φυσικοὺς ὑποδοχεῖς ἐδάφη ἀπὸ καταστρεπτικὰς πλημμύρας.

7. Ἔργα ἀναχετεύσεως φερτῶν ὑλῶν ὧν χρησιμοποιεῖται τὸ ὕδωρ διὰ τὴν βελτίωσιν τῶν συνθηκῶν ροῆς τῶν ὑδατικῶν ὑποδοχέων.

III. Ὑδροδυναμικὰ ἔργα.

8. Ὑδροδυναμικὰ ἔργα, δι' ὧν χρησιμοποιεῖται τὸ ὕδωρ διὰ τὴν ἀπόκτησιν ἔργου εἴτε ἀμέσως χρησιμοποιουμένου (ὑδρ. τροχοί, μύλοι κ.λ.π.) εἴτε ἐμμέσως ὡς ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια.

IV. Μεταφοραί

9. Ἔργα μεταφορᾶς καὶ συγκοινωνίας δι' ὧν χρησιμοποιεῖται τὸ ὕδωρ διὰ μεταφορὰν καὶ συγκοινωνίαν διὰ πλωτῶν μέσων.

10. Ἔργα ὡραιοποιήσεως τῆς φύσεως, ἀθλοπαιδιῶν, διατηρήσεως βιολογικῶν εἰδῶν (ἁλιείας καὶ θήρας). Διὰ τῶν ἔργων τούτων προάγονται αἱ κλάδοι οἰκονομίας: τουρισμοῦ, ἀναψυχῆς, ἁλιείας καὶ θήρας.

ΒΑΣΙΚΑ ΚΟΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ

Διά τήν μελέτην τῶν ἔργων αὐτῶν χρειάζονται διάφορα στοιχεῖα καί ποικίλλαι γνώσεις (βιολογία, μικροβιολογία, χημεία ὕδατος καί ἐδάφους, ἠλεκτρισμός, μηχανολογία, μηχανική κ.λ.π.). Κυρίως ὅμως <u>δι' ὅλα τά ἔργα</u>, ὡς εἶναι φυσικόν, καί δι' οἱονδήποτε ἐξ αὐτῶν, δέον νά ἔχωμεν πλήρη γνῶσιν, εἰς τήν περιοχήν, τῆς κυκλοφορίας τοῦ ὕδατος καί τῶν τρόπων κινήσεως αὐτῶν, ἤτοι νά γνωρίζωμεν:

Ὑδρολογίαν (Νόμους τοπικῆς καί χρονικῆς κατανομῆς τοῦ ὕδατος).

Ὑδραυλικήν (Νόμους κινήσεως τοῦ ὕδατος).

Ἡ ὑδρολογία θά περιλαμβάνῃ:

α/. τά βασικά ὑδρολογικά στοιχεῖα (βροχαί: ὕψη, διάρκειαι, συχνότης, χιών).

β/. τά βασικά στοιχεῖα ἀπορροῆς (ἐκτασις λεκάνης, ἐτησία <u>ὑδρογραφήματα</u> σειρᾶς ἐτῶν).

γ/. τάς ἀκραίας καί μέσας τιμάς, τάς ἀπορροάς τήξεως χιόνος.

δ/. τάς ἀναμενομένας τιμάς διαφόρων συχνοτήτων (1%-5%-25%-50%-75%-95%-99%).

ε/. τάς ἀπορροάς τῶν καταιγίδων.

στ/. τά ὡριαῖα ὑδρογραφήματα (unit hydrograph)

ζ/. τάς εἰσροάς (ἤ ἐκροάς) τῶν ὑπογείων ὑδάτων.

Ταῦτα πάντα θά συνδυάζονται εἰς τάς <u>καμπύλας λειτουργίας</u> ἑνός ἤ περισσοτέρων ἐκ τῶν ὑπό τοῦ ρεύματος ἐξυπηρετουμένων ἔργων, καί δι' αὐτῶν θά δύναταί τις νά παρακολουθήσῃ τάς δυνατότητας ἐκμεταλλεύσεως τῶν ἔργων διά διαφόρους (ξηράς-μέσας ἤ ὑγράς) περιόδους ἤ ρεύματος.

Ἡ ὑδραυλική θά περιλαμβάνῃ :

α/. ὅλας τάς συνήθεις μεθόδους ὑπολογισμῶν ἀγωγῶν, ἐκχειλιστῶν, σωλήνων.

β/. τάς μορφάς ροῆς εἰς διάφορα τεχνικά ἔργα

γ/. τήν κίνησιν τῶν φερτῶν ὑλῶν

δ/. εἰδικαί παλμικαί κινήσεις ροῆς (πύργος ἀναπλάσεως)

ε/. τάς μεταβολάς ροῆς (χειμαρ.-ποταμίαν) ὡς διάφορα εἰδικά ἔργα.

στ/. τήν κατανομήν πιέσεων εἰς ροάς διαφόρους μορφῆς (κυκλικά φράγματα, κυκλικοί τοῖχοι, ἀγωγοί μέ στένωσιν κ.λ.π.).

ζ/. γνῶσιν τῶν νόμων τῆς ὁμοιότητος καί ἐγκαταστάσεις ὑδροτεχνικοῦ ἐργαστηρίου, ὥστε νά εἶναι δυνατή ἡ μελέτη ὁμοιωμάτων (modeles) τῶν ὑδραυλικῶν ἔργων.

ΒΑΣΙΚΑ ΚΟΙΝΑ ΕΡΓΑ

Δι'οἱονδήποτε ἐκ τῶν ἀνωτέρω 10 σκοπῶν καί ἐάν πρόκειται νά ἐκτελεσθοῦν τά ὑδραυλικά ἔργα θά χρησιμοποιηθῶσιν ὡρισμέναι κατασκευαί αἵτινες εἶναι κοιναί δι'ὅλα σχεδόν τά ἔργα ταῦτα, ἀσχέτως ἂν ἐλάχιστοι διαφέρουν εἰς κατασκευαστικάς λεπτομερείας διαφόρους διά τά ἐξειδικευμένα ἔργα.

Αἱ κατασκευαί αὗται περιλαμβάνουν κυρίως τά ἔργα· σταθμυψώσεως — διότι ἔχουν ὡς ἄμεσον ἀποτέλεσμα τῆς κατασκευῆς των τήν ὕψωσιν τῆς στάθμης τοῦ ὕδατος ἀποβλέπουν εἰς δύο σκοπούς :

α/ τήν ἀποθήκευσιν τοῦ ὕδατος, διά τήν ἐξίσωσιν κυρίως τῶν ἀκανονίστων τιμῶν τῶν ἀπορροῶν (βλ. συνήθη ὑδρογραφήματα) καί χρη-

σιμοποίησιν αὐτῶν ὁ μ α λ ῶ ς (ἀντιπλημμυρικά ἔργα) ἢ σ κ ο π ί μ ω ς (ἀρδεύσεις μόνον τό θέρος, πτώσεις ἀναλόγων συνδυασμῶν μέ θερμικά ἐργοστάσια, ὑδρεύσεις βιομηχανιῶν κατά τήν περίοδον κινήσεως αὐτῶν κ.λ.π.). Συνήθως εἰς τά ἔργα ἀποθηκεύσεως περιλαμβάνονται καί τά ἔργα ὑδροληψίας.

β/. τήν ὑ δ ρ ο λ η ψ ί α ν, ἤτοι διάταξιν λήψεως τοῦ ὕδατος διά τήν χρησιμοποίησιν του εἰς τούς διαφόρους σκοπούς καί

γ/. τήν μ ε τ α φ ο ρ ά ν τοῦ ὕδατος. (ἀγωγοί, γέφυραι, σήραγγες). Τά ἔργα ὅμως ταῦτα συνήθως ἔχουν διάφορον μορφήν ἀναλόγως τῆς σκοπιμότητος αὐτῶν καί διά τόν λόγον τοῦτον δύναται νά ἐξετάζονται καί εἰς τά καθ' ἕκαστα ἔργα (ἀρδεύσεις, πτώσεις, ἐξυγιάνσεις).

α/. Διά τήν ἀ π ο θ ή κ ε υ σ ι ν χρησιμοποιοῦνται τά φ ρ ά γ μ α τ α (Dams reservoirs, Talsperren), ἅτινα διακρίνονται ἐνίοτε εἰς μικρά καί ὑψηλά φράγματα (hogh dams, Talsperren). Τά φράγματα περιλαμβάνουν συνήθως καί τά ἔργα ὑδροληψίας τοῦ ἀποθηκευμένου ὑπ' αὐτῶν ὕδατος.

β/. Διά τήν ὑ δ ρ ο λ η ψ ί α ν χρησιμοποιοῦνται οἱ β ο υ φ ρ ά κ τ α ι (weirs, wehren).

Ἐνίοτε οἱ βουφράκται σχηματίζουν καί λίμνην ἀποθηκεύσεως ὀπισθεν αὐτῶν (βλ. λ.χ. βουφράκτην

Κερκίνης) ὁπότε καί καλοῦνται, ἀνακριβῶς, καί φράγματα ἤ κινητά φράγματα. Ἐπίσης συνήθης εἶναι ἡ τοποθέτησις ῥουφράκτου ἐπί τῆς κεφαλῆς φράγματος.

Χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ ῥουφράκτου καί φράγματος θά ἠδύνατο νά ληφθῇ τό γεγονός ὅτι ὁ ῥουφράκτης δύναται πλήρως ἀνοιγόμενος νά ἀφήσῃ τήν διοδον οἱασδήποτε παροχῆς τοῦ ῥεύματος ἐλευθέρως δι' αὐτοῦ, ὅπερ δέν δύναται νά συμβῇ εἰς τά φράγματα ἄνευ σημαντικῆς διαταράξεως τῆς λειτουργίας αὐτῶν διά σημαντικήν χρονικήν περίοδον.

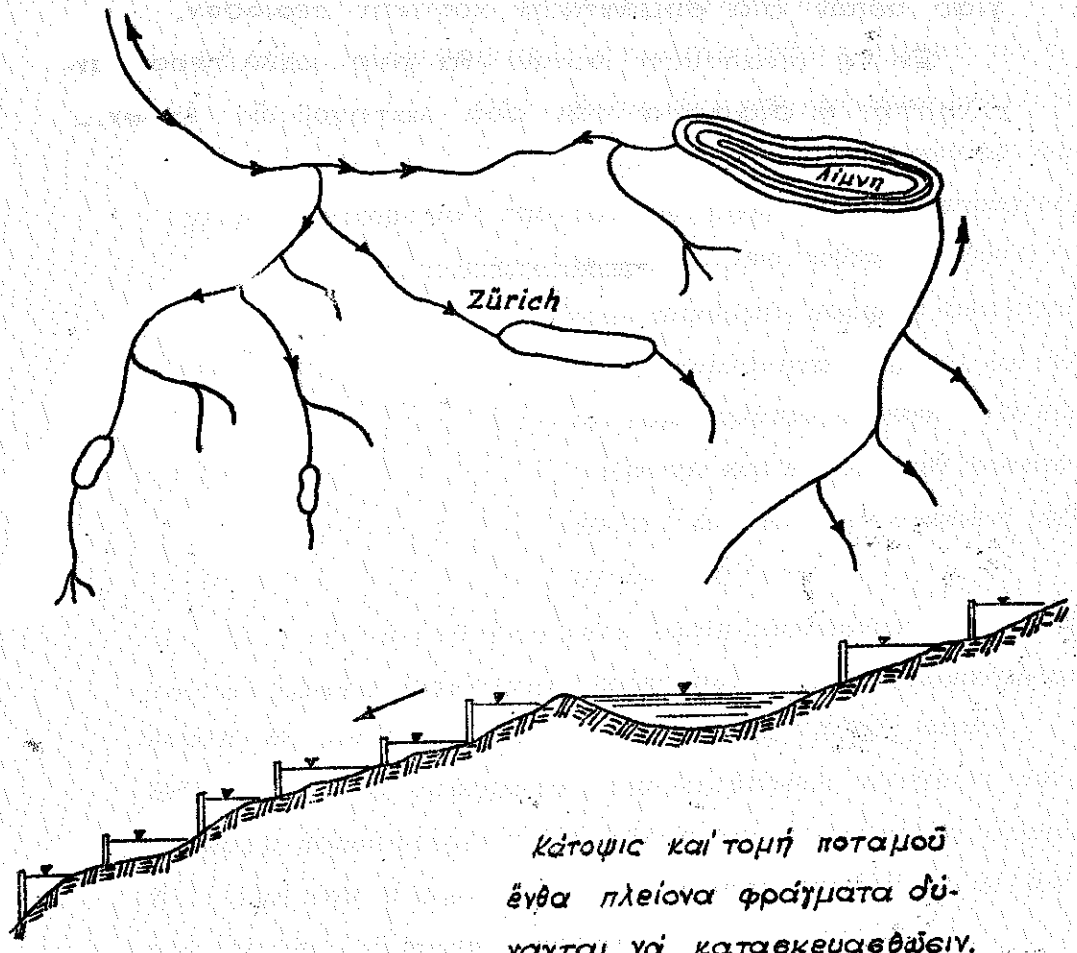
Ἐν τῇ ἀναπτύξῃ αὐτῶν θά γίνῃ καλλίτερον ἀντιληπτή ἡ διαφορά τῶν δύο κατηγοριῶν ἔργων.-

ΜΕΡΟΣ Α'

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Α'. Στοιχεῖα τῆς μελέτης.

Ἡ πλήρης ἐκμετάλλευσις μιᾶς λεκάνης ὁδηγεῖ σὺν τῷ χρόνῳ εἰς τὴν κατασκευὴν περισσοτέρων φραγμάτων εἰς αὐτὴν τόσον εἰς διάφορα ῥεύματα ὅσον καὶ εἰς τὸ αὐτὸ ῥεῦμα. Τοιουτοτρόπως ἐπιδιώκεται ἡ πλήρης ἐκμετάλλευσις τοῦ δυναμικοῦ τῆς λεκάνης.



Κάτοψις καὶ τομὴ ποταμοῦ ἔνθα πλείονα φράγματα δύνανται νὰ κατασκευασθῶσιν.

Τά στοιχεῖα μελέτης τῶν φραγμάτων εἶναι :

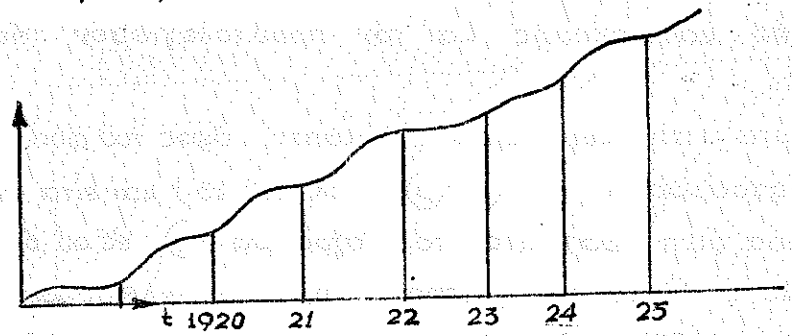
1. Ὑδρολογικά στοιχεῖα (ἐν συνδυασμῷ μέ ἐδαφολογικά τῆς λεκάνης ἀπορροῆς καί δασικήν ἐπικάλυψιν αὐτῆς).
2. Τοπογραφικά στοιχεῖα.
3. Γεωλογικά στοιχεῖα.
4. Στοιχεῖα χρησιμοποιήσεως τοῦ ὕδατος (ὑδρευσις, ἀρδευσις, πῶσις, προστασία πλημμυρῶν κ.λ.π.).
5. Τεχνικά στοιχεῖα (Μελέτη φράγματος, κατασκευή, λειτουργία).
6. Οἰκονομικά στοιχεῖα.

Ἐπί τῇ βάσει αὐτῶν θά γίνῃ ἡ οἰκονομική μελέτη καί θά ὑπολογισθῇ ἡ δυνατότης κατασκευῆς τοῦ φράγματος καί τά ὠφέλη εἰς τήν ὅλην οἰκονομίαν τῆς περιοχῆς.

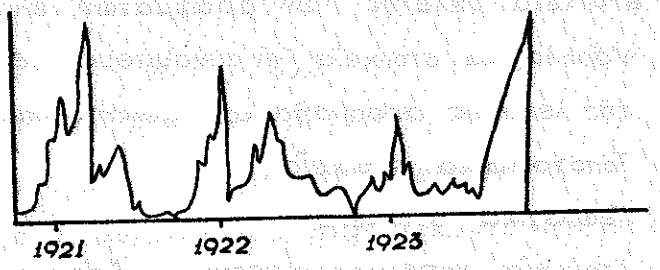
1. Ὑδρολογικά στοιχεῖα.

Ὁ τρόπος συλλογῆς, ἐκτιμήσεως καί ὑπολογισμοῦ τῶν στοιχείων (βροχαί, χιών, ἀπορροαί) ἔχει ἤδη ἐκτεθῇ ἀλλαχοῦ (βλ. εἰσαγωγήν : ὑδρολογίαν).

Ἤδη γνωρίζομεν τήν ποσότητα τοῦ ὕδατος, ἥτις θά διέρχηται διά τοῦ φράγματος, τάς ἀκραίας αὐτῆς τιμάς (maximum καί minimum) καί τήν διανομήν αὐτῶν ἤ τήν ἀναμενομένην συχνότητα..



(Διάγραμμα Ripple).



(Συνεχῆ ὑδρογραφήματα).

Τό διάγραμμα Ripple ἤτοι ἡ συνεχὴς ἀναπαράστασις τῶν ὁλοκληρωμάτων τῶν ἐτησίων ὑδρογραφημάτων μᾶς δίδει τὴν συνεχῆ ἀναμενομένην εἰσροήν τῶν ὑδατίνων ὄγκων εἰς τὴν θέσιν τοῦ φράγματος.

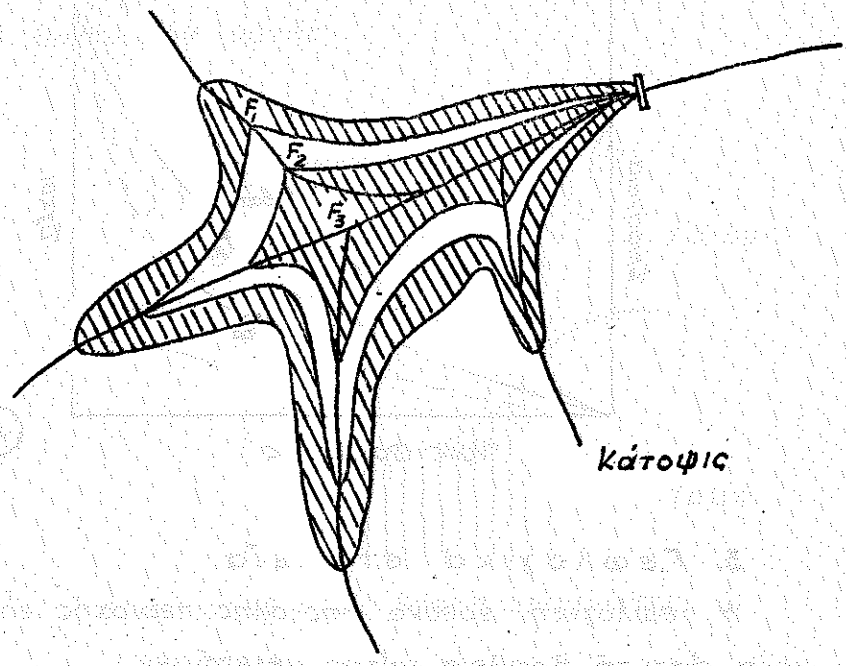
2. Τοπογραφικά στοιχεῖα.

Τά στοιχεῖα αὐτά εἶναι ἀπαραίτητα νά δίδωνται λεπτομερῶς εἰς ὅλας τάς πιθανάς θέσεις τοῦ φράγματος. Δι'αὐτῶν, διά διάφορα ὕψη τοῦ φράγματος, δυνάμεθα νά ὑπολογίσωμεν:

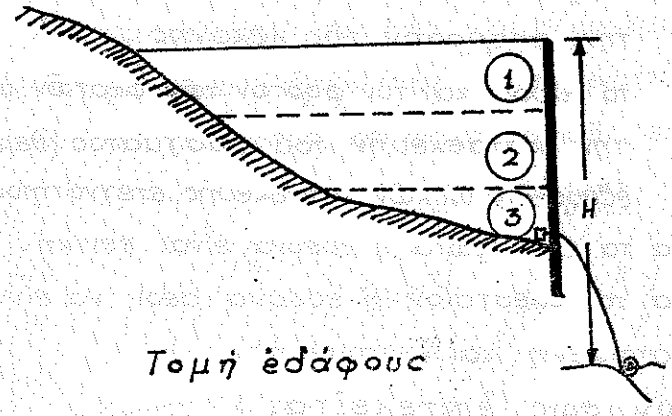
α/. τήν χωρητικότητα τῆς σχηματιζομένης λεκάνης ἀποθηκεύσεως διά διάφορα ὕψη φράγματος καί δή τήν ἑκάστοτε χωρητικότητα μεταξύ ὡρισμένων ὑψῶν.

β/. τόν ὄγκον τοῦ φράγματος (διατομή, μῆκος) διά τόν ὑπολογισμόν (κατόπιν τῶν στατικῶν ὑπολογισμῶν) τοῦ ὄγκου τῆς κατασκευῆς καί τόν προϋπολογισμόν τῆς δαπάνης.

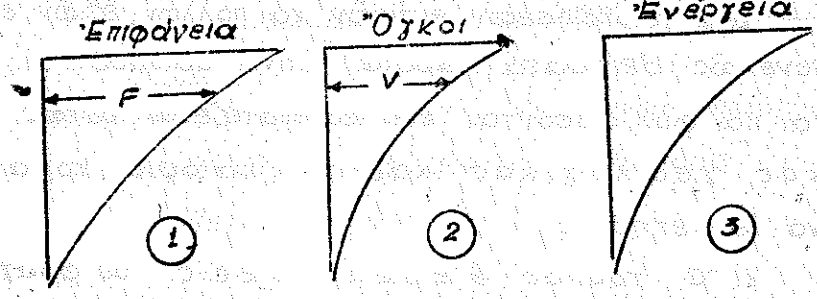
Οὕτω κατασκευάζομεν δι' ἕκαστα ὕψος τοῦ φράγματος τά διαγράμματα ① ② ③ (βλ. σελ. 13) καί εἶτα διά διάφορα ὕψη φράγματος τό διάγραμμα ⑤ ἐξ οὗ βλέπομεν δι' ἕκαστον ὕψος φράγματος πόση ἡ κατακλεισθησομένη ἐπιφάνεια Fὑδ. ποῖος ὁ ἀποθηκευόμενος ὄγκος ὕδατος καί ποῖος ὁ ἀπαιτηθησόμενος ὄγκος φράγματος.

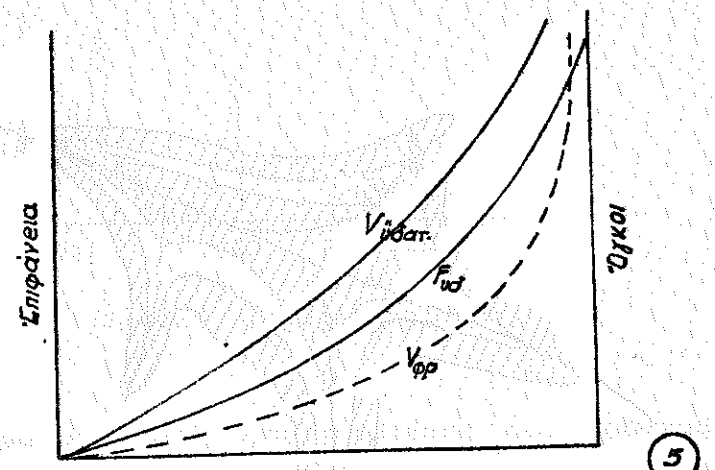


Κάτοψις



Τομή εδάφους





(5)

3. Γεωλογικά στοιχεῖα.

Ἡ γεωλογική ἔρευνα τῆς ὅλης περιοχῆς εἶναι ἀναγκαία διότι τῇ βοηθείᾳ αὐτῆς μελετῶμεν :

α/. τήν ἀπορροήν τῆς λεκάνης

β/. τό εἶδος καί τόν φόρτον τῶν φερτῶν ὑλῶν.

γ/. τήν κατασκευήν τοῦ φράγματος (θεμελιώσεις, ἐξεύρεσις ὑλικῶν κατασκευῆς, στεγνότητος λεκάνης).

Διά τά δύο πρῶτα ἡ ἔρευνα εἶναι γενική.

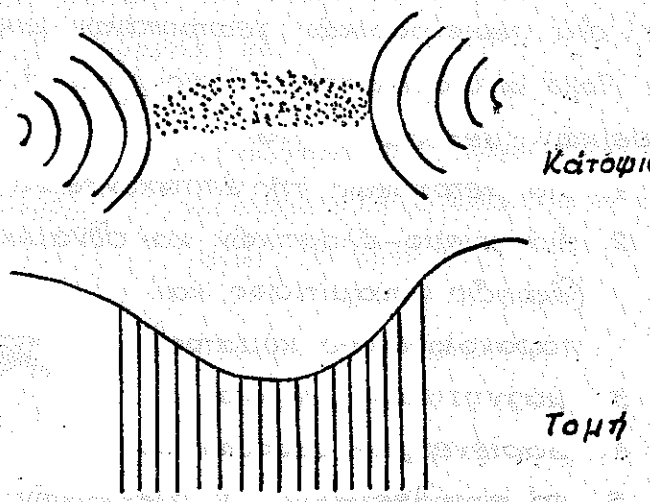
Διά τό τελευταῖον ἡ ἔρευνα δέον νά εἶναι λίαν ἐμπεριστατωμένη καί λεπτομερής.

Συνήθως ἐπιτελεῖται :

Διά γεωτρήσεων εἰδικῶν καί πολλῶν, ἐξ ὧν ἐξάγονται συνεχῶς δείγματα (καρότα) ἅτινα ἀριθμοῦνται, ἀναλύονται καί φυλλάσσονται καί καταρτίζεται οὕτως **εἰδικός γεωλογικός χάρτης** (κάτοψις, τομαί) ὥστε νά μελετηθῇ :

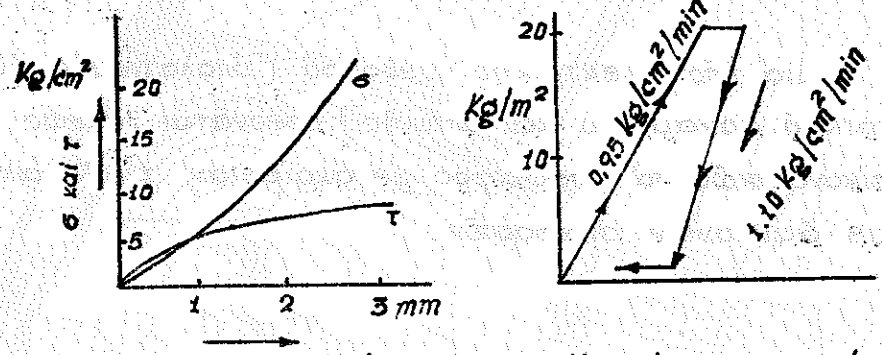
1. Ὁ τρόπος **θεμελιώσεως** τοῦ φράγματος
2. Ἡ ἀντοχή ἐδάφους καί ὑπεδάφους
3. Ἡ ἄνωσις ἐκ τοῦ ὕδατος.

4. Ἡ πιθανὴ διαφυγὴ ὕδατος καὶ λῆψις μέτρων πρὸς ἀποφυγὴν αὐτῆς.



6. Γεωτρήσεις εἰς θέσιν φράγματος

Ἡ ἔρευνα δύναται νὰ γίνῃ καὶ δι' ὀρυγμάτων (ὀρθογωνικῶν ἢ κυκλικῶν) ἐντὸς τῶν ὁποίων ἐπιτελεῖται καὶ ἡ φόρτισις τοῦ ἐδάφους ὡς εἰς τὰ κάτωθι σχήματα (σχ.7).



Σχ. 7. Φόρτισις καὶ δοκιμὴ ἐδάφους θεμελιώσεως.

Δύναται ἐπίσης νὰ γίνῃ ἡ ἔρευνα διὰ τῶν :

α/. ῥάβδων σιδηρῶν βυθιζομένων εἰς μαλακὰ ἐδά-

φη ἕως ὅτου συναντηθῇ τὸ σκληρὸν ἔδαφος.

β/. διὰ κρουστικῶν γεωτρυπάνων ἁπλῶν ἢ

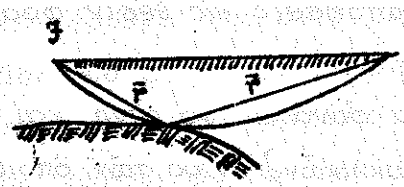
γ/. διὰ περιστροφικῶν γεωτρυπάνων μικρῶν ἐπίσης.

Πολὺ οἰκονομικωτέρα ὅμως εἶναι ἡ ἔρευνα διὰ γεωφυσικῶν μεθόδων, ἤτοι :

1. Διὰ μετρήσεως τῆς ἐπιταχύνσεως
2. διὰ σεισμο-ἐλαστικῶν καὶ δυναμικῶν ἐκτονώσεων (ἔκρηξις δυναμίτιδος καὶ παρακολούθησις κύματος)



3. μαγνητικῶν μεθόδων
4. ραδιενεργῶν μεθόδων καὶ
5. τὸ συνηθέστερον : δι' ἠλεκτρικῶν μεθόδων (βλ. Σχ.8)



Σχ. 8. $\left(\Phi = \frac{J}{2\pi r} - \frac{J}{2\pi \bar{r}}\right)$

Διὰ τῆς ἠλεκτρικῆς μεθόδου (ὑπολογισμὸς ἠλεκτρικοῦ δυναμικοῦ καὶ ἀπτικῆς) ἐρευνᾶται ταχέως καὶ οἰκονομικῶς τὸ ὑπέδαφος μὲ ἀκρίβειαν ± 6% ἀλλὰ μὲ ἀμβλυνσιν διαφορῶν.

Β! ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

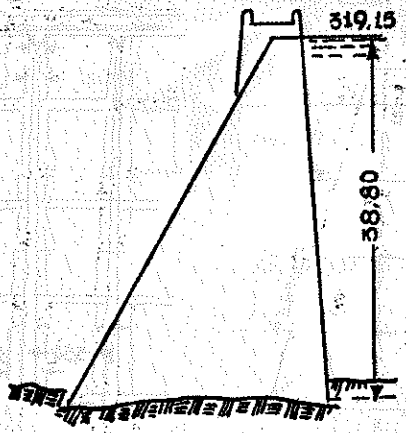
Ι. ΓΕΝΙΚΑΙ ΜΟΡΦΑΙ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τά φράγματα διακρίνονται εἰς :

1. Φράγματα βαρύτητος : Ἐκ λιθοδομῆς

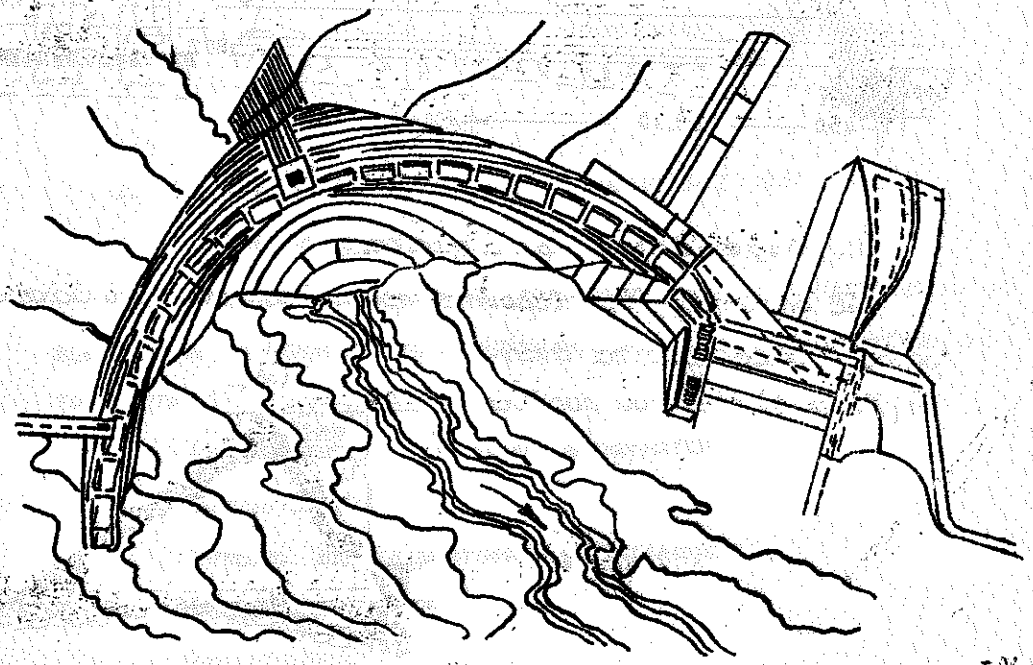
Ἐκ σκυροδέματος (εὐθύγραμμα)

Ἐκ σκυροδέματος (καμπύλα ἐν κατόψει. Βλ. τομήν σχ.1).



(Σχ. 1)

2. Τοξωτά φράγματα : Ἐκ σκυροδέματος. Ἀμφίπακτα τόξα

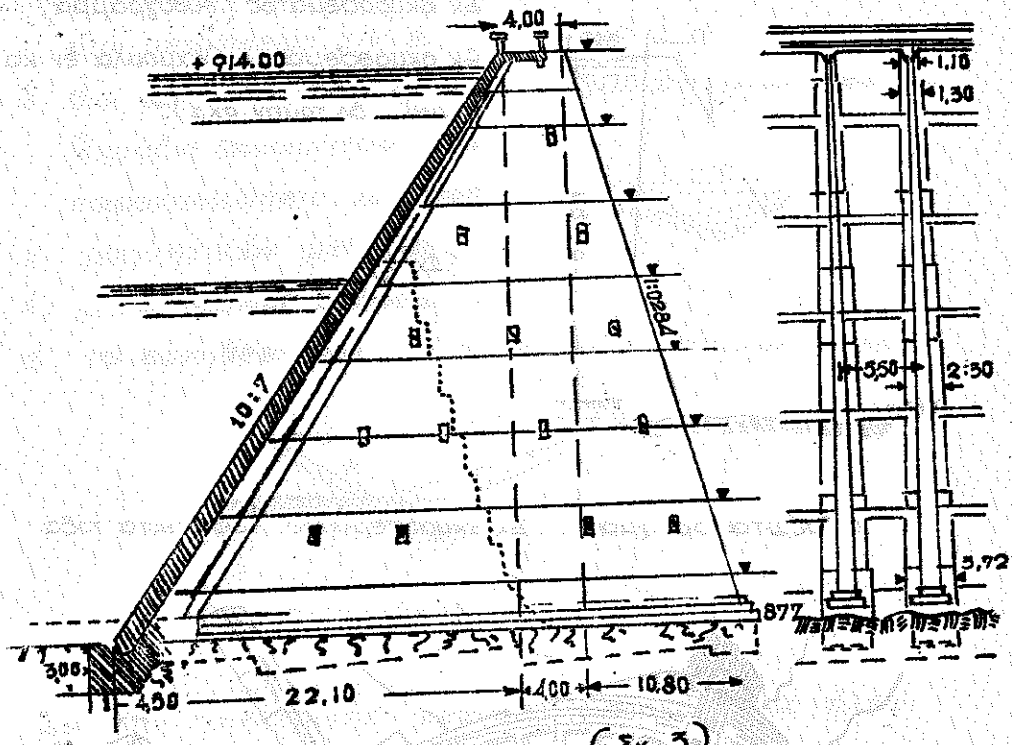


3. Ἀντιρηδωτά φράγματα:

Ἐπίπεδοι πλάκες

Θόλοι

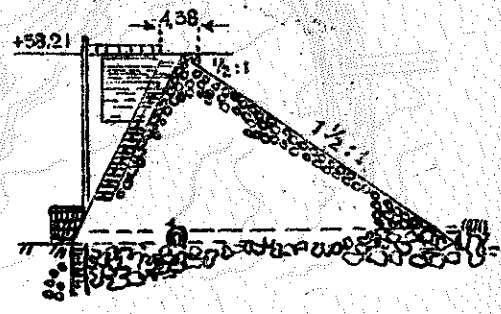
Εἰδικαί μορφαί (βλ. σχ. 3).



(Σχ. 3)

4. Λιθόρριπτα φράγματα

Ἐξ ὁλοκλήρου ἐκ λιθορριπῆς, προστατευομένης ὑπὸ ἀδιαπεράτου πλακός πρός τά ἀνάντη (βλ. σχ. 4) ἤ εἰς τόν πυρῆνα.

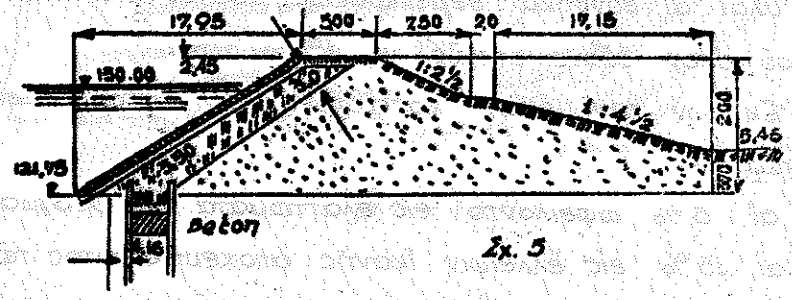


(σχ. 4).

5. Χωμάτινα φράγματα.

α. Κυλινδρωτά ή χωματόρριπτα (βλ. εχ. 3)

β. Ὑδατοπλαστα (βλ. εχ. 6).


17,95
3.00
2.80
2.0
17,15
2,45
130.00
1:2½
1:4½
2.00
5,46
121,75
3.00
3.00
3.00

Ὁ γεωλόγος ἐνισχυόμενος ἐν ἀνάγκῃ καὶ ὑπὸ μεταλλειολόγου, θὰ ὑποβάλλουν εἰς τὸν μηχανικὸν τὰ πορίσματά των. Δὲν παρεμβαίνουν ὅμως οὔτε ἐξετάζουν τὰς τεχνικὰς λύσεις.

Ὅλαι αἱ συνθῆκαι θεμελιώσεως, ὕδατος στατικοῦ ὑπολογισμοῦ δέον ἐξονυχιστικῶς νὰ ἐξετάζωνται :

Ἐκ τῶν γενομένων καταστρεπτικῶν καταρρεύσεων φραγμάτων.

αἱ 5% ὀφείλοντο εἰς ἐλαττώματα τῶν φραγμάτων.

αἱ 15% εἰς ἔλλειψιν ἱκανῆς ἀποχευτικότητος τῶν ἐκχειλιστῶν.

αἱ 80% εἰς κακὸν ὑπέδαφος καὶ ἀνεπαρκεῖς θεμελιώσεις.

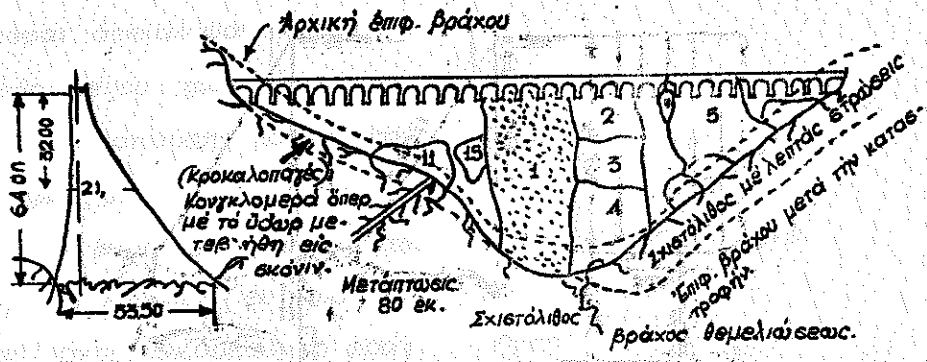
Κλασσικὸν παράδειγμα τὸ φράγμα Saint-Francis U.S.A. Εἰς τοῦτο ἐσκάφη ὁ ἐπιφανειακὸς βράχος μέχρι τοῦ φαινομενικῶς ὑγιοῦς τοιούτου (σχ. 1).

Ἐν τούτοις ῥωγμὴ μεταπτώσεως 80 ἐκ. εἰς τὴν δεξιὰν ὄχθην, (πλήρης τριμμάτων) λεπόστρωτος ἀργιλ. σχιστόλιθος εἰς τὴν ἀριστερὰν καὶ ἐπὶ πλέον κροκαλοπαγὲς στρῶμα δεξιὰ (ὅπερ ἐφαίνετο σταθερὸν καὶ στεγανόν, τὸ ὁποῖον ὅμως κατὰ συνεχῆ ἐπαφὴν μὲ νερὸ ἔγινε πολτὸς) συνετέλεσαν εἰς κατάρευσιν τοῦ φράγματος.

Ὁ σχιστόλιθος τῆς ἀριστερᾶς ὄχθης προφανῶς πρὸ καιροῦ εἶχεν ὑποστῇ καθίζησιν.

Δυστυχῶς δὲν ἐλήφθη πρόνοια διὰ συναίντησιν ὑγιοῦς βράχου, οὐδὲ εἰδικευμένη στεγανοποίησις τῶν ῥωγμῶν. Ἐπὶ πλέον εἰς τὸν ὑπολογισμὸν δὲν ἐλήφθη ὑπ' ὄψιν ἡ ὑποπίεσις τοῦ ἐδάφους.

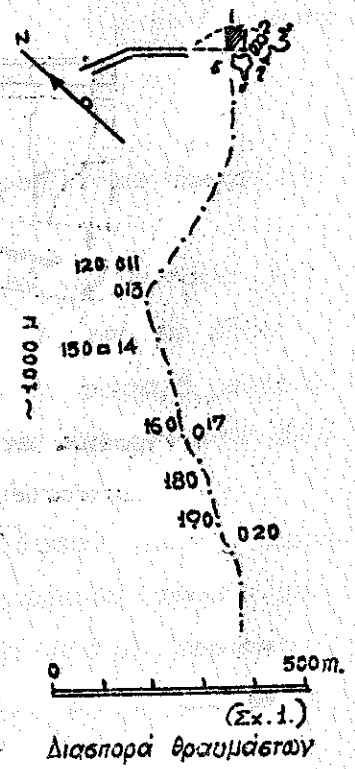
Τὸ ὕδωρ ἤρχισεν νὰ ὑποτρώγῃ τὴν δεξιὰν πλευρὰν καὶ νὰ αὐξάνῃ τὰς ὑπὸ τὸ φράγμα ὑποπιέσεις (δι' ἃς δὲν ὑπελογίσθη) ὅπερ ταχέως ἀπεικολλήθη ἀπὸ τὴν θεμελίωσιν καὶ



Φράγμα

διὰ τῶν διατμητικῶν τάσεων εἰς τὴν θεμελίωσιν ἀπετινάχθη θρυμματισθέν.

Ἀπόδειξις τῆς κακῆς θεμελιώσεως ἦτο ἡ ἀπόπλυσις τῶν βράχων θεμελιώσεως εἰς τὰ δύο ἄκρα τοῦ φράγματος. Τὸ τμῆμα (1) μετεκινήθη 15 ἑκ. καὶ ἐπεστρεψεν εἰς τὴν θέσιν του. Τὰ τμήματα 2,3,4 ἔπεσαν πλησίον τοῦ φράγματος. Τὰ λοιπὰ παρεσύρθησαν 600-1200 μ. κατάντη μὲ τὸ ἐκτοξευθὲν ὕδωρ (βλ. τομὴν καὶ κάτοψιν).



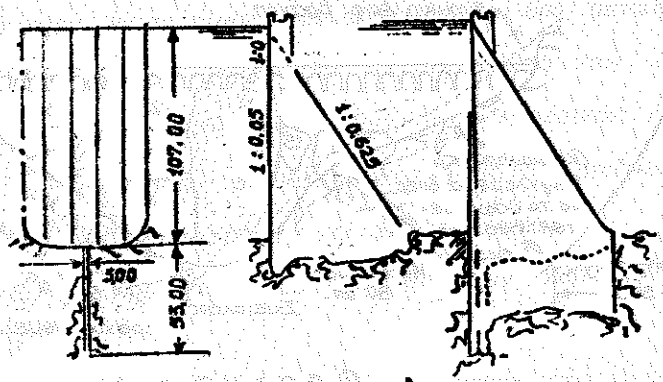
(Σχ. 1.)
Διασπορὰ θραυμάτων

(2). Ἄλλο παράδειγμα, τὸ φράγμα Owyhee, διὰ τοῦ ὁποίου ἡ μελέτη τοῦ ἐδάφους ἐδείξεν κανονικὸν βράχον.

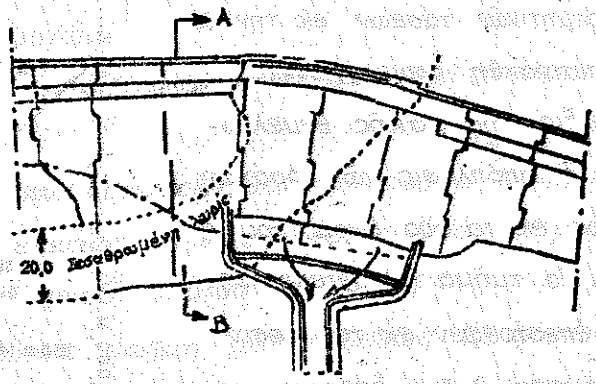
Εἰς τὰς ἐκσκαφὰς εὑρέθη χαίνουσα διαβρωτικὴ ῥωγμὴ πλάτους 3,00 μ.

Ἡ ῥωγμὴ αὕτη βάθους 53,0 μ. διευρύνθη (διὰ μεταλλωρύχων) ἐκκαθαρίσθη καὶ ἐπληρώθη στεγανοποιηθεῖσα διὰ ἐκχυσμάτος (Σχ. 2).

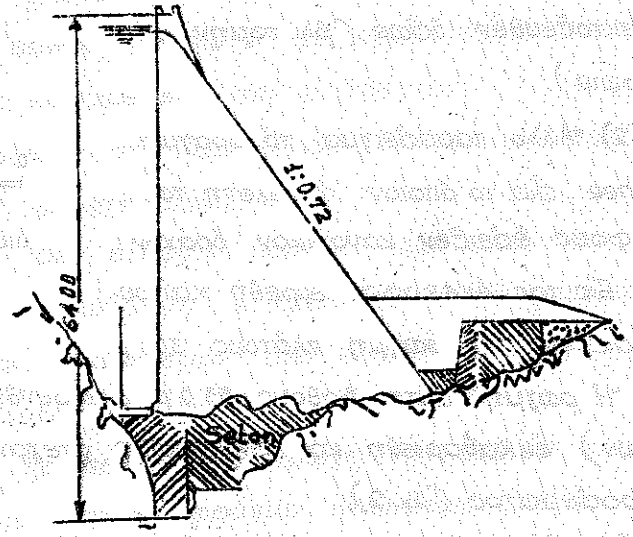
(3) Εἰς τὸ φράγμα Schluchsee (Μέλας Δρυμός) αἱ ἐκ-



(Σχ.2)

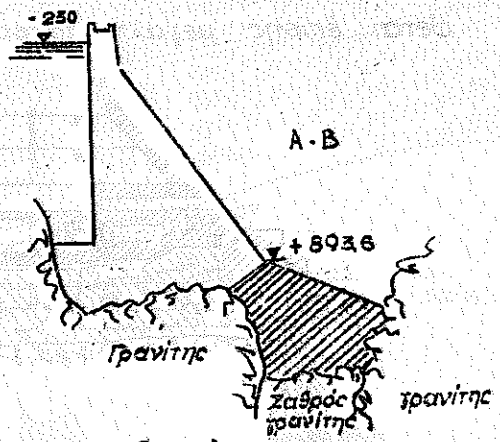


Φράγμα εἰς τὸ ὑγιὲς ἔδαφος καὶ σταθεροποιοῦσα τὸν ἐκσεσθραυμένον γρανίτην.



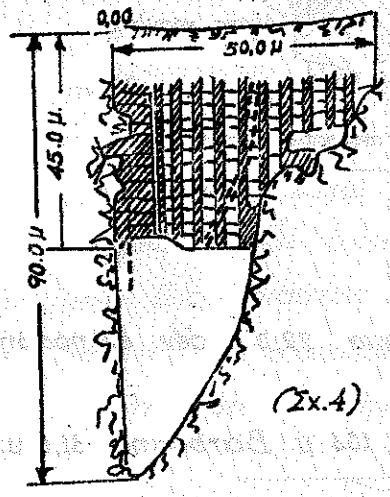
σκαφαὶ ἀπεκάλυψαν λωρίδα σε-
σαθρωμένου γρανίτου πλάτους
20.0 μ. βαινούσης λοξῶς πρός
τό φράγμα.

Ἡ θεμελίωσις ἐπροστατεύ-
θη διά σφηνῶν (ἐκ σκυροδέμα-
τος) ἀντιστηριζουσῶν τό φράγ-
μα εἰς τό ὑγιές ἔδαφος καί
σταθεροποιούσα τόν σεσα -
θρωμένον γρανίτην.



(Σχ. 3).

(4) Τό φράγμα Tijuana (Mexico) 72,0 μ. ὕψος καί 670 μ. πλάτος, ἐμελετήθη ὡς ἀντηριδωτόν φράγμα μέ πάσαν ἐπιμέλειαν καί λεπτομέρειαν.



(Σχ.4)

Ἐν τούτοις εἰς τήν κοιλάδα ἐπί πλάτους 50,0 μ. καί εἰς βάθος 90 μ. εὑρέθη φάραγξ σαθροῦ γρανίτου, μέ δύο βαγμάς 6,0 μ. καί 1,0 μ.

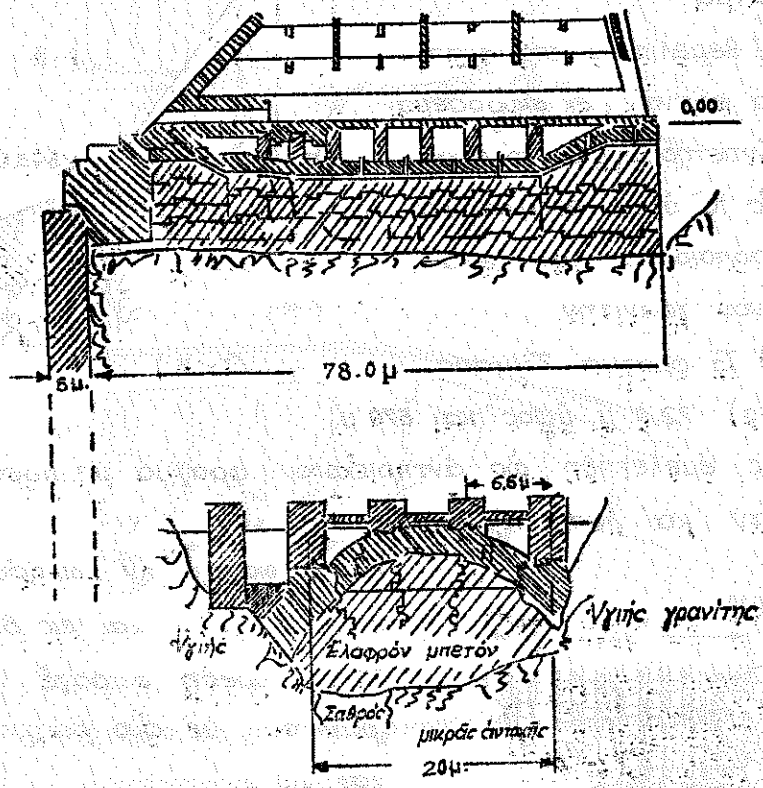
Ὑπεχρεώθησαν εἰς τήν κατασκευήν μετωπαίου τείχους μέχρι βάθους 45,0 μ. περίπου καί πλάτους 5,0 μ. διά νά ἀποκλεισθῇ ἡ ὑπορροή τοῦ φράγματος.

Ὁ τοῖχος οὗτος κατεσκευάσθη διά ὑποθεμελιώσεως (ἤτοι φρεάτων).

Ἐκ παραλλήλου μεταξύ τῶν δύο ὑγειῶν βράχων κατεσκευάσθη θόλος ἐξ ἰσχυροῦ μπετόν (ὑποβάθρου ἀσθενές μπετόν) ὅστις μεταφέρει τάς πιέσεις εἰς τόν ὑγιᾶ

βράχον.

Εἰς φράγματα εἰς ἀσβεσταλιθικὰ ἐδάφη δέον νὰ δίδεται ἐπίσης μεγάλη προσοχή.-



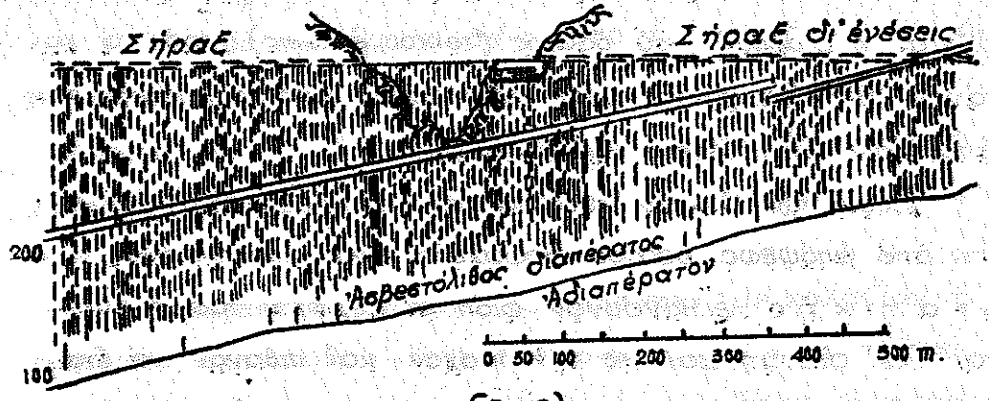
(Σχ. 4).

Ἡ λίμνη Monte-Faque (φράγμα 72.0 μ. δὲν ἐπληρώθη ποτὲ ὕδατος (λόγῳ διαρροῶν).

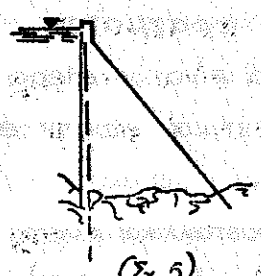
Ἀπεναντίας εἰς Wäggital, 104 μ. Barberine 81.0 μ., Sautel 130 μ. τὸ νερὸ ἐστάθη.

(5) Τὸ φράγμα Camarasa 100 μ. ὕψους ἐλειτούργησεν χάριν εἰς συνεχεῖς ἐργασίας στεγανοποιήσεως, δι' ἐνέσεων ἐντὸς τοῦ ἐδάφους (σχ. 5).

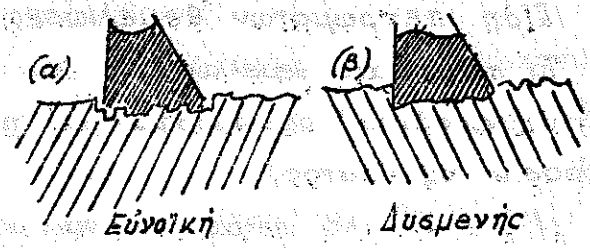
(6) Ἀπὸ ἀπόψεως κατευθύνσεων τῶν ὁρμῶν εἰς κρυσταλλοσχιστώδη ἐδάφη, καλλιτέρα φυσικὰ εἶναι ἡ κα-



(Σχ. 5)



(Σχ. 5)

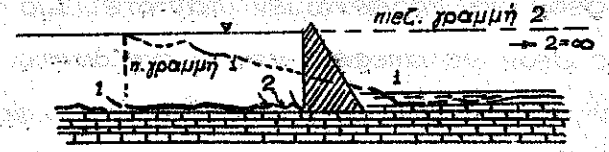


(Σχ. 6).

τεύθυνσις αὐτῶν πρὸς τὰ ἀνάντη (α) καὶ ὄχι τὰ κατάντη (β).

Σπίσης πλέον ἐπικίνδυναι εἶναι αἱ μικραὶ κλίσεις πρὸς τὰ κατάντη λόγῳ κινδύνων ὀλισθήσεων (ἐκ διατμητικῶν τάσεων) καὶ ἀπωλειῶν τοῦ ὕδατος (σχ. 7).

Εἰς τοιαύτας περιπτώσεις εἶναι δυνατὸν ἡ πίεσις τῶν ἀνάντη νὰ ἐξακολουθῇ ἐντὸς τῶν ἀρμῶν ἡ αὐτὴ (2) καὶ κατάντη, ὁπότε ἀνασηκώνει τὰς στρώσεις καὶ στερεῖ πρὸς τὰ



(Σχ. 7)

κατάντη τὸ φράγμα τοῦ φυσικοῦ του ἀντερίσματος, ὅτε δυνατὸν νὰ ὀλισθήσῃ.-

Εἰς ταιαύτας περιπτώσεις ὄπισθεν τοῦ φράγματος ἐμποδίζεται ἡ διαρροὴ τοῦ ὕδατος (τοῖχοι, ἐνέσεις), πρὸς τὰ κατάντη δὲ ἀνοίγονται ὁδοὶ ἐλευθέρας ροῆς τοῦ ὕδατος, πρὸς ἀποφυγὴν ὑποπιέσεων καὶ ἐκκαφῶν.

Κλίσις τῶν ἀρμῶν πρὸς τὰ κατάντη (βλ. σ. 25 β) ἐνῶ εἶναι ἀπὸ ἀπόψεως ὕδατος ἀσφαλεῖς, εἶναι ἀπὸ ἀπόψεως **σ τ α τ ι κ ῆ ς** ἐπικίνδυνον διότι αἱ μέσται τάσεις γίνονται ἐκεῖ διατμητικαὶ εἰς τὸν βράχον καὶ πιθανὸν νὰ ἔχωμεν ἀνομοιομόρφους καθιζήσεις.

Εἴδη πετρωμάτων θεμελιώσεως φραγμάτων.

Τὰ πετρώματα θεμελιώσεως δέον νὰ εἶναι στερεὰ (μὴ ὑποχωροῦντα) ὁμοιόμορφα καὶ ἀνθεκτικὰ εἰς τὴν ἐπίδρασιν τοῦ ὕδατος.

1/. **Κ α τ ά λ λ η λ α** πετρώματα εἶναι: οἱ κρυσταλλικοὶ σχίσται (Γνεῦσιος, χαλαζίτης - quarzit - ἀργιλλοσχιστολιθικὸς φυλλίτης), τὰ ὀρθόκλαστα (Γρανίτης, συηνίτης, χαλαζιοπορφυρίτης - quarzporphyr) καὶ πλαγιόκλαστα (Διορίται καὶ Γάβριοι).

2/. **Κ α τ ά λ λ η λ α ὁ μ ο ί ω ς** πετρώματα εἶναι τὰ ἐκρηξιγενῆ καλύμματα ἐκ τήξεως (Διαβάσης, Μελαφύρης (Melaphyr) Βασάλτης, Ἀνδεσίτης, Τραχύτης, Λιπαρίτης) ἐφ' ὅσον δὲν παραμορφοῦνται εἰς ἰσχυρὰς δυνάμεις. Εἰς αὐτὰ ἐνίοτε ἀπαντῶνται ἁρμοὶ - κατὰ τὰς διαφόρους τήξεις - οἵτινες δύνανται νὰ δεικνύουν ἐναλλαγὰς ἐκ τοῦ καιροῦ καὶ ῥωγμὰς ὑδροφόρους, ἃς δέον νὰ προσέχωμεν πάντοτε. Εἰς τοὺς βασάλτας ἰδίως δέον νὰ ἀποφεύγηται ἡ διεύθυνσις τῶν φορτίων (κυρίων τάσεων τοῦ φράγματος) πρὸς τὴν κατεύθυνσιν ταύτην διότι δύνανται νὰ ὑποχωρήσουν κατὰ στρώσεις.

3/. **Ὀ λ ι γ ώ τ ε ρ ο ν κ α τ ά λ λ η λ α** εἶναι ὁ μαρμαρυγιακὸς σχιστόλιθος μὲ πολὺ μαρμαρυγίαν (Stark glimmenhastige Glimmerschiefer) καὶ φυλλίται ψαθυροὶ ἢ μὲ ἄργιλλον.

Ταῦτα ἀποσαθροῦνται εὐκόλως καὶ σχηματίζουν ῥωγμάς.

4/. Ὁμοίως πετρώματα μὲ πόρους ἢ ῥωγμὰς δέον νὰ ἀποφεύγωνται ἢ νὰ στεγανοποιοῦνται μὲ μεγάλην προσοχήν, διότι τὸ ὕδωρ ὀπισθεν τοῦ φράγματος θὰ διαρρεῖῃ εὐκόλως, λόγῳ μεγάλης πιέσεως καὶ θὰ καταστρέψῃ αὐτὰ εὐκόλως.

Ἱζηματογενῆ πετρώματα, συνδεδεμένα μὲ χαλαζίαν ἢ ἀργιλικὸν σχιστόλιθον - tonschiefersubstanz - εἶναι ἐξ ἴσου καλά. Ἰδιαιτέρως κατάλληλα εἶναι οἱ χαλαζίτης, γραουβάκης καὶ ψαμμιτικὸς γραουβάκης.

Εἰς τοὺς φυλλίτας (Phyllitten) καὶ ἀργιλλοσχιστολίθους δέον νὰ μὴ πλησιάζουν αἱ κύριαι τάσεις τὴν κατεύθυνσιν τῶν ἁρμῶν, λόγῳ κινδύνων ὀλισθήσεως.

Στεγανοποίησις καὶ σταθεροποίησις τῶν θεμελίων

Ἐφ' ὅσον ἡ ἀρισθεῖσα διὰ γενικοὺς λόγους θέσις τοῦ φράγματος παρουσιάζει ἔδαφος ὅπερ δὲν εἶναι στεγανὸν ἢ σταθερὸν διὰ νὰ δεχθῇ τὰς προβλεπομένας πιέσεις, τότε προβαίνομεν εἰς τὴν στεγανοποίησιν αὐτῶν ἢ ὅπου ἀναγκαῖον σταθεροποίησιν αὐτῶν.

Τοῦτο γίνεται κατ' ἀρχὴν ὅπου εἶναι δυνατὸν διὰ καταβιβάσεως τοῦ ἔργου ἕως βάθους μέχρι συναντήσεως καταλλήλου ὑποδάφους. Εἰς τὸ σχ. 8, 9, 10 ἐμφαίνονται τοιαῦται διατάξεις διὰ βάθη 5, 10 ἢ καὶ 35 μ. ἀπὸ τοῦ ἐδάφους.

Ὅπου ὅμως τοῦτο δὲν εἶναι δυνατὸν διὰ λόγους οἰκονομικοὺς προσπαθοῦμεν νὰ στεγανοποιήσωμεν ἄλλως τὴν θέσιν τοῦ φράγματος. Τοῦτο γίνεται συνήθως διὰ κατασκευῆς στεγανοῦ παραπετάσματος ὅπερ ἐξικνεῖται μέχρι τοῦ ἀδιαπεράτου στρώματος.

Τὸ παραπέτασμα δύναται νὰ γίνῃ:

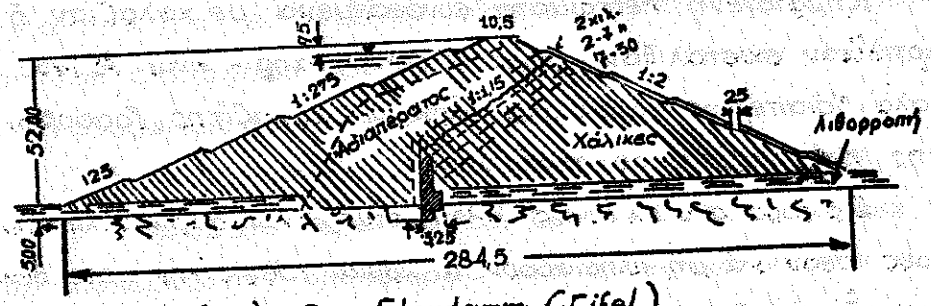
1/. Διὰ πασσάλων.

2/. Διά μετωπικοῦ τοίχου.

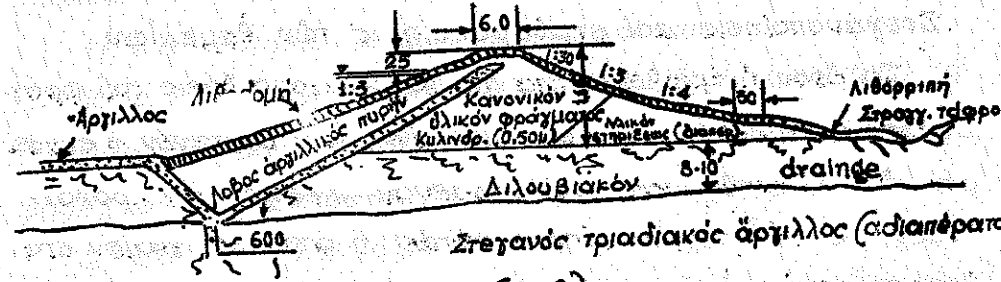
3/. Διά πασσαλοσανίδων

4/. Διά καταδυομένων φρεάτων, εἰς πολύ ψαθυρά ἐδάφη δύναται νά γίνῃ

5/. Διά ἐνέσεων, ὁπότε προκύπτει καί σταθεροποίησις τοῦ ἐδάφους. (προκειμένου ψαθυρῶν ὑλικῶν κ.λ.π.).

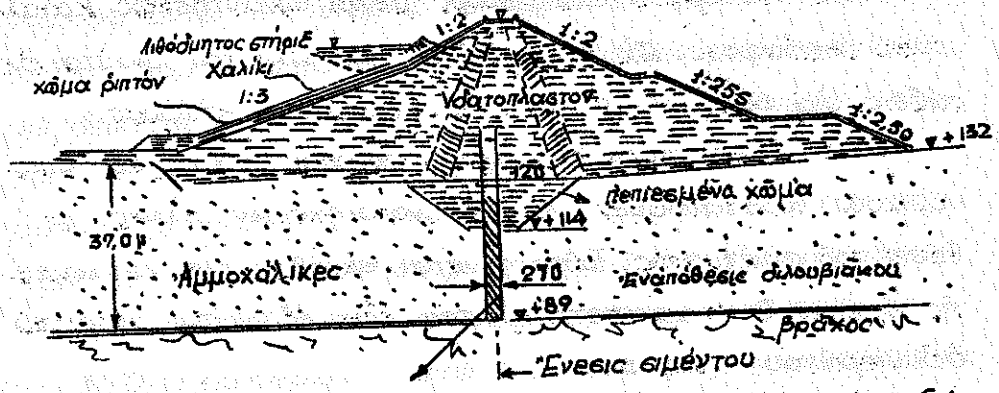


(Σχ. 8) Pur - Staudamm (Eifel)



Στεγανός τριαδιακός ἄργιλλος (διαπέρατον)

(Σχ. 9).

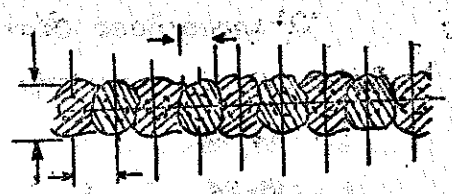


[Herdmauer] ἐγκάρσιος τοῖχος μέ βαλαίμους πιέσεως (caisons)

(Σχ. 10).

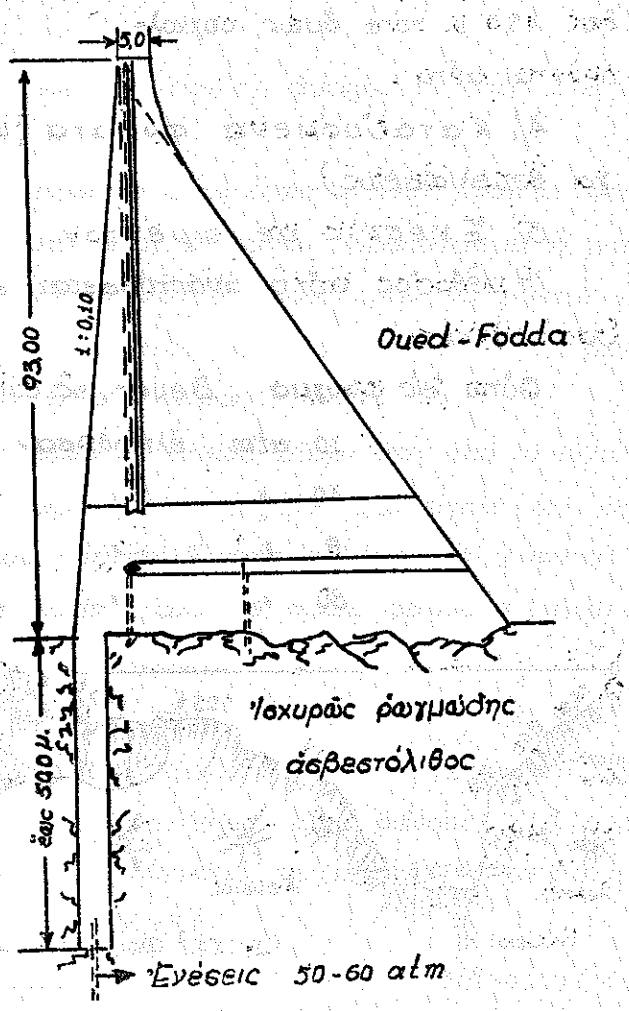
Τοῖχοι.

1/ Πάσσαλοι beton-armé διαμέτρου 30 ἑκ. μὲ περιχυνόμενον τσιμέντο ὑπὸ πίεσιν.



2/. Μεταλλικὸς τοῖχος.

Χρησιμοποιεῖται ὀλιγώτερον σήμερον λόγῳ ἀναπτύξεως τῶν ἐνέσεων.



(Σχ.12)

3/. Πασσαλοσανίδες.

Τοποθετοῦνται βαθμιαίως (καθ' ὕψος) ὡς ἐν τῷ σχήματι 13.

Οἱ κρουστῆρες δέον νά ἔχουσι τά ἀκόλουθα βάρη:

Βάθος : 10-14	κρουστήρ	2,8	τόν. βάρος	πασσαλ.	155	Kg/m²
" : 14-18	"	4,0	" "	"	185	"
" : 18-24	"	6,0	" "	"	215	"

Ἡ κροῦσις εἶναι ταχυτάτη.

Τό βάθος πασσαλοσανίδων ἔφθασεν εἰς εἰδικάς περιπτώσεις ἕως 45,0 μ. τότε ὅμως συγκολλοῦνται αὗται.



Σχ. 13

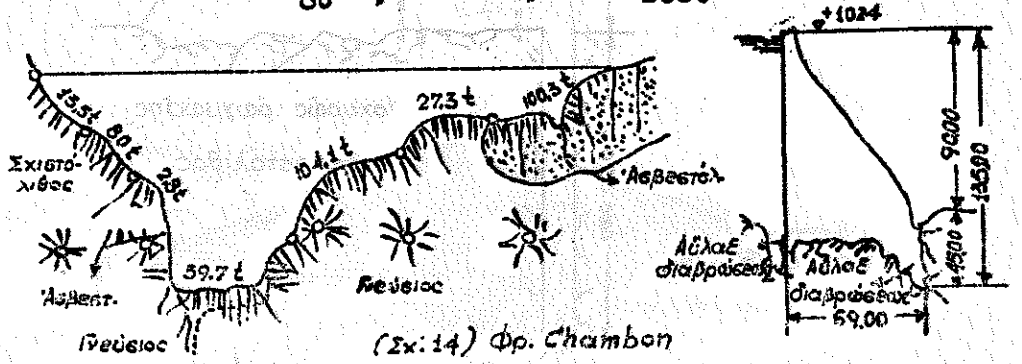
4/. Καταδυόμενα φρέατα (ὡς συνήθως εἰς τά ἔργα θεμελιώσεως).

5/. Ἐνέσεις μέ σιμέντον.

Ἡ μέθοδος αὕτη ἀναπτύσσεται συνεχῶς, εἶναι ὅμως δαπανηρά.

Οὕτω εἰς φράγμα Beuer, εἰς ὀπήν 10 μ. βάθους διά πίεσιν:

10	atm	ἐλήφθησαν	525	Kgr.
40	"	"	1650	"
8	"	"	850	"
80	"	"	2650	"



(Σχ. 14) Φρ. Chambon

Ἡ στεγανοποίησις αὕτη ἐφαρμόζεται εἰς ἀσβεστολιθικά πετρώματα, ἀμμώδη, χαλικώδη. Εἰς τό φράγμα Chambon, ἐξετελέσθησαν πολλαί ἐνέσεις. Τό σχ. 14 δεικνύει τόννους

τσιμέντου χρησιμοποιηθέντος.

Αἱ ἐνέσεις διακρίνονται:

1. Εἰς χαμηλῆς πιέσεως, ἔνθα ἐξ ἑνὸς λέβητος πιέσεως περιέχοντος γαλάκτωμα τσιμέντου, ἐκτοξεύεται τοῦτο μὲ πιέσεις 5-7 atm καὶ

2. Εἰς ὑψηλῆς πιέσεως, ἔνθα ἀναπτύσσονται πιέσεις 100 atm. καὶ ἄνω μέσῳ ἀντλιῶν (τῶν χρησιμοποιουμένων εἰς μεταλλεῖα).

Εἰς τὰς πρώτας (χαμηλὴ πίεσις) ἀνοίγονται ὀπαὶ 2-8 μ., αἵτινες ἐπαρκοῦν.

Εἰς τὰς ὑψηλῆς πιέσεως δέον ὅπως αἱ ὀπαὶ γίνονται τοιουτοτρόπως ὥστε νὰ σχηματίζεται στεγανὸν παραπέτασμα ἢ μία στεγανοποίησις μέχρι στεγανοῦ ἐδάφους. Δέον νὰ γίνεται πρὸς τὰ ἀνάντη καὶ συνιστᾶται νὰ ἐπιμελοῦνται ἡ μία μετὰ τὴν ἄλλην εἰς μίαν ἢ δύο σειράς.

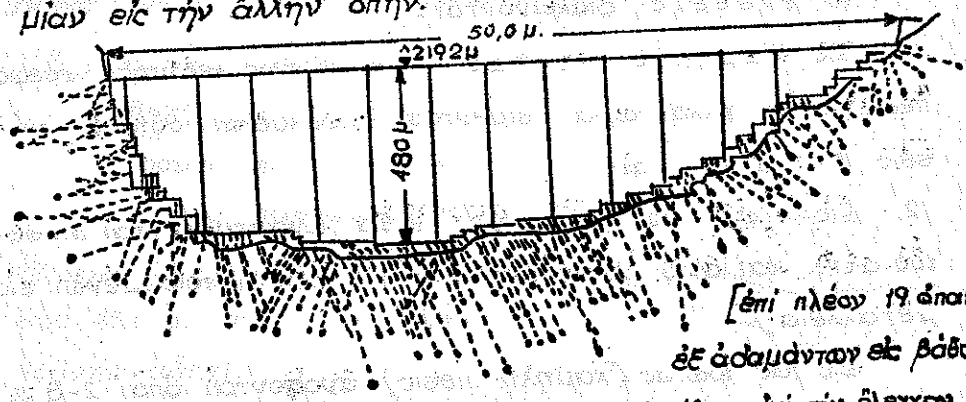
Ἡ ἀπαιτουμένη ποσότης ὑλικοῦ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ εἶδος τοῦ πετρώματος καὶ χρειάζεται μεγάλη διαίσθησις καὶ πεῖρα διὰ τὴν ἐργασίαν ταύτην. Ἐνίοτε αἱ ἐνέσεις γίνονται εἰς τὸ βάθος τῆς κοιλάδος, ἄλλοτε ὅμως φθάνουν μέχρι τοῦ ὕψους στέψεως τοῦ φράγματος.

Ἡ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν ὀπῶν εἶναι συνήθως περὶ τὰ 4,0 μ. Εἰς πολὺ διαπεράτους ψαμμίτας κατέρχεται εἰς 1,0 μ. Εἰς τὸ φράγμα Toggia συνήθεις ὀπαὶ βάθους 20,0 μ. καὶ ἀπορροφοῦσαι 0,05-5,0 τόννους τσιμέντου. Ἡ μεγίστη πίεσις ἦτο 80 atm (βλ. σχ. 15).

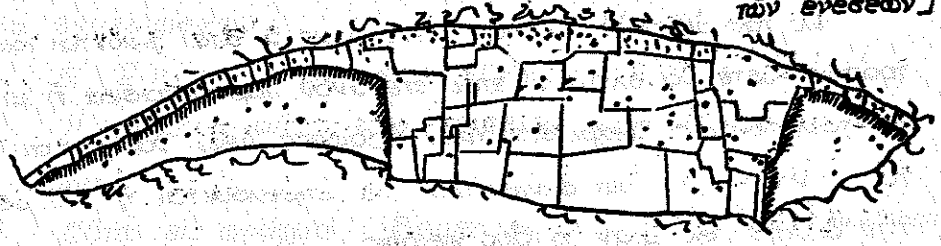
Αἱ ἐνέσεις ἐπιτελοῦνται μὲ γαλάκτωμα 1:5-1:10 (πίεσ. 20-30 atm) καὶ ἐνίοτε μὲ ἀναλογίαν 1:1. Αἱ πιέσεις ἀνήρχοντο μέχρι 60 atm διότι ῥωγμώδη ἐσθάφη ἐνίοτε μπουκάνουν μὲ μικρὰς πιέσεις.

Ἑκάστη ὀπὴ δέον νὰ πληροῦται ἀμέσως μετὰ τὴν

γεώτρησίν της, ὥστε νά μή πηγαίνη τσιμέντο ἀπό τήν μίαν εἰς τήν ἄλλην ὀπήν.



[ἐπί πλέον 19 ἀναι ἐξ ἀδαμάντων εἰς βάθος 28-30-40 μ. διά τόν ἔλεγχον τῶν ἐνέσεων]



(Σχ.15) Φράγμα Toggia (Ἰταλία)

Περαιτέρω πᾶσα γεώτρησις καλόν εἶναι νά συναντᾶ τουλάχιστον μίαν ἄλλην ὥστε νά γίνεται καλλιτέρα στεγανοποίησις ἀλλά καί ἔλεγχος περί τῆς ἀποτελεσματικότητος τῆς προηγουμένης.

Εἰς βαθείας ὀπάς ἀρχίζομεν τήν στεγανοποίησιν ἐκ τῶν ἄνω. Ἀνοίγεται βάθος ὀπῆς μικρόν καί γίνεται ἡ ἔνεσις ὑπό πίεσιν. Ἀνοίγομεν ἐκ νέου τήν αὐτήν ὀπήν εἰς μεγαλύτερον βάθος, κάνομεν νέαν ἔνεσιν καί ἀνοίγομεν πάλιν εἰς μεγαλύτερον βάθος κ.ο.κ. Τοιουτοτρόπως εἴμεθα βέβαιοι ὅτι ἑκάστη ὀπή στεγανοποιεῖται καλῶς εἰς μεγάλον π λ ά τ ο ς.

Καί ἄλλα ὑλικά χρησιμοποιοῦνται ἐνίοτε διά στεγάνοποίησιν ὡς ἄσφαλτον inpertal κ.λ.π.

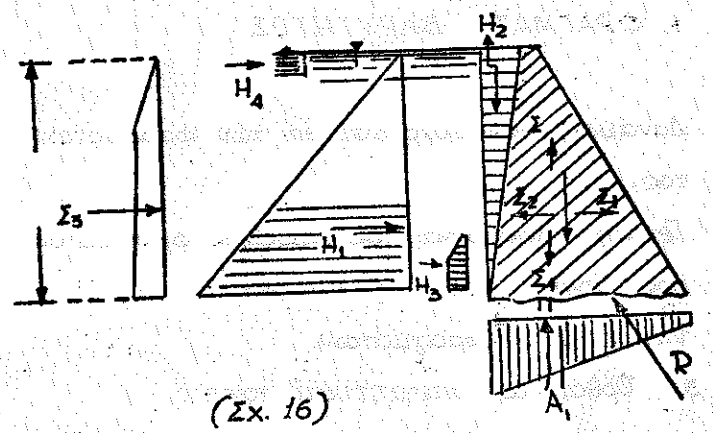
III. ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ, ΔΙΑΤΑΞΙΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΚΑΘΕΚΑΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.

III. 1. ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΟΣ

1. Δυνάμεις ἐπενεργοῦσαι ἐπί τῶν φραγμάτων βαρύτητος.
2. Γενική ἰσορροπία τοῦ σώματος φράγματος βαρύτητος. Γενική γραφική λύσις.
3. Ὑπολογισμοί φραγμάτων.
   - 3.1. Ὀρθαί καί διατμητικαί τάσεις.
   - 3.2. Κύριαι τάσεις καί τροχιαί τάσεων.
   - 3.3. Ὕδωρ διηθήσεως καί δυνάμεις ὕδατος πόρων (ὑδροπερατότης).
   - 3.4. Ἐντατική κατάστασις καί παραμορφώσεις εἰς τά φράγματα.
   - 3.5. Ἐντατική κατάστασις εἰς ὀρθά τριγωνικά φράγματα μέ ὑδροπερατότητα.
   - 3.6. Τροχιαί τάσεων.
   - 3.7. Ἐλαστική μετακίνησις. Παράδειγμα.
   - 3.8. Ἐπίδρασις τῶν παραμορφώσεων τοῦ ἐδάφους ἐπί τῶν τάσεων τοῦ φράγματος.
   - 3.9. Πρόσθετοι τάσεις λόγῳ μεταβολῆς τοῦ ὄγκου.
4. Ἁρμοί διαστολῆς.
5. Ἡ ὑποπίεσις καί στεγανότης τῶν φραγμάτων.
6. Ἐνίσχυσις τῶν φραγμάτων [ἐλκυστῆρες κ.λ.π. ὑπερύψωσις].

7. Γενικά παραδείγματα (Άσκησις)

1. Δυνάμεις ἐπενεργοῦσαι ἐπί τῶν φραγμάτων βαρύτητος.



(Σχ. 16)

Σχ. 16. Ἐνεργοῦσαι ἐξωτερικαί δυνάμεις ἐπί τῶν φραγμάτων βαρύτητος.

1. **Βάρος φράγματος** B_1. Ἡ μεγαλυτέρα δύναμις καί ἡ μόνη ἥτις δέν προκαλεῖ πτῶσιν.
2. **Ἡ πίεσις** τοῦ ὕδατος $H_1 = \frac{1}{2}\gamma h^2$ διά κατακόρυφον τοίχωμα $H_1 + H_2$ διά φράγμα μέ κεκλιμένην παρειάν.
3. **Ἄνωσις**. A_1.. Ὑπάρχει πάντοτε ἀνεξαρτήτως τῶν ληφθησομένων μέτρων καί ὀφείλεται εἰς κακῶς κατασκευαζομένους ἁρμούς, εἰς ὁριζοντίους ἁρμούς, ὑπό τάς θεμελιώδεις εἰς διείσδυσιν τοῦ ὕδατος ἐντός τοῦ φράγματος ἤ ὑπ' αὐτό ἐντός τοῦ ἐδάφους. Παρατηρήσεις ἀνώσεως δίδονται εἰς τό κάτωθι σχῆμα.

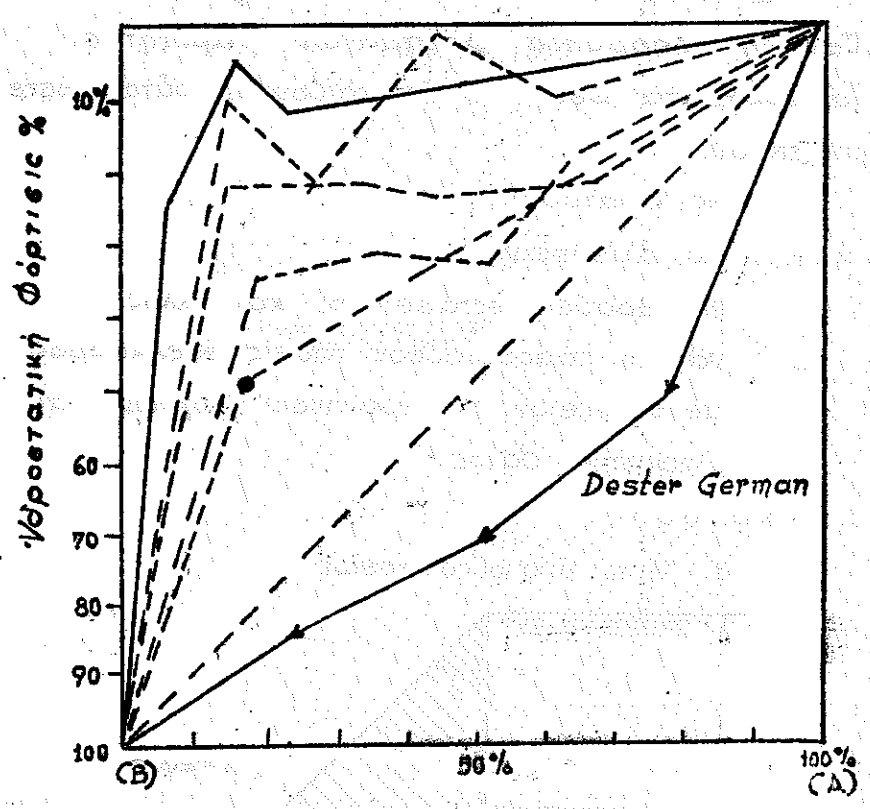
4. Ἡ πίεσις τῶν φερτῶν ὑλῶν. (Μικρᾶς σημασίας H_3).

5. Πίεσις παγων. H_4. Αὕτη ὑπολογίζεται ἀπό 25-150 kg/m^2 (kg ἀνά m^2 ἐπαφῆς μέ τήν κατακόρυφον παρειάν τοῦ φράγματος). Τιμή $50\ kg/m^2$ θεωρεῖται συνήθως ἱκανοποιητική.

6. Σεισμικαί δονήσεις. Σ_1, Σ_2 κατακόρυφοι ἤ ὁριζόντιοι ἀναλόγως διευθύνσεως σεισμῶν. (k_1) $k_1 = 0,10 - 0,80$ (g) συνήθως $0,25g$.

7. Σεισμική πίεσις ὕδατος Σ_3.

Ἀπό Β εἰς Α. Εἰς τό σχῆμα δίδονται αἱ παρατηρή-



Μῆκος βάσεως τοῖς %

(Σχ. 17)

Creager εἰς πραγματικὰ φράγματα (ἱκανοποιητικὴ περιβάλλουσα 20% τῆς βάσεως τὸ 50% τῆς ὑποπιέσεως καὶ μηδενισμὸς αὐτῆς εἰς 100% τῆς βάσεως. Μοναδικὴν ἐξαίρεσιν ἔδωσεν τὸ φράγμα Oester ἐν Γερμανίᾳ.

Ὁ ὑπολογισμὸς ἀνατροπῆς δύναται τώρα νὰ ἐπαναληφθῇ μὲ τὰς πραγματικὰς ὑποπιέσεις, ἤτοι: εἴτε τὴν ἀνωτέρω περιβάλλουσαν ἢ μὲ εὐθείαν ἔχουσαν εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς βάσεως (B) 60% τῆς ὑδροστατικῆς πιέσεως καὶ εἰς τὸ τέρμα αὐτῆς (A) ὑποπίεσιν = 0.

1. Bourgin : Cours de Caleul de Banages.
2. Tolke : Wasser kraftanlagen.

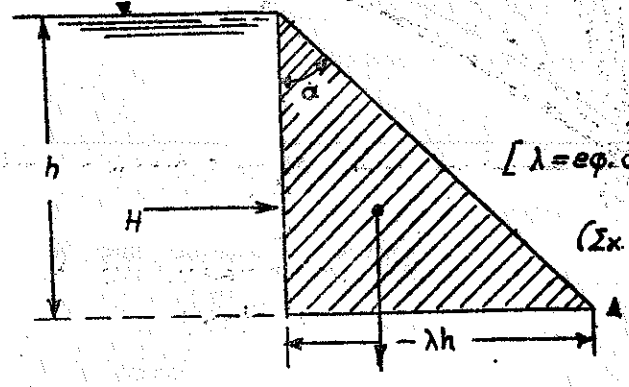
2. Γενικὴ ἰσορροπία φραγμάτων βαρύτητος.

Τὰ φράγματα δέον νὰ ὑπολογίζονται οὕτως ὥστε νὰ ἀντέχουν.

1. εἰς ἀνατροπήν
2. εἰς ὀλίσθησιν
3. εἰς θραῦσιν ecrasement καὶ τέλος
4. νὰ μὴ παρουσιάζουν τάσεις ἐφελκυσμοῦ μὲ συνέπειαν τὴν ἐμφάνισιν ῥωγμῶν καὶ διαφυγὴν ὕδατος.

1. Ἀνατροπή.

1. Ἄνευ ὑδατοϋποπιέσεως



[λ=εφ.α]

(Σχ. 18)

ροπαί ὡς πρός A : $-H\frac{h}{3} \; B\frac{2}{3}\lambda h \geqslant 0$

$$H = \gamma \frac{h^2}{2}$$

$$B = \frac{\gamma_1}{2} \lambda \cdot h^2$$

$$\frac{2}{3}\gamma_1 \frac{1}{2}\lambda \cdot h^2 - \frac{\gamma h^2}{2}\frac{h}{3} \geqslant 0$$

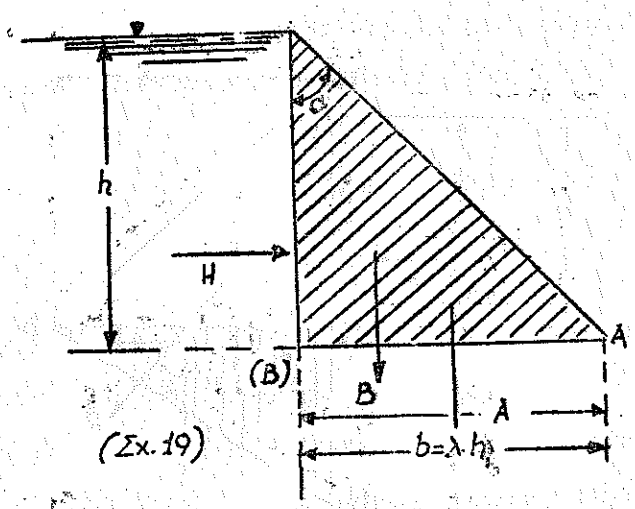
$$2\gamma_1 \lambda^2 - \gamma \geqslant 0$$

$$\lambda \geqslant \sqrt{\frac{\gamma}{2\gamma_1}}$$

Διά $\begin{cases} \gamma = 1000 \\ \gamma_1 = 2400 \end{cases}$

$$\lambda \geqslant 0{,}450$$

2. Μέ πλήρη ὑδατοϋποπίεσιν (Ροπαί ὡς πρός A).



(Σχ. 19)

Δύναμις	Βραχίων	Ροπή
$H = 1/2\ \gamma h^2$	$h/3$	$1/6\ \gamma h^3$
$B = 1/2\ \gamma_1 \lambda h^2$	$2/3\ \lambda h$	$2/6\ \gamma_1 \lambda^2 h^3$

$$A_{\nu\omega} = \gamma\lambda h \cdot h \qquad 1/2\,\lambda h \qquad 1/6 \cdot 3\gamma\lambda^2 h^3$$

$$M_\mu = h^3/6\,(2\gamma_1\lambda^2 - \gamma - 3\gamma\lambda^2) \geqslant 0$$

$$\lambda \geqslant \sqrt{\frac{\gamma}{2\gamma_1 - 3\gamma}}$$

Διά $\begin{cases} \gamma = 1000 \\ \gamma_1 = 2400 \end{cases}$ $\qquad \lambda \geqslant 0{,}748$

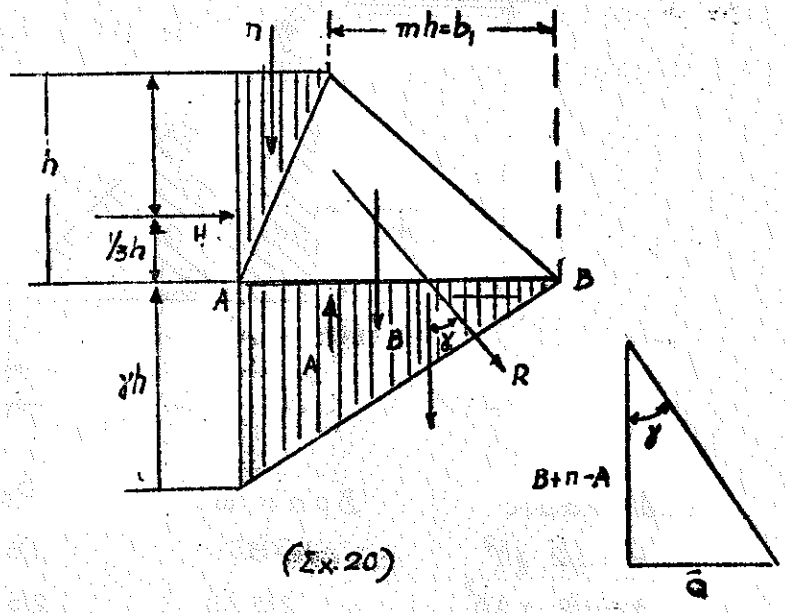
διά πλήρη ὑποπίεσιν ὅθεν:

α/ αἱ τάσεις δέον νά εἶναι τοιαῦται ὥστε νά κλείνουν τάς ὁριζοντίας ῥωγμάς. (παλαιά ἀρχή γάλλου M. Lern) ἤ

β/ νά ληφθοῦν μέτρα ἐκμηδενίσεως τῆς ὑποπιέσεως.

Πάντως ἡ πρᾶξις ἀπέδειξεν ὅτι αἱ ὑποπιέσεις ὑδατος οὐδέποτε εἶναι πλήρεις ὡς ἄνω. Ἡ δυσμενεστέρα περίπτωσις εἶναι τριγωνική γραμμική φόρτισις ἀπό B ἕως A. Βλέπε καί παρατηρήσεις Greager εἰς πραγματικά παραδείγματα (περί ὧν ἀνωτέρω).

Ὑλισθησις.



(Σχ. 20)

Ἔστω φράγμα ὡς ἐν τῷ σχήματι τῆς σελίδος 38.

Δι' ἄνωσιν ἴσην μὲ γh εἰς τὸ Α καὶ μηδὲν εἰς τὸ Β ἔχομεν διὰ τὴν ὀλίσθησιν :

$$\vec{R} = \vec{B} + \vec{H} + \vec{\Pi} - \vec{A}$$

Ἡ R ἀναλύεται εἰς δύο συνιστώσας, Η (ὁριζοντίαν) καὶ Β + Π - Α (κατακόρυφον), σχηματίζει δὲ μὲ τὴν κατακόρυφον γωνίαν γ

$$\varepsilon\varphi\,\gamma = \frac{H}{B + \Pi - A}$$

Ἡ ὁριζοντία συνιστῶσα Η δέον νὰ ἰσορροπηθῇ ἀπὸ τὴν δύναμιν τῶν τριβῶν $f(B + \Pi - A)$ καὶ τὴν ἀντίστασιν εἰς διάτμησιν τῆς τοιχοποιΐας, τὴν δημιουργουμένην εἰς τὴν ἐπιφάνειαν ἐπαφῆς Ε ἐπὶ τὸν συντελεστὴν r, ἤτοι

$$H \leq f(B + \Pi - A) + r \cdot E$$

Δεχόμεθα τὴν τάσιν r ὡς παραμελητέαν καὶ ἔχοντες διὰ τὴν τοιχοποιΐαν :

$f = \varepsilon\varphi\,\varphi = 0{,}75 \quad \varphi = 37^\circ \quad \eta\mu\varphi = 0{,}60 \quad \sigma\upsilon\nu\varphi = 0{,}80$

λαμβάνομεν τὸν ὅρον εὐσταθείας (stabilité) :

$$f \geqslant \frac{H}{B + \Pi - A} \qquad \varepsilon\varphi\,\varphi \geqslant \varepsilon\varphi\,\gamma \quad \text{ἢ}$$

$$\varphi \geqslant \gamma$$

Ἤτοι διὰ ν' ἀνθέξῃ εἰς ὀλίσθησιν δέον ἡ συνιστῶσα R νὰ σχηματίζῃ μὲ τὴν κατακόρυφον γωνίαν γ μικροτέραν τῆς γωνίας τριβῆς λιθοδομῆς ἐπὶ λιθοδομήν.

Ἀρ. παράδειγμα : Διὰ κατακόρυφον τοῖχον :

$$A = \frac{1}{2}\lambda h \cdot \gamma h = \frac{1}{2}\gamma\lambda h^2$$

βραχίων τῆς $A = \frac{2}{3}\lambda . h$. Ροπὴ ὡς πρὸς $(B) = \frac{2}{6}\gamma\lambda^2 h^3$.

Ἔστω $\lambda = 0{,}75$.

$$\frac{Q}{B-A} = \frac{1/2\ \gamma h}{\gamma_1 \frac{mh^2}{2} - \gamma \frac{mh^2}{2}} = \frac{\gamma}{(\gamma_1 - \gamma)m} = 0,96 > 0,75$$ τοῦ συντε-

λεστοῦ τριβῆς.

Ἄρα τό φράγμα θά ὀλισθήσῃ.-

Ἐξ ἄλλου αἱ ῥοπαί τῶν δυνάμεων πρός Β εἶναι:

$$\frac{M+}{M-} = \frac{\frac{\gamma_1 \lambda^2 h^3}{3}}{\gamma \frac{h^3}{6} - \gamma \frac{\lambda^2 . h^3}{3}} = \frac{2\gamma_1 \lambda^2}{\gamma(1+2\lambda^2)} = 1.27 > 1$$

ἤτοι τό φράγμα δέν θά ἀνατραπῇ.-

Ἄρα ἐνῷ δέν ὑπάρχει κίνδυνος ἀνατροπῆς ὑπάρχει κίνδυνος ὀ λ ι σ θ ή σ ε ω ς.

Δέον ὅθεν (Bourgin) νά γίνῃ ἕνα πυκνόν δίκτυον στραγγίσεως (dramiage serré) κατακορύφων ἀγωγῶν οἵτινες νά συνιστῶσιν τάς ὑδροφόρους ὁριζοντίους φλέβας.

Συνήθως ἐλάχιστα δίδεται προσοχή εἰς τόν κίνδυνον ὀλισθήσεως.

Συνήθη φράγματα βαρύτητος ἔχουν συντελεστήν ἀσφαλείας 1,5 δι' ὀλίσθησιν, κατερχόμενον εἰς 1,2 λόγῳ ἀνάσεως καί κατερχόμενον κάτω τῆς μονάδος δι' ἐλαφράς σεισμικάς δονήσεις ($\kappa = 0,1\ g$). Ἡ ἀσφάλεια εἶναι μικροτέρα διά θεμελιώσεις κεκλιμένας πρός τά κατάντη.

Ὁ ὡς ἄνω συντελεστής ἀσφαλείας :

Συντελεστής Ἀσφ Ὁλ= $\frac{f(B+\Pi-A)+rE}{\Sigma H}$ [Συντελεστής Ἀσφαλείας Ὀλισθήσεως]

Ἡ ἀντίστασις εἰς ὀλίσθησιν (stiding, glissement) ἐλαττοῦται διά κατασκευῆς βαθμίδων εἰς τά θεμέλια, διά μέτρων συνδέσεως Beton καί ἐδάφους, ὡς καί διά διαδοχικῶν βαθμίδων κατασκευῆς τοῦ ἐκχοδέματος. Οὕτω ὁ

τρόπος κατασκευῆς ἔχει ἴσην σημασίαν μὲ τὸν ὑπολογισμὸν τῶν τάσεων, διὰ τὴν μελέτην ἑνὸς φράγματος.

Ἡ ἀντοχὴ εἰς θλῖψιν τοῦ beton διὰ φράγματα δέον νὰ εἶναι 140 kg/m^2 (2000 p.s.i) μετὰ 28 ἡμ. Γενικῶς ἡ διατμητικὴ τάσις εἶναι $\sim \frac{1}{5}$ τῆς θλίψεως, ἤτοι διὰ συνήθη beton φραγμάτων 28-56 kg/cm^2. Μὲ συντελεστὴν ἀσφαλείας 4 αἱ τάσεις διατμήσεως δέον νὰ εἶναι:

7-14 kg/cm^2 (100-200 p.s.i)

Δοθέντος ὅτι αἱ τάσεις διατμήσεως κυμαίνονται ἀπὸ 0 εἰς τὴν πτέρνην, εἰς maximum εἰς τοὺς δακτύλους τοῦ φράγματος, ἡ ἔντασις διατμήσεως εἰς τοὺς δακτύλους εἶναι διπλασία τοῦ μέσου. Ἐξ ἄλλου ἡ σύνδεσις (bond) δὲν εἶναι πάντοτε ὁμοιόμορφος μεταξὺ διαδοχικῶν χύσεων beton. Οὕτω ἡ ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν κατέρχεται εἰς τὸ 1/20 τῆς εἰς θλῖψιν. Διὰ νὰ ὑπάρξῃ ἱκανὸς παραλαβὴς διατμητικῶν τάσεων πρὸς ἀποφυγὴν ὀλισθήσεων δέον αἱ ἁρμοὶ μεταξὺ χύσεων νὰ πλύνωνται λίαν προσεκτικῶς.-

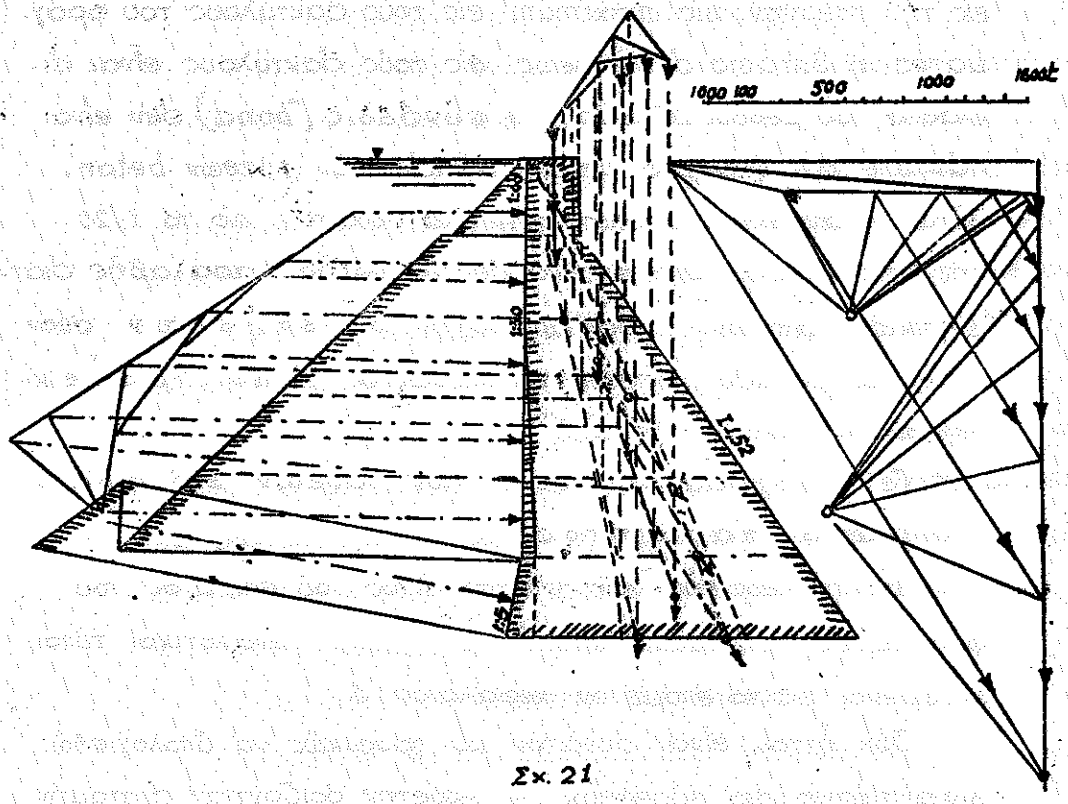
2ᵅ. Γενικὴ γραφικὴ λύσις τῶν τάσεων εἰς φράγματα βαρύτητος.

Διὰ τὴν εὕρεσιν τῶν τάσεων ἐντὸς τοῦ σώματος τοῦ φράγματος χρησιμοποιοῦνται λεπτομερῶς ἀναλυτικοὶ τύποι, διδόμενοι εἰς τὸ ἑπόμενον κεφάλαιον 3.

Οὐχ ἧττον εἶναι δυνατὸν καὶ γραφικῶς νὰ ὑπολογισθοῦν αἱ τάσεις διὰ εὑρέσεως εἰς ἑκάστην ὁριζοντίαν διατομὴν τῆς συνισταμένης τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων καὶ τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς αὐτῶν. Δι' ἀναλύσεως τῆς συνισταμένης εἰς κατακόρυφον καὶ ὁριζοντίαν συνιστῶσαν, δυνάμεθα νὰ προσδιορίσωμεν τὰς κατακορύφους καὶ ὁριζοντίας τάσεις (σ_z, σ_x)

καὶ τὰς διατμητικὰς τάσεις εἰς τὰ σημεῖα τῆς διατομῆς.

Ἡ εὕρεσις τῆς συνισταμένης R τῶν ἐξωτερικῶν φορτίσεων (ΣP καὶ ΣH) καὶ τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς αὐτῆς γίνεται γραφικῶς τῇ βοηθείᾳ δύο εκοινοπολυγώνων ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ ἑπόμενον σχῆμα 21.



Σχ. 21

5. Λεπτομερεῖς ὑπολογισμοί φραγμάτων βαρύτητος (τάσεις).

3.1. Ὀρθαί καί διατμητικαί τάσεις.

Ἔστω φράγμα βαρύτητος. Αἱ κατακόρυφοι δυνάμεις L (ὕδατος) καί G (τοίχου) ἔχουσι συνισταῦσαν S.

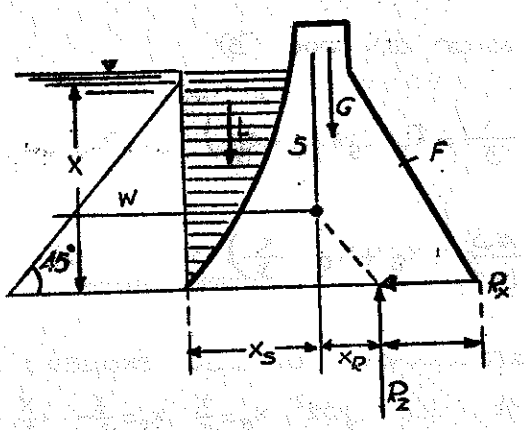
Αἱ ὁριζόντιαι δυνάμεις W (ὁριζοντ. πίεσις ὕδατος) $= \gamma b \frac{z^2}{2}$.

Ἡ ἄνωσις $A = \frac{1}{2}(m)\,\gamma . z . b$ παραλείπεται ἐφ' ὅσον ἐξετάζονται τμηματικαί ζῶναι τοῦ φράγματος.

Θά ἔχωμεν τήν συνισταμένην $\bar{R} = \bar{R}_z + \bar{R}_x$

ὅπου $R_x = W = \frac{1}{2}\gamma b z^2$

$R_z = S = L + G$



Σχ. 22

Αἱ καθαρῶς στατικαί ἐξισώσεις δέν λύουν τό πρόβλημα.

Δι' αὐτό εἰσάγωμεν τόν νόμον τοῦ Hooke καί τόν ὅρον ὅτι ἡ διατομή παραμένει ἐπίπεδος, ὁπότε κατά τά γνωστά ἐξ ἀντοχῆς ὑλικῶν ἔχομεν τό σῆμα 23 διά θλῖψιν καί κάμψιν:

Τό σημεῖον ἐφαρμογῆς τῆς R_z θά εἶναι:

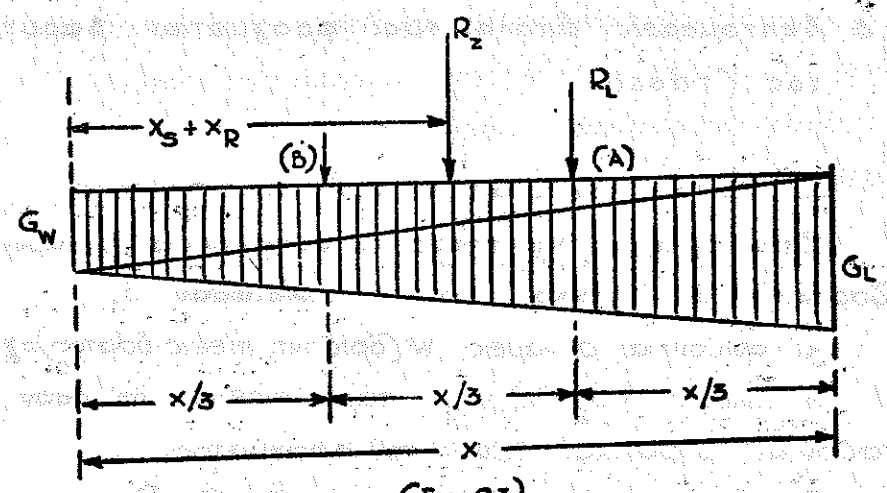
$$x_R = \frac{W}{S} \cdot \frac{Z}{3} \quad \text{(ροπαί ὡς πρός M).}$$

Τό ἐμβαδόν τῶν τριγώνων εἰς σχ. 23 δίδει:

$$6.x \cdot \frac{1}{2}(\sigma_w + \sigma_l) = R_z = S$$

καί λαμβάνοντες ροπάς πρός A

$$\frac{bx}{2}\sigma_w \cdot \frac{x}{3} = R_z\left(\frac{2}{3}x - (x_s + x_R)\right) \quad \text{ἤ}$$



(Σχ. 23).

$$\sigma_w = \frac{\sigma S}{bx^2}\left(\frac{2x}{3} - (x_S + x_R)\right) \qquad (1)$$

και λαμβάνοντες ροπάς ως πρός (B)

$$\frac{bx}{2}\,\sigma_l\,\frac{x}{3} = R_z\left(Z_S + x_R - \frac{x}{3}\right)$$

ήτοι

$$\sigma_l = \frac{\sigma S}{bx^2}\cdot\left(x_S + x_R - \frac{x}{3}\right) \qquad (2)$$

Διά φράγμα με κατακόρυφον τοίχωμα έχομεν:

$x = \lambda z \quad G = S = \gamma_b \cdot \lambda_b z^2/2 \quad W = 1/2\,\gamma b z^2 \quad x_S = \frac{x}{3} \quad x_R = \frac{\gamma}{\lambda^2\gamma_b}\cdot\frac{x}{3}$

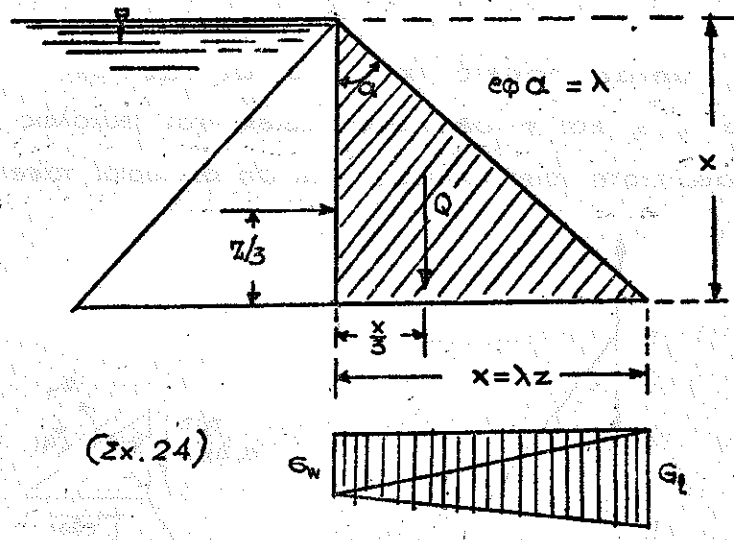
$$\sigma_w = \frac{1}{bx^2}\cdot\sigma\gamma_b\lambda\frac{z^2}{2}b\left(\frac{2}{3}x - \frac{x}{3} - \frac{x}{3}\,\frac{\gamma}{\lambda^2\gamma_b}\right.$$

ή

$$\left.\left(\gamma_b + \frac{\gamma}{\lambda^2}\right)\right) = \sigma_w \qquad (3)$$

$$\sigma_l = \frac{1}{bx^2}\cdot\sigma\gamma_b\,\lambda\frac{z^2}{2}b\left(\frac{x}{3} + \frac{x}{3}\cdot\frac{\gamma}{\lambda^2\gamma_b} - \frac{x}{3}\right)\ \text{ή}$$

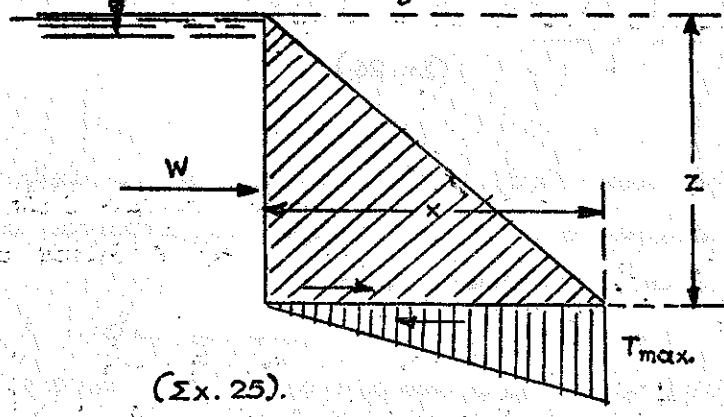
$$z \cdot \frac{\gamma}{\lambda^2} = \sigma_l$$



(Σχ. 24)

Αἱ διατμητικαὶ τάσεις ἐχουν συνισταμένην τὴν ὁριζοντίαν συνιστῶσαν R_x, ἤτοι:

$$\int_0^x \tau \cdot dx = \frac{1}{b} R_x = \gamma \cdot z^2/2$$



(Σχ. 25).

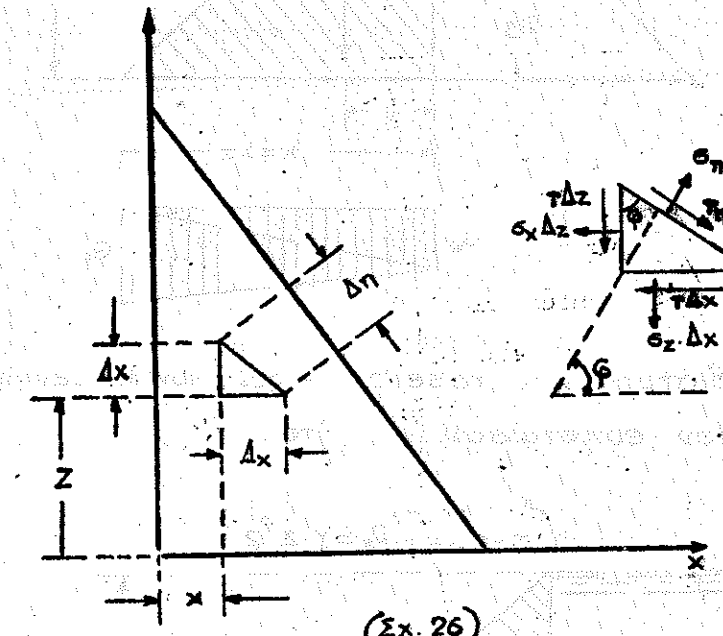
Ἐὰν τὸ φράγμα εἶναι πλῆρες μέχρι ἀκμῆς τοῦ τριγώνου, τότε συμφώνως πρὸς νόμον ἐλαστικῆς παραμορφώσεως ἡ ἀλλαγὴ τῆς $\underline{\tau}$ εἶναι εὐθύγραμμος ἤτοι:

$$\tau_{max}\,\frac{b}{2}\,x = W = \gamma\,\frac{z^2}{2}\,b$$

$$\tau_{max} = \gamma\,\frac{z}{\lambda}$$

3.2: Κύριαι τάσεις καί τροχιαί τάσεων.

Διά σ_x, σ_z καί τ δεδομένα, εύρίσκονται εύκόλως αί τάσεις οιασδήποτε διευθύνσεως καί δή αί κύριαι τάσεις.



(Σχ. 26)

Έστω σημείον (x, z), καί τριγωνικόν πρίσμα $\Delta x, \Delta z, \varphi$ ἔνθα κατ' ἀρχήν τό φ εἶναι μεταβλητόν. Δίδονται αἱ $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ καί ζητοῦνται σ_η, τ_η.

$$(6)\quad \left\{\begin{array}{l} \sigma_\eta = \sigma_x\,\sigma\upsilon\nu^2\varphi + 2\tau\,\sigma\upsilon\nu\varphi\cdot\eta\mu\varphi + \sigma_z\,\eta\mu^2\varphi \\ \tau_\eta = \tau(\eta\mu^2\varphi - \sigma\upsilon\nu^2\varphi) + (\sigma_x - \sigma_z)\,\eta\mu\varphi\cdot\sigma\upsilon\nu\varphi \end{array}\right\}$$

Αἱ μέγισται καί ἐλάχισται τιμαί τῶν τάσεων τούτων σ_η, τ_η εἶναι αἱ κύριαι τάσεις. Αἱ ἀντίστοιχοι τιμαί τῶν φ δίδουν τάς κατευθύνσεις τῶν κυρίων τάσεων.

Διά νά εὑρεθοῦν αἱ κατευθύνσεις αὗται διαφορίζομεν πρός φ καί ἐξισοῦμεν πρός μηδέν. Ἔχομεν ὅθεν:

$$(7)\quad \begin{cases} 0 = 2(-\sigma_x+\sigma_z)\,\eta\mu\varphi_6\,\sigma\upsilon\nu\varphi_6 + 2\tau\,\sigma\upsilon\nu 2\varphi_6 \\ 0 = 4\tau\,\eta\mu\varphi_\tau\,\sigma\upsilon\nu\varphi_\tau + (\sigma_x-\sigma_z)\,\sigma\upsilon\nu\,2\varphi_\tau \end{cases}$$

καί λύοντες

$$(8)\qquad \varphi_6 = \frac{1}{2}\,\tau o\xi\varepsilon\varphi\,\frac{2\tau}{\sigma_x-\sigma_z}$$

$$\varphi_\tau = \frac{1}{2}\,\tau o\xi\varepsilon\varphi\left(-\frac{\sigma_x-\sigma_z}{2\tau}\right) = \frac{\pi}{4}+\varphi_6 = 45^\circ+\varphi_6$$

Δοθέντος ὅτι εἰς ἑκάστην ἐφαπτομένην τοῦ πρώτου ὀρθογωνίου ἀντιστοιχεῖ καί μία εἰς τό τρίτον $(\alpha+180^\circ)$ ἡ ἐξίσωσις (8) δίδει πάντα δύο γωνίας διαφερούσας κατά 90° $(\frac{1}{2}\,180^\circ)$ διά τάς κυρίας τάσεις. Ἐπίσης ἡ φ_τ κεῖται εἰς τό μέσον αὐτοῦ μέ 45° γωνίαν, ὅπου γίνεται **μεγίστη**.

Ἐάν εἰσαγάγωμεν τάς εὑρεθείσας **κυρίας** τάσεις ἀπό τάς (6) θά ἔχωμεν:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_x+\sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x-\sigma_z)^2+\tau^2}$$

$$(9)\qquad \tau_{\gamma_2} = \pm\sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x-\sigma_z)^2+\tau^2}$$

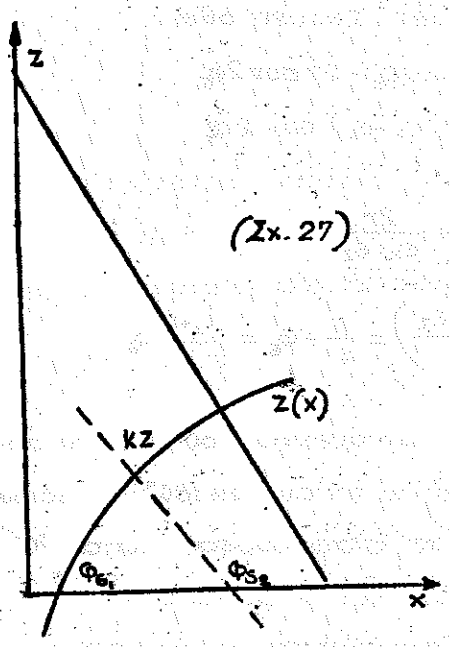
διά μεγίστην καί ἐλαχίστην τάσιν.

Αἱ ἐξισώσεις (8) δίδουν εἰς ἕκαστον σημεῖον τοῦ δίσκου **4 διευθύνσεις κυρίων τάσεων**. Αὗται ὁρίζουν 4 συστήματα καμπύλων τροχιῶν, αἵτινες διέρχονται δι' ἑκάστου σημείου τοῦ δίσκου, εἰς προδιαγεγραμμένας κατευθύνσεις, καλοῦμεναι **τροχιαί τῶν τάσεων**.

Ἐξ αὐτῶν κατ' ἀρχήν ἐρευνῶνται αἱ δύο τροχιαί δίδουσι τάς διευθύνσεις διά τάς μεγίστας καί ἐλαχίστας τιμάς τῶν ὀρθῶν τάσεων σ_1 καί σ_2 (μεγίστη θλῖψις, ἐλαχίστη ἤ ἐφελκυσμός).

Ἔστω μία τροχιά $z=z(x)$ διερχομένη διά τοῦ σημείου

(x,z) τότε : $\varepsilon\varphi\cdot\varphi_\varepsilon = \frac{dz}{dx}$, καὶ λόγῳ τῆς ἐξισώσεως (8) καὶ τῆς τριγωνομετρίας θὰ ἔχωμεν:



(Σχ. 27)

(8) $\varepsilon\varphi 2\varphi_\varepsilon = \frac{2\tau}{\sigma_x - \sigma_z}$ καί

$$\varepsilon\varphi 2\varphi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon\varphi\cdot\varphi_\varepsilon}{1-\varepsilon\varphi^2\varphi_\varepsilon} = \frac{2\frac{dz}{dx}}{1-\left(\frac{dz}{dx}\right)^2} = \frac{2\tau}{\sigma_x-\sigma_z}$$

ἐξ οὗ

$$\left(\frac{d\tau}{dx}\right)^2 + 2\frac{dz}{dx}\cdot\frac{\sigma_x-\sigma_z}{2\tau} - 1 = 0$$

Αὕτη εἶναι ἡ διαφορικὴ ἐξίσωσις τῶν τροχιῶν τῶν κυρίων τάσεων, λυομένη εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις.

3.3 Ὕδωρ διηθήσεως καὶ δυνάμεις ἐκ τοῦ ὕδατος τῶν πόρων (φράγμα ἐκ σκυροδέματος).

Ἡ ῥοὴ τοῦ ὕδατος ἐντὸς τῶν πόρων τοῦ beton θὰ εἶναι: $U_m = k\cdot\frac{H}{L}$ ἡ συναρτήσει τῶν πιέσεων (ἐσωτερ. καὶ ἐξωτερ.).

(11) $U_m = \frac{k}{\gamma}\frac{P_w - P_t}{L}$ ὅπου συνήθως $P_w = \gamma(H-z)$, $P_t = 0$

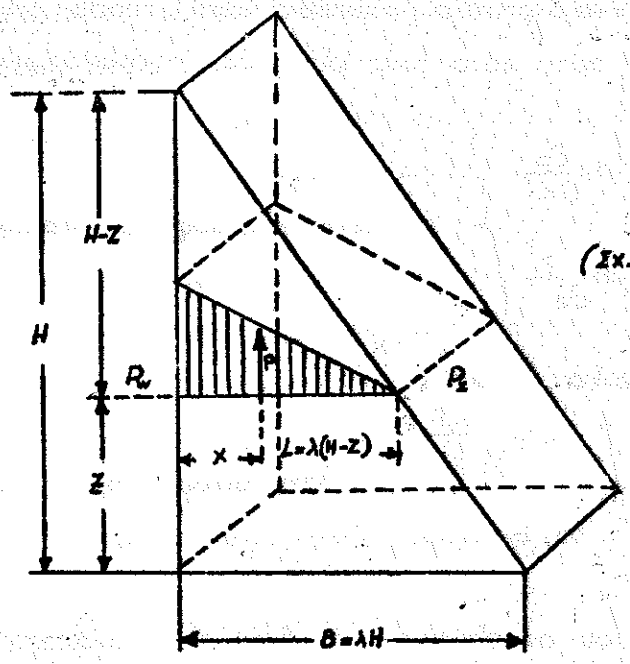
καὶ εἰς τυχόν σημεῖον ἡ πίεσις εἶναι:

(12) $P_{(x,z)} = P_w\left(1-\frac{x}{L}\right)$ $\qquad L = \lambda(H-z)$

(13) $P_{x,z} = \gamma(H-z)\left(1-\frac{x}{\lambda(H-z)}\right) = \gamma\left(H-z-\frac{x}{\lambda}\right)$

καὶ ἡ ταχύτης

(14) $U_{x,z} = \frac{k}{\lambda} = U_0$ (ὁλικὴ ἀπώλεια διὰ διατομὴν F: $Q = \frac{k}{\lambda}\cdot F = U_0 F$)



(Σχ. 28)

Τό ὕδωρ τοῦτο δύναται ν' ἀποπλύνῃ τό τσιμέντο καί ἰδίᾳ πιθανάς διαλυτάς προσμίξεις αὐτοῦ εἰς μεγάλην ἀναλογίαν.

Ὡς γνωστόν σῶμα ἐμβαπτισμένον εἰς ὕδωρ ὑφίσταται ἄνωσιν, κατά τήν διεύθυνσιν τῆς μεγίστης πτώσεως πιέσεως, ἴσην μέ :

$$(15) \qquad A = -V \operatorname{grad} p.$$

Εἰς τό beton, ὅλοι οἱ κόκκοι, ὧν ἡ ἀναλογία ἔστω α εἰς τόν χῶρον, ὑφίστανται ἄνωσιν καί μάλιστα μόνον τό τμῆμα αὐτῶν, ὅπερ συνεπείᾳ τοῦ πορώδους τοῦ τσιμέντου (β) ἔρχεται εἰς ἐπαφήν μέ τό ὕδωρ, ἤτοι τμῆμα αὐτοῦ ἴσον μέ βF. Ἔχομεν τότε :

ἄνωσιν εἰς μονάδα ὄγκου τοῦ beton:

$$\left(\frac{\alpha}{F} \cdot \beta F = \alpha\beta \right)$$

4ον

(16) $\alpha = -\alpha.\beta.\text{grad } p.$ (= ἄνωσις κατά μονάδα ὄγκου beton)

Ἡ ἄνωσις αὐτη κατά τούς δύο ἄξονας ἀναλυομένη ἔχει προβολάς :

$$\left.\begin{aligned} \alpha_x &= -\alpha.\beta.\frac{\partial p}{\partial x} \\ \alpha_z &= -\alpha.\beta.\frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned}\right\} \quad \text{καί ἐν συνδυασμῷ μέ ἐξίσωσιν (13)}$$

Προβολαί ἀνώσεως :

$$(17) \quad \left\{\begin{aligned} \alpha_x &= \frac{\alpha.\beta.\gamma}{\lambda} \\ \alpha_z &= \alpha\beta.\gamma \end{aligned}\right. \quad \text{διά τοίχους βαρύτητος}$$

Ἐξ' ἄλλου αἱ δυνάμεις τριβῶν εἶναι ἀνάλογοι τῆς πτώσεως πιεζομετρ. γραμμῆς καί τοῦ παραύδους, ἄρα γενικῶς :

$$(18) \quad r_x = -(1-\alpha)\beta\frac{\partial p}{\partial x} \qquad r_z = -(1-\alpha)\beta\left(\frac{\partial p}{\partial z}+\gamma\right)$$

καί εἰδικῶς εἰς τοίχους :

$$(19) \quad r = r_x(1-\alpha)\frac{\beta\gamma}{\lambda} \qquad r_z = 0$$

Καί ἀθροιστικῶς (ἀνώσεις + τριβαί + βαρύτης ἔχουσιν τεταγμένας :

$$\left\{\begin{aligned} m_x &= -\alpha\beta\frac{\partial p}{\lambda x} - (1-\alpha)\beta\frac{\partial p}{\partial x} = -\beta\frac{\partial p}{\partial x} \\ m_z &= -\alpha\beta\frac{\partial p}{\partial z} - (1-\alpha)\beta\left(\frac{\partial p}{\partial z}+\gamma\right) - \gamma_\beta \end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

ἤ

$$\left\{\begin{aligned} m_x\frac{\alpha\beta\gamma}{\lambda} + (1-\alpha)\frac{\beta\gamma}{\lambda} &= \frac{\beta\gamma}{\lambda} \\ m_z &= \frac{\alpha\beta\gamma}{\lambda} - \gamma_\beta \end{aligned}\right\} \qquad (20\alpha).$$

Ήτοι ἡ μαζική δύναμις διαρρεομένου τοίχου εἶναι ἡ αὐτὴ εἰς πᾶσαν θέσιν.

(Ἡ τριβὴ ἔχει μόνον ὁριζοντίαν συνιστῶσαν, ἐνῷ ἡ ἄνωσις ἔχει κλίσιν καὶ εἶναι κάθετος πρὸς τὰς γραμμὰς ἴσης πιέσεως τοῦ παρόδους ὕδατος).

Αἱ ὁριζόντιοι συνιστῶσαι τῶν δυνάμεων δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο εἰ μὴ τὸ τμῆμα τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος, ὅπερ ὁρᾷ ἐπὶ τῶν πόρων τῆς κατακορύφου ἐπιφανείας πιέσεως διότι:

$$\int_{o}^{\lambda(H-z)} m_x \cdot d_x = \beta \cdot \gamma(H-z) = \beta \cdot p_w$$

(ὅπου β κυμαίνεται ἀπὸ 0-065 ἀναλόγως τοῦ W.z. factor.)

3.3. Ὑπολογισμὸς τῶν μεγεθῶν α, β καὶ αβγ.
(ὁ συνελεστὴς σιμέντου. ὕδατος τοῦ σκυροδέματος)

Τὸ σκυρόδεμα ἀποτελεῖται ἐκ σιμέντου καὶ ἀδρανῶν ὑλικῶν (ἄμμος-χάλικες), ἅτινα συνδέονται μεταξύ των διὰ ὕδατος εἰς πλαστικὴν κατάστασιν. Ἡ πῆξις τοῦ σιμέντου λαμβάνει χώραν μὲ ἀποτέλεσμα ἔκλυσιν θερμότητος καὶ βαθμιαίαν αὔξησιν τῆς ἀντοχῆς αὐτοῦ.

Ἡ ἀντοχὴ εἶναι συνάρτησις τῆς περιεκτικότητος εἰς σιμέντον καὶ ὕδωρ.

Οἱ ἀριθμοὶ α καὶ β δύνανται νὰ προσδιορισθῶσιν εὐκόλως ἀναλόγως τῆς συνθέσεως τοῦ σκυροδέματος.

Ἐὰν ἕνα κυβ. μ. σκυροδέματος περιέχει Σ τόννους σιμέντο τότε ὁ χῶρος ὃν τοῦτο καταλαμβάνει (δι' εἰδικὸν βάρος 3.1) θὰ εἶναι $\frac{1}{3.1}\Sigma = 0,3226\,\Sigma$ κ.μ. ὄγκου ἄνευ πόρων.

Ἐὰν ἤδη καλέσωμεν τὸν λόγον τοῦ βάρους τοῦ προ-

στιθεμένου ὕδατος. Υ πρός τό βάρος τοῦ σιμέντου Σ διά τοῦ συμβόλου ΣΥΣ (ω) θά ἔχωμεν $\left(\Sigma Y \Sigma = \frac{Y}{\Sigma}\right)$ ἀναλογίαν τοῦ ὄγκου τσιμέντου ὕδατος:

$$Y+\Sigma = (\Sigma Y \Sigma + 0{,}32)\,\Sigma \left[= \frac{Y}{\Sigma}\Sigma + 0{,}32\,\Sigma = Y + 0{,}32\,\Sigma\right]$$

καί ἑπομένως ὁ ὄγκος τῶν ἀδρανῶν ὑλικῶν ἔστω:

$$\alpha = 1 - (\Sigma + Y) = 1 - (\Sigma Y \Sigma + 0{,}32)\,\Sigma \left[\text{ἀδρανῆ ὑλικά}\right]$$

Ὅσον ἀφορᾷ τούς πόρους τοῦ μίγματος ὕδατος - τσιμέντου (ἀργιάνη) εἶναι γνωστόν κατόπιν μακρῶν πειραμάτων τοῦ Wilson ὅ,τι συνήθως τό ὑπό τοῦ τσιμέντου κατά τήν πῆξιν τοῦ beton παραλαμβανόμενον ὕδωρ ἰσοῦται μέ 20% τοῦ βάρους τοῦ τσιμέντου. Τό ὑπόλοιπον ποσόν τοῦ ὕδατος, ὅπερ δέν χρησιμοποιεῖται ἀποτελεῖ τά κενά τοῦ ὑδροτσιμέντου καί ἰσοῦται μέ:

$$(Y - 0{,}02)\,\Sigma$$

$$\text{ἤ} \quad (\Sigma Y \Sigma - 0{,}20)\,\Sigma.$$

ἑπομένως ὁ λόγος β θά εἶναι:

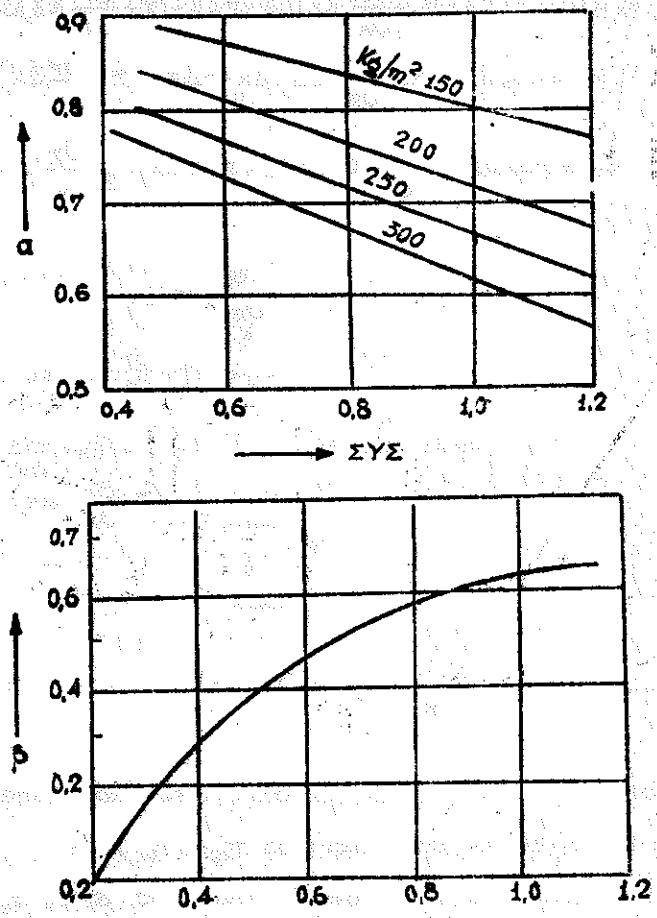
$$\beta = \frac{\Sigma Y \Sigma - 0{,}20}{\Sigma Y \Sigma - 0{,}20} \qquad \text{(πόροι μεταξύ συνδ. ὕλης).}$$

Οὕτω δυνάμεθα τώρα ἀναλόγως τοῦ προστιθεμένου ὕδατος (ἄρα τοῦ ΣΥΣ) νά ὑπολογίσωμεν ἀμέσως τό α καί β ὡς καί τό αβγ, ἔνθα $\gamma = 1{,}0\ t/m^3$.

Τοῦτο ἐμφαίνεται εἰς τά ἀκόλουθα σχήματα ὅπου δίδονται τά α καί β. Τό αβγ εὑρίσκεται εὐκόλως (Σχ. 29).

3.4. Ἐντατική καί παραμορφωτική κατάστασις εἰς τά φράγματα.

Ἡ ἐπίπεδος ἐντατική κατάστασις ἐμελετήθη κατ' ἀρ-



(Σχ. 29)

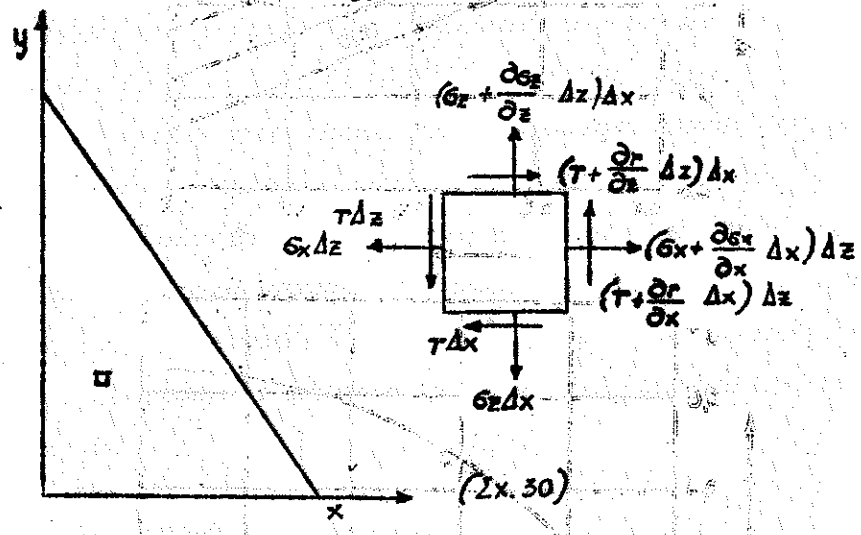
χήν πρό ἑκατονταετίας ὑπό τοῦ N. Lévy.

Αὕτη ὁρίζεται ἐκ τῶν τριῶν ἀνεξαρτήτων δυνάμεων τῶν τάσεων, ἤτοι συνήθως τῶν σ_x, σ_y καί Σ_{xy}, αἵτινες εἶναι συνάρτησις τῶν x καί y.

Ἡ μεταβολή αὐτῶν ὁριζοντίως ἤ καθέτως εἶναι τά διαφορικά αὐτῶν κλάσματα.

Ἡ ἰσορροπία τοῦ συστήματος (προβολαί, x, y καί ῥοπαί ὡς πρός τό κέντρον 0) δίδει:

$$(21)\quad \begin{cases} R_x = 0 = -\sigma_x \Delta z + \left(\sigma_x + \dfrac{\partial \sigma_x}{\partial x}\Delta x\right)\Delta z - \tau \Delta x + \left(\tau + \dfrac{\partial \tau}{\partial z}\Delta z\right)\Delta x + m_x \Delta x \Delta z \\ R_z = 0 = -\sigma_z \Delta x + \left(\sigma_z + \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z}\Delta z\right)\Delta x - \tau \Delta z + \left(\tau + \dfrac{\partial \tau}{\partial x}\Delta x\right)\Delta z + m_z \Delta x \Delta z \\ M = 0 = \tau \Delta x \Delta z + \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial \tau}{\partial z}\Delta x \Delta x \Delta z - \tau \Delta z \Delta x - \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial \tau}{\partial x}\Delta x \Delta x \Delta z \end{cases}$$



(Σχ. 30)

Ἐξ αὐτῶν ἡ τρίτη εἶναι ταυτότης $0 \equiv 0$ (διότι ἐλήφθη ὡς γνωστόν ὅτι αἱ τ εἶναι ἴσαι ἀνά δύο $\tau_{xy} = \tau_{yx}$)

Ἄρα ἔχομεν διά τάς τρεῖς ἀγνώστους σ_x σ_y τ_{xy} τάς δύο ἐξισώσεις:

$$(22)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \dfrac{\partial \tau}{\partial z} = -m_x \\ \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \dfrac{\partial \tau}{\partial x} = -m_z \end{cases}$$

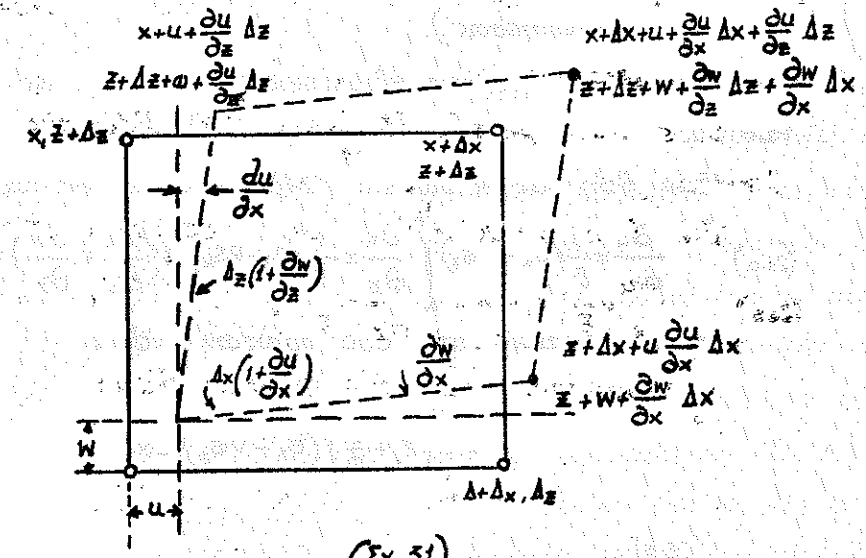
Ζητεῖται τρίτη ἐξίσωσις ἥν θά μᾶς δώσῃ ἡ θεωρία τῆς ἐλαστικότητος.

Ἔστω ε_x καί ε_z αἱ ἀνηγμέναι παραμορφώσεις, ε_{xz} ἡ ὀλίσθησις καί

$$\tau = \frac{1}{m} = \frac{1}{\text{συν/της Poisson}} = \frac{\varepsilon\ \text{ἐγκ.}}{\varepsilon\ \text{ἐπιμ.}} \cong \frac{1}{6}\ \text{(beton)}$$

(23) $\left\{ \varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_z) \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu\sigma_x) \quad \varepsilon_{xz} = \frac{2(1+\nu)}{E}\tau \right\}$

(23)' $\left\{ \sigma_x = E'(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_z) \quad \sigma_z = E'(\varepsilon_z + \nu\varepsilon_x) \quad \tau = E'\left(\frac{1-\nu}{2}\right)\varepsilon_{xz} \right\}$



(Σχ. 31)

ἔνθα :

$$E' = \frac{E}{1-\nu^2} = \sim 1{,}027\, E$$

Ἐκ τοῦ σχήματος προκύπτουν αἱ ἐξισώσεις (ἐπιμήκυνσις διαφορά θέσεων).

(24) $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \quad \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$ ... ἐξισώσεις μετακινήσεως + παραμορφώσεις.)

Ἐν συνδυασμῷ μέ τάς ἀνωτέρω (23)' ἔχομεν :

(25) $\sigma_x = E'\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \nu\frac{\partial w}{\partial z}\right) \quad \sigma_z = E'\left(\frac{\partial w}{\partial z} + \nu\frac{\partial u}{\partial x}\right) \quad \tau = E'\left(\frac{1-\nu}{2}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)$

Ἐκ τῶν τριῶν τούτων ἐξισώσεων (25) διά τάς u καί w, ἔχομεν δι' ἀπαλείψης αὐτῶν μίαν τρίτην ἐξίσωσιν μεταξύ τῶν σ_x, σ_z καί τ ἥτις ἀποτελεῖ τήν αἰτουμένην τρίτην ἐξίσωσιν, εἰς τάς ἐξισώσεις (22) πρός εὕρεσιν τῶν τάσεων.

Αἱ ἐξισώσεις (25) διά διπλοῦ διαφορισμοῦ αὐτῶν

και ἁπλῶν μετασχηματισμῶν δίδουν τὴν ἐξίσωσιν:

(25) $$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(\sigma_x+\sigma_z)+\frac{\partial^2}{\partial z^2}(\sigma_x+\sigma_z)=(1-\nu)\left(\frac{\partial^2\sigma_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\sigma_z}{\partial z^2}+2\frac{\partial^2\tau}{\partial x\partial z}\right)$$ (συνθήκαι μετακινήσεως).

Ἤτις μαζὶ μὲ τὰς ἐξισώσεις (22) δίδει τὰς τρεῖς ἀγνώστους.

Ἐὰν ἤδη τὰς ἐξισώσεις (24) θέσωμεν εἰς τὰς (25) ἔχομεν:

(26α) $$\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{1}{E}(\sigma_x-\nu\sigma_z)\qquad\frac{\partial w}{\partial z}=\frac{1}{E}(\sigma_z-\nu\sigma_x)\qquad\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)=\frac{2(1+\nu)}{E}\tau$$

Ἡ ὁλοκλήρωσις τῶν δύο πρώτων δίδει:

$$u=\bar{u}(z)+\frac{1}{E}\int(\sigma_x-\nu\sigma_z)\,dx$$

(26β)
$$w=\bar{w}(x)+\frac{1}{E}\int(\sigma_z-\nu\sigma_x)\,dz$$

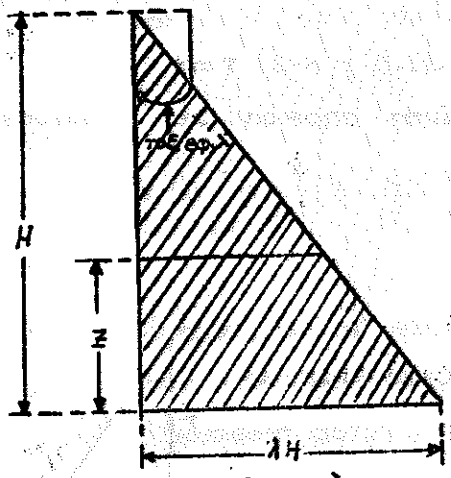
Καὶ διὰ νὰ ἐπαληθεύεται καὶ ἡ τρίτη ἐξίσωσις ἐκ τῶν 26α θὰ πρέπει νὰ ὑπάρχῃ ἡ σχέσις:

(26γ) $$\frac{d\bar{u}}{dz}+\frac{dw}{dx}=\frac{1}{E}\left[2(1+\nu)\tau-\frac{\partial}{\partial z}\int(\sigma_x-\nu\sigma_z)\,dx-\frac{\partial}{\partial x}\int(\sigma_z-\nu\sigma_x)\,dz\right]$$

Τὸ δεξιὸν μέρος τῆς (26γ) ἀναλύεται εἰς δύο ἐκφράσεις τῶν $U(z)$ καὶ $W(x)$, ἤτοι:

$$\bar{u}=a+cz+\int U(z)\,dz\qquad\text{καὶ}\qquad\bar{w}=b-cx+\int W(x)\,dz$$

3.5 Ἐντατική κατάστασις εἰς ὀρθὰ τριγωνικὰ φράγματα καὶ μὲ ὑδροπερατότητα (ὕδωρ εἰς πόρους).



(Σχ. 32).

Παραλειπομένης τῆς ἄνω διατάξεως τῆς ὁδοῦ τὸ ἀπομένον τμῆμα εἶναι καθαρῶς τριγωνικὸν φράγμα, ὅπερ διηρεύνησεν ὁ Levÿ. Ἐκ τἀ ἄλλα φορτία, προσθέτομεν καὶ τὴν ἐντατικὴν κατάστασιν ἐκ τῶν πιέσεων καὶ τριβῶν τοῦ ὕδατος τῶν πόρων. Ὡς εἴδομεν (σελὶς 30) αἱ ἐξισώσεις 20 δίδουν τὰς δυνάμεις τοῦ ὕδατος τῶν πόρων. Ἐὰν ταύτας εἰσαγάγωμεν εἰς τὰς ἐξισώσεις (22) καὶ (26) (τῶν σελ. 54, 56), θὰ λάβωμεν:

$$(27)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\dfrac{\partial \tau}{\partial z}=\beta\dfrac{\partial p}{\partial x} \qquad \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z}+\dfrac{\partial \tau}{\partial x}=\alpha\beta\dfrac{\partial p}{\partial z}+(1-\alpha)\beta\left(\dfrac{\partial p}{\partial z}+\gamma\right)+\gamma_b \chi \\ \dfrac{\partial^2(\sigma_x+\sigma_z)}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2}{\partial z^2}(\sigma_x+\sigma_z)=(1+\nu)\left(\dfrac{\partial^2\sigma_x}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2\sigma_z}{\partial z^2}+2\dfrac{\partial^2\tau}{\partial x\partial z}\right) \end{cases}$$

Διὰ κατακόρυφον τριγωνικὸν φράγμα αἱ δυνάμεις ἐκ τοῦ ὕδατος τῶν πόρων δίδονται ἐκ τῶν ἐξισώσεων (13).

$$p=\gamma\left(H-Z-\frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x}=-\frac{\gamma}{\lambda}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z}=-\gamma$$

Διά τήν λύσιν τῆς (27) ζητοῦμεν τάς ὁριακάς συνθήκας.

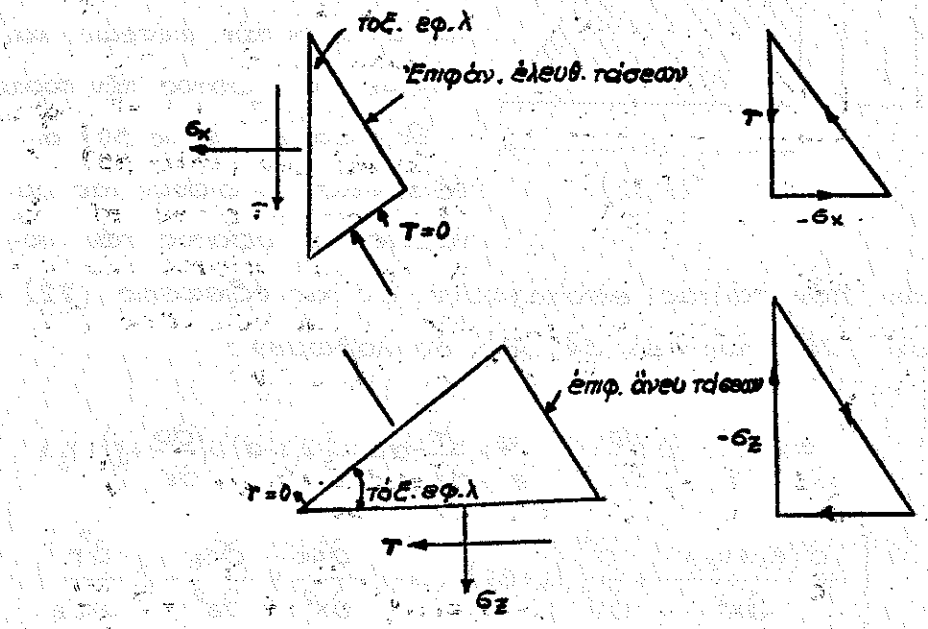
Δοθέντος ὅτι εἰς τήν ὑγράν πλευράν ὁ τοῖχος ἐπιχρίεται διά σιμέντου (πόροι β) ἡ πίεσις ἔσται :

(πλευρά ὕδατος) $p' = (1-\beta)\cdot\gamma\,(H-z)$

καί αἱ τάσεις :

(πλευρά ὕδατος) $\sigma_x^{(x=0)} = -(1-\beta)\,\gamma\,(H-z)$ $\tau = 0$ (28)

Ἐξ ἄλλου εἰς τήν κατάντη παρειάν δέν ἀναπτύσσον-



(Σχ. 33) Ὁριακαί συνθῆκαι εἰς πλευράν ἀέρος.

ται οὔτε ὀρθαί οὔτε ἐπιφανειακαί τάσεις. Αἱ ἐδῶ ἀνήκουσαι ἐξισώσεις ἰσορροπίας προκύπτουν ἐκ τῶν ἐξισώσεων

(6) ἐάν θέσωμεν $\sigma_n = \tau_n = 0$ διά $\varphi = \text{arc.tg}\,\lambda$. Ἐν ταύτοις ἐκ τῶν ἐν σελίδι 58 σχημάτων, λαμβάνομεν ἀμέσως:

$$\sigma_x = -\lambda\tau$$

$$\tau = -\lambda\sigma_z \quad (29) \text{ πλευρά κατάντη}$$

Ἐντεῦθεν ἡ λύσις τῶν ἐξισώσεων (27) ἔχει ὡς ἑξῆς:

$$\sigma_x = -\frac{x\gamma}{\lambda} - (1-\beta)\gamma\left(H - z - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\sigma_z = -\frac{z\gamma}{\lambda} + \gamma\left(\beta + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{\gamma_b}{\gamma}\right)\left(H - z - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad \tau = \frac{x\gamma}{\lambda^2} \qquad (30)$$

ὡς ἀποδεικνύεται εὐκόλως ἐάν θέσωμεν τάς τιμάς ταύτας εἰς τάς ἐξισώσεις (27).

Αἱ ἐξισώσεις αὗται (30) ἀποτελοῦν γενίκευσιν τοῦ κανόνος τοῦ τραπεζίου.

Διά τόν ὑπολογισμόν τῶν φραγμάτων βαρύτητος, ζητοῦμεν νῦν τήν τιμήν ἐκείνην τοῦ λ διά τήν ὁποίαν ἡ τάσις θλίψεως εἰς τόν πόδα πρός τά ἀνάντη θά εἶναι μηδέν. Τοῦτο θά προκύψῃ ἄν εἰς τάς ἐξισώσεις (30) θέσωμεν $\sigma_z = 0$ διά $x = 0$. Δοθέντος ὅτι $(H-z)$ εἶναι πάντα θετικόν, ὁ μηδενισμός τῆς σ_z προκύπτει ἄν:

$$\alpha\beta + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{\gamma_b}{\gamma} = 0$$

ἤτοι διά $\lambda = \sqrt{\dfrac{\gamma}{\gamma_b - \alpha\beta\gamma}}$ (31)

Ἐάν ἤδη καλέσωμεν γ_b' τό βάρος τοῦ φράγματος ἐλαττόμενον κατά τήν κατακόρυφον συνιστῶσαν τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος τῶν πόρων (ἄνωσις) ἤτοι:

$$\gamma_b' = \gamma_b - \alpha\beta\cdot\gamma$$

τότε ἐκ τῶν (30) καὶ (31) λαμβάνομεν :

$$\sigma_z = -\frac{x\gamma}{\lambda^3} - \left(\gamma_b - \frac{\gamma}{\lambda^2}\right)(H - z - \frac{x}{\lambda}) \qquad \lambda = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_b}} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_b - \alpha\beta\gamma}}$$

Αἱ κύριαι τάσεις μᾶς ἐνδιαφέρουν εἰς τὴν πρὸς τὰ κατάντη πλευράν.

Ἐκεῖ διὰ $x = \lambda(H-z)$ ἔχομεν ὀρθὰς τάσεις :

$$(33) \qquad \left\{ \begin{array}{ll} \sigma_x = -\gamma(H-z) & \\ \sigma_z = -\dfrac{\gamma(H-z)}{\lambda^2} & \tau = \gamma\left(\dfrac{H-z}{\lambda}\right) \end{array} \right\}$$

ἤτοι ἀνεξάρτητοι τῆς πιέσεως τῶν πόρων τοῦ ὕδατος, ὅπερ ἀνεμένετο, ἐφ' ὅσον εἰς τὸ ὑπ' ὄψιν σημεῖον τὸ pw/γ γίνεται μηδέν.

Αἱ κύριαι τάσεις τώρα, θὰ εἶναι (συμφώνως πρὸς τὰς ἐξισώσεις 9, σελ. 47):

$$\sigma_{1,2} = -\frac{\gamma(H-z)}{2}\left[\left(1+\frac{1}{\lambda^2}\right) \pm \sqrt{\left(1-\frac{1}{\lambda^2}\right)^2 + \frac{4}{\lambda^2}}\right] = -\frac{\gamma(H-z)}{2}\left[\left(1+\frac{1}{\lambda^2}\right) \pm \left(1+\frac{1}{\lambda^2}\right)\right]$$

ἤτοι

$$(34) \qquad \left\{ \begin{array}{ll} \sigma_1 = -\gamma(H-z)\left(1+\dfrac{1}{\lambda^2}\right) & \sigma_2 = 0 \\ \tau_{1,2} = \pm\dfrac{1}{2}\sigma_1 & \end{array} \right\} \left[\begin{array}{l} \text{κατάντη} \\ \text{πλευρά} \end{array} \right]$$

ἤτοι καὶ αἱ κύριαι τάσεις εἶναι ἀνεξάρτητοι τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος τῶν πόρων.

Αἱ μέγισται τάσεις λαμβάνουν χώραν διὰ $z = 0$ εἰς τὴν κατάντη πλευράν. Αὗται εἶναι :

$$\sigma_x^{max} = -\gamma H \qquad \sigma_z^{max} = -\frac{\gamma H}{\lambda^2} \qquad \tau^{max} = \frac{\gamma H}{\lambda}$$

$$\sigma_1^{max} = -\gamma H\left(1+\frac{1}{\lambda^2}\right) \qquad \tau_{1,2}^{max} = \frac{1}{2}\sigma_1^{max}$$

διά $\gamma = 10$ $H = 100$ μ. $\lambda = 0.707$ ἔχομεν

$$\sigma_x^{max} = -10 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\gamma H = 1000 \text{ Kg/m}^3 \quad 100^m = 100\,000 \text{ Kg/m}^2 = 10 \text{ Kg/cm}^2$$

3.6. Τροχιαί τάσεων εἰς ὀρθογών. τρίγωνον.

Ὡς εἴδομεν ἀνωτέρω (σελ. 10) ἡ διαφορική ἐξίσωσις τῶν τροχιῶν τῶν κυρίων τάσεων εἶναι :

$$1 - \left(\frac{dx}{dz}\right)^2 + 2\,\frac{dx}{dz}\,\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2\tau} = 0 \qquad (10)$$

συμφώνως πρός τάς ἐξισώσεις (30)

$$\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2\tau} = \frac{A.z - B(H-z)}{z} \qquad (35)$$

ἔνθα διά κατακόρυφον τοιοῦτον :

$$A = \frac{1}{\lambda} - \frac{\lambda}{2}\left(\beta + \frac{\gamma' b}{\gamma}\right)$$

$$B = \frac{1+\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^2}{2}\left(\beta + \frac{\gamma' b}{\gamma}\right) \qquad (35')$$

ἔνθα : $\left(\beta + \frac{\gamma' b}{\gamma}\right)$ ἐλάχιστα διαφέρει ἀπό $\gamma' b$

ἐξ οὗ συμπεραίνομεν ὅτι ἡ ἐπιρροή τοῦ ὕδατος τῶν πόρων **ἐλαχίστην** σημασίαν ἔχει ἐπί τῶν τροχιῶν τῶν τάσεων.

Ἐάν θέσωμεν $\frac{dx}{dz} = p$ ὡς παράμετρον καί λάβωμεν ὑπ' ὄψιν τήν ἐξίσωσιν (35) τότε ἡ διαφορική ἐξίσωσις γίνεται :

$$x(1-p^2) + 2p(Ax - B(H-z)) = 0 \qquad (36)$$

ἤ $$x = \frac{2BP(H-z)}{1-p^2+2Ap} \qquad (37)$$

καὶ διαφορίζοντες τὴν (36) ὡς πρὸς (z):

$$p(1-\beta^2)+2p(Ap+B)-2Bp'(H-z)+2p'x(A-p)=0 \qquad (38)$$

καὶ ἀντικαθιστῶντες τὸ x ἐκ τῆς (37)

$$p(p^2-2Ap-1-2B)(p^2-2Ap-1)=2Bp'(H-z)(p^2+1) \qquad (39)$$

ἤδη διαχωρίζομεν ταὶς μεταβλητάς, πρὸς ὁλοκλήρωσιν, ἔχομεν:

$$\frac{1}{2B(H-z)}=\frac{p'(p^2+1)}{p(p^2-2Ap-1)(p^2-2Ap-1-2B)} \qquad (40)$$

καὶ ὁλοκληροῦντες ὡς πρὸς (H-z):

$$\int\frac{d(H-z)}{2B(H-z)}=\int\frac{-(p^2+1)\,dp}{p(p^2-2Ap-1)(p^2-2Ap-1-2B)} \qquad (41)$$

Ἐὰν θέσωμεν μ μίαν σταθερὰν ὁλοκληρώσεως καί

$$\left.\begin{aligned}&\mu=\frac{2}{\lambda}-\left(\beta-1-\frac{\gamma'b}{\gamma}\right)\lambda\\&\frac{\mu^2+1}{\mu(\lambda+\mu)}+\frac{\lambda^2+1}{\lambda(\lambda+\mu)}=1+\frac{1}{\lambda\mu}\end{aligned}\right\} \qquad (42)$$

καὶ

$$\left.\frac{1}{p}=\frac{dz}{dx}=\text{εφ}\cdot\varphi\right\}$$

ἡ (41) ὁλοκληροῦται ὡς ἑξῆς:

Τὸ ἀριστερὸν τμῆμα ὁδηγεῖ εἰς λογάριθμον. Ὁμοίως τὸ δεξιὸν ἐὰν διαχωρίσωμεν τὰ μερικὰ διαφορικά. Ἐὰν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν καὶ τὰς τιμὰς A καὶ B ἐκ τῆς (35) ἔχομεν:

$$|H-z|=K\frac{p^2-p(\mu-\lambda)+1}{\left(1-\frac{1}{\lambda\mu}\right)\left(\frac{\mu^2+1}{\mu(\lambda+\mu)}\right)\left(\frac{\lambda^2+1}{\lambda(\lambda+\mu)}\right)} \qquad (43)$$

$$[p]\qquad[p-\mu]\qquad[p+\lambda]$$

$$x = k \frac{\left[-(\lambda\mu - 1)\right]\left[p\right]^{\frac{1}{\lambda\mu}}}{\left[p-\mu\right]^{\frac{\mu^2+1}{\mu(\lambda+\mu)}} \cdot \left[p+\lambda\right]^{\frac{\lambda^2+1}{\lambda(\lambda+\mu)}}} \qquad (43)$$

αἵτινες ἀναεχηματίζονται ἐάν λάβωμεν καί τάς (42) ὡς ἑξῆς:

$$\begin{cases} H - z = K \dfrac{1 - (\mu-\lambda)\,\varepsilon\varphi.\varphi - \varepsilon\varphi^2\varphi}{(1-\mu\,\varepsilon\varphi\varphi)^{\frac{\mu^2+1}{\mu(\mu+\lambda)}} \left[1+\lambda\,\varepsilon\varphi\varphi\right]^{\frac{\lambda^2+1}{\lambda(\lambda+\mu)}}} \\ \text{καί} \\ x = K \dfrac{\left[-(\lambda\mu-1)\,\varepsilon\varphi\varphi\right]}{\left[1-\mu\,\varepsilon\varphi\varphi\right]^{\frac{\mu^2+1}{\mu(\lambda+\mu)}} \left[1+\lambda\,\varepsilon\varphi\varphi\right]^{\frac{\lambda^2+1}{\lambda(\lambda+\mu)}}} \end{cases} \qquad (44)$$

Αἱ ἐξισώσεις αὗται μᾶς δίδουν ἁπλῆν ἔκφρασιν τῶν τροχιῶν τῶν ταίσεων, συναρτήσει τῆς παραμέτρου (φ).

(Διά κάθε γωνίαν φ εὑρίσκομεν τάς συντεταγμένας H-Z καί x τῆς καμπύλης τῶν τροχιῶν τῶν κυρίων ταίσεων.).

Γενική διερεύνησις καί παράδειγμα.-

Αἱ ὡς ἄνω ἐξισώσεις δίδουν ε καμπυλοδιαγράμματα, ἐξ ὧν ἐπί τοῦ προκειμένου ἐνδιαφέρουν τά ἐμπίπτοντα ἐντός τῆς τριγωνικῆς διατομῆς.

Οὕτω παρατηροῦμεν ἐν πρώτοις ὅτι ἕν τῶν δικτύων τῶν τροχῶν τέμνει καθέτως τήν κατακόρυφον πλευράν τῆς πρός τό ὕδωρ πλευρᾶς τοῦ φράγματος καί τείνει ἀσυμπτώτως πρός τήν πρός τά κατάντη πλευράν τοῦ φράγματος.

Ἐξ ἄλλου ἕτερον τῶν δικτύων τέμνει τὸ πρῶτον καθέτως μὲ ἀνταλλαγὴν τῶν συνθηκῶν εἰς τὰς ἀνάντη καὶ κατάντη πλευρὰς τοῦ φράγματος.

Οὕτω βλέπομεν ὅτι διά :

$\varepsilon\varphi\varphi = 0$	$x = 0$	$H-Z = K$	$Z = H-K$
$\varepsilon\varphi\varphi = \infty$	$x = 0$	$H-Z = \infty$	$Z = \infty$
$\varepsilon\varphi\varphi = -\frac{1}{\lambda}$	$x = \infty$	$H-Z = \infty$	$Z = \infty$
$\varepsilon\varphi\varphi = \lambda$	$x = \lambda(H-Z)$ ← ἐξίσωσις τῆς κατάντης πλευρᾶς.		

Ἔστω ἀριθμητικὸν παράδειγμα :

$\lambda = 0{,}73 \quad \gamma_b = 2{,}30 \quad \beta = 0{,}60 \quad \alpha\beta = 0{,}50 \quad \gamma_b' = 1{,}80$

τότε ἔχομεν :

$$\mu = \frac{2}{0{,}73} - (0{,}60 - 1 + 1{,}80)\ 0{,}73 = 1{,}72$$

$$\frac{1}{\lambda\mu} = 0{,}797 \qquad \lambda\mu = 1{,}255$$

$$\mu - \lambda = 0{,}99 \qquad \frac{\mu^2+1}{\mu(\mu+\lambda)} = 0{,}940 \qquad \frac{\lambda^2+1}{\lambda(\lambda+\mu)} = 0{,}857$$

ὁπότε αἱ ἐξισώσεις (44) γίνονται :

$$\left.\begin{aligned} |H-Z| &= K\,\frac{1-0{,}99\,\varepsilon\varphi\varphi+\varepsilon\varphi^2\varphi}{(1-1{,}72\,\varepsilon\varphi\varphi)^{0{,}940}\cdot(1+0{,}73\,\varepsilon\varphi\varphi)^{0{,}857}} \\ |x| &= K\,\frac{}{|1-1{,}72\,\varepsilon\varphi\varphi|^{0{,}940}\cdot|1+0{,}73\,\varepsilon\varphi\varphi|^{0{,}857}} \end{aligned}\right\} \quad (45)$$

Διὰ τὸ δίκτυον τῶν καμπυλῶν αἵτινες ἐκπορεύονται ἐκ τῆς κατακορύφου παρειᾶς τῶν ἀνάντη ἡ $\varepsilon\varphi\varphi$ εἶναι πάντοτε ἀρνητικὴ καὶ κυμαίνεται ἀπὸ 0 ἕως $-1{,}37$ ($\lambda = 0{,}73$).

Δεκάμενοι διαφόρους τιμὰς αὐτῆς ἀνὰ 0,30 ἔχομεν :

εφ.φ	1.1,72 εφ.φ	log	0,940 log	$(1-172\,\text{εφ.φ})^{0,940}$
- 0,00	1	0	0,0	1,0
- 0,30	1,52	0,1818	0,171	1,48
- 0,50	2,03	0,3075	0,290	1,95
- 0,90	2,55	0,4065	0,382	2,41
- 1,20	3,06	0,4857	0,458	2,86
- 1,37	3,36	0,5263	0,495	3,13

εφ.φ	1+0,73 εφ.φ	log	0,857 log	$(1+0,73\,\text{εφφ})^{0,857}$
± 0,0	1,00	0,000	0,00	1,0
- 0,30	0,78	0,892 - 1	0,908 - 1	0,81
- 0,60	0,56	0,748 - 1	0,784 - 1	0,61
- 0,90	0,34	0,531 - 1	0,598 - 1	0,397
- 1,20	0,124	0,043 - 1	0,223 - 1	0,168
- 1,37	0,00	—	—	0,000

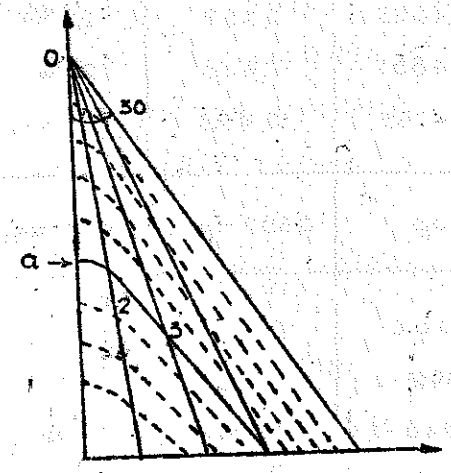
ήτοι, τελικῶς λαμβάνομεν :

εφφ	0,0	0,30	0,60	0,90	1,20	1,37
(H-z):k	1,0 0	1,01	1,04	1,13	1,56	∞
z/k	0,0	0,064	0,129	0,24	0,64	∞

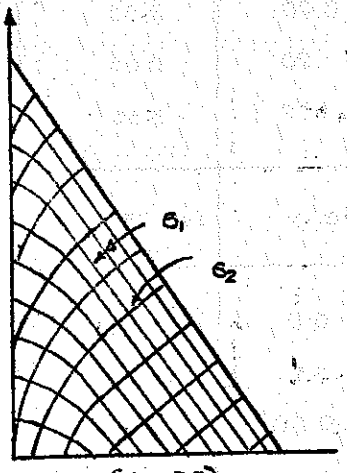
ὅπου διά κάθε τιμήν τοῦ κ ἀντιστοιχεῖ μία καμπύλη τοῦ δικτύου. Οὕτω ἐάν θέσωμεν $k = 1/2\,H'$ λαμβάνομεν τήν καμπύλην α (βλέπε σχ. 34)

5ον

Ἤδη παρατηροῦμεν ὅτι διά διαφόρους τιμάς τοῦ κ ὁ λόγος $\frac{(H-z)\,:\,x}{x\,:\,k}$ εἶναι ἀνεξάρτητος τοῦ κ καί εἶναι συνάρτησις τοῦ φ μόνον, ἤτοι ὁ γεωμετρικός τόπος τῶν σημείων μέ τήν αὐτήν τιμήν τοῦ $(H-z):x$ εἶναι εὐθεία συντρέχουσα εἰς τήν κορυφήν 0 τοῦ φράγματος



(Σχ. 34)



(Σχ. 35).

Ἐάν τώρα φέρωμεν διαφόρους ἀκτῖνας ἐκ τοῦ 0, καί τά προκύπτοντα τμήματα (0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4) διαιρέσωμεν εἰς (η) ἴσα μέρη καί συνενώσωμεν αὐτά λαμβάνομεν καί τάς **ἄλλας καμπύλας** (διότι ἑκάστη νέα καμπύλη θά ἀντιστοιχῇ εἰς λόγους κ ἴσους πρός k/η, $2k/\eta$, $3k/\eta$ κ.ο.κ., οὕτω χαράσσονται αἱ καμπύλαι σ_1.

Αἱ σ_2 χαράσσονται καθέτως καί εἰς ἴσους ἀποστάσεις πρός αὐτάς (βλ. σχ. 35).

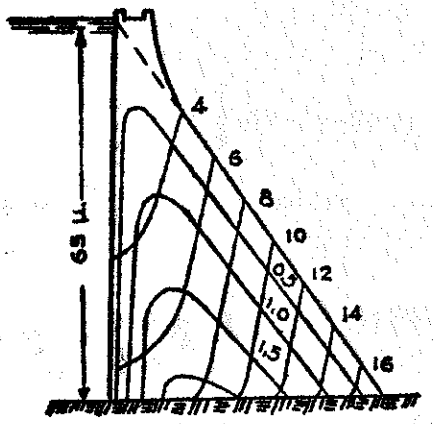
Βλέπομεν ἐκ τοῦ σχήματος ὅτι αἱ τροχιαί μεγίστων τάσεων σ_1 παραλαμβάνουν τάς πιέσεις τοῦ ὕδατος καί δι' ἀποκλίσεως λόγῳ τοῦ ἰδίου βάρους μεταφέρουν αὐτάς

εἰς τὴν θεμελίωσιν.

Καθέτως αἱ ἐλάχισται τάσεις σ_2.

Γραμμαὶ ἴσων κυρίων τάσεων.

Πλὴν τῶν τροχιῶν τῶν κυρίων τάσεων μᾶς ἐνδιαφέρουν εἰσέτι αἱ καμπύλαι ἴσων κυρίων τάσεων.



Αὗται εἶναι διὰ σ, παράλληλοι πρὸς τὰς δύο πλευρὰς τοῦ φράγματος, αὐξάνουσαι μετὰ τοῦ βάθους.

Αἱ σ_2 εἶναι κάθετοι πρὸς αὐτάς.

(Σχ.36).

3.7. Ἡ ἐλαστικὴ παραμόρφωσις εἰς τριγωνικὰ ὁλόσωμα φράγματα.

Αἱ βασικαὶ σχέσεις διὰ τὰς ἐλαστικὰς παραμορφώσεις ἐδόθησαν ἤδη εἰς τὰς ἐξισώσεις 26β καὶ 26γ (βλ. σελ.56).

Ἐφαρμοζόμεναι αὗται εἰς τριγωνικὴν διατομὴν φράγματος μὲ κατακόρυφον παρειάν (βλ. ἐξισώσεις 30 καὶ 32, σελ.59-60) δίδουν τὴν γενικὴν λύσιν:

(16)
$$\begin{cases} u = \bar{u}(z) - \frac{X}{E}\left[\frac{X\gamma}{2\lambda}\left(1-\frac{\nu}{\lambda^2}\right)+\left(H-z-\frac{X}{2\lambda}\right)(1-\beta)\gamma+\nu\left(\frac{\gamma}{\lambda^2}-\gamma_b'\right)\right] \\ w = \bar{w}(x) + \frac{z}{E}\left[\frac{X\gamma}{\lambda}\left(\nu-\frac{1}{\lambda^2}\right)+\left(H-\frac{z}{2}-\frac{x}{\lambda^2}\right)\left[(1-\beta)\gamma\nu+\frac{\gamma}{\lambda^2}-\gamma_b'\right]\right] \end{cases}$$

$$\frac{du}{dz}+\frac{dw}{dx} = -\frac{x}{E}\left[(1-\beta-\frac{2}{\lambda^2})\gamma-\nu\left(\frac{\gamma}{\lambda^2}+\gamma_b'\right)\right]-\frac{z}{E\lambda}\left[\beta\gamma\nu-\left(\frac{2\gamma}{\lambda^2}-\gamma_b'\right)\right]$$

ἐξ ὧν ἡ τελευταία ἐξίσωσις διασπᾶται ὡς ἀκολούθως:

$$\frac{d\bar{u}}{dz}=-\frac{z}{E\lambda}\left[\beta\gamma\nu-\left(\frac{2\gamma}{\lambda^2}-\gamma_b'\right)\right]$$

$$\frac{d\bar{w}}{dx}=-\frac{x}{E}\left[\left(1-\beta-\frac{2}{\lambda^2}\right)\gamma-\nu\left(\frac{\gamma}{\lambda^2}+\gamma_b'\right)\right]$$

καὶ ἡ ὁλοκλήρωσις αὐτῆς δίδει :

$$\bar{u}=a+cz-\frac{z^2}{2E\lambda}\left(\gamma\beta\nu-\frac{2\gamma}{\lambda^2}+\gamma_b'\right)$$

$$\bar{w}=b-cx-\frac{x^2}{2E}\left[(1-\beta)\gamma-\frac{\gamma}{\lambda^2}(2+\nu)-\nu\gamma_b'\right]$$

Ἐὰν ἤδη θέσωμεν τὰς ἐξισώσεις ταύτας εἰς τὰς ἀρχικὰς ἀς ἄνω ἐξισώσεις λαμβάνομεν :

$$(47)\begin{cases}\bar{u}=a+cz+\dfrac{x}{E}\left[\dfrac{x\gamma}{\lambda}\left(1-\dfrac{\nu}{\lambda^2}\right)+\left(H-z-\dfrac{x}{2\lambda}\right)\left[(1-\beta)\gamma+\nu\left(\dfrac{\gamma}{\lambda^2}-\gamma_b'\right)\right]-\dfrac{z^2}{2E\lambda}\left(\beta\gamma\nu-\dfrac{2\gamma}{\lambda^2}+\gamma_b'\right)\right]\\ \bar{w}=b-cx+\dfrac{z}{E}\left[\dfrac{x\gamma}{\lambda}\left(\nu-\dfrac{1}{\lambda^2}\right)+\left(H-\dfrac{z}{2}-\dfrac{x}{\lambda}\right)\left[(1-\beta)\gamma\nu+\dfrac{\gamma}{\lambda^2}-\gamma_b'\right)\right]-\dfrac{x^2}{2E}\left(1-\beta\right)\gamma\dfrac{\gamma}{\lambda^2}(2+\nu)+\nu\gamma_b'\right]\end{cases}$$

Αἱ ἐξισώσεις αὗται τῆς ἐλαστικότητος δίδουν τὰς μετακινήσεις διὰ τῶν συντεταγμένων αὐτῶν u καὶ w εἰς οἱονδήποτε σημεῖον τοῦ σώματος. Διὰ τὰς τρεῖς ἐλευθερίας κινήσεως ἐν τῷ χώρῳ δίδονται αἱ τρεῖς αὐθαίρετοι σταθεραὶ a, b, c, αἵτινες δύνανται νὰ προσδιορισθῶσιν εὐθὺς ἀς δοθῶσιν ὁρισμέναι συνθῆκαι μετακινήσεως.

Οὕτω διὰ τὴν περίπτωσιν κενῆς λίμνης, ὁπότε $\gamma=0$ καὶ γ_b ἔχομεν :

$$\left.\begin{aligned}\bar{u}&=a'+cz+\frac{x}{E}\left(H-z-\frac{x}{2\lambda}\right)\nu\gamma_b-\frac{z^2\gamma_b}{2E}\\ \bar{w}&=b'+c'x-\frac{z}{E}\left(H-\frac{z}{2}-\frac{x}{\lambda}\right)\gamma_b+\frac{x^2\nu\gamma_b}{2E}\end{aligned}\right\}\text{κενὴ λίμνη (48).}$$

Ἐὰν θέσωμεν τώρα τὴν πλευράν πυθμένος ὡς εὐθεῖαν καί θεωρήσωμεν τό πρός τά κάτωτη ἄκρον αὐτῆς σταθερόν ἤτοι ἐάν θέσωμεν περιορισμόν εἰς τάς συνθήκας ἐλευθερίας κινήσεως ὡς κάτωθι :

$$\left.\begin{matrix} u = 0 \\ w = 0 \end{matrix}\right\} \begin{matrix} \text{διά} \quad x = \lambda H \\ \text{καί} \quad z = 0 \end{matrix} \qquad \text{καί} \quad w = 0 \left\{\begin{matrix} \text{διά} \quad x = 0 \\ \text{καί} \quad z = 0 \end{matrix}\right.$$

τότε προκύπτουν αἱ σταθεραί :

$$\left.\begin{matrix} a = \dfrac{\lambda H^2}{2E}\left[(3-\beta-\dfrac{r}{\lambda^2})\gamma - r\gamma_b'\right] \qquad b = 0 \\ c = -\dfrac{\lambda H}{2E}\left[(1-\beta)\gamma - \dfrac{\gamma}{\lambda^2}(2+r) - r\gamma_b\right] \end{matrix}\right\} \text{(49) πλήρης λίμνη.}$$

Διά τήν περίπτωσιν κενῆς λίμνης θά ἔχωμεν ἄν θέσωμεν πάλιν $\gamma = 0$; $\gamma_b = \gamma_b'$.

$$a' = \frac{\lambda H^2 r \gamma_b}{2E} \qquad b = 0 \qquad c' = +\frac{\lambda H r \gamma_b}{2E} \quad \textbf{(50)} \text{ κενή λίμνη.}$$

Ἤδη ἐξετάζομεν τάς μετακινήσεις κατά μῆκος τῶν δύο καθέτων πλευρῶν τοῦ φράγματος:

α / .- Διά $x = 0$ (ὀρθή κατακόρυφος πλευρά) :

$$\left.\begin{matrix} u = a + cz - \dfrac{z^2}{2E\lambda}\left(\beta\gamma r - \dfrac{2\gamma}{\lambda^2} + \gamma_b'\right) \\ w = \dfrac{z}{E}\left(H - \dfrac{1}{2}z\right)\left[(1-\beta)\gamma r + \dfrac{\gamma}{\lambda^2} - \gamma_b'\right] \end{matrix}\right\} \text{(51)}$$

$$\left.\begin{matrix} u' = a' + c'z - \dfrac{z^2\gamma_b}{2E\lambda} \\ w' = -\dfrac{z\gamma_b}{E}\left(H - \dfrac{1}{2}z\right) \end{matrix}\right\} \text{(52) κενή λίμνη.}$$

β/.. Διά $z=0$ (όριζοντία πλευρά πυθμένος).

$$\begin{cases} u = \alpha - \frac{x}{E}\left[\frac{xy}{\lambda}\left(1-\frac{r}{\lambda^2}\right)+\left(H-\frac{x}{2\lambda}\right)\left[(1-\beta)\gamma+r\left(\frac{\gamma_b}{\lambda^2}-\gamma_b'\right)\right]\right] & \text{πλήρης λίμνη.} \\ u = \frac{x(\lambda H-x)}{2E}\left[(1-\beta)\gamma-\frac{\gamma}{\lambda^2}(2+r)-r\gamma_b\right] & \text{πλήρης λίμνη.} \end{cases}$$

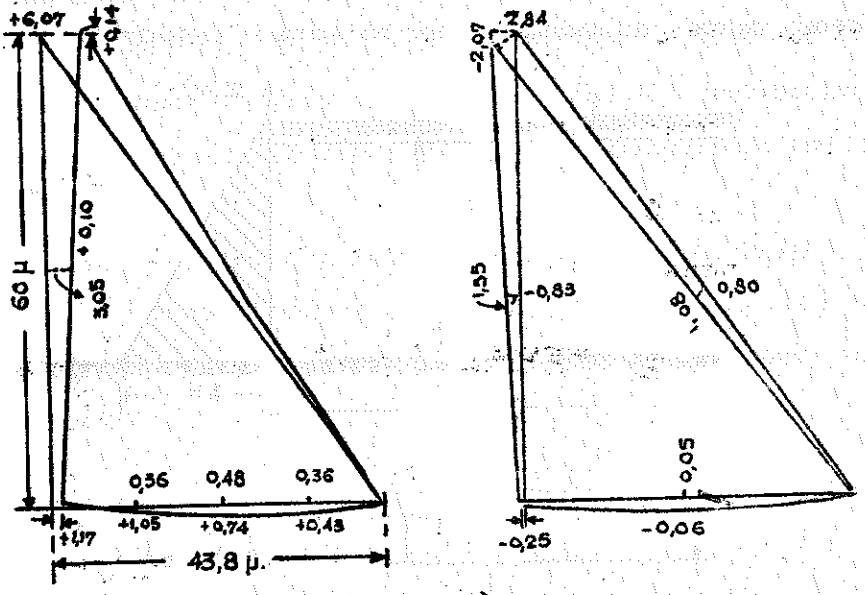
$$\left.\begin{aligned} u' &= \alpha' + \frac{x}{E}\left(H-\frac{x}{2\lambda}\right) r\gamma_b \\ w' &= -\frac{x(\lambda H-x)}{2E}\,\nu\cdot\gamma_b \end{aligned}\right\} \text{κενή λίμνη.}$$

Παράδειγμα..

Διά $H = 60{,}0$ μ. $\gamma_b = 2{,}3\ t/m^3$, $\lambda = 0{,}73$ $\beta = 0{,}60$ $\alpha\beta = 0{,}50$
$\gamma_b' = 1{,}8\ t/m^3$ $r = 1/6$
$E = 2000000\ t/m^3$. Έχομεν:

$x=0$	$u = 1{,}17 + 0{,}0435\,z + 0{,}000637\,z^3$	πλήρης λίμνη
	$w = 0{,}0045\,z - 0{,}0000375\,z^2$	
	$u' = -0{,}252 + 0{,}0042\,z - 0{,}00079\,z^2$	κενή λίμνη
	$w' = -0{,}069\,z + 0{,}000575\,z^2$	
$z=0$	$u = 1{,}17 - 0{,}0123\,x - 0{,}000323\,x^2$	πλήρης λίμνη.
	$w = -0{,}0435\,x + 0{,}00099\,x^2$	
	$u' = -0{,}252 + 0{,}0115\,x - 0{,}000132\,x^2$	κενή λίμνη.
	$w' = -0{,}0042\,x + 0{,}000096\,x^2$	

Ένθα: x, z εἰς μέτρα
u, w, u', w' εἰς χιλιοστά



(Σχ. 37).

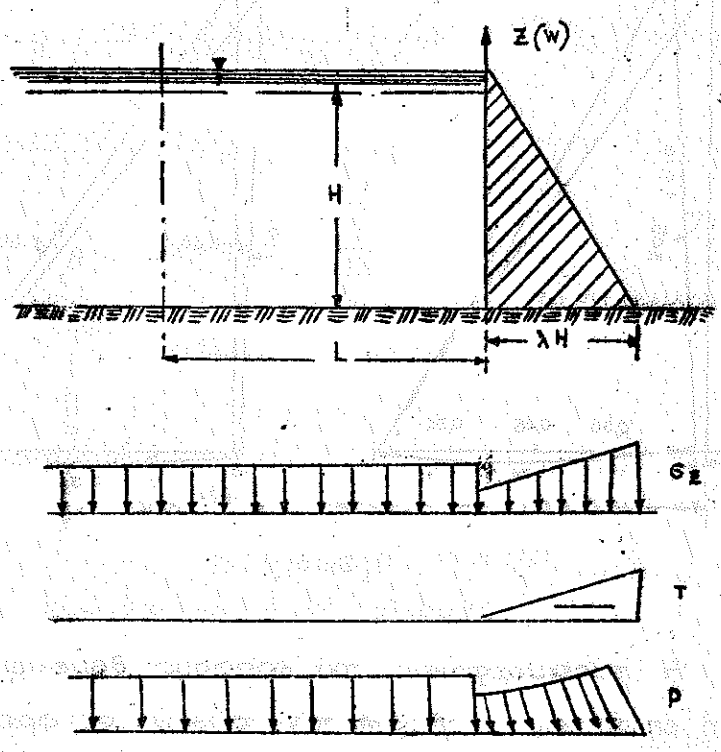
3.8. Ἡ παραμόρφωσις τοῦ ἐδάφους θεμελιώσεως καὶ ἡ ἐπίδρασις αὐτῆς ἐπὶ τῶν τάσεων τοῦ φράγματος.

I. Ἡ παραμόρφωσις τοῦ ἐδάφους.

Ἡ ἀνωτέρω διερεύνησις τῶν τάσεων τῶν φραγμάτων ἐγένετο μὲ τὴν προϋπόθεσιν ὅτι τὰ φράγματα ἀποτελοῦν ἐλαστικὸν φορέα φορτιζόμενον μὲ τὰ δοθέντα ἐξωτερικὰ φορτία (βάρος, πιέσεις ὕδατος ἐκ τῶν πλαγίων, ἄνωσις κ.τ.λ.).

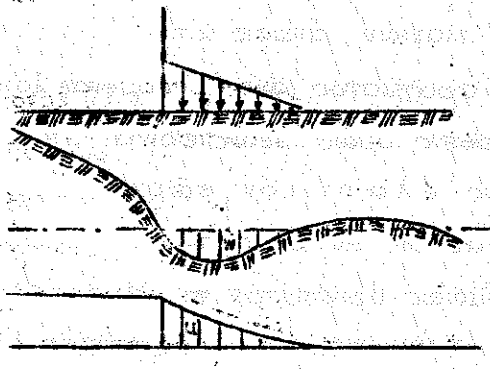
Αἱ ἐπὶ τῆς βάσεως τοῦ φράγματος ἀναπτυσσόμεναι λόγῳ τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων τάσεις ὅμως μεταδίδονται ἐπὶ τοῦ ἐδάφους, ὅπερ εἶναι ὁμοίως ἐ λ α σ τ ι κ ὸ ν σ ῶ μ α καὶ ὑπόκειται λόγῳ τῶν φορτίων αὐτῶν εἰς ἐ λ α σ τ ι κ ὰ ς παραμορφώσεις. Παραμορφώσεις ὁμοίως ὑφίσταται τὸ ἔδαφος, ὅταν ἡ λίμνη εἶναι πλήρης, ἐκ τῶν πιέσεων τοῦ ὕδατος τῆς λίμνης ἐπὶ τοῦ ἐδάφους.

Οὕτω ἔχομεν παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους ἐκ τῆς φορτίσεως αὐτοῦ, συμφώνως πρὸς τὰ κάτωθι σχήματα.



(Σχ. 38)

Ἐάν καλέσωμεν τὴν λοξὴν ὑπὸ γωνίαν $\alpha = \alpha(\xi)$ κάτωθι τοῦ φράγματος φόρτισιν τοῦ ἐδάφους $p = p(\xi)$ καὶ λάβωμεν πάλιν τὰς τρεῖς ἐξισώσεις ἐλαστικότητος (22 καὶ 26, ἔνθα εἰς 22 δὲν εἰσέρχονται αἱ μᾶζαι, ἤτοι $m_x = m_z = 0$) καταλήγομεν εἰς τὸν ὑπολογισμὸν τῶν παραμορφώσεων (u, w) δι' ἄρκετα πολυπλόκων τύπων, δι' ἑκάστην ἐκ

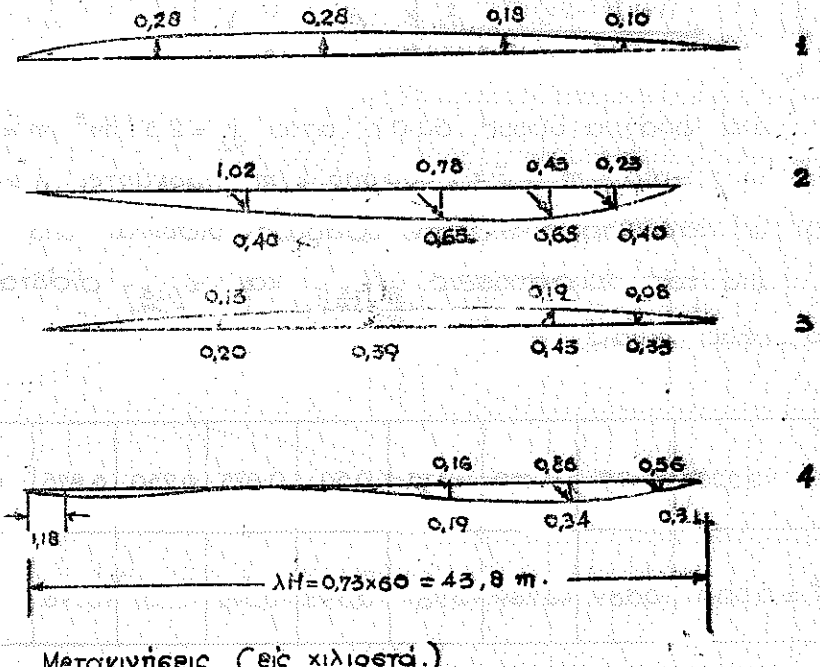


(Σχ. 39)

τῶν διαφόρων φορτίσεων.

Ἡ φόρτισις ἐκ τῆς πιέσεως τῆς λίμνης προκαλεῖ παραμορφώσεις πρὸς τὰ ἄνω τοῦ ἐδάφους (σχ.40) ἀναιρούσας ἐν μέρει τὰς παραμορφώσεις ἐκ τῶν κατακορύφων καὶ πλαγίων πιέσεων.

Ὑποτιθεμένου τριγωνικοῦ φράγματος μὲ ἀκριβῆ ὑπολογισμὸν αὐτοῦ (τάσεις ἐφελκυσμοῦ εἰς πτέρναν = 0) λαμβάνομεν τὰς ἐν τῷ κατωθι σχήματι (σχ.40) γραμμὰς παραμορφώσεως.



Μετακινήσεις (εἰς χιλιοστά.)

1. Ἐκ τῆς πιέσεως τῆς λίμνης
2. Ἐκ τῶν κατακορύφων πιέσεων.
3. Ἐξ ὁριζοντίων πιέσεων
4. Συνολικαὶ (ἐπαλληλία).

(Σχ. 40).

Αἱ συντεταγμέναι δίδονται διὰ πλήρη λίμνην ὑπὸ τῶν τύπων:

$$\begin{cases} u = \dfrac{(1+\nu)(1-2\nu)}{2E}\,\lambda\cdot H^2\left[m\left(1-\dfrac{x}{\lambda y}\right)^2+\gamma_b'\left(1-\dfrac{x^2}{\lambda^2H^2}\right)\right]- \\ \quad -\dfrac{1-\nu^2}{\pi E}-\gamma H^2 f_{[1-x/\lambda H]} \qquad (38) \\ w = \dfrac{1-\nu^2}{0{,}5\pi E}\gamma H x\,\ell n\left|\dfrac{x}{\lambda H}\right|+\dfrac{1-\nu^2}{\pi E}\lambda\cdot H^2\left[m\cdot f_{[x/\lambda H]}+\gamma_b'-f_{[1-x/\lambda H]}\right]+ \\ \quad +\dfrac{(1+\nu)(1-2\nu)}{2E}\gamma H^2\dfrac{x}{\lambda H}\left(1-\dfrac{x}{\lambda H}\right) \end{cases}$$

Διὰ φράγμα ὕψους 60,0 μ. ὅπου $\gamma_b = 2{,}3\ t/m^3$ $m = 0{,}42$ $\nu = 1/6$ $\gamma = 1{,}0\ t/m^3$ $E = 2\,000\,000\ t/m^2$ προκύπτει $\lambda = 0{,}73$ καὶ αἱ παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους δίδονται ὑπὸ τοῦ σχ.40.

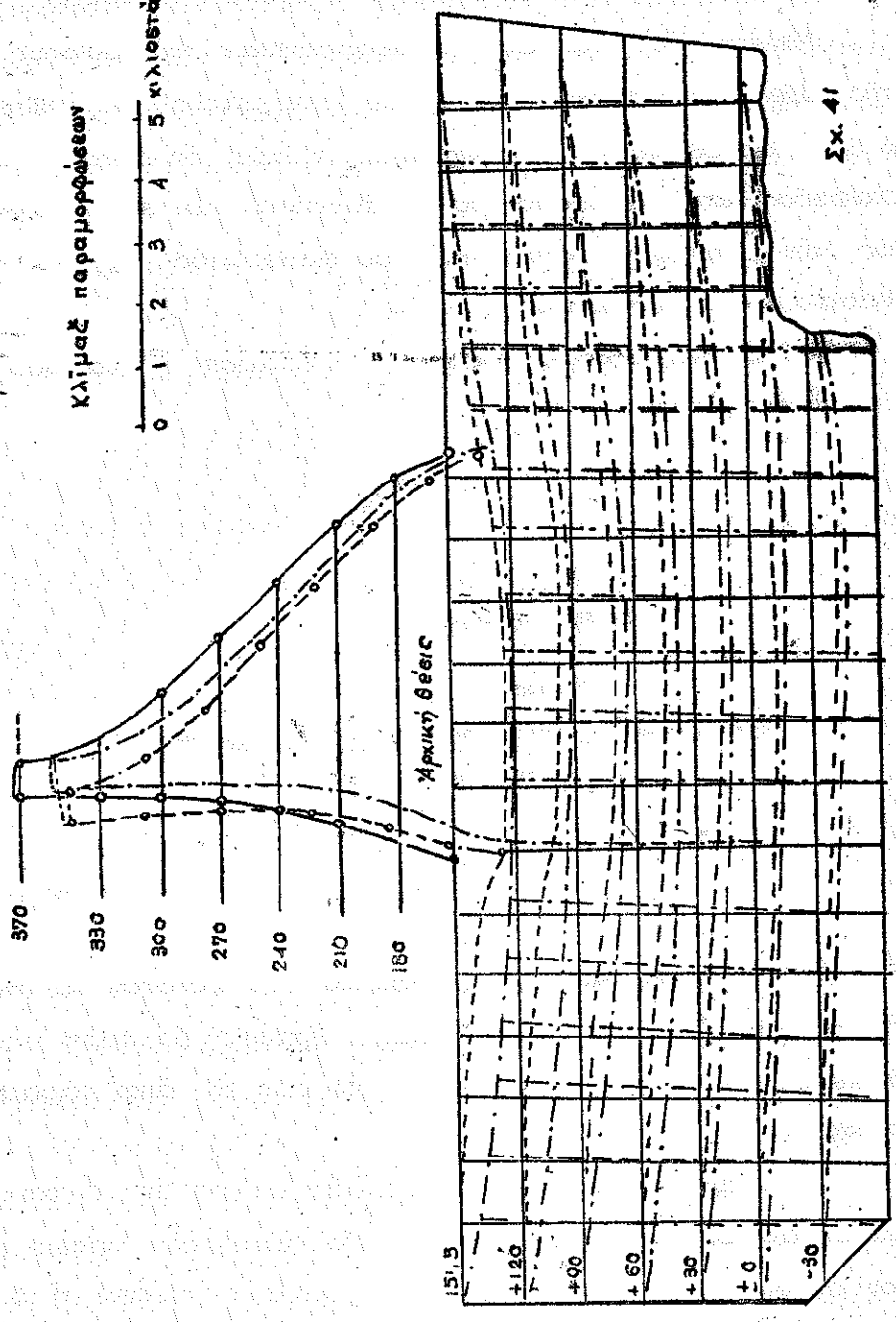
Διὰ τὰς συναρτήσεις $f_{[\frac{x}{\lambda H}]}$ καὶ $f_{[1-\frac{x}{\lambda H}]}$ δίδεται ὁ ἀκόλουθος πίναξ:

$x/\lambda H = 0{,}000$	0,125	0,250	0,375	0,50	0,625	0,750	0,875	1,00
$f = 0{,}000$	-0,589	-0,769	-0,781	-0,698	-0,542	-0,357	-0,196	0,00

Πολλάκις εἰς σοβαρὰς σημασίας ἔργα ἐρευνῶνται αἱ παραμορφώσεις ἐπὶ τῇ βάσει προτύπων (modeles) ἐκ διαφόρων πλαστικῶν ὑλῶν.

Εἰς τὸ σχ. 41 δίδονται αἱ παραμορφώσεις τοῦ φράγματος B o u l d e r καὶ τοῦ ἐδάφους θεμελιώσεως αὐτοῦ τόσον ἐξ ἰδίου βάρους (.....), ὅσον καὶ ἐκ

του συνδυασμού ίδιου βάρους και πιέσεως ύδατος (.....).



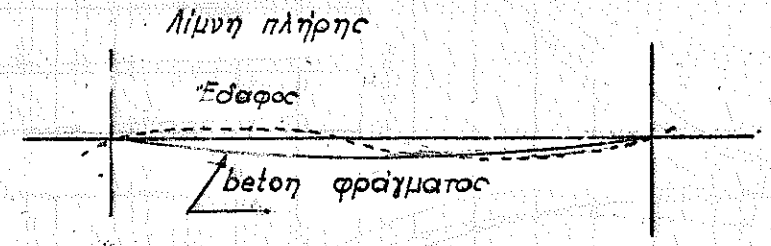
Σχ. 41

β/.- Συσχέτησις παραμορφώσεων βάσεως φράγματος καί έδάφους. Αὐτογενεῖς τάσεις.

Μελέτη τῶν ἀνωτέρω παραμορφώσεων τοῦ ἐδάφους καί τῆς εὐθείας τῆς βάσεως τοῦ αὐτοῦ φράγματος (βλ. ἀνωτέρω § 3.7) ἀποδεικνύει ὅτι ὑπερθέσεως αὐτῶν ὅτι αὗται εἶναι διάφοροι καί ἡ διαφορά αὕτη ἐξαρτᾶται καί ἐκ τῆς σχέσεως τῶν μέτρων ἐλαστικότητος τοῦ φράγματος (E_b) καί τοῦ ἐδάφους (E_f) (θέτομεν $\varepsilon = \frac{E_b}{E_f}$.

Οὕτω εἰς τό σχ. 42 δίδεται ἐν ἐξάρσει ἡ διαφορά αὕτη διά περίπτωσιν :

$$E_f = \frac{1}{2} E_b$$



$$E_f = \frac{1}{2} E_b \qquad (\Sigma x. 42)$$

Εἰς τήν πραγματικότητα βεβαίως δέν δύναται νά ὑπάρξῃ τοιαύτη διαφορά, τό δέ στρῶμα ἐπαφῆς θά λάβῃ μίαν συγκεκριμένην μορφήν, διάφορον τῶν δύο ὡς ἄνω παραμορφώσεων.-

Ἵνα ὅμως συμβῇ τοῦτο θά ὑπάρξῃ ἀλλαγή τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως τοῦ φράγματος καί θά προκύψουν τάσεις ἐντός αὐτοῦ, ἃς καλοῦμεν **αὐτογενεῖς τάσεις** ἤ βραχυλεκτικῶς **αὐτοτάσεις**.

Ὁ ὑπολογισμός τῶν αὐτοτάσεων ἀποτελεῖ ἕν ἀπό τά δυσχερέστερα προβλήματα τῆς στατικῆς τῶν ἀορίστων κατασκευῶν. Βασικόν ὄρμητήριον ἀποτελοῦν πάλιν αἱ τρεῖς ἐξισώσεις ἐλαστικότητος (22 καί 26), ὅπου πάλιν παραλείπονται αἱ μαζικαί δυνάμεις ($m_x = m_z = 0$). Ἡ βασική συνάρτησις F δι' ἣν :

(34) $$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \qquad \sigma_z = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \qquad \tau = -\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial z}$$

ἔχει τήν μορφήν εἰς πολικάς συντεταγμένας (r, φ) :

(34') $$F = r^{t+2} \left[A\sigma\upsilon\nu(t+2)\varphi + B\,\eta\mu(t+2)\varphi + C\sigma\upsilon\nu t \cdot \varphi + D\,\eta\mu t \cdot \varphi \right]$$

ἔνθα t παράμετρος αὐτῆς. Ὁ προσδιορισμός τῶν σταθερῶν A, B, C καί D ὁδηγεῖ εἰς τήν ἐξίσωσιν :

(35) $$\frac{\eta\mu\,\omega}{\omega} = \frac{\pm\ \eta\mu(t+1)\,\omega}{(t+1)\,\omega}$$

(ω = ἡ γωνία κορυφῆς τοῦ φράγματος).

Αἱ τιμαί τῆς παραμέτρου t, αἱ ἱκανοποιοῦσαι τήν (35) εἶναι γενικῶς μ ι γ α δ ι κ ο ί ἀριθμοί :

(35') $$(t+1)\,\omega = a + b \cdot i$$

προσδιοριζομένου πολυπλόκως καί πολυσημάντως δι' ὑπερβολικῶν συναρτήσεων.

Ὁ ὑπολογισμός καταλήγει εἰς τόν προσδιορισμόν τῶν πολλῶν τιμῶν αὐτογενῶν τάσεων μέ πλῆθος σταθερῶν συντελεστῶν.

Μέ βάσιν τάς ἐξισώσεις αὐτάς τῶν τάσεων ὑπολογίζονται ὁμοίως ἀορίστως αἱ τιμαί τῶν παραμορφώσεων :

$$(36) \qquad \begin{cases} u = f_1(\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xy}) \\ w = f_2(\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xy}) \end{cases}$$

καὶ ὑπολογίζονται αἱ παραμορφώσεις αὗται ἐκ τῶν αὐτογενῶν τάσεων, τόσον διὰ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ βραχίονος θεμελιώσεως $u_{Fη}$, $w_{Fη}$, ὅσον καὶ διὰ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ πυθμένος τοῦ φράγματος $u_{Bη}$, $w_{Bη}$.

Ἐκ παραλλήλου ὑπολογίζονται αἱ παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους ἐκ τῶν φορτίσεων τοῦ στατικῶς ἀριστέρνου φράγματος (u_{Fo}, w_{Fo}), ὡς καὶ αἱ παραμορφώσεις τῆς βάσεως τοῦ φράγματος ἐκ τῶν φορτίων τῶν ἐπενεργούντων ἐπ' αὐτοῦ ($u_{Bε}$, $w_{Bε}$).

Ἐφ' ὅσον τελικῶς τὸ στρῶμα ἐπαφῆς φράγματος καὶ ἐδάφους θὰ λάβῃ μίαν μορφήν, θὰ πρέπει νὰ ἔχωμεν εἰς τὸ ἐπίπεδον αὐτὸ :

$$(37) \qquad u_B = u_F \qquad w_B = w_F$$

τόσον διὰ πλήρη λίμνην (δύο ἐξισώσεις), ὅσον καὶ διὰ κενὴν τοιαύτην.

Ἡ ἐπίλυσις τῶν συστημάτων (37) εἶναι λίαν δυσχερὴς καὶ πολύπλοκος, γίνεται δὲ διὰ διαδοχικῶν προσεγγίσεων διὰ τῆς προσπαθείας δημιουργίας ἑνὸς ἐλαχίστου εἰς τὴν διαφοράν :

$$(38) \qquad \left| u_{Bo} \right| + \left| u_{Fo} \right| + \left| u_{Fη} \right| + \left| u_{Bη} \right| = \rightarrow \text{ἐλάχιστον}$$

ὁπότε προσδιορίζονται αἱ σταθεραὶ εἰς τὰς δύο ἄγνωστα ἐξισώσεις (36).

Ἀριθμητικοὶ ὑπολογισμοὶ ἀποδεικνύουν ὅτι ἡ ἐπίδρασις τῆς παραμορφώσεως τοῦ ἐδάφους εἰς τὰς τάσεις τοῦ φράγ-

ματος ἐλαττοῦται μετὰ τοῦ ὕψους, οὕτως ὥστε εἰς μικρὸν ἀπὸ τοῦ ἐδάφους ὕψους ἤδη αἱ τάσεις μεταβάλλονται εὐθυγράμμως εἰς τὰς ὁριζοντίας τομάς.

Ἐξ ἄλλου ἀποδεικνύεται ὁμοίως ὅτι αἱ αὐτοτάσεις εἶναι τόσον μεγαλύτεραι ὅσον τὸ ἔδαφος εἶναι ἐλαστικώτερον (αὔξησις τοῦ $\varepsilon = \frac{E_b}{E_f}$), ὁπότε παραμορφούμενον προκαλεῖ εὐχερέστερον μεγαλυτέρας τάσεις ἐντὸς τῶν φραγμάτων διὰ τὴν ἀποκατάστασιν ἰσορροπίας.

Αἱ λύσεις τῶν πολυπλόκων ἐξισώσεων (57) ἢ (58) δύνανται νὰ ἁπλοποιηθοῦν κάπως εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις.

Οὕτω διὰ τὴν περίπτωσιν φράγματος ἐκ λίαν στερεοῦ ὑλικοῦ ἐν ἐπαφῇ μὲ τὸ ἔδαφος, αἱ μετακινήσεις αὐτοῦ εἰς τὴν γραμμὴν τοῦ πυθμένος, αἱ μεταδιδόμεναι ἐκ τοῦ ὑποδάφους θὰ εἶναι **μηδενικαί**. Τότε αἱ γενικαὶ ἐξισώσεις δι' (u) καὶ (w) (ἐξ ὧν προκύπτουν αἱ (53) διὰ τριγωνικὴν ἐπιφόρτισιν τοῦ ἐδάφους) ἐξισοῦνται μὲ μηδὲν καὶ κατόπιν μαθηματικῶν μετασχηματισμῶν μετατρέπονται τελικῶς εἰς ἁπλᾶς ἐξισώσεις, αἵτινες δίδουσι τὰς συνιστώσας (v_x, h_x) τῆς πιέσεως p, ἥτις ἐξασκεῖται κατὰ μῆκος τῆς βάσεως ἐκ τοῦ ὑποδάφους καὶ αἵτινες ἔχουσιν ὡς ἑξῆς:

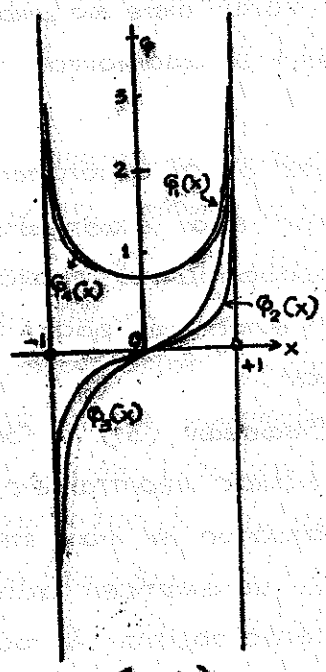
Διὰ λίμνην κενήν: $v_x = H.\gamma_b \quad 0{,}345\cdot\varphi_1(x) + 0{,}502\,\varphi_2(x) - 0{,}552\,\varphi_3(x)$

$h_x = H.\gamma_b \quad 0{,}345\,\varphi_1(x) + 0{,}345\,\varphi_2(x) + 0{,}552\,\varphi_4(x)$

Διὰ λίμνην πλήρη: $v_x = H.\gamma_b \quad 0{,}345\varphi_1(x) - 0{,}691\,\varphi_2(x) + 0{,}533\,\varphi_3(x)$

$F_{ix} = H\gamma_b \quad 0{,}691\,\varphi_1(x) + 0{,}345\,\varphi_2(x) - 0{,}533\,\varphi_3(x).$

Αἱ συναρτήσεις φ_1, φ_2, φ_3 καὶ φ_4 τοῦ x δίδονται διὰ ἀναπτύξεως εἰρῶν τοῦ Mac Laurin ἢ γραφικῶς εἰς τὸ σχ. 43. Αἱ τιμαὶ $x = \pm 1$ δίδουν τὰ δύο ἄκρα τῆς βάσεως τοῦ φράγματος, ὁπότε $x = 0$ δίδει τὸ μέσον αὐτῆς.

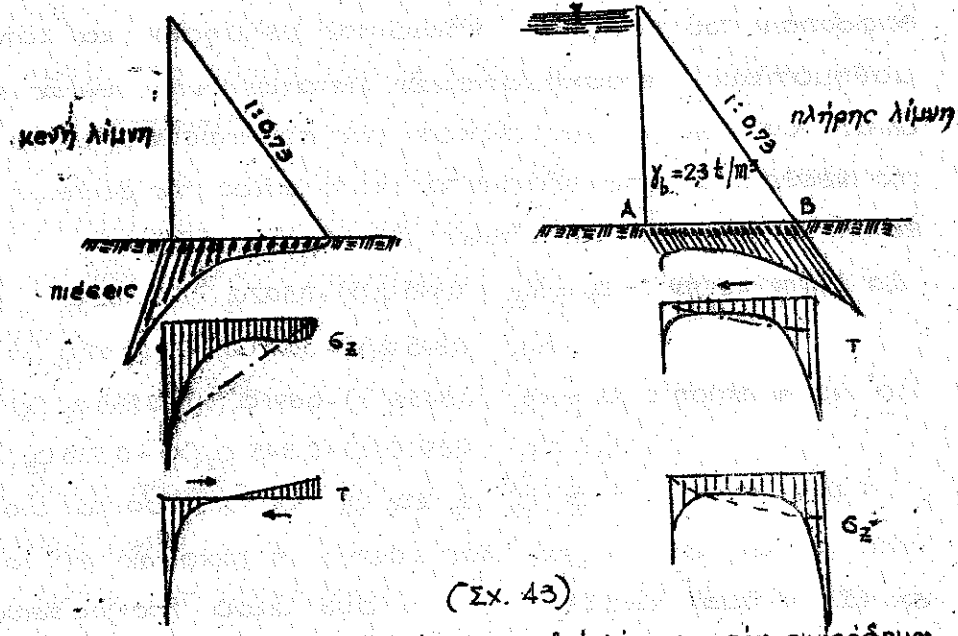


(Σχ.45)

Δι' ἐφαρμογῆς τῶν ὡς ἄνω ἐξισώσεων προκύπτουν αἱ φορτίσεις κάτωθεν τοῦ φράγματος ἐκ τῆς ἀντιδράσεως τοῦ ἐδάφους καὶ αἱ ἀντίστοιχοι τάσεις.

Μὲ διακεκομμένην γραμμὴν δίδονται αἱ τάσεις, ὅταν δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν ἡ ὕπαρξις τοῦ ἐδάφους.

Ἐκ τῶν διανομῶν τῆς πιέσεως προκύπτει ὅτι διὰ κενὴν λίμνην αἱ διατμητικαὶ τάσεις ἐξασκοῦν θλῖψιν κατὰ μῆκος τοῦ θεμελίου. Εἰς πλήρη λίμνην αἱ τάσεις εἶναι μεγάλαι πρὸς τὴν ἀνάντη



(Σχ. 43)

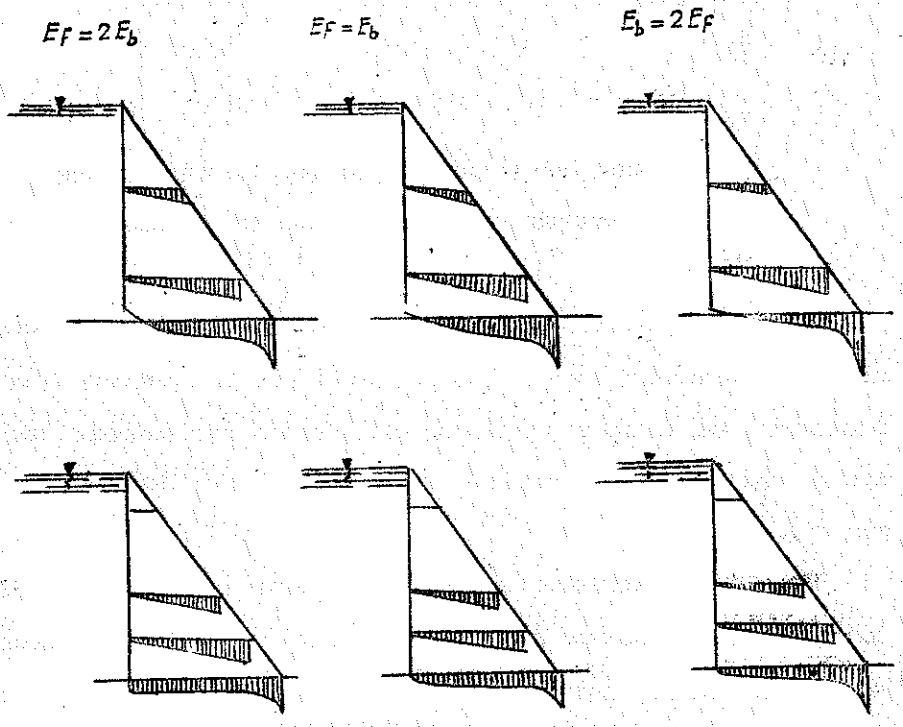
Κάθετοι καὶ διατμητικαὶ τάσεις διὰ λίαν στερεὸν ἀκατόδεμα ἐν σχέσει πρὸς τὸ ὑπέδαφος. ($\frac{E_f}{E_b}$ ~ πολὺ μικρόν · E_b πολὺ μεγάλο).

πλευράν τοῦ φράγματος καί δύνανται νά προκαλέσουν κατά μῆκος τῆς γραμμῆς θεμελιώσεως ΑΒ ῥωγμάς.

Πάντως αἱ αὐξήσεις τῶν τάσεων γενικῶς διά τήν κενήν λίμνην εἶναι μικράς σημασίας ὡς πρός τήν παραδεδεγμένην τοῦ σκυροδέματος ἀντοχήν.

Πολύ δυσκολώτερος εἶναι ὁ ὑπολογισμός τῶν πιέσεων καί τῶν τάσεων διά ἄλλας τιμάς τῶν E_b καί E_F καί E.

Εἰς τό σχῆμα 44 δίδονται αἱ τομαί αὗται :

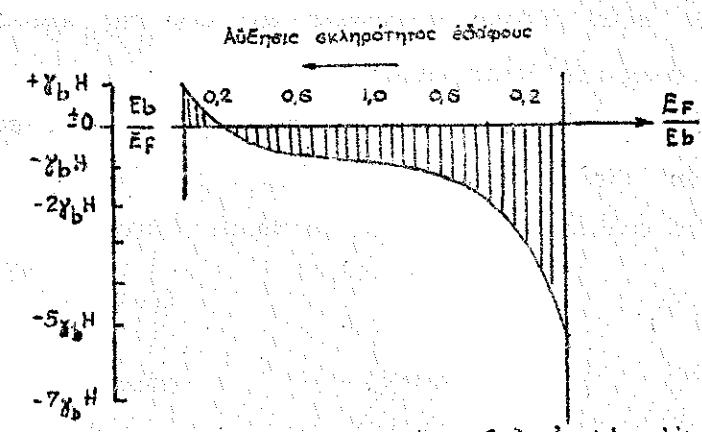


(Σχ. 44)

Εἰς τό σχ. 44 βλέπομεν ὅτι αἱ παραμορφώσεις τοῦ ὑπε-

δέφους ἐπιδροῦν δυσμενῶς εἰς τὰς μεταβολὰς τῶν τάσεων.

Εἰς τό σχ. 45 δίδεται ἡ μεταβολή τῆς τάσεως σ_z εἰς τό κατάντη πέλμα συναρτήσει τῆς μεταβολῆς τοῦ ε.



Σχ. 45 : Τάσις εἰς κατάντη πέλμα (σ_z) εἰς πλήρη λίμνην, συναρτήσει τῆς ἐλαστικότητος τοῦ ἐδάφους.

Ἤτοι, αὐξάνει, μειούμενος τῆς σκληρότητος τοῦ ὑπεδάφους μειοῦνται ἀντιστοίχως εἰς τό ἀνάντη πέλμα. Οὕτω ὑφίσταται κίνδυνος ἀποκοπῆς τοῦ ἀνάντη πέλματος, αὐξήσεως τῆς πιέσεως τοῦ κατάντη πέλματος καί ῥωγμῶν κατά μῆκος τοῦ βάθρου (αὔξησις τῆς τ).

Μολονότι αἱ αὐξήσεις αὗται ἀποσβένονται καθ' ὕψος τοῦ φράγματος, ἔτι δέ μειοῦνται διά τῆς πλαστικῆς χύσεως τοῦ σκυροδέματος, ἐν τούτοις δέν παύουν νά εἶναι ἐπικίνδυνοι καί νά χρήζουν τῆς δεούσης προσοχῆς, ἰδίᾳ εἰς λίαν ἀνθεκτικά ἐδάφη.

3.9. Τάσεις λόγῳ μεταβολῆς τοῦ ὄγκου. Διατάξεις ψύξεως.

Τά ἐκ σκυροδέματος φράγματα ὑφίστανται μεταβολάς τοῦ ὄγκου αὐτῶν λόγῳ διαφόρων φυσικῶν ἤ κατασκευα-

στικῶν αἰτίων, ἅτινα συνοψίζονται ὡς κάτωθι:

1. Ἀλλαγαὶ τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος τοῦ ἔργου.
2. Ἀλλαγαὶ θερμοκρασίας ὀφειλόμεναι εἰς τὴν ἀνάπτυξιν θερμότητος κατὰ τὴν πῆξιν τοῦ σκυροδέματος ἀκολουθουμένης ἀπὸ βαθμιαίαν ψύξιν.
3. Βαθμιαία ξήρανσις τοῦ φράγματος εἰς τὸν ἀέρα.
4. Διόγκωσις τοῦ σκυροδέματος λόγῳ τοῦ διαποτίζοντος ἀνιστηριζομένου ὕδατος (Schwellen).
5. Λόγῳ πλαστικῶν παραμορφώσεως τοῦ σκυροδέματος ἐκ τῆς ἀναπτυσσομένης πιέσεως.

Ἡ ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας λόγῳ πήξεως μὲ τὴν ἀκολουθοῦσαν βαθμιαίαν ψύξιν ὡς καὶ ἡ ξήρανσις εἰς τὸν ἀέρα, δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ διαχωρισθοῦν καὶ διὰ τοῦτο συνήθως ὑπολογίζονται μαζὶ μὲ τὸν κοινὸν ὅρον ρίκνωσις (Schwinden).

Ἡ διὰ τοῦ ὕδατος τῶν πόρων πίεσις καὶ ἡ διόγκωσις ἀφ' ἑτέρου ἀλληλοαναιροῦνται καὶ διὰ τὸν λόγον αὐτόν, δὲν λαμβάνεται αὕτη ὑπ' ὄψιν. Ἐξ ἄλλου ἡ διόγκωσις ἀναιρεῖ ἐξ ἴσου τὸν κίνδυνον βαγμῶν κατὰ μῆκος τῆς βάσεως, ὥστε ἡ παράλειψις αὐτῆς δίδει μεγαλυτέραν ἀσφάλειαν.

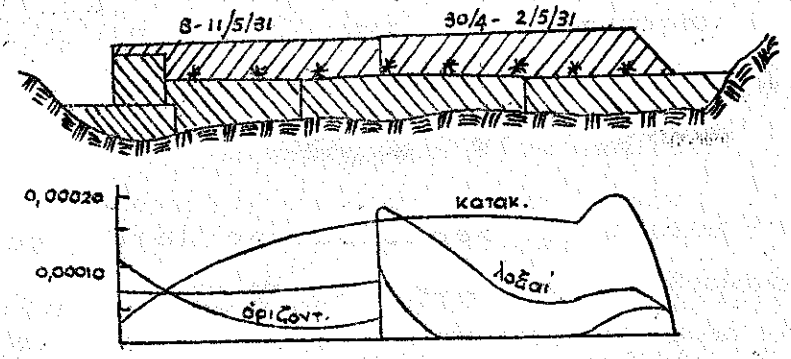
Ἡ πλαστικὴ ῥοὴ ἐξ ἄλλου μειώνει τὰς τάσεις ἐν τῆς ἀλλαγῆς τοῦ ὄγκου καὶ συνήθως παραλείπεται ἢ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν δι' ἐλαττώσεως τοῦ μέτρου ἐλαστικότητος.

Παραμένει ὅθεν: { ἡ ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας καὶ ἡ ρίκνωσις τοῦ σκυροδέματος.

ὡς δύο βασικὰ αἴτια ἀλλαγῆς τοῦ ὄγκου.

Συνέπεια τῶν ὡς ἄνω μεταβολῶν παρουσιάζονται ραγμαί εἰς τά φράγματα, αἵτινες συνήθως εἶναι κατακόρυφοι, λόγῳ τῆς διαστολῆς ἤ συστολῆς κατά μῆκος τοῦ φράγματος (Assvan) 200 ῥωγμαί στά 900 μ. μῆκος.

Ἐπίσης ῥωγμαί ὀφειλόμεναι εἰς ρ ί κ ν ω σ ι ν παρουσιάζονται εἰς τούς ἁρμούς διακοπῆς τῆς ἐργασίας (κατά μπλόκ), ἰδίᾳ ἐάν λόγῳ τοῦ καιροῦ (χειμών) διακόπτεται ἡ ἐργασία χύσεως τοῦ μπετόν ἐπί μακρόν.



Σχ. 46

Ἡ θερμοκρασία πήξεως ἀκτινοβολεῖ βαθμιαίως καί τό ἐκρόδεμα ψύχεται καί συστέλλεται.

Ὁ ὑπολογισμός τῶν προκυπτουσῶν τάσεων εἶναι ἀρκετά δυσχερής.

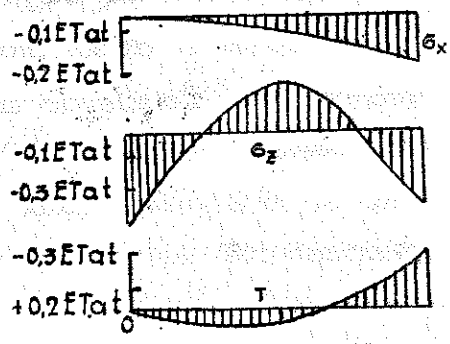
Παίντως ἐάν θεωρήσωμεν τό ὅλον φράγμα (ἤ τμῆμα αὐτοῦ) ὡς ἓν σῶμα μέ ἀκτινοβολίαν θερμοκρασίας T βαθμῶν, αἱ τάσεις εἰς τό κατώτερον στρῶμα αὐτοῦ δίδονται ὑπό τῶν ἐξισώσεων (ὅι' ἐλευθέρας παραμορφώσεις τῶν ὁριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ σώματος).

$$\sigma_x = \frac{2ETk\alpha t}{(3+\lambda^2)\lambda^2 H^2} \cdot x^2 l^2$$

$$\sigma_z = \frac{2ETk\alpha t}{(3+\lambda^2)\lambda^2 H^2} \left[\sigma_x^2 - \sigma_x \lambda (H-z) + \lambda^2 (H-z)^2 \right]$$

$$\tau = \frac{2ETk\alpha t}{(3+\lambda^2)\lambda^2 H} \left[2x\lambda^2 (H-z) - 3x^2 \lambda \right]$$

καὶ τοῦ σχήματος 47.



Σχ. 47

Τὸ $K \sim -\frac{1}{2}$

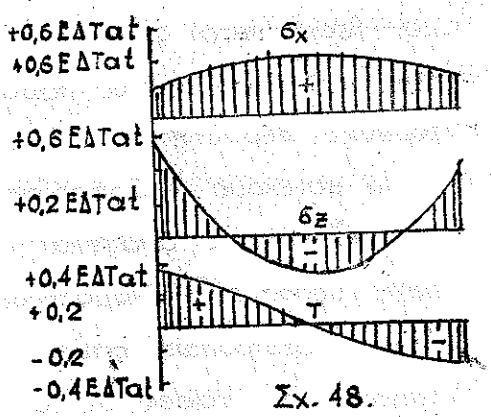
Ἐκ παραλλήλου εἰς κάθε τομὴν τοῦ φράγματος καὶ τούς ἁρμούς διακοπῆς τοῦ φράγματος παρουσιάζονται τάσεις δι δόμεναι ὑπὸ τῶν τύπων :

$$\sigma_x = +E\Delta T \cdot \alpha_t \left[\frac{T}{4} + \frac{X}{\lambda H'} \left(1 - \frac{X}{\lambda H'} \right) \right]$$

$$\sigma_z = +\frac{1}{4} \lambda^2 E \Delta T \alpha_t$$

$$T = -\frac{1}{4} \lambda E \Delta T \cdot \alpha_t$$

καὶ τοῦ σχήματος 48

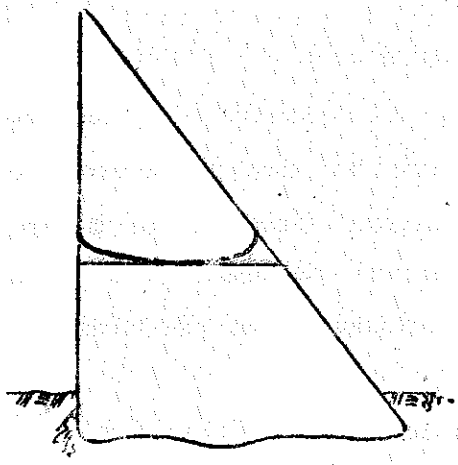


Σχ. 48.

Ἡ ἐπαλληλία τῶν δύο συστημάτων τάσεων μειώνει εἰς τὸ ἐλάχιστον τὰς κατακορύφους τάσεις σ_z καὶ τὰς διατμητικὰς τ , ἀλλὰ δὲν ἐπηρεάζει τὰς σ_x ἐκ τῶν ἐπιφανειῶν διακοπῆς ἐργασίας ὅπου αὗται εἶναι σημαντικαὶ τάσεις τοῦ ἐφελκυσμοῦ , καὶ ὑπάρχει κίνδυνος ἐμφανίσεως ῥωγμῶν.

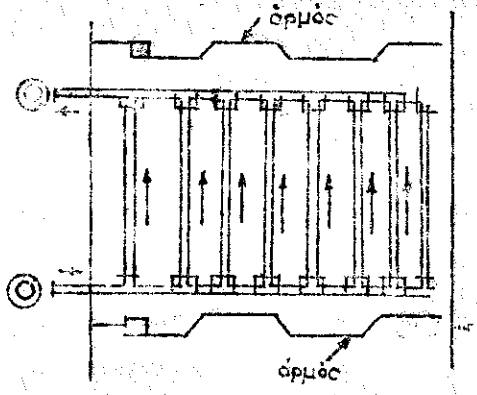
Αἱ τάσεις αὗται δέον νὰ ὑπολογίζωνται καὶ νὰ προστίθενται εἰς τὰς τάσεις φορτίσεως τοῦ φράγματος, ὥστε νὰ εὑρίσκεται ἡ δυσμενεστέρα ἐντατικὴ κατάστασις καὶ νὰ ὑπολογίζεται αὕτη ἐν συγκρίσει μὲ τὰς ἀνεκτὰς ἐπιφορτίσεις τοῦ ὑλικοῦ.

Πρός τόν σκοπόν μειώσεως τῆς ῥικνώσεως καί διά ἐλάττωσιν ἤ ἐξουδετέρωσιν τῶν ἐξ αὐτῆς τάσεων καί ῥαγμῶν, διατάσσονται οἱ ἁρμοί διαστολῆς ἀνά ὡρισμένας ἀποστάσεις εἰς ὅλα τά ἔργα, ἐνῷ εἰς τά μεγάλα κυρίως διατάσσονται καί συστήματα ψύξεως.

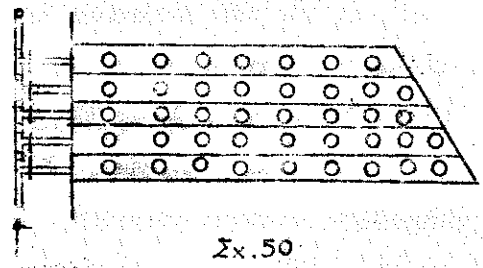


Σχ. 48

Τά συστήματα ψύξεως συγκεινται εἰς πλήρη συνεχῆ δίκτυα σωλήνων, οἵτινες διαχίζουν τό σῶμα τοῦ φράγματος, διοχετεύοντες ὕδωρ εἰς χαμηλήν θερμοκρασίαν ὅπερ καί θερμαίνεται διά τῆς πήξεως τοῦ σκυροδέματος παραγομένης θερμότητος.



Διά συνεχοῦς κυκλοφορίας ψυχροῦ ὕδατος ἀπάγεται μέγα μέρος τῆς θερμότητος ἥτις τοιουτοτρόπως παύει προκαλοῦσα τάσεις εἰς τό φράγμα.



Σχ. 50

Εἰς τό σχ. 50 ἐμφαίνεται διάταξις διά τήν ψύξιν φράγματος. Αἱ διατάξεις αὗται εἶναι ἀνεξάρτητοι μεταξύ τῶν διαδοχικῶν ἁρμῶν διαστολῆς.

4. Ἁρμοί διαστολῆς.

Οἱ ἁρμοί διαστολῆς κατασκευαζόμενοι πρός ἐλάττωσιν τῶν τάσεων διαστολῆς, ῥικνώσεως, ὑποχωρήσεως τοῦ ἐδάφους, διαιροῦν τά φράγματα εἰς τμήματα ἀνεξάρτητα ἀλλήλων καί κατασκευάζονται συνήθως καθέτως πρός τήν ἐπιμήκη διάστασιν τοῦ φράγματος. Διά τῆς κατασκευῆς αὐτῶν μειοῦνται αἱ ῥωγμαί εἰς τό ἐλάχιστον.

Οἱ ἁρμοί διαστολῆς πρέπει νά καταλαμβάνουν ὁλόκληρον διατομήν τοῦ φράγματος, ἤτις νά ἐξικνοῦνται μέχρι τοῦ ἐδάφους τῆς θεμελιώσεως ἄλλως παρουσιάζονται ῥωγμαί μετά τό καθ' ὕψος πέρας τῶν ἁρμῶν.

Ἡ ἀπόστασις τῶν ἁρμῶν διαστολῆς ἦτο ἀρχικῶς μεγάλη ἤτοι 30-40 μ. Βαθμιαίως αὕτη ἐλαττοῦται εἰς τάς συγχρόνους κατασκευάς, τείνει δέ πρός τό παρόν νά τροποποιηθῇ εἰς 15,0 μ. ἀπό ἁρμοῦ εἰς ἁρμοῦ (Η.Π.Α), ἐπικρατεῖ δέ ἡ τάσις ἐλαττώσεως αὐτῆς εἰσέτι. Οἱ ἁρμοί δέον νά εἶναι πλησιέστερον εἰς μικρότερα ὕψη, ἤτοι ἡ ἀπόστασις αὐτῶν ἐλαττοῦται ἐφ' ὅσον πλησιάζομεν πρός τάς κλιτεῖς τῶν χαραδρῶν τῶν θέσεων τῶν φραγμάτων.

Οἱ ἁρμοί ἔχουν μικρόν ἄνοιγμα πληρούμενον συνήθως δι' ἐλαστικοῦ ὑλικοῦ (ἄσφαλτος, ἀσφαλτικός χάρτης κ.τ.λ.).

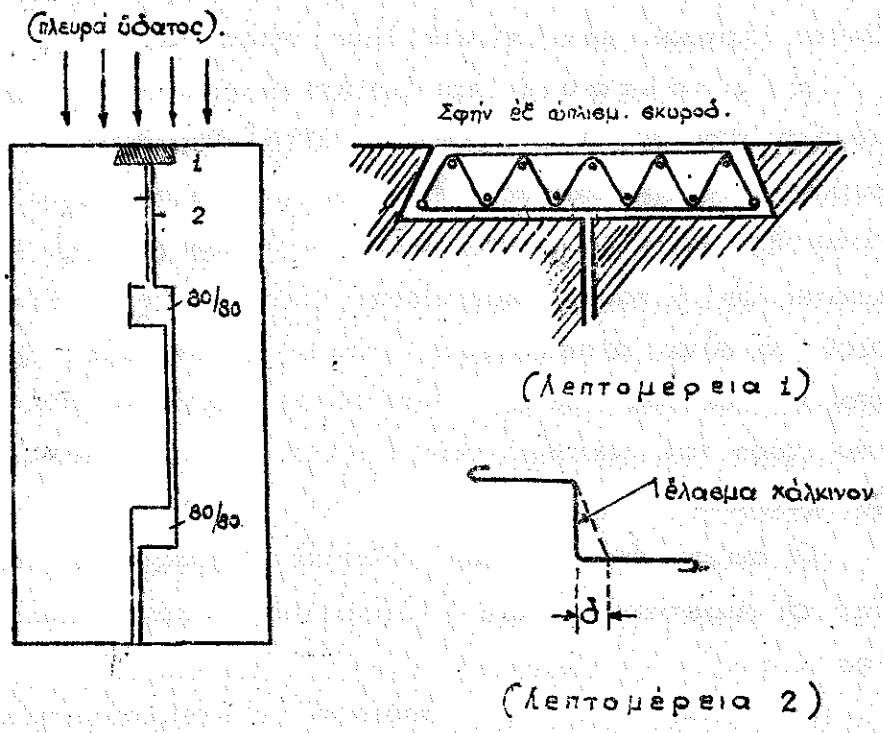
Τό βασικώτερον θέμα ἀποτελεῖ ἡ στεγανοποίησις αὐτῶν ἀπό τῆς διεισδύσεως τοῦ ὕδατος ἐκ τῆς πλευρᾶς τῆς λίμνης εἰς τήν ἐλευθέραν πλευράν.

Οἱ ἁρμοί συνήθως τοποθετοῦνται εἰς τάς αὐτάς θέσεις ὅπου καί τά κατακόρυφα φρέατα στραγγίσεως ἤ ἐπι-

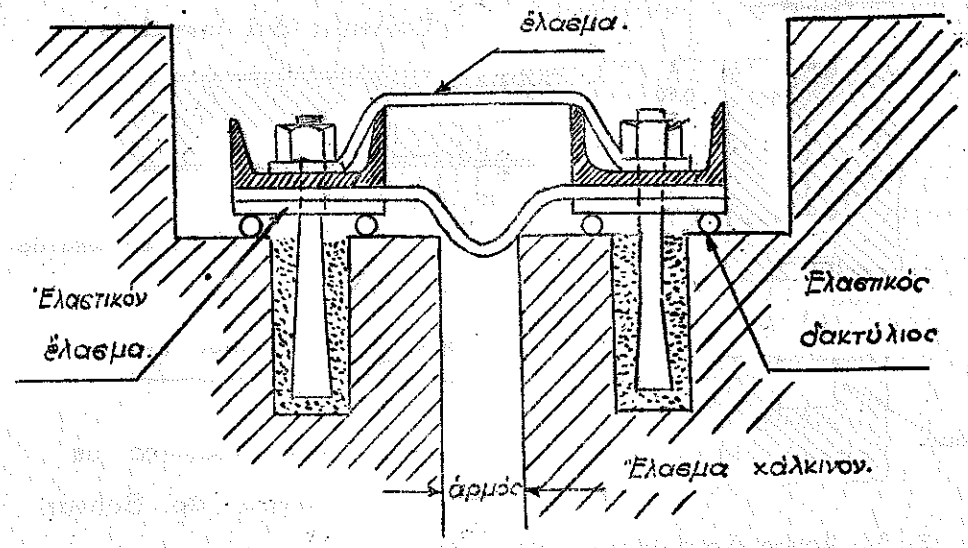
θεωρήσεως τῶν στοῶν στραγγίσεως (βλέπε προσεχές κεφάλαιον). Τοιουτοτρόπως παρακολουθεῖται τόσον ἡ στεγανότης αὐτῶν ὅσον καὶ ἡ λειτουργία των.

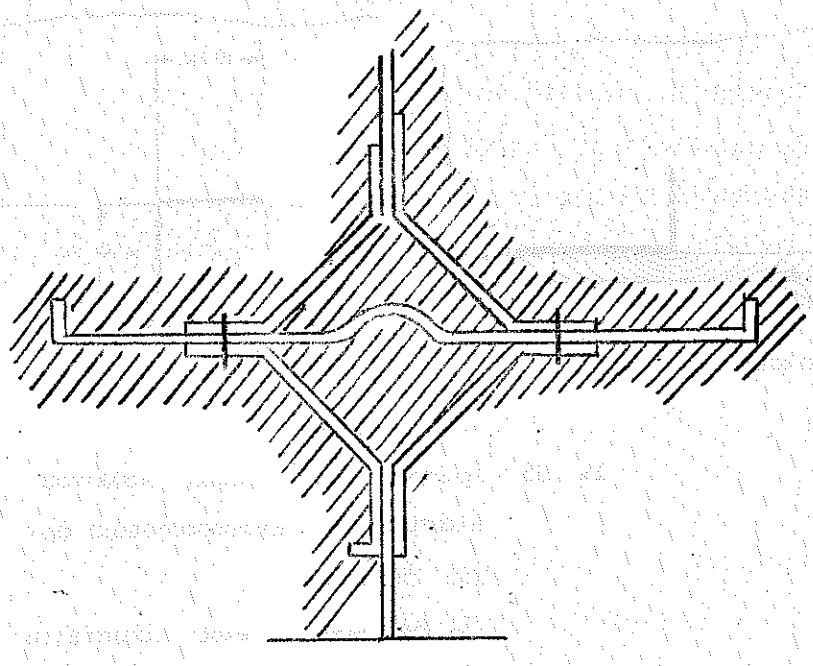
Ἡ στεγανοποίησις τῶν ἁρμῶν ἐπιτυγχάνεται κυρίως διά τῆς παρεμβολῆς ἐλασμάτων ἐκ χαλκοῦ δι' ὧν ἑνοῦνται στεγανῶς αἱ ἑκατέρωθεν ἄκραι τοῦ ἐκχυσθέματος καί ἀποκλείεται ἡ διέλευσις τοῦ ὕδατος.

Εἰς τά ἀκόλουθα σχήματα 51 ἕως 57 ἐμφαίνονται τοιαῦται διατάξεις ἁρμῶν.

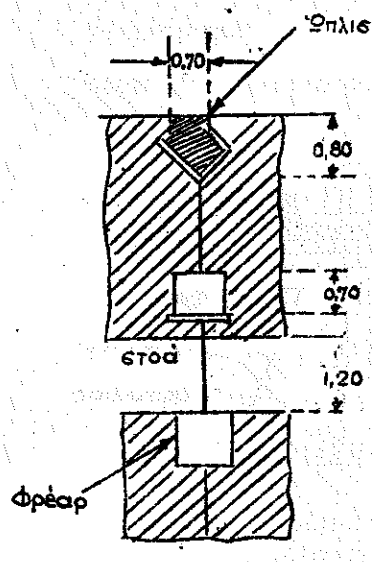


Σχ. 51. Ἁρμός κατά πλάτος φράγματος μέ λεπτομερείας εἰς (1) καί (2).

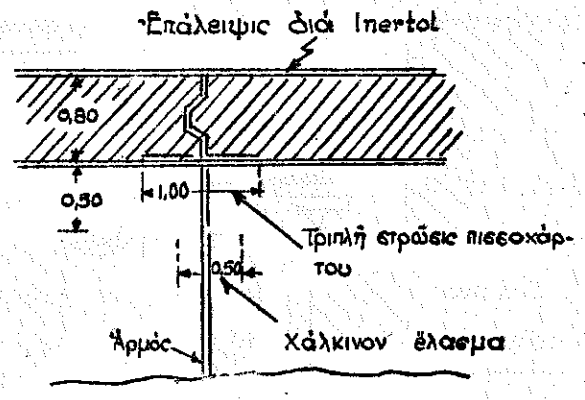




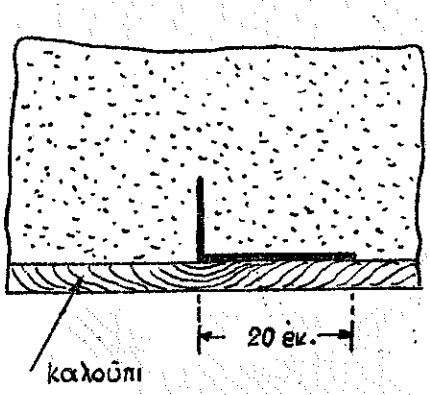
Σχ. 33. Τύπος άρμού

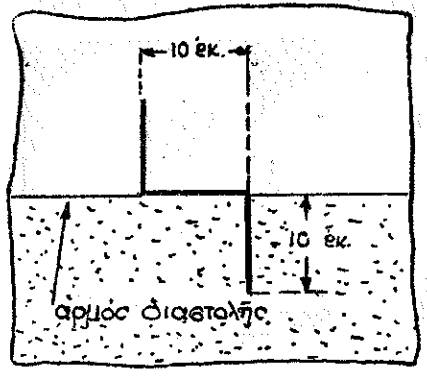


Σχ. 54. Ἄρμός διαστολῆς εἰς φράγμα Im. Schrah



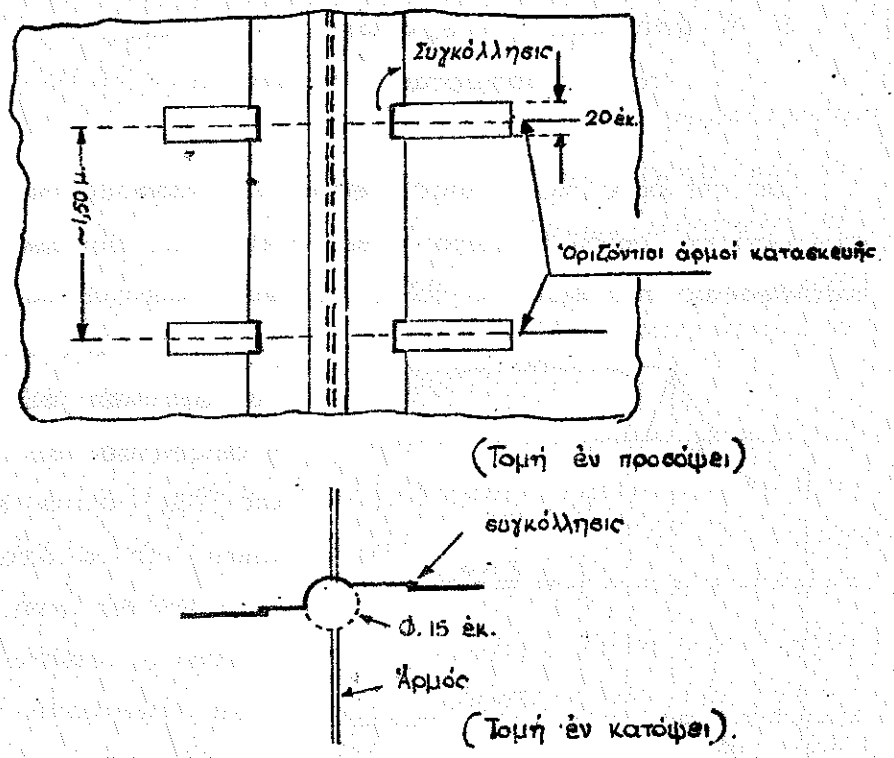
Σχ. 54α. Ἄρμός διαστολῆς μέ χάλκινον ἔλασμα (φρ. Schwarzenbach).



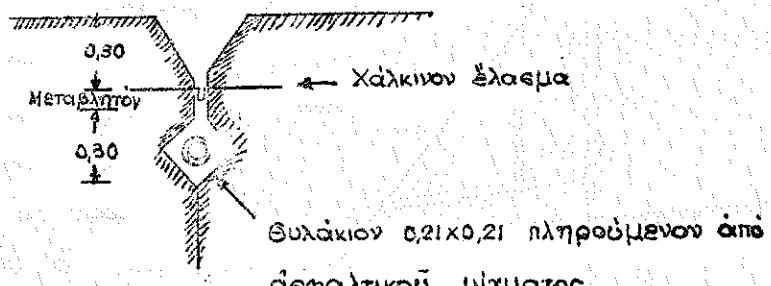


Σχ. 55 : Τρόπος τοποθετήσεως χαλκίνου ἐλάσματος στεγανοποιήσεως ἀρμοῦ διαστολῆς.

Τό δεύτερον σκέλος κάμπτεται ἐπί τόπου.



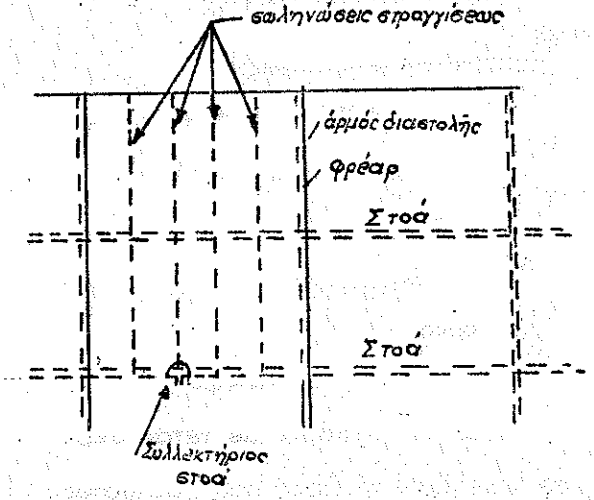
Σχ. 56. Ἐμφαίνεται χάλκινον ἔλασμα μὲ τεταρτοκύκλιον σχῆμα διῆκον καθ' ὅλον τὸ ὕψος τοῦ φράγματος καὶ καλύπτον τὸν ἁρμόν. Εἰς τὰ σημεῖα συναντήσεως τῶν ὁριζοντίων ἁρμῶν κατασκευῆς συγκολλᾶται λωρὶς προστατεύουσα τὴν ἀρχὴν τῶν ἁρμῶν τούτων.



Σχ. 57. Συνήθης διάταξις ἁρμῶν εἰς ἰταλικὰς κατασκευὰς φραγμάτων

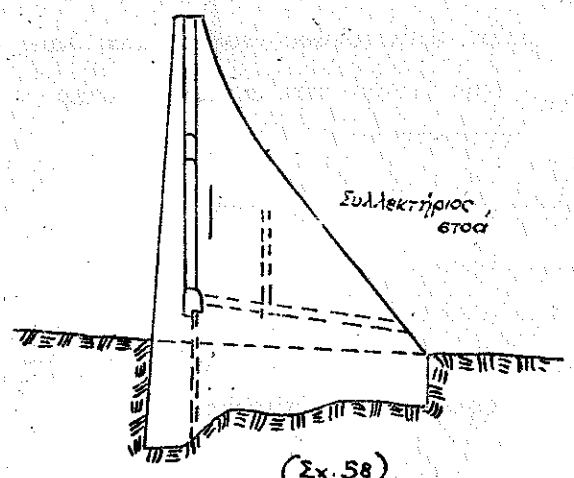
5. Ἡ ὑποπίεσις, στεγανότης καὶ στράγγισις τῶν φραγμάτων βαρύτητος.

Διὰ τῆς ῥοῆς τοῦ ὕδατος μέσῳ τοῦ σκυροδέματος δὲν προκαλοῦνται μόνον πρόσθετοι τάσεις ἀλλὰ καὶ φαινόμενα ἀπωλείας συνθέσεως τοῦ τσιμέντου ἰδίως δὲ τοῦ περιεχομένου ἀσβεστίου διὰ τῆς ἐπιδράσεως ὀργανικῶν οὐσιῶν ἢ διοξειδίου τοῦ ἀνθρακος (CO_2), ἅτινα εὑρίσκονται εἰς τὸ ὕδωρ ἔστω καὶ εἰς ἴχνη.



Οὕτω εἰς πλεῖστα φράγματα παρετηρήθη μεγάλη ἀπόπλυσις.

Διὰ τὴν ἐλάττωσιν τῶν ὡς ἄνω φαινομένων τοποθετοῦνται ἔργα στραγγίσεως ἐντὸς τοῦ φράγματος.



(Σχ. 58)

Ταῦτα συνίστανται εἰς κατακόρυφα φρέατια τοποθετούμενα πλησίον τῆς πρὸς τὸ ὕδωρ παρειᾶς. Τὸ ὑπ' αὐτῶν στραγγιζόμενον ὕδωρ συλλέγεται εἰς κατακορύφους ἢ ὁριζοντίους

στοᾶς δι' ὧν ἀπάγεται πρὸς τὰ κατάντη.

Αἱ κατακόρυφοι στοαὶ ἢ φ ρ ε ά τ α χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης διὰ τὴν ἐπιθεώρησιν τοῦ φράγματος καὶ παρακολούθησιν τῆς λειτουργίας τῶν ἀρμῶν διαστολῆς, δι' αὐτὸ καὶ κατασκευάζονται κατὰ κανόνα οὕτως, ὥστε μία πλευρὰ αὐτῶν εὑρίσκεται ἐπὶ τῆς κατακορύφου πλευρᾶς τῶν ἀρμῶν διαστολῆς.

Ἐξ ἄλλου μεταξὺ τῶν φ ρ ε ά τ ω ν τοποθετεῖται δίκτυον σωληνωτῶν στραγγιστηρίων (συνήθως πηλίνων ἢ ἐκ beton) ἀγωγῶν (φ 15-50 ἑκ) δι' ὧν ἀποστραγγίζεται ὁ τοῖκος πρὸς τὰς στοᾶς.

Ὁμοίως κατακόρυφος ἀγωγὸς τίθεται κατὰ μῆκος τῶν θεμελίων οὕτως ὥστε τὸ ἐξ αὐτῶν ὑπὸ πίεσιν ἀναβλύζον ὕδωρ συλλέγεται ὁμοίως ἐντὸς τῶν στοῶν καὶ ἀπάγεται πρὸς τὰ κατάντη. Οὕτω ἐλαττοῦται ἡ ἄ ν ω σ ι ς διὰ τῆς ἐλαττώσεως τῆς ἐκ τῶν πιέσεως.

Θ ε ω ρ η τ ι κ ῶ ς ἡ ἐνέργεια τῶν σωλήνων ἀποστραγγίσεως δίδεται ὑπὸ τῆς ἐξισώσεως:

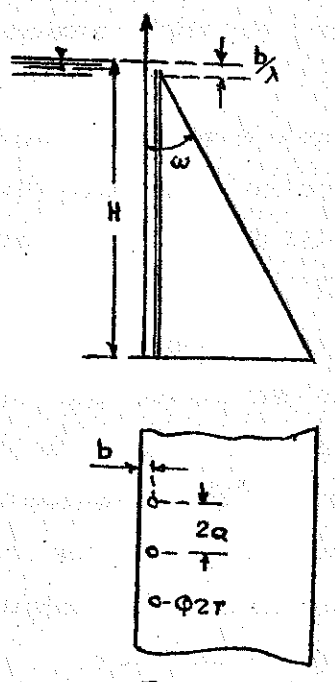
$$v = -k\,\mathrm{grad}\left(\frac{p}{\gamma}+z\right) \text{ ὅπου } \left|\begin{array}{l} v_x = -\dfrac{k}{\gamma}\dfrac{\partial p}{\partial x} \\ v_y = -\dfrac{k}{\gamma}\dfrac{\partial p}{\partial y} \\ v_z = -\dfrac{k}{\gamma}\dfrac{\partial p}{\partial z} - k \end{array}\right| \text{ ταχύτης διηθήσεως καὶ συνεταγμέναι αὐτῆς.}$$

μὲ ἐξίσωσιν συνεχείας δίδουσαν:

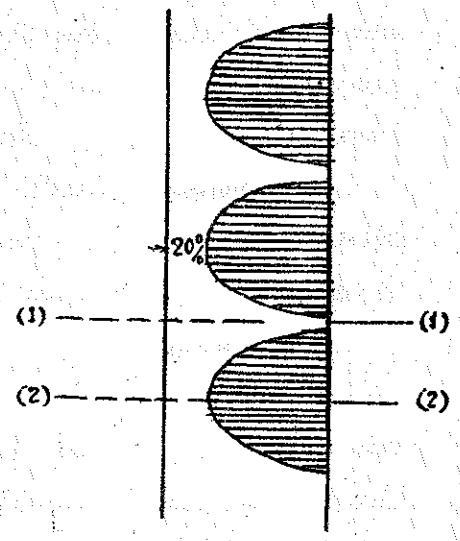
$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial z^2}=0$$

Εἰς τὸ σχ. 59 δίδεται διάταξις σωλήνων ἀποστραγγίσεως εἰς φράγμα.

Τό ὕδωρ ρέει διά τῶν πόρων τοῦ ἐκχυσώματος συμφώνως πρός τό Σχ. 60 ὅπου ἐμφαίνεται ἡ ροή πλησίον τοῦ πυθμένος ($z=0$).

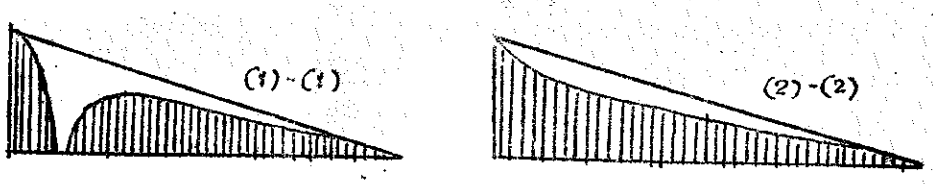


Σχ. 59



Σχ. 60

Ἡ κατά μῆκος τομή τῆς ροῆς δίδεται εἰς τό Σχῆμα 61 δι' ὅλον τό πλάτος εἰς τόν πόδα τοῦ φράγματος καί δή εἰς θέσιν παρά τόν ὠλῆνα καί εἰς θέσιν εἰς τό ἥμισυ τῆς ἀποστάσεως μεταξύ δύο ὠλήνων.



Σχ. 61

Ἡ τοποθέτησις τῶν ὠλήνων αὐτῶν βεβαίως τήν παροχήν διηθήσεως. Κατά τόν Τölke ἐάν καλέσωμεν:

$$6 = \frac{n.b}{a \ln \frac{a}{\pi r}} \quad \text{καί} \quad \varepsilon = \frac{1}{1+6}$$

Ἡ αὔξησις τῆς παροχῆς διηθήσεως ἔχει λόγον πρὸς τὴν συνήθη παροχὴν ἀνὰ μέτρον τοίχου.

$$Q : Q_o = \varepsilon \cdot \vartheta \cdot \lambda \cdot H / 2b$$

$$\left(\text{ἢ } Q_o = F \cdot U_o = F \cdot \frac{K}{\lambda} \right)$$

Ἵνα μὴ ἐμφανίζεται τὸ ὕδωρ εἰς τὴν πρὸς τὰ κατάντη πλευρὰν τοῦ φράγματος ἀποδεικνύεται, διὰ διεξοδικῶν ὑπολογισμῶν, ὅτι πρέπει νὰ ἰσχύῃ ἡ σχέσις:

$$\frac{b n \lambda^2}{\alpha \ell n \frac{\alpha}{nr}} = 1$$

(ἔναρξις ξηράνσεως)(διάνυσμα ταχύτητος ὕδατος συμπίπτει μὲ ἐξωτερ. κλίσιν τοῦ φράγματος).

Ἐνῷ ἐξ ἄλλου ὁ λόγος:

$$n = \frac{b \cdot \pi \cdot \lambda^2}{\alpha \cdot \ell n \frac{\alpha}{nr}}$$

καλεῖται βαθμὸς στραγγίσεως (Trockenlegungsgrad)

Τέλος ὁ συντελεστὴς ε:

$$\varepsilon = \frac{1}{1+\vartheta} = \frac{1}{1 + \frac{b n}{\alpha \ell n \frac{\alpha}{nr}}}$$

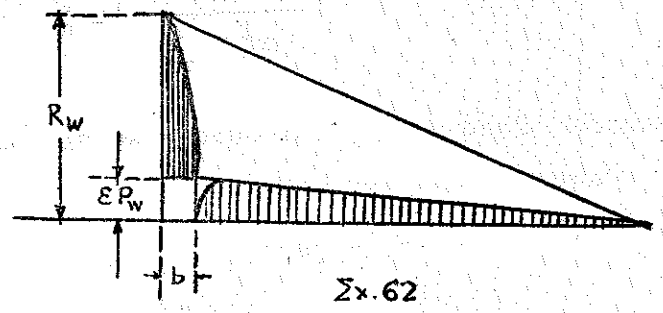
καλεῖται συντελεστὴς μειώσεως τῆς ἀνώσεως καὶ ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 62 παριστᾷ τὸν λόγον εἰς ὃν ἐλαττοῦται ἡ ὑδροστατικὴ πίεσις P_w, ἥτις ἐξασκεῖται ἄνευ στραγγίσεως.

"Ινα τό δεξιά τοῦ δικτύου στραγγίσεως τμῆμα δέν ὑφίσταται καμμίαν πίεσιν ἀνώσεως δέον:

$$\varepsilon \longrightarrow 0$$

καί τοῦτο δύναται νά λάβῃ χώραν ὅταν $\ell n \frac{\alpha}{\pi r}$ γίνει 0, ἤτοι διά:

$$\frac{\alpha}{\pi r} = 1 \quad \text{ἤ} \quad \alpha/r = \pi$$



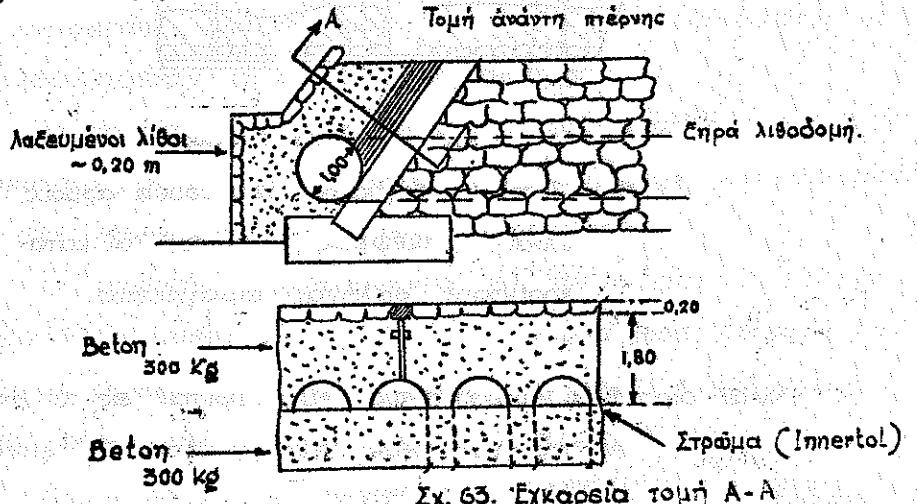
Σχ.62

Δι' ἁπλᾶς ἐφαρμογάς προκύπτει ὅτι διά συνήθη φραγματα ἡ ἀπόστασις τῶν σωλήνων τότε πρέπει νά γίνῃ πολύ μικρά. Κατωτέρω δίδεται πίναξ τῶν στοιχείων στραγγίσεως γνωστῶν τινῶν φραγμάτων.

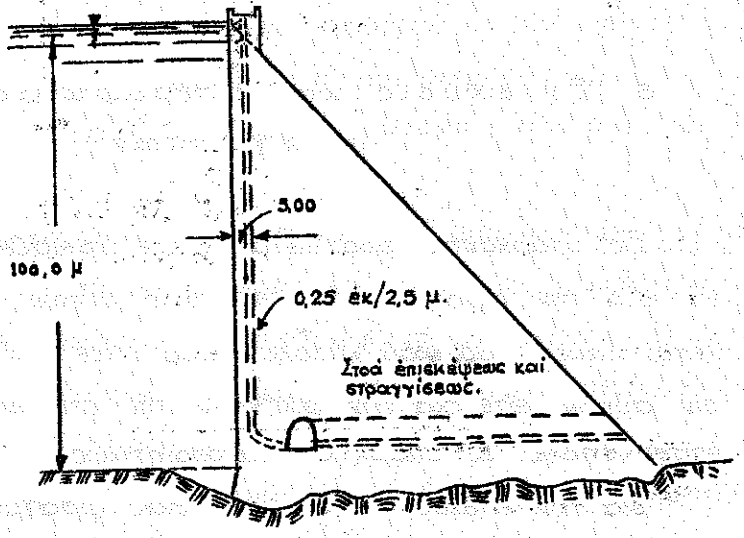
	H	α	b	r	λ	n	ε	Q/Q_0
Ennepe	32	1,0	2,0	0,03	0,69	1,26	0,27	5,3
Barbellina	63	2,5	5,0	0,125	0,73	1,80	0,23	4,2
Exchequer	83	1,25	3,0	0,125	0,64	2,58	0,13	9,2
Chambon	120	1,50	80	0,15	0,75	8,10	0,06	5,6
Boulder	221	1,50	38,0	0,25	0,89	9,70	0,08	19

Παράδειγμα ἀποστραγγίσεως τοῦ φράγματος Vannino Ponte δίδεται εἰς τό σχῆμα 63.

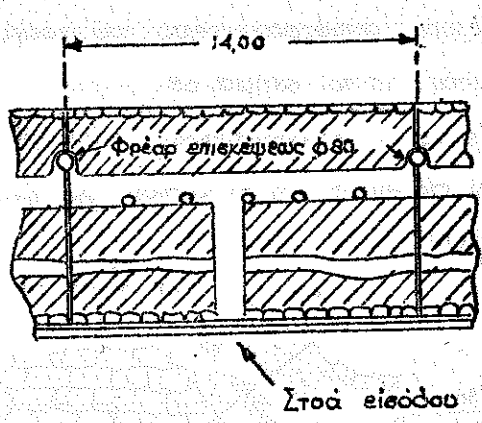
Οἱ κεκλιμμένοι στραγγιστῆρες εὑρίσκονται ἐξαιρετικά πλησίον ἀλλήλων, δοθέντος ὅτι τό κύριον φράγμα ἀποτελεῖται ἀπό ξηρολιθοδομήν.



Σχ. 63. Ἐγκαρσία τομή A-A



Σχ.64 . Φράγμα Exchequer - Η.Π.Α.



Σχ.65. Κάτοψις φράγματος δεικνύουσα άριθμούς στοάς επισκέψεως, εισόδους καί κατακορύφους σωλήνας στραγγίσεως.

Άλλαι διατάξεις στραγγίσεως εμφαίνονται εἰς τά σχήματα φραγμάτων εἰς τήν κατωτέρω παράγραφον 7 (Γενικά παραδείγματα φραγμάτων).

6. Ἐνίσχυσις καί ὑπερύψωσις τῶν φραγμάτων.

Εἰς ὑπάρχοντα φράγματα ἐνίοτε χρειάζεται ἐνίσχυσις, εἴτε διά τήν αὔξησιν τῆς εὐσταθείας αὐτῶν, μειονεκτούσης λόγῳ κακοῦ ἀρχικοῦ ὑπολογισμοῦ εἴτε διά τήν ὑπερύψωσιν αὐτῶν, εἴτε διά τήν αὔξησιν τῆς στεγανότητός των, μή ἐπιτευχθείσης ἐξ ὑπαρχῆς ἱκανοποιητικῶς.

Διά τήν ἐνίσχυσιν τῆς εὐσταθείας φράγματος κλασικόν παράδειγμα ἀποτελεῖ τό φράγμα Cheufrois (Ὁράν Ἀλγερίας ἐπί τοῦ O ed Mekerra) ὕψους 30,0 μ. (περιεκτικότητος λίμνης 18 ἑκατ. κυβ. μ.).

Διά ὑπερύψωσιν 30 μ. ἡ γραμμή πιέσεων πλήρους λίμνης ἐξηρχετο τοῦ πυρῆνος προκαλοῦσα εἰς τό ἀνάντη πέλμα τάσεις ἐφελκυσμοῦ. Πρός παραλαβήν αὐτῶν κατασκευάσθησαν ἀνά 4,0 μ. μήκους φράγματος ἀγκυρώσεις ἐκ καλωδίων, περιλαμβανόντων 630 γαλβανισμένα σύρματα διαμέτρου 5 χιλιοστῶν, προστατευομένων διά λινοῦ ὑφάσματος καί περιβαλλομένων δι' ἀσφαλτικοῦ τοιούτου.

Τά τοιαῦτα καλώδια εἰσήρκοντο εἰς ὀπάς διαμέτρου 250 χιλιοστῶν, διανοιγομένας ἐντός τοῦ φράγματος καί ἠγκυροῦντο διά σιμέντου ἐντός κιτρίνου ψαμμίτου.

Τά καλώδια προετείνοντο ἐπί τόπου διά 3 εἰδικῶν ὑδραυλικῶν πιεστηριῶν πρό τῆς ἀγκυρώσεως. Ἕκαστον καλώδιον δύναται νά παραλαμβάνῃ φόρτισιν 1000 τόννων (250 τόννοι ἀνά τρέχον μέτρον φράγματος).

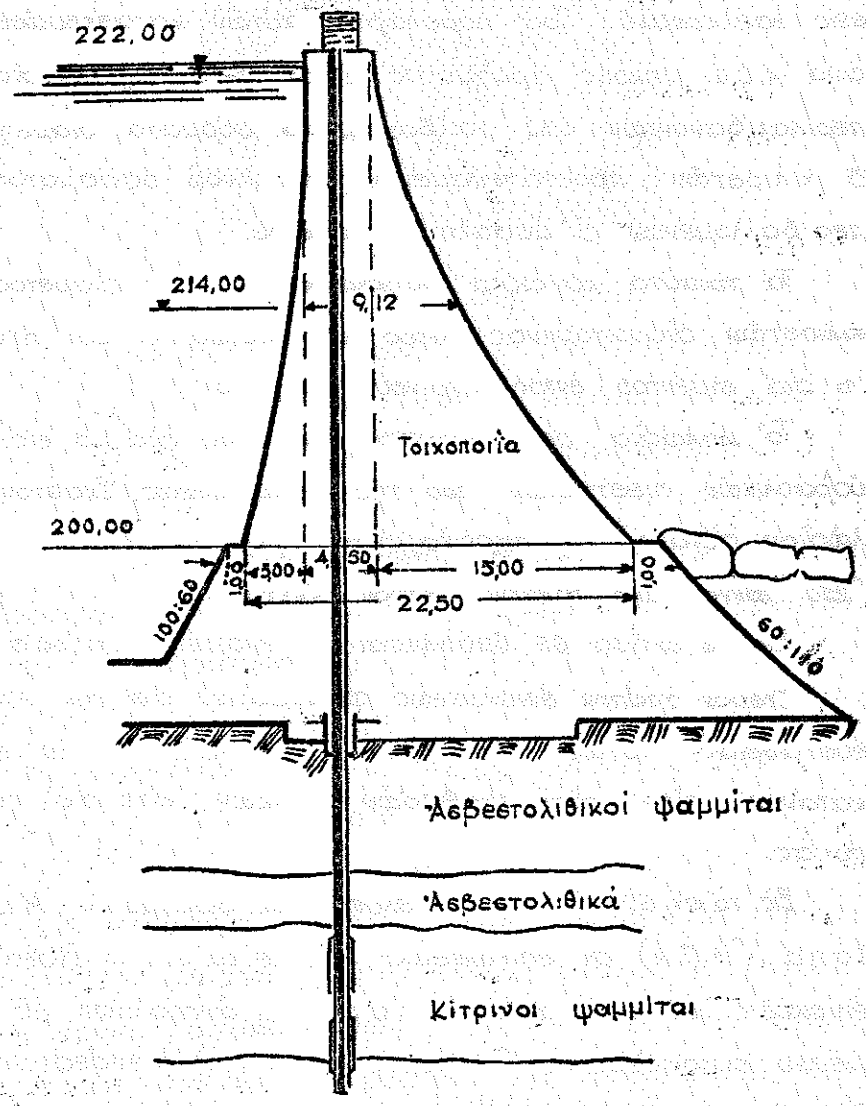
Εἰς τό σχῆμα 66 ἐμφαίνεται ἡ γενομένη ἀγκύρωσις.

Ἕτερον τρόπον ἐνισχύσεως φραγμάτων διά τήν ἐπιτυχίαν εὐσταθείας αὐτῶν ἀποτελεῖ ἡ ἀντιστήριξις αὐτῶν εἰς τά καταίντη εἴτε διά ψαθυρῶν ὑλικῶν εἴτε διά τοιχοποιΐας.

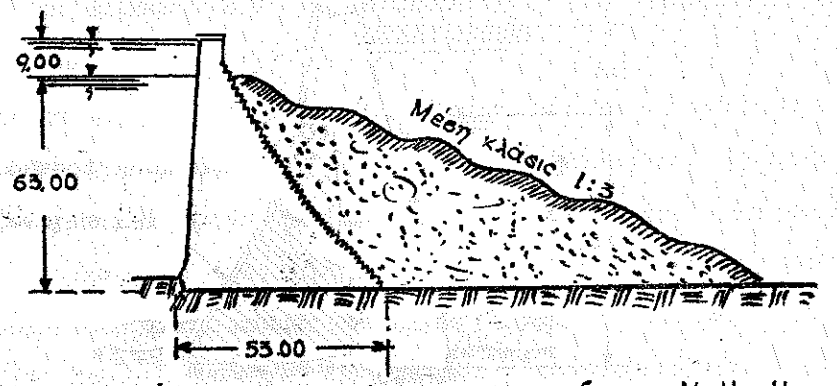
Εἰς τό σχ. 67 δίδεται ἡ ἐνίσχυσις τοῦ φράγματος Mulholland (Η.Π.Α) δι' ἐπιχώσεως, εἰς δέ τό σχ. 68 δίδεται ἡ ἐνίσχυσις τοῦ φράγματος Assuap δι' ἀντηρίδων, ἐξ ὁπλισμένου σκυροδέματος (ὁπλισμός Φ 57 χιλ.) ἐπενδεδυμένων διά γρανιτικῶν κυβολίθων.

Εἰς τό σχῆμα 69 ἐμφαίνεται ἡ ἐνίσχυσις τοῦ φράγματος O'Shaugnessy (Η.Π.Α).

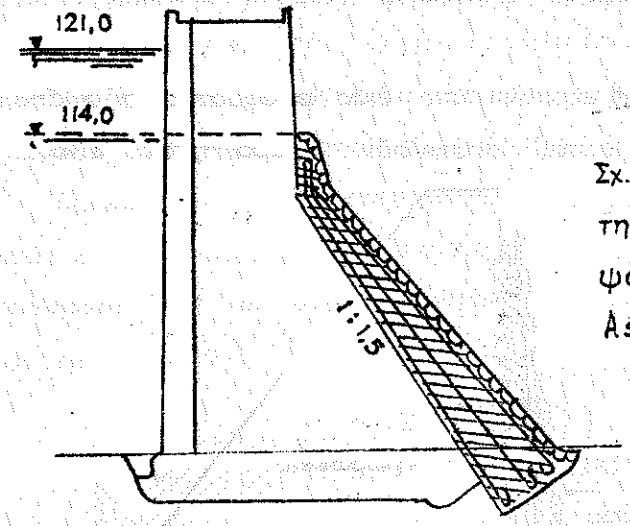
Ἡ ἐνίσχυσις φραγμάτων δύναται νά γίνῃ καί πρός τά ἀνάντη, ὡς λ.χ. εἰς τό φράγμα Werse, ὅπερ ἐμφαίνεται εἰς τό σχ. 70.



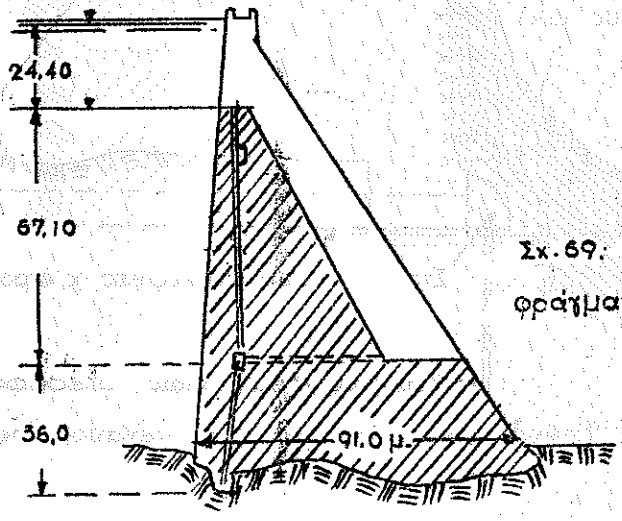
Σχ. 66 : Ἐνισχυσις δι' ἐλκυστήρων τοῦ φράγματος Cheufras (ORAN).



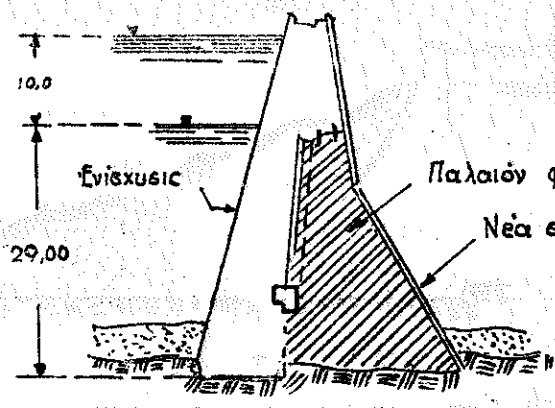
Σχ. 67. Ἀντιστήριξις διά χωμάτων (φραγ. Mulhalland).



Σχ. 68: Ἐνίσχυσις δι' ἀντηρίδων πρὸς ὑπερύψωσιν τοῦ φράγματος Assuan.

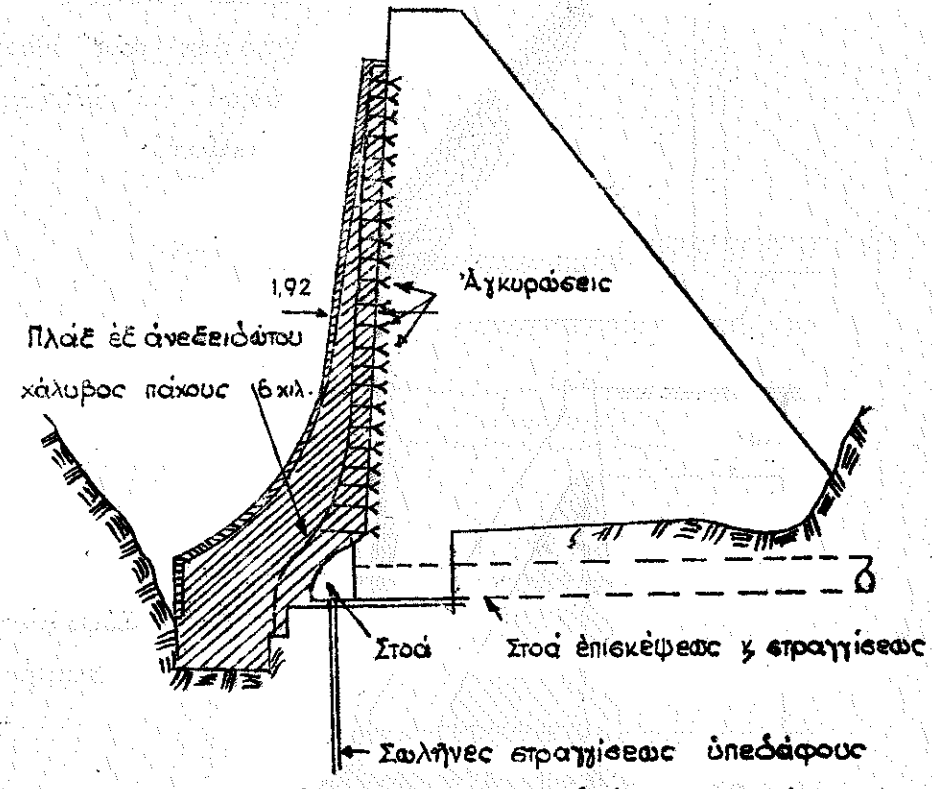


Σχ. 69. Ὑπερύψωσις φράγματος O'Shaugnessy.



Σχ.70. Ὑπερύψωσις φράγματος Velse (ΓΕΡΜΑΝΙΑ).

Ἡ ἐπένδυσις, ἡ συμπύκνωσις ἑνὸς φράγματος δι' αὔξησιν τῆς στεγανότητος αὐτοῦ ἀποτελοῦν ἀπαραιτήτως ἐνίοτε ἐρ-



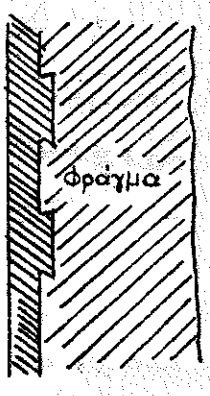
Σχ.71: Ἐπένδυσις φράγματος διὰ στεγανοποίησιν.

γασίας δι' ἐξασφάλισιν τῆς σταθερότητος τοῦ φράγματος ἐκ τῶν ὑστέρων.

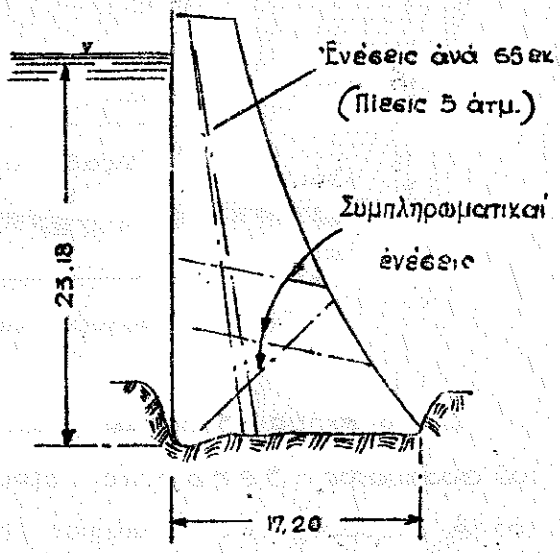
Εἰς τὸ σχῆμα 71 δίδεται φράγμα οὗτινος ἡ στεγανότης ἐπετεύχθη διὰ πλακὸς ἐξ ἀνοξειδώτου χάλυβος ἀγκυρωθείσης εἰς τὸ ὑπάρχον φράγμα καὶ περιβληθείσης διὰ σκυροδέματος ἰσχυροῦ μεταβλητοῦ πάχους (250 χιλγρ) προστατευομένου διὰ κονίας ἰσχυρᾶς μετὰ Innertol.

Εἰς πολλὰ φράγματα μεγάλης διαπερατότητος ἡ στεγανοποίησις αὐτῶν ἐπιτυγχάνεται εἴτε δι' ἐπιστρώσεως ἐκ καλῆς κονίας εἰς τὴν ἀνάντη πλευράν ἢ διὰ ἐπενδύσεως αὐτῆς διὰ ὡπλισμένου σκυροδέματος μορφῆς χελιδονουρᾶς (σχ. 72) ἢ κατὰ διαφόρους ἄλλους τρόπους.

Ὁμοίως ἐνίοτε ἡ στεγανότης τῶν φραγμάτων ἐπιτυγχάνεται διὰ κατασκευῆς ἐ ν έ σ ε ω ν ἐκ σιμέντου, ὡς εἰς τὴν σταθεροποίησιν καὶ στεγανοποίησιν τοῦ ὑπεδάφους (βλ. σχ. 73 καὶ σελ. 30 -32).



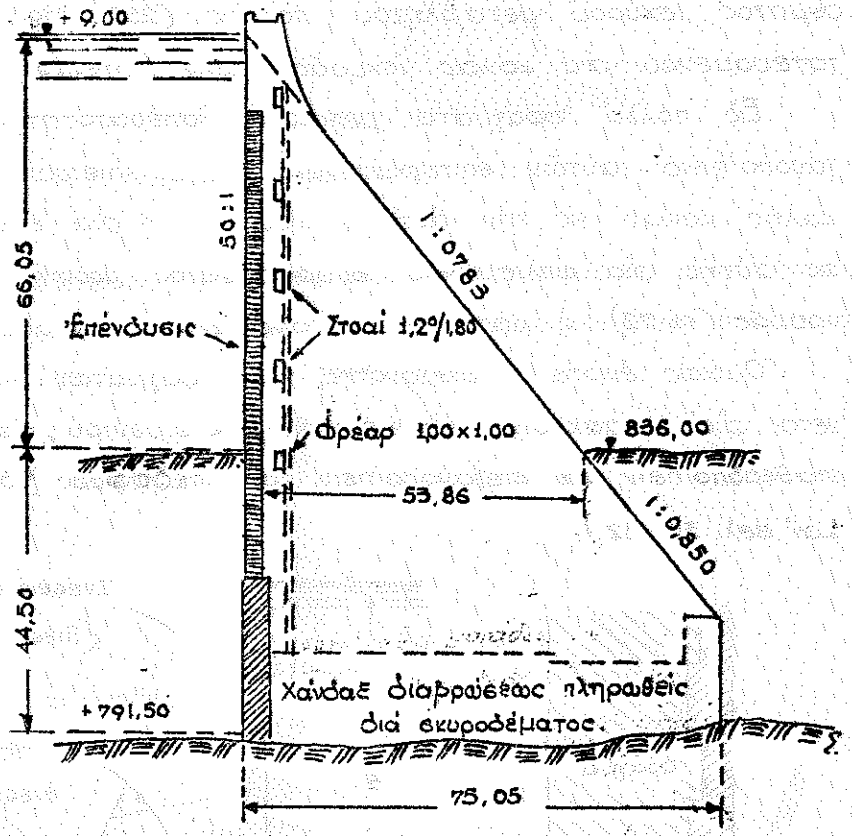
(Σχ. 72)



(Σχ. 72)

7. Γενικά παραδείγματα φραγμάτων βαρύτητος

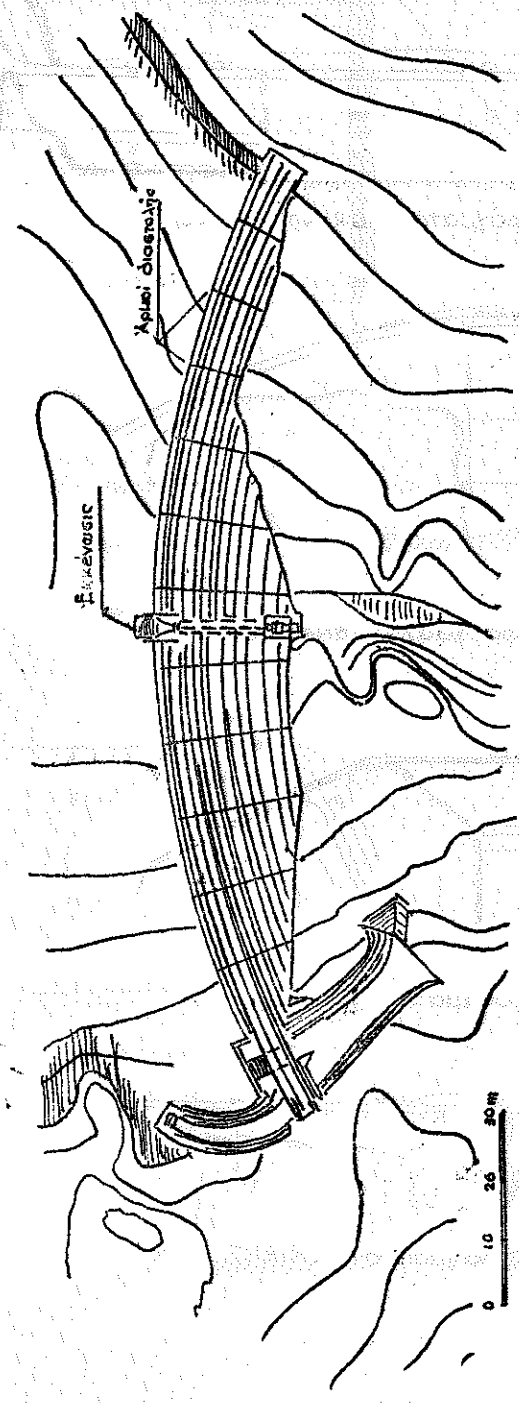
Εἰς τὸ σχ. 74 δίδεται τὸ φράγμα βαρύτητος Im. Schrah, ἐκ σκυροδέματος, ὅπερ προεξετάθη εἰς βάθος μέχρι συναντήσεως στερεοῦ ἐδάφους.

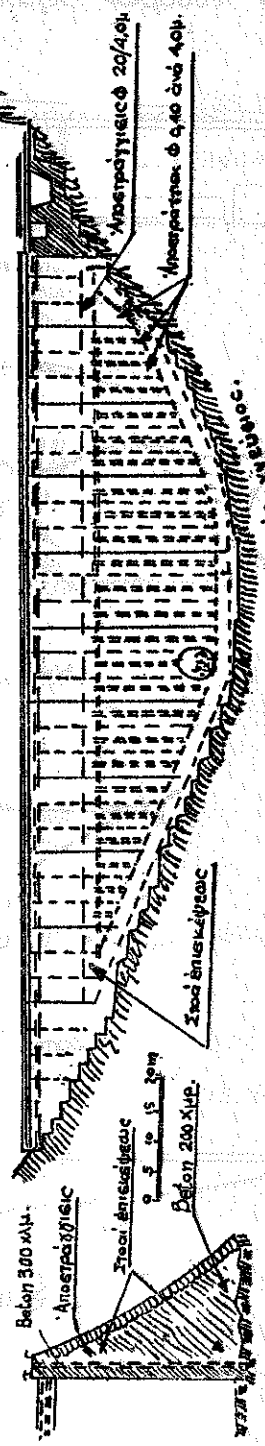


Σχ. 74. Φράγμα βαρύτητος.

Εἰς τὸ σχῆμα 75 δίδεται ἡ κάτοψις, μηκοτομὴ καὶ διατομὴ τοῦ φράγματος Serbatio, ὕψους 30,0 μ., κατασκευασθέντος ἐκ σκυροδέματος ἀναλογίας 200 χιλ. περιβαλλομένου διὰ σκυροδέματος ἐκ 300 χιλ/μ^3. Οἱ ἄρμοι διαστολῆς τοποθετοῦνται ἀνὰ 12,0 μ. καὶ ὑπάρχουν δύο στοαὶ ἐπισκέψεως μία

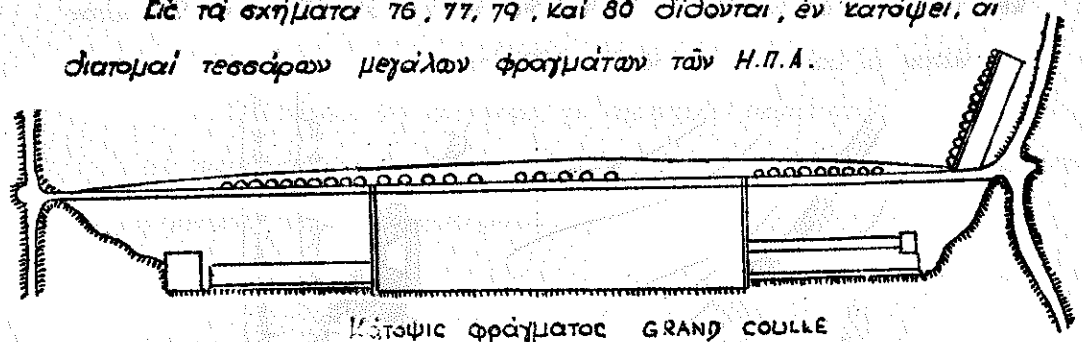
κεκλιμένη παρακολουθοῦσα τὴν διατομὴν τοῦ ἐδάφους. Εἰς ταύτας ἐκβάλλουν οἱ σωλῆνες ἀποστραγγίσεως.—



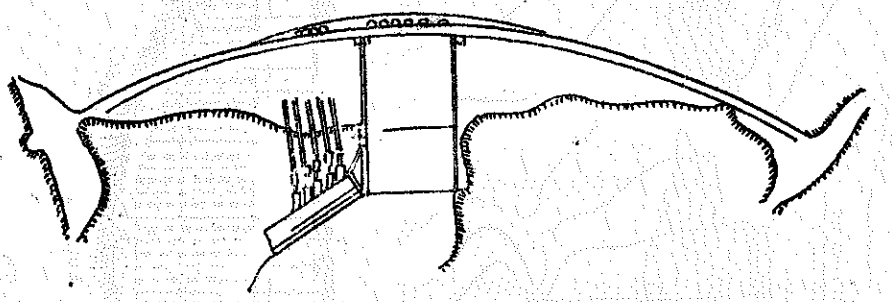


Σχ. 75.

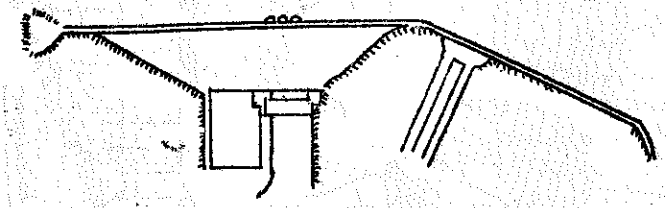
Εἰς τὰ σχήματα 76, 77, 79, καὶ 80 δίδονται, ἐν κατόψει, αἱ διατομαὶ τεσσάρων μεγάλων φραγμάτων τῶν Η.Π.Α.



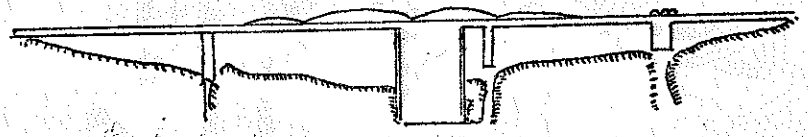
Κάτοψις φράγματος GRAND COULEE



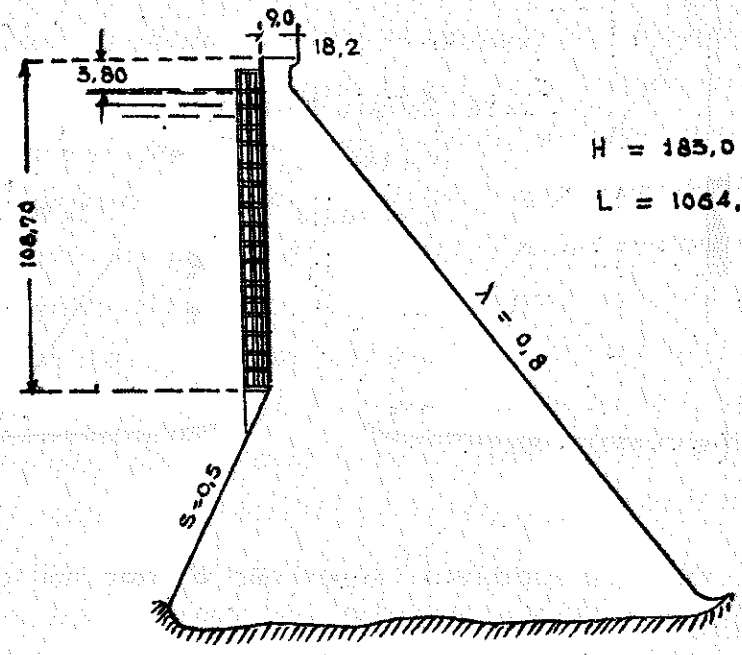
Κάτοψις φράγματος SNASTA



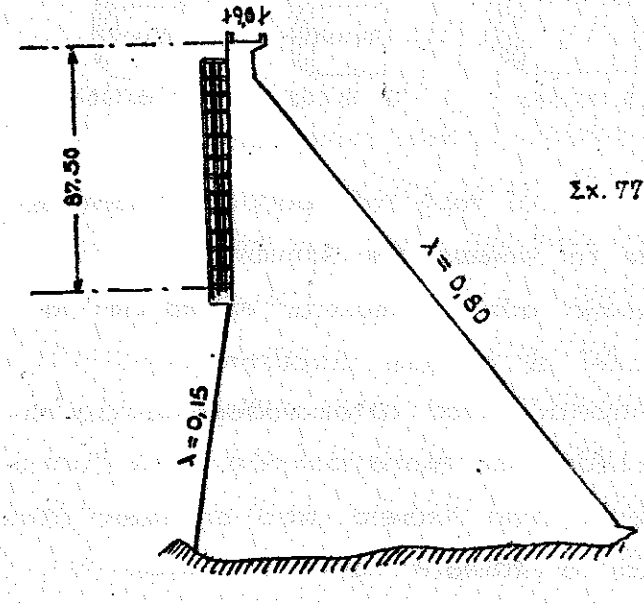
Κάτοψις φράγματος FONTANA



Κάτοψις φράγματος FRIANT.



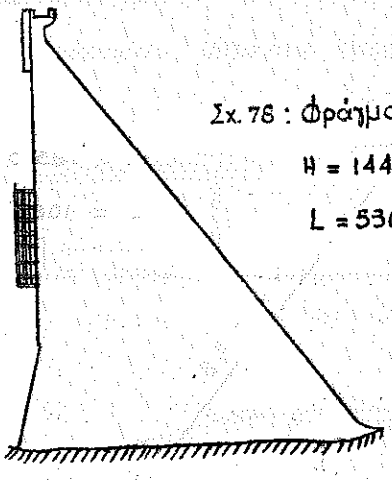
Σχ. 76. Φράγμα SHASTA



Σχ. 77: Φράγμα GRAND COULLE

H = 168,70

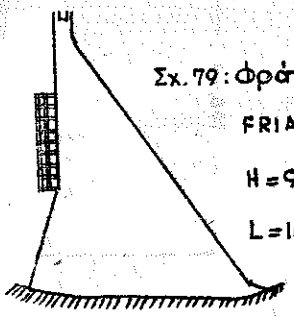
L = 1276,80



Σχ. 78 : Φράγμα FONTANA

H = 144,0 μ

L = 530,0 μ

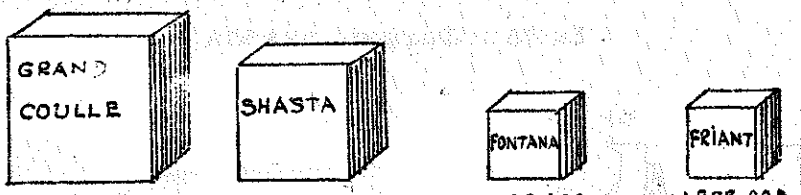


Σχ. 79 : Φράγμα FRIANT

H = 91,20 μ.

L = 1040,0 μ.

Εἰς τό σχ. 80 ἐμφαίνεται συγκριτικῶς ὁ ὄγκος τῶν φραγμάτων τούτων εἰς κυβικά μέτρα.



Εἰς τό σχήμα 81 δίδεται τομή τοῦ φράγματος Μαραθῶνος διά τήν ὑδρευσιν τῆς πόλεως τῶν Ἀθηνῶν.

Ἡ λεκάνη ἀπορροῆς αὐτοῦ ἀνέρχεται εἰς 110 km^2. Τό φράγμα ἔχει ὑπολογισθεῖ ὡς φράγμα βαρύτητος.

Αἱ ἐξωτερικαί παρειαί αὐτοῦ κατασκευάσθησαν διά τοιχοποιίας ἐξ ἀσβεστολίθου, ἥτις ἐχρησιμοποιήθη ἀντί ξυλοτύπου διά τό ἐκυρόδεμα, ἅπερ ἐχύνετο κατά στρώσεις ὕψους ἑνός μέτρου, ὅσον καί τό ἑκάστοτε ὕψος τοιχοποιίας.

Οὕτω πλήν τῆς πρακτικῆς σημασίας τῆς λιθοδομῆς

ὡς Ξυλοτύπου, θεωρεῖται καὶ τὸ φράγμα τοῦ Μαραθῶνος ὡς τὸ μόνον ἐν τῷ κόσμῳ ἐπενδεδυμένον διὰ μαρμάρου.-

Τὸ εἰδικὸν βάρος κατὰ τὴν μελέτην ἐλήφθη 2,3.

Ἡ ὑποπίεσις τοῦ ὕδατος ἐλήφθη τριγωνικὴ καὶ ἴση πρὸς $\frac{2}{3}$H ἀνάντη καὶ μηδὲν εἰς κατάντη. Ὁ τοῖχος παραπετάσματος ἐδημιουργήθη διὰ τοίχου ἐκ σκυροδέματος 300 χιλιογράμμων εἰς βάθος 3,0-5,0 μέτρων καὶ ἐνισχύθη δι' ἐνέσεων βάθους 61,0 μ. εἰς ἀποστάσεις 1-5 μέτρων. Ἡ ὅλη βάσις θεμελιώσεως ἐνισχύθη ὁμοίως διὰ ἐνέσεων (μιᾶς ἀνά 9μ^2) βάθους 5-13μ.

Ὁ πυθμὴν τῆς λίμνης ἐκαλύφθη διὰ στρώματος ἀργίλλου πάχους 13,0 μ.(ὄγκου 21,280 μ^3).

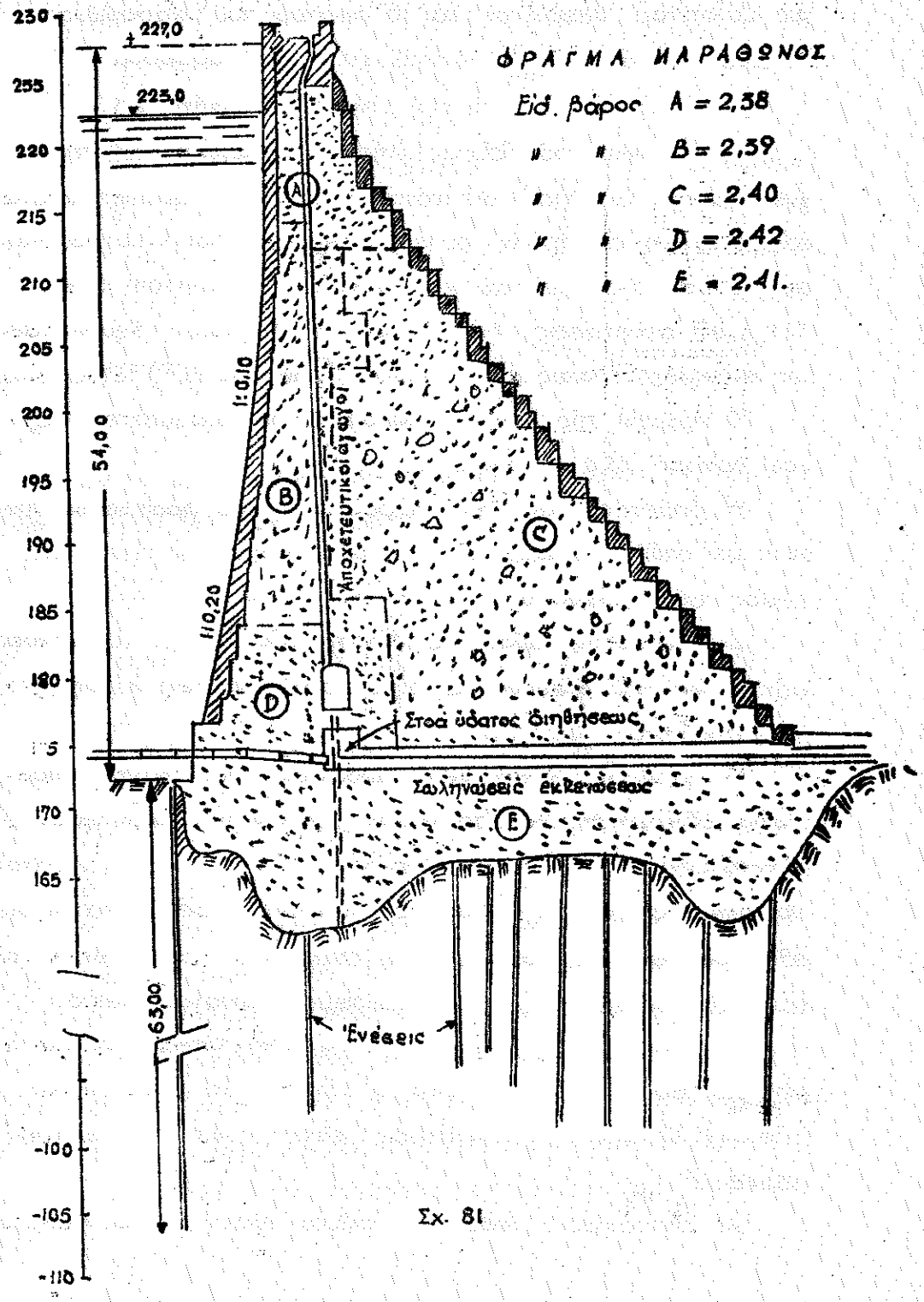
Ἡ ἀποστράγγισις τοῦ ἐδάφους καὶ τοῦ φράγματος ἐγένετο δι' ὀπῶν καταλήγουσῶν εἰς τὴν κατὰ μῆκος τοῦ φράγματος ὁριζοντίαν στοάν.

Διὰ μέγιστον ὕψος τοῦ φράγματος 54,0 μ. καὶ μήκους αὐτοῦ εἰς τὴν στέψιν 285,0 μ. ἐδημιουργήθη λίμνη 2,5 κm^2 χωρητικότητος 41×10^6 μ^3.

Ἡ προσδοκωμένη μέση ἀπόδοσις τῆς λεκάνης ἀπορροῆς ἐξετιμήθη εἰς 500 λ/δλον (15,8×10^{6}μ^3) ἀργότερον δὲ ὑπελογίσθη εἰς τὸ ἥμισυ περίπου. Οὕτω ἡ λίμνη μὲ κατανάλωσιν ὕδατος 70-100.000 μ^3 ἡμερησίως δὲν δύναται νὰ ἐξυπηρετήσῃ τὰς Ἀθήνας καὶ διὰ νὰ πληρωθῇ θέλει τρία ἕως ἕξη συνεχῆ ἔτη ἄνευ οὐδεμιᾶς καταναλώσεως.

Ὁ ὄγκος τοῦ φράγματος (ἄνευ λιθενδύσεως) ἀνέρχεται εἰς 152,250 μ^3 ἐξ ὧν 22000 μ^3 ἀρχαῖ λίθοι (κυκλώπειον μπετόν). Ὁ ὄγκος λιθενδύσεως εἶναι 17,140 μ^3. Ἐκσκαφαὶ 55540 μ^3.

Αἱ διατρήσεις 1052 τὸν ἀριθμὸν ἔχουν μῆκος 19850 μ.


ΦΡΑΓΜΑ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ
Εἰδ. βάρος A = 2,38
" " B = 2,59
" " C = 2,40
" " D = 2,42
" " E = 2,41.
230
225
220
215
210
205
200
195
190
185
180
175
170
165
-100
-105
-110
+227,0
225,0
54,00
1:0,10
1:0,20
63,00
Αποχετευτικοί αγωγοί
Στεγανό υδατος διηθήσεως
Σωληνώσεις εκκενώσεως
Ένέσεις
A
B
C
D
E

Σχ. 81

καὶ κατανάλωσιν 2506 τόννους εἰμέντου. Τὸ ἔργον διήρκεσε μίαν τριετίαν μὲ μέσον ἡμερήσιον ἀριθμὸν ἐργαζομένων 900.

Εἰς τὸ σχ. 82 δίδεται τομὴ τοῦ φράγματος Norris, τῆς Tennessee Valley Authority ὕψους 79.0 μ. τύπου βαρύτητος.

Ἐκ παραλλήλου δίδονται αἱ κατακόρυφοι (σξ) αἱ παράλληλοι πρὸς τὰς ἐξωτερικὰς παρειὰς (ᾱβ) καὶ αἱ διατμητικαὶ τάσεις εἰς τὰ δύο ἄκρα τοῦ φράγματος καὶ εἰς διαφόρους τομὰς αὐτοῦ ὑπολογιζόμεναι διὰ τῶν ἁπλῶν μεθόδων τῆς ἀρχῆς τοῦ παρόντος κεφαλαίου.

Εἰς τὸ αὐτὸ σχῆμα δίδεται δι' ἕκαστον δριζόντιον ἐπίπεδον ἀνὰ 15,80 μ. ὁ συντελεστὴς ὀλισθήσεως.

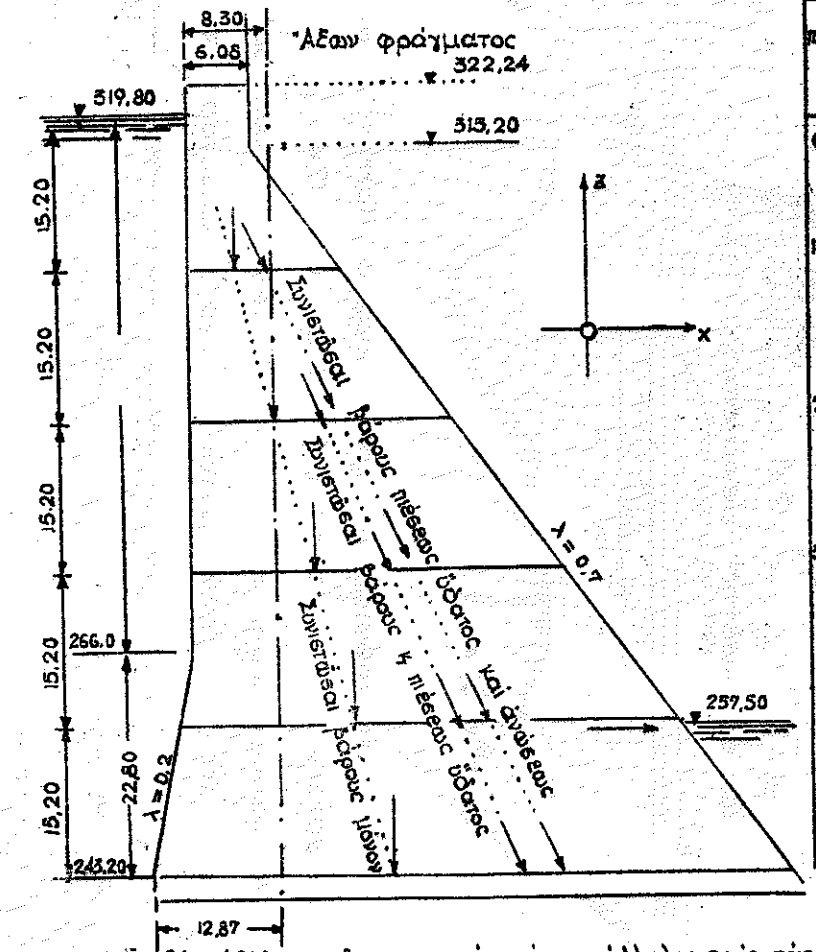
$$\varepsilon\varphi\gamma = \frac{H}{B-A} \qquad (\beta\lambda.\ \sigma\varepsilon\lambda.\ 29)$$

καὶ συντελεστὴς ἀσφαλείας :

$$\eta = \frac{f(B-A) + F \cdot T}{H}$$

Ἄ σ κ ή σ ι ς.

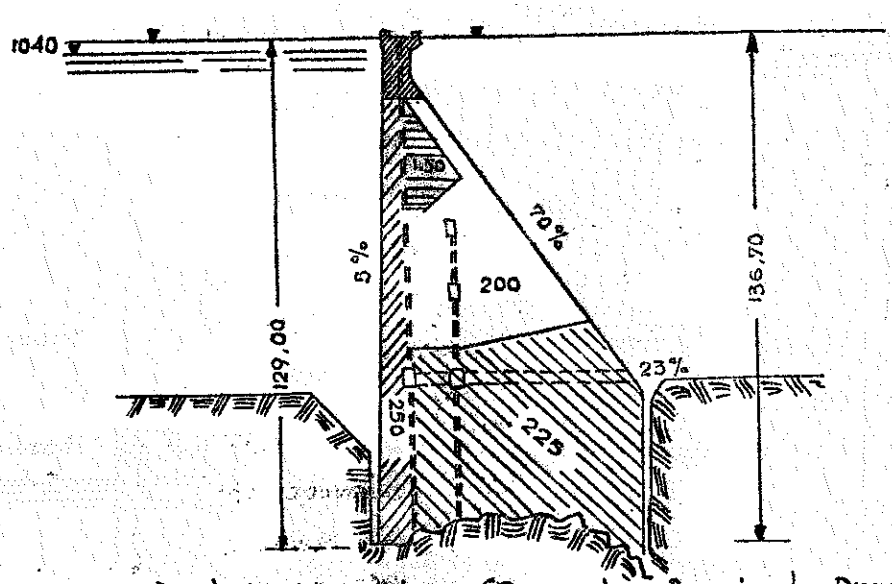
Νὰ ἐπαληθευθῶσιν διὰ τὸ φράγμα Norris οἱ συντελεσταὶ η εἰς βάθη 15,80 - 31,60 καὶ 47,40 μ. καὶ νὰ ὑπολογισθῶσιν εἰς τὰ αὐτὰ βάθη αἱ τάσεις συμφώνως πρὸς τὸν γενικευμένον κανόνα τραπεζίου (ἐξίσωσις 30, σελ. 59) καὶ νὰ ὑπολογισθῶσιν μέχρι τοῦ αὐτοῦ βάθους αἱ ῥοπαὶ τῶν τάσεων.



Πλάτος μ.	Συν/στης όλισθ. f.	Τάσεις έντός του φράγματος					Υδροστατικ. πιέσεις						Συν/στης ασφαλ. η.
		Άνάντη						Κατάντη					
		κενή		Πλήρης				Πλήρης			Κενή		
		σ_z	σ_λ	σ_z	σ_λ	π_λ		σ_z	σ_λ	τ_x	σ_z	σ_λ	
6,08	-												
14,62	0,398	3,17	3,17	3,33	3,33	0	1,56	1,84	2,72	1,3	0,05	0,75	34,4
25,26	0,561	8,64	8,64	4,15	4,15	0	2,99	4,49	6,67	3,13	0,06	0,95	15,9
35,90	0,635	12,18	12,18	4,69	4,69	0	4,49	7,35	10,95	5,17	0,07	0,11	10,4
48,06	0,660	14,55	14,9	5,31	5,51	0,14	5,99	10,27	15,24	7,14	0,82	1,23	8,1
61,74	0,666	15,85	16,31	6,67	6,1	0,27	7,42	14,01	19,70	8,3	7,75	3,34	7,1

Σχ.81 : Κάθετοι, διατμητικαί και παράλληλοι πρός τάς παρειάς τάσεις τοῦ φράγματος Norris εἰς T.V.A.

Εἰς τὸ σχῆμα 83 ἐμφαίνεται τὸ φράγμα βαρύτητος Chambon, Γαλλίας, ὅπερ ἔχει λεκάνην τροφοδοτήσεως 250 km^2, χῶρον ἀποθηκεύσεως 54 ἑκατομ. $μ^3$. καὶ ἔκτασιν λίμνης 1,4 km^2 μέ μέσην παροχήν 8,8 $μ^3$ καὶ μεγίστην 80 $μ^3$/δλον. Τὸ φράγμα ἔχει ὕψος ὁλικόν 136,70 μ. ἀπό τῆς θεμελιώσεως καὶ 80,0 μ. ἀπό τῆς κοίτης καὶ μῆκος στέψεως 293,60 μ. Ὁ ὄγκος σκυροδέματος ἀνέρχεται εἰς 300.000 $μ^3$ μέ πυκνότητα 2,3. Αἱ ἀναλογίαι σκυροδέματος ἐξελέγησαν ἀναλόγως τῶν τάσεων

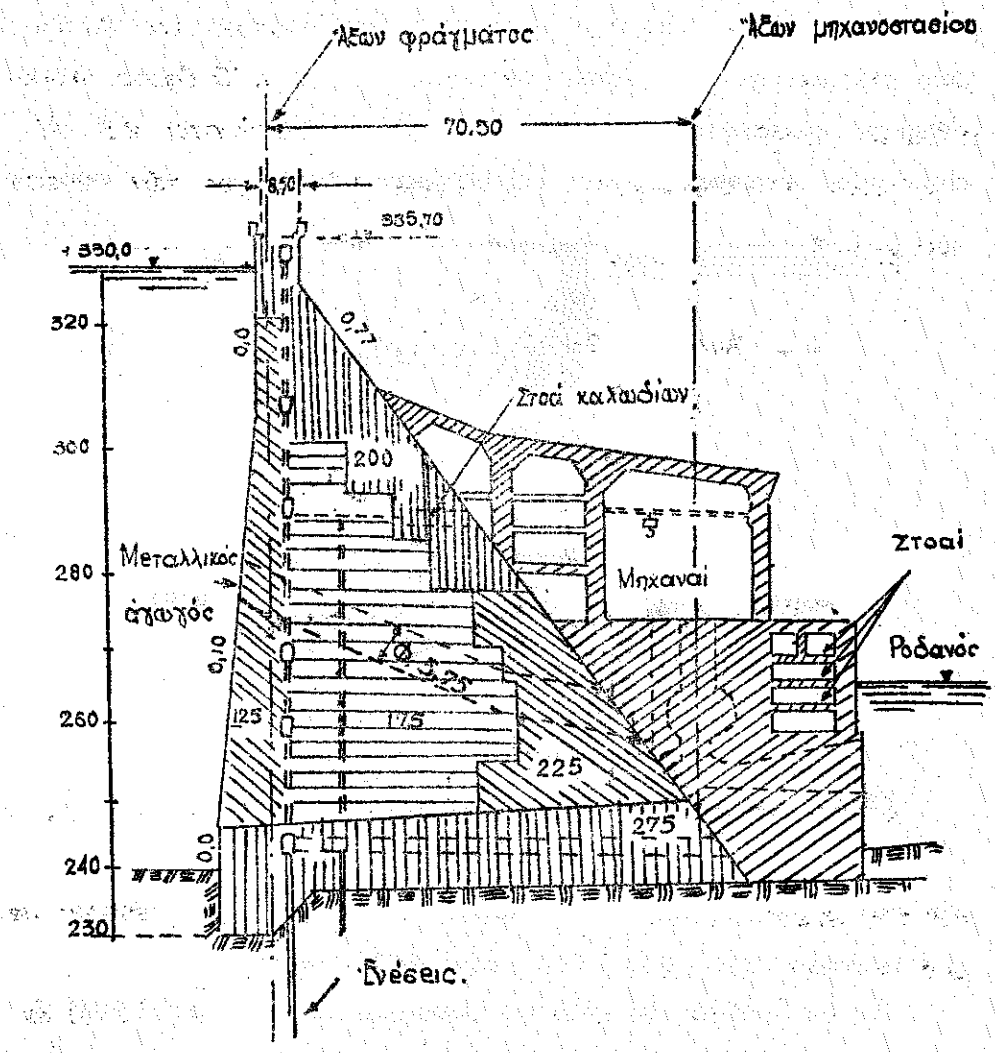


(Σχ.83) Φράγμα Chambon (Romanche, Bassio du Drac).

καὶ τῆς στεγανότητος καὶ ἔχουσιν ἀναλόγως τῆς βάσεως περιεκτικότητα 150, 200, 225 καὶ 250 κιλ/$μ^3$.

Εἰς τὸ σχῆμα 84 δίδεται φράγμα Genissiat (1948) ἓν ἀπό τά μεγαλύτερα ἔργα τῆς Electricité de France, ὅπερ ἔχει λεκάνην ἀπορροῆς 10910 km^2, μέσην παροχήν 395 καὶ μεγίστην 2000 $μ^3$/δλον. Ἡ ἀποθηκευομένη ποσότης ὕδατος

ἀνέρχεται εἰς 33 ἑκατομ. $μ^3$ (ἡ χρήσιμος 12 $μ^3$) καὶ ἡ ἐπιφάνεια τῆς λίμνης εἶναι 3,50 km^2. Τὸ μέγιστον ὕψος ἐκ θεμελίων εἶναι 103,70 μ. καὶ ἔχει μῆκος 140 μ.



Σχ. 84: Φράγμα Genissiat ἐπὶ τοῦ Ροδανοῦ (Οἱ ἀριθμοὶ δίδουν τὰς ἀναλογίας ἐκφορτίσεως).

III-2. ΤΟΞΟΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.

Γενικότητες.

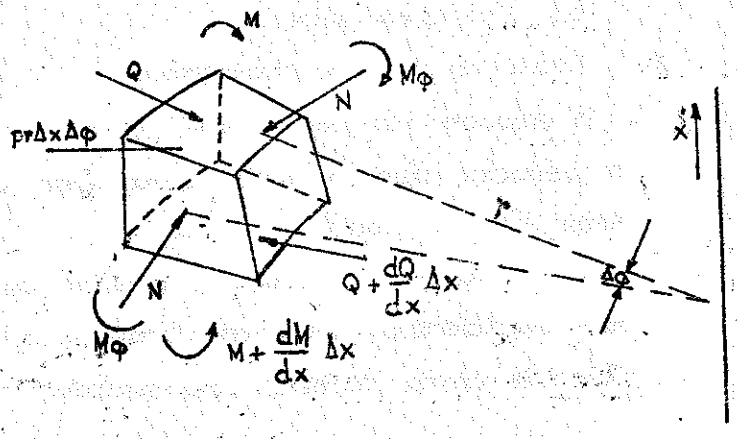
1. Υπολογισμός κυλινδρικῶν φορέων.
2. Υπολογισμός ἀμφιπάκτων τόξων.
   - α - Αἱ παραμορφώσεις τῶν φορέων
   - β - Ἁπλαῖ μέθοδοι ὑπολογισμοῦ τῶν ἀμφιπακτων τόξων.
     - β.1. Γεωμετρική μέθοδος
     - β.2. Ἐμπειρικοί τύποι.
   - γ - Ἀναλυτική μέθοδος ὑπολογισμοῦ
   - δ - Ἡ ἐπιρροή τῶν μεταβολῶν τῆς θερμοκρασίας
3. Ἡ μέθοδος ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς φορτίσεων (Trial - load method).
4. Γενική ἀναλυτική μέθοδος τοξωτῶν φραγμάτων (τριδιάστατος ἐντατική κατάστασις).
5. Παραδείγματα τοξωτῶν φραγμάτων.

Ⅲ.2. ΤΟΞΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.

Γενικότητες.

Τά πλείστα τῶν φραγμάτων βαρύτητος κατασκευάζονται καμπύλα ἐν κατόψει. Διά φράγματα μικροῦ μήκους ἡ καμπυλότης αὐτῶν προκαλεῖ μετάδοσιν ὠθήσεων εἰς τάς κλιτεῖς, ἰδίᾳ εἰς τά καμηλότερα ὁριζόντια τμήματα αὐτῶν, οἵτινες τά τμήματα αὐτά ἐργάζονται ὡς ἀμφίπακτα τόξα.-

Ἤτο φυσικόν ὅθεν οἱ μηχανικοί κατά τόν ὑπολογισμόν νά



Σχ. 85 : Ἐντατική κατάστασις εἰς καμπύλον ἐν κατόψει φράγμα.

λαμβάνουν ὑπ' ὄψιν τάς μεταβιβαζείς τῶν ὠθήσεων αὐτῶν, μέ ἄμεσον συνέπειαν τήν καταπόνησιν τοῦ ὑλικοῦ καθ' ὅλας τάς διευθύνσεις καί τήν μεταβίβασιν τῶν δυνάμεων

εἰς μεγαλυτέρας ἐπιφανείας. Προκύπτουν κατὰ τοιοῦτον τρόπον μικρότεραι διαστάσεις τῶν ἔργων καὶ ἐπομένως **οἰκονομία ὑλικοῦ**.

Ἡ γενικὴ θέσις τῶν συνεργαζομένων μορφῶν τόξου ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 85, ὅπου πλὴν τῶν ῥοπῶν Μ καὶ Μ (μὲ ὁριζόντιον ἄξονα στροφῆς) ἐμφανίζονται ταῦρα καὶ αἱ ῥοπαὶ αἱ ὀφειλόμεναι εἰς τὸ τόξον Μφ καὶ Μφ (μὲ κατακόρυφον ἄξονα στροφῆς) καὶ αἱ ὀρθαὶ τάσεις Ν, Ν δυνάμεων μεταβιβαζομένων εἰς παρακειμένων – διὰ καθέτων τομῶν χωριζομένων – τμημάτων τοῦ φράγματος.

Ἐκ τῶν φορτίσεων τούτων ἂν λάβωμεν τὰς ἰσορροπίας δυνάμεων καὶ ῥοπῶν προκύπτουν αἱ ἐξισώσεις:

$$Q = \frac{dM}{dx} \qquad (1)$$

$$p = \frac{N}{r} + \frac{dQ}{dx} \qquad (2)$$

αἵτινες συνδυαζόμεναι μᾶς δίδουν:

$$p = \frac{N}{r} + \frac{d^2M}{dx^2} \qquad (3)$$

Ἐὰν ἤδη καλέσωμεν w τὸ βέλος κάμψεως κατὰ τὴν κατεύθυνσιν τῶν δυνάμεων καὶ h τὸ μεταβλητὸν πάχος τοῦ τοίχου (κατὰ τὴν ἔννοιαν τῆς ἀκτῖνος) θὰ λάβωμεν:

$$N = Eh\frac{w}{r} \qquad (4)$$

καὶ λόγῳ τῆς καμπυλότητος τῆς κατασκευῆς:

$$M = +\frac{E\zeta}{1-r^2}\quad \frac{dw}{dx^2} = \frac{Eh^3}{12(1-r)^2}\quad \frac{d^2w}{dx^2}\qquad J = \frac{1\cdot h^3}{12} \qquad (5)$$

ὅπου

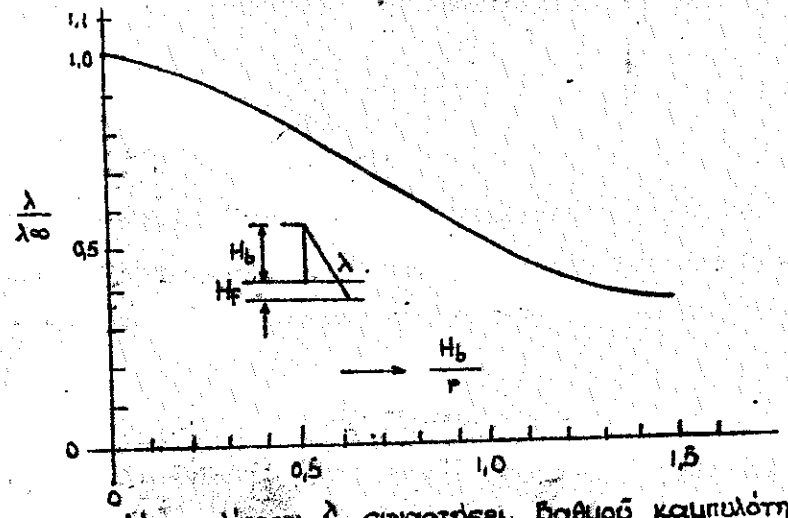
$$M\varphi = r\,M \quad (r \text{ διὰ beton} = \sim \tfrac{1}{6}\ (\text{συν/της Poisson}) \qquad (6)$$

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω ἐξισώσεων προκύπτει ἡ γενικὴ διαφορικὴ ἐξίσωσις :

$$p = Eh\frac{w}{r^2} + \frac{E}{12(1-r^2)}\quad \frac{d^2}{dx^2}\quad \left(h^3\frac{d^2w}{dx^2}\right)$$

ἧς, ἡ λύσις δίδει τὰς μετακινήσεις καὶ ἐξ αὐτῶν τὰς τάσεις εἰς τὰ διάφορα τμήματα τῆς κατασκευῆς. Ἡ ἐπίλυσις εἶναι ἀρκετὰ δυσχερὴς ἐπιτυγχανομένη διὰ κυλινδρικῶν συναρτήσεων μιγαδικῶν ἀριθμῶν.

Ἀναλόγως τοῦ βαθμοῦ καμπυλότητος τοῦ φράγματος $\frac{H}{r}$ (H ὕψος ἄνευ τῶν θεμελίων, r ἡ ἀκτὶς τοῦ τόξου) ἐλαττοῦται ἀντιστοίχως τὸ πάχος τῆς βάσεως τοῦ τοίχου B (B = λH) καὶ μειοῦται ἡ κλίσις τῆς πρὸς τὰ πλευρᾶς τοῦ φράγματος. Καλοῦντες λ_∞ τὴν κλίσιν φράγματος



Σχ. 86. λόγος κλίσεων $\frac{\lambda}{\lambda_\infty}$ συναρτήσει βαθμοῦ καμπυλότητος.

καθαρᾶς τύπου βαρύτητος καί εὐθυγράμμου (ἀκτίς καμπυλότητος $r=\infty$) καί λ τήν κλίσιν διά ἀκτίνα τόξου r, λαμβάνομεν τό κάτωθι ὑπό τοῦ Tölke διδόμενον διάγραμμα τοῦ $\frac{\lambda}{\lambda_\infty}$ συναρτήσει τοῦ $\frac{H_b}{r}$ (βλ. σχ. 86)*

Ἐάν λάβωμεν παράδειγμα φράγματος 80,0 μ. ὕψους μέ διαφόρους ἀκτίνας καμπυλότητος καί ζητήσωμεν τό λ διά μεγίστας κατακορύφους (σ_b) καί ὁριζοντίας τάσεις (σ_φ) εἰς τό πέλμα ἴσας μέ 25 κτ. λαμβάνομεν τάς ἀκολούθους κλίσεις τῆς πρός τά κατάντη πλευρᾶς τοῦ φράγματος (μέ πλευράν πρός τά ἀνάντη θεωρουμένην κατακόρυφον):

r	$= \infty$	$\lambda = 0,72$
r	$= 250$ μ.	$0,666$
r	$= 150$	$0,590$
r	$= 100$	$0,465$
r	$= 60$	$0,291$

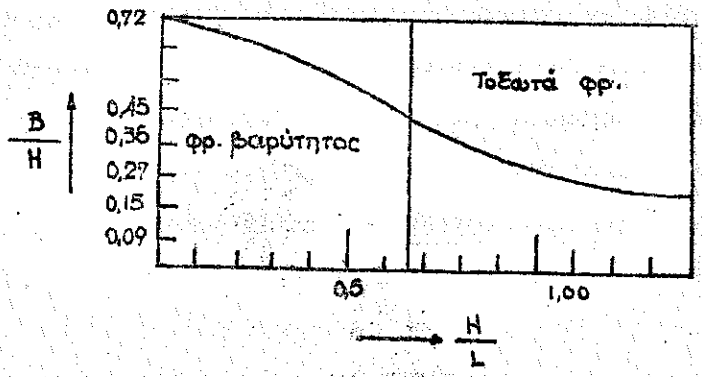
Ἐκ τοῦ πίνακος τούτου παρατηροῦμεν ὅτι μέ μίαν ἐλαφράν ἀκτίνα καμπυλότητος $r=250$ μ. ἡ οἰκονομία ὑλικοῦ κατέρχεται εἰς 8% καί δύναται αὕτη νά φθάσῃ εἰς 60% (1 : 2,5 περίπου) δι' ἀκτίνας καμπυλότητος $r=60,0$ μέτρα.

Ἦτο εὐνόητον ἄθεν ἡ κατεύθυνσις τῶν μηχανικῶν πρός τά φράγματα μορφῆς τόξου. Ἡ ἐφαρμογή τῆς μορφῆς ταύτης ἐξαρτᾶται ἐξ ἄλλου ἐκ τῆς ἀναλογίας τοῦ μήκους τοῦ φράγματος εἰς τήν στέψιν (ἄνοιγμα κοιλάδος) πρός τό ὕψος καί ἑπομένως (ὡς ἀνεπτύχθη ἀνωτέρω) καί πρός τό ὕψος τοῦ φράγματος.

---

* Tölke : Talsperren . Berlin 1938 (σελ. 444).

Οὕτω εἰς τό σχῆμα 87 δίδεται ἡ συσχέτισις ὕψους (H) πλάτους εἰς βάσιν (B) καί μήκους (L) τοῦ φράγματος καί αἱ περιοχαί, ἔνθα αἱ ἀναλογίαι αὗται καταλήγουν εἰς φράγματα βαρύτητος ἤ τοξωτά.



Σχ. 87. Σχέσις H, B, L εἰς ἐκλογήν τύπου φράγματος.

Ἡ ἐπιλογή τῶν τοξωτῶν φραγμάτων εἶναι προφανές ὅτι προέκυψεν κατ' ἀρχήν εἰς πολύ στενάς χαράδρας μεγάλου ὕψους ὅπου ἦτο φυσικόν νά σκεφθῶσιν οἱ μελετηταί τόν φραγμόν τῆς χαράδρας διά τοξωτῶν κατασκευῶν μικροῦ πάχους, ἐνῷ διά φραγμάτων βαρύτητος θά κατέληγον εἰς πλάτη πυθμένος ὑπερβολικά.

Εἰς τό σχῆμα 88 δίδεται ἡ τομή τοῦ τοξωτοῦ φράγματος εἰς Montsaules.

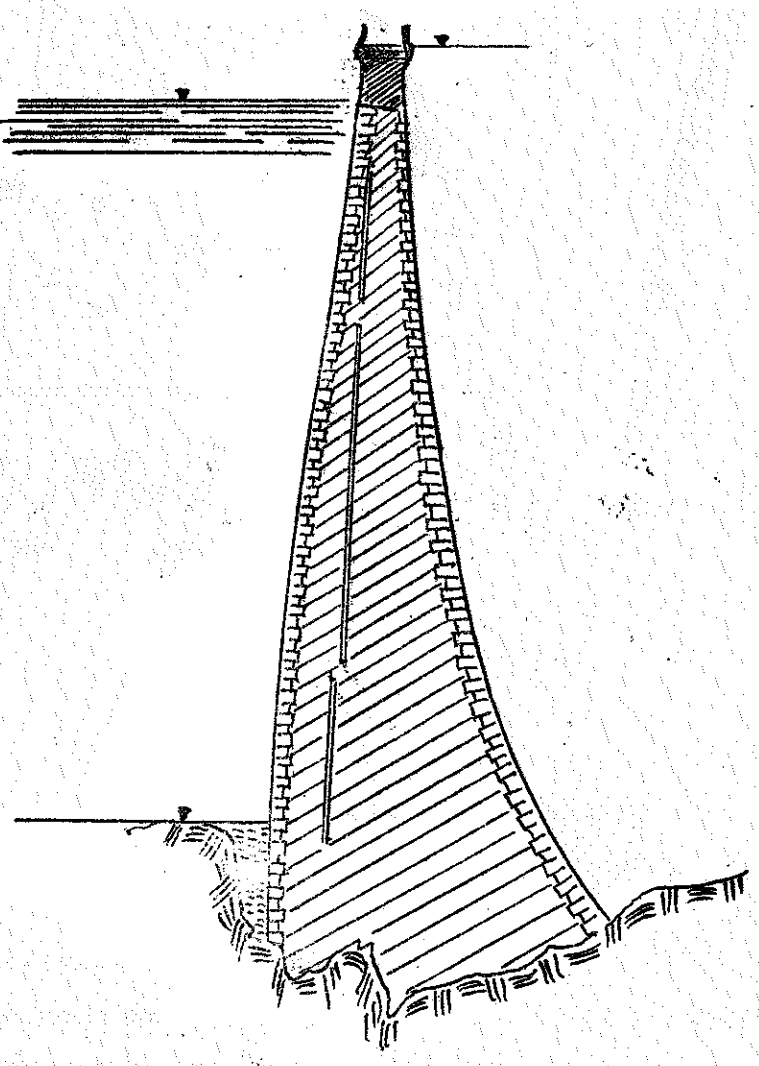
Ἡ διατομή τῆς κοιλάδος, ἡ διατομή καί ἡ κάτοψις τοῦ φράγματος Shoshone δίδονται εἰς τό σχῆμα 89.

Ἡ διατομή τῶν τοξωτῶν φραγμάτων λαμβάνει ἰδιόρρυθμα σχήματα ἀναλόγως τῶν ἐφαρμοζομένων ἀκτίνων καμπυλότητος εἰς τά διάφορα καθ' ὕψος τμήματα τοῦ φράγματος.

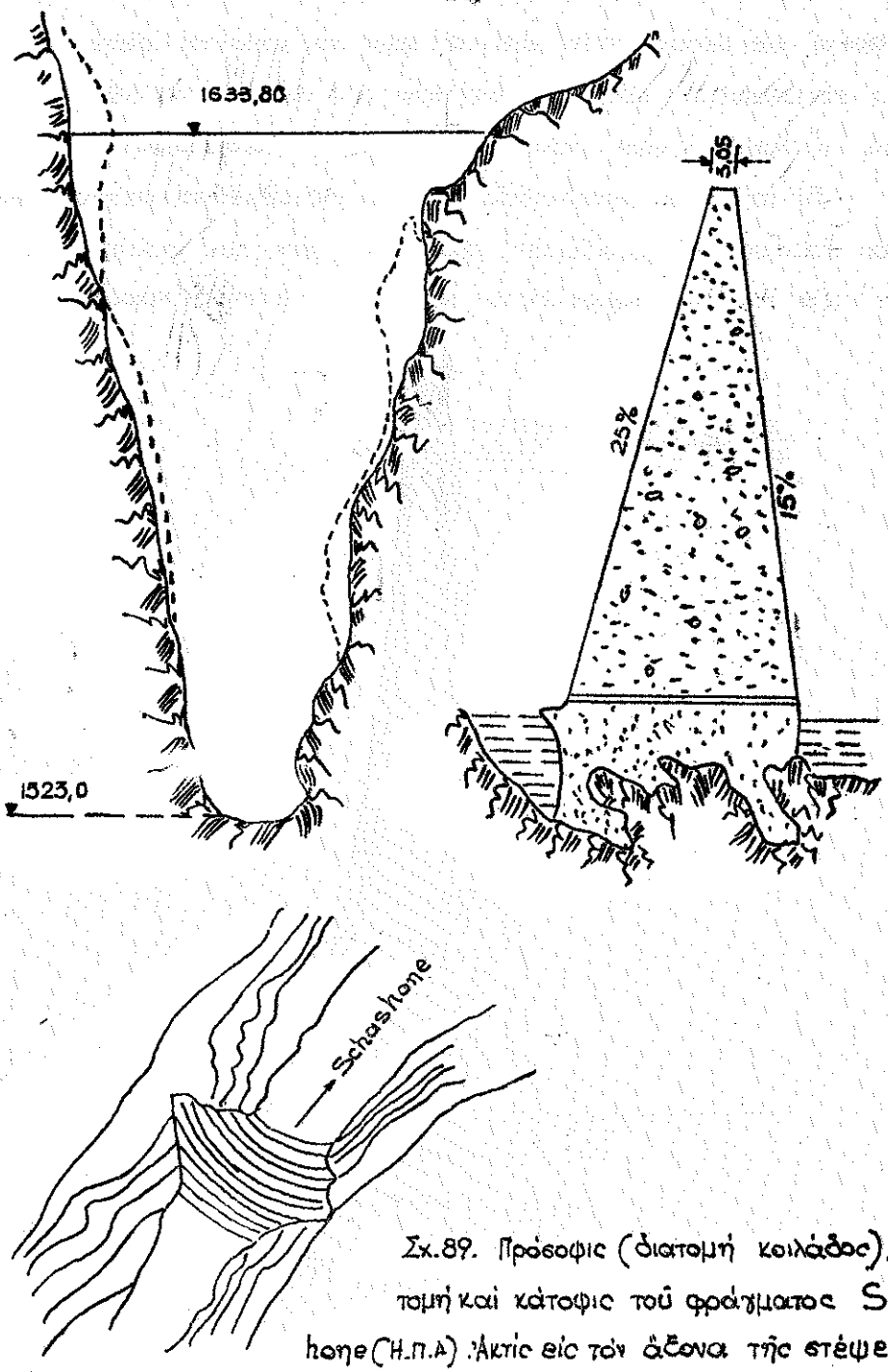
Εἰς τό φράγμα Seminoe ἐτηρήθη κατακόρυφος ἀνάντη

παρεια μὲ μεταβλητὴν ἀκτῖνα πρὸς τὰ κατάντη ὥστε τὰ τόξα εἰς διάφορα ὁριζόντια ἐπίπεδα νὰ εἶναι ἰσοπαχῆ (βλ.σχ.90) ἐνῶ ἡ διατομὴ ἔχει πρὸς τὰ κατάντη ὁμοιόμορφον κλίσιν.

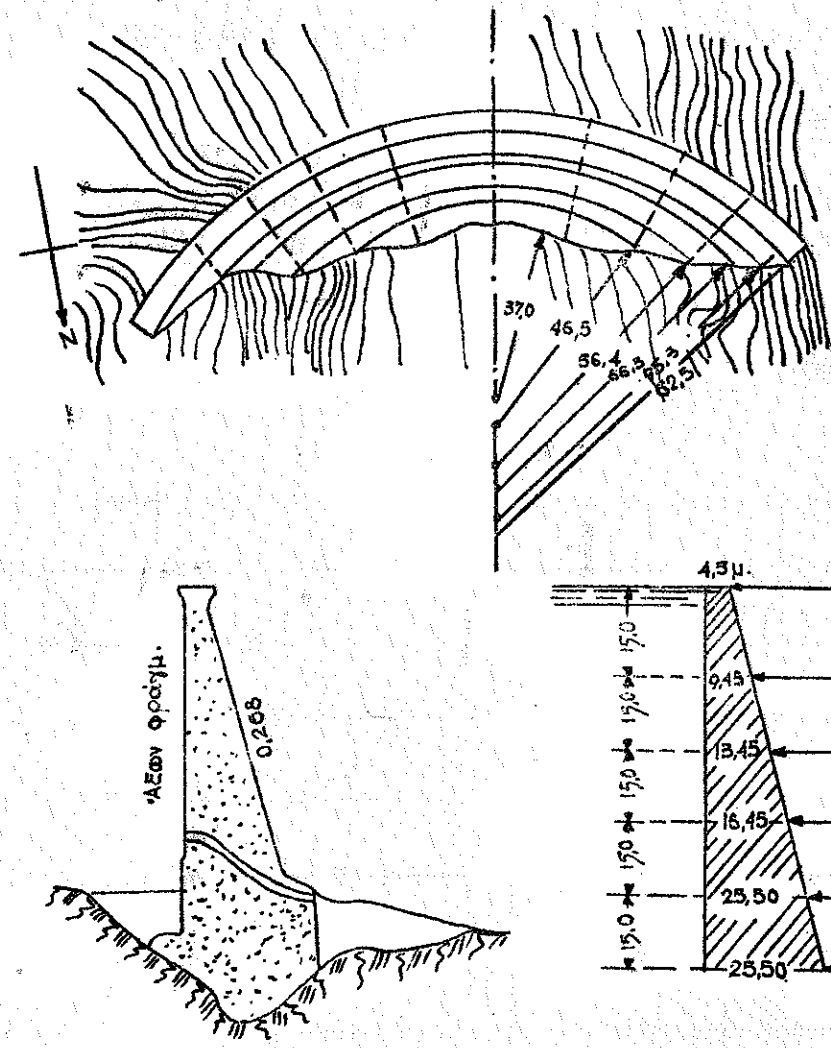
Εἰς τὰ τόξα μεταβλητῆς ἀκτῖνος τὸ μέγεθος αὐτῆς μειοῦται ἐφ' ὅσον πλησιάζομεν πρὸς τὴν βάσιν τοῦ φράγματος. Τὰ τόξα ταῦτα ἐφαρμόζονται κυρίως εἰς στενὰς χαράδρας.



Σχ.88. Διατομὴ τοξοτοῦ φράγματος Montsalves.

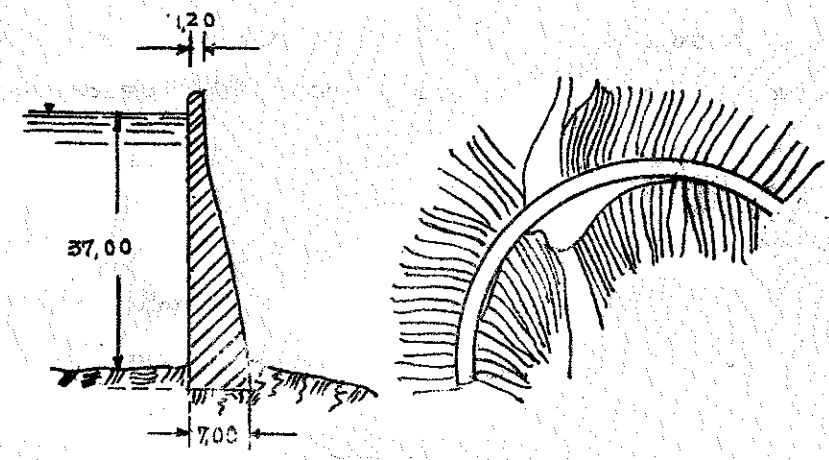


Σχ.89. Πρόσοψις (διατομή κοιλάδος), τομή καὶ κάτοψις τοῦ φράγματος Schashone (Η.Π.Α.) Ἀκτὶς εἰς τὸν ἄξονα τῆς στέψεως 45,0 μ. Τοιχώματα ἐκ γρανίτου. —

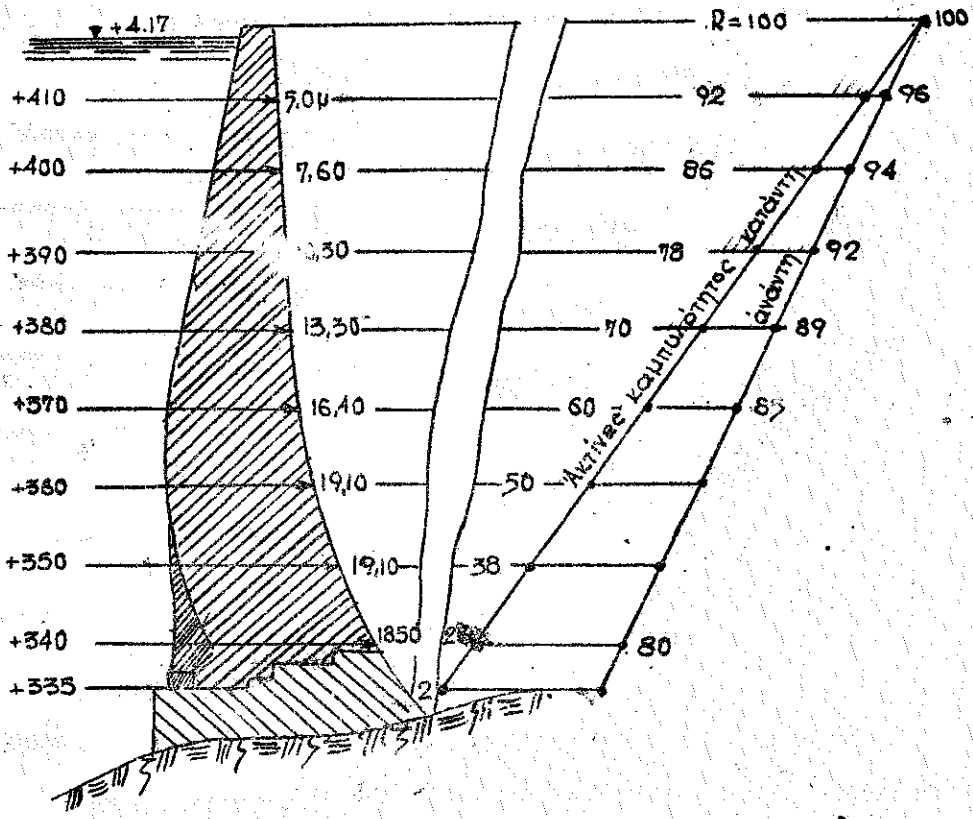


Σχ. 90. Κάτοψις καί διατομή φράγματος Seminoe (Η.Π.Α) μέ μεταβαλλόμενην ακτίνα καί κατακόρυφον ανάντη πλευράν.

Εἰς τό σχ. 91 δίδεται ἡ τομή τοῦ φράγματος Corfino, ὅπερ δι' ὕψος 37,0 μ. κατεσκευάσθη μέ μέγιστον πλάτος βάσεως 20 μ. [λ=0,19 (1)] μέ ἐξαιρετικήν ἐλαστικότητα ἐπιδείξαν ἀρίστην ἀντοχήν καί ἐναντι σεισμῶν.



Σχ. 91: Τομή και κάτοψις φράγματος Corfino (ΙΤΑΛΙΑ).



Σχ. 92. Τομή φράγματος Mareges (ΓΑΛΛΙΑ) (1:1000).
Ακτίνες καμπυλότητας ανάντη & κατάντη πάχη. Ύψόμετρα.

Εἰς τὸ σχῆμα 92 δίδεται ἡ τομὴ τοῦ γαλλικοῦ τοξωτοῦ φράγματος Maregec μεγίστου ὕψους 90 μ. θεμελιωθέντος ἐπὶ γρανίτου, ὅπερ κατεσκευάσθη μὲ μέγιστον πλάτος εἰς τὴν βάσιν 19,0 μέτρων.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω παραδειγμάτων ἐμφαίνεται ἡ προσπάθεια φραγμοῦ τῶν κοιλάδων διὰ ἀμιγῶν τοξωτῶν φραγμάτων. Ἡ ἐμφάνισις αὐτῶν εἶχεν ὡς βάσιν ὑπολογισμοῦ τὴν ἀνάλυσιν τόξου πεπακτωμένου εἰς τὰ δύο ἄκρα.

Τὸ φράγμα ἀναλύεται εἰς τμήματα δακτυλίων πεπακτωμένα κατὰ δύο ἄκρα μὲ φόρτισιν τὴν ὑδροστατικὴν πίεσιν μεταβαλλομένην μετὰ τοῦ βάθους τοῦ δακτυλίου κάτωθεν τῆς στάθμης τοῦ ὕδατος (διὰ πλήρη φόρτισιν τοῦ φράγματος). Οἱ δακτύλιοι οὗτοι ὑπελογίζοντο κατ' ἀρχὴν ὡς κυλινδρικοὶ φορεῖς μὲ μόνον ὀρθὰς πιέσεις ὡς ὑπολογίζονται οἱ σωλῆνες (1 ὑπολογισμὸς κυλινδρικῶν τόξων).

Εὐθὺς ἀμέσως ὅμως ἐγένετο ἀντιληπτὸν ὅτι ἐλάμβανον παραμορφώσεις ὀφειλόμεναι εἰς ἀνάπτυξιν ῥοπῶν κάμψεως καὶ πλάγιαι ὠθήσεις τῶν στηρίξεων (αἱ καλούμεναι ὁριζόντιοι ὠθήσεις εἰς τόξα κείμενα καὶ φορτιζόμενα ἐντὸς κατακορύφων ἐπιπέδων.). Κατόπιν τούτου ὑπελογίζοντο οἱ δακτύλιοι τῶν φραγμάτων ὡς ἀμφίπακτα τόξα (2 ὑπολογισμὸς ἀμφιπάκτων τόξων).

Δι' ἁπλῆς ἐξετάσεως ἅμως ἑκάστου ἀμφιπάκτου τόξου, τῶν προκυπτουσῶν δυνάμεων διατμήσεως καμψεως καὶ ὀρθῶν δυνάμεων ἐγένετο ἀντιληπτὸν ὅτι ἕκαστον ἀμφίπακτον τόξον μετεβίβαζεν εἰς τὸ ὑποκείμενον φορτίσεις ἐμφανιζομένας ὡς δυνάμεις, ῥοπὰς καμψεως καὶ ῥοπὰς στρέψεως, φορτίσεις μὴ δυναμένας, ἐνίοτε, νὰ παραληφθῶσιν εἰς

τῶν ὑπολογισμῶν. Πρὸς καλυψιν τῶν φαινομένων αὐτῶν ὑπολογίζονται αἱ μεταβιβάσεις τῶν φορτίων ἐκ τοῦ ἑνὸς δακτυλίου εἰς τὸν ἄλλον. Ὁ ἄμεσος τρόπος τοῦ ὑπολογισμοῦ τούτου θά ἦτο δυσχερής καὶ διά τόν λόγον αὐτόν ἀντί νά ὑπολογίζωνται αἱ δυνάμεις ὑπολογίζονται αἱ μετακινήσεις τῶν διαφόρων σημείων τοῦ φράγματος.

Αἱ ἐξωτερικαί φορτίσεις (κυρίως ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος καί τό βάρος τοῦ φράγματος ἢ ἡ συνισταμένη αὐτοῦ καθέτως πρός τόν ἄξονα τοῦ φορέως) ἀναλύονται εἰς δύο τμήματα ἐξ ὧν τό ἓν παραλαμβάνεται ὑπό τοῦ φορέως ἐνεργοῦντος ὡς ἀμφίπακτον τόξον, τό δέ ἕτερον ὑπό τοῦ φορέως ἐνεργοῦντος ὡς πρόβολος πεπακτωμένος εἰς τήν βάσιν τοῦ φράγματος.

Ἡ ἀναλογία τῆς διανομῆς τῆς ἀμφιεπιπέδου ταύτης φορτίσεως τοῦ φορέως (φόρτισις κατά ὁριζόντια καί κατακόρυφα ἐπίπεδα) θά προκύψῃ ὅταν αἱ παραμορφώσεις αἱ προκαλούμεναι ἐκ τῶν δύο τμηματικῶν τούτων φορτίσεων ἔσονται ἴσαι καί ὁμόσημοι δι' ἓν ἕκαστον σημεῖον. Εἶναι προφανές ὅτι τοῦτο ἐπιτυγχάνεται διά δοκιμῶν, καθ' ἃς λαμβάνεται μία διανομή τῶν φορτίων κατά τά δύο ἐπίπεδα καί προσδιορίζονται αἱ παραμορφώσεις καί ἂν αὗται δέν συμπίπτουν μεταβάλλεται ἡ διανομή τῶν φορτίσεων μέχρις ὅτου αἱ παραμορφώσεις ἐκ τῶν δύο ἐντατικῶν καταστάσεων συμπέσουν (3. Μέθοδος ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς φορτίσεων. Trial - load method).

Τέλος εἶναι δυνατόν νά γίνῃ ὁ ὑπολογισμός τῶν παραμορφώσεων καί ἐξ αὐτῶν τῶν τάσεων τοῦ φορέως διά καταστρώσεως τῶν γενικῶν διαφορικῶν ἐλαστικῶν ἐξισώσεων τοῦ φορέως.

Ἡ μαθηματική ὁλοκλήρωσις αὐτῶν εἰς γενικάς διατομάς εἶναι ἀδύνατος καί ἐπιτυγχάνεται μόνον διά γραφικῶν μεθόδων

ὁλοκληρώσεως.

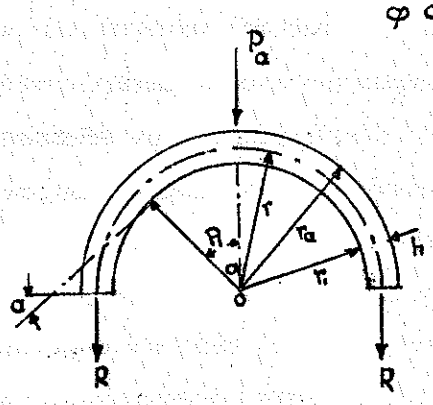
Εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις ἔνθα αἱ πρὸς τὰ ἀνάντη καὶ κατάντη κλίσεις τῶν παρειῶν τοῦ φράγματος ἔχουσι μαθηματικὴν ἔκφρασιν, δύναται νὰ ἐπιτευχθῇ ἡ ὁλοκλήρωσις τῶν ἐξισώσεων αὐτῶν (Α. Γενικαὶ ἐξισώσεις ἐντατικῆς καταστάσεως τῶν φορέων διὰ τῶν ἐξισώσεων ἐλαστικότητος).

Μὲ τὴν ἀνωτέρω ἐκτεθεῖσαν εἰρὰν δίδονται ἐν γενικαῖς γραμμαῖς κατωτέρω αἱ τέσσαρες μέθοδοι διὰ τὴν ἀνάλυσιν τῶν τάσεων εἰς τὰ τοξωτὰ φράγματα, ὥστε νὰ εἶναι δυνατὸν νὰ ὑπολογίζωνται οἱ ἐν λόγῳ φορεῖς.

Ἐνταῦθα θὰ ἦτο σκόπιμον νὰ γίνῃ γνωστὸν ὅτι συνήθως τὰ τοξωτὰ φράγματα ὑπολογίζονται ὡς ἀμφίπακτα τόξα ὅταν εἶναι μικρά, ἐνῷ διὰ τὰ βαρύτερα ἐξ αὐτῶν γίνεται χρῆσις τῆς μεθόδου ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς φορτίσεως (Trial load Method).

Διὰ τῆς μεθόδου ἄλλως τε αὐτῆς χρησιμοποιουμένης κατὰ κανόνα ὑπὸ τοῦ Bureau of Reclamation (Γραφεῖον Παραγωγικῶν Ἔργων, Ὑπουργεῖον Ἐξωτερικῶν τῶν Η.Π.Α.) ὑπολογίζονται εἰς τὰ καμπύλα ἐν κατόψει φράγματα βαρύτητος ὅπότε προκύπτει οἰκονομία ὑλικοῦ, λόγῳ τοῦ συνεργαζομένου τόξου τοῦ τμήματος, ἰδίως εἰς τὰ καμηλότερα τμήματα (ὅπου καὶ τὸ ἄνοιγμα τῆς χαράδρας, ἄρα, καὶ τοῦ τόξου εἶναι μικρὸν καὶ ἡ ἐπίδρασις αὐτοῦ ἐντονωτέρα ἐπομένως.

1. Υπολογισμός δακτυλίων (κυλινδρικοί φορείς).



Σχ. 93

Εἰς κλειστόν κύλινδρον ἐσωτερικῆς διαμέτρου r_i ἡ συνισταμένη τῶν πιέσεων p, μεταδίδεται εἰς δύο δυνάμεις ἐνεργούσας εἰς ἡμικυκλικήν τομήν τοῦ φορέως καὶ ἴσας μέ

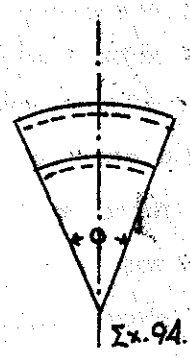
$$R = p_i \cdot r_i \qquad (1)$$

ὁπότε αἱ τάσεις εἰς τήν ἐν λόγῳ τομήν θά εἶναι: (βλ. σχ. 93).

$$\sigma = \frac{R}{h \cdot 1.0} = \frac{p_i \cdot r_i}{h} \qquad (2)$$

ἔνθα h τό πάχος τοῦ δακτυλίου.

Προκειμένης ἐξωτερικῆς φορτίσεως τοῦ δακτυλίου διά p_a ἡ φόρτισις εἰς τόν ἄξονα $(r_i + \frac{h}{2})$ θά εἶναι:



Σχ. 94.

$$(3) \qquad p = p_a \cdot \frac{r_a}{r}$$

ὁπότε ἡ τάσις θά εἶναι:

$$\sigma_y - \sigma_\varphi = \frac{p_a \cdot r_a}{h}$$

τάσις ἀξονική μόνον.

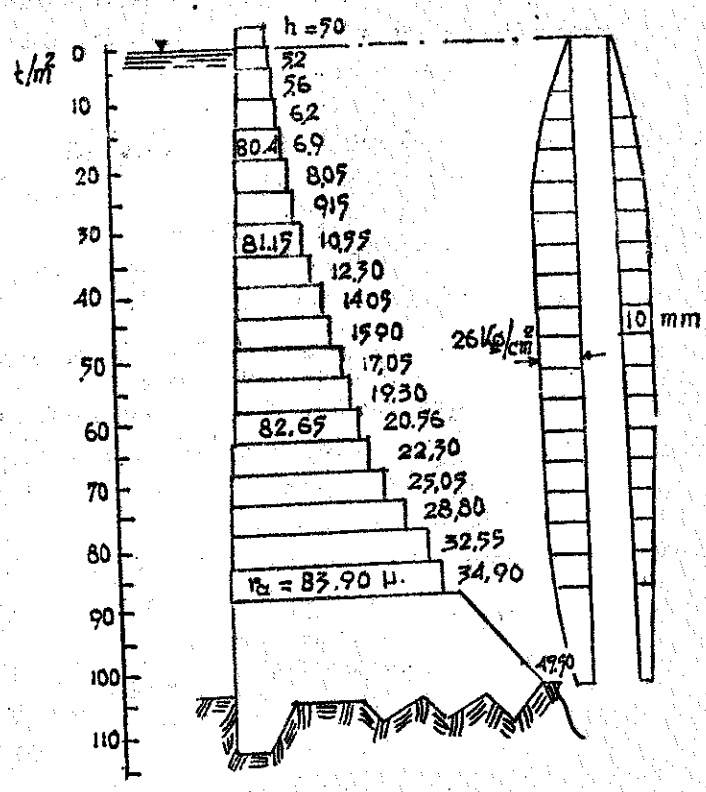
Ἡ παραμόρφωσις θά εἶναι τότε συστολή διαμετρική ὡς πρός τό κέντρον O καί ἴση μέ:

$$(4) \qquad w = \frac{p_a \cdot r_a \cdot r}{Eh} = \frac{p_a \cdot r_a}{Eh}\left(r_a - \frac{1}{2}h\right)$$

ἐνῶ ἡ γωνία φ παραμένει σταθερά (σχ. 94).

4. Ἡ διατομὴ φράγματος ὑπολογιζομένου κατὰ τοιοῦτον τρόπον δίδεται εἰς τὸ κατωτέρω σχῆμα 95 ἔνθα δίδονται αἱ πιέσεις εἰς διάφορα βάθη αἱ τάσεις σφ , αἵτινες ἀνέρχονται εἰς 25 α.τ καὶ αἱ παραμορφώσεις ἀνερχόμεναι εἰς 10 χιλιοστά.

Αἱ ἀκτῖνες τῶν δακτυλίων δίδονται εἰς τὸ σχῆμα αἷς καὶ τὰ πάχη αὐτῶν.



Σχ. 95

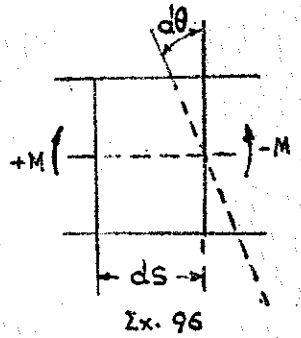
2. Υπολογισμός ἀμφιπάκτων τόξων.

Ἡ πάκτωσις τῶν τόξων καθιστᾶ στατικῶς ἀόριστον τὸ σύστημα, ὅπερ ἐμφανίζει πλέον καθ'ὅλον τὸ μῆκος αὐτοῦ ῥοπὰς κάμψεως καὶ διατμητικὰς δυνάμεις. Αἱ ἀντιδράσεις εἰς τὰς στηρίξεις δὲν δύνανται πλέον νὰ ὑπολογισθοῦν διὰ τῶν ἁπλῶν μεθόδων στατικῆς.

Ὁ προσδιορισμὸς τῶν τάσεων καὶ τῶν ἐξ αὐτῶν προκυπτουσῶν παραμορφώσεων ἐπιτελεῖται τότε διὰ τῶν ἐξισώσεων ἐλαστικότητος καὶ τῆς ἐρεύνης τῶν παραμορφώσεων:

α.- Αἱ παραμορφώσεις τῶν φορέων.

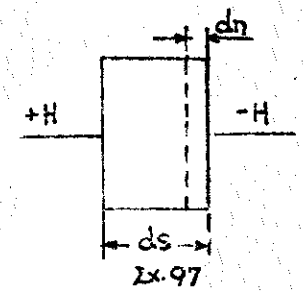
Διὰ τὰς περιπτώσεις ἐλαστικῶν φορέων αἱ παραμορφώσεις αὐτῶν εἰς τὰ διάφορα σημεῖα ἐξαρτῶνται ὡς γνωστὸν ἐκ τῆς ἐντατικῆς τοῦ φορέως καταστάσεως. Ὑπενθυμίζομεν ἐνταῦθα βραχύτατα τὰς ἐκ τῶν διαφόρων μορφῶν τῶν ἐσωτερικῶν δυνάμεων προκαλουμένας παραμορφώσεις.



Σχ. 96

Οὕτω ἡ **ῥοπὴ κάμψεως** προκαλεῖ στροφὴν τῶν ἐπιπέδων τῆς διατομῆς (αἵτινες ὑποτίθενται παραμένουν ἐπίπεδοι) καὶ ἡ γωνία στροφῆς θα' ὑπολογίζεται ὑπὸ τοῦ τύπου:

$$d\theta = \frac{M}{EI}\,ds \qquad (5)$$



Σχ. 97

Αἱ ὀρθαὶ δυνάμεις προκαλοῦν ἐπιμήκυνσιν ἢ ἐπιβράχυνσιν τοῦ μήκους τοῦ σώματος, συμφώνως πρὸς τὸν νόμον τοῦ Hook διαδομένην ὑπό

τοῦ τύπου :

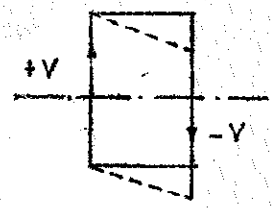
$$dl = -\frac{H}{EF}ds = -\frac{\varepsilon}{E}ds \qquad (6)$$

Αἱ διατμητικαὶ δυνάμεις ἐξ ἄλλου προκαλοῦν μετακινήσεις ὁλισθήσεως μὲ μετακίνησιν ἴσην μὲ dl διδομένην ὑπὸ τοῦ τύπου :

$$dl = \frac{V}{GF}ds \qquad (7)$$

ἔνθα G τὸ μέτρον ὁλισθήσεως.

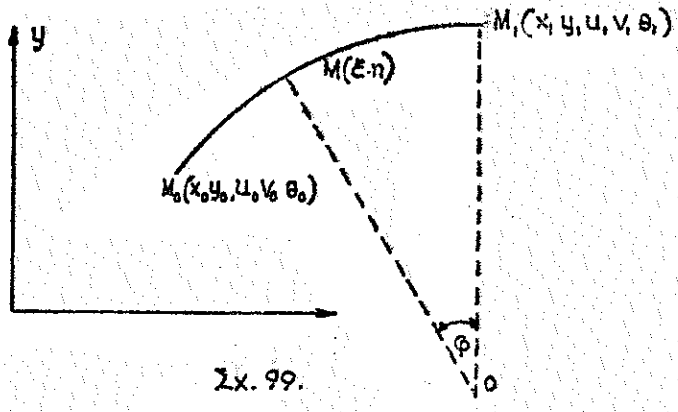
Αἱ μεταβολαὶ τῆς θερμοκρασίας ὁμοίως προκαλοῦν παραμορφώσεις διδομένας ὑπὸ τοῦ τύπου :



Σχ. 98

$$r = a\,dt \qquad (8)$$

καὶ τέλος εἰς τὰς στηρίξεις δυνατὸν νὰ ἔχωμεν στροφὴν διδομένην ὑπὸ τοῦ μεγέθους W_0 .



Σχ. 99.

Ἐὰν ἤδη λάβωμεν ἕνα σημεῖον $M(\xi,\eta)$ τοῦ τόξου, ὅπερ διέρχεται διὰ τῶν σημείων M_0, M_1, καὶ ἐκφράσωμεν τὰ ἀναπτέρω μεγέθη εἰς καρτεσιανὰς συντεταγμένας καὶ λάβωμεν ὑπ' ὄψιν

καὶ τὴν γωνίαν φ, ἣν σχηματίζει ἡ ἐκ τοῦ κέντρου τοῦ τόξου εὐθεῖα OM μετὰ τῆς κατακορύφου θὰ ἔχωμεν (ἐνθυμούμενοι ὅτι: $d\xi/ds = \sigma\upsilon\nu\varphi$ καὶ $d\eta/ds = \eta\mu\varphi$).

ἀθροίζοντες ὅλας τὰς ἀνωτέρω παραμορφώσεις διὰ τὴν θέσιν M_1 ἔχομεν:

(BRESSE) (9)
$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_0 + \int \frac{M}{JE}\,ds \\ u_1 = u_0 - \theta(y_1 - y_0) - \int \frac{M}{JE}(y_1 - \eta)ds - \int \frac{H}{EF}d\xi + \int \frac{T}{GF}d\eta + \tau(x_1 - x_0) \\ v_1 = v_0 + \theta_0(x_1 - x_0) + \int \frac{M}{JE}(x_1 - \xi)ds - \int \frac{H}{EF}d\eta - \int \frac{T}{GF}d\xi + \tau(y_1 - y_0) \end{cases}$$

Ὑπὸ τὰς γνωστὰς ἐξισώσεις τοῦ BRESSE ὅπου u_0, v_0, θ_0, $-u_1$, v_1, θ_1 θεωροῦνται δεδομένα καὶ συναρτήσεις τῶν συνθηκῶν στηρίξεως. Τὰ μεγέθη M, H, V θὰ εἶναι συναρτήσεις τῶν ἀορίστων μεγεθῶν καὶ τῶν φορτίσεων.

Ἐν ἡ περιπτώσει τὰ στηρίγματα τοῦ τόξου δὲν ὑφίστανται ὑποχώρησιν καὶ εἶναι καλῶς πεπακτωμένα ($u_1 = v_1 = \theta_1 = u_2 = v_2 = \theta_2 = 0$) καὶ δὲν ὑφίσταται μεταβολὴ θερμοκρασίας αἱ ἐξισώσεις ἁπλοποιοῦνται ὡς ἑξῆς:

(10)
$$\begin{cases} \int \frac{M ds}{JE} = 0 \\ \int \frac{M\eta}{JE}ds - \int \frac{H}{EF}ds\,\sigma\upsilon\nu\varphi + \int \frac{T}{GF}ds\,\eta\mu\varphi = 0 \\ \int \frac{M\xi}{JE}ds + \int \frac{H}{EF}ds\,\eta\mu\varphi + \int \frac{T}{GF}ds\,\sigma\upsilon\nu\varphi = 0 \end{cases}$$

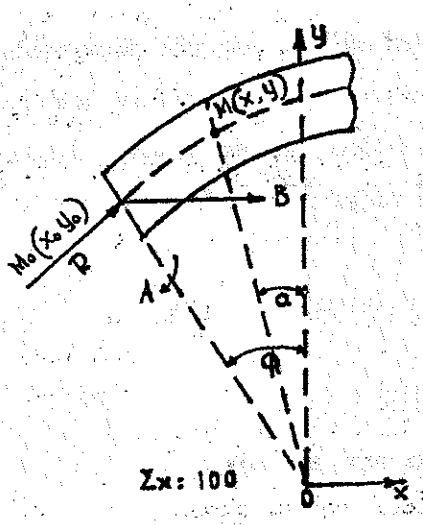
καὶ ἀποτελοῦσιν αὗται τὸν βασικὸν τρόπον ὑπολογισμοῦ τῶν στατικῶς ἀορίστων μεγεθῶν.

β. Ἁπλαὶ μέθοδοι ὑπολογισμοῦ τῶν ἀμφιπάκτων τόξων.

β.1. Γεωμετρικὴ μέθοδος.

Ἡ μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῶν τόξων ἁπλοποιεῖται ἐὰν δεχθῶμεν ὅτι τὸ τόξον ἔχει σταθερὰν διατομὴν ($J=c$) καὶ ὅτι αἱ ἐπ' αὐτοῦ ὁρθαὶ δυνάμεις ἐκ τῶν ἐξωτερικῶν φορτίσεων εἶναι σταθεραί.

Δεχόμεθα ὅτι αἱ ἀντιδράσεις ἐκ τῶν ἐξωτερικῶν φορτίσεων εἰς ἰσοστατικὸν φορέα θὰ ἀποτελοῦνται μόνον ἀπὸ ὁρθὰς δυνάμεις (ἀντιδράσεις κάθετοι εἰς τοὺς ἁρμοὺς στηρίξεως R, R) καὶ ὅτι αἱ ἀντιδράσεις τοῦ ὑπερστατικοῦ φορέως θὰ ἀποτελοῦνται ἀπὸ τὰ μεγέθη A, B καὶ Γ, ἔνθα A ἡ ῥοπὴ πακτώσεως, B ἡ ἀριζοντία συνιστῶσα τῆς ἀθήσεως (συνήθως γραφομένη μὲ H) καὶ Γ ἡ κατακόρυφος συνιστῶσα τῆς ἀθήσεως (ἥτις ἰσοῦται μὲ μηδέν).



Σχ: 100

Τότε ἐνθυμούμενοι ὅτι $dx/ds = \sigma\upsilon\nu\alpha$ καὶ $dy/ds = -\eta\mu\varphi$ ἔχομεν διὰ τῆς ἐξισώσεως τῶν ῥοπῶν καὶ τῶν προβολῶν τῶν δυνάμεων:

$$(11)\quad \begin{cases} (\alpha) & M = A - B\,(y_0 - y_0) \\ (\beta) & N = R + B\,\sigma\upsilon\nu\,\alpha \\ (\gamma) & T = B\cdot\eta\mu\,\alpha \end{cases}$$

καὶ εἰσάγοντες τὰ μεγέθη αὐτὰ εἰς τὰς ἐξισώσεις τοῦ Bresse ἔχομεν:

$$(12)\quad \begin{cases} (\alpha) & \int \frac{M}{JE}\,ds = 0 \\ (\beta) & \int \frac{M}{JE}\,ds - \int \frac{N}{EF}\,dx - \int \frac{T}{GF} = 0 \end{cases}$$

(12) $\left\{ (\gamma) \quad \int \frac{Mx}{JE} ds + \int \frac{N}{EF} dy + \int \frac{T}{GF} = 0 \right.$

Εἰσάγοντες τὰ μεγέθη ἐκ τῆς (11) εἰς τὴν 12α ἔχομεν ἐκ τῆς πρώτης ἐξισώσεως τοῦ Bresse :

(13) $$\int \frac{Ads}{JE} - \int \frac{Byds}{JE} + B \int \frac{y_0 ds}{JE} = A \int ds - B \int yds + By_0 \int ds = 0$$

ἤ $$A + B \cdot y_0 = B \frac{\int yds}{\int ds} \qquad (14)$$

Ὁ λόγος $y_1 = \frac{\int yds}{\int ds}$ δίδει τὸ **κέντρον** βάρους τῆς ὑδετέρας γραμμῆς (μέσης ἴνός) ἤ ἀποτελεῖ τὸ **ἐλαστικὸν κέντρον**.

Ὁλοκληροῦντες κατὰ μῆκος τοῦ τόξου, εὑρισκόμενον εὐκόλως, διὰ φ τὸ ἡμίσυ τοῦ ἀνοίγματος τοῦ τόξου :

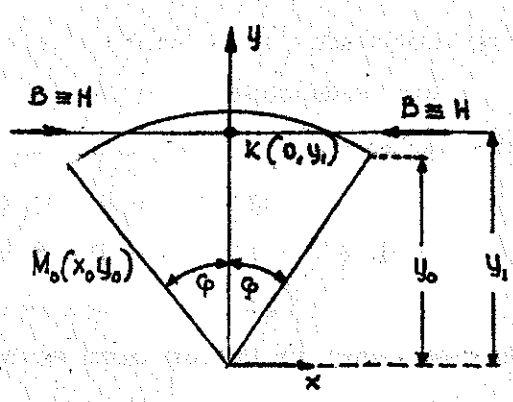
$$y_1 x \int_{-\varphi}^{+\varphi} r d\varphi = \int_{-\varphi}^{+\varphi} r da \cdot r \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha \qquad \text{ἤτοι}$$

$$y_1 = \frac{r \cdot \eta\mu\varphi}{\varphi}$$

ἡ ἐξίσωσις (14) λαμβάνει τώρα τὴν μορφήν :

$$A = B (y_1 - y_0) \qquad (16)$$

Ἤτις μᾶς λέγει ὅτι ἡ ὁριζοντία προβολὴ τῆς ἀντιδράσεως B (ἤ ἄλλως ἡ ὁριζοντία ὠθησις H) ἔχει μοχλοβραχίονα $y_1 - y_0$, ἤτοι γραφικῶς διέρχεται διὰ τοῦ σημείου κ μὲ συντεταγμένας $(0, y_1)$.



Σχ: 101.

Ἐκ τῆς 11α λαμβάνομεν τώρα :

$$(17) \qquad M = A - B(y - y_0) = B(y_1 - y_0)$$

Ἐάν ἤδη μεταφέρωμεν τὴν ἀρχὴν τῶν συντεταγμένων εἰς τὸ σημεῖον K τηροῦντες τὰς αὐτὰς κατευθύνσεις τῶν ἀξόνων, θὰ ἔχωμεν $y_1 = 0$ καὶ :

$$(18) \qquad \begin{matrix} M = -By \\ A = -By_0 \end{matrix} \qquad \int x\,ds = 0 \qquad \int y\,ds = 0$$

ἐπίσης δὲ διὰ λόγους συμμετρίας :

$$(19) \qquad \int xy\,ds = 0 \quad \int dy = 0 \quad \int \eta\mu\alpha\,ds = 0 \quad \int \eta\mu\alpha\,\sigma\upsilon\nu\alpha\,ds = 0$$

ὁπότε ἡ δευτέρα ἐκ τῶν ἐξισώσεων τοῦ Bresse λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$(20) \qquad -B\int \frac{y^2 ds}{JE} - R\int \frac{dx}{FE} - B\int \frac{\sigma\upsilon\nu\alpha\,dx}{EF} - B\int \frac{\eta\mu\alpha\,dy}{GF} = 0$$

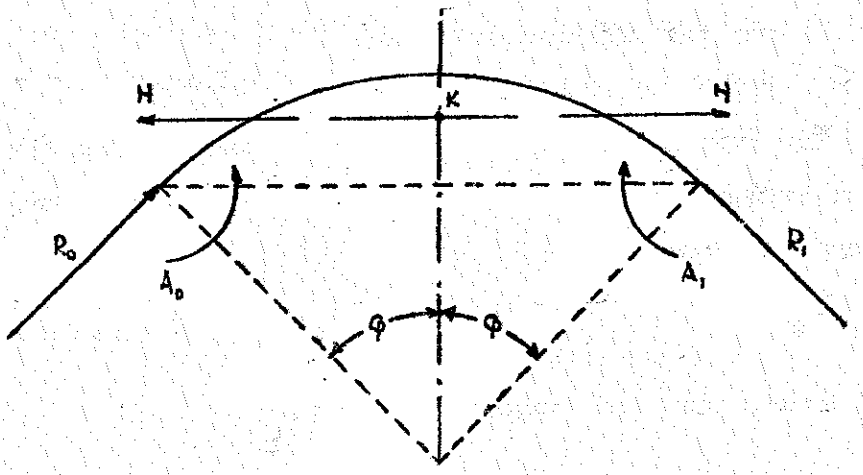
καὶ διὰ : $dx = ds\cdot\sigma\upsilon\nu\alpha$ καὶ $dy = -ds\cdot\eta\mu\alpha$ ἔχομεν :

$$(20') \qquad B - \int \frac{y^2 ds}{JE} - \int \frac{\sigma\upsilon\nu^2\alpha\,ds}{EF} - \int \frac{\eta\mu^2\alpha\,ds}{GF} - R\int \frac{\sigma\upsilon\nu\alpha\,ds}{EF} = 0$$

ὁπόθεν ἔχομεν τελικῶς ἐκ τῶν 18 καὶ τῆς 20 τὸ σύστημα :

$$(21) \qquad \begin{cases} A = -By_0 \\ B = \dfrac{-R\int \sigma\upsilon\nu\alpha\,ds}{\int \sigma\upsilon\nu^2\alpha\,ds + \frac{E}{G}\int \eta\mu^2\alpha\,ds + \int_1^S y^2 ds} \end{cases}$$

Ἐφ' ὅσον ἡ R εἶναι θετικὴ εὑρίσκομεν $B < 0$ καὶ ἡ ροπὴ A ἐπίσης ἀρνητική, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα (102). Ἤδη ὑπολογίζοντες τὰ ὁλοκληρώματα ἀπὸ $-\varphi$ ἕως $+\varphi$ λαμβάνομεν :



$$\int_{-\varphi}^{+\varphi} \sigma\upsilon\nu a\,ds = 2r\eta\mu\varphi \qquad \int_{-\varphi}^{+\varphi} \eta\mu^2 a\,ds = \left(\varphi - \frac{\eta\mu 2\varphi}{2}\right) r \qquad \int_{-\varphi}^{+\varphi} \sigma\upsilon\nu^2 a\,ds = r\left(\varphi + \frac{\eta\mu 2\varphi}{2}\right)$$

$$\int y^2 ds = \int r^3 \left(\sigma\upsilon\nu a - \frac{\eta\mu\varphi}{\varphi}\right)^2 da = r^3 \left(\varphi + \frac{\eta\mu 2\varphi}{2} - \frac{2\eta\mu^2\varphi}{\varphi}\right)$$

Ἤδη ἔχοντες (- διά πάχος τοῦ τόξου ἴσον μέ h καί ὕψος=1) $J = \frac{h^3}{12}$, $F = h$, $\beta = \frac{r}{h}$, $\frac{F}{3} = \frac{12\beta^2}{r^2}$ καί θέτοντες δύο σταθεροῦς συντελεστάς C_1 καί C_2 ὡς ἀκολούθως :

(22)

$$C_1 = \frac{12}{\eta\mu\varphi}\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\eta\mu 2\varphi}{4} - \frac{\eta\mu^2\varphi}{\varphi}\right)$$

$$C_2 = \frac{1}{\eta\mu\varphi}\left(\frac{\varphi}{2}\left(1 + \frac{E}{G}\right) + \frac{\eta\mu 2\varphi}{4}\left(1 - \frac{E}{G}\right)\right)$$

μεταεχηματίζομεν τάς ἐξισώσεις (21) εἰς τάς τελικάς ἐξισώσεις :

(23)

$$A_0 = M_0 = - H_0 y_0$$

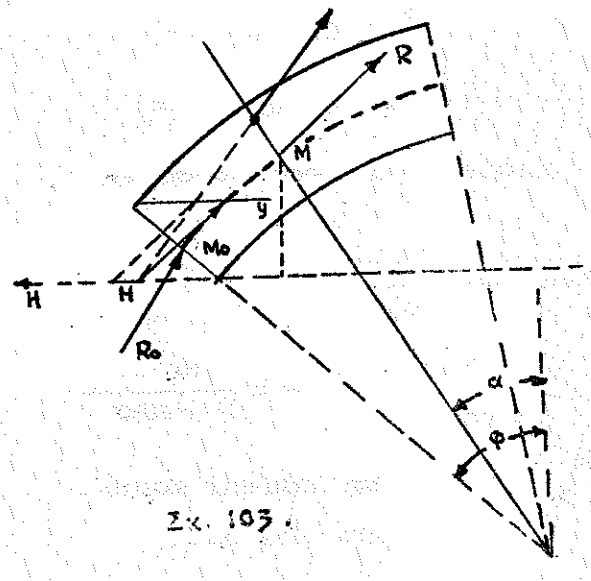
$$H_0 = \frac{-P}{C_1 \beta^2 + C_2}$$

Ως εμφαίνεται εκ των εξισώσεων (22) αι σταθεραί C_1 και C_2 υπολογίζονται ευχερώς εκ της γωνίας του ανοίγματος φ και εκ του λόγου E/G, όστις ως γνωστόν ίσούται μέ $2(1+\mu)$ όπου $(1:\mu)$ ο συντελεστής του Poisson.

Δεχόμενοι $\mu = 0,25$, έχομεν $E/G = 2(1+0,25) = 2,50$, $1+E/G = 3,5$ και $1-E/G = 1,5$ όπότε έχομεν τούς συντελεστάς C_1 και C_2 εκ του κατωτέρω πίνακος.

φ	2φ	C_1	C_2
15°	30°	0,0012	1,0573
30	60	0,0201	1,2284
45	90	0,1031	1,5144
60	120	0,3312	1,9183
75	150	0,8289	2,4514
90	180	1,7853	3,1416

Ο συντελεστής E/G ένίοτε διά λόγους μείζονος ασφαλείας λαμβάνεται ίσος μέ 3.



Σχ. 103.

Η σχετική μορφή του τόξου δίδεται έναργέστερον, έάν σημειώσωμεν τον λόγον της αθήσεως H προς την ορθήν δύναμιν R, ήτοι τον λόγον $K = H/2$.

Συνήθως κατασκευάζονται γραφικοί πίνακες μέ τάς τρεῖς

μεταβλητάς κ, β καί Γ ἐξ ὧν ἐμφαίνονται τά ὅρια εἰς ἃ εὑρίσκεται τό ἑκάστοτε ὑπό μελέτην τόξον.

Ὁ προσδιορισμός τοῦ τόξου εἶναι ἤδη ἁπλοῦς καί δύναται νά εὑρεθῇ ἀκόμη καί γραφικῶς ὡς ἐμφαίνεται εἰς τό σχῆμα 103, ὅπου ἡ εἰς τήν διατομήν $M(x, y, \alpha)$ δύναμις F θά εἶναι ἡ συνισταμένη τῆς R καί H.

Τότε αἱ δυνάμεις καί ἡ ροπή εἰς M ἔσονται:

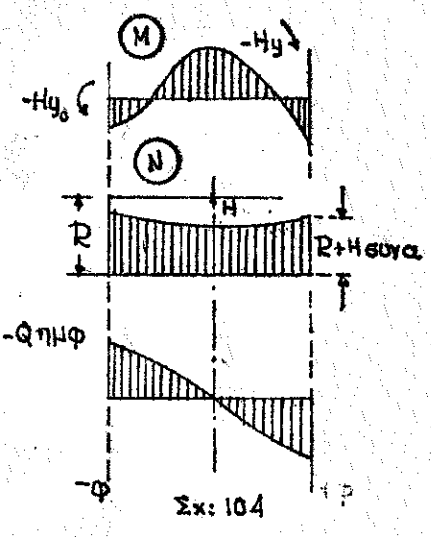
$$M = -Hy$$

$$N = R + Q\,\sigma\upsilon\nu\,\alpha \qquad (24)$$

$$T = Q\,\eta\mu\alpha$$

ὅπου $y = r\left(\sigma\upsilon\nu\,\alpha - \frac{\eta\mu\varphi}{\varphi}\right)$

Ἡ μεταβολή τῶν μεγεθῶν τούτων δίδεται ὑπό τοῦ σχ. 104.



Σχ. 104

Ἐν συνεχείᾳ αἱ τάσεις δίδονται ὑπό τῶν τύπων τοῦ τραπεζίου:

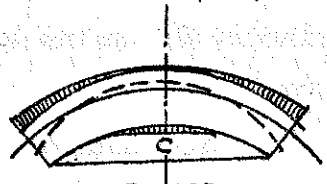
$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{My}{J} = \frac{N}{h} \pm \frac{12My}{h^3} \qquad (25)$$

καί αἱ ὁριακαί τάσεις ἔσονται:

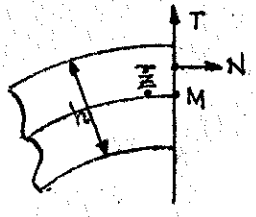
$$\sigma = \frac{R + H\,\sigma\upsilon\nu\,\alpha}{h} \pm \frac{6Hy}{h^2} = \frac{R}{h} + \frac{H}{h}\left(\sigma\upsilon\nu\,\alpha \pm 6\beta\left(\sigma\upsilon\nu\,\alpha - \frac{\eta\mu\varphi}{\varphi}\right)\right) \qquad (26)$$

Ἀντί τῆς μέσης γραμμῆς δυνάμεθα νά χρησιμοποιήσωμεν τήν γραμμήν πιέσεων.

Ἡ ἐκκεντρότης δίδεται ὑπό τοῦ τύπου:



Σχ. 105



$$Z = \frac{M}{N} = \frac{Hy}{R + H\,\sigma\upsilon\nu\,\alpha}$$

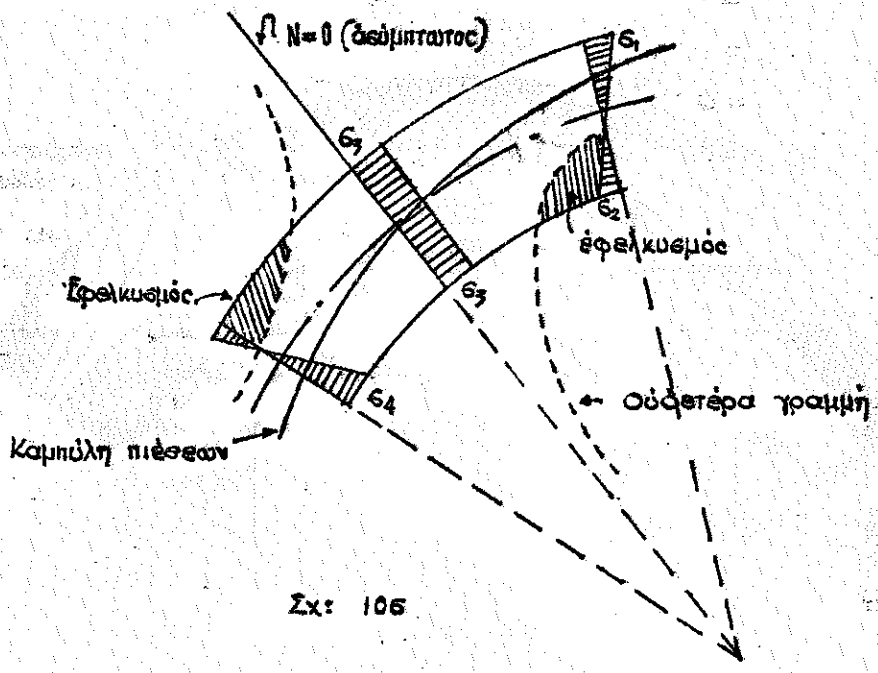
καί παριστᾷ καμπύλην ὑπερβολῆς.

Καὶ διὰ νὰ μὴ ἔχωμεν τάσεις ἐφελκυσμοῦ δέον $\frac{z}{h} < \frac{1}{6}$. Ζητοῦμεν ὁμοίως τὰς οὐδετέρας γραμμάς, ἤτοι τὰ σημεῖα μηδενισμοῦ τῶν τάσεων:

ἐκεῖ $\sigma = 0$ ἂν θέσωμεν εἰς τὸν τύπον (25) $y = \xi$ λαμβάνομεν:

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M\xi}{J} = 0 \quad \text{ἤτοι}$$

$$\xi = -\frac{N}{M} \cdot \frac{J}{F} = \frac{J}{F} \cdot \frac{R + H\frac{y+c}{\rho}}{Hy} = \frac{J}{F} \cdot \frac{R \cdot r + H(y+c)}{H \cdot \Gamma \cdot y} \qquad (28)$$



Σχ: 106

ἤτοι αἱ οὐδέτεραι γραμμαὶ ὁρίζονται ἀπὸ ὑπερβολὰς μὲ ἀσυμπτώτους διερχομένας ἀπὸ τὰ σημεῖα μηδενισμοῦ τῆς καμψεως. Ἐκ τῶν (27) καὶ (26) λαμβάνομεν:

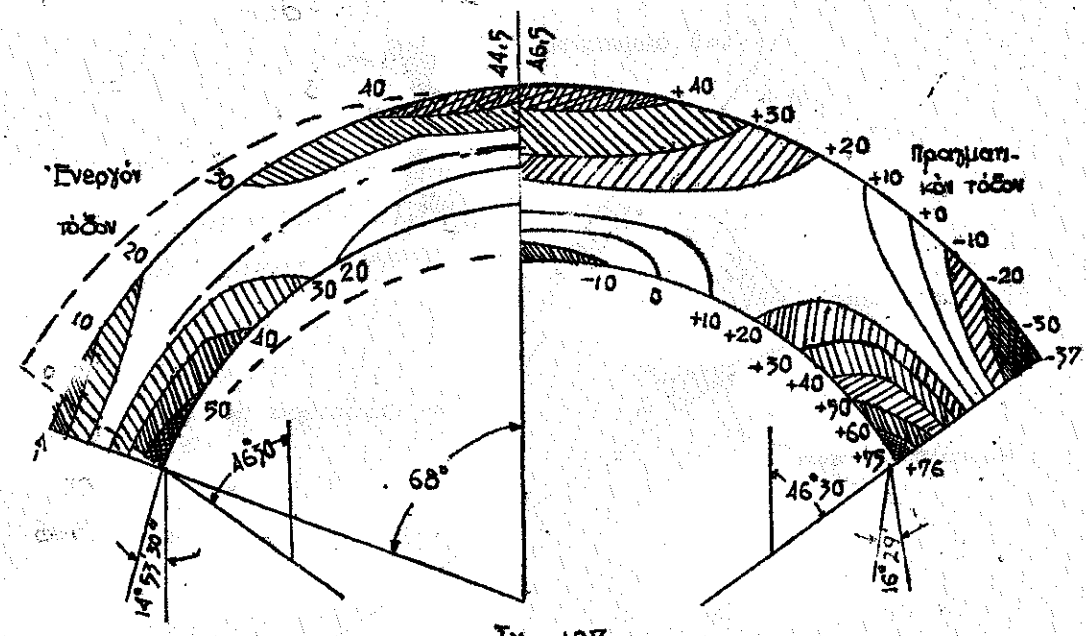
$$z \cdot \xi = -\frac{J}{F} \qquad (29)$$

ἤτοι διὰ σταθερὸν τόξον τὰ z καὶ ξ εἶναι ἀντίθετα.

Εἰς τὸ σχ. 106 δίδεται ἡ διανομὴ τῶν τάσεων. Ἐκ τοῦ

σχήματος τούτου έμφαίνεται ὅτι ὑπάρχει μία ζώνη, ἣν καλοῦμεν « ἐνεργὸν τόξον » ἄνευ ἐφελκυσμοῦ. Ἐξ' ἄλλου τὴν ζώνην μὲ ἐφελκυσμὸν καλοῦμεν « ρηγνυόμενον τμῆμα » (cracked portion, zone fissurée).

Εἰς τὸ σχῆμα 107 δίδεται τὸ τόξον τοῦ Γαλλικοῦ φράγματος Castillon (ὕψος 95,0 μ., ἀκτὶς 70 μ. εἰς ἀνάντη καὶ μὲ ὕδατος) καὶ αἱ εἰς αὐτὸ ὑπολογισθεῖσαι τάσεις.



Σχ. 107.

β.2. Ἐμπειρικοὶ τύποι.

Ὁ καθορισμὸς τῶν στατικῶς ἀορίστων μεγεθῶν εἰς κυκλικὰ τόξα, σταθεροῦ πάχους, ἐπιδιώκεται δι' ἁπλοποιημένων μεθόδων, ὡς ἡ ἀνωτέρα, μὲ σκοπὸν καταρτίσεως εὐχρήστων τύπων διὰ τὴν πρᾶξιν.

Ἀνάλογος πρὸς τοὺς τύπους (21) κατήρτισεν ὁ William Cain (Tr ASCE 1922, σ. 253), οἵτινες ἔχουν ὡς ἀκολούθως

διὰ ὀρθὰς δυνάμεις εἰς τὴν κλεῖδα καὶ τὰς παικτώσεις :

(30) $H_o = pr - \frac{Pr}{D} 2\eta\mu\,\eta\mu\varphi \frac{h^2}{12r^2}$ καὶ $M_o = -(pr - H_o) r\left(1 - \frac{\eta\mu\varphi}{\varphi}\right)$

(31) $H_A = pr - (pr - H_o)\,\sigma\upsilon\nu\varphi$ καὶ $M_A = r(pr - H_o)\left(\frac{\eta\mu\varphi}{\varphi} - \sigma\upsilon\nu\varphi\right)$

Τὸ D εἰς τὸν ἄνω τύπον δίδεται ὡς ἀκολούθως :

α/. Παραλειπομένων τῶν διατμητικῶν δυνάμεων :

(32) $$D = \left(1 + \frac{h^2}{12r^2}\right)\varphi\left(\varphi + \frac{\eta\mu^2\varphi}{2}\right) - 2\eta\mu^2\varphi$$

β/. Συνυπολογιζομένων τῶν διατμητικῶν δυνάμεων :

(33) $$D = \left(1 + \frac{h^2}{12r^2}\right)\varphi\left(\varphi + \frac{\eta\mu 2\varphi}{2}\right) - 2\,\eta\mu^2\varphi + 3{,}0\,\frac{h^2}{12r^2}\left(\varphi - \frac{\eta\mu^2\varphi}{2}\right)$$

γ. Ἀναλυτικὴ μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῶν ἀμφιπάκτων τόξων.

Ἡ ἀνωτέρω ἁπλοποιημένη μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῶν ἀμφιπάκτων τόξων (§β), ἔνθα ἡ ἐξωτερικὴ φόρτισις ἐλήφθη ὡς μεταβιβαζομένη ἀξονικῶς εἰς τὸ τόξον, λαμβάνει τὴν γενικήν της λύσιν ἀναλυτικῶς διὰ γενικεύσεως τῶν ἐξισώσεων τῶν παραμορφώσεων.

Οὕτω ἐὰν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν τὸ πεπακτωμένον τόξον τοῦ σχήματος ἰσοβαρῶς φορτιζόμενον μὲ τὰ ἐξωτερικὰ φορτία $P_1, P_2 \ldots$, δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὰς παραμορφώσεις καὶ τάσεις αὐτοῦ μετὰ τὸν προσδιορισμὸν τῶν στατικῶς ἀορίστων μεγεθῶν H_o, M_o καὶ V_o εἰς τὴν κλεῖδα. Ὁ ὑπολογισμὸς αὐτοῦ γίνεται ὡς ἑξῆς :

Θεωροῦνται γνωσταὶ τὰ στατικῶς ἄόριστα ταῦτα μεγέθη καὶ ἐξ αὐτῶν ὑπολογίζονται αἱ μετακινήσεις τῆς κλειδὸς καὶ δή : ἡ γωνιακὴ (θ_o), ἡ κατὰ τὴν ἐφαπτομέ-

νην (Δs) καὶ ἡ κατὰ τὴν ἀκτῖνα ($\Delta\eta$) μετακινήσεις αὐτῆς, ἤτοι καταστρώνονται αἱ ἐξισώσεις Bresse:

$$(34)\quad \left\{ \begin{array}{ll} (\alpha) & d\theta_0 = \dfrac{M ds}{JE} \\ (\beta) & d(\Delta r)_0 = \dfrac{M x ds}{JE} - \dfrac{H \eta\mu\cdot\varphi\, ds}{FE} + \dfrac{K V \sigma\upsilon\nu\varphi\, ds}{GE} \\ (\gamma) & d(\Delta s)_0 = -\dfrac{M y ds}{JE} - \dfrac{H \sigma\upsilon\nu\varphi\, ds}{EF} - \dfrac{K V \eta\mu\varphi\, ds}{GF} \end{array} \right\}$$

(Ἡ διαφορὰ εἰς τὰ σημεῖα ἀπὸ τὰ τῆς ἐξισώσεως (10) τῆς προηγουμένης παραγράφου β, ὀφείλεται εἰς τὸ ὅτι ἐδῶ ἡ δύναμις Η λαμβάνεται μὲ τὸ ἀντίθετον σημεῖον).

Ἐὰν ὁλοκληρώσωμεν τὰς ἐξισώσεις (34) ἀπὸ τῆς κλειδὸς εἰς τὴν ἀριστερὰν πάκτωσιν θὰ λάβωμεν τὰς μετακινήσεις τῆς κλειδὸς (θ_0^{α}, $\Delta\eta_0^{\alpha}$, Δs_0^{α})· ἐὰν ἐπαναλάβωμεν τὸ αὐτὸ καὶ διὰ τὸ δεξιὸν τμῆμα τοῦ τόξου, θὰ προσδιορίσωμεν πάλιν τὰ αὐτὰ μεγέθη (θ_0^{δ}, $\Delta\eta_0^{\delta}$, Δs_0^{δ}) ἐκφραζόμενα καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις συναρτήσει τῶν ἀγνώστων M_0, H_0 καὶ V_0 καὶ τῶν ἀντιστοίχων μεγεθῶν ῥοπῶν καὶ συνδέσεων τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων (τοῦ στατικῶς ἀρισμένου συστήματος). Ἐξισοῦντες νῦν τὰ μεγέθη ταῦτα $\theta_0^{\alpha} = \theta_0^{\delta}$, $\Delta\eta_0^{\alpha}$ καὶ $\Delta\eta_0^{\delta}$ καὶ $\Delta s_0^{\alpha} = \Delta s_0^{\delta}$ ἔχομεν τρεῖς ἐξισώσεις μὲ 3 ἀγνώστους καὶ οὕτω προσδιορίζομεν τὰ στατικῶς ἀόριστα μεγέθη M_0, V_0, H_0.

Τὰ σημεῖα τῶν μετακινήσεων ἔχουν ὡς ἑξῆς:

θετικαὶ στροφαὶ (θ_0) αἱ ἔχουσαι ἀντίθετον τῶν δεικτῶν τοῦ ὡρολογίου αὐτῶν.

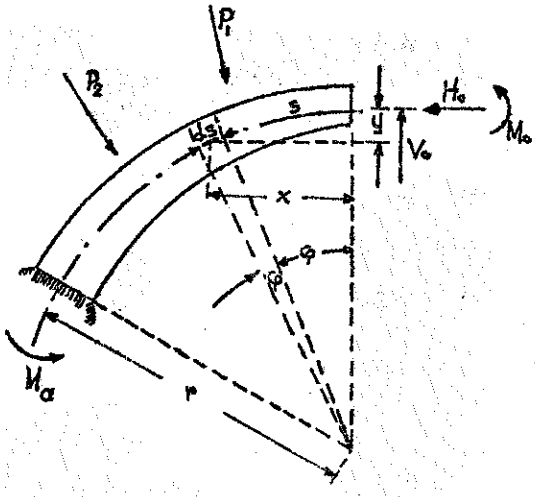
θετικαὶ ἐφαπτομενικαὶ μετακινήσεις κατευθύνονται πρὸς τὰ δεξιά.

θετικαὶ ἀκτινικαὶ μετακινήσεις κατευθύνονται πρὸς τὰ ἀνάντη τοῦ φράγματος.

Εἰς τάς ὡς ἄνω ἐξισώσεις (10) τά μεγέθη M, H καί V ἀναλύονται ὡς ἑξῆς :

$$(35)\quad \begin{cases} M = M_o + H_o y + V_o x - M_\alpha \\ H = H_o \sigma\upsilon\nu\varphi - V_o \eta\mu\varphi + H_\alpha \\ V = H_o \eta\mu\varphi + V_o \sigma\upsilon\nu\varphi - V_\alpha \end{cases}$$

ἐνθα M_o, H_o, V_o ἡ ῥοπή, ὤθησις καί διατμητική τάσις εἰς τήν κλείδα (βλ. σχ. 108) καί $M_\alpha, H_\alpha, V_\alpha$ τά ἀντίστοιχα μεγέθη τῶν ἐ ξ ω τ ε ρ ι κ ῶ ν φορτίων τῶν ἐπενεργούντων μεταξύ τοῦ ὑπ' ὄψιν σημείου (ds) καί τῆς κλειδός διά τό ἀριστερόν τμῆμα τοῦ τόξου (ἐξ οὗ καί ὁ δείκτης α).



Σχ. 108. Πεπακτωμένον τόξον, φορτία καί δυνάμεις.

Εἰς τάς ἐξισώσεις (33) ὁ συντελεστής K (συνήθως ἴσος πρός 1,25) τίθεται διά νά ἐξουδετεραθῇ ἡ ἐπιρροή τῆς μή ὁμοιομόρφου διανομῆς τῶν διατμητικῶν τάσεων.

Διά $\mu = 0{,}20$ (Poisson) καί $K = 1{,}25$ ὁ λόγος K/G τίθεται συνήθως $= 3/E$.

Ἀντικαθιστῶντες εἰς τάς ἐξισώσεις (33) διά τῶν ἀντιστοίχων μεγεθῶν ἐκ τῶν (34) καί ὁλοκληροῦντες λαμβάνομεν :

$$(36)\begin{cases}
(\alpha)\ \theta = M_o\int_o^s \frac{ds}{JE} + H_o\int_o^s \frac{y\,ds}{JE} + V_o\int_o^s \frac{x\,ds}{JE} - \int_o^s \frac{M_a\,ds}{JE} \\
(\beta)\ \Delta r_o = M_o\int_o^s \frac{x\,ds}{JE} + H_o\left(\int_o^s \frac{xy\,ds}{JE} - \int_o^s \frac{\eta\mu\varphi\,\sigma\upsilon\nu\varphi\,ds}{EF} + \zeta\int_o^s \frac{\eta\mu\varphi\,\sigma\upsilon\nu\varphi\,ds}{EF}\right) + \\
\quad + V_o\left(\int_o^s \frac{x^2 ds}{JE} + \int_o^s \frac{\eta\mu^2\varphi\,ds}{EK} + \zeta\int_o^s \frac{\sigma\upsilon\nu^2\varphi\,ds}{EF}\right) - \\
\quad - \left(\int_o^s \frac{M_a x\,ds}{JE} + \int_o^s \frac{H_a\,\eta\mu\varphi\,ds}{EF} + \zeta\int_o^s \frac{V_a\sigma\upsilon\nu\varphi\,ds}{EF}\right) \\
(\gamma)\ \Delta s_o = M_o\ \frac{y\,ds}{JE} - H_o\left(\int_o^s \frac{y^2 ds}{JE} + \int_o^s \frac{\sigma\upsilon\nu^2\varphi\,ds}{EF} + \zeta\int_o^s \frac{\eta\mu^2\varphi\,ds}{EF}\right) - \\
\quad - V_o\left(\int_o^s \frac{xy\,ds}{JE}\int_o^s \frac{\eta\mu\varphi\,\sigma\upsilon\nu\varphi\,ds}{EF} + \zeta\int_o^s \frac{\eta\mu\varphi\,\sigma\upsilon\nu\varphi\,ds}{EF}\right) + \\
\quad + \left(\int_o^s \frac{M_a y\,ds}{EJ} - \int_o^s \frac{H_a\sigma\upsilon\nu\varphi\,ds}{EF} + \zeta\int_o^s \frac{V_a\eta\mu\varphi\,ds}{EF}\right)
\end{cases}$$

Διά τῶν ἐξισώσεων αὐτῶν ἤδη δυνάμεθα νά ὑπολογίσωμεν τάς μετακινήσεις, ἐάν τά μεγέθη M_o, H_o καί V_o ἔχουν προσδιορισθῆ.

Αἱ ἐξισώσεις (36) γράφονται βραχύτερον ὡς ἑξῆς:

$$(37)\begin{cases}
(\alpha)\ \ \theta^a = A_1 M_o + B_1 H_o + C_1 V_o - D_1 \\
(\beta)\ \ \Delta^a r = C_1 M_o + B_2 H_o + C_2 V_o - D_2 \\
(\gamma)\ \ \Delta^a s_o = -B_1 M_o - B_3 H_o - B_2 + D_3
\end{cases}$$

Ἤδη τάς αὐτάς ἐξισώσεις δυνάμεθα νά καταστρώσωμεν καί διά τό δεξιόν τμῆμα τοῦ τόξου (δεξιά τῆς κλειδός)

ὁπότε αἱ ἀντίστοιχοι ἐξισώσεις πρὸς τὰς (35) θὰ ἔχουν ὡς ἀκολούθως :

$$(35') \quad \left\{ \begin{array}{ll} \alpha/. & M = M_0 + H_0 y - V_0 x - M_\delta \\ \beta/ & H = H_0 \sigma\upsilon\nu\varphi + V_0 \eta\mu\varphi + H_\delta \\ \gamma/ & V = H_0 \eta\mu\varphi - V_0 \sigma\upsilon\nu\varphi - V_\delta \end{array} \right\}$$

καὶ αἱ μετακινήσεις εἰς τὴν κλείδα αἱ προερχόμεναι ἐκ τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως τοῦ δεξιᾶ τῆς κλειδός θὰ ἔχωσιν, μὲ ἀναλόγους συμβολισμούς ὡς εἰς τὰς (37), ὡς ἑξῆς :

$$(37') \quad \left\{ \begin{array}{ll} \alpha/. & \Theta^\delta_0 = -A'_1 M_0 - B'_1 H_0 + C'_1 V_0 + N \\ \beta/. & \Delta^\delta_{\eta_0} = + C'_1 M_0 + B_2 H_0 - C'_2 V_0 - D'_2 \\ \gamma/. & \Delta^\delta_{\xi_0} = B'_1 M_0 + B'_3 H_0 - B'_2 V_0 - D'_3 \end{array} \right\}$$

Ὡς εἶναι εὐνόητον, οἱ ὡς ἄνω χρησιμοποιηθέντες συμβολισμοί ἔχουν τὰς ἀκολούθους ἐννοίας :

A_1 = γωνιακὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς ῥοπὴν ἴσην πρὸς τὴν μονάδα.

B_1 = γωνιακὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς μονάδα ὀρθῆς δυνάμεως ἢ ἐφαπτομενικὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς ῥοπὴν ἴσην πρὸς τὴν μονάδα.

C_1 = γωνιακὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς μονάδα διατμητικῆς δυνάμεως ἢ ἀκτινικὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς ῥοπὴν ἴσην πρὸς τὴν μονάδα.

B_2 = ἀκτινικὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς μονάδα ὀρθῆς δυνάμεως ἢ ἐφαπτομενικὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς μονάδα διατμητικῆς δυνάμεως.

C_2 = ἀκτινικὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς μονάδα διατ-

(φ. 10)

μητικῆς δυνάμεως.

B_3 = ἐφαπτομενικὴ μετακίνησις ὀφειλομένη εἰς μονάδα ὀρθῆς δυνάμεως.

Αἱ ὡς ἄνω σταθεραὶ καλοῦνται σ τ α θ ε ρ α ὶ τ ο ῦ τ ο ξ ο υ.

Ὁ προσδιορισμὸς τῶν σ τ α τ ι κ ῶ ς ἀ ο ρ ί σ τ ω ν μεγεθῶν M_o H_o καὶ V_o εἶναι ἤδη ἁπλοῦς καὶ ἐπιτυγχάνεται ὡς ἤδη ἀνωτέρω ἐξετέθη δι' ἐξισώσεως τῶν μετακινήσεων θ , Δr καὶ Δs δεξιὰ καὶ ἀριστερὰ τῆς κλειδός, ἤτοι δι' ἐξισώσεως κατὰ μέρη τῶν δεξιῶν μερῶν τῶν ἐξισώσεων (37) καὶ (37') ὁπότε προκύπτουν αἱ ἀκόλουθοι ἐξισώσεις:

$$(38)\begin{cases} (\alpha) & (A_1+A_1')M_o+(B_1+B_1')H_o+(C_1+C_1')V_o=(D_1+D_1') \\ (\beta) & (C_1-C_1')M_o+(B_2+B_2')H_o+(C_2+C_2')V_o=(D_2+D_2') \\ (\gamma) & (B_1+B_1')M_o+(B_2+B_3')H_o+(B_2-B_2')V_o=(D_3+D_3') \end{cases}$$

Ἤδη βραχυγραφοῦντες ἐκ νέου τὰ ἐν παρενθέσει τῶν ἐξισώσεων (38) μεγέθη λαμβάνομεν τὰς ἐξισώσεις:

$$(39)\begin{cases} (\alpha) & a_1 M_o + b_1 H_o + C_1 V_o = d_1 \\ (\beta) & C_1 M_o + b_2 H_o \; C_2 V_o = d_2 \\ (\gamma) & b_1 M_o + b_3 H_o + b_2 V_o = d_3 \end{cases}$$

ἐξ ὧν ὑπολογίζονται δι' ἐπιλύσεως τὰ στατικῶς ἀόριστα μεγέθη:

$$(40)\begin{cases} (\alpha) & M_o=\frac{1}{K'}\left[d_1(b_3C_2-b_2^2)-d_3(b_1C_2-C_1b_2)-d_2(b_3C_1-b_1b_2)\right] \\ (\beta) & H_o=\frac{1}{K'}\left[-d_1(b_1C_2-b_2C_1)+d_3(a_1C_2-C_1^2)+d_2(b_1C_1-a_1b_2)\right] \\ (\gamma) & V_o=\frac{1}{K'}\left[-d_1(b_3C_1-b_1b_2)+d_3(b_1C_1-a_1b_2)+d_2(a_1b_3-b_1^2)\right] \end{cases}$$

ἔνθα $K'=a_1(b_3C_2-b_2^2)-b_1(b_1C_2-C_1b_2)-C_1(b_3C_1-b_1b_2)$.

Εἰς περίπτωσιν συμμετρικοῦ τόξου ὁ συντελεστὴς κ' γίνεται $\kappa' = a_1 b_3 - b_1^2$ καὶ τὰ ἀόριστα μεγέθη :

$$(40)\begin{cases} (\alpha) & M_o = \frac{1}{k'}(d_1 b_3 - d_3 b_1) \\ (\beta) & H_o = \frac{1}{k'}(-d_1 b_1 + d_3 a_1) \\ (\gamma) & V_o = \frac{1}{k'}\,\frac{d_2}{c_2} \end{cases}$$

Αἱ συναρτήσεις τῶν τύπων (40) καὶ (40') αἱ συμβολιζόμεναι διὰ τῶν γραμμάτων a, b, c, αἵτινες ἀπαιτοῦνται διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῶν $M_o H_o$ καὶ V_o εἰς τὴν κλεῖδα δίδονται ὑπὸ τοῦ καταστέρω πίνακος (Π) καὶ δὴ μετὰ τῶν ἀντιστοίχων σημείων δι' ὧν εἰσέρχονται εἰς τὰς ἐξισώσεις (39), (40) καὶ (40').

Πρὸς ὑπολογισμὸν τῶν μετακινήσεων εἰς τυχὸν σημεῖον x τοῦ ἀριστεροῦ τμήματος τοῦ τόξου, ὑπολογίζομεν κατ' ἀρχὴν ὡς ἀνωτέρω τὰ μεγέθη M_o, V_o, H_o εἰς τὴν κλεῖδα καὶ ἐξ αὐτῶν τὰ μεγέθη M_x, V_x, H_x εἰς τὸ σημεῖον x, συναρτήσει καὶ τῶν παρεμβαλλομένων, μεταξὺ κλειδὸς καὶ θέσεως x, ἐξωτερικῶν φορτίων.

Ἤδη θεωροῦμεν τὴν θέσιν x ὡς κλεῖδα τοῦ τόξου καὶ εὑρίσκομεν τὴν μετακίνησιν αὐτοῦ ἐκ τῶν τύπων (36), ὅπου ἀντὶ M_o, V_o, H_o θέτομεν τὰ ὡς ἀνωτέρω ὑπολογισθέντα μεγέθη M_x, V_x, H_x.

Ἀναλόγως ὑπολογίζομεν δι' οἱονδήποτε σημεῖον τοῦ δεξιοῦ τμήματος τοῦ τόξου.

Αἱ ἀνωτέρω καθορισθεῖσαι **σταθεραὶ** τοῦ τόξου A_1, B_1, C_1, B_2, C_2, B_3 — ἀποδίδουσαι, ὡς ἤδη ἐλέχθη, γωνιακὰς ἢ γραμμικὰς μετακινήσεις ὀφειλομένας εἰς μονά-

Σύμβολον	Συναρτήσεις	
	Αριστερά	Δεξιά
a_1	$\int_0^s \frac{ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{ds}{EI}$
b_1	$\int_0^s \frac{y\,ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{y\,ds}{EI}$
c_1	$\int_0^s \frac{x\,ds}{EI}$	$-\int_0^s \frac{x\,ds}{EI}$
b_2	$\int_0^s \frac{xy\,ds}{EI}$ $-\int_0^s \frac{\sin\phi\cos\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{\sin\phi\cos\phi\,ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{xy\,ds}{EI}$ $\int_0^s \frac{\sin\phi\cos\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{\sin\phi\cos\phi\,ds}{EA}$
c_2	$\int_0^s \frac{x^2\,ds}{EI}$ $\int_0^s \frac{\sin^2\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{\cos^2\phi\,ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{x^2\,ds}{EI}$ $\int_0^s \frac{\sin^2\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{\cos^2\phi\,ds}{EA}$

Σύμβολον	Συναρτήσεις	
	Αριστερά	Δεξιά
b_3	$\int_0^s \frac{y^2\,ds}{EI}$ $\int_0^s \frac{\cos^2\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{\sin^2\phi\,ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{y^2\,ds}{EI}$ $\int_0^s \frac{\cos^2\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{\sin^2\phi\,ds}{EA}$
d_1	$\int_0^s \frac{M_L\,ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{M_R\,ds}{EI}$
d_2	$\int_0^s \frac{M_L x\,ds}{EI}$ $\int_0^s \frac{H_L\sin\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{V_L\cos\phi\,ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{M_R x\,ds}{EI}$ $-\int_0^s \frac{H_R\sin\phi\,ds}{EA}$ $-3\int_0^s \frac{V_R\cos\phi\,ds}{EA}$
d_3	$\int_0^s \frac{M_L y\,ds}{EI}$ $-\int_0^s \frac{H_L\cos\phi\,ds}{EA}$ $-3\int_0^s \frac{V_L\sin\phi\,ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{M_R y\,ds}{EI}$ $-\int_0^s \frac{H_R\cos\phi\,ds}{EA}$ $3\int_0^s \frac{V_R\sin\phi\,ds}{EA}$

δας φορτίσεων - δύνανται νά ὑπολογισθῶσιν διά τῶν κατωτέρω τύπων δι' ἁπλῶν τινῶν παραδοχῶν. Οὕτω π.χ. ἐν δεχθῶμεν σταθερόν πάχος τοῦ φράγματος (h) καί τό κέντρον βάρους τοῦ τόξου ὡς οὐδέτερον ἄξονα, προκύπτουν αἱ ἀκόλουθοι σχέσεις:

$$I = \frac{h^2}{12} \quad , \quad s = r.\varphi \quad , \quad ds = r.d\varphi \quad , \quad F = h$$

καί ἄν καλέσωμεν φ_α τήν γωνίαν μεταξύ τοῦ σημείου, οὗτινος ζητοῦνται αἱ μετακινήσεις καί τῶν πακτώσεων, θά λάβωμεν τάς ἀκολούθους ἁπλοποιημένας μορφάς τῶν σταθερῶν τοῦ τόξου.

$$(41)\begin{cases} (\alpha) \quad A_1 = \dfrac{12}{E h_\varphi^3} \cdot r \left[\varphi_\alpha\right] \qquad B_1 = \dfrac{12\, r^2}{E h^3} \left[\varphi_\alpha - \eta\mu\varphi_\alpha\right] \\ (\beta) \quad C_1 = \dfrac{12\, r^2}{E h^3} \left[1 \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha\right] \\ (\gamma) \quad B_2 = \dfrac{12\, r^2}{E h^3} \left[1 \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha - \dfrac{\eta\mu^2\varphi_\alpha}{2}\right] + \dfrac{r}{Eh}\left[\eta\mu^2\varphi_\alpha\right] \\ (\delta) \quad C_2 = \dfrac{12\, r^3}{Eh}\left[\dfrac{\varphi_\alpha - \eta\mu\varphi_\alpha - \sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha}{2}\right] + \dfrac{r}{Eh}\left[\dfrac{\varphi_\alpha - \eta\mu\varphi_\alpha\,\sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha}{2} + \right. \\ \qquad\qquad \left. + \dfrac{\varphi_\alpha + \eta\mu\varphi_\alpha\,\sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha}{2}\right] \\ (\varepsilon) \quad B_2 = \dfrac{12\, r}{Eh}\left[-2\,\eta\mu\varphi_\alpha + \left(\varphi_\alpha + \eta\mu\varphi_\alpha\,\sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha\right)\right] + \dfrac{r}{Eh}\left[\dfrac{\varphi_\alpha +}{2}\right. \\ \qquad\qquad \left. \dfrac{+\,\eta\mu\varphi_\alpha\,\sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha}{2} + 3\,\dfrac{\left(\varphi_\alpha - \eta\mu\varphi_\alpha\,\sigma\upsilon\nu\varphi_\alpha\right)}{2}\right] \end{cases}$$

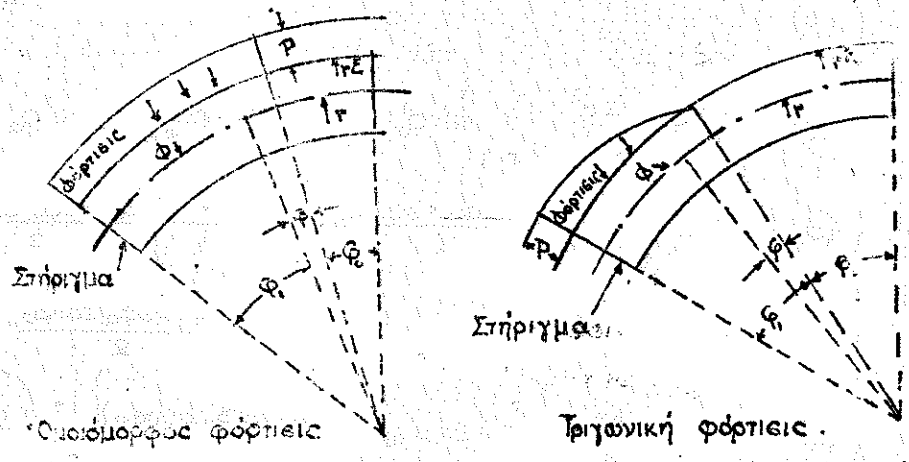
Οἱ ἐντός τῶν παρενθέσεων ἀριθμοί εἶναι συναρτήσεις ἑκάστης γωνίας φ_α μόνον.

Δυνάμεθα ὅθεν νά καταρτίσωμεν πίνακας ἤ διαγράμματα δίδοντα καί τιμάς τῶν παρενθέσεων διά τάς δυνατάς

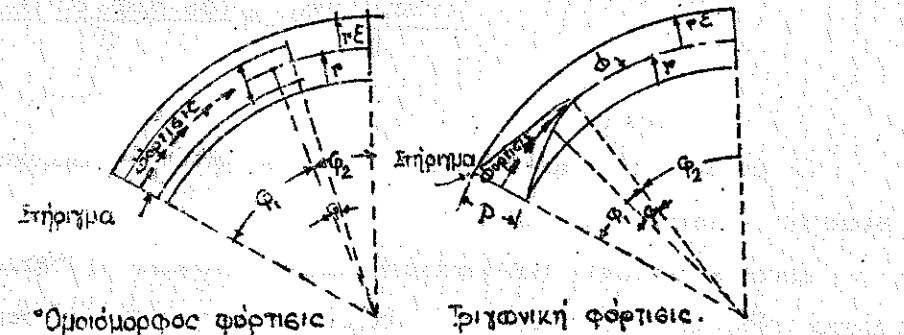
γωνίας Φ_α.

Ἐκ παραλλήλου πρός τάς ἄς ἀνω σταθεράς τοῦ τόξου δέον νά προσδιορίζωμεν ἑκάστοτε καί τάς ῥοπάς τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων (M_α) ὡς καί τάς ἀναλόγους δυνάμεις (H_α , V_α) (τύπου 35 καί 36).

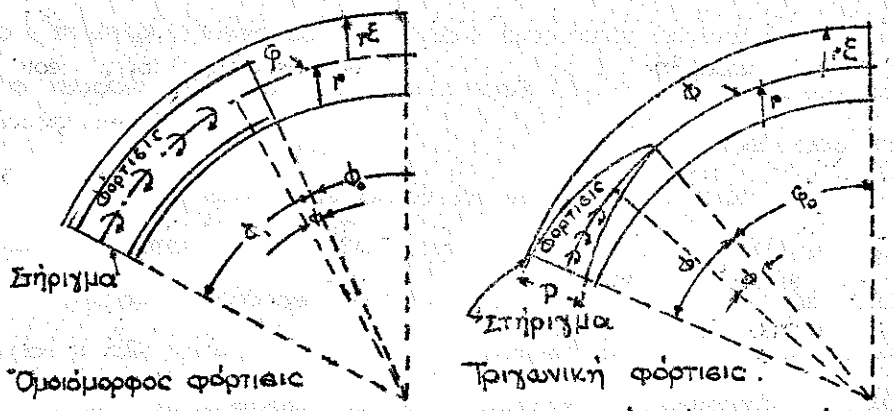
Δύναι συνήθως τυποποιοῦνται καί ἡ ὁμοιόμορφον φόρτισιν p (ὑπολογιζομένην λ.χ. ἐπί τμήματος τόξου Φ_1) ὡς καί διά τριγωνικήν τοιαύτην, εἴτε ἡ φόρτισις αὕτη εἶναι κάθετος εἰς τό τόξον ἢ ἐφαπτομενική ἤ, τέλος, καί ἐάν προέρχεται ἀπό δυνάμεις στρέψεως, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τά ἀκόλουθα σχήματα (109, 110, 111).



Σχ. 109: Ὁμοιόμορφος καί τριγωνική φόρτισις ἐκ τῶν καθέτων φορτίων



Σχ. 110: Ὁμοιόμορφος καί τριγωνική φόρτισις ἐκ τριγωνικῶν φορτίων.



Σχ. 111: Ομοιόμορφος καί τριγωνική φόρτιση ἐκ δυνάμεων στρέψεως.

Ὁ προσδιορισμός νῦν τῶν M_α, V_α, H_α δύναται νά γίνῃ εὐχερῶς διά τοῦ κατωτέρω πίνακος:

ΠΙΝΑΞ 2

Φορτία	Μέγεθος	Φόρτισις ὡς εἰς σχήματα 109, 110, 111.	
		Ὁμοιόμορφος	Τριγωνική
Ἀκτινωταί φορτίσεις (σχ. 109)	M_α	$p.r_\xi.r(1-\sigma\upsilon\nu\varphi)$	$p.r_\xi.r(\varphi-\eta\mu\varphi)/\varphi_1$
	H_α	$p.r_\xi(1-\sigma\upsilon\nu\varphi)$	$p.r_\xi(\varphi-\eta\mu\varphi)/\varphi_1$
	V_α	$p.r_\xi(\eta\mu\varphi)$	$p.r_\xi(\varphi-\sigma\upsilon\nu\varphi)/\varphi_1$
Ἐφαπτομενικαί φορτίσεις (σχ. 110)	M_A	$pr^2(\varphi-\eta\mu\varphi)$	$pr^2(\varphi^2/2-(1-\sigma\upsilon\nu\varphi))/\varphi_1$
	H_A	$-pr\,\eta\mu\varphi$	$-p.r(1-\sigma\upsilon\nu\varphi)/\varphi_1$
	V_A	$pr(1-\sigma\upsilon\nu\varphi)$	$p.r(1-\eta\mu\varphi)/\varphi_1$
Φόρτισις στρέψεως (σχ. 111)	M_α	$pr\varphi$	$pr.\varphi^2/2\varphi_1$

Τὸ p ἐκφράζεται εἰς διαστάσεις τάσεως (Kg/m^2) δι' ἀκτινωτὰς ἢ ἐφαπτομενικὰς φορτίσεις καὶ εἰς διαστάσεις (Kgm/m^2) διὰ φορτίσεις στρέψεως. Αἱ φορτίσεις στρέψεως δὲν δίδουσι συνιστώσας εἰς H_A καὶ V_A.

Ἐκ παραλλήλου δέον νὰ ὑπολογισθῶσιν αἱ τιμαὶ τῶν D_1, D_2, D_3 εἰς τὰς ἐξισώσεις (37) καὶ (37'). Ὡς γνωστὸν αἱ σταθεραὶ αὗται εἶναι συνάρτησις τῆς ἐξωτερικῆς φορτίσεως δι' ὃ καὶ καλοῦνται **σταθεραὶ φορτίσεως**. Ὡς συνάγεται ἐκ τῶν ἐξισώσεων (37) καὶ (37') αἱ παραστάσεις αὐτῶν εἰς τὸν ὁλοκληρωτικὸν λογισμόν, ἐκφράζουν τὴν μετακίνησιν (ἀπόκλισιν) σημείου τοῦ τόξου, ὀφειλομένην εἰς τὰ ἐξωτερικὰ φορτία, ἅτινα ἐφαρμόζονται μεταξὺ τοῦ ὑπ' ὄψιν σημείου καὶ τῆς πακτώσεως. Ἡ παράστασις D_1 δίδει τὴν γωνιακὴν μετακίνησιν, ἡ D_2 τὴν ἀκτινωτὴν καὶ ἡ D_3 τὴν ἐφαπτομενικὴν μετακίνησιν.

Διὰ τόξου σταθεροῦ πάχους $h\left[J=\frac{h^3}{12}\right]$ φορτιζομένου δι' ἐπικέντρου γωνίαν φ_1, μετρουμένην ἀπὸ τοῦ στηρίγματος, συμφώνως πρὸς τὰ σχ. (109) (110) (111) (βλέπε σελ. 150 - 151') αἱ σταθεραὶ αὗται λαμβάνουν τὴν μορφήν:

$$(12)\begin{cases} (\alpha) & D_1=\dfrac{12}{Eh^3}\displaystyle\int_0^S M_\alpha\cdot r\cdot d\varphi \\ (\beta) & D_2=\dfrac{12}{Eh^3}\displaystyle\int_0^{\varphi_1} M_\alpha\cdot r^2\cdot \eta\mu\varphi\cdot d\varphi+\frac{1}{Eh}\int_0^{\varphi_1} H_\alpha\, r\,\eta\mu\varphi\cdot d\varphi+\frac{3}{Eh}\int_0^{\varphi_1} V_\alpha\cdot r\,\sigma\upsilon\nu\varphi\cdot d\varphi \\ (\gamma) & D_3=\dfrac{12}{Eh^3}\displaystyle\int_0^S M_\alpha\cdot r^2(1-\sigma\upsilon\nu\varphi)d\varphi-\frac{1}{Eh}\int_0^{\varphi_1} H_\alpha\cdot r\cdot\sigma\upsilon\nu\varphi d\varphi+\frac{3}{Eh}\int_0^{\varphi_1} V_\alpha\, r\,\eta\mu\varphi\cdot d\varphi \end{cases}$$

Αἱ τιμαὶ τῶν M_α , H_α καὶ V_α ἐδόθησαν εἰς τὸν πίνακα 2. Ἐὰν τὸ φορτίον ἐκτείνεται εἰς τμῆμα μόνον τοῦ τόξου ($\varphi = 0 \div \varphi_1$) αἱ τιμαὶ τῶν D_1 , D_2 , D_3 λαμβάνονται μέχρι τοῦ σημείου $\varphi = \varphi_1$ δι' ὁλοκληρώσεως τῶν ἐξισώσεων ἀπὸ 0 ἕως φ_1 .

Πέραν τοῦ σημείου αὐτοῦ ἀντικαθιστῶμεν διὰ καταλλήλων συναρτήσεων τοῦ φ_0 (τῆς γωνίας πέραν τοῦ φορτιζομένου τμήματος) καὶ οὕτω ἐπεκτείνονται αἱ ἐξισώσεις (42) πρὸς τὸ ἀφόρτιστον τμῆμα τοῦ τόξου. (βλ. σχ. 109, 110, 111).

Τὰ ὁλοκληρώματα τῶν τύπων (42) δίδονται κατωτέρω εἰς τὸν πίνακα 3 , ἔνθα εἰς τὴν πρώτην στήλην δίδονται, αἱ λογαριθμικαὶ συναρτήσεις τῶν τύπων (42) εἰς τὴν δευτέραν στήλην εἰς ποῖον τμῆμα τῶν τύπων (42) ἀναφέρονται αὗται , εἰς τὴν τρίτην δὲ στήλην εἰς ποίαν ποσότητα πολλαπλασιάζονται αὗται πρὸς προσδιορισμὸν τῶν μεγεθῶν D_1 , D_2 καὶ D_3 . Ὁ πίναξ οὗτος ἀναφέρεται μόνον εἰς ὁμοιόμορφον ἀκτινωτὴν φόρτισιν τῶν δακτυλίων τοῦ τόξου.

Ἀνάλογοι πίνακες ὑπάρχουν δι' ἐφαπτομενικὰς φορτίσεις ὡς καὶ φορτίσεις στρέψεως τόξων ὁμοιομόρφους ὅσον καὶ τριγωνικῆς διατομῆς (βλ. Davis , Handbook , 1942 σελ. 177-178).

Εἰς τὸν πίνακα 3 αἱ γωνίαι $\varphi_1 + \varphi_0 = \varphi$ κατὰ τὰ σχήματα 109 , 110 , 111 τῆς σελ. 150 - 151. –

Ἡ στήλη 2 τοῦ πίνακος ἀναφέρεται εἰς τὸ 1ον καὶ 2ον μέρος τῶν ἐξισώσεων (42). Τῶν ἐξισώσεων 42β καὶ 42γ τὸ πρῶτον μέρος (πρῶτος ὅρος τοῦ δεξιοῦ τμήματος τῆς ἐξισώσεως) δίδει τὰς ἐπιδράσεις τῆς ῥοπῆς κάμψεως τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων εἰς τὰς μετακινήσεις καὶ διαιρεῖται ἐνίοτε διὰ λόγους εὐκολίας εἰς δύο τμήματα (3 καὶ 5 στοιχεῖα τοῦ πίνακος). –

Τό δεύτερον μέρος τῶν ἐξισώσεων 42β καί 42γ ἀποτελεῖται ἀπό δύο τμήματα ἐξ ὧν τό πρῶτον παριστᾶ τήν παραμόρφωσιν τήν ὀφειλομένην εἰς τάς κυρίας δυνάμεις (H) τό δέ δεύτερον εἰς τάς δυνάμεις διατμήσεως.

ΠΙΝΑΞ 5.

Σταθεραί φορτίσεως δι' ὁμοιόμορφον ἀκτινωτήν φόρτισιν (εκ. 109 ἀριστερά)

Τριγωνική συνάρτησις	Τμῆμα ἐξισώσεως	Παλλαπλασιαστής
$\eta\mu\varphi_0\left(\frac{\eta\mu^2\varphi_1}{2}\right)+\sigma\upsilon\nu\varphi_0\left(\frac{\varphi_1-\eta\mu\varphi_1\,\sigma\upsilon\nu\varphi_1}{2}\right)$	D_3 2ον μέρος 2ον τμῆμα	$\frac{P.R_a.r}{E.h}$
$\sigma\upsilon\nu\varphi_0\left(\frac{\eta\mu^2\varphi_1}{2}\right)+\eta\mu\varphi_0\left(\frac{\varphi_1-\eta\mu\varphi_1\,\sigma\upsilon\nu\varphi_1}{2}\right)$	D_2 2ον μέρος 2ον τμῆμα	$\frac{P.R_a\,r}{E.h}$
$\varphi_1-\eta\mu\varphi_1$	D_1	$pR_u r^2/IE$
	D_3 1ον μέρος 1ον τμῆμα	$pR_u r^3/IE$
$\eta\mu\varphi_0\left(\eta\mu\varphi_1-\frac{\varphi_1+\eta\mu\varphi_1\,\sigma\upsilon\nu\varphi_1}{2}\right)+\sigma\upsilon\nu\varphi_0\left((1-\sigma\upsilon\nu\varphi_1)-\frac{\eta\mu^2\varphi_1}{2}\right)$	D_2 1ον μέρος	$pR_u r^3/IE$
	D_3 2ον μέρος 1ον τμῆμα	$pR_u r/hE$
$\sigma\upsilon\nu\varphi_0\left(\eta\mu\varphi_1-\frac{\varphi_1+\eta\mu\varphi_1\,\sigma\upsilon\nu\varphi_1}{2}\right)$ $-\eta\mu\varphi_0\left(1-\sigma\upsilon\nu\varphi_1-\frac{\eta\mu^2\varphi_1}{2}\right)$	D_2 1ον μέρος 2ον τμῆμα	$-pR_u r^3/EI$
	D_3 2ον μέρος 1ον τμῆμα	$-pR_u r/Eh$

Παράδειγμα.

Ἡ ἀνωτέρω ἀναλυτική μέθοδος δύναται νὰ γίνῃ καὶ τμηματικῶς ἰδίᾳ ὅταν αἱ ἀκτῖνες (καὶ τὸ πάχος τοῦ τόξου) εἶναι μεταβλητὰ μεγέθη.

Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει τὸ τόξον διαιρεῖται εἰς βολίδας καὶ ἐπ' αὐτῶν ἐφαρμόζονται αἱ ἐξισώσεις ἐλαστικότητος (Bresse) ὡς ἑξῆς:

$$(43\alpha) \qquad \Sigma_M \partial\omega = \Sigma \frac{M_E \Delta s}{EJ} + \Sigma \frac{M \Delta s}{EJ} + \Sigma \frac{H_{cy} \cdot \Delta s}{EJ} + \Sigma \frac{V_{cx} \Delta s}{EJ}$$

καὶ ἀναλόγως διὰ τὰς μετακινήσεις:

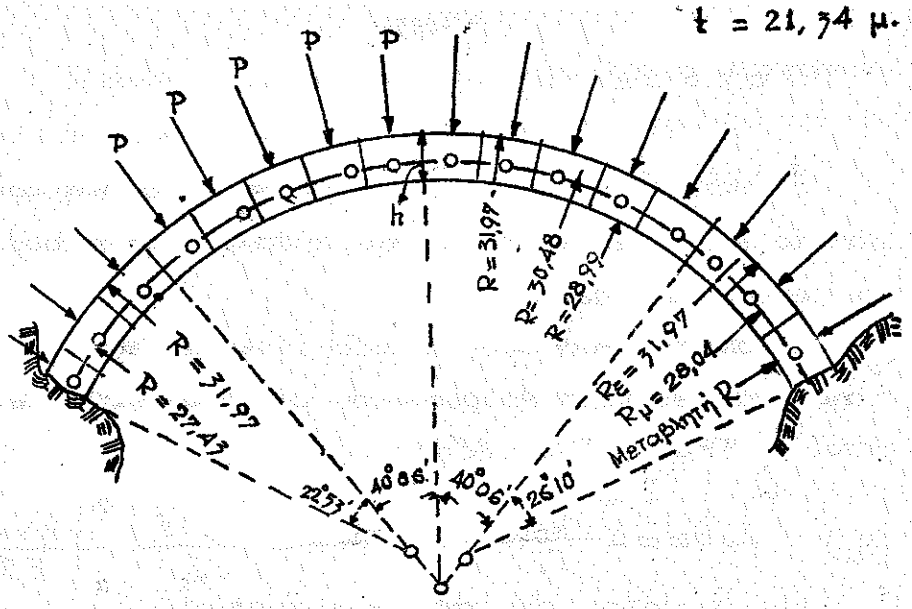
$\Sigma_M \partial x$ καὶ $\Sigma_M \partial y$ (ἐξ. 43β καὶ 43γ)...

εἰς ταύτας προσθέτομεν καὶ τὰς μετακινήσεις λόγῳ ἀλλαγῆς θερμοκρασίας καὶ ὑποχωρήσεως θεμελίων (ὡς ταῦτα ἀναπτύσσονται εἰς τὴν ἑπομένην παράγραφον). Συνήθως συντάσσονται εἰδικοὶ πίνακες εἰς οὓς ὑπολογίζονται τὰ μεγέθη τὰ εἰσερχόμενα εἰς τὰς ἐξισώσεις 43α, 43β καὶ 43γ).-

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα τῆς μεθόδου ταύτης δίδεται ὑπὸ τῶν Hinds, Creager, Justin ὡς κατωτέρω (βλ. σχ. 112 καὶ πίνακ. 4).

Εἰς τὸ σχῆμα δίδεται τομὴ τοῦ τόξου τοῦ φράγματος εἰς βάθος 21.34 μ. ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὕδατος.

Τὰ ἀποτελέσματα τοῦ ὑπολογισμοῦ τοῦ τόξου (ὑποδιαιρουμένου εἰς 18 τμήματα) ἔχουσιν ὡς ἀκολούθως:



Σχ. 112 = Κάτοψις τόξου εἰς βάθος 21,34 μ. Κλίμαξ : 1cm = 5,60 μ.

ΠΙΝΑΞ Α

	Ἀριστερά	Κλείς	Δεξιά
h , πάχος θόλου , μ.	3.423	2,987	3.47
M , ῥοπή κάμψεως τῶν -μ	72,66	86,95	73,80
H_o (ὁριζ. ὠθησις) τόν.	-2,59	-2,59	-2.59
T , διάτμησις ὁλική , τόν.	201,73	196,3	202,2
Τάσεις : ἐξωτραχίου (Kg/cm^2)	6,46	37,5	6,1
ἐσωτραχίου (Kg/cm^2)	32.60	,39	32,40

$e = \frac{M}{T}$ = ἀπόστασις τῆς γραμμῆς τῶν πιέσεων ἀπό τοῦ ἄξονος τοῦ φράγματος.

Διά σκυρόδεμα $E = 254\,100$ at

» θεμελιώσεις $E = 272\,600$ at

Poisson : σκυροδέματος 1/6

» ἐδάφους 1/5

Πτῶσις θερμοκρασίας 11,1° C

Διαφορά ἔξω - ἔσω 4,44° C

δ/. Ἡ ἐπιρροή τῶν μεταβολῶν τῆς θερμοκρασίας καὶ τῶν ὑποχωρήσεων τῆς στηρίξεως. —

Μεταβολαί τῆς θερμοκρασίας ὅλου τοῦ φράγματος προκαλοῦν μετακινήσεις αὐτοῦ καί ὅπου αὗται δέν εἶναι δυνατόν προκαλοῦνται παραμορφώσεις καί τάσεις, μέ τήν ἐμφάνισιν τῶν ἀορίστων στατικῶν μεγεθῶν H, V, M.

Διά τόξον σταθεροῦ πάχους καί διά μεταβολήν θερμοκρασίας κατά T βαθμούς τά ἀντίστοιχα στατικῶς ἀόριστα μεγέθη εἰς τήν κλείδα καί τά στηρίγματα ἔχουν ὡς ἑξῆς :

Εἰς τήν κλεῖδα : (H_K)

$$\alpha_t \cdot T \cdot r \cdot \eta\mu\varphi / H_K = \frac{12 r^3}{E h^3}\left[(\varphi - 2\eta\mu\varphi) + \frac{\varphi + \eta\mu\varphi \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi}{2}\right] + \frac{}{Eh}$$

$$\left[\frac{\varphi + \eta\mu\varphi \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi}{2} + \frac{3(\varphi - \eta\mu\varphi\ \sigma\upsilon\nu\varphi}{2}\right] - \frac{12 r^3}{\varphi E h^3}(\varphi - \eta\mu\varphi)^3$$

$$(\beta) \quad M_K = -\frac{r(\varphi - \eta\mu\varphi)\, M_K}{\varphi}$$

$$V_K = 0$$

Εἰς δέ τά στηρίγματα :

$$(44)\quad \begin{cases} H_0 = H_\kappa \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi \\ M_6 = -\dfrac{r(\varphi - \eta\mu\varphi)\,H_\kappa}{\varphi} + r\,H_\kappa\,(1-\sigma\upsilon\nu\varphi)\,\varphi \\ V_6 = H_\kappa \cdot \eta\mu\varphi \end{cases}$$

Κατά τόν ὑπολογισμόν τῶν μετακινήσεων αἱ ἐκ τῆς ἀξ. ἄνω μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας προερχόμεναι μετακινήσεις προστίθενται εἰς τάς λοιπάς τάς δεδομένας ὑπό τῶν ἐξισώσεων (34β) καί (34γ) ὑπό τήν ἀκόλουθον μορφήν:

$$(45)\quad \begin{cases} d\,(\Delta r)_0 = \int_0^s a_t \cdot T \cdot \eta\mu\varphi \cdot ds \\ d\,(\Delta s)_0 = \int_0^s a_t\, T \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi \cdot ds \end{cases}$$

ἔνθα a_t ὁ συντελεστής θερμικῆς διαστολῆς, T ἡ μεταβολή τῆς θερμοκρασίας.

Διά τῶν ἐξισώσεων (45) τά μεγέθη D_2 καί D_3 εἰς τάς ἐξισώσεις (37β) καί (37γ) προσαυξάνονται διά τῶν ὅρων:

$$(46)\quad \begin{aligned} D_2 &= -a_t\, Tr\,(1-\sigma\upsilon\nu\varphi) \\ D_3 &= a_t\, Tr\, \eta\mu\varphi . \end{aligned}$$

Πολυπλοκώτερον εἶναι τό θέμα τῶν παραμορφώσεων ὅταν ἡ θερμοκρασία διαφέρει εἰς τάς δύο ὄψεις τοῦ φράγματος, ὁπότε προκαλεῖται καί περιστροφή.

Εἰς, κατά προσέγγισιν τύπος τῆς προκαλουμένης γωνιακῆς παραμορφώσεως ἑκάστης διατομῆς (βολίτου π.χ.) εἶναι ὁ ἀκόλουθος:

(47) $$\Delta\theta_o = \alpha_t . \Delta T \left(1 - 0{,}5 \frac{h}{l}\right) \frac{\Delta}{h}$$

ὅπου ΔT ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας ἀπὸ τὴν ἀνάντη πρὸς τὴν κατάντη πλευρὰν ἑκάστου θολίτου. Ἡ ὁλικὴ μετακίνησις, ἡ διδομένη ὑπὸ ἄλσους τοῦ τόξου (διαιρουμένου εἰς θολίτους) θὰ εἶναι εἰς τὴν κλεῖδα :

(48)
$$\begin{cases} \Sigma_{\Delta F} \cdot \partial x = \Sigma \cdot y \cdot \alpha_t \cdot \Delta T \left(1 - 0{,}5\, h/r\right) \cdot \Delta s/h \\ \Sigma_{\Delta F} \cdot \partial y = \Sigma \cdot x \cdot \alpha_t \cdot \Delta T \left(1 - 0{,}5\, h/r\right) \Delta s/h \end{cases}$$

Αἱ παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους ἐξ ἄλλου συνεπείᾳ τῶν φορτίσεων αὐτοῦ τόσον εἰς τὰ στηρίγματα τῶν τόξων ὅσον καὶ εἰς τὴν θεμελίωσιν τῶν προβόλικῶν τμημάτων τῶν φραγμάτων βαρύτητος ἀποτελοῦν πολύπλοκον πρόβλημα πρὸς ἀντιμετώπισιν.

Συνήθως χρησιμοποιοῦνται κατὰ προσέγγισιν τύποι ὡς αἱ τοῦ F. Vogt καὶ οἵτινες βασίζονται εἰς τὰς ἀκολούθους παραδοχάς.

Τὰ ἄκρα τῶν τμημάτων τῶν τόξων θεωροῦνται κατὰ κόρυφα, τὰ δὲ τῶν προβόλων τῶν φραγμάτων βαρύτητος ὁριζόντια. Αἱ μετακινήσεις εἰς τὰ ἄκρα ταῦτα δίδονται ὑπὸ τῶν τύπων :

(49) Περιστροφὴ ἐκ ῥοπῆς : $\alpha' = M k_1 / E_e h^2$

(50) Μετακίνησις ἐκ διατμήσεως : $\gamma' = V k_3 / E_e$

(51) Στροφὴ ἐκ διατμήσεως : $\alpha'' = V k_5 / E_e h$

(52) Μετακίνησις ἐκ ῥοπῆς : $\gamma'' = M k_5 / E_e h$

ὅπου M καὶ V παριστοῦν ροπὰς καὶ διατμητικὰς δυνάμεις εἰς τὰ τόξα ἢ τοὺς προβόλους, E_e εἶναι τὸ μέτρον ἐλαστικότητος τοῦ ἐδάφους καὶ h τὸ πάχος τοῦ στοιχείου κατὰ τὴν ἀκτῖνα τοῦ τόξου.

Τὰ μεγέθη α" καὶ γ" εἶναι συνήθως ἀμελητέα.

Ἐκ παραλλήλου αἱ ὁριζόντιαι μετακινήσεις αἱ προερχόμεναι ἐκ τῶν ὀρθῶν πιέσεων Η τοῦ τόξου δίδονται ὑπὸ τοῦ τύπου:

$$\beta' = H k_2 / E_e \qquad (53)$$

Τέλος αἱ μετακινήσεις αἱ ὀφειλόμεναι εἰς τὴν ροπὴν στρέψεως M_t, στρέψιν, τὴν μεταδιδομένην εἰς τὴν θεμελίωσιν τῶν προβόλων δίδεται ὑπὸ τοῦ τύπου:

$$\delta' = M_t \cdot k_4 / E_e \cdot h^2 \qquad (54)$$

Οἱ συντελεσταὶ k_1, k_2, k_3, k_4 καὶ k_5 δίδονται συναρτήσει τοῦ συντελεστοῦ τοῦ Poisson καὶ τοῦ λόγου b/a, ἔνθα b τὸ μῆκος τοῦ φράγματος καὶ a τὸ μέσον πλάτος αὐτοῦ κατὰ τὸν κάτωθι πίνακα (διὰ συντελεστὴν Poisson = 1/5).

ΠΙΝΑΞ 5.

b/a	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1.00	4.32	0,62	1,02	4,65	0,345
2.00	4.84	0,91	1,39	5,18	0,458
5.00	5.22	1,36	1,89	6,08	0,574
10.00	5.36	1,75	2,31	6,46	0,630
19.00	5.41	1,98	2,55	6,59	0,653
20.00	5.43	2,16	2,72	6,66	0,668

3. Ἡ μέθοδος ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς τῶν φορτίσεων (Trial-load method).

Εἰς τοξωτά φράγματα μεγάλου μήκους εἰς τήν στέψιν καί μικροῦ εἰς τόν πυθμένα τῆς κοιλάδος εἶναι προφανές ὅτι εἰς τό μέσον αὐτῶν, ἡ ἐπίδρασις τοῦ τόξου εἶναι πολύ ἰσχυροτέρα εἰς τόν πυθμένα ἐλαττουμένη βαθμιαίως εἰς τήν στέψιν.

Τό ὅλον φράγμα – καί διαπέρασις εἰς τό μέσον αὐτοῦ – ἀντιδρᾷ εἰς τήν ἐξωτερικήν τοῦ ὕδατος φόρτισιν ἀφ' ἑνός μέν ὡς πρόβολος πεπακτωμένος εἰς τήν βάσιν, ἀφ' ἑτέρου δέ ὡς ἀμφίπακτον τόξον. Ἑκάστη στατική ἔννοια ἐξ αὐτῶν περιλαμβάνει μέρος τῆς φορτίσεως. Ἡ ἀναλογία τῶν φορτίσεων (προβόλου καί τόξου) θά εἶναι τοιαύτη ὥστε οἱ ἀκατέρων τῶν φορτίσεων ἕκαστον σημεῖον τοῦ φράγματος θά ἔχῃ τήν αὐτήν μετακίνησιν, ἀφ' ἑαυτῶν τελικῶς ἡ μετακινήσεις εἰς ἕκαστον σημεῖον εἶναι μονοσήμαντος.

Τό πρόβλημα ὑπολογισμοῦ ἀνάγεται ἄθεν εἰς τήν εὕρεσιν τοῦ φουντελεστοῦ κατανομῆς τῶν φορτίσεων κατά τά δύο ἐπίπεδα (προβόλου καί τόξου) καί τῶν ἁπλοῦν ὑπολογισμῶν τότε τοῦ φράγματος ὡς προβόλου καί ὡς τόξου μέ τά ἀντίστοιχα τμήματα τῆς φορτίσεως.

Κατ' ἀρχήν, ἐκ διαισθήσεως, ἤ ἐκ πείρας ἐν συγκρίσει μέ ἐκτελεσθέντας ὑπολογισμούς, γίνεται ἡ τοιαύτη κατανομή τῶν φορτίσεων εἰς διάφορα ἐπίπεδα κάθετα εἰς τόν κατά μῆκος ἄξονα τοῦ φράγματος καί ὑπολογίζονται οἱ μετακινήσεις τῶν αὐτῶν σημείων (ἀντικόντων εἰς τόν πρόβολον καί τό τόξον).

Ἐάν αἱ μετακινήσεις δέν συμπέσουν, τροποποιεῖται ἡ κατανομή τῶν φορτίσεων, μίαν ἢ περισσοτέρας φοράς, μέχρι τελικῆς ἱκανοποιητικῆς συμπτώσεως τῶν μετακινήσεων, ὁπότε καί σταματᾶ ὁ ὑπολογισμός.

Ἀνάγεται ὅθεν οὐσιαστικῶς τό πρόβλημα εἰς τόν ὑπολογισμόν τῶν μετακινήσεων σημείων τοῦ τόξου ἢ τοῦ προβόλου συναρτήσει τῶν διά διαδοχικῶν προσεγγίσεων λαμβανομένων ροπῶν τῆς φορτίσεως ἑκάστου.

Εἶναι προφανές ὅτι ἐφ' ὅσον τοῦτο γίνεται εἰς διαφόρους τομάς (καθέτους καί κατά μῆκος τοῦ μεγάλου ἄξονος τοῦ φράγματος) αἱ φορτίσεις τῶν τόξων θά εἶναι τώρα μεταβληταί καί θά λαμβάνουν τάς μορφάς τάς δοθείσας διά τῶν σχημάτων 109, 110 καί 111 τῆς σελίδος 150.

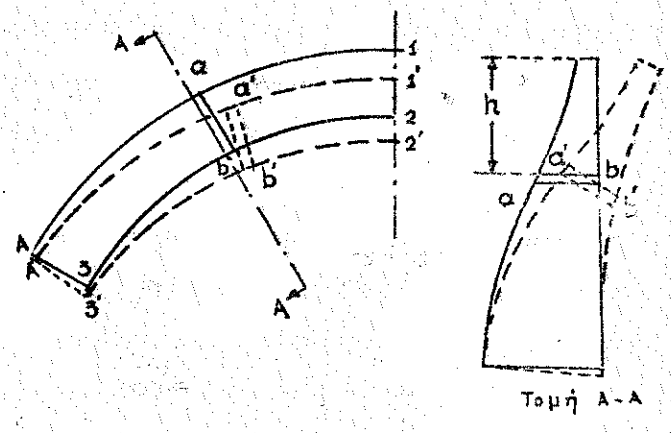
Ὁ ὑπολογισμός τῶν μετακινήσεων τῶν διαφόρων σημείων τοῦ τόξου, ἐδόθη ἤδη λεπτομερῶς εἰς τήν προηγουμένην παράγραφον (2γ) τοῦ παρόντος κεφαλαίου. Συνήθως εἰς τήν παροῦσαν μέθοδον χρησιμοποιεῖται ἡ ἐν τῷ παραδείγματι τοῦ σχήματος 112, σελ. 156, ἀναφερομένη ἀναλυτική μέθοδος κατά τμήματα.

Παραμένει ὅθεν προσέτι ὁ ὑπολογισμός τῶν μετακινήσεων κατά τήν ἔννοιαν τοῦ προβόλου.

Εἰς τό σχῆμα 113 δίδεται ἐν κατόψει καί τομῇ (Α-Α) τμῆμα α-α τοξωτοῦ φράγματος καί δή πρό τῆς φορτίσεως αὐτοῦ, καί μετά ταύτην ὁπότε τό ἀντίστοιχον τμῆμα αβ λαμβάνει τήν νέαν θέσιν αὐτοῦ α'β'.

Κατά τόν ὑπολογισμόν, ἡ νέα θέσις α'β' εἰς τόν παραμορφούμενον πρόβολον πρέπει νά συμπίπτῃ μέ τήν νέαν θέσιν α'β' εἰς τό τόξον.

Είναι προφανές ότι εάν ο πρόβολος φορτίζεται μόνον με πιέσεις κατά την ακτίνα του τόξου, αι παραμορφώσεις αυτών αβ' δεν δύνανται να λάβωσιν την εν κατόψει του σχήματος



Σχ. 113 : Μετακινήσεις του αυτού τμήματος α-β εις τόξον και εις πρόβολον.

δεικνυομένην νέαν θέσιν αυτών ή να δώσουν εφαπτομενικάς και γωνιακάς μετακινήσεις $\left(d\,(\Delta s_o)\right.$ και $\left.d\theta_o\right.$ των εξισώσεων 34).

Οι μετακινήσεις αύται προκαλούνται γενικώς από δυνάμεις εσωτερικάς εντός του φράγματος, άς όμως χειριζόμεθα ως εξωτερικά φορτία δρώντα τόσον επί των διαφόρων τομών του τόξου όσον και των αντιστοίχων τομών των προβόλων. Αί δυνάμεις αύται καθορίζονται δ ο κ ι μ α σ τ ι κ ώ ς.

Ένα σύστημα δυνάμεων εγκαρσίων προς τον πρόβολον, εφαρμόζεται επ' αυτού ώστε να προκαλή εγκαρσίας μετακινήσεις εκ διατμήσεως, αίτινες εις έκαστον ύψόμετρον αυτού θά συμπίπτουν με τάς εφαπτομενικάς μετακινήσεις του τόξου του αυτού σημείου. Δοθέντος ότι ή όλη συνέχεια της κατασκευής εμποδίζει εμφανή εγκάρσιαν κάμψιν του προβόλου, επί

τοῦ προκειμένου λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν μόνον παραμορφώσεις ἐκ διατμητικῶν δυνάμεων.

Ἐκ παραλλήλου ἐνα σύστημα ἐφαπτομενικῶν δυνάμεων, ἴσου καὶ ἀντίθετον πρὸς τὰς ὡς ἄνω ἐφαρμοζομένας ἐπὶ τοῦ προβόλου δυνάμεις, συμπεριλαμβάνεται εἰς τὰς δυνάμεις ἐπὶ τῇ βάσει τῶν ὁποίων ὑπολογίζονται αἱ μετακινήσεις τοῦ τόξου.

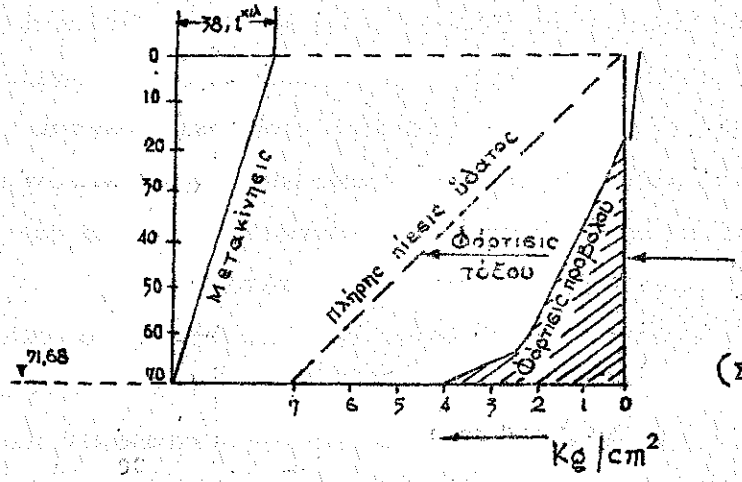
Ἐξ ἄλλου ἡ μετάβασις τοῦ πρίσματος ἐκ τῆς θέσεως αβ εἰς τὴν θέσιν α'β' (βλ. σχ. 115), ἐξυπακούει καὶ γωνιακὰς μετακινήσεις τοῦ πρίσματος εἰς τὸν πρόβολον. Ἵνα λάβουν χώραν αὐταὶ εἰς τὸν πρόβολον δέον νὰ φορτίσωμεν αὐτὸν διὰ συστήματος ῥοπῶν στρέψεως ἐφαρμοζομένων εἰς ὁριζόντια ἐπίπεδα. Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει ἴσαι καὶ ἀντίθεται ῥοπαὶ στρέψεως κείμεναι ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ ἐπιπέδου διὰ νὰ προστεθῶσιν εἰς τὰς λοιπὰς φορτίσεις τοῦ τόξου κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῶν παραμορφώσεων αὐτοῦ.

Τέλος αἱ καθαρῶς ἀκτινωταὶ μετακινήσεις τοῦ προβόλου ἔχουσιν γωνιακὰς συνιστώσας ἐπὶ κατακορύφων ἐπιπέδων· ἵνα αἱ γωνιακαὶ αὐταὶ μετακινήσεις παρουσιασθῶσιν καὶ εἰς τὰ τόξα δέον νὰ φορτίσωμεν αὐτὰ μὲ ῥοπὰς κάμψεως (ἐπὶ κατακορύφων ἐπιπέδων διερχομένων διὰ τοῦ κέντρου καμπυλότητος τοῦ τόξου). Συγχρόνως ἴσαι καὶ ἀντίθετοι ῥοπαὶ στρέψεως δέον νὰ προστεθῶσιν εἰς τὰς λοιπὰς φορτίσεις δι' ὧν ὑπολογίζονται οἱ πρόβολοι.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω γενικῶν ἀρχῶν καταφαίνεται πόσον πολύπλοκος καὶ κοπιώδης εἶναι ἡ μέθοδος αὕτη, ὥστε νὰ ἀπαιτῇ πίνακας καὶ τεῦχη ὁλόκληρα διὰ τὸν ὑπολογισμὸν ἑνὸς φράγματος. Ἐξοικειοῦται τις ὅμως εὐκόλως ἐφ' ὅσον ἀσκο-

λεῖται μέ τό θέμα, ἡ πεῖρα δέ καί ἡ ἐξάσκησις καταδεικνύουν ἁπλουστεύσεις, αἵτινες εἶναι δυνατόν νά ἐπιφέρωνται εἰς εἰδικάς περιπτώσεις.

Ὁ ὑπολογισμός ἄρχεται διά μιᾶς πρώτης κατανομῆς τῶν πιέσεων τοῦ ὕδατος μεταξύ τόξου καί προβόλου. Εἰς τό σχ. 114 δίδεται ἡ κατανομή τῶν φορτίσεων τούτων διά τό φράγμα ὕψους 71,60 μέτρων.



(Σχ. 114)

Εἰς τό αὐτό σχῆμα δίδονται αἱ πρῶται ὑπολογιζόμεναι μετακινήσεις εἰς πρόβολον ἔχοντα τό μέγιστον ὕψος τοῦ φράγματος.

Εἰς τά σχήματα (115, 116, 117) δίδονται οἱ ὑπολογισμοί (τρίτη καί τελική δοκιμή διανομή φορτίσεως) τοῦ φράγματος Semiηoe (βλ. σχ. 90 σελ. 123) διά διάφορα βάθη.

Εἰς τό σχῆμα 115 δίδονται αἱ μετακινήσεις κατά τήν ἀκτῖνα, κατά τήν ἐφαπτομένην ὡς καί αἱ γωνιακαί μετακινήσεις εἰς ἀκτῖνια. Εἰς τό αὐτό σχῆμα δίδονται αἱ ἀναλογίαι τῆς φορτίσεως ἐκ τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος (εἰς τήν πρώτην σειράν) ὡς καί αἱ ἐφαρμοζόμεναι ἐφαπτομενικαί φορτίσεις (δευτέρα σειρά) εἰς Kg/m^2 καί τέλος αἱ ἐφαρμοζόμεναι

φορτίσεις στρέψεως (τρίτη σειρά) εἰς $Kg\,m/cm^2$.

Τὰ γράμματα A, B, C, D, E, F, , H, ἀντιστοιχοῦν εἰς τὰς τομὰς τοῦ σχήματος 90, ἔνθα A ἡ πρώτη ἐξ ἀριστερῶν καὶ E ἡ τομὴ εἰς τὴν κλεῖδα.

Αἱ φορτίσεις (1η σειρὰ σχήματος 115) περιλαμβάνουν τὴν πίεσιν τοῦ ὕδατος αὐξανομένην ἀπὸ τὴν φόρτισιν ἐκ σεισμῶν, ἀποτελουμένης ἐκ δύο λωρίδων, ὧν ἡ ἐσωτερικὴ ἀφείλεται εἰς τὴν σεισμικὴν φόρτισιν τοῦ ὕδατος ἡ δὲ ἐξωτερικὴ (ἡ καὶ τελευταία) εἰς τὴν σεισμικὴν δόνησιν τοῦ ἐκκρεμοδέματος. Ἡ σεισμικὴ δόνησις λαμβάνεται μὲ 0,1 g περιόδου ἑνὸς δευτερολέπτου.

Ὡς ἐμφαίνεται καὶ εἰς τὰς τρεῖς σειρὰς αἱ μετακινήσεις τοῦ K.B. τοῦ τόξου (χ) καὶ αἱ μετακινήσεις τοῦ κ.β. τῶν προβόλων (ο) συμπίπτουν εἰς τὰς αὐτὰς καμπύλας.

Εἰς τὸ σχῆμα 116 δίδονται αἱ κατὰ τὴν ἀκτῖνα (ἀκτινικαὶ) μετακινήσεις τοῦ φράγματος ὑπὸ τὴν ἐπήρειαν τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων διὰ τόξα εὑρισκόμενα εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕδατος καὶ εἰς διάφορα βάθη ὑπ' αὐτήν. Ἡ μεγίστη μετακίνησις παρουσιάζεται εἰς τὴν κλεῖδα τοῦ τόξου παρὰ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕδατος καὶ εἶναι περίπου 12 χιλιοστ. Οὐσιαστικῶς τὸ σχῆμα τοῦτο ἐμφανίζει τομὰς τῆς πρώτης σειρᾶς τοῦ σχ. 115 εἰς τὰ διάφορα βάθη (±0, -18, 15, -33,15, -48,15, -63,15).

Εἰς τὸ σχῆμα 117 δίδονται αἱ ἐφαρμοζόμεναι ἐφαπτομενικαὶ δυνάμεις ὡς καὶ αἱ ἐφαπτομενικαὶ μετακινήσεις τῶν διαφόρων τμημάτων τῶν προβόλων καὶ τῶν τόξων εἰς τὰ ἀντίστοιχα ὑψόμετρα.

Καὶ ἐδῶ ἔχομεν ἀντιστοίχους τομὰς τῆς δευτέρας σειρᾶς τοῦ σχήματος 115. Ἡ μεγίστη ἐφαπτομενικὴ μετακίνησις παρουσιάζεται εἰς τὸ μέσον τοῦ ἀριστεροῦ τόξου εἰς τὴν ἐπιφά-

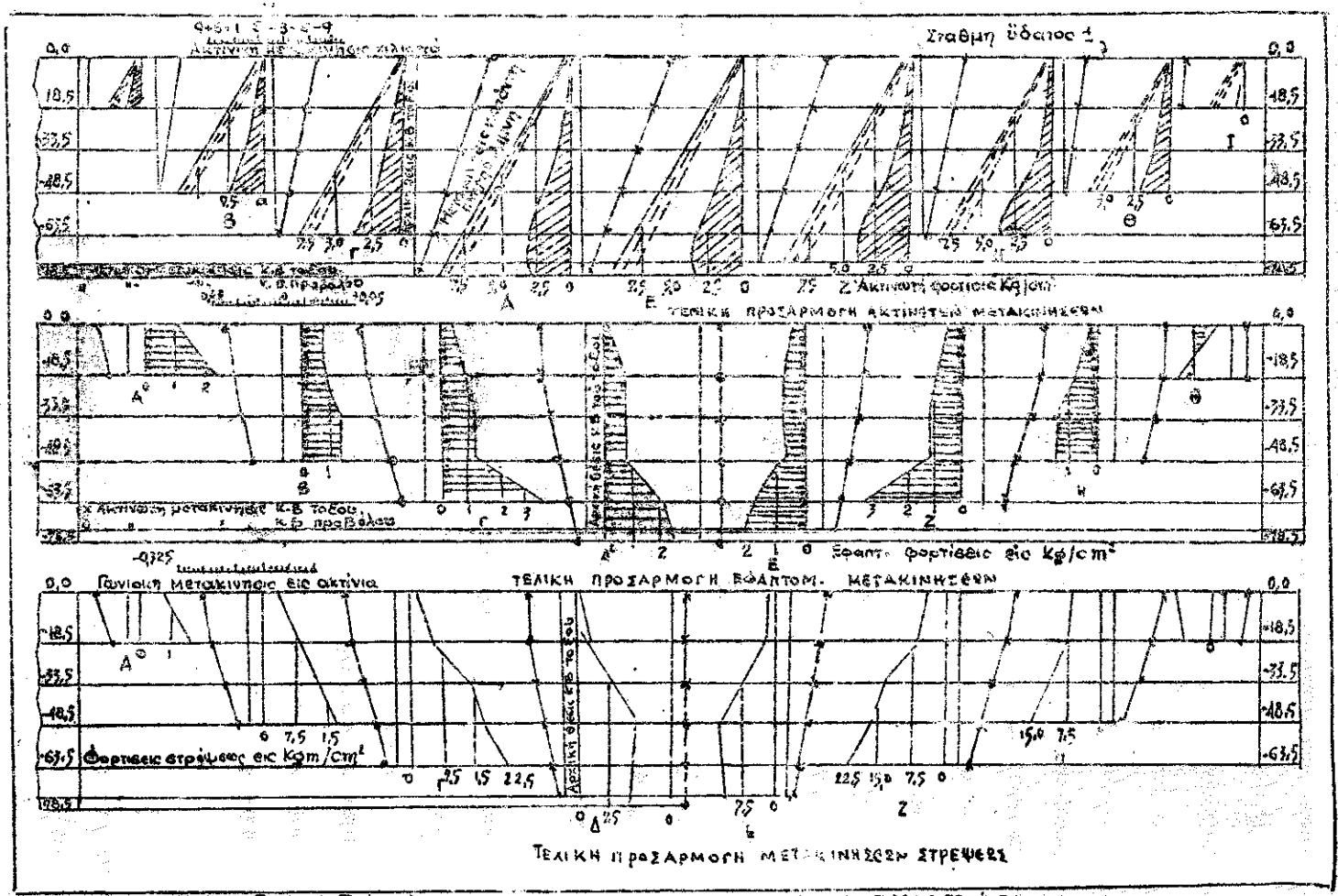
νειαν τοῦ ὕδατος καὶ ἀνέρχεται εἰς 1,3 χιλιοστὰ περίπου.

Παρόμοιαι διατάξεις κατασκευάζονται καὶ διὰ τὰς φορτίσεις ἐκ ῥοπῶν στρέψεως καὶ θὰ εἶναι τομαὶ τῆς τρίτης σειρᾶς τοῦ σχήματος 115

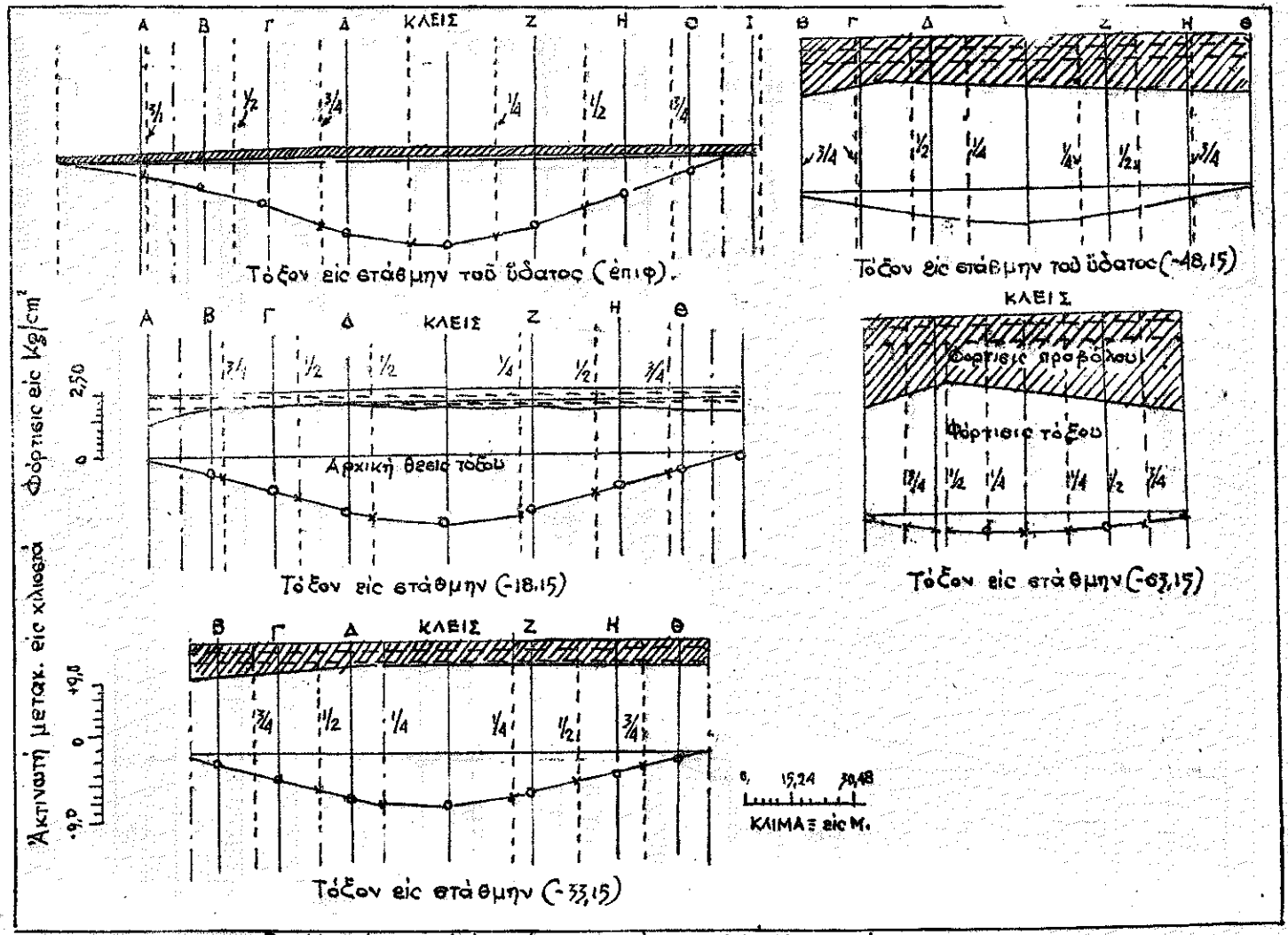
Διὰ τὴν κατασκευὴν τῶν ἐν λόγῳ σχημάτων κατασκευάζονται πίνακες ὑπολογισμοῦ, εἰς οὓς ὑποδιαιροῦνται τὰ τόξα εἰς θολίτας καὶ αἱ πρόβολοι εἰς τμήματα καὶ ἐπαναλαμβάνεται ὁ ὑπολογισμὸς μέχρι συμπτώσεως τῶν μετακινήσεων κατὰ τὰς δύο ἐννοίας (βλ. ἀναλυτικὸν τρόπον ὑπολογισμοῦ εἰς τὸ βιβλίον Engineering for dams, τῶν Hinds, Greager Justin . τόμος II).

Ἐκ τῆς εὑρέσεως τῶν μετακινήσεων καὶ τῶν φορτίσεων ὑπολογίζονται ἤδη αἱ τάσεις τοῦ φράγματος εἰς τὸ ἐσωτερικὸν αὐτοῦ καὶ δὴ αἱ τρεῖς κύριαι τάσεις εἰς τρία κάθετα ἐπίπεδα, εἰς ἃ ἐφαρμόζονται αἱ ἓξ κύριαι μονάδες φορτίσεων, ἤτοι αἱ τρεῖς κάθετοι μονάδες (κατακόρυφα ἐφαπτομενικαί, ἀκτινωταί) καὶ τρεῖς διατμητικαὶ δυνάμεις (ἀκτινωταὶ εἰς ὁριζόντιαν ἐπίπεδον, ἀκτινωταὶ εἰς κατακόρυφον ἐπίπεδον καὶ ὁριζόντιαι ἐφαπτομενικαὶ δυνάμεις).

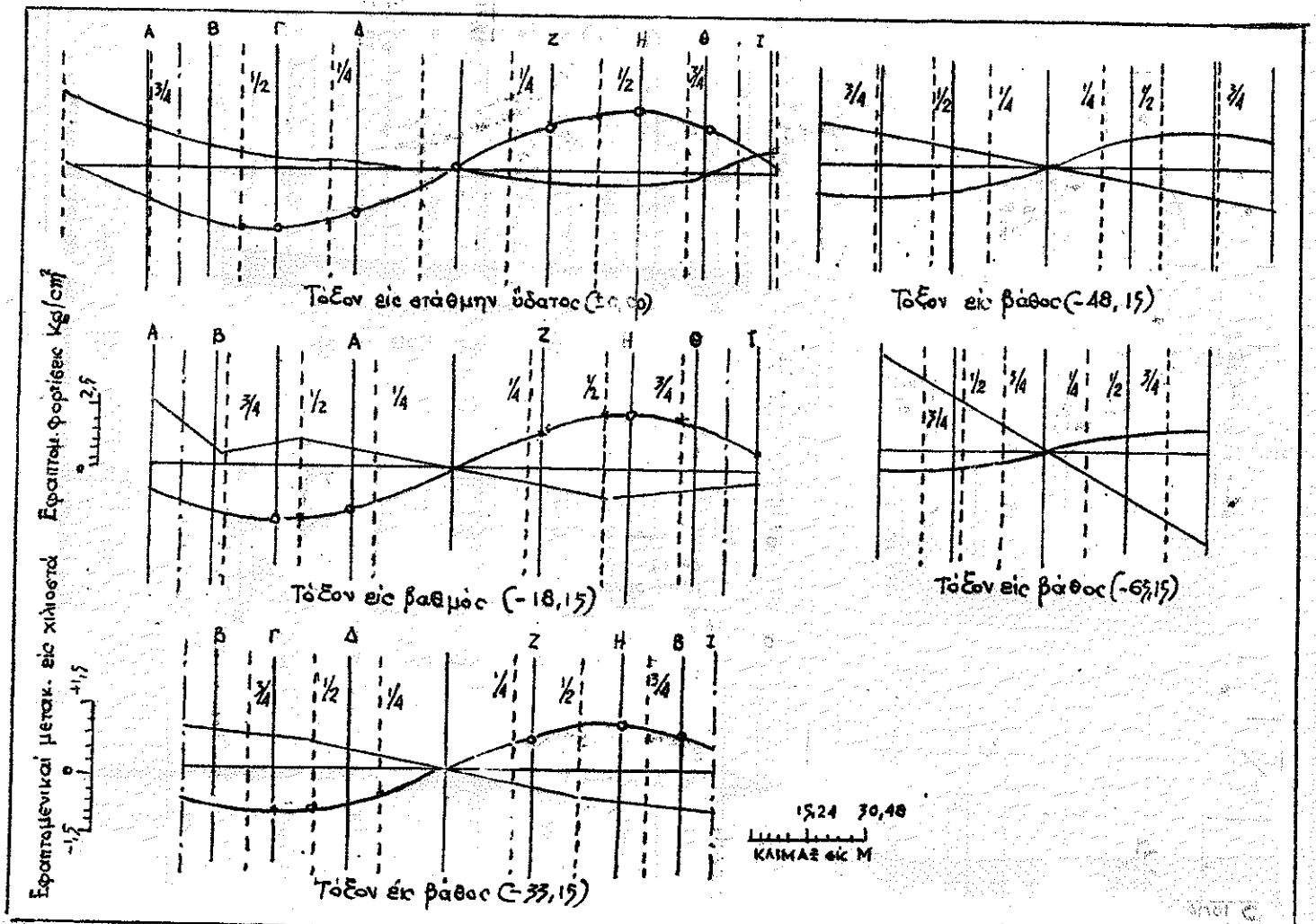
Ὁμοίως προσδιορίζονται αἱ τάσεις εἰς τὰ ἐπιφανειακὰ ἐπίπεδα τοῦ φράγματος. Εἰς τὸ σχῆμα 118 δίδονται αἱ τάσεις τοῦ ἐξωῤῥαχίου καὶ ἐσωῤῥαχίου τοῦ αὐτοῦ φράγματος Semmoe, δι' ὃ ὑπελογίσθησαν αἱ μετακινήσεις.



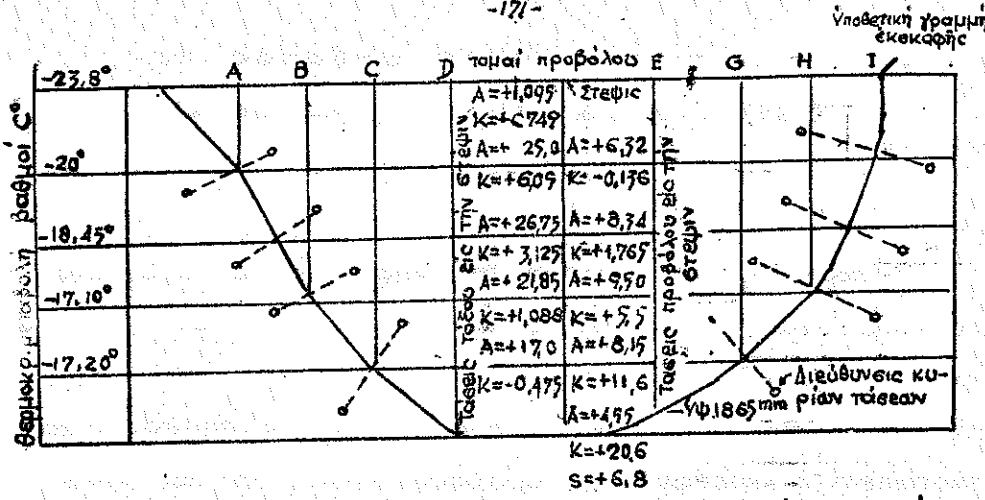
Σχ. 115. Τελική [illegible] ακτινωτων φορτισεων [illegible] φορτισεως στρεψεως



Σχ. 116. Διανομὴ φορτίσεων καὶ ακτινικαὶ μετακινήσεις



117. Διανομὴ φορτίσεων καὶ ἐφαπτομενικαὶ μετακινήσεις



Σχ 118. Τάσεις εἰς τὴν στέψιν καὶ διευθύνσεις τῶν μεγίστων κυρίων τάσεων εἰς τὸν πρόβολον εἰς τὰ κατάντη.

Τάσεις ἀριστερὰ τῆς στέψεως								Τάσεις δεξιὰ τῆς στέψεως						
Τάσεις προβόλου		Τάσεις τοίχου εἰς στηρίζιν	Κύριαι τάσεις εἰς στηρίζιν		Θέσις κυρίας τάσεως	Μεγίστη διατμητικὴ τάσις		Ὑψόμετρον	Μέγιστα διατμητικαὶ τάσεις		Κύριαι τάσεις εἰς στηρίζιν		Τάσεις τοίχου εἰς στηρίζιν	Τάσεις προβόλου εἰς:	
C	D		P_1	P_2		Ἄκρον τάλους	Ἐπίπεδὸ θεμελ.		Ἄκρον τάλους	Ἐπίπεδὸ θεμελ.	P_1	P_2		F	H
		-13,10	0	-13,10	Ἀνάντη	+2,519	+3,06	1940	+2,99	2,44	-6,86	0	-6,86		
		-1,495	0	-1,495	Κατάντη						+15,3	0	+15,3		
+6,53	6,74	-4,69	+6,25	-6,95	Ἀνάντη	+4,28	+4,35	+920,2	+3,40	3,12	-9,77	+8,23	-9,72	+6,85	+5,71
-0,272	-0,345	+25	-3,40	+50,78	Κατάντη						131,1	-0,815	+29,1	-0,475	+0,515
+8,15	+9,25	-5,56	+6,45	-6,54	Ἀνάντη	+5,92	+5,60	+905	+5,10	+5,16	-7,20	+7,46	-5,71	+8,97	+6,75
+2,38	-1,22	+27,82	+0,549	+33,0	Κατάντη						+31,1	+1,90	+27,9	+1,565	+7,87
+7,75	+9,85	-3,13	+0,685	-4,20	Ἀνάντη	+8,44	+7,00	1889,8	+6,80	+8,10	-3,74	+7,69	-3,74	+9,25	+6,25
+7,15	+4,90	+27,0	+3,33	+29,4	Κατάντη						+28,2	+2,92	+21,1	+3,71	+8,90
+6,12	+0,90	-0,815	+0,746	-2,11	Ἀνάντη	+9,10	+6,39	1874,6	+6,31	+9,10	-1,97	+7,55	-1,77	+7,21	
+13,71	+10,54	+12,9	+1,55	+26,8	Κατάντη						+26,8	+0,544	+12,10	+12,32	
	+6,4				Ἀνάντη									+4,35	
	+18,5				Κατάντη			1859,4						+19,7	

4. Γενική ἀναλυτική μέθοδος τοῦ ἐντατικοῦ φράγματος (Τριδιάστατος ἐντατική κατάστασις).

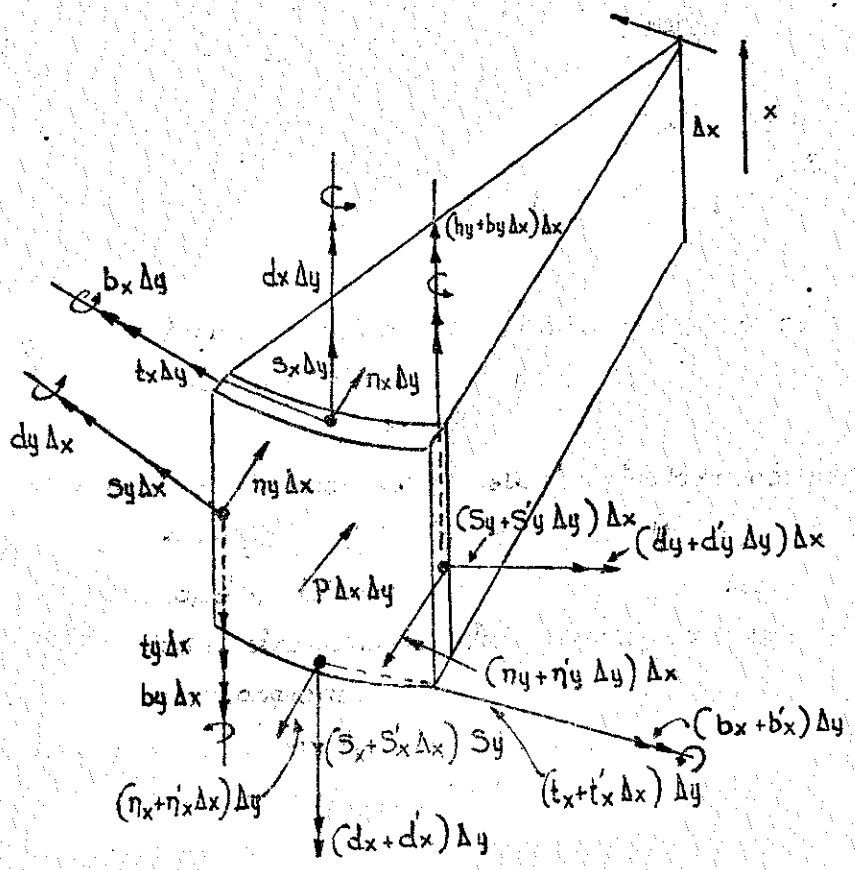
Ἡ προηγουμένη μέθοδος τῆς ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς τῶν φορτίσεων, ἀπολήγει τελικῶς εἰς τριδιάστατον ἐν τῇ χώρᾳ ἀνάλυσιν τῶν φορτίσεων καὶ παραμορφώσεων διὰ τῆς συνθέσεως αὐτῶν προκυπτουσῶν ἀπὸ δύο ἐπιπέδους καταστάσεις φορτίσεων καὶ παραμορφώσεων (τῆς τοῦ ἐπιπέδου τοῦ τόξου καὶ τοῦ προβόλου).

Εἶναι δυνατὸν ὅμως (μολονότι ἐξ ἴσου ἂν μὴ καὶ περισσότερον πολύπλοκον) νὰ ἐξετάσωμεν τὴν ὅλην ἐντατικὴν κατάστασιν ὡς πρόβλημα τοῦ χώρου καὶ ὄχι ὅταν ἔχωμεν σχετικῶς συμμετρικὰς διατομὰς τῆς κοιλάδος (ὅπερ καὶ τοῦ φράγματος ἐν προόψει). Τὴν θεωρίαν ταύτην ἀναπτύσσει ὁ Tölke (βλ. Wasserkraftanlagen σ. 487) καὶ ἐκτίθεται αὐτὴ ἐνταῦθα ἐν περιλήψει.

Εἰς τὸ σχῆμα 119 δίδεται τμῆμα φράγματος ἀποκοπτόμενον διὰ δύο κατακορύφων ἐπιπέδων καὶ δύο ὁριζοντίων καὶ εἰς τὸ τμῆμα αὐτὸ $\Delta x \cdot \Delta y$ ἐφαρμόζονται τόσον αἱ ἐξωτερικαὶ δυνάμεις ($p \cdot \Delta x \Delta y$) ὅσον καὶ αἱ ἐσωτερικαὶ δυνάμεις, αἵτινες εἶναι αἱ ὀρθαὶ (s) διατμητικαὶ (t) καὶ ἐγκάρσιαι (d), φέρουσαι τὸν δείκτην x διὰ τὰς κατακορύφους προβολὰς αὐτῶν καὶ τὸν δείκτην y κατὰ τὴν ὁριζοντίαν ἔννοιαν τοῦ δακτυλίου. Διὰ πάχος τοῦ δακτυλίου h αἱ τάσεις θὰ ἔχουν τὰς τιμάς:

$$\sigma = \frac{s}{h} \pm \frac{6b}{h^2} \qquad \text{καὶ} \quad \tau = \frac{t}{h} \pm \frac{6d}{h^2}$$

Ἐὰν ἤδη λάβωμεν τὴν ἰσορροπίαν τῶν δυνάμεων ἐπὶ τοῦ διαφορικοῦ δακτυλίου τοῦ σχήματος 119 καὶ καταστρώσωμεν τὰς ἐξισώσεις ἰσορροπίας - διαιροῦντες διὰ τοῦ γινομένου $\Delta x\, \Delta y$ - θὰ λάβωμεν τὰς ἐξισώσεις :



Σχ. 119 : Φόρτισις δακτυλίου τοῦ φράγματος.

$$
\left.
\begin{aligned}
&(\alpha) && s'_x - t'_y = 0 \\
&(\beta) && \dot{s}_y + t'_x + \frac{\eta_y}{r} = 0 \\
&(\gamma) && \eta'_x + \eta_y - \frac{s_\eta}{r} = p \\
&(\delta) && d'_x - \dot{b}_y + \eta_y = 0 \\
&(\varepsilon) && \dot{d}_y + b'_x - \eta_x = 0 \\
&(\sigma\tau) && -d_y + r t_x + r t_y = 0
\end{aligned}
\right\} \quad (55).
$$

ἔνθα ἡ στιγμὴ παριστᾷ τὴν παραγώγισιν ὡς πρὸς x καὶ ὁ τόνος τὴν παραγώγισιν ὡς πρὸς y.

Ἐνταῦθα διὰ κατακόρυφα τοιχώματα ἢ τοιαῦτα μὲ μικρὰν κλίσιν, οἱ ὅροι s_x καὶ t_y εἶναι παραμελητέοι

Οἱ ὅροι η_y, η_x καὶ t_x διὰ

$$s_x = t_y = 0 \qquad (55\alpha).$$

γράφονται τώρα συναρτήσει τῶν ῥοπῶν ὡς ἑξῆς:

$$
\left.
\begin{aligned}
\eta_y &= \dot{b}_y - d'_x \\
\eta_x &= b'_x + \dot{d}_y \\
t_x &= \frac{d_y}{r}
\end{aligned}
\right\} \quad (56)
$$

καὶ ἂν ἀντικαταστήσωμεν εἰς τὰς ἐξισώσεις 55β καὶ 55γ θὰ ἔχωμεν:

$$\dot{s}_y = -\frac{\dot{b}_y}{r} - \frac{d'_y - d_x}{r} \qquad (57)$$

$$s_y = r\ddot{b}_x + r\cdot\dot{b}_y + r(d'_y - d'_x) = rp \qquad (58)$$

Ἐὰν ἤδη ὁλοκληρώσωμεν τὴν (57) ὡς πρὸς y καὶ τὴν

ἐξ αὐτῆς προκύπτουσαν αὐθαίρετον συνάρτησιν – ἀνεξάρτητον τῆς y – παραστήσωμεν διά τῆς $S_{y_0}(\varepsilon)$, τότε ἐν συνδυασμῷ μέ τήν ἐξίσωσιν (58) ἀπαλείφεται ἡ S_y καί λαμβάνομεν :

$$b''_x + \ddot{b}_y + \frac{b_y}{r^2} + d''_y - d''_x + \int \frac{d'_y - d'_x}{r^2} dy = p + \frac{S_{y_0}(\varepsilon)}{r} \qquad (59)$$

Διά τῶν ἐξισώσεων (56) καί (58) δίδονται τώρα αἱ ὀρθαί (s) διατμητικαί (t) καί ἐγκάρσιαι (n) δυνάμεις διά τῶν ροπῶν κάμψεως καί στρέψεως αἵτινες συνδέονται μεταξύ των διά τῆς ἐξισώσεως (59).

Διά τόν προσδιορισμόν ὅμως τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως χρειαζόμεθα ἀκόμη πέντε ἐξισώσεις, ἄς ἀντλοῦμεν ἐκ τῶν ἐξισώσεων παραμορφώσεων καί μετακινήσεων.

Ἐκ τῶν παραμορφώσεων ἀναγκαιοῦσιν αἱ γραμμικαί διαστολαί ε_x καί ε_y, αἱ καμπύλαι $\varkappa_x$ $\varkappa_y$ καί ἡ συστροφή $\varkappa_{xy}$, ἐκ δέ τῶν μετακινήσεων ἡ ὁριζόντιος ἐφαπτομενική συνιστώσα υ καί ἡ ἀκτινική w κάθετος εἰς τό ἐπίπεδον τοῦ ἄξονος τοῦ θόλου (ἡ τελευταία εἶναι θετική ἐκ τῶν κατάντη πρός τά ἀνάντη). Ἐξ ἄλλου εἰσάγονται συγχρόνως αἱ μεταβολαί τῆς ριζώσεως ε_t καί θερμοκρασίας $\Delta_{\varepsilon t}$.

Ἐφαρμόζοντες τώρα τόν γενικόν νόμον τοῦ Hook λαμβάνομεν τάς σχέσεις :

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_x - \varepsilon_t &= \frac{S_x}{Eh} - r\frac{S_y}{Eh} & \varkappa_x - \frac{\Delta_{\varepsilon t}}{h/2} &= \frac{b_x}{EJ} - r\frac{b_y}{EJ} \\ \varepsilon_y - \varepsilon_t &= \frac{S_y}{Eh} - r\frac{S_x}{Eh} & \varkappa_y - \frac{\Delta_{\varepsilon t}}{h/2} &= \frac{b_y}{EJ} - r\frac{b_x}{EJ} \\ \left(J = \frac{h^3}{12}\right) & & \varkappa_{xy} &= -\frac{d_x(1+r)}{EJ} = +\frac{d_y(1+r)}{JE} \end{aligned}\right\} \qquad (60)$$

Δι' ἐπιλύσεως τῶν (60) καί δι' εἰσαγωγῆς τῆς 55α λαμ-

βάνομεν ἀντιστοίχως :

$$\left.\begin{aligned} S_y &= Eh\,(\varepsilon_y - e_t) \qquad b_x = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}\left[\varkappa_x + r\varkappa_y - (1+r)\frac{\Delta e_t}{h/2}\right] \\ d_y = -d_x &= \frac{Eh^3}{12(1+r)}\,\varkappa_{xy} \qquad b_y = \frac{Eh^3}{12(1-r^2)}\left[\varkappa_y + r\varkappa_x - (1+r)\frac{\Delta e_t}{h/2}\right] \end{aligned}\right\} \quad (61)$$

ἐνῷ ἐξ ἄλλου αἱ μετακινήσεις συνδέονται πρὸς τὰς παραμορφώσεις μὲ τὰς ἀκολούθους σχέσεις :

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_y &= \dot{v} + \frac{w}{r} \\ \varkappa_x = -w'', \quad \varkappa_y &= -\ddot{w}\,, \quad \varkappa_{xy} = -\dot{w}' \end{aligned}\right\} \quad (62).$$

Ἐὰν ἤδη εἰσαγάγωμεν τὰς (62) εἰς τὰς (61) λαμβάνομεν τὰς ἐξισώσεις :

$$\left.\begin{aligned} &(\alpha)\quad S_y = Eh\left(\dot{v} + \frac{w}{r} - e_t\right) \qquad (\gamma)\quad b_x = \frac{Eh^3}{12(1-r^2)}\left[\ddot{w} + r\ddot{w} + (1+r)\frac{\Delta e_t}{h/2}\right] \\ &(\beta)\quad d_y = -d_x = \frac{Eh^3(1-r)}{12(1-r^2)}\,\dot{w}' \qquad (\delta)\quad b_y = \frac{Eh^3}{12(1-r^2)}\left[\ddot{w} + r\ddot{w} + (1+r)\frac{\Delta e_t}{h/2}\right] \end{aligned}\right\} \quad (63)$$

ἤτοι, πέντε ἐξισώσεις αἵτινες εἶναι αἱ ζητούμεναι διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως εἰς τὸν δακτύλιον.

Ἐὰν ἤδη εἰσαγάγωμεν τὰς τιμὰς τῶν S_y, d_x, d_y, b_x καὶ b_y εἰς τὴν ἐξίσωσιν (59) παραλείποντες τὸ γινόμενον τοῦ r ἐπὶ τὰς παραγώγους ἀνωτέρας τάξεως (ὡς μικρὰν ποσότητα) λαμβάνομεν τὴν ἐξίσωσιν :

$$\left.\begin{aligned} &(h^3 w'')'' + 2(h^3\ddot{w})'' + h^3\ddot{w}'' + \frac{1}{r^2}\left[2(h^3\dot{w}')' + h^3\ddot{w}\right] = \\ &= -\frac{12(1-r^2)}{E}\left(p + \frac{S_{yo}}{r}\right) - 2(1+r)\left[\frac{1}{r^2}\,\Delta e_t + \left(h^2\Delta e_t\right)''\right] \end{aligned}\right\} \quad (64)$$

Ἡ διαφορική αὕτη ἐξίσωσις περιλαμβάνει ἤδη μίαν μόνον ἀνεξάρτητον μεταβλητήν (ω) καὶ δύναται νὰ προσδιορίσῃ αὐτήν πλέον.

Ἡ ἐξίσωσις (64) δύναται τώρα νὰ γίνῃ **ὁμογενής** [ἤτοι: $f(\alpha\dddot{\omega} + \beta\dddot{\omega} + \gamma\ddot{\omega} + \delta\dot{\omega} + \omega) = 0$] διὰ τῆς εἰσαγωγῆς μιᾶς **ἰδιαζούσης λύσεως**, συμμετρικῆς ὡς πρὸς ἄξονα, ἤτοι δι' εἰσαγωγῆς τῆς ἐξισώσεως:

$$\omega = \omega_0(\xi) + \bar{\omega} \qquad (55)$$

ἔνθα τὸ δεξιὸν μέλος τῆς ἐξισώσεως (64) εἶναι συνάρτησις μόνον τοῦ ξ.

Ἡ ἰδιάζουσα ἀξονοσυμμετρική λύσις $\omega_0(\xi)$ δίδει τὴν ἐντατικὴν κατάστασιν ὁλοκληρουμένου τμήματος τοῦ δακτυλιδωτοῦ φράγματος. Ἐκ παραλλήλου ἡ ὁλοκλήρωσις τῆς ἐξισώσεως (57) δίδει τὴν σημασίαν τῆς συναρτήσεως $Sy_0(\xi)$ ἥτις παριστᾶ τὴν κατὰ τὸ δακτύλιον δύναμιν $Sy_0(\xi)$ τὴν ἀντιστοιχοῦσαν εἰς τὴν συνάρτησιν $\omega_0(\xi)$.

Ἡ $\mathfrak{U}$ τώρα μηδενίζεται δοθέντος ὅτι πρόκειται περὶ συμμετρικῆς περὶ τὸν ἄξονα καταστάσεως (καὶ ἡ U εἶναι σταθερά) ὁπότε συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν (63ᵃ):

$$Sy_0(\xi) = Eh\left(\frac{\omega_0(\xi)}{r}\cdot\varepsilon_t\right) \qquad (66)$$

Ἐὰν ἤδη εἰσαγάγωμεν τὴν ἐξίσωσιν (66) εἰς τὴν (64) καὶ ἀντικαταστήσωμεν τὴν ω διὰ τῆς συναρτήσεως W_0, ἀπαλείψωμεν δὲ τὰ μέλη τὰ διαφοριζόμενα μὲ τὸν συντελεστὴν $\frac{1}{r^2}$ (δοθέντος ὅτι ἡ ἀκτὶς r εἶναι ἤδη μεγάλη) λαμβάνομεν τελικῶς:

"ΦΡΑΓΜΑΤΑ" (Φ.12)

$$\left(h^3 w_o'\right)' + 12\left(1-\nu^2\right)\frac{h w_o}{r^2} = -\left(1-\nu^2\right)12\left(\frac{p}{E} - \frac{h}{r}\varepsilon_t\right) - 2\left(1+\nu\right)\left(h^2 \Delta_{\varepsilon t}\right)'' \quad (67)$$

ἤτοι τὴν τελικὴν διαφορικὴν ἐξίσωσιν ἐξ ἧς δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν δι' ὁλοκληρώσεως (γνωστῶν ὄντων τῶν $h, \rho, r, \nu, \Delta_{\varepsilon t}, E$) τὰς παραμορφώσεις W_o καὶ ἐξ αὐτῶν τὰ λοιπὰ μεγέθη τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως τοῦ φράγματος.

Δοθέντος ὅτι ἡ συνάρτησις $W_o(\xi)$ ἱκανοποιεῖ ἐκ ταυτότητος τὸ δεξιὸν μέλος τῆς ἐξισώσεως (64) προκύπτει ἡ ἀκόλουθος ὁμογενὴς ἐξίσωσις :

$$\left(h^3 \bar{w}''\right)'' + 2\left(h^3 \bar{w}'\right)' + h^3 \ddot{\bar{w}} + \frac{1}{r^2}\left[2\left(h^3 \bar{w}'\right)' + h^3 \ddot{\bar{w}}\right] = 0 \quad (68)$$

ἤτοι ἔχει τετράκις ἀπείρους λύσεις ἐκ τῶν ὁποίων ἀναζητοῦμεν ἐκείνας, αἵτινες, μετὰ τῆς $W_o(\xi)$ ἱκανοποιοῦσιν τὰς ὁριακὰς συνθήκας.

Παράδειγμα.

Ἤδη αἱ ἀντιστοιχοῦσαι εἰς τὸν δακτύλιον συμμετρικαὶ ὡς πρὸς τὸν ἄξονα τάσεις καὶ παραμορφώσεις συμπίπτουν μὲ τὴν ἀξονοσυμμετρικὴν ἰδιάζουσαν λύσιν, ἥτις προκύπτει ἐκ τῆς ὁλοκληρώσεως τῆς ἐξισώσεως (67).

Ἐὰν τὴν μεταβλητὴν x ἀντικαταστήσωμεν διὰ τῆς ἀδιαστάτου μεταβλητῆς :

$$\zeta = \frac{x}{H}$$

καὶ τὴν πίεσιν p ἀντικαταστήσωμεν διὰ τῆς πιέσεως p_w τοῦ ἐξωτερικοῦ τοῦ τόξου συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν :

$$p = \frac{r_a}{r} p_\omega \quad (69)$$

τότε ἡ ἐξίσωσις (67) λαμβάνει τὴν ἀκόλουθον μορφὴν (ὅπου τώρα ἡ W_o ἀντικαθίσταται ὑπὸ τῆς W_ζ) :

$$(h^3 w_c'')'' + \frac{12(1-\nu^2)h H^4}{r^2} w = -\frac{12(1-\nu^2)H^4 r\alpha}{Er} p_w + \frac{12(1-\nu^2)H^4 h}{r} E_t - 2(1+\nu)H^2 (h^2 \Delta_{\varepsilon t})_\zeta'' \quad (\alpha)$$

Διά διαφορίσεως τῶν εἰς τάς παρενθέσεις μελῶν λαμβάνομεν :

$$w_c''' + \frac{6h'}{h} w_c'' + 3\left(\frac{h''}{h} + \frac{2h'^2}{h^2}\right) w_c'' + \frac{12(1-\nu^2)H^4}{h^2 + r^2} \cdot w + \frac{12(1-\nu^2)H^4 r\alpha}{Eh^3 r} p_w - 12(1-\nu^2)\frac{H^4}{h^3 r} \varepsilon_t +$$

$$+ \frac{2(1+\nu)}{h} H^2 \left[\Delta_{\varepsilon t}'' + \frac{4h'}{h} \Delta_{\varepsilon t}' + 2\left(\frac{h''}{h} + \frac{h'^2}{h^2}\right) \Delta_{\varepsilon t} \right] = 0 \quad (71)$$

Ἐκ παραλλήλου διά $Sy = S\varphi$, b_x καί $by = b\varphi$ καί διά παραλείψεως τῶν μή συμμετρικῶν μελῶν ὡς καί διά εἰσαγωγῆς τῶν ἀντιστοίχων παραγώγων ὡς πρός ζ , λαμβάνομεν τῇ βοηθείᾳ τῶν ἐξισώσεων (σι) τούς ἀκολούθους τύπους :

$$\left.\begin{aligned} S\varphi &= \frac{Eh}{r} w - Eh\varepsilon_t \qquad b_x = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)H^2} w_c'' - \frac{Eh^2 \cdot \Delta_{\varepsilon t}}{6(1-\nu)} \\ & \qquad\qquad b\varphi = \frac{Eh^3 \nu}{12(1-\nu^2)H^2} w_c'' - \frac{Eh^2 \Delta_{\varepsilon t}}{6(1-\nu)} \end{aligned}\right\} \quad (72)$$

Ἤδη δοθέν φράγμα διαιρεῖται εἰς π ὁριζόντια τμήματα καθ' ὕψος μέ ἀπόστασιν $\Delta\zeta$ ἀνά τμῆμα .

Ἡ ὁλοκλήρωσις τῆς ἐξισώσεως (71) δύναται νά λάβῃ χώραν διά διαφορῶν $(\Delta\zeta), (\Delta h)$ ἀντί διά διαφορικῶν $(d\zeta, dh)$ αἱ δέ παράγωγοι τῶν w ἐκτιματίζονται διά τῶν γνωστῶν τύπων τῶν διαφορῶν :

$$\left.\begin{aligned} w_m' &= \left(\frac{1}{2} w_{m+1} - \frac{1}{2} w_{m-1}\right) : \Delta\zeta \\ w_m'' &= \left(w_{m+1} - 2w_m + w_{m-1}\right) : \Delta\zeta^2 \\ w_m''' &= \left(\frac{1}{2} w_{m+2} - w_{m+1} + w_{m-1} - \frac{1}{2} w_{m-2}\right) : \Delta\zeta^3 \\ w_m''' &= \left(w_{m+2} - 4w_m + 6w_m - 4w_{m-1} + w_{m-1}\right) : \Delta\zeta^4 \end{aligned}\right\} \quad (73)$$

Δι' εἰσαγωγῆς τῶν τύπων τούτων (73) εἰς τὴν ἐξίσωσιν (71) λαμβάνομεν μίαν ἐξίσωσιν διαφορῶν. Ἐὰν ἤδη εἰσαγάγωμεν τὴν βραχυγραφίαν:

$$\alpha = 6\frac{h'}{h}\Delta\zeta \qquad \beta = 3\left(\frac{h''}{h}+\frac{2h'^2}{h^2}\right)\Delta\zeta^2 \qquad \gamma = \frac{12(1-\nu^2)H^4}{h^2 r^2}\Delta\zeta^4 \tag{74}$$

$$\delta = \left[\frac{12(1-\nu^2)H^4 r\alpha}{Eh^3 r}\right] P_w - 12(1-\nu^2)\frac{H^4\varepsilon t}{h^2 r} + \frac{2(1-\nu)H^2}{h}\left[\Delta''_{\varepsilon t}+4\frac{h'}{h}\Delta'_{\varepsilon t}+2\left(\frac{h''}{h}+\frac{h'^2}{h^2}\right)\Delta_{\varepsilon t}\right]\Delta\zeta^4$$

λαμβάναμεν δια τὸ σημεῖον m τὴν ἐξίσωσιν διαφορῶν:

$$\left.\begin{aligned} W_{m+2}(1+0{,}5\alpha_m) - W_{m+1}(4+\alpha_m-\beta_m) + W_m(6-2\beta_m+\gamma_m) - W_{m-1}(4-\alpha_m-\beta_m) + \\ + W_{m-2}(1-0{,}5\alpha_m) + \delta_m = 0 \end{aligned}\right\} \tag{75}$$

Ἤδη αἱ ἐξισώσεις (75) γραφόμεναι δι' ἕκαστον τῶν σημείων n δὲν ἐπαρκοῦν διὰ τὴν λύσιν τοῦ προβλήματος καὶ δι' αὐτὸ θὰ εἰσαγάγωμεν τὰς ὁριακὰς συνθήκας καθ' ἃς:

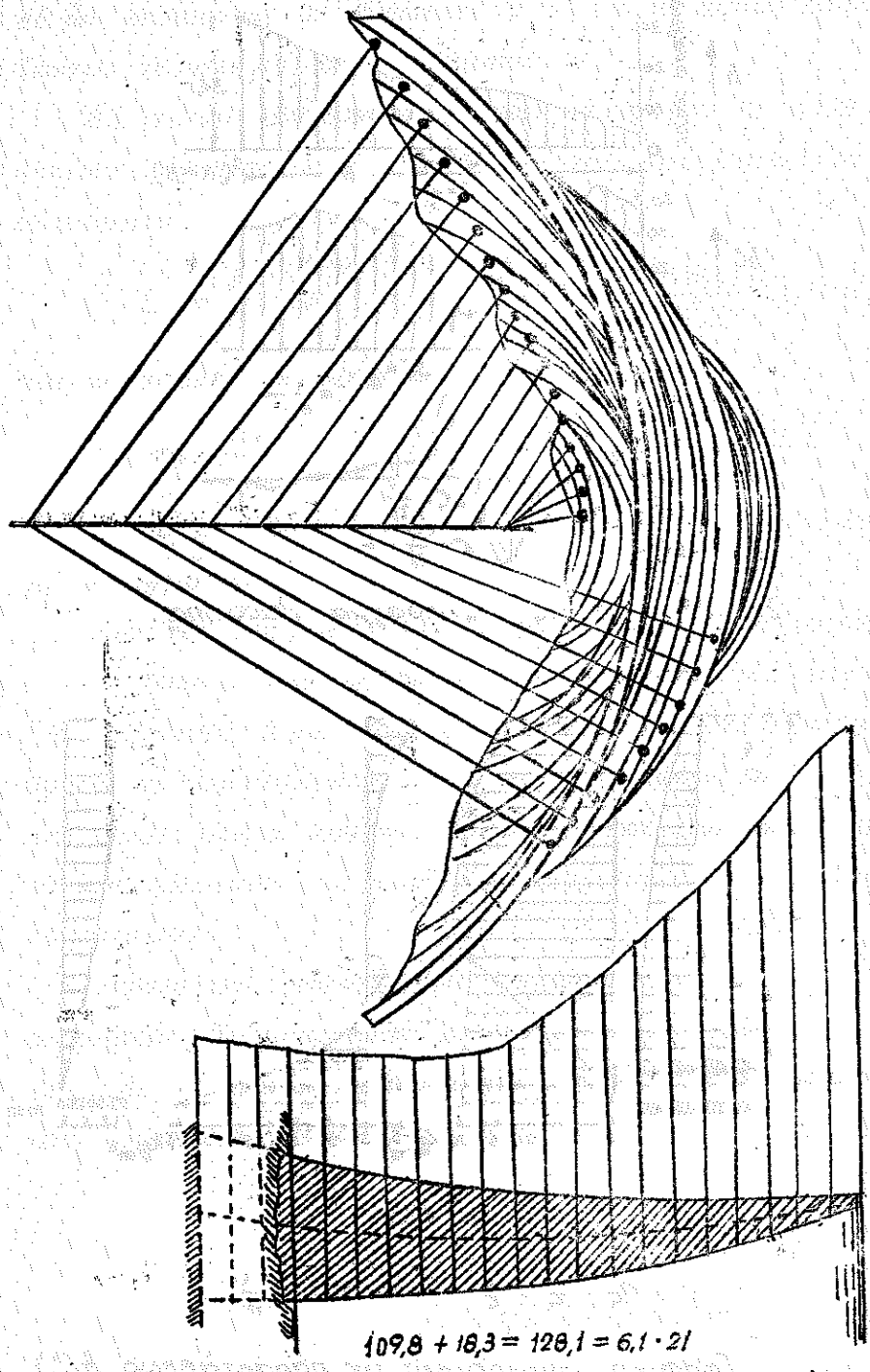
$b_x = b'_x = 0$ εἰς τὸ ἀνώτατον ἄκρον τοῦ φράγματος $(n=0)$

$W = W_\zeta = 0$ εἰς τὸ κατώτατον ἄκρον τοῦ φράγματος $(n=n)$

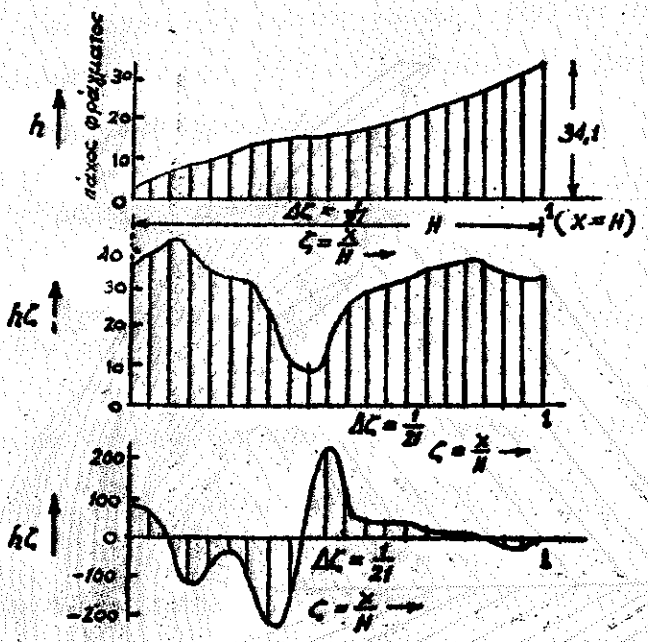
Οὕτω προκύπτουν αἱ ἐξισώσεις διὰ τὰ ἀκραῖα τμήματα τοῦ φράγματος:

$$\left.\begin{aligned} W_1 - 2W_0 + W_{-1} &= \frac{2(1+\nu)H^2\Delta\varepsilon t_0}{h_0}\Delta\zeta^2 \\ \frac{1}{2}W_2 - W_1 + W_{-1} - \frac{1}{2}W_2 &= -\frac{2(1+\nu)H^2}{h_0}\left(\Delta\varepsilon t_0 - \frac{h'_0}{h_0}\Delta\varepsilon t_0\right)\Delta\zeta^3 \\ W_n &= 0 \\ W_{n+1} &= W_{n-1} \end{aligned}\right\} \tag{76}$$

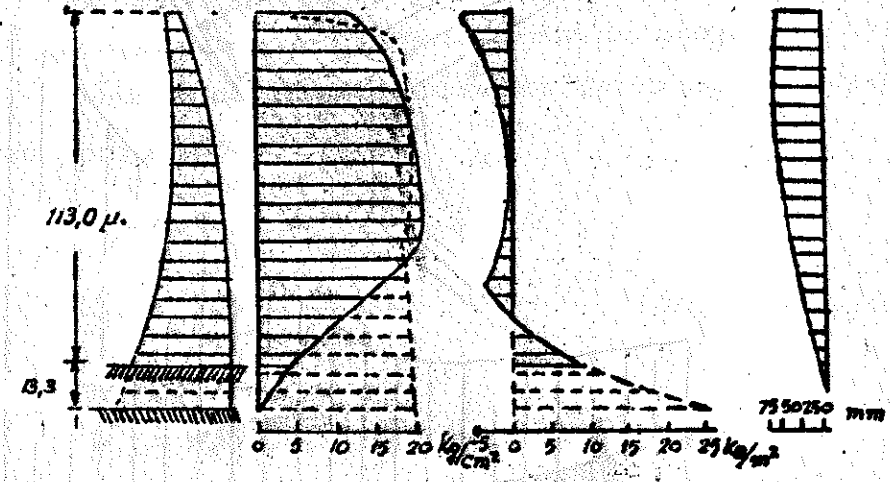
Εἰς τὸ σχῆμα 120 δίδεται ἡ κάτοψις καὶ τομὴ τοῦ φράγματος Pacoima ὕψους 113,0 μ. ἑνὸς τῶν μεγαλυτέρων τοξωτῶν φραγμάτων. Τοῦτο ὑποδιαιρεῖται εἰς 21 τμήματα $\Delta\zeta = 6{,}1$ μ. ὕψους ἕκαστον $\left(\Delta\zeta = \frac{1}{21}\right)$. Αἱ παράγωγοι h'_ζ καὶ h''_ζ προσδιορίζονται γραφικῶς, ἀφοῦ χαραχθῇ εἰς μεγάλην κλίμακα ἡ συνάρτησις $h(\zeta)$. (Βλέπε σχῆμα).



Σχ. 120: Κάτοψις και τομή φράγματος Pacoima (Η.Π.Α.)



Σχ. 122 : Τάσεις εις φράγμα Pacoima.



Σχ. 123

h_ζ , h'_ζ , h''_ζ συναρτήσει $(\frac{x}{H})$

Γραφική διαφόρισις της παραστάσεως $h(\zeta)$

Ἐπί τῇ βάσει τῶν m τμημάτων καταστρώνονται πίνακες ἐξ ὧν ἐπιλύονται αἱ ἐξισώσεις 71, 74 καὶ ἐξ αὐτῶν ὑπολογίζονται τελικῶς αἱ παραμορφώσεις W.

Ἐξ αὐτῶν καὶ συναρτήσει τῶν ἐξισώσεων 72 καὶ 73 εὑρίσκομεν τὴν ἐντατικὴν κατάστασιν τοῦ φράγματος διὰ τῶν ἐξισώσεων :

$$S_\varphi = \frac{h}{r} \cdot EW \qquad b_x = -\frac{Eh^3(W_{m+1} - 2W_m + W_{m-1})}{12(1-\nu^2)H^2\Delta\zeta^2} \qquad b_\varphi = \nu b_x \qquad (77)$$

καὶ τὰς τάσεις ἐκ τῶν γνωστῶν ἐξισώσεων :

$$\sigma_\varphi = \frac{EW}{r} \qquad \sigma_{b_x} = -\frac{h(EW_{m+1} - 2EW_m + EW_{m-1})}{2(1-\nu^2)H^2\Delta\zeta^2}$$

Εἰς τὸ Σχ. 122 δίδονται αἱ εὑρεθεῖσαι τάσεις τοῦ ἐν λόγῳ φράγματος.

Διὰ τῆς ἐστιγμένης γραμμῆς τοῦ αὐτοῦ σχήματος δίδονται αἱ τάσεις ὑπολογιζόμεναι διὰ τοῦ τύπου τοῦ δακτυλίου (βλ. ἐξίσωσις 2 σελ. 128) ἐξ οὗ βλέπομεν ὅτι ἡ μεγίστη διαφορὰ ἡ ἐμφανιζομένη εἰς τὰ 2/3 τοῦ ὕψους ἀπὸ τῆς βάσεως εἶναι μικρὰ καὶ ὅτι αἱ τάσεις τοῦ δακτυλίου δύνανται νὰ χρησιμεύσωσιν ὡς πρώτη προσέγγισις διὰ τὸν γενικὸν ὑπολογισμόν.

Ἀναλόγως ὑπολογίζονται κεχωρισμένως αἱ τάσεις ἐκ τῶν διαφορῶν θερμοκρασίας καὶ συντάσσονται ἀνάλογοι πίνακες. Αἱ ἐξ αὐτῶν προκύπτουσαι τάσεις προστίθενται εἰς τὰς ἐκ τῆς φορτίσεως.

5.- Παραδείγματα τοξωτῶν φραγμάτων.

Ἡ χάραξις τῶν τοξωτῶν φραγμάτων ἐπὶ τοῦ ἐδάφους τῶν χαραδρῶν ἀποτελεῖ ἀρκετὰ δυσχερὲς θέμα, ὅπερ ἀπαιτεῖ ἐμπειρίαν καὶ δεξιοτεχνίαν τοῦ μελετῶντος μηχανικοῦ.

Ἐκ τῶν στοιχείων τῶν φραγμάτων ἡ ἀκτὶς καὶ ἡ γωνία τοῦ τόξου δύνανται νὰ μεταβάλλωνται ἢ νὰ εἶναι σταθερὰ μεγέθη ὁπότε ἀντιστοίχως λαμβάνει διάφορον μορφὴν τὰ φράγματα ἐν κατόψει καὶ ἐν τομῇ. Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 124 δίδονται ἡ κάτοψις καὶ ἡ τομὴ φράγματος μὲ σταθερὰν ἀκτῖνα, εἰς δὲ τὸ Σχ. 125 δίδονται ἡ κάτοψις καὶ αἱ τομαὶ φράγματος ἀποτελουμένων ἐκ τόξων μὲ μεταβλητὴν ἀκτῖνα ἀλλὰ σταθερὰν γωνίαν.

Εἰς τὸ Σχ. 124 ἡ γωνία μεταβάλλεται δι' ἕκαστον ὁριζόντιον δακτύλιον καὶ ἑπομένως ἐὰν δεχθῶμεν ὅτι ἡ οἰκονομικωτέρα διάταξις λαμβάνει χώραν διὰ $2\alpha = 135° 34'$ καὶ $r = 0{,}544\ l$ (ὅπερ ἐξάγεται θεωρητικῶς ἀπὸ τὴν ἁπλῆν κυλινδρικὴν θεωρίαν τῶν φραγμάτων) ἡ γωνία αὕτη θὰ ἰσχύῃ μόνον δι' ἓν ὁριζόντιον τμῆμα.

Ἡ τομὴ τῶν φραγμάτων μὲ σταθερὰν γωνίαν λαμβάνει περιέργους μορφάς, ἐνίοτε δὲ ἡ εἰς τὴν τομὴν 3-4 (Σχ. 125) ἐμφανιζομένη κρέμασις τῆς στέψεως ἔξω τῆς ἐκ τῆς βάσεως κατακορύφου λαμβάνει μεγάλας τιμάς. Διὰ τῆς διατάξεως τοῦ σχήματος 125 ἢ παρεμφερῶν διατάξεων ὁ ὄγκος τοῦ φράγματος (ἐν συγκρίσει μὲ τὸν ὄγκον φράγματος χαραξομένου μὲ σταθερὰν ἀκτῖνα) δύναται νὰ ἀνέλθῃ εἰς 70% τοῦ προηγουμένου.

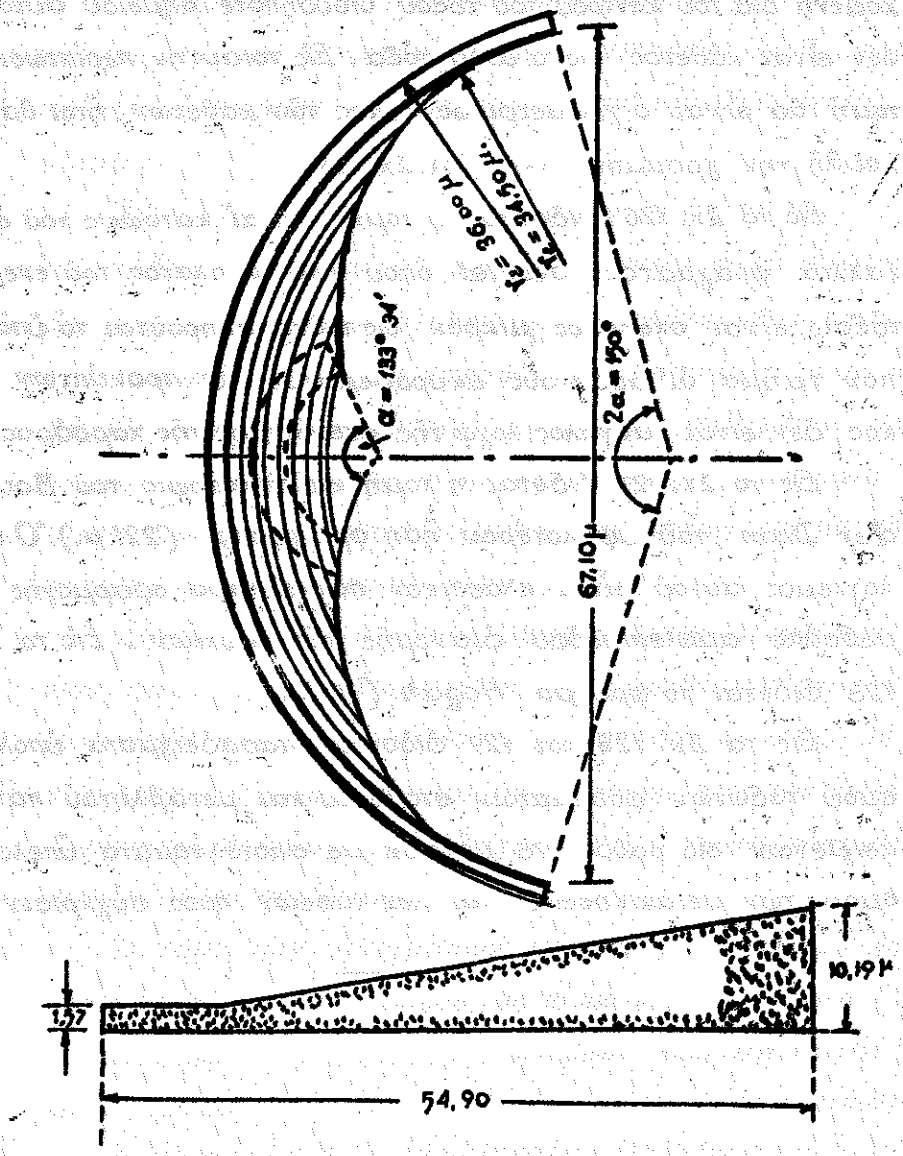
Ἡ μορφὴ τῶν φραγμάτων τοῦ σχήματος 125 παρουσιά-

ζει δυσκολίας διά τόν ὑπολογισμόν αὐτῶν κατά τήν μέθοδον τῆς ἀμφιεπιπέδου διανομῆς τῶν φορτίσεων, διότι μία τομή διερχομένη διά τοῦ κέντρου τοῦ τόξου οἱουδήποτε σημείου αὐτοῦ δέν εἶναι κάθετος εἰς τά ἄλλα τόξα. Εἰς τοιαύτην περίπτωσιν ἡ τομή θά εἶναι ὁ γεωμετρικός τόπος τῶν καθέτων, ἤτοι θά ἀκολουθῇ τήν γραμμήν 5-6 (βλ. Σχ. 125).

Εἰς τό Σχ. 126 δίδονται ἡ τομή καί αἱ κατόψεις τοῦ ἐν Γαλλίᾳ φράγματος Sautel ὅπου ἐνῷ τό πλάτος τοῦ ἐνεργοῦ τόξου εἶναι σχετικῶς μικρόν, εἰς τοῦτο πληροῦται τό ὑπόλοιπον τμῆμα δι' ἀδρανοῦς σκυροδέματος. Ὁ προκύπτων ὄγκος δέν εἶναι μεγάλος λόγῳ τῆς στενότητος τῆς χαράδρας.

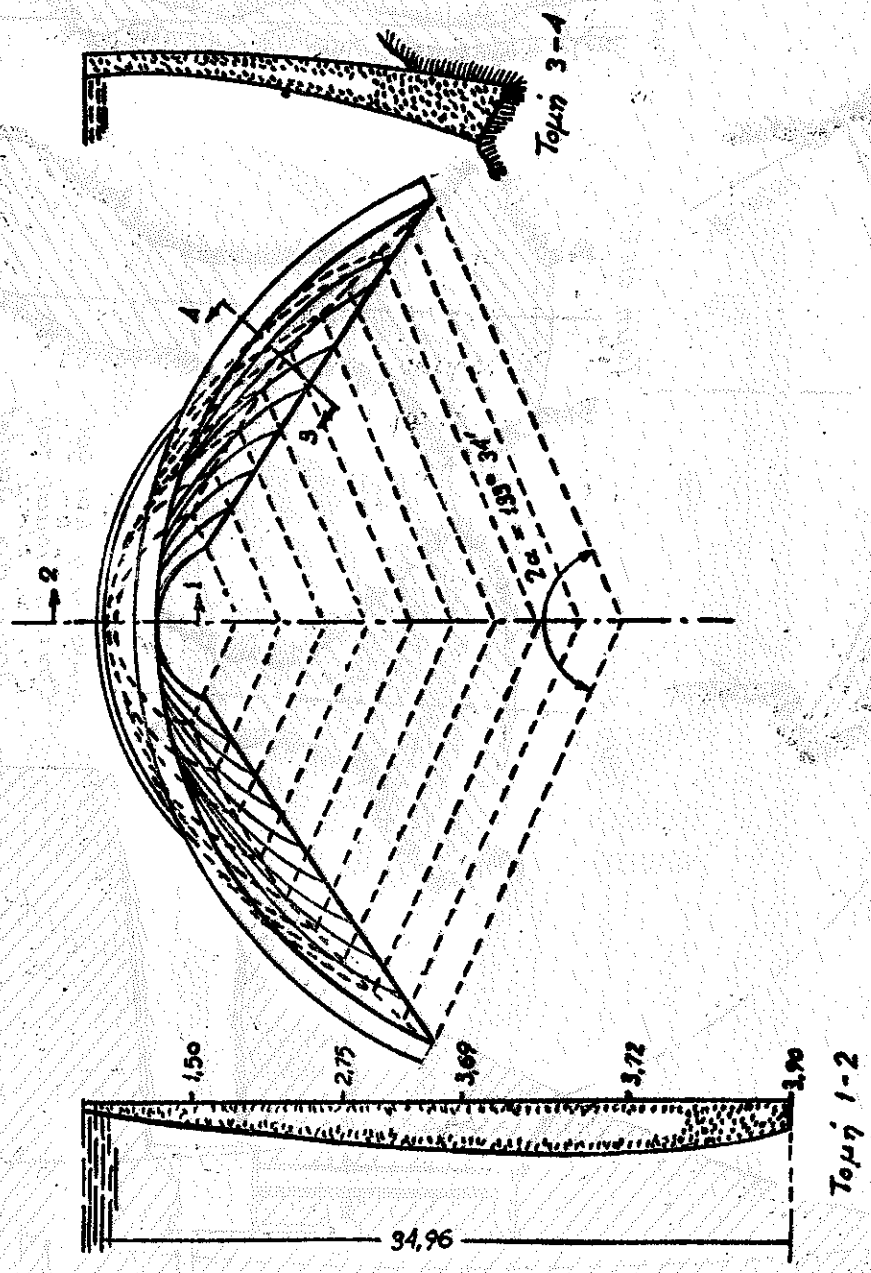
Εἰς τό Σχ. 127 δίδεται ἡ τομή καί ἡ κάτοψις τοῦ Boulder Dam, τοῦ ὑψηλοτέρου ἤδη φράγματος (221 μ.). Ὁ ὑπολογισμός αὐτοῦ εἶναι κλασσικόν παράδειγμα ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου ἀμφιεπιπέδου διανομῆς τῶν φορτίων. Εἰς τό Σχ. 128 δίδεται τό φράγμα Hoover (Η.Π.Α.).

Εἰς τά Σχ. 128 καί 129 δίδονται παραδείγματα ὑπολογισμοῦ τοξωτῶν φραγμάτων σταθεροῦ καί μεταβλητοῦ πάχους, κειμένων εἰς βάθος 176 μέτρων μέ ἀποτελέσματα ὑπολογισμοῦ τῶν μετακινήσεων καί τῶν τάσεων πρός σύγκρισιν.



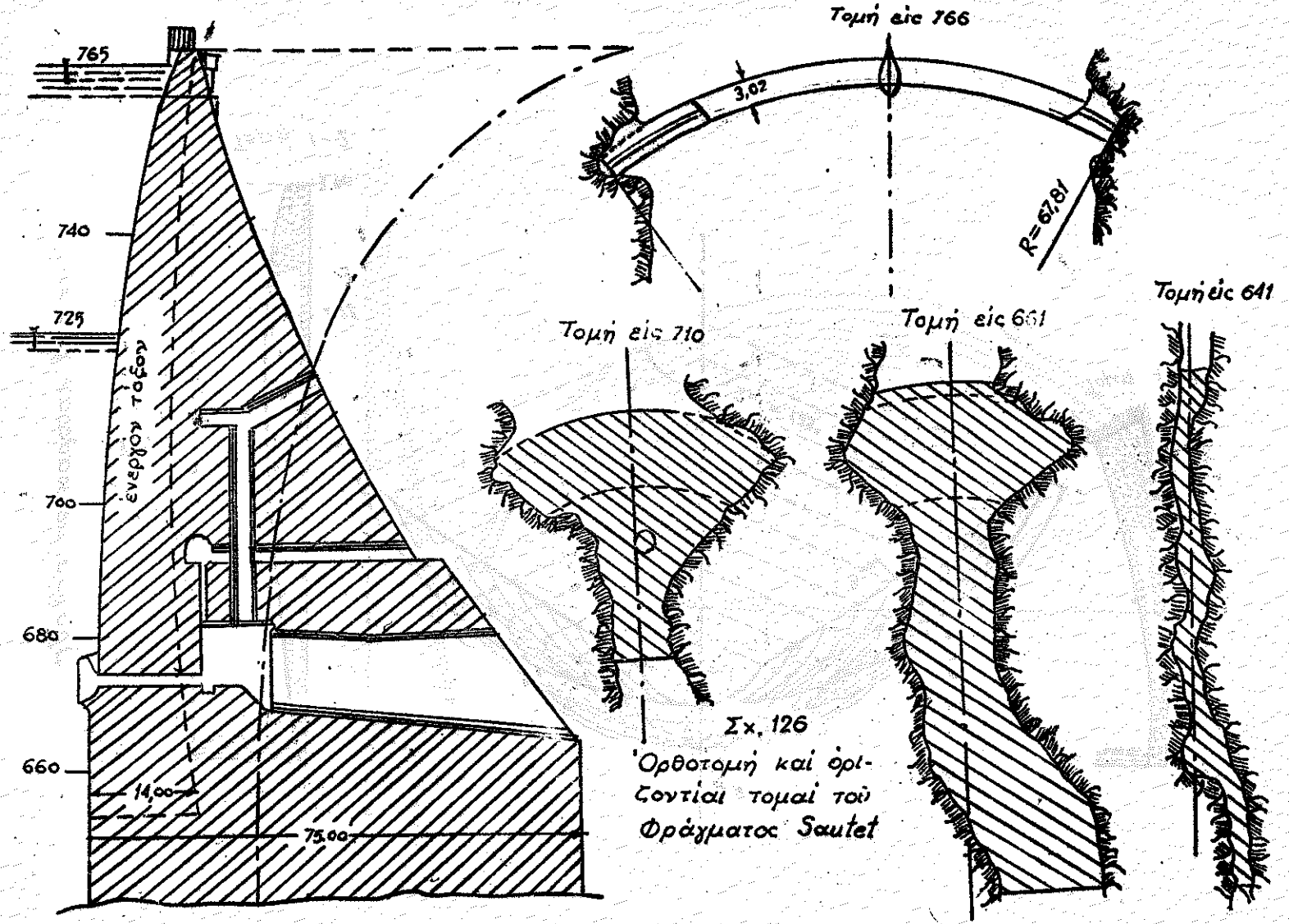
Σχ. 124.

Φράγμα με σταθερόν άντίνα.

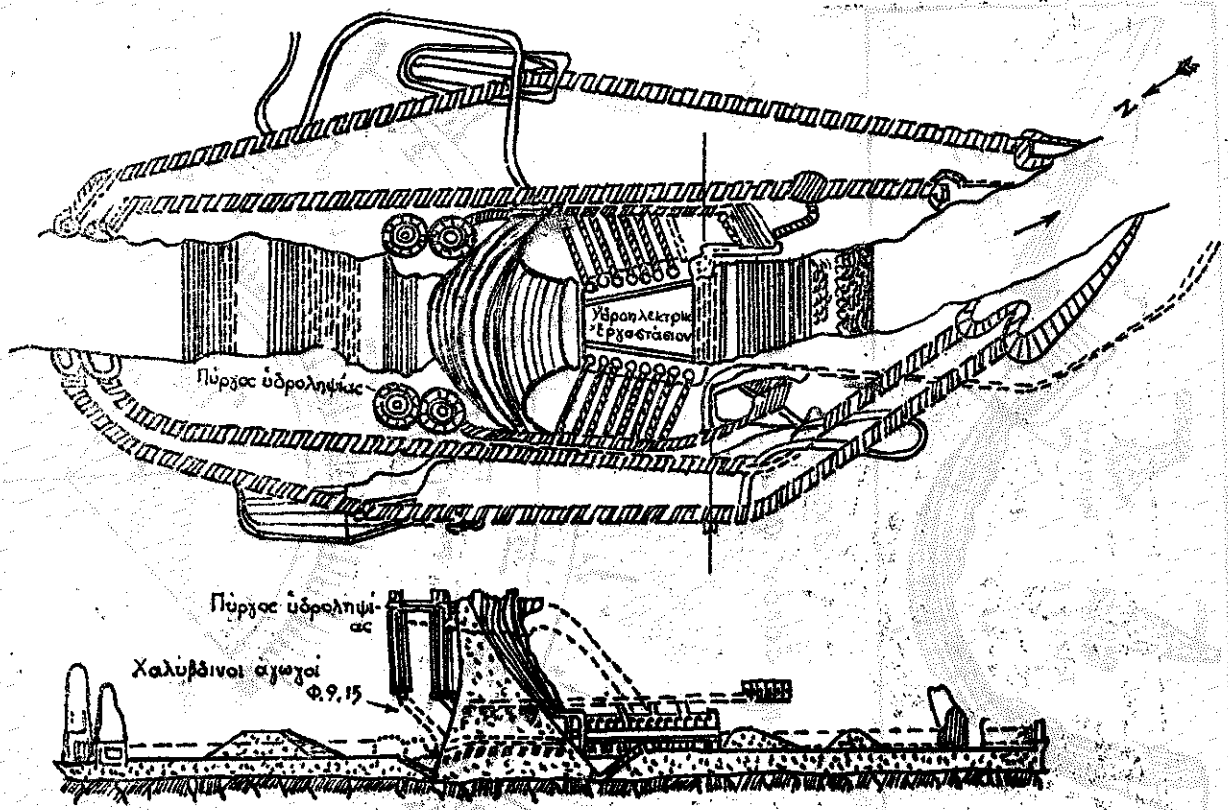


Σχ. 25

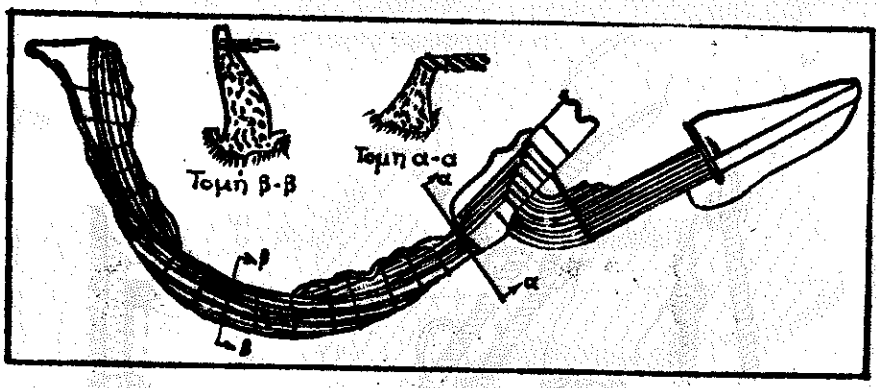
Φράγμα με σταθερά γωνίαν.



Σχ. 126
Ὀρθοτομή καὶ ὁριζοντίαι τομαὶ τοῦ Φράγματος Sautet

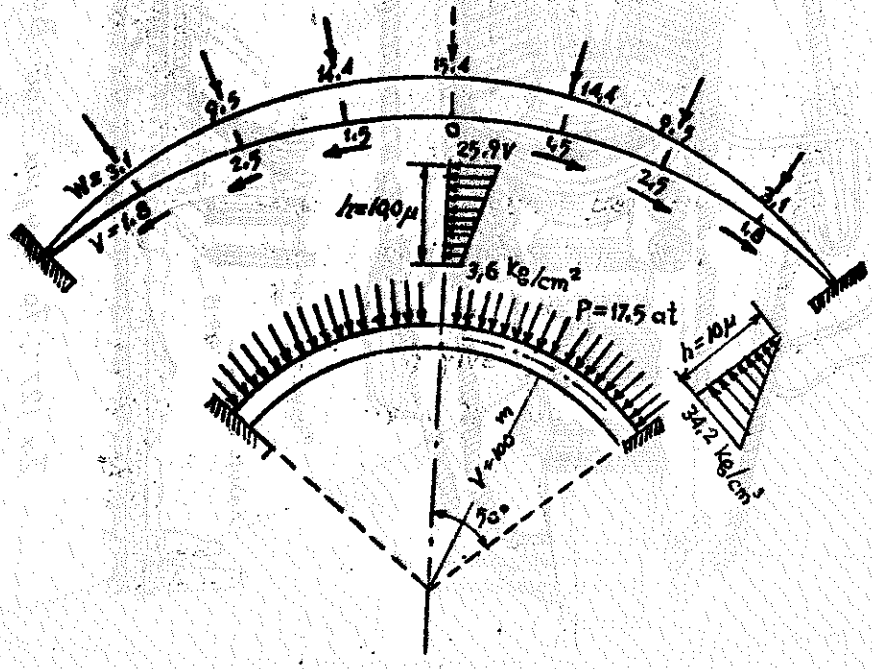


Σχ 127 : Τό φράγμα τοῦ BOULDER



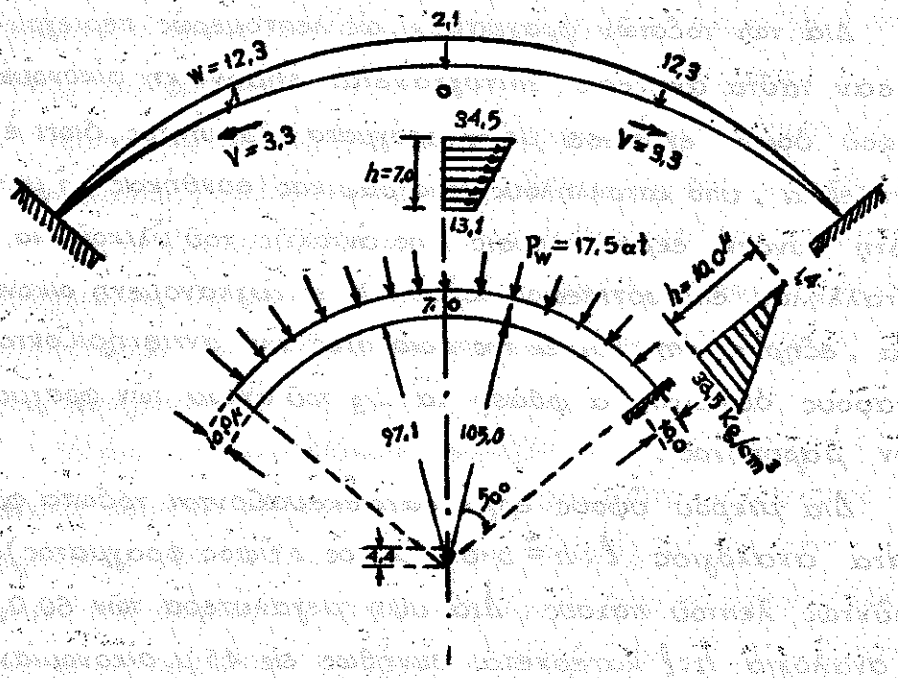
Σχ. 128

Το τοξοτόν φράγμα Hogan



Σχ. 129

Μετακινήσεις και τάσεις ισοπαχούς τόξου πάχους 100 m ακτίνας 100μ.



Σχ. 130

Μετακινήσεις καὶ τάσεις τόξου μεταβλητοῦ πάχους τοῦ αὐτοῦ ὡς ἄνω φράγματος καὶ ἀναλόγου ἀκτῖνος.

ΙΙΙ.3. ΑΝΤΗΡΙΔΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

1. Γενικότητες.

Διά τῶν τοξοτῶν φραγμάτων, ὡς λεπτομερῶς περιεγράφησαν ταῦτα ἀνωτέρω, ἐπιτυγχάνεται σημαντική οἰκονομία ὑλικοῦ ὁμῆς ἐν σχέσει μέ τά φράγματα βαρύτητος, διότι ἐπιτελεῖται, ὑπό καταλλήλους τοπογραφικάς συνθήκας, ἡ μεγίστη δυνατή ἐκμετάλλευσις τῆς ἀντοχῆς τοῦ ὑλικοῦ διά καταλλήλου ἐπιφορτίσεως αὐτοῦ. Ἡ ἐπιτυγχανομένη οἰκονομία, ἐξηρτημένη καί ἐκ τῆς ποιότητος τοῦ ἀντιστηρίζοντος ἐδάφους δύναται νά φθάσῃ τά 2/3 τοῦ ὄγκου τῶν φραγμάτων βαρύτητος.

Διά μικροῦ ὕψους ἔργα κατασκευάζονται τοξωτά φράγματα ἀναλογίας $l:h = 5\text{-}6$ (μῆκος : ὕψος φράγματος) ὀρκοῦντως λεπτοῦ πάχους. Διά ὕψη μεγαλύτερα τῶν 60,0 μ. ἡ ἀναλογία $h:l$ κατέρχεται συνήθως εἰς 4,5 μ. οἰκονομίαν ὑλικοῦ 1/3 ἐν σχέσει πρός τά φράγματα βαρύτητος.

Ἐφ' ὅσον ὁ λόγος $l:h$ γίνει μεγαλύτερος τοῦ 5 τότε ἡ μεταβίβασις τῶν πλαγίων ὠθήσεων, εἰς τάς ἀντιστηρίξεις τῶν τόξων εἶναι προβληματική καί τά φράγματα τείνουν πλέον νά ἐργάζωνται ὡς φράγματα τύπου βαρύτητος. Εἰς τοιαύτας περιπτώσεις καί εἰς λίαν ἐπιμήκη φράγματα κατασκευαζόμενα εἰς θέσεις ἔνθα ὑπάρχει ἐπάνω καταλλήλου ὑλικοῦ γεννᾶται ἡ ἐκέψις μειώσεως τοῦ ὄγκου τῶν φραγμάτων βαρύτητος δι' ἀφαιρέσεως ὑλικοῦ ἐκ τοῦ κέντρου αὐτοῦ καί δι' ὁμοιομόρφου κατανομῆς καταπονήσεως τοῦ ὑλικοῦ εἰς ὅλα τά σημεῖα τῆς διατομῆς αὐτοῦ.

Τοιουτοτρόπως ἐδημιουργήθησαν τὰ κοῖλα φράγματα βαρύτητος, ἅτινα βαθμιαίως ὡδήγησαν εἰς τὴν κατασκευὴν μιᾶς ἁπλῆς φερούσης τὴν πίεσιν τοῦ ὕδατος κατασκευῆς (κατακόρυφον καὶ συνήθως κεκλιμμένον κατάστρωμα) ὑποστηριζομένης δι' ἀντηρίδων ἐξ ἁπλοῦ ἢ ἐπανιώτερον ἐξ ὀπλισμένου σκυροδέματος. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον δύναται νὰ κατέλθῃ ὁ ὄγκος τοῦ ὑλικοῦ τοῦ φράγματος εἰς τὸ 1/6 ἢ καὶ τὸ 1/10 τοῦ φράγματος βαρύτητος ἀντιστοίκου ὕψους.

Οὕτω ἐδημιουργήθησαν τὰ ἀντηριδωτὰ φράγματα (Buttress dams, Pfeilerstaumauen, Barrages καὶ Contreforts).

Εἰς τὸ Σχ. 131 δίδονται αἱ τομαὶ τυπικοῦ ἀντηριδωτοῦ φράγματος ὕψους 21.35 μ. Εἰς τὸ Σχ. 132 δίδονται αἱ συνηθέστεραι διατάξεις τοῦ καταστρώματος τοῦ τύπου τούτου φραγμάτων.

Ἡ διὰ τῶν ἀντηριδωτῶν φραγμάτων προερχομένη οἰκονομία ὑλικοῦ ἐν σχέσει πρὸς τὰ φράγματα βαρύτητος ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 133 ἔνθα εἰς τὸ φράγμα βαρύτητος ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος Η ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὸ βάρος ΑΒΓΔΕ, εἰς τὸ ἀντηριδωτὸν φράγμα ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος P_x ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὸ βάρος $A_1 B_1 \Gamma_1 \Delta_1 E_1$.

Σύγκρισιν τοῦ ἀνὰ μέτρον ὕψους ὕδατος, ὄγκου τῶν φραγμάτων βαρύτητος καὶ ἀντηριδωτῶν δίδει ὁ Burroughs εἰς τὸ Σχ. 134 ἔνθα ἡ καμπύλη Β δίδει ἀντηριδωτὸν φράγμα μὲ κατάστρωμα ἐξ ἀμφιερείστου δοκοῦ ὡς εἰς τὸ Σχῆμα 132α (Φράγμα Stony Gorge) ἡ καμπύλη C δίδει φράγμα τοῦ τύπου τοῦ σχήματος 132 δ, καὶ ἡ καμπύλη D τυπικὸν φράγμα βαρύτητος.

Ὡς εἶναι εὐνόητον πλὴν τῆς οἰκονομίας τὰ ἀντηριδω-

τά φράγματα παρουσιάζουν καί αὔξησιν εὐσταθείας λόγῳ τῆς διατάξεως αὐτῶν.

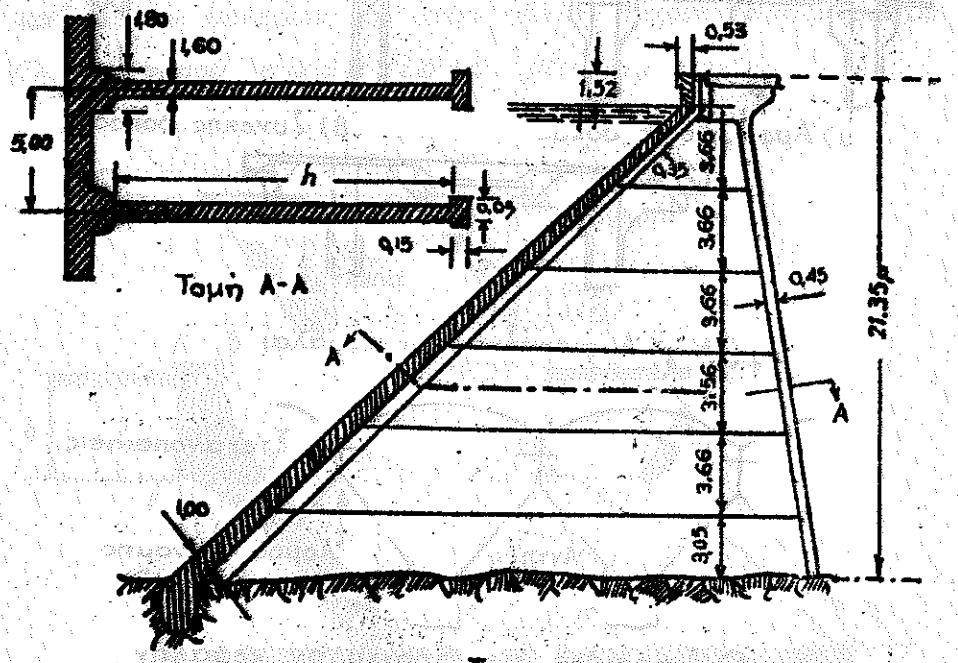
Ὁ προσδιορισμός τῆς μεταξύ τῶν ἀντηρίδων ἀποστάσεως διέπεται ἐκ τῆς οἰκονομίας τοῦ ἔργου. Μικραί ἀποστάσεις δίδουν μικρά πάχη καταστρώματος καί περίπου τό αὐτό ὑλικόν ἀντηρίδων ἀλλά μεγαλύτερον ἀριθμόν αὐτῶν ἄρα μεγαλυτέραν ἐπιφάνειαν ξυλοτύπων καί μεγαλυτέραν δυσκολίαν θεμελιώσεως αὐτῶν.

Αἱ ἀντηρίδες ἀποτελοῦν πλέον φράγματα βαρύτητος μικροῦ πλάτους καί εἶναι ἐπομένως πρόβολοι μεταβλητῆς διατομῆς καθ' ὕψος (ἐκ τῶν θεμελίων πρός τήν στέψιν) ἀλλά καί κατά πλάτος (λόγῳ ἐλαττώσεως τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος καθ' ὕψος)..

Αἱ τάσεις κάμψεως ἐλαττοῦνται ὅσον μεγαλύτερον τό ὕψος τῆς διατομῆς (πλάτος τῆς ἀντηρίδος h) ἔστω καί ἄν τό πάχος αὐτῆς (b) εἶναι μικρόν (βλέπε σχ. 131). Ἡ ἐξαιρετική ὅμως μείωσις τοῦ πάχους δύναται νά ὁδηγήσῃ εἰς στρέβλωσιν τῆς διατομῆς· τοῦτο συνήθως προλαμβάνεται διά τῆς κατασκευῆς ἐγκαρσίων δοκῶν συνδεουσῶν τάς ἀντηρίδας μεταξύ των (βλ. Σχ. 131 ἐγκαρσίαν τομήν). Τελικῶς ἐκ τῆς πείρας ἡ ἀπόστασις τῶν ἀντηρίδων συναρτήσει τοῦ ὕψους τοῦ φράγματος δίδεται ὡς ἀκολούθως :

Ὕψος φράγματος 15-30 μ. Οἰκονομική ἀπόστασ. ἀντηρίδων : 4,5 - 6,0μ.
» » 30 - 45μ. » » » : 9,0 - 12,0μ.
» » ἄνω τῶν 45μ. » » » : 12,0 - 15,0μ.

Εἰς τό Σχ. 135 δίδεται τομή καί πρόσοψις τοῦ μεγάλου ἀντηριδωτοῦ φράγματος Stony Gorge (Η.Π.Α.) ἔνθα τό κατάστρωμα ἀποτελεῖται ἀπό ἁπλᾶς ἀμιερειώτους πλάκας ἐπηριζομένας εἰς μικρούς προβόλους τῶν ἀντηρίδων. Τό πάχος



Σχ. 131

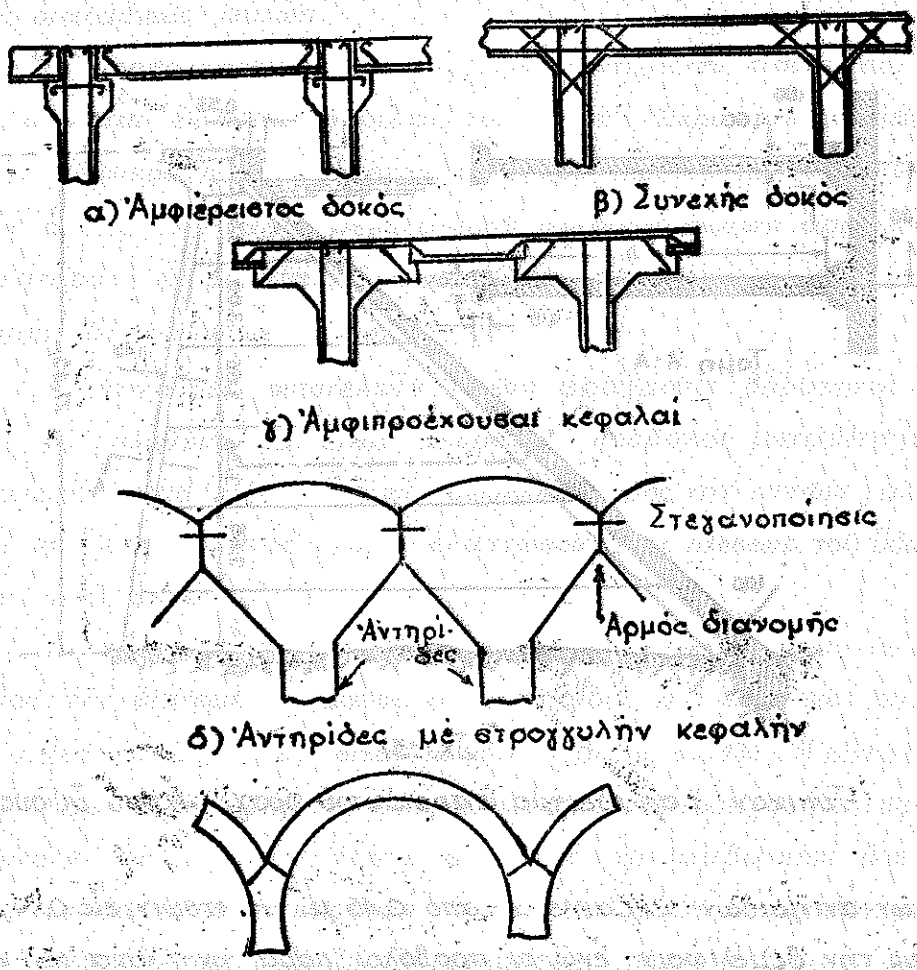
Τυπικόν παράδειγμα ἀντηριδωτοῦ φραγ. μικροῦ ὕψους.

τῶν ἀντηρίδων κυμαίνεται ἀπό 0,45 μ. εἰς στέψιν, εἰς 0,94 μ. εἰς τήν θεμελίωσιν ἐνῷ οἱ πρόβολοι παρά τήν πλάκα τοῦ καταστρώματος ἔχουσιν συνεχῶς πάχος 0,61 ἑκ.

Τό πάχος τῆς πλακός τοῦ καταστρώματος κυμαίνεται ἀπό 0,561 μ. εἰς τήν στέψιν, εἰς 1,28 μ. εἰς τήν κοίτην.

Ἡ κλίσις τοῦ ἐσωτερικοῦ τῆς πλακός εἶναι 1:1 καί τοῦ ἐξωτερικοῦ τῶν ἀντηρίδων 1:4. Οἱ ἁρμοί κατασκευῆς ἦσαν ὁριζόντιοι ἀνά 3,66 μ. βάθος. Αἱ ἀντηρίδες συνδέονται μεταξύ των διά δοκῶν ἐξ ὀπλισμένου σκυροδέματος, ἡ ἀπόστασις αὐτῶν ἀνέρχεται εἰς 5,40 μ. ἀπό ἄξονος εἰς ἄξονα.

Εἰς τό Σχ. 136 δίδεται τό φράγμα Barlett (Η.Π.Α.) ὅ-

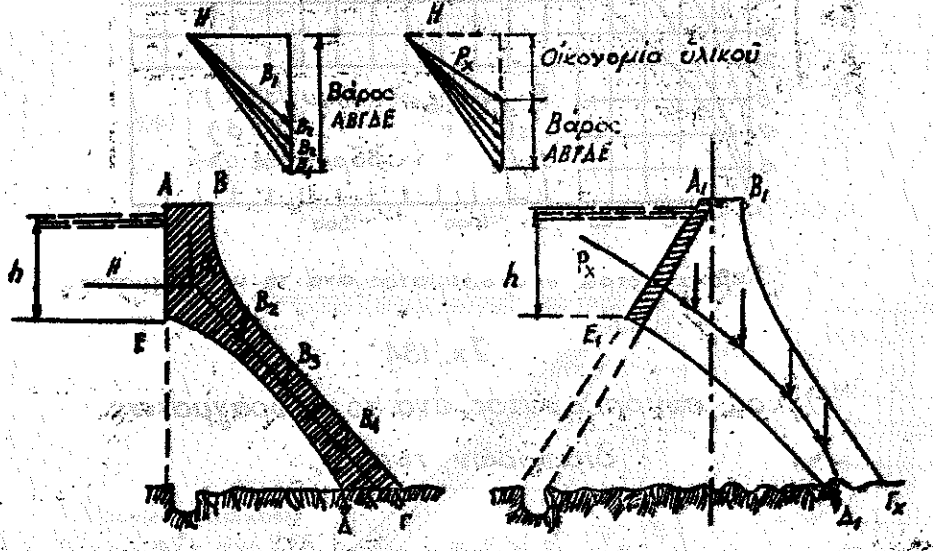


Σχ. 132

Συνήθεις διατάξεις τοῦ καταστρώματος συγκρατήσεως τοῦ ὕδατος.

που τὸ κατάστρωμα εἶναι κατασκευασμένον ἐκ θόλων σταθερᾶς ἀκτῖνος 7.31 μ. καὶ μεταβλητοῦ πάχους κυμαινομένου ἀπὸ 0.90 μ. εἰς τὴν στέψιν μέχρι 2.10 μ. εἰς τὴν κοίτην. Αἱ ἀντηρίδες ἐδῶ ἀποτελοῦνται ἀπὸ κυψελωτὴν κατασκευὴν ἐξ ὀπλισμένου σκυροδέματος. Οἱ ὁριζόντιοι ἁρμοὶ κατασκευῆς

ἔχουν μεγίστην κατακόρυφον ἀπόστασιν 3,05 μ. κατεσκευάσθησαν δὲ καὶ κατακόρυφοι ἁρμοὶ διὰ τὸ περίπου μέτρα, ἐλαχίστου πλάτους 45 ἑκ. πληρούμενοι μετὰ ὑλικοῦ κατ' ἀρχὴν καὶ ἐκ τῶν ὑστέρων ἐφ' ὅσον ἤθελεν παρουσιασθεῖ ῥωγμαί. (Ἁρμοὶ τύπου σφραγίδος plug-type).



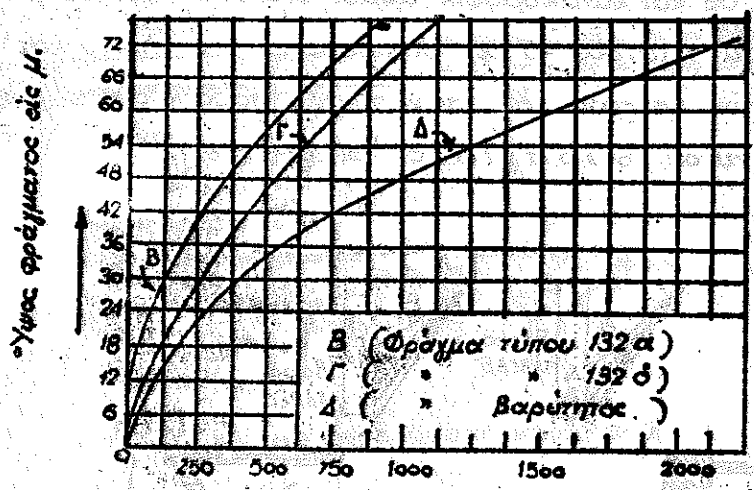
Σχ. 133

Διαφορὰ ἰδίου βάρους εἰς φράγματα βαρύτητος καὶ ἀντηριδωτά

Ἡ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν ἀξόνων ἀντηρίδων εἰς τὸ φράγμα Barlett ἀνέρχεται εἰς 18.30μ. Αἱ κύριαι τάσεις ἀνέρχονται εἰς 40,8 Kg/cm² αἱ δὲ μέγισται διατμητικαὶ τάσεις εἰς 20,4 Kg/cm².

Εἰς ἄλλας συντηρητικωτέρας κατασκευὰς ἡ κυρία τάσις ἔχει μεγίστην τιμὴν 34,02 Kg/cm².

Εἰς τὸ σχ. 137 δίδεται τὸ φράγμα Big Dalton (Η.Π.Α.) μετὰ καταστρώματος ὁμοίως ἐκ θόλου καὶ ἀντηρίδος κυψελωτοῦ συστήματος. Οἱ ἁρμοὶ διαστολῆς ἐνταῦθα κατασκευ-



Σχ. 134

Ὄγκος ἐκχοδέματος ἀνὰ τρ.μ φραγμάτων διαφόρων τύπων.

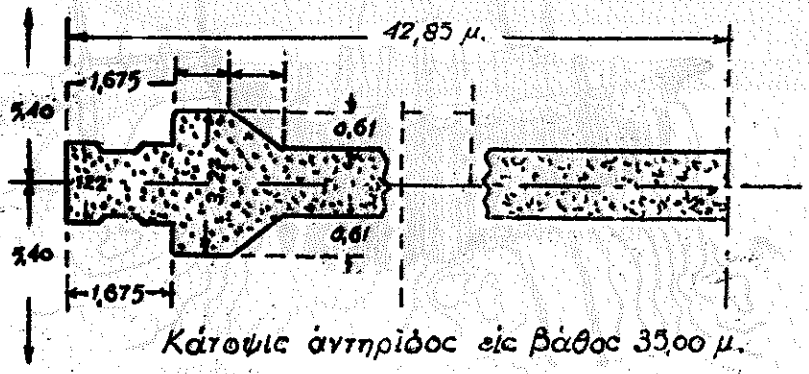
άζονται κατὰ τὴν ἔννοιαν τῆς διευθύνσεως τῆς συνισταμένης τοῦ βάρους καὶ τῆς ὠθήσεως τοῦ ὕδατος.

Αἱ λοιπαὶ λεπτομέρειαι ἐμφαίνονται εἰς τὸ Σχ. 137.

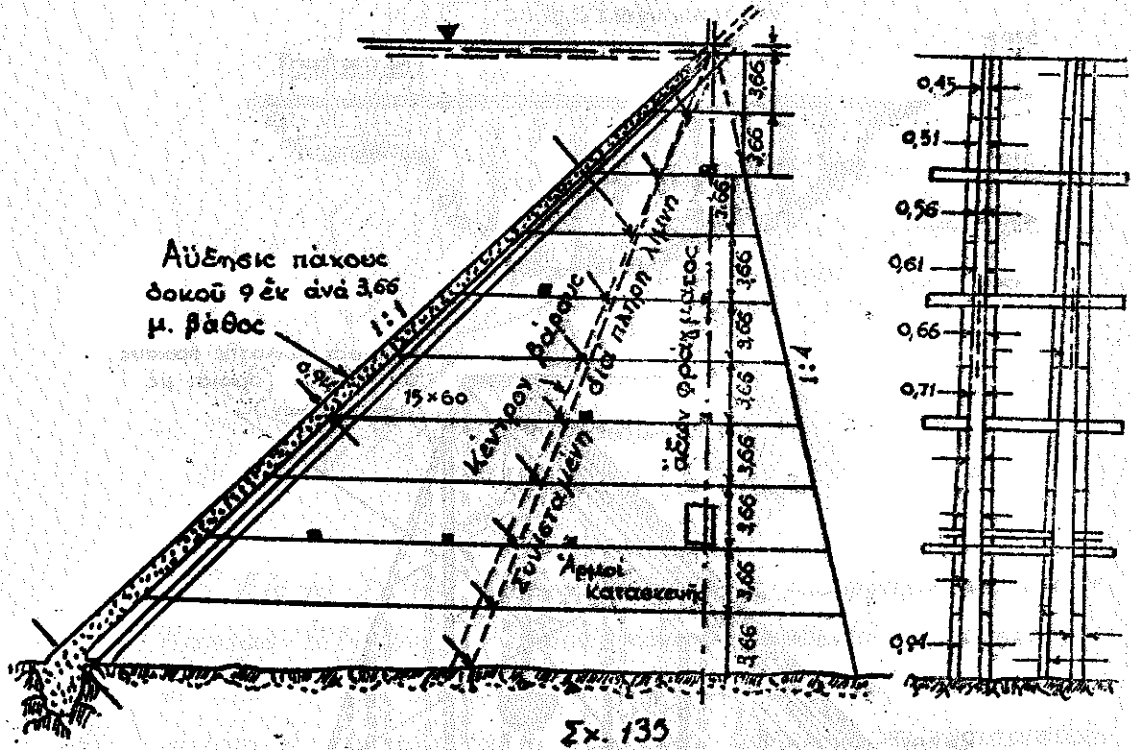
Εἰς τὸ Σχ. 138 δίδεται ἡ κάτοψις καὶ ἡ τομὴ τοῦ φράγματος εἰς Rio Salado τοῦ Μεξικοῦ κατασκευασθέντος μὲ κατάστρωμα ἐκ στρογγύλων κεφαλῶν τῶν ἀντηρίδων (Σχ. 132 δ). Τὸ φράγμα τοῦτο φέρει τὴν διάταξιν ὑπερχειλίσεως ἀπ' εὐθείας εἰς τὴν στέψιν αὐτοῦ.

Εἰς τὸ Σχ. 139 δίδεται φράγμα μὲ κατάστρωμα ἐκ θόλων ἐχόντων κατακόρυφον τὸν ἄξονα καὶ τὴν γενέτειρα αὐτῶν. Αἱ ἀντηρίδες ἀπέχουσιν 12.0 μ. ἀπὸ ἄξονος εἰς ἄξονα καὶ συνδέονται μεταξύ των διὰ δοκῶν ἐξοπλισμέ-

νου σκυροδέματος. Λόγῳ τῆς κατακορύφου διατάξεως τῶν θόλων αἱ ἀντηρίδες ἔχουσι μεγάλο πλάτος, ἐξ αὐτῶν δὲ ἐμφαίνεται ἡ σκοπιμότης τῆς διατάξεως τοῦ κεκλιμμένου καταστρώματος.

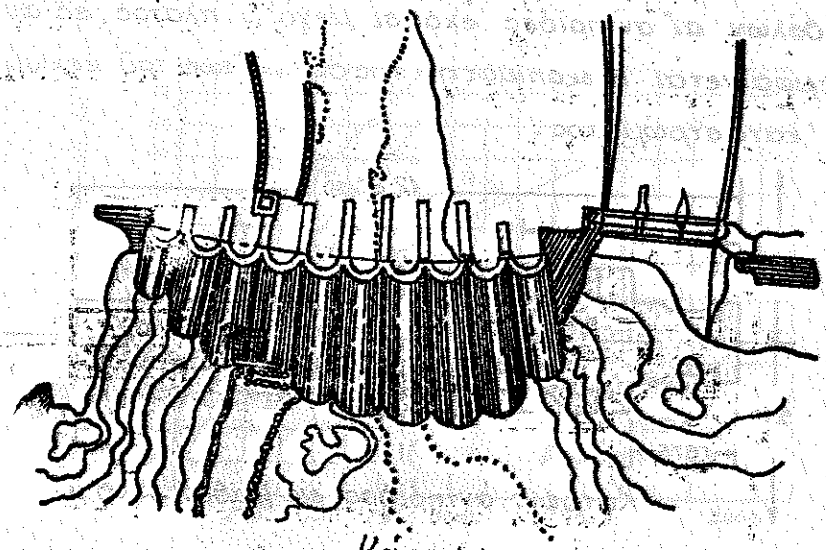


Κάτοψις ἀντηρίδος εἰς βάθος 35,00 μ.

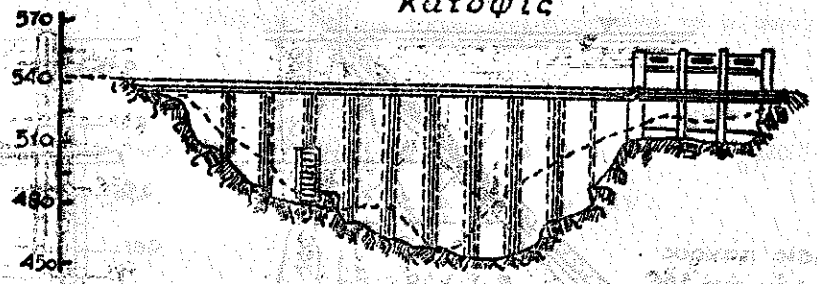


Σχ. 135

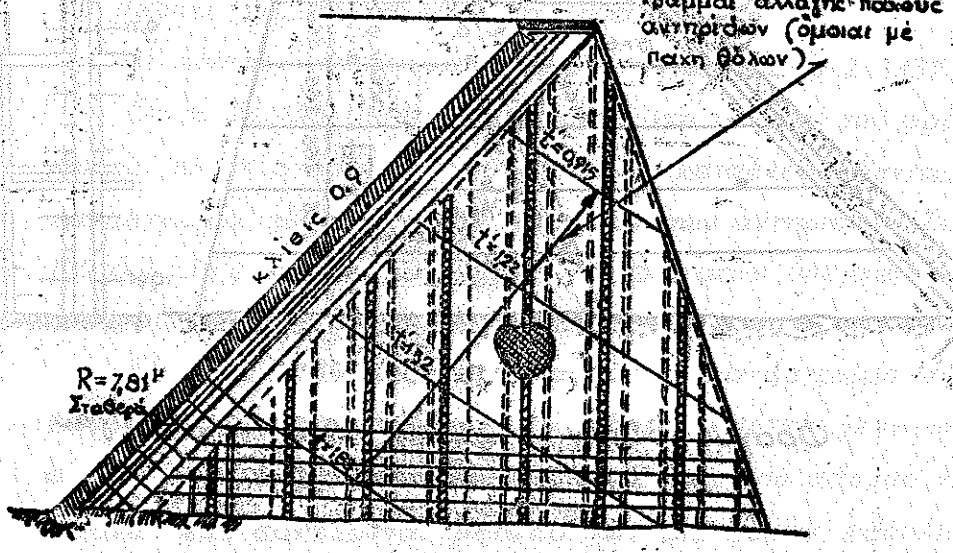
Φράγμα Stony Corge. Ἀντηριδωτὸν φράγμα μὲ ἀμφιέρειστον δοκόν.



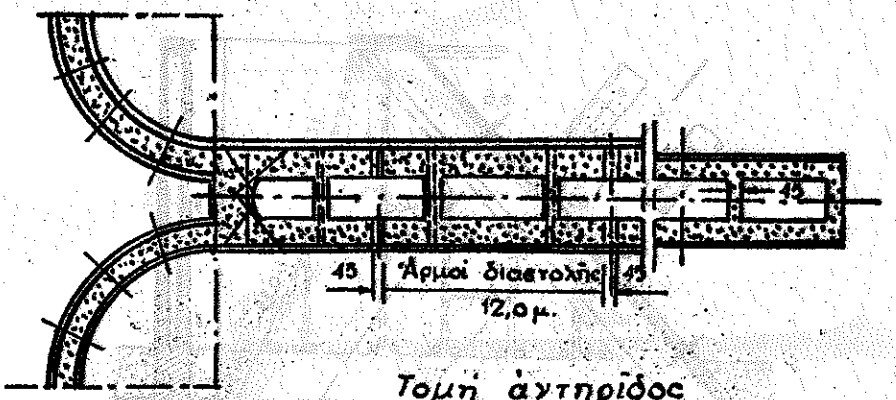
Κάτοψις



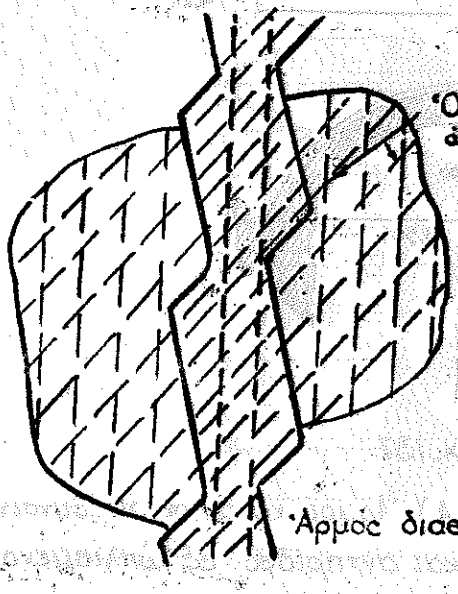
Τομή



Σχ. 136



Τομὴ ἀντηρίδος

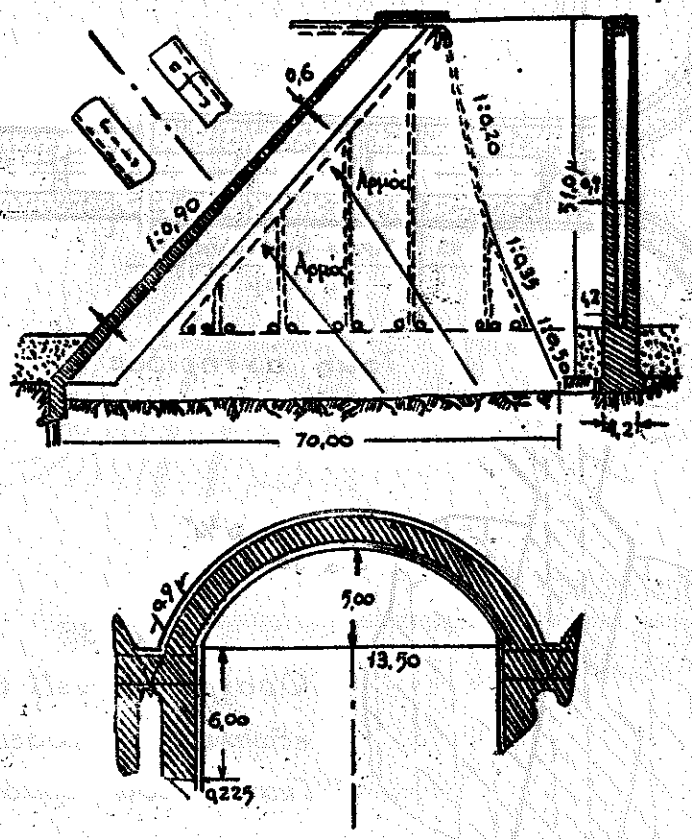


Σχ. 136

Φράγμα Barlett-θολωτὸν ἐξοπλισμ. σκυροδέματος (κατακόρυφοι ἁρμαί).

Εἰς τὸ Σχ. 140 δίδεται ἡ διάταξις τοῦ φράγματος εἰς Kansas-City μικροῦ ὕψους, κατασκευασθέντος ἐξ ὁλοκλήρου ἐκ πλακὸς καὶ σκελετοῦ διὁπροπαχοῦς σκυροδέματος. Εἶναι εὐνόητον ὅτι τοιαῦται κατασκευαὶ δύνανται νὰ περιορισθοῦν οἰκονομικῶς μόνον εἰς μικρὰ ὕψη.

Εἰς τὸ Σχ. 141 δίδεται ἡ τομὴ τοῦ φράγματος Dixence εἰς Ἑλβετίαν ἀποτελούμενον ἀπὸ ὁμοιογενεῖς κυψελωτὰς

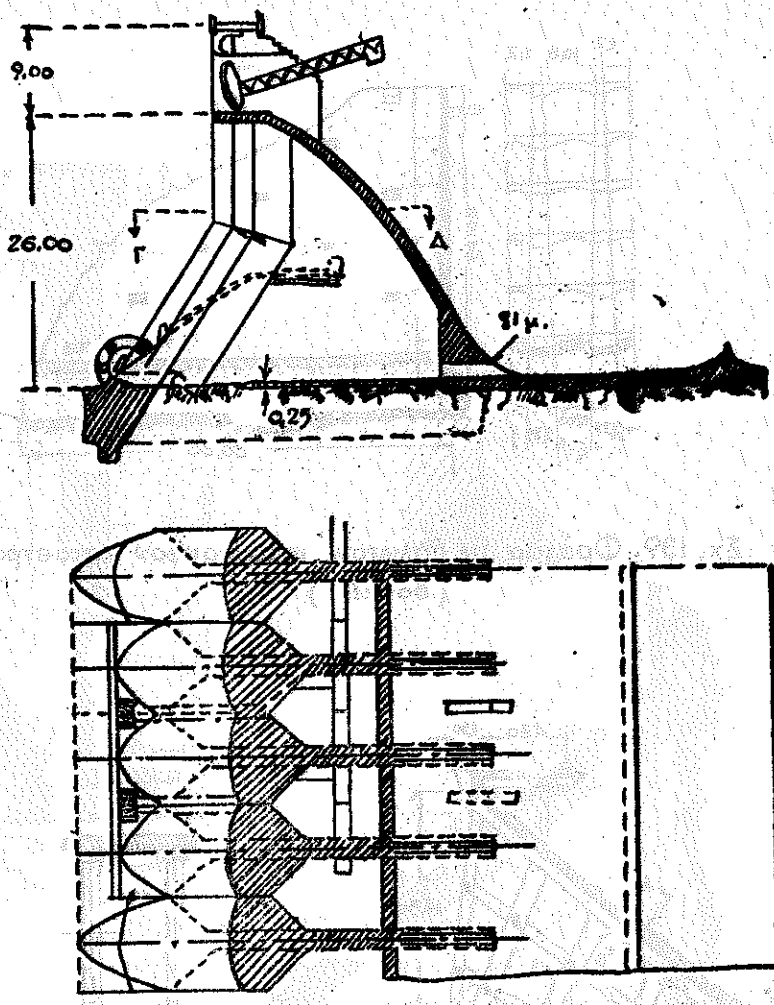


Σχ. 137

Φραγμα Big Dalton (Η.Π.Α). Ἁρμοί κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῶν δυνάμεων. Τόξον καὶ ἀντηρίδες ἐξ ὠπλισμένου σκυροδέματος.

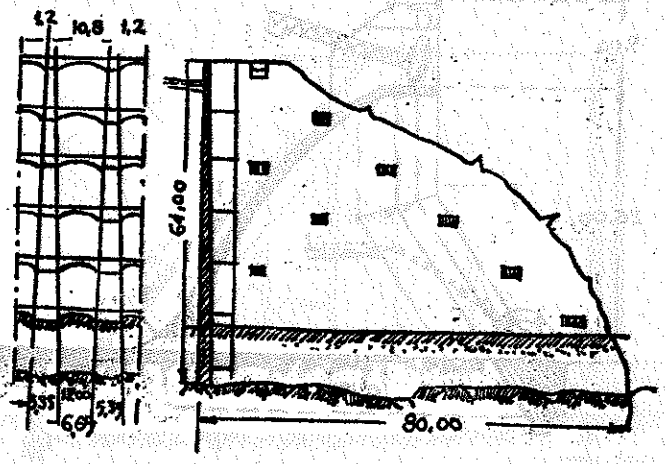
μονάδας κατασκευαζομένας ἐν παραλλήλῳ ἀνεξαρτήτως ἀλλήλων καὶ συνδεομένας διὰ καταλλήλων ἁρμῶν διαστολῆς. Διὰ τοιούτου τύπου ἔργων βαίνομεν πλέον εἰς τὴν διαμόρφωσιν τῶν κυρίως κοίλων φραγμάτων, ὧν ἡ κατασκευὴ εἶναι δυνατὴ εἰς ἐδάφη ἰσχυρᾶς ἀντοχῆς.

Εἰς τὸ Σχ. 142 δίδεται ἡ κάτοψις καὶ ἡ τομὴ παρομοίου τύ-

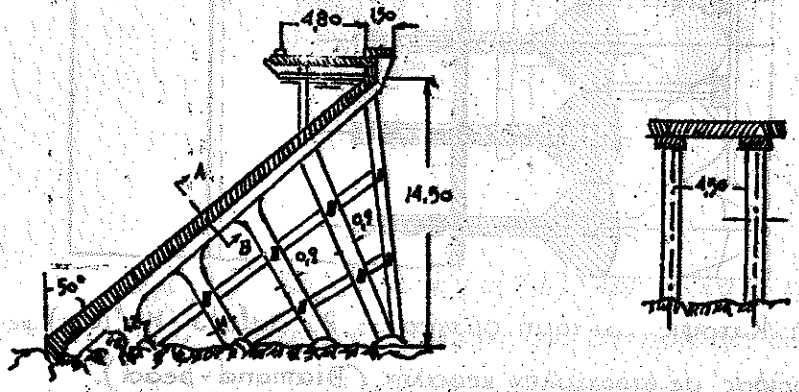


Σχ. 138: Κάτοψις καὶ τομὴ φράγματος Rio Salato (Μεξικόν) φέρον ἀντηρίδας μὲ στρογγύλην κεφαλήν (Diamond-head).

πού φράγματος κατασκευασθέντος εἰς τὸν χειμαρρον Bitto τῆς Ἰταλίας. Αἱ λεπτομέρειαι τῆς κατασκευῆς ἐμφαίνονται εἰς τὸ σχῆμα. Δέον νὰ ἔχῃ τις ὑπ' ὄψιν ὅτι μέγα μέρος τῆς ἐπιτυγχανομένης οἰκονομίας διὰ τῆς ἐλαττώσεως τοῦ ὑλικοῦ δομῆς ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὴν αὔξησιν τοῦ κόστους τῶν ξυλοτύπων, ἰδία εἰς τὸ ἐσωτερικὸν τῆς κυψέλης..



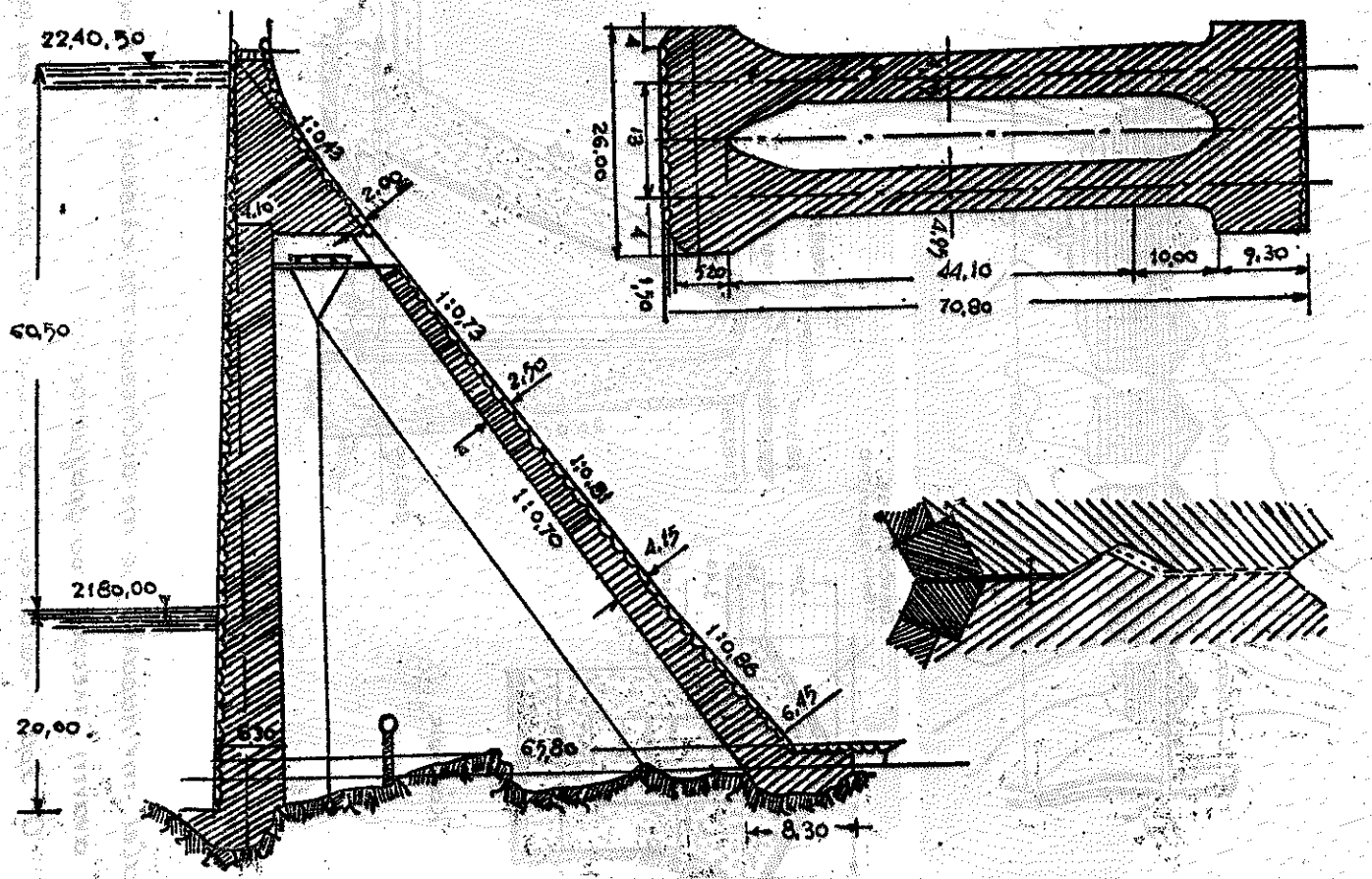
Σχ. 139. Φράγμα μὲ θολωτὸν κατακόρυφον κατάστρωμα (Bonelli)



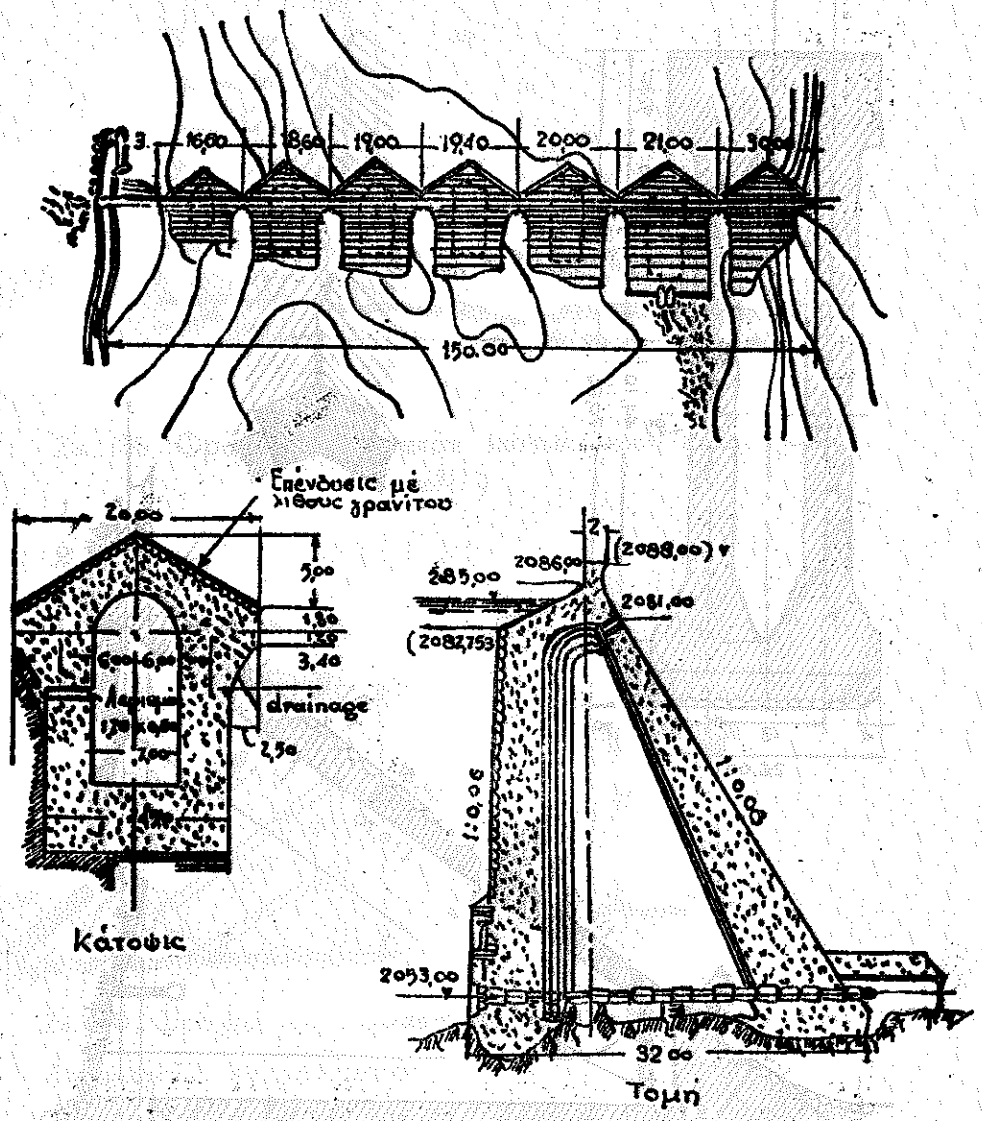
Σχ. 140. Φράγμα εἰς Kansas-City ἐξ ὁλοκλήρου ἐκ σκελετοῦ σιδηροπαγοῦς σκυροδέματος.

Εἰς τὰ Σχ. 143 καὶ 144 δίδονται ἡ κάτοψις καὶ αἱ τομαὶ τοῦ προταθέντος φράγματος Λάδωνος εἰς τὸν ὁμώνυμον ποταμὸν τῆς Πελοποννήσου.

Ὁ τύπος οὗτος συναφῆς πρὸς τὸν τοῦ σχήματος 142 παρου-



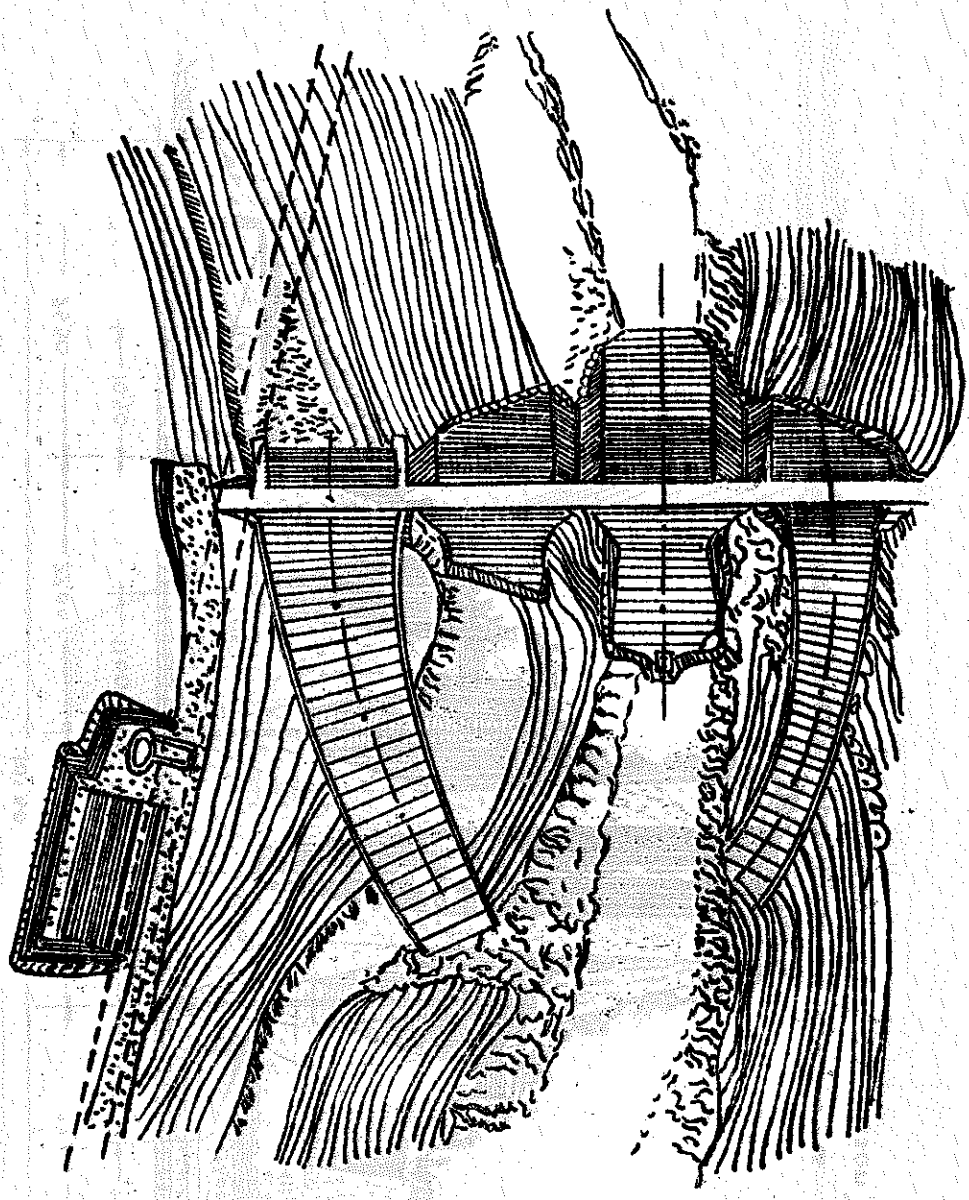
Σχ. 141: Κοίλον φράγμα εἰς Dixence (Ἑλβετίαν) κατασκευασθὲν ἀπὸ ὁμογενεῖς μονάδας (ὡς ἐν τομῇ).



Σχ. 142 - Φράγμα εἰς χείμαρρον Bitto (1ον ἄλμα) Ἰταλίας.

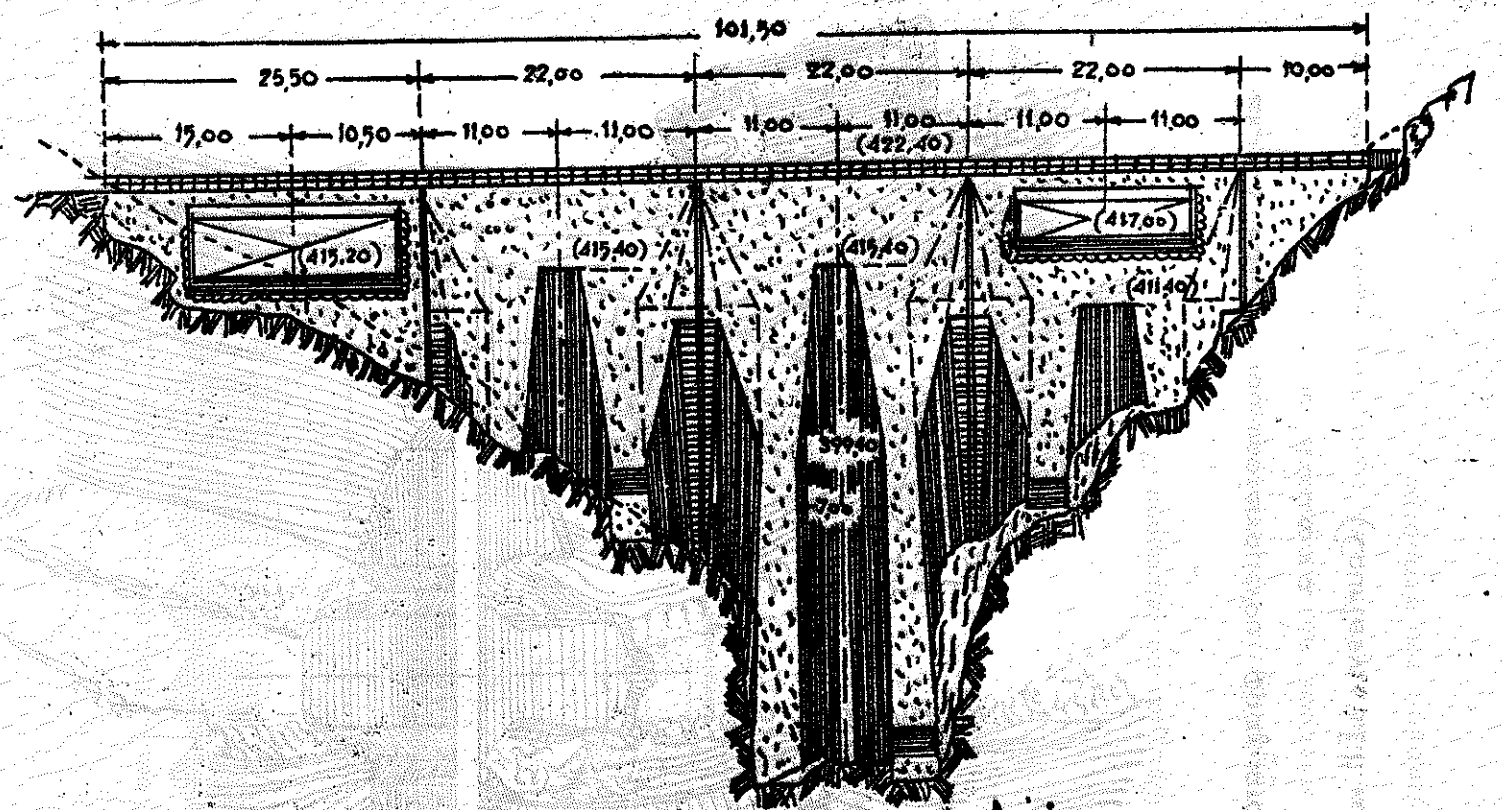
εἰάζει τὴν παραλλαγὴν τῆς αὐξήσεως τῆς κλίσεως τῆς πρὸς τὰ ἀνάντη πλευρᾶς τοῦ φράγματος.

Οἱ ἄρμοι κατασκευῆς καθ' ὕψος εἶναι ὁριζόντιοι καὶ λαμβάνουν τὴν μορφὴν τοῦ σχήματος.

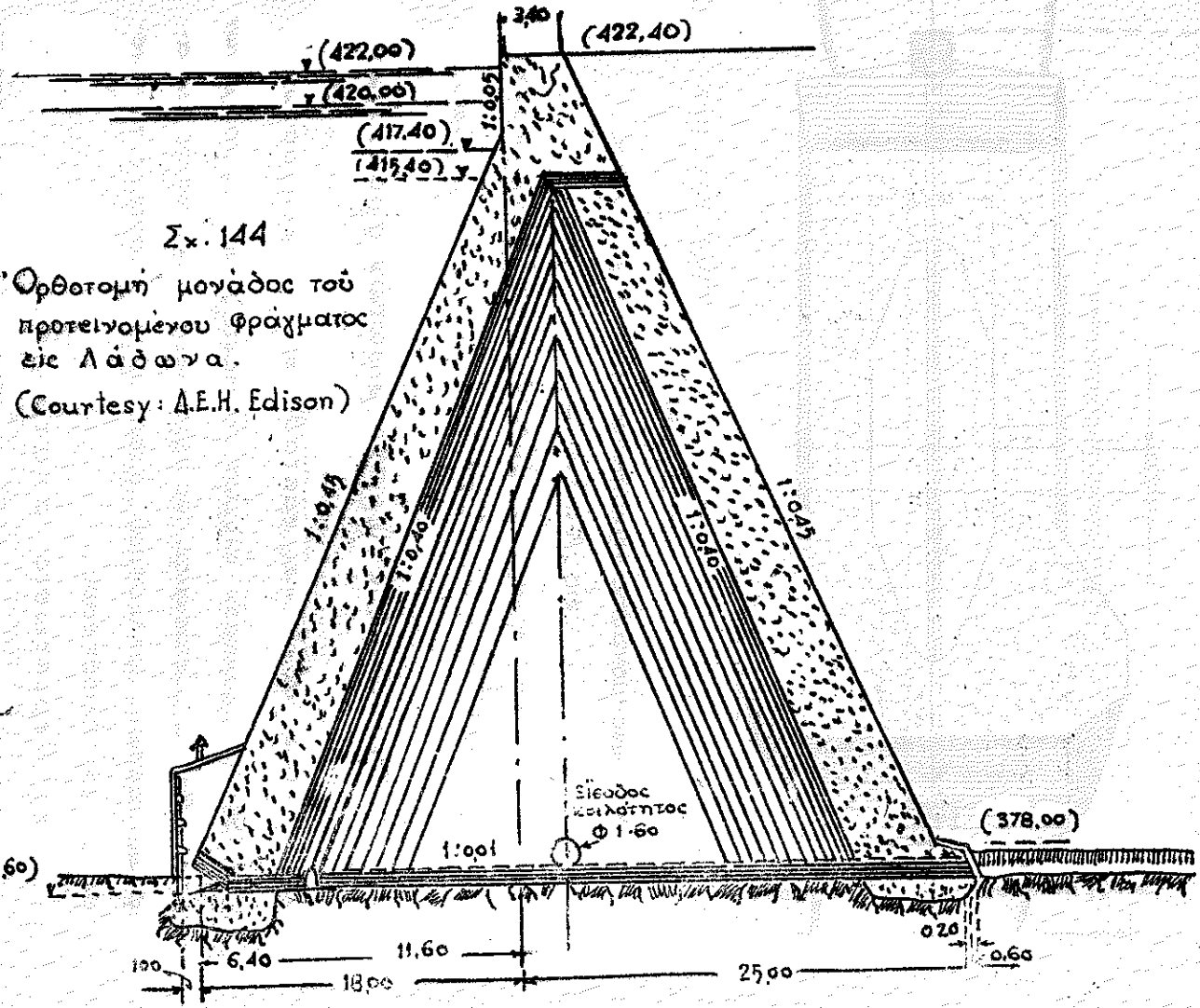


Σχ. 143 Κάτοψις τοῦ προτεινομένου φράγματος εἰς Λάδωνα.

(Courtesy - Δ.Ε.Η. καὶ Edison)



Σχ. 143 Τομή τοῦ προτεινομένου φράγματος εἰς Λάδωνα.
(Courtesy : Δ.Ε.Η. καὶ Edison).

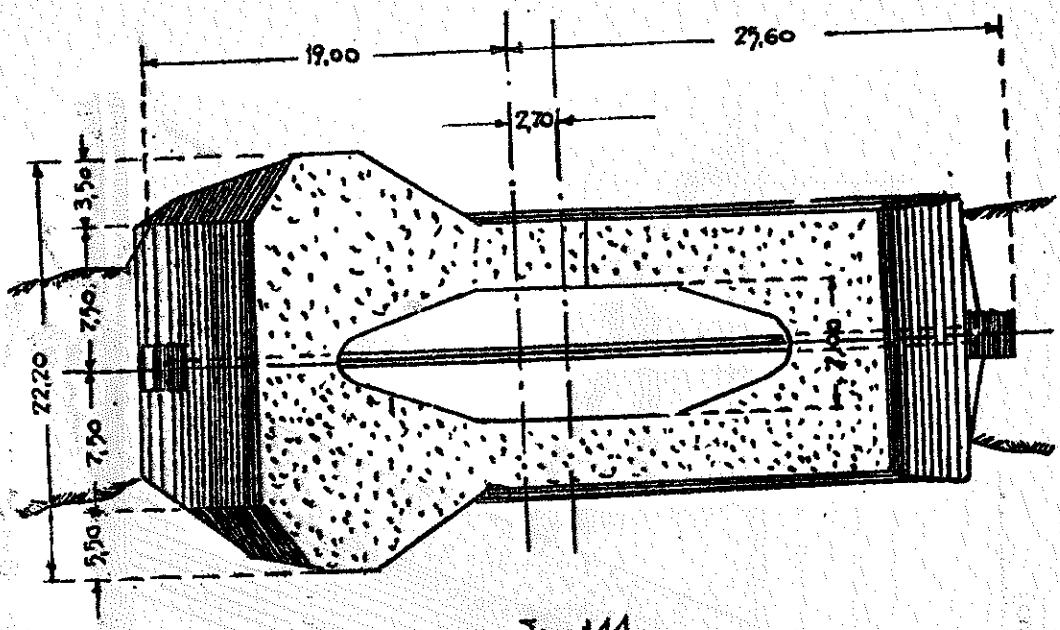


Σχ. 144

Ὀρθοτομὴ μονάδος τοῦ προτεινομένου φράγματος εἰς Λάδωνα.

(Courtesy: D.E.H. Edison)

(Φ. 11)



Σχ. 144.

Κάτοψις μονάδος τοῦ προτεινομένου φράγματος εἰς Λάδωνα.

(Courtesy - Δ.Ε.Η. καί Edison)

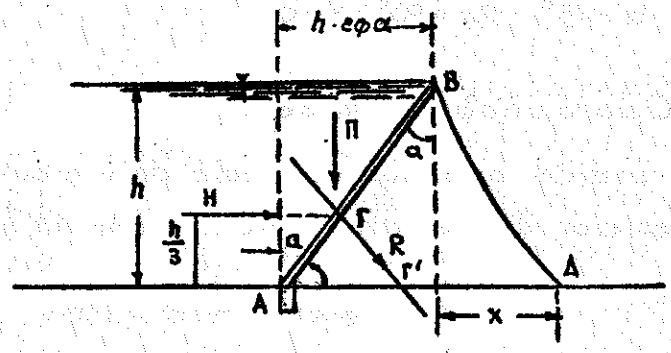
2. Υπολογισμός τῶν ἀντηριδωτῶν φραγμάτων.

2.1: Γενικαί συνθῆκαι εὐσταθείας τῶν φραγμάτων.

Ὡς ἕνα πρόχειρον ἔλεγχον τῆς εὐσταθείας τῶν φραγμάτων δυνάμεθα νά ἐξετάσωμεν τάς περιπτώσεις : ἀνατροπῆς, ἐλλαψεως τάσεων ἐφελκυσμοῦ, ὁμοιομόρφου διανομῆς τῶν πιέσεων καί ὀλισθήσεως.

α) Περίπτωσις ἀνατροπῆς.

Ἔστω τό φράγμα ΑΒΓΔ μέ ἀντηρίδα ΑΒΔ καί τάς πιέσεις $H = \frac{1}{2}\gamma h^2$ καί $\pi = \frac{1}{2}\gamma h^2$ εφα. Ἡ συνισταμένη R ὰ



Σχ. 145

ἔχῃ τὴν τιμήν :

$$R = \sqrt{H^2 + \Pi^2} = \frac{1}{2}\gamma h^2\left(\sqrt{1+\varepsilon\varphi^2\alpha}\right) = \frac{\gamma h^2}{2\,\text{συν}\,\alpha}$$

Λαμβάνοντες τὰς ροπὰς ὡς πρὸς Δ (παραλείποντες τὸ ἴδιον βάρος τῶν ἀντηρίδων) ἔχομεν :

$$H\cdot\frac{h}{3} < \Pi\left(x + \frac{2}{3}h\,\varepsilon\varphi\alpha\right) \quad \text{ἤτοι :}$$

$$\frac{x}{h} \geqslant \frac{1-2\,\varepsilon\varphi^2\alpha}{3\,\varepsilon\varphi\alpha}$$

β') Ἔλλειψις τάσεων ἐφελκυσμοῦ.

Διὰ νὰ μὴ ὑπάρξουν τάσεις ἐφελκυσμοῦ εἰς τὴν διατομὴν τῆς κοίτης, δέον ἡ συνισταμένη R νὰ διέρχεται διὰ τοῦ πυρῆνος τῆς βάσεως ἤτοι :

$$A\Gamma' \leqslant \frac{2}{3}\left(h\,\varepsilon\varphi\alpha + x\right)$$

ἀλλὰ ἐπειδή : $A\Gamma = \frac{1}{3}\cdot\frac{h}{\text{συνα}}$ καὶ $A\Gamma' = \frac{A\Gamma}{\eta\mu\alpha} = \frac{h}{3\,\text{συνα}\,\eta\mu\alpha}$, ἕπεται

$$\frac{h}{3\,\text{συνα}\,\eta\mu\alpha} \leqslant \frac{2}{3}\left(h\cdot\varepsilon\varphi\alpha + x\right) \quad \text{ἤτοι :}$$

$$\frac{x}{h} \geqslant \frac{1-\varepsilon\varphi^2\alpha}{2\,\varepsilon\varphi\alpha} = \frac{1}{\varepsilon\varphi^2\alpha}$$

ήτοι διά $\alpha = 45^\circ$, $2\alpha = 90^\circ$ $x = 0$

γ) Ὁμοιόμορφος πίεσις.

Ἵνα ὑπάρξῃ ὁμοιόμορφος πίεσις δέον ἡ συνισταμένη R νά διέρχεται διά τοῦ μέσου τῆς διατομῆς ΑΔ ἤτοι :

$$A\Gamma' = \frac{1}{2}\,(h\,\varepsilon\varphi\alpha + x)$$ ἤτοι:

$$\frac{x}{h} = \frac{2-\varepsilon\varphi^2\alpha}{3\varepsilon\varphi\alpha}$$ διά $\alpha = 45^\circ$ $\frac{x}{h} = \frac{1}{3}$ $x = \frac{b}{4}$ $b = \frac{4}{3}h$

δ) Συνθήκη ὀλισθήσεως.

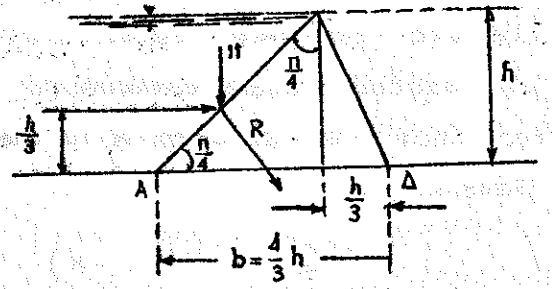
Πρός ἀποφυγήν ὀλισθήσεως δέον $\frac{H}{\Pi} < \varepsilon\varphi.\varphi$ ἤ

$\varepsilon\varphi.\alpha < \varepsilon\varphi.\varphi$

Ἐάν ἤδη εἰσαγάγωμεν καί τό βάρος τῆς ἀντηρίδος ἴσον μέ τό $\frac{1}{3}$ τῆς κατακορύφου πιέσεως Π, θά ἔχωμεν :

$\varepsilon\varphi.\varphi = 0{,}75$ $\varepsilon\varphi.\alpha < 1$ ἄρα $\alpha = 45^\circ$

Τελικῶς πρός ἱκανοποίησιν τῶν ἄς ἄνω τεσσάρων συνθηκῶν εὐσταθείας τῶν ἀντηρίδων, δέχεται ὁ Bourgin τήν κάτωθι ἰδεώδη διατομήν αὐτῶν, ἔνθα :



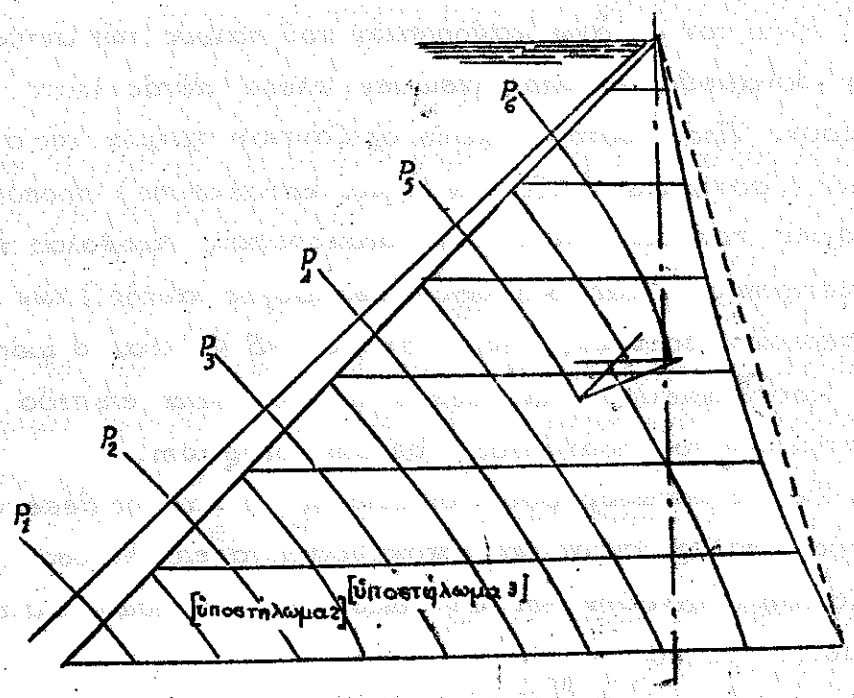
$\alpha = \frac{\pi}{4}$

$b = \frac{4}{3}\,h$

Σχ. 146. Εὐστάθεια ἀντηριδωτοῦ φράγματος.

2·2 Γραφικοαναλυτικός ὑπολογισμός τῶν τάσεων τῶν ἀντηρίδων.

Διά τόν πρῶτον, κατά προσέγγισιν, καθορισμόν τῶν διαστάσεων τῶν ἀντηρίδων, ἐκκινοῦμεν ἐκ τῆς παραδοχῆς ὅτι αἱ πιέσεις τοῦ ὕδατος παραλαμβάνονται ὑπό διαδοχικῶν καμπύλων ὑποστηλωμάτων ἅτινα ἐφάπτονται ἀλλήλων καί ἔχουσιν ἐχεδόν ἀποκλειστικῶς, εἰς τήν διατομήν αὐτῶν, κυρίας τάσεις κατά τήν τροχιάν τῶν δυνάμεων καί καθέ-



Σχ. 147 Διάταξις ἀντηρίδος εἰς ὑποστηλώματα

τους τάσεις ἴσας πρός τό μηδέν. Εἰς τό Σχ. 147 δίδεται ἡ διάταξις αὕτη ἀντηρίδος κατά ὑποστηλώματα καί ὁ τρόπος μεταβιβάσεως τῶν δυνάμεων.

Ἵνα ἡ βασική αὕτη θεωρία ἰσχύει καί εἰς τήν πρᾶξιν,

εἰς τὰς θεωρητικὰς θέσεις τῶν ὑποστηλωμάτων κατασκευάζομεν ἐνίοτε ἁρμοὺς διαστολῆς, ὥστε νὰ μὴ μεταδίδωνται τάσεις ἐγκαρσίως πρὸς αὐτούς.

Οἱ ἁρμοὶ οὗτοι διευκολύνουν ἐπὶ πλέον τὴν ἐλάττωσιν τῶν τάσεων ἐξ ὑποχωρήσεως τοῦ ἐδάφους ἢ ἀλλαγῆς θερμοκρασίας καὶ διευκολύνουν τὴν κατασκευήν. Εἰς τὸ Σχ. 136 ἐμφαίνονται αἱ γραμμαὶ ἀλλαγῆς τοῦ πάχους τῆς ἀντηρίδος βαίνουσα καθέτως εἰς τὸ κατάστρωμα, εἰς δὲ τὸ Σχ.137 ἐμφαίνονται οἱ ἁρμοὶ διαστολῆς βαίνοντες κατὰ τὰς διευθύνσεις ταύτας.

Μετὰ τὸν ὡς ἄνω καθορισμὸν τοῦ πάχους τῶν ἀντηρίδων δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν πλέον αὐτὰς λεπτομερέστερον. Πρὸς τοῦτο εἰς κάθε ὁριζόντιον τμῆμα τῆς ἀντηρίδος (συνήθως ὁριζόντιοι ἁρμοὶ κατασκευῆς) προσδιορίζομεν τὰς ὁριζοντίας καὶ κατακορύφους προβολὰς τῆς συνισταμένης (καὶ τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς αὐτῆς) τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων. Εἰς τὸ σχῆμα 148 δίδεται ὁ τρόπος τοῦ προσδιορισμοῦ τῶν τάσεων εἰς ὁριζόντια ἐπίπεδα τῶν ἀντηρίδων τοῦ φράγματος Possum Bingdom.

Ἐκ τῆς κατακορύφου συνιστώσης N καὶ τῆς θέσεως αὐτῆς ὑπολογίζονται αἱ κατακόρυφοι τάσεις ἔχουσαι τραπεζοειδῆ διανομὴν ἐπὶ τῶν ὁριζοντίων ἐπιπέδων διὰ τοῦ γνωστοῦ τύπου:

$$\sigma_z = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{J} h$$ ἔνθα $M = N \cdot e$ καὶ e ἡ ἐκκεντρότης

Ἐκ παραλλήλου δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὰς ὁριζοντίας κυρίας τάσεις σ_x ὡς καὶ τὰς ὁριζοντίας διατμητικὰς δυνάμεις τ.

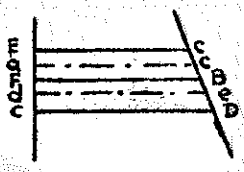
Οὕτω μεταξὺ δύο ὁριζοντίων ἐπιπέδων EC καὶ F8 ἐχόντων πλάτος ἀντηρίδος b_1 καὶ b_2 καὶ βάρος σκυροδέ-

ματος W_m ἡ ὁλικὴ διατμητικὴ τάσις θά εἶναι :

$$V = \sum_{C}^{E} b_1 \cdot \sigma_z \cdot \Delta x \cdot W_m - \sum_{B}^{F} b_2 \cdot \sigma_z \cdot \Delta x \qquad (78)$$

ἡ τάσις I_{xy} θά ἰσοῦται μέ τόν μέσον ὅρον τῶν τάσεων δύο διαδοχικῶν πρισμάτων ECFB καί FBDG.

Ἐκ παραλλήλου τό πρίσμα acde εὑρίσκεται ὑπό τήν ἐπήρειαν τῶν ὁριζοντίων διατμητικῶν τάσεων (ἴσην πρός τάς ὡς ἄνω κατακορύφους διατμητικάς τάσεις) ἡ διαφορά τῶν ὁποίων διδει τήν ὁριζοντίαν δύναμιν:



$$N_x = \sum_{C}^{\alpha} b_3 \tau_{xy} \cdot \Delta x - \sum_{e}^{d} b_4 \tau_{xy} \Delta x \qquad (79)$$

ἔνθα b_3 καί b_4 πλάτος τῆς ἀντηρίδος καί ac καί de. Ἡ μέση τιμή τῆς σ_x ἔσται τώρα

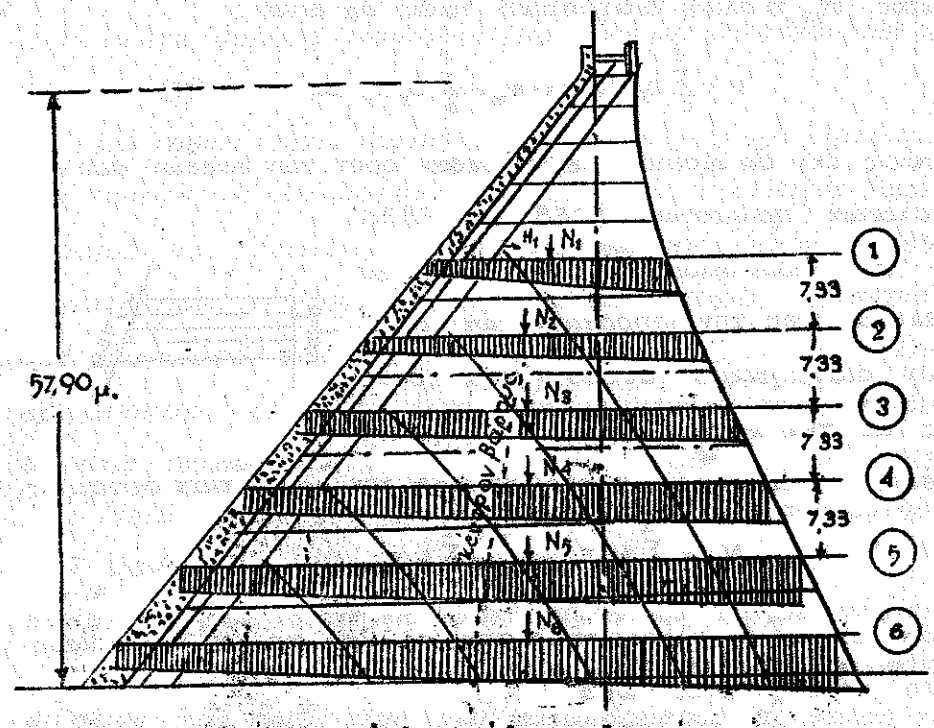
$$\sigma_x = \frac{N_x}{ac\,d} \qquad (80)$$

Ἤδη ὑπολογίζονται αἱ κύριαι τάσεις σ_1 καί σ_2 ἐκ τῶν κύκλων τοῦ Mohr ἤ ἀναλυτικῶς τῇ βοηθείᾳ τῶν ὡς ἄνω τάσεων σ_z , σ_x , τ_{xy} , διά τῶν ἐξισώσεων :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xy}^2} \qquad \varepsilon\varphi 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_y - \sigma_z} \qquad (9)$$

Εἰς τό Σχ. 148 δίδονται αἱ κάθετοι τάσεις εἰς τά ὁριζόντια ἐπίπεδα , αἱ ὀρθαί (N) καί ὁριζόντιοι δυνάμεις (H) εἰς ἕνα ἕκαστον ἐξ αὐτῶν ὡς καί ὁ συντελεστής ὀλισθήσεως f δι' ἕκαστον ἐπίπεδον. Ἐν συνεχείᾳ ὑπολογίζεται ἡ διατμητική τάσις εἰς τό ἐπίπεδον τ.



Σχ. 148 : Τάσεις εἰς ἀντηρίδας τοῦ φράγματος Possom Ringdom

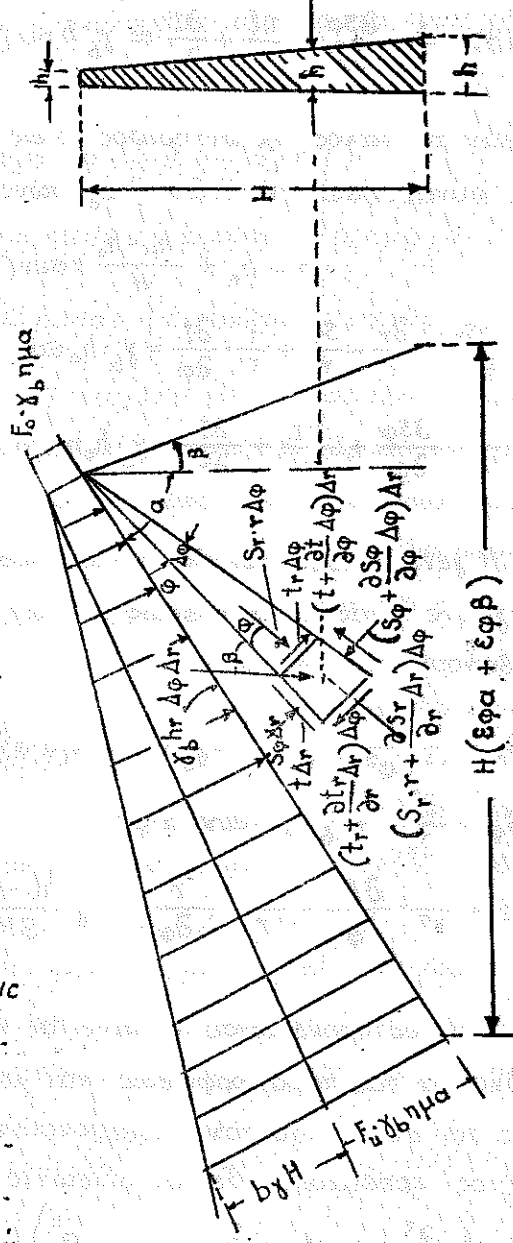
Θέσεις	1	2	3	4	5	6	
Τάσεις σ_z: ἀνάντη	3,52	4,55	8,55	6,30	6,40	6,45	Kg/cm^2
κατάντη	10,40	8,55	10,33	12,70	15,0	17,3	
Ὀρθαὶ δυνάμεις N	3,12	6,20	10,05	15,28	20,30	26,19	10^3 ton
Ὁριζόντιαι ὠθήσεις H	1,80	3,65	6,15	9,15	12,19	15,2	10^3 ton
Ἐκκεντρότης e	19,0	17,0	18,0	20,15	34,15	45,0	cm
Διατμητικὴ τάσις	–	–	4,34	–	–	–	Kg/cm^2

Στατικὰ στοιχεῖα τοῦ φράγματος τοῦ Σχ. 148

2.3 Ἀναλυτικὸς ὑπολογισμὸς τῶν ἀντηρίδων.

Ὁ προσδιορισμὸς τῶν τάσεων εἰς τὰς ἀντηρίδας δύναται νὰ γίνῃ καὶ ἀπ' εὐθείας ἀναλυτικῶς, εἶναι ὅμως ἡ μέθοδος αὕτη ἐπίπονος καὶ πολύπλοκος πλὴν χρήσιμος ἐφ' ὅσον ἐφαρμόζηται συχνά. Ἀκολούθως δίδεται ἐν συντομίᾳ ἡ μέθοδος αὕτη.

Εἰς τὸ σῶμα τῆς ἀντηρίδος λαμβάνομεν ἕνα διαφορικὸν πρίσμα διαστάσεων $(\Delta r)(r\Delta\varphi)$ ὡς ἐν τῷ σχήματι 149, καὶ ζητοῦμεν τὰς εἰς αὐτὸ ἐνεργούσας τάσεις καὶ ἐξωτερικὰς δυνάμεις.



Σχ. 149 Ἀναλυτικὸς ὑπολογισμὸς τῶν τάσεων εἰς ἀντηρίδας

Αἱ ἐξισώσεις ἰσορροπίας διὰ τὸ διαφορετικὸν τοῦτο πρίσμα θὰ ἔχουσιν ὡς ἀκολούθως, ἐὰν ἀντὶ τῶν τάσεων σ καὶ τ εἰσαγάγωμεν τὰς ἐπὶ τὸ πάχος τοῦ πρίσματος πολλαπλασιασθείσας δυνάμεις S καὶ t:

$$\left.\begin{aligned}(\alpha)\quad & \frac{\partial S_r}{\partial r}+\frac{S_r}{r}-\frac{S\varphi}{r}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial t}{\partial \varphi}=\gamma_b\cdot h\,\text{συν}(\alpha-\varphi)\\ (\beta)\quad & \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial S\varphi}{\partial \varphi}+\frac{2t}{r}+\frac{\partial t}{\partial r}=\gamma_b\, h\,\eta\mu(\alpha-\varphi)\end{aligned}\right\}\quad (81)$$

καὶ ἐὰν τὸ πάχος τῆς ἀντηρίδος h εἰς τὴν ὑπ' ὄψιν θέσιν ἐκφραζεται συναρτήσει γνωστῶν μεγεθῶν:

$$h=h_o+\frac{h_u-h_o}{H}\,r\,\text{συν}(\alpha-\varphi)$$ θὰ ἔχωμεν

$$\begin{cases}(\alpha)\ \dfrac{\partial S_r}{\partial r}+\dfrac{\partial r}{r}-\dfrac{S\varphi}{r}+\dfrac{1}{r}\cdot\dfrac{\partial t}{\partial \varphi}=\gamma_b\cdot h_o\,\text{συν}(\alpha-\varphi)+\gamma_b\dfrac{h_u\cdot h_o}{2H}\,r\left(1+\text{συν}2(\alpha-\varphi)\right)\\ (\beta)\ \dfrac{1}{r}\cdot\dfrac{\partial S\varphi}{\partial \varphi}+\dfrac{2t}{r}+\dfrac{\partial t}{\partial r}=\gamma_b\cdot h_o\eta\mu(\alpha-\varphi)+\gamma_b\cdot\dfrac{hu-h_o}{2H}\,r\cdot\eta\mu 2(\alpha-\varphi)\end{cases}$$

Ἡ γενικὴ λύσις τῶν ὡς ἄνω ἐξισώσεων ἐπιτυγχάνεται διὰ τῆς εἰσαγωγῆς μιᾶς συναρτήσεως $F(r\cdot\varphi)$, ὁπότε αἱ ὡς ἄνω τάσεις λαμβάνουν τὴν ἔκφρασιν :

$$(82)\quad \begin{cases}S_r=\dfrac{1}{r^2}\cdot\dfrac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}+\dfrac{1}{r}\cdot\dfrac{\partial F}{\partial r}+\gamma_b h_o\cdot r\cdot\text{συν}(\alpha-\varphi)+\gamma_b\dfrac{h_u-h_o}{12H}r^2\left(2+3\text{συν}2(\alpha-\varphi)\right)\\ S_\varphi=\dfrac{\partial^2 F}{\partial r^2}+\gamma_b h_o r\cdot\text{συν}(\alpha-\varphi)\\ t=\dfrac{1}{r^2}\cdot\dfrac{\partial F}{\partial \varphi}-\dfrac{1}{r}\cdot\dfrac{\partial^2 F}{\partial r\partial \varphi}+\gamma_b\dfrac{hu-h_o}{SH}\,r\,\eta\mu\cdot 2(\alpha-\varphi)\end{cases}$$

Ἐπὶ τοῦ προκειμένου ἀπαιτεῖται ἤδη ἡ διαφορικὴ ἐξίσωσις συνδέουσα τὰς παραμορφώσεις καὶ μετακινήσεις τοῦ δίσκου. Πρὸς τὸν σκοπὸν τοῦτον χρησιμοποιεῖται ἡ διὰ τὰ φράγματα βαρύτητος χρησιμοποιηθεῖσα ἐξίσωσις :

$$(83)\quad \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right)\left(\frac{\partial^2 F}{\partial r^2}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial F}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}\right)=0$$

Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην τὸ πλάτος τῶν δίσκων (τῶν ἀντηρίδων) θεωρεῖται σταθερόν, ὅπερ, ὡς ἐλέχθη δὲν ἀνταποκρίνεται συνήθως

εἰς τὴν πραγματικότητα. Ἡ οὕτω προκύπτουσα διαφορὰ δὲν εἶναι μεγάλη. Διὰ τὴν ὁλοκληρωτικὴν λύσιν τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως χρησιμοποιεῖται ἐπαρκὴς ἡ ἀκόλουθος ἰδιάζουσα λύσις τῆς ἐξισώσεως (83) ἔχουσα 12 αὐθαιρέτους σταθεράς:

$$F=r^2\left[\frac{1}{2}a_1\sigma\upsilon\nu 2\varphi+\frac{1}{2}a_2\eta\mu 2\varphi+\frac{1}{2}a_3+\frac{1}{2}a_4\cdot\varphi\right]+$$
$$+r^3\left[\frac{1}{6}b_1\sigma\upsilon\nu 3\varphi+\frac{1}{2}b_2\eta\mu 3\varphi+\frac{1}{2}b_3\sigma\upsilon\nu\varphi+\frac{1}{2}b_4\eta\mu\varphi\right]+$$
$$+r^4\left[\frac{1}{12}c_1\sigma\upsilon\nu 4\varphi+\frac{1}{12}c_2\eta\mu 4\varphi+\frac{1}{3}c_3\sigma\upsilon\nu 2\varphi+\frac{1}{3}c_4\eta\mu 2\varphi\right]$$

Ἡ ὡς ἄνω συνάρτησις (84) εἰσάγεται ἤδη εἰς τὰς ἐξισώσεις (82) καὶ τοιουτοτρόπως ἐκφράζονται αἱ δυνάμεις S_r, S_φ καὶ ἡ συναρτήσει τῶν 12 σταθερῶν καὶ τῶν λοιπῶν δεδομένων στοιχείων τοῦ φράγματος. Ὁ προσδιορισμὸς τῶν σταθερῶν ἐπιτυγχάνεται διὰ τοῦ ὑπολογισμοῦ τῶν ὁριακῶν συνθηκῶν προκύπτουσι δὲ αὗται ὡς συναρτήσεις τῶν δεδομένων α, β, F_o, γ_b, h_u, h_o καὶ H. Δι' εἰσαγωγῆς αὐτῶν εἰς τὰς ἐξισώσεις (82) εὑρίσκομεν τὰς τάσεις εἰς οἱονδήποτε σημεῖον τοῦ σώματος τῆς ἀντηρίδος.

(Λεπτομερῆς ἀνάλυσις τῶν λίαν ἐκτεταμένων τύπων δίδεται ὑπὸ τοῦ Tölke εἰς τὸ βιβλίον αὐτοῦ Talsperren, Berlin 1938 σελ. 565 κ.ἑ.ἐ).

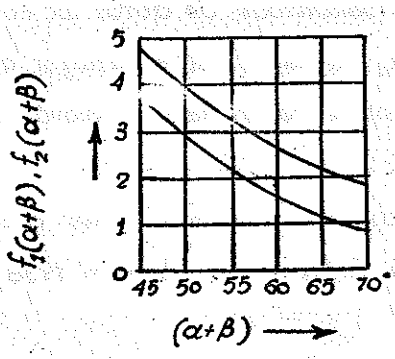
Εἰδικῶς διὰ τὰς ἀκραίας τιμὰς τῶν τάσεων εἰς τοὺς πόδας τοῦ φράγματος (πρὸς τὰ ἀνάντη καὶ κατάντη τῆς ἀντηρίδος) καταλήγει ὁ Tölke, διὰ πεπληρωμένην δι' ὕδατος λίμνην εἰς τοὺς τύπους:

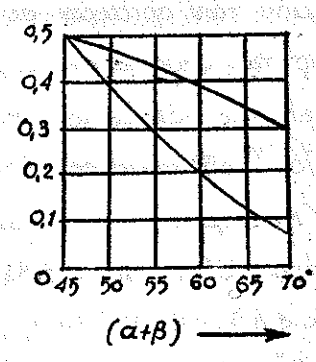
$$mm\,\sigma_r^{\text{ἀνάντη}}=-\frac{F_o}{h_u}\gamma_b\cdot f_1(\alpha+\beta)\eta\mu\alpha-\left(\frac{F_u\cdot F_o}{h_u}\gamma_b\cdot\eta\mu\alpha+\frac{HL}{h_u}\gamma\right)f_3(\alpha+\beta)+$$
$$+2H\frac{h_o}{h_u}\cdot\frac{\gamma_b}{\sigma\upsilon\nu\alpha}\left[f_3(\alpha+\beta)\sigma\upsilon\nu\alpha-f_4(\alpha+\beta)\sigma\upsilon\nu\beta\right]+$$
$$+\frac{H}{4}\left(1-\frac{h_o}{h_u}\right)\frac{\gamma_b}{\sigma\upsilon\nu^2\alpha}\left[\frac{2}{3}+\sigma\upsilon\nu 2\alpha-f_6(\alpha+\beta)\eta\mu 2\alpha+f_7(\alpha+\beta)\eta\mu 2\beta\right]\qquad(85)$$

$$(86)\begin{cases} \max\Theta_r^{\text{κατάντη}} = +\dfrac{F_o}{h_u}\gamma_b f_2(\alpha+\beta)\eta\mu\alpha + \dfrac{2\sigma\upsilon\nu\alpha}{\sigma\upsilon\nu\beta}\left(\dfrac{F_u - F}{h_u}\gamma_b \cdot \eta\mu\alpha + \dfrac{HL}{h_u}\gamma\right) f_4(\alpha+\beta) + \\ \quad + 2H\dfrac{h_o}{h_u}\cdot\dfrac{\gamma_b}{\sigma\upsilon\nu\beta}\left[f_5(\alpha+\beta)\sigma\upsilon\nu\beta - f_4(\alpha+\beta)\sigma\upsilon\nu\alpha\right] + \\ \quad + \dfrac{H}{4}\left(1-\dfrac{h_o}{h_u}\right)\dfrac{\gamma_b}{\sigma\upsilon\nu^2\beta}\left[\dfrac{2}{3} + \sigma\upsilon\nu 2\beta - f_6(\alpha+\beta)\eta\mu 2\beta + f_7(\alpha+\beta)\eta\mu 2\alpha\right] \end{cases}$$

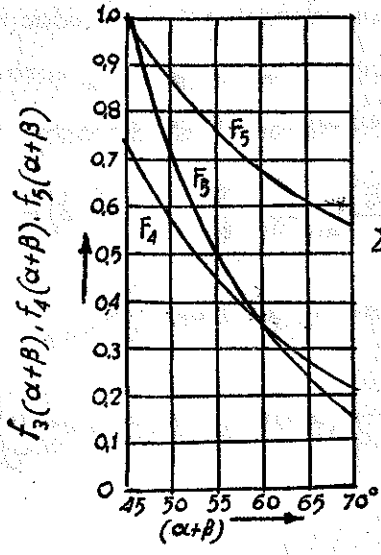
Εἰς τὰς ἐξισώσεις ταύτας οἱ ὅροι F_u καὶ F_o παριστάνουν τὴν διατομὴν τοῦ εἰς τὰς ἀντηρίδας στηριζομένου καταστρώματος (F_u εἰς τὸ κάτω ἄκρον F_o εἰς τὸ ἄνω).

Αἱ παραστάσεις $f_1(\alpha+\beta)$, $f_2(\alpha+\beta)$, $f_3(\alpha+\beta)$, $f_4(\alpha+\beta)$, $f_5(\alpha+\beta)$, $f_6(\alpha+\beta)$, $f_7(\alpha+\beta)$ εἶναι συναρτήσεις τῶν γωνιῶν α καὶ β (βλέπε Σχ. 150) καὶ δίδονται γραφικῶς εἰς τὸ Σχ. 151. Τὸ μέγεθος L δίδει τὴν μεταξὺ τῶν ἀντηρίδων ἀπόστασιν.





Σχ. 150



Σχ. 151

Ἔστω παράδειγμα ἀντηριδωτοῦ φράγματος ὕψους $H = 60\mu$. μὲ ἀποστάσεις ἀντηρίδων $L = 20,0\mu.$, πάχος ἀντηρίδων $h_o = 1,0$. $h_u = 4,0\mu.$ γωνίαν $\alpha = 40°$ καὶ βάρη $\gamma_b = 2,4\ t/m^3$ καὶ $\gamma = 1,0\ t/m^3$.

Τὸ κατάστρωμα ἀποτελεῖται ἀπὸ θόλους πάχους

$d_o = 0,6\,\mu$. εἰς τὴν στέψιν καὶ $d_u = 1,5\,\mu$. εἰς τὴν βάσιν ἐχοντας ἀκτῖνα $8,75\,\mu$. καὶ γωνίαν $180°$ τότε :

$$F_o = 0,6 \cdot 8,75\,\pi = 16,5\,\mu^2$$

$$F_u = 1,5 \cdot 8,75\,\pi = 41,2\,\mu^2$$

Ἤδη αἱ ὡς ἄνω ἐξισώσεις (85) καὶ (86) λαμβάνουν τὰ τιμάς:

$$\min \sigma_r^{\text{ἀνάντη}} = -6,37 f_1 - 309,5 f_3 + 72,0\left(f_5 - \frac{\sigma\upsilon\nu\beta}{\sigma\upsilon\nu\alpha} f_4\right) +$$

(87)

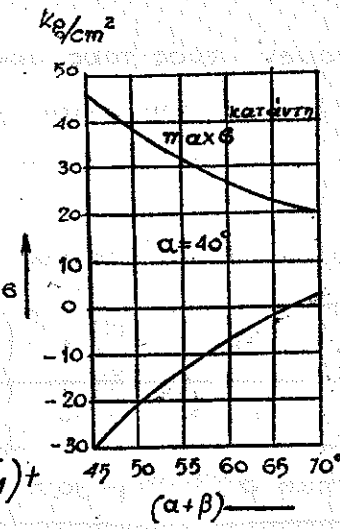
$$+ 46,1\left(\frac{2}{3} + \sigma\upsilon\nu 2\alpha - f_6\,\eta\mu 2\alpha + f_7\,\eta\mu 2\beta\right)$$

$$\max \sigma_r^{\text{κατάντη}} = +6,37 f_2 + 619\,\frac{\sigma\upsilon\nu\alpha}{\sigma\upsilon\nu\beta} f_4 + 72\left(f_5 - \right.$$

$$\left. - \frac{\sigma\upsilon\nu\alpha}{\sigma\upsilon\nu\beta} f_4\right) +$$

(88)

$$+ 461\left(\frac{\sigma\upsilon\nu\alpha}{\sigma\upsilon\nu\beta}\right)^2\left(\frac{2}{3} + \sigma\upsilon\nu 2\beta - f_6\,\eta\mu 2\beta + f_7\,\eta\mu 2\alpha\right)$$



Σχ. 152 Μείωσις καὶ ἐλάχιστα σ διὰ $\alpha = 40°$ καὶ διαφόρους τιμὰς τοῦ β τοῦ παραδείγματος.

Τοιουτοτρόπως διὰ διαφόρους τιμὰς τῆς γωνίας β, εὑρίσκομεν (δοθείσης ἤδη τῆς $\alpha = 40°$) τὰς τιμὰς τῶν $f_1 \dots f_7$ ἐκ τοῦ σχήματος 151 καὶ ὑπολογίζομεν τὰς τάσεις εἰς τοὺς πόδας (ἀνάντη καὶ κατάντη). Εἰς τὸ Σχ. 152 δίδονται αἱ μείζεται καὶ ἐλάχιστα τιμαὶ τῶν τάσεων (ἐξισώσεις (87) καὶ (88)), συναρτήσει τοῦ ἀθροίσματος $(\alpha+\beta)$.

Εἰς τὸν ἑπόμενον πίνακα δίδονται ἀναλυτικῶς αἱ τάσεις εἰς τοὺς πόδας τῶν ἀντηρίδων (ἀνάντη καὶ κατάντη) διὰ $\alpha = 40°$ καὶ διαφόρους τιμὰς τοῦ β.

Ἐκ τοῦ πίνακος τούτου δι' αὐξήσεως τῆς γωνίας β βαί-

νομεν πρός τούς ὅρους τούς τεθέντας διά τοῦ σχήματος 146, εἰς τήν ἀρχήν τοῦ παρόντος κεφαλαίου.

Πίναξ τάσεων ποδῶν ἀντηρίδος (kg/cm^2).

β	5	10	15	20	25	30
α + β	45	50	55	60	65	70
$\min \sigma^{\text{ἀνάντη}}$	- 30,7	- 19,7	- 11,5	- 5,3	- 0,7	+ 2,6
$\max \sigma^{\text{κατάντη}}$	+ 45,5	+ 37,0	+ 31,0	+ 26,4	+ 22,8	+ 19,5

ΙΙΙ-4 · ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Τὰ λιθόρριπτα φράγματα κατασκευάζονται ἐκ λίθων κανονικῶς τοποθετουμένων (ξηρολιθοδομή) ἢ ἐκ λίθων ἀτάκτως ἐρριμένων ἢ καὶ εἶναι μικτὰ ἐκ τῶν δύο τούτων μεθόδων.

Τὰ σώματα ταῦτα δὲν εἶναι στεγανά καί, πλὴν σπανίων περιπτώσεων ὅπου δὲν ἀπαιτεῖται στεγανότης, στεγανοποιοῦνται δι' ὑδατοστεγῶν στρώσεων ἐκ σκυροδέματος, τοιχοποιΐας ἢ ἀργίλλου καὶ σπανιώτερον διὰ ξυλίνων ἢ σιδηρῶν κατασκευῶν.

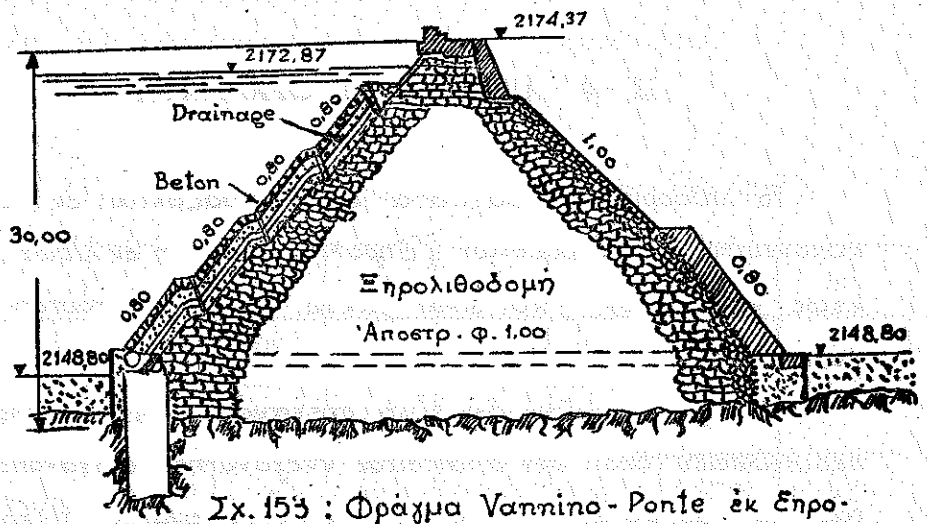
Αἱ ὑδατοστεγεῖς διατάξεις κατασκευάζονται εἴτε εἰς τὴν πρὸς τὰ ἀνάντη τῶν φραγμάτων πορείαν ἢ εἰς τὸ κέντρον αὐτῆς, ὅταν δὲ εἶναι ἐξ ἀργίλλου δύνανται νὰ λαμβάνουν καὶ λοξὴν διάταξιν.

Ἡ κατασκευὴ τῶν φραγμάτων τούτων ἐκ ξηρολιθοδομῆς ἤρχισεν καὶ ἐξακολουθεῖ χρησιμοποιουμένη κυρίως εἰς τὴν Ἰταλίαν καὶ τὸ Μεξικόν.

Εἰς τὰ σχήματα 153 καὶ 154 δίδονται τὰ φράγματα Vannino - Ponte καὶ Codelago - Derero εἰς Ἰταλίαν, ἀμφότερα ἐξ ξηρολιθοδομῆς μὲ ἐπένδυσιν ἐκ σκυροδέματος ἢ τοιχοποιΐας. Τὸ δεύτερον ἔχει καὶ ἀσφαλτικὴν ἀπομόνωσιν καλυπτομένη ἐκ λιθοδομῆς διὰ κυβολίθων.

Εἰς τὸ Σχ. 155 δίδεται τὸ ἐπίσης Ἰταλικὸν φράγμα Cignona μὲ ἀσφαλτικὴν ἀπομόνωσιν ἐπὶ στρώσεως ἐκ σκυροδέματος.

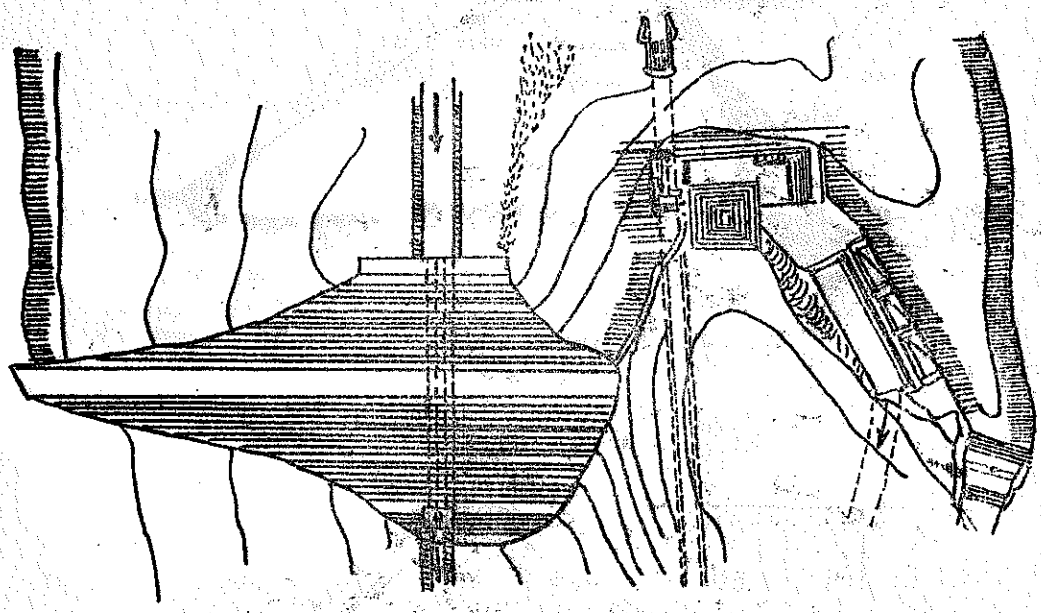
Πλὴν τῆς ξηρολιθοδομῆς, τὸ σῶμα τοῦ φράγματος δύνα-

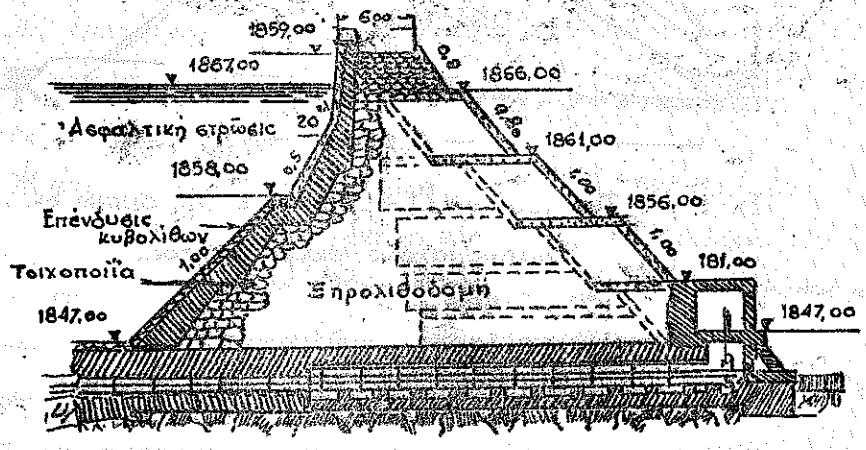


Σχ. 155 : Φράγμα Vannino - Ponte ἐκ Ξηρολιθοδομῆς. Παραπέταεμα ἐκ σκυροδέματος μετὰ ἀποστραγγιστικοῦ δικτύου, ὡς εἰς Σχ. 63 (σελ. 97).

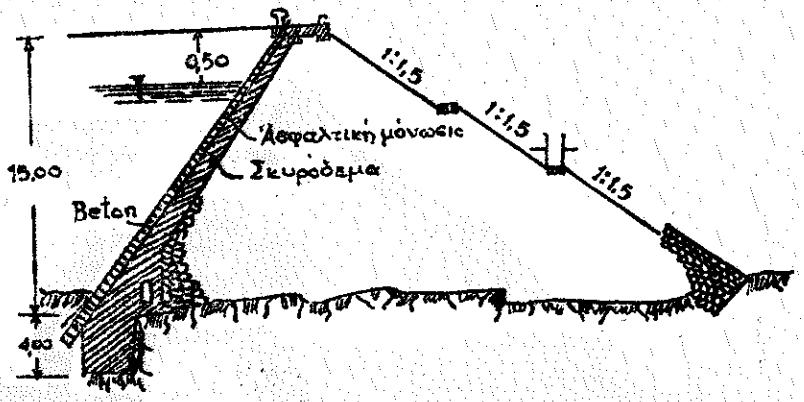
ται νὰ κατασκευάζεται καὶ ἐξ ἁπλῆς λιθορριπῆς ριπτομένης μίγδην. Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 156 δίδεται τὸ φράγμα **Salt-Lake** (Η.Π.Α.), ὅπερ ἔχει ὕψος 100 μ., ὄγκον ὀλικὸν 2,3 hm^3 (2,300 κ.μ.). Τοῦτο ἔχει κλίσιν 1:14 πρὸς τὰ κατάντη καὶ 1:13 εἰς τὰ ἀνάντη ὅπου ἐπικάθηται Ξηρολιθοδομὴ πάχους 4,5 μ. καὶ ἐπὶ ταύτης ὁπλισμένον σκυρόδεμα πάχους 0,3 εἰς τὴν στέψιν καὶ 0,86 εἰς τὴν βάσιν μὲ ἁπλοῦν ὁπλισμὸν (ἀνὰ 33 ἕως 20 ἑκ.) εἰς τὰ ἄνω 2/3 τοῦ ὕψους καὶ διπλοῦν ὁπλισμὸν (ἀνὰ 38 ἕως 22 ἑκ.) εἰς τὸ κάτω 1/3 τοῦ ὕψους.

Εἰς τὸ Σχ. 157 δίδεται τὸ φράγμα Ghrib (Ἀλγέριον) ὕψους 72,0 μ. ἐκ λιθορριπῆς μὲ στρῶσιν ἐξ Ξηρολιθοδομῆς ἐπικαλυπτομένης μὲ κυκλώπειον σκυρόδεμα καλυπτόμενον ἐκ στρώσεως ὁπλισμένου σκυροδέματος.

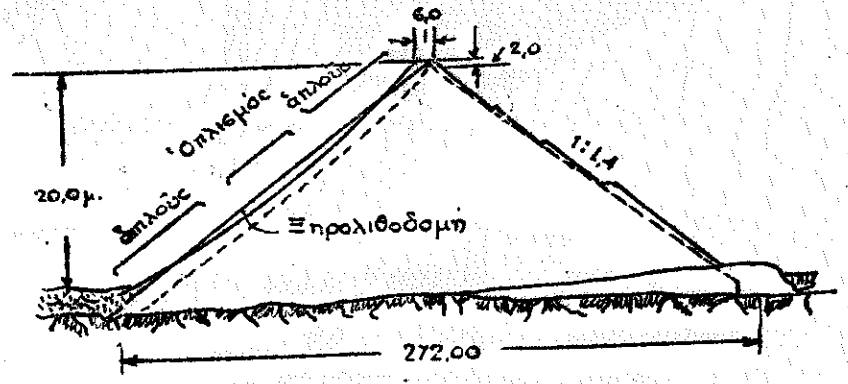




Σχ. 154 : Διατομή καί κάτοψις φράγματος Cedelago Alpe Devero (Ιταλία)

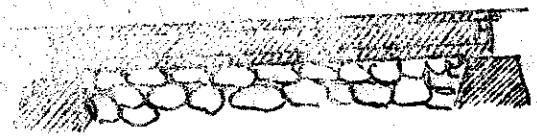


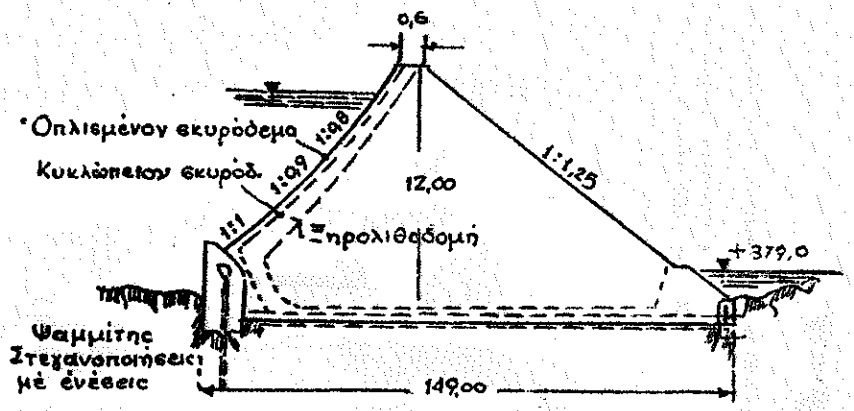
Σχ. 155 : Φράγμα Cignano



Σχ. 156: Φράγμα Salt-Lake μὲ ἐπένδυσιν ἐκ σιδηροπαγοῦς σκυροδέματος.

Αἱ ἐξ ὀπλισμένου ἢ ἁπλοῦ σκυροδέματος στεγαναὶ ἐπενδύσεις κατασκευάζονται μὲ ἁρμοὺς, συνήθως ἀνὰ 12-18μ. σταυροειδῶς, ἤτοι ἀποτελοῦνται αἱ ἐπενδύσεις ἐκ τετραγωνικῶν πλακῶν 12,0 · 12,0 μ. ἕως 18,0 · 18,0 μ.





Σχ. 157 Φράγμα Ghrib (Ἀλγέριον).

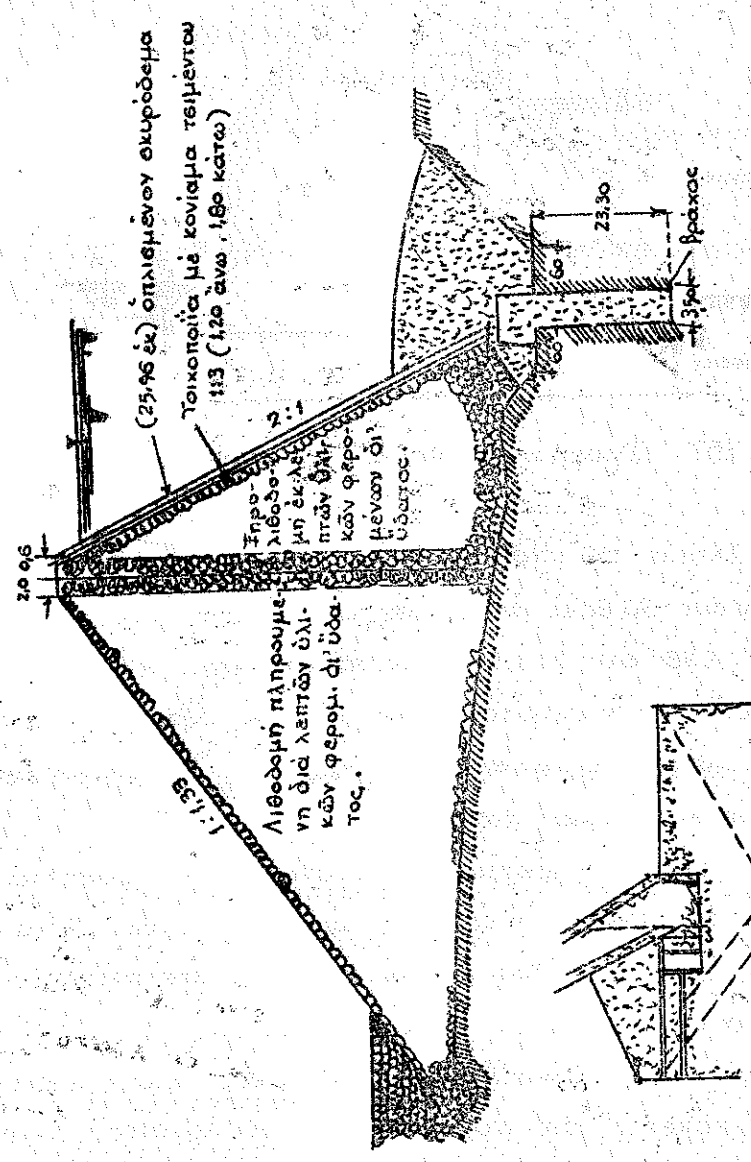
Εἰς τό Σχῆμα 158 δίδεται τό φράγμα Malpaso εἰς τό Περού, ὕψους 30,80μ. ὅπερ ἔχει κλίσιν 2:1 πρός τήν ἀνάντη καί 1:1,38 ἕως 1:1,50 πρός τά κατάντη.

Αἱ ἐπενδύσεις ἐκ σκυροδέματος γενικῶς δέον νά ἔχουν πάχος τουλάχιστον 30 ἑκ. εἰς τήν στέψιν καί εἰ δυνατόν μεγαλυτέρον ὅπου ὑπάρχει παγωνιά.

Ἡ στεγανότης τοῦ φράγματος δύναται νά λαμβάνῃ χώραν καί διά διατάξεων ἐντός τοῦ σώματος αὐτοῦ. Οὕτω εἰς τό φράγμα Lower Otay (σχῆμ. 159) ἡ στεγανότης ἐπιτελεῖται διά σιδηροφύλλων ἐγκιβωτισμένων.

Εἰς τό φράγμα Cranvalley (Η.Π.Α.) ὕψους 46,0 ἡ στεγανότης ἐπιτυγχάνεται διά πυρῆνος ἐκ σκυροδέματος (βλεπ. Σχ. 150).

Εἰς τό φράγμα L'Oued-kebir (βλ. Σχ. 161) ὁ πυρήν εἰς τό μέσον ἀποτελεῖται ἀπό κυψελωτήν τοιχοποιΐαν ἥτις εἰς τήν πρός ὕδωρ πλευράν αὐτῆς ἀποτελεῖται ἀπό θολίσκους εἰς δέ τήν πρός τά κατάντη πλευράν ἐκ πλακός

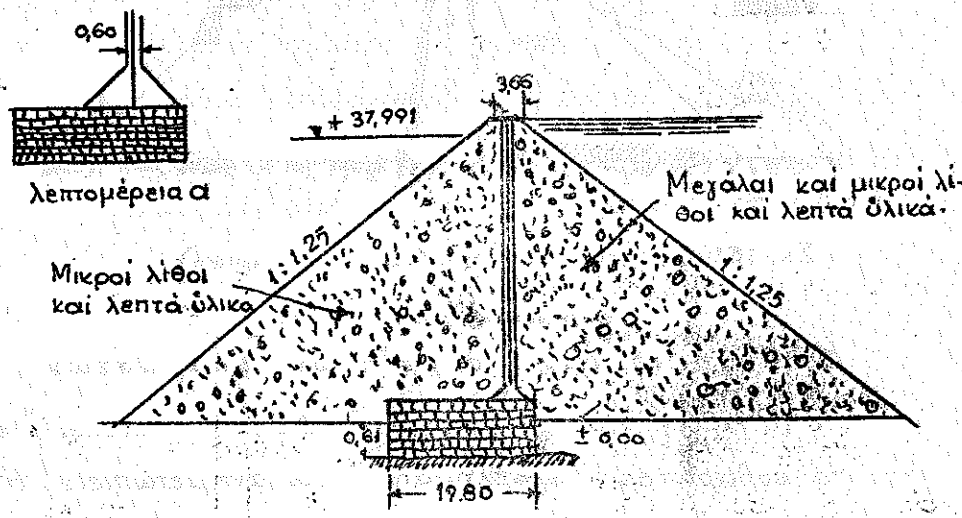


Σχ. 158. Φράγμα Malpaso (Μεξικόν)

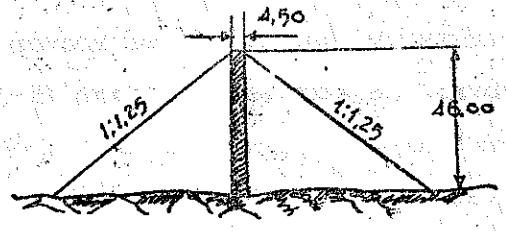
ἐξωπλισμένου σκυροδέματος. Ἡ ὑποχώρησις διὰ πλῆρες φράγ-μα (ὁριζόντια μετατόπισις) ἀνῆλθεν εἰς 80 ἐκ.

Παντως εἰς τὰ λιθόρριπτα φράγματα εἶναι προτιμώ-

τερον ἡ στεγανὴ ἐπένδυσις νὰ γίνεται εἰς τὰ ἀνάντη καὶ ὄχι εἰς τὸ μέσον τοῦ φράγματος καὶ τοῦτο ἵνα εἶναι εὔκολος ὁ ἔλεγχος καὶ ἐπὶ πλέον ἐργάζεται ὅλο τὸ πλάτος τοῦ φράγματος ἐναντίον τῆς ἀλιεθήσεως καὶ ὄχι μόνον τὸ ἥμισυ τῆς βάσεως αὐτοῦ.

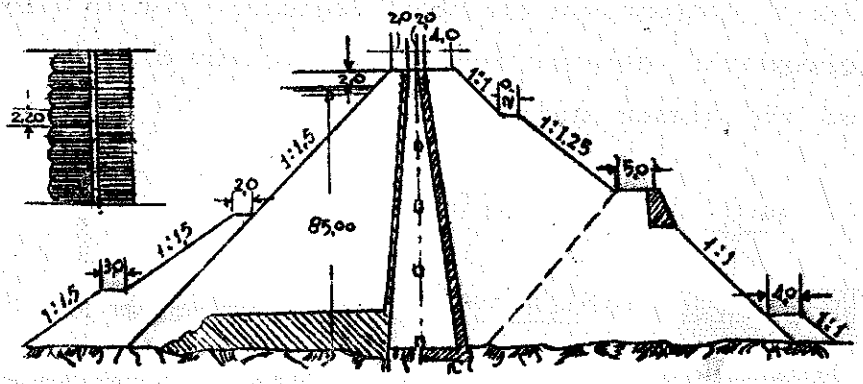


Σχ.159 Φράγμα Lower Otay (Καλιφόρνια)



Σχ.160 · Φράγμα Crandall Ey μὲ πυρῆνα ἐκ σκυροδέματος.

Τέλος τόσον ὁ κεντρικὸς πυρὴν ὅσον καὶ ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη ὑδατοστεγὴς ἐπένδυσις δύνανται νὰ κατασκευάζωνται ἀπὸ λοξὸν ἢ παράλληλον πρὸς τὴν κλίσιν ἀργιλλικὸν στρῶμα.



Σχ. 161 Φράγμα Laued-kebir (Αλγέριον).

Καθίζησις τῶν λιθορρίπτων φραγμάτων

Εἰς τὰ λιθόρριπτα φράγματα ἡ καθίζησις ἀποτελεῖ ἕνα ἀπὸ τὰ σοβαρώτερα προβλήματα πρὸς ἀντιμετώπισιν. Ἡ καθίζησις αὕτη ἀναλύεται εἰς κατακόρυφον καὶ ὁριζοντίαν μετακίνησιν ἑκάστου σημείου καὶ δὴ τῆς πρὸς τὰ κατάντη πλευρᾶς τοῦ φράγματος ὅπου αἱ μετρήσεις εἶναι δυναταί. Αἱ μετρήσεις αὐξάνουν προϊόντος τοῦ χρόνου ἀπὸ τῆς κατασκευῆς κυμαίνονται δὲ κατακόρυφοι ἀπὸ 15-30 ἑκ. διὰ χαμηλὰ φράγματα (30-40 μ. ὕψος) καὶ ἀπὸ 10-90 ἑκ διὰ ὑψηλὰ φράγματα (80-90 μ. ὕψος). Αἱ ὁριζόντιοι μετακινήσεις εἶναι συνήθως μικρότεραι ἢ ἴσαι.

Αἱ καθιζήσεις ὀφείλονται εἰς τὸ βάρος ἢ τὴν πλαγίαν ὤθησιν τοῦ ὕδατος εἰς τὸ βάρος τοῦ φράγματος, εἰς τὴν θραῦσιν τῶν χαμηλὰ κειμένων λίθων, εἰς τὴν ὑποχώρησιν τοῦ ἐδάφους, εἰς τὸν τρόπον κατασκευῆς τῶν φραγμάτων.

Ἡ καθίζησις ἀντιμετωπίζεται ἐξ ὑπαρχῆς τῆς κατασκευῆς τοῦ φράγματος, ὅπερ κατασκευάζεται κυρτὸν πρὸς τὰ ἀνάντη ὥστε νὰ ἔλθῃ εἰς κανονικὴν θέσιν ὅταν ὑποχωρήσῃ. Ὁμοίως πρὸς ἀποφυγὴν ρωγμῶν εἰς τὰς ὑδατοστεγεῖς ἐπενδύσεις, ἰδίᾳ ἐξ ὀπλισμένου σκυροδέματος, κατασκευάζομεν ἁρμοὺς εἰς αὐτούς.

Ὁ τρόπος ὑπολογισμῶν θὰ ἐκτεθῇ κατωτέρω ὁμοῦ μὲ τὸν τρόπον ὑπολογισμοῦ τῶν χωματίνων φραγμάτων, ὅστις ἰσχύει δι' ὅλας τὰς κατασκευὰς ἐκ ψαθυρῶν ὑλικῶν.

III - 3 ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

1 - Γενικότητες

2 - Κίνδυνοι εἰς τὰ χωμάτινα φράγματα καὶ ἀντικείμενον τῶν ὑπολογισμῶν.

3 - Σύστασις καὶ ἀντοχὴ τοῦ ὑλικοῦ τῶν χωματίνων φραγμάτων. Φυσικαὶ καὶ ἐργαστηριακαὶ ἔρευναι. (Στοιχεῖα ἐδαφομηχανικῆς).

3.1 Μηχανικὴ ἀνάλυσις τῶν συστατικῶν στοιχείων τῶν φραγμάτων.

3.2. Ἡ πυκνότης, τὸ πορῶδες καὶ ἡ ὑγρασία τῶν ἐδαφῶν.

3.3. Ἡ ὑφὴ τῶν ἐδαφῶν καὶ ἰδίᾳ τῶν ἀργιλλικῶν ἐδαφῶν.

3.4. Ἡ πυκνοποίησις καὶ συμπύκνωσις τῶν ἐδαφῶν.

3.5 Ἡ διαπερατότης τῶν ἐδαφῶν καὶ ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος δι' αὐτῶν.

3.6 Καθίζησις χωματίνων ἔργων.

3.7 Αἱ ὑπὸ τῶν ἐδαφῶν παραλαμβανόμεναι κύριαι καὶ διατμητικαὶ τάσεις.

4 - Ὑδραυλικὴ μελέτη τῶν φραγμάτων. Ἀποστράγγισις.

5 - Ἡ εὐστάθεια τῶν φραγμάτων.

6 - Τεχνικαὶ λεπτομέρειαι, ἐφαρμογαί, παραδείγματα.

ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Γενικότητες

Ἡ συνεχὴς προϊοῦσα κατασκευὴ τῶν φραγμάτων διὰ τὴν ρύθμισιν τῶν παροχῶν τῶν ὑδατικῶν ὑποδοχέων καὶ τὴν καλλιτέραν χρησιμοποίησιν αὐτῶν εἰς τὴν ὑδατικὴν οἰκονομίαν, ἡ βαθμιαία ἐξάντλησις τῶν ὀλίγων βαθειῶν χαραδρῶν διὰ τὴν τοποθέτησιν οἰκονομικῶν φραγμάτων, ἡ ἐπιδίωξις δημιουργίας ἐκτεταμένων τεχνιτῶν λιμνῶν μὲ μικρὰ ἀναλόγως ὕψη φράγματος, ἥτις εἶναι ἐπιτευκτὴ μόνον εἰς ἐκτεικῶς πεδινὰ ἐδάφη καὶ τέλος ἡ ἀνάπτυξις συγχρόνων μεθόδων διὰ τὴν οἰκονομικὴν μεταφορὰν μεγάλων ὄγκων ψαθυρῶν ὑλικῶν, ὡδήγησαν εἰς τὴν χρησιμοποίησιν εἰς εὐρεῖαν κλίμακα τῶν χωματίνων φραγμάτων (Earthdams barrages en terre, Erd-dämme). Κατὰ πολὺ συνέτεινεν πρὸς τοῦτο ἡ συνεχὴς ἀνάπτυξις τῶν ἐρευνῶν τῶν τύπων τῶν διαφόρων ἐδαφῶν, τῶν τεχνητῶν ἰδιοτήτων αὐτῶν καὶ τῆς συμπεριφορᾶς αὐτῶν εἰς τὰ ὑδραυλικὰ καὶ στατικὰ φορτία.

Αἱ πρόοδοι τῆς Ἐδαφομηχανικῆς καὶ ἡ ἀνάπτυξις τῶν ἐργαστηρίων ἐρεύνης αὐτῆς μᾶς ἐπιτρέπουν σήμερον νὰ μεταχειριζόμεθα τὰ διάφορα χωμάτινα ὑλικὰ μετὰ τῆς αὐτῆς εὐκερείας καὶ ἀσφαλείας μεθ' ἧς μεταχειριζόμεθα μέχρι τοῦδε τὰ λοιπὰ ὁμοιόμορφα ὑλικὰ δομῆς (σίδηρος, ἐκυρόδεμα, λίθοι, ξύλα).

Τὸ πρῶτον χαρακτηριστικὸν τῶν χωματίνων φραγμάτων ἀποτελεῖ ἡ ἐλαφρὰ κλίσις τῶν ἐκατέρωθεν παρειῶν αὐτῶν, ἐν ἀντιθέσει πρὸς ὅλους τοὺς ἄλλους τύπους φραγμάτων. Ἀμεσον συνέπειαν τούτου ἀποτελεῖ ὁ μέγας ὄγκος ὑλικοῦ

κατασκευῆς αὐτῶν καλυπτόμενος οἰκονομικῶς ἀφ' ἑνὸς μὲν ἐκ τῆς ἀδαπάνου σχετικῶς προμηθείας αὐτοῦ (ὅταν τὰ ὑλικὰ εὑρίσκονται in situ, ὁπότε καὶ συνήθως προτιμᾶται ἡ κατασκευὴ αὐτῶν) ἀφ' ἑτέρου δέ, ὡς ἐλέχθη, ἐκ τῆς ἀναπτύξεως οἰκονομικῶν μεθόδων κατασκευῆς.

Τὰ ὑλικὰ κατασκευῆς χωματίνου φράγματος ἐσκάπτονται συνήθως εἰς πλησιοχώρους θαλάμους δανείων χωμάτων μεταφέρονται εἰς τὴν θέσιν τοῦ φράγματος, διανέμονται δὲ καὶ συμπυκνοῦνται εἰς τὴν τελικὴν αὐτῶν μορφὴν τοῦ ἀνακώματος.

Ἀναλόγως τῶν τρόπων κατασκευῆς αὐτῶν, ἤτοι τῆς ἐκτελέσεως τῶν ὡς ἄνω ἐργασιῶν διακρίνονται τὰ χωμάτινα φράγματα εἰς:

α/ Κυλινδρούμενα (rolled fill dams)
β/ Ὑδατόπλαστα (hydraulic fill)
γ/ Ἡμιυδατόπλαστα (semi-hudraulic fill dams)

α)- Κυλινδρωτὰ φράγματα.

Τὰ κυλινδρωτὰ φράγματα κατασκευάζονται δι' ἐσκαφῆς τῶν χωμάτων δι' ἀτμοκινήτων πτύων ἢ πετρελαιοκινήτων ἐσκαφέων μετὰ κάδου (dragline) μεταφέρονται εἰς τὴν θέσιν τοῦ φράγματος ἔνθα ἁπλοῦνται, διαβρέχονται, ἐὰν εἶναι ἀναγκαῖον, καὶ κυλινδροῦνται. Ἡ μεταφορὰ σήμερον γίνεται δι' εἰδικῶν, ὑπὸ ἑρπυστριῶν ρυμουλκουμένων ὀχημάτων, ἐπὶ ἐλαστικῶν τροχῶν, ὧν ἡ χωρητικότης φθάνει τὰ 15 κ.μ. (~20 κυβ. γιάρδαι).

Ἡ κυλίνδρωσις γίνεται δι' ὁδοστρωτήρων, οἵτινες φέρουσιν καθ' ὅλον τὸ ἀνάπτυγμα τοῦ κυλίνδρου αὐτῶν ὀδόντας, ὁμοιάζοντας πρὸς πόδας προβάτων (κατσικοπόδαρα)

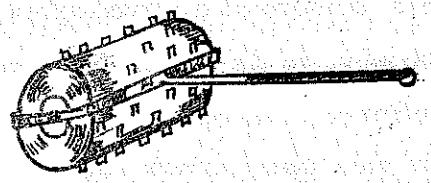
(sheeps-foot) οἵτινες ἔχουσιν 18 ἑκ. μῆκος ὀδόντος καὶ 44 τετρ. ἑκ. διατομήν καὶ προκαλοῦν καλλιτέραν συμπύκνωσιν τοῦ ἐδάφους. Τὰ ἑκάστοτε κυλινδρούμενα στρώματα τοῦ φράγματος ἀνέρχονται εἰς 25 ἕως 30 ἑκ. διὰ διαπερατὰ ὑλικὰ καὶ 10-15 ἑκ. διὰ σχετικῶς ἀδιαπέρατα ἐδάφη. Ἡ διανομὴ τῶν χωμάτων ἐπὶ τοῦ ἀνακώματος (διὰ τῶν ὀχημάτων ἢ συρμῶν βαγονέτων στενοῦ πλάτους) γίνεται εἰς ἀποστάσεις ἀναλόγους πρὸς δημιουργίαν τῶν ὡς ἄνω παχῶν, τὸ δὲ ἄπλωμα γίνεται μὲ bulldozess ἢ graders (προωθητὴς, ἰσοπεδητής). Οἱ ὁδοὶ μεταφορᾶς τῶν χωμάτων ἐπὶ τῶν φραγμάτων δέον νὰ ἀλλάζουν συνεχῶς πρὸς ἀποφυγὴν ὑπερβολικῆς συμπυκνώσεως τῶν ἐδαφῶν.

Κατὰ τὴν κυλίνδρωσιν ἀδιαπέρατων συνεκτικῶν ὑλικῶν (ἄργιλλος ἢ μεγάλη ἀναλογία αὐτῆς) ἡ περιεχομένη ἐργασία δέον νὰ ἔχῃ τὴν optimum αὐτῆς τιμήν (λεπτομέρειαι δίδονται κατωτέρω ὡς πρὸς τὰ εἴδη τῶν ὑλικῶν καὶ τὴν περιεχομένην ὑγρασίαν).

Ἐὰν ἡ ποσότης αὕτη τῆς ὑγρασίας δὲν ὑπάρχει προστίθεται αὕτη διὰ ραντίσεως τοῦ ἐδάφους, δι' εἰδικῶν συσκευῶν. Ἡ ράντισις γίνεται μετὰ τὴν κυλίνδρωσιν καὶ πρὸ τῆς διαστρώσεως τῆς ἀνωτέρω στρώσεως. Ἐὰν ἡ περιεκτικότης τῆς ὑγρασίας τοῦ προσκομιζομένου ἐδάφους εἶναι μεγαλυτέρα τῆς καταλληλοτέρας (optimum) τότε, ἢ ἀφίνομεν τὸ χῶμα νὰ ἐξατμισθῇ μέχρι τῆς δημιουργίας τῆς ἐπιθυμητῆς ὑγρασίας ἢ ἐπιτελοῦμεν ἀποστράγγισιν αὐτοῦ πρὸ τῆς κυλινδρώσεως. Ἐνίοτε εἶναι σκόπιμον ἡ ἀποστράγγισις τῆς ἀργίλλου νὰ γίνῃ εἰς τὸ ὀρυχεῖον αὐτῆς ἢ τέλος νὰ γίνῃ χωματοληψία ἀπὸ ἄλλους βαλάμους δανεισμοῦ ἐγκαταλειπομένων τῶν πολὺ ὑγρῶν τοιούτων.

Ἡ πίεσις συμπυκνώσεως τῶν ὀδοντωτῶν ὁδοστρωτήρων κυμαίνεται μεγάλως καὶ φθάνει τὰ 35 kg/cm^2 (λόγῳ συγκεντρώσεως τοῦ βάρους εἰς μίαν σειρὰν ὀδόντων) μεταβάλλεται δὲ δι' αὐξομειώσεως τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ὀδόντων καὶ προσθαφαιρεσεως βαρῶν ἐντὸς του κυλίνδρου.

Ἓξ ἕως ὀκτὼ διάδρομαι τοῦ κυλίνδρου ἀποτελοῦν τὸν συνήθη βαθμὸν κυλινδρώσεως.



Ὁ ἀκριβὴς ἀριθμὸς διὰ τὴν ἐπίτευξιν τῆς ἀπαιτουμένης ποσότητος ὑγρασίας καὶ τοῦ ἐπιθυμητοῦ βάρους ἀνὰ ὄγκον πιστοποιεῖται πειραματικῶς πρὸς συμμόρφωσιν πρὸς τὰς προδιαγραφὰς (περὶ ὧν θὰ ἴδωμεν κατωτέρω).

Κατὰ τὴν κατασκευὴν δι' ἀργιλλικῶν ὑλικῶν δέον ν' ἀποφεύγηται ἡ ὑπερβολικὴ κυλίνδρωσις ἢ ἡ μεγάλη ὑγρασία διότι τότε σχηματίζονται ρωγμαὶ ἐκ διατμητικῶν τάσεων (διαμόρφωσις πλακῶν ἀργίλλου μὲ σαφεῖς ἁρμούς) αἵτινες δυνατὸν νὰ προκαλέσουν τὴν καταστροφὴν τοῦ φραγματος.

Πρὸς ὕπαρξιν ἀσφαλείας δέον κατὰ τὴν κατασκευὴν νὰ τηρεῖται τὸ ἐπίχωμα κάτω τοῦ ὁρίου πλαστικότητος τοῦ Atterberg, τὸ δὲ ξηρὸν βάρος τῆς μονάδος ὄγκου (φαινομενικὸν εἰδικὸν βάρος dry unit weight) δέον νὰ ἐλέγχηται συνεχῶς καὶ νὰ εὑρίσκεται ἐντὸς τῶν ὁρίων δι' ὧν ὑπελογίσθη τὸ φράγμα.

Ἡ ἐπίδρασις τῶν στρωτήρων δέον νὰ παρακολουθεῖται συνεχῶς ὅταν ἐξογκοῦνται τὰ πέραν τοῦ στρωτῆρος ἄκρα, πιστοποιεῖται ὕπαρξις μεγαλυτέρας τῆς ἐπιτρεπομένης ὑγρασίας.

Εἰς τὴν κατασκευὴν δι' ὑλικῶν μεγάλης διαπερατότητος

(ἄμμος, χάλικες) ἄνευ συνεκτικότητος δέν ὑπάρχουν οἱ ἀνωτέρω κίνδυνοι, ὑπερσυμπυκνώσεως. Ἀπεναντίας ἐδῶ ἡ αὔξησις τῆς συμπυκνώσεως ὁδηγεῖ τὰ ὑλικὰ εἰς τὴν ἱκανότητα παραλαβῆς μεγαλυτέρων διατμητικῶν δυνάμεων (οἰκονομία ὑλικοῦ ἐκ τῆς μελέτης) καὶ τὸν περιορισμὸν τῆς καθιζήσεως τοῦ φράγματος.

Καὶ τὰ ὀλιγώτερον συνεκτικὰ ὑλικὰ ὅμως (ὁμοιόμορφος ἄμμος λ.χ.) διὰ νὰ κυλινδρωθῶσιν καὶ νὰ συμπυκνωθῶσιν οὐσιαστικῶς δέον νὰ περιβρέχωνται ἐκεδὸν μέχρι κορεσμοῦ. Ἰδιαίτατα τοῦτο εἶναι ἀναγκαῖον εἰς ὁμοιόμορφον λεπτόκοκκον ἄμμον.

Ἡ καθίζησις τοῦ σώματος τοῦ φράγματος εἰς ἣν δέον νὰ προστεθῇ ἡ καθίζησις τοῦ ἐδάφους ὑπ' αὐτό, δέον ὁμοίως νὰ λαμβάνωνται ὑπ' ὄψιν καὶ τὸ προβλεπόμενον μέγεθος αὐτῶν νὰ προστίθεται εἰς τὸ ἀρχικὸν κατασκευαστικὸν ὕψος τοῦ φράγματος. Συνήθως ἡ καθίζησις τοῦ φράγματος ἐπὶ στερεοῦ ἐδάφους διὰ καλὴν κατασκευὴν τοῦ ἐπιχώματος δὲν ὑπερβαίνει τὸ 1%. Ἡ καθίζησις τοῦ ἐδάφους ἐξ ἄλλου κυμαίνεται ἀπὸ μηδὲν ἕως 3%. Τὸ μεγαλύτερον τμῆμα αὐτῆς λαμβάνει χώραν κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς κατασκευῆς καὶ ἔχει τὰς μεγαλυτέρας τιμὰς εἰς πλαστικὰ ἀργιλλικὰ ἐδάφη.

Ἡ διαμόρφωσις τῶν πρανῶν τῶν φραγμάτων εἶναι ἀναγκαία μετὰ τὴν κατασκευὴν αὐτῶν. Ἡ δημιουργία ἐξογκωμάτων ἐπ' αὐτῶν καὶ ἰσχυροτέρων κλίσεων ἑπομένως δέον νὰ ἀποφεύγηται καὶ νὰ διαμορφοῦνται τὰ πρανῆ εἰς τὴν ἐν τῇ μελέτῃ προβλεπομένην κλίσιν.

Αὔξησις κλίσεως καὶ βάρους ἐπὶ τῶν πρανῶν πιθανῶς νὰ προκαλέσουν ὀλισθήσεις μεγάλων τμημάτων τῶν φραγμάτων.

Ἡ προστασία ἀπὸ τῆς διεισδύσεως τοῦ ὕδατος διὰ τοῦ

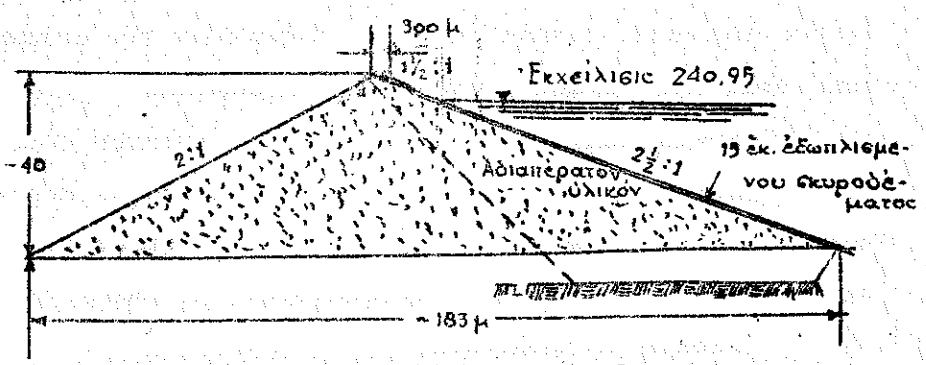
φράγματος ἐπιδιώκεται εἴτε δι' ἐπιστρώσεως τοῦ ἀνάντη προνοῦς, εἴτε διά τῆς δημιουργίας ὑδατοστεγοῦς κεντρικοῦ σώματος, καταλλήλως συνδεομένου μετά τοῦ ὑπεδάφους.

Ἡ ἐπίστρωσις ὁμοίως, ἰδία προκειμένων ὑδρεύσεων, ἀποκλείει τήν θόλωσιν τοῦ ὕδατος ἐκ τῶν χωμάτων τοῦ φράγματος, προστατεύει δέ καί τό ἀνάχωμα ἐκ τῶν κυματισμῶν.

Ἡ προστατευτική ἐπίστρωσις κατασκευάζεται ἐκ ξηρολιθοδομῆς, ἤ ἐκ πλακῶν σκυροδέματος (συνήθως 1,80·1,80 μ. πάχους 15 ἑκ.) χυνομένων ἐπί τόπου ἤ προπαρασκευαζομένων. Οἱ ἁρμοί καλύπτονται διά πισσοχάρτου καί ὄπισθεν τῆς πλακός φέρουσιν μικρόν στρῶμα χαλίκων διά τήν εὐχερῆ ἀποχέτευσιν τοῦ ὕδατος ὅταν πίπτει ἡ στάθμη τῆς λίμνης.

Ἡ στεγανωτική ἐπίστρωσις γίνεται διά ὑδατοστεγῶν ὑλικῶν συνήθως διά χωμάτων μεγάλης περιεκτικότητος ἀργίλλου ἤ καί διά ὀπλισμένου σκυροδέματος.

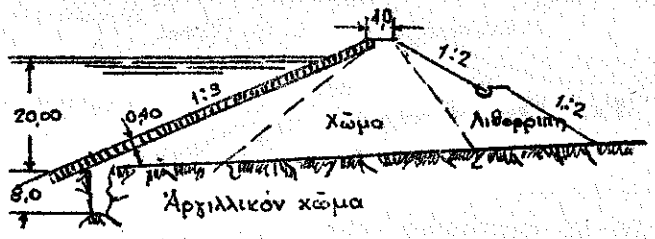
Εἰς τό Σχ. 162 δίδεται τό κυλινδρωτόν φράγμα Santiago (Καλιφόρνια) ἔνθα ἡ πρός τά ἀνάντη πλευρά κατεσκευάσθη ἐξ ἀδιαπεράτων χωμάτων ἐπικαλυφθέντων προσέτι διά



Σχ. 162. Κυλινδρωτόν φράγμα Santiago.

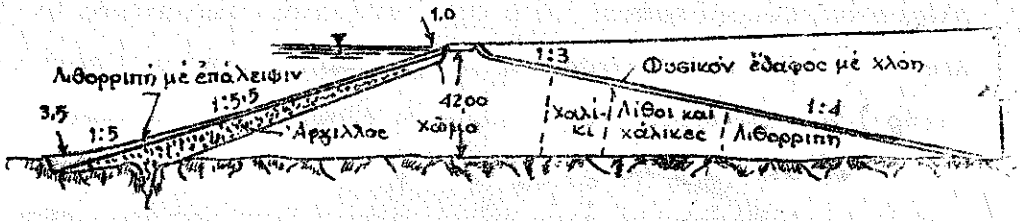
πλακός 15 ἐκ. ἐξωπλισμένου κυροδέματος.

Εἰς τό Σχ. 163 δίδεται τό κυλινδρωτόν φράγμα Seros (Ἱσπανία) ὅπου ἡ ἀνάντη πλευρά ἔχει κατασκευασθῆ μέ πλούσιον εἰς ἄργιλλον χῶμα, καλυπτόμενον ἀπό ξηρολιθοδομήν πάχους 40 ἐκ.



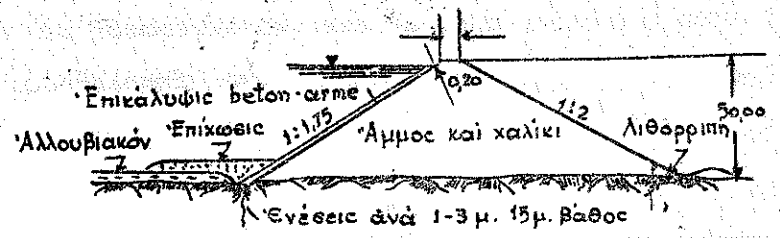
Σχ. 163 Φράγμα Seros (Ἱσπανία)

Εἰς τό Σχ. 164 δίδεται τό φράγμα Niederwartha ὅπου ἡ ἀνάντη πλευρά φέρει κεκλιμένον στρῶμα ἐκ πηλοῦ, ἐπικαλυπτομένου ὑπό λιθορριπῆς μετά ὁπαλείψεως ἐκ κονιάματος. Ἡ κατάντη πλευρά, μέ μικράν κλίσιν (1:4) καλύπτεται ὑπό στρώματος φυσικοῦ ἐδάφους μέ χλόην διά τήν προστασίαν ἀπό τά ἀπορρέοντα ὕδατα τῆς βροχῆς.



Σχ. 164 Φράγμα εἰς Niederwartha.

Ἐπικάλυψιν ἐξωπλισμένου κυροδέματος φέρει τό φράγμα Taf. Fechan εἰς Νότιον Ἀγγλίαν (βλ. σχ. 165). Ἡ πλάξ



Σχ. 165 Φράγμα Taf-Fechan

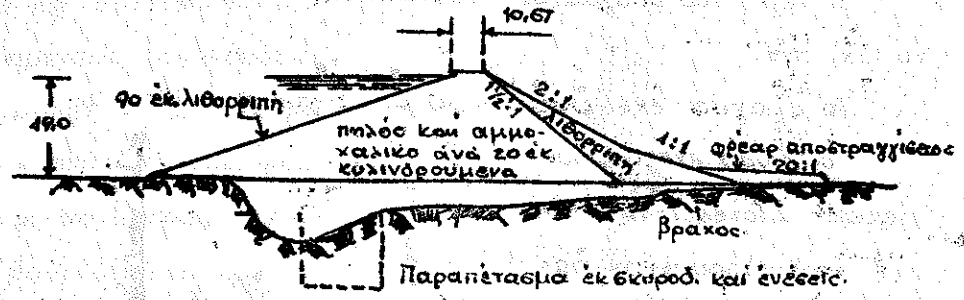
ἔχει πάχος 20-30 ἑκατοστῶν καὶ στηρίζεται ἐπὶ κυλινδρωτοῦ φράγματος ἐξ ἄμμου καὶ χαλίκων κυλινδρωθέντος ἀνὰ 20 εἰς ὑγρὰν κατάστασιν.

Σπανιωτάτη εἶναι ἡ περίπτωσις ὅπου ἡ κατάντη πλευρὰ τοῦ φράγματος ἐπενδύεται διὰ χαλυβδοφύλλων στηριζομένων ἐπὶ γωνιακῶν ἐλασμάτων, ὅπως εἰς τὸ φράγμα Catamount Creek (Η.Π.Α.) ὅπου τὸ ἔλασμα ἔχει πάχος 6 χιλιοστῶν.

Ἐξ ἄλλου συνηθεστέρα εἶναι ἡ στεγανοποίησις τῶν κυλινδρωτῶν φραγμάτων εἰς τὸ κέντρον τῆς κατασκευῆς. Ἡ στεγανοποίησις αὐτὴ ἐπιτυγχάνεται εἴτε διὰ τοίχων ἐξ ἁπλοῦ ἢ ὀπλισμένου σκυροδέματος· εἴτε δι' ἀδιαπεράτου χωματίνου ὑλικοῦ (ἄργιλλος) κυλινδρουμένου ἢ ἐμβαπτιζομένου (puddling) ἢ σπανιώτατα ἐκ μεταλλικῶν ἐλασμάτων (χαλυβδόφυλλα ἢ πασσαλοσανίδες). Βεβαίως ἡ στεγανοποίησις δὲν εἶναι ἀναγκαία ὅταν τὸ ὅλον σῶμα ἀπαρτίζεται ἐξ ἀδιαπεράτου ὑλικοῦ (ἀργιλλώδους ἄμμου) ὁπότε ἁπλῶς προστατεύεται ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη παρειὰ διὰ ἐπιλιθοδομῆς ἢ λιθοδομῆς διὰ τὴν προστασίαν ἐκ τῶν κυμάτων.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 166 δίδεται τὸ φράγμα Taylor-Park εἰς Κολοράντο (Η.Π.Α.) ἔνθα ὁ κύριος ὄγκος ἀποτελεῖται

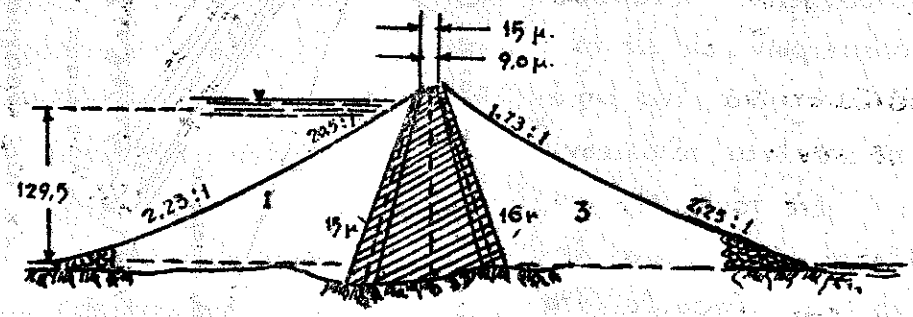
ἀπό στεγανόν ὑλικόν μίγματος πηλοῦ καί ἀμμοχαλίκων, ἐπενδύεται δέ εἰς τήν ἀνάντη πλευράν διά λιθορριπῆς. Εἰς τήν κατάντην πλευράν φέρει ὁμοίως λιθορριπήν ἡ βάσις τῆς ὁποίας χρησιμεύει συγχρόνως διά τήν ἀποστράγγισιν τοῦ φράγματος.



Σχ. 166. Φράγμα Taylor-Park (Κολοράντο)

Εἰς τό Σχ. 167 δίδεται τό φράγμα Mud-Mountain ἔχον ὕψος 129.60 μ. ὅπερ ἔχει πυρῆνα ἐξ ἀργιλλικοῦ χώματος (Ζώνη 1) περιβαλλομένου ὑπό λιθορριπῆς (Ζῶναι 2 καί 3). Τό ἀργιλλικόν χῶμα ὑπερκειμένου ἀρυχείου ἄμμου καί χαλίκων, εἶχεν ὑγρασίαν ἀνωτέραν τῆς ἐπιτρεπομένης διά κυλίνδρωσιν.

Πρός διόρθωσιν τούτου κατεσκευάσθη ἐγκατάστασις



Σχ. 167. Φράγμα Mud Mountain

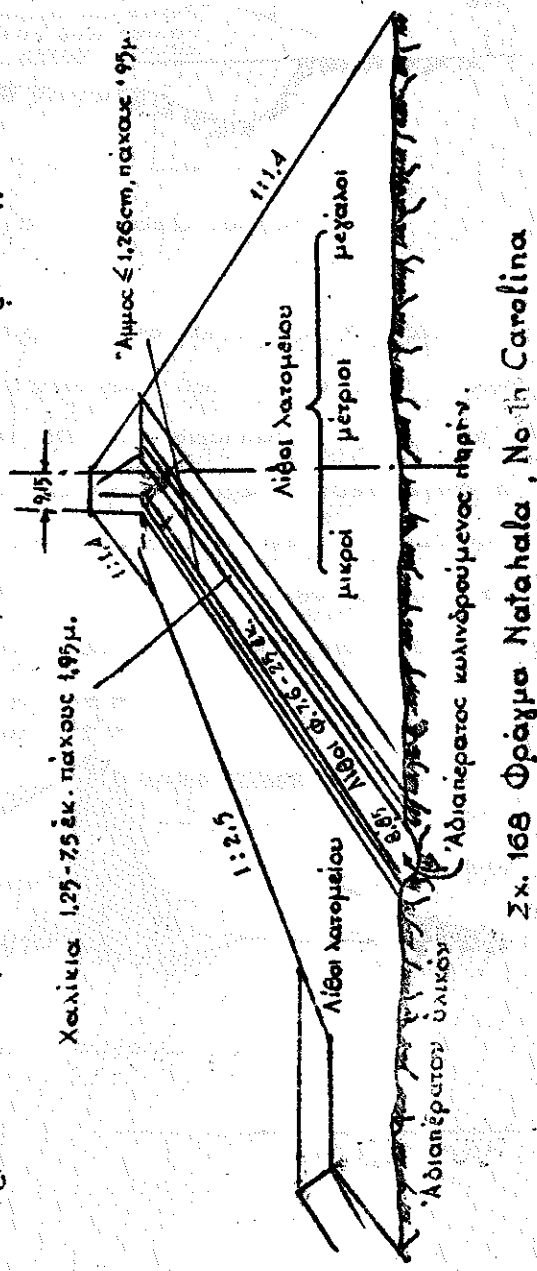
ξηράνσεως καὶ ἀναμίξεως ὅπου ἡ ἄργιλλος ἀναμιγνυομένη μετὰ ἄμμου καὶ χαλίκων ἐλάμβανον τὴν πρέπουσαν ὑγρασίαν πρὸς κυλίνδρωσιν.

Ἡ τομὴ τοῦ φράγματος Montahala (N.C.) ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 168.

Τὸ φράγμα ἔχει ὕψος 79,30 μ. καὶ πλάτος 366,0 μ.

Τὸ σῶμα στεγανοποιήσεως ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸν κυλινδρούμενον ἀργιλλικὸν πυρῆνα πάχους 8,85 μ. καὶ κλίσεως 1:1,37 περιβαλλόμενον ἀπὸ στρώματα ψαθορᾶ μὲ βαθμιαίως αὐξούσαν διάμετρον κόκκων (ἄμμος διαμέτρου ∠ 12,5 χιλ. χάλικες 12,5-75 χιλ. λίθοι λατομείου) ὥστε νὰ δημιουργεῖται μετάβασις διαμέτρων, ὡς εἰς τὰ διϋλιστήρια, ἵνα μὴ ἀποπλύνεται τὸ ὑλικόν.

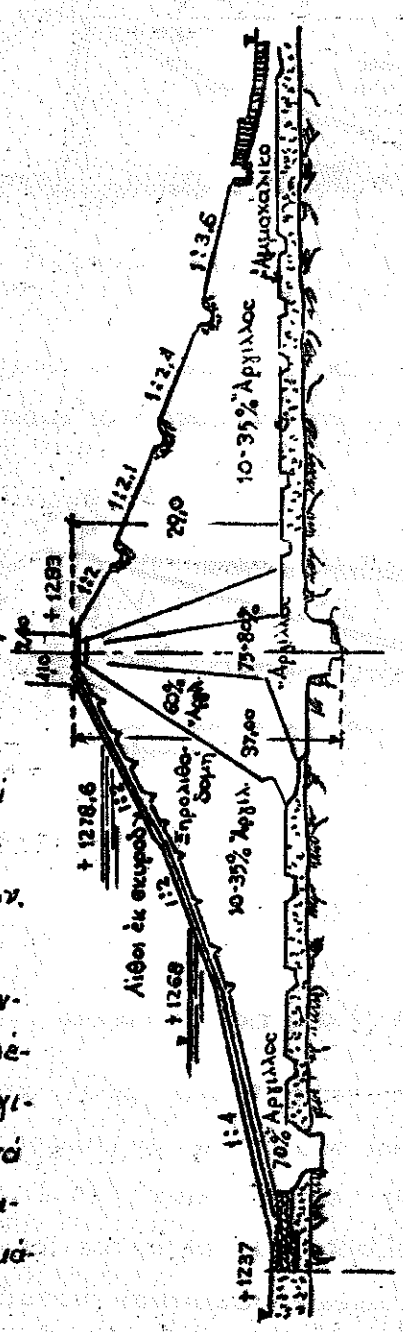
Εἰς τὸ Σχ. 169 δίδεται τὸ φράγμα Arno καὶ Nocelle (Ἰταλία) ἔνθα τὸ ὑδατοστεγὲς ὑλικὸν εὑρίσκεται εἰς τὸ κέντρον καὶ τὸ ὅλον σῶμα τοῦ



Σχ. 168 Φράγμα Natahala, North Carolina

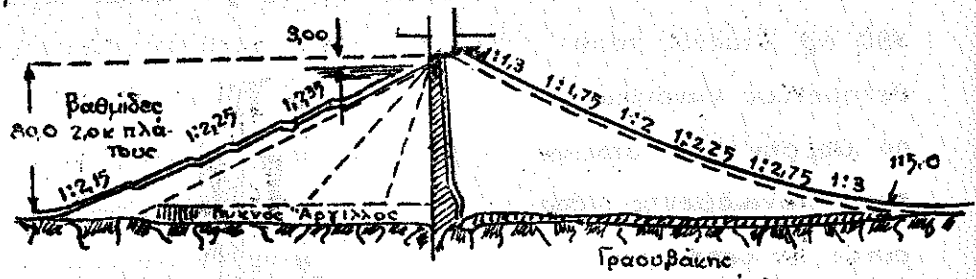
φράγματος χαρακτηρίζεται ἀναλόγως τῆς περιεκτικότητος ἀργίλλου εἰς τὰ διάφορα τμήματα αὐτοῦ. Χαρακτηριστικὴ εἶναι ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη ἐπένδυσις αὐτοῦ μὲ λίθους βάρους 180 kg ἑκάστου τοποθετημένους κανονικῶς ὑπὸ μορφὴν πλακοστρώτου ἐπὶ κοπανιζομένης λιθορριπῆς ὡς ὑποβάθρου. Αἱ βαθμίδες τοῦ πρανοῦς πρὸς τὰ κατάντη ἔχουσιν κοιτόστρωσιν ἐκ λίθων ὥστε οἱ σχηματιζόμενοι ῥύακες τῶν ὑετίων ὑδάτων νὰ μὴ προσβάλλωσιν τὸ ἐπίχωμα. Τὸ φράγμα βασίζεται ἐπὶ γρανίτου (καολινοποιημένου) καὶ φέρεται ἐπὶ στρώματος ἀμμοχαλίκου (ἐνισχυομένου καὶ διὰ σωλήνων Φ. 20 ἑκ.) ὅπερ ἐνεργεῖ ὡς στραγγιστήριον.

Εἰς τὸ Σχ. 170 δίδεται τὸ φράγμα Sorpe μὲ κεντρικὸν πυρῆνα ἐκ σκυροδέματος (φέροντα καὶ στραγγιστικὸν δίκτυον). Ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη πλευρὰ κατεσκευάσθη ἐκ πυκνοτέρων στρωμάτων ἀργίλλου, ἡ δὲ πρὸς τὰ



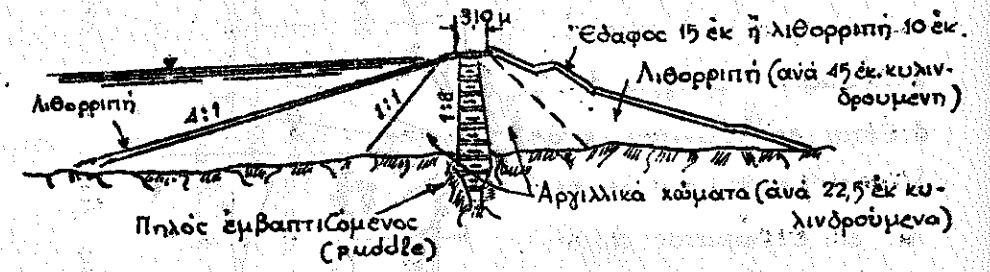
Σχ. 169. Φράγμα Arvo a Nicelle (Καλαβρία)

κατάντη ἐκ μίγματος χαλίκων καὶ λίθων ἰσχυρῶς κυλινδρουμένων. Τὸ μειονέκτημα τῶν κατασκευῶν τούτων ἐξετέθη ἤδη εἰς τὰ λιθόρριπτα φράγματα.



Σχ. 170 Φράγμα Sorpe (Γερμανία)

Εἰς τὸ Σχ. 171 δίδεται τὸ φράγμα Talla ἔνθα ὁ στεγανὸς πυρὴν κατεσκευάσθη δι' ἐμβαπτιζομένου πηλοῦ (puddle).



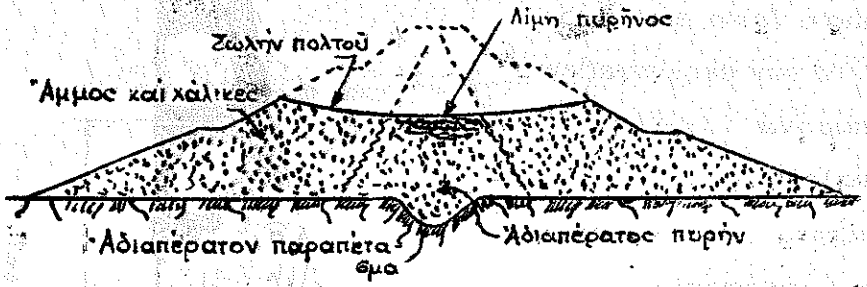
Σχ. 171 Φράγμα Talla

β) Ὑδατόπλαστα φράγματα

Τὰ ὑδατόπλαστα φράγματα κατασκευάζονται διὰ προσκομίσεως τοῦ ὑλικοῦ ἐν αἰωρήσει μέσῳ σωλήνων εἰς τὴν ὁριστικὴν αὐτοῦ θέσιν (βλ. Σχ. 172).

Ἡ ἔξοδος τοῦ μίγματος ἐκ τῶν σωλήνων δημιουργεῖ τὴν κοκκομετρικῶς βαθμιαίαν διάταξιν τοῦ ὑλικοῦ ὥστε εἰς τὸ μέσον

ἔνθα καὶ λιμνάζει τὸ μῖγμα καθιζάνουν τὰ λεπτόκοκκα ὑλικὰ καὶ σχηματίζουν τὸν ὑδατοστεγῆ πυρῆνα.



Σχ. 172 · Κατασκευὴ ὑδατοπλάστου φράγματος

Ἡ ἐργασία ἐπιτελεῖται δι' ἰσχυρῶν ἀκτίνων ὕδατος ὑπὸ πίεσιν, αἵτινες διαλύουν τὸ φυσικὸν χῶμα εἰς τὸ ὀρυχεῖον καὶ τὸ μεταφέρουν εἰς αὐλακας δι' ὧν ῥέει τὸ μῖγμα εἰς τὴν θέσιν του εἰς τὸ φράγμα. Ἡ ταχύτης εἰς τοὺς σωλῆνας διὰ νὰ μὴ καθιζάνῃ μῖγμα 85% ὕδατος ἔχει ὡς ἀκολούθως:

Φ. 40	ἐκ. 4,5	m/θλόν
Φ. 45	» 4,8	»
Φ. 50	» 5,4	»
Φ. 60	» 6,6	»
Φ. 75	» 7,2	»

ἤτοι πρέπει νὰ δημιουργοῦνται μεγάλαι ταχύτητες.

Τὸ ὕψος στρώσεως (δημιουργουμένων διὰ τῆς ὑπερυψώσεως τῶν σωλήνων) ἀνέρχεται εἰς 1,50 μ. συνήθως, αἱ δὲ κλίσεις τῶν πρανῶν κατασκευῆς 5%.

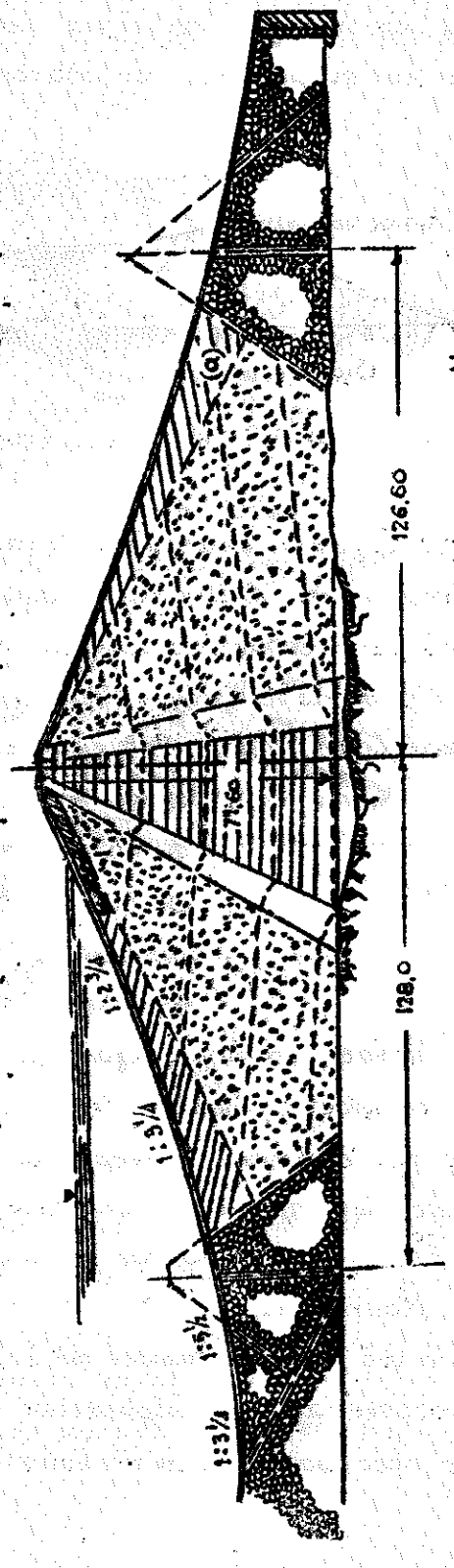
Εἰς τὸ Σχ. 173 δίδεται ἡ κατασκευὴ τοῦ φράγματος Cobble Mountain.

Τὰ δύο τμήματα ἄνωθεν τοῦ ὑδατοπλάστου φράγματος (α,α) δὲν κατασκευάζονται ὑδραυλικῶς ἐπικαλύπτονται δὲ διὰ λιθορριπῆς πρὸς προστασίαν ἐκ τῶν κυματισμῶν καὶ τῶν ὑδάτων τῆς βροχῆς.

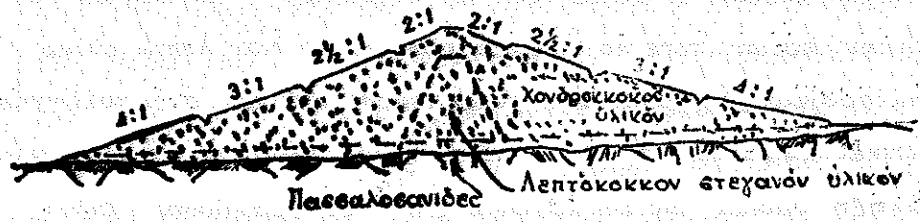
Εἰς τὸ Σχ. 174 δίδεται ἡ τομὴ τοῦ φράγματος German town εἰς Ohio. Ὑπὸ τὸν ἐκπατισθέντα πυρῆνα ἐκτείνονται παραλοβανίδες διὰ τὴν στεγανότητα τῆς συνδέσεως μὲ τὸ ὑπέδαφος.

γ) Ἡμι-υδατόπλαστα φράγματα

Ὁ τύπος τούτων τῶν φραγμάτων κατασκευάζεται διὰ τῆς ἐν ξηρῷ μεταφορᾶς τῶν ὑλικῶν εἰς τὰ δύο ἄκρα τῆς διατομῆς τοῦ φράγματος καὶ τῆς ἐμπλουτίσεως αὐτῶν εἶτα δι' ὕδατος, ὥστε νὰ ἐκπατισθῇ ἡ ὑδατόπλαστος, ὡς ἀνωτέρω διαμόρφωσις αὐτῶν.



Σχ. 173 Φράγμα Cobble Mountain Massachusetts



Σχ. 174 Φράγμα εἰς Cermantown (Ohio)

2. Κίνδυνοι εἰς τὰ χωμάτινα φράγματα καὶ ἀντικείμενον τῶν ὑπολογισμῶν.

Ἵνα ἀντιληφθῶμεν τὰ σημεῖα, ἅτινα δέον νὰ λάβωμεν ὑπ' ὄψιν πρὸ τῆς μελέτης τῶν χωματίνων φραγμάτων, πρέπει νὰ γνωρίζωμεν τοὺς κινδύνους οὓς ταῦτα διατρέχουν καὶ τὰς σημειωθείσας καταστροφὰς αὐτῶν.

Οὕτω ἐκ στατιστικῆς ἐπὶ 82 πρὸ τοῦ 1938 κακῶς κατασκευασθέντων φραγμάτων προκύπτει ὅτι :

32 ἐξ αὐτῶν (39%) κατεστράφησαν λόγω ἀνεπαρκοῦς ὑπερχειλίσεως.

15 » » (18%) κατεστραφ. λόγῳ σχηματισμοῦ πόρων ὕδατος ἐντὸς αὐτῶν (piping).

14 » » (17%) κατεστρ. λόγῳ διηθήσεως τοῦ ὕδατος κατὰ μῆκος τῶν ἀγωγῶν ὑδρολήψιας ἢ ἐκκενώσεως.

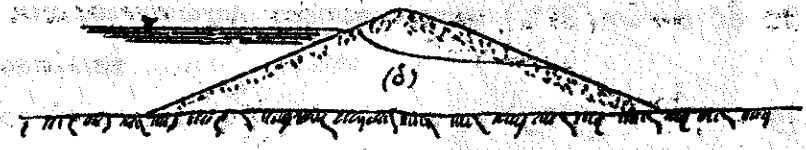
21 » » (26%) κατεστρ. ἐκ διαφόρων ἄλλων αἰτίων.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι κατὰ τοὺς ὑδρολογικοὺς ὑπολογισμοὺς δέον νὰ ἐξαντλῆται ἡ μεγίστη δυνατὴ παροχὴ καὶ νὰ κατασκευάζωνται ἀντιστοίχως ἄπλετοι ὑπερχειλισταί. Ἐφ' ὅσον τὸ ὕδωρ ὑπερχείλιση ἄνωθεν τοῦ φράγματος εἶναι τοῦτο ὁριστικῶς καταδικασμένον εἰς καταστροφήν.

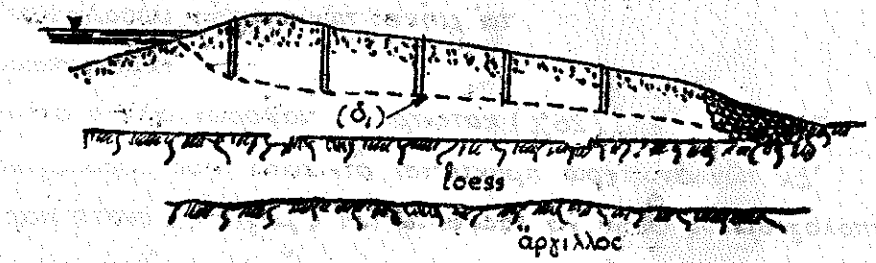
Ἐκ παραλλήλου ἐάν τό ὑλικόν τοῦ φράγματος ἐπιτρέπει τήν εὐχερῆ δίοδον δι'αὐτοῦ καί τόν σχηματισμόν τριχοειδῶν κατ' ἀρχήν πόρων, τότε τό ὕδωρ παρασύρει τά λίαν λεπτά ὑλικά τοῦ φράγματος, μεγεθύνει τούς πόρους καί λαμβάνει ταχύτητας αἵτινες δυνατόν νά παρασύρουν χονδρότερα ὑλικά καί νά καταλήξῃ ὁμοίως εἰς τήν καταστροφήν τοῦ φράγματος (piping danger de remarde).

Ἐνδιαφέρει ὅθεν ὁ προσδιορισμός τῶν συνθηκῶν ροῆς τοῦ ὕδατος ἐντός τοῦ φράγματος, ἤτοι ὁ προσδιορισμός τοῦ δικτύου ροῆς (Flow net), ἤτοι τῶν γραμμῶν ροῆς καί δυναμικοῦ, ἰδιαιτέρως δέ τῆς ἐπιφανειακῆς γραμμῆς ροῆς, ἥτις ἀποτελεῖ καί τόν φρεάτιον ὁρίζοντα τοῦ ὕδατος ἐντός τοῦ φράγματος καί ἥτις καλεῖται γραμμή διηθήσεως ἤ γραμμή κορεσμοῦ (seepage line, ligne de saturation).

Εἰς τό Σχ. 174 δίδεται ἡ ὑποθετική γραμμή διηθήσεως (δ) εἰς φράγμα ἐξ ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ, εἰς δέ τό Σχ. 175 ἡ πραγματικῶς παρατηρηθεῖσα γραμμή (δ_1) εἰς τό κατασκευασθέν φράγμα Bos-



Σχ. 175 Ἰδεατή γραμμή διηθήσεως εἰς ὁμοιογενές φράγμα

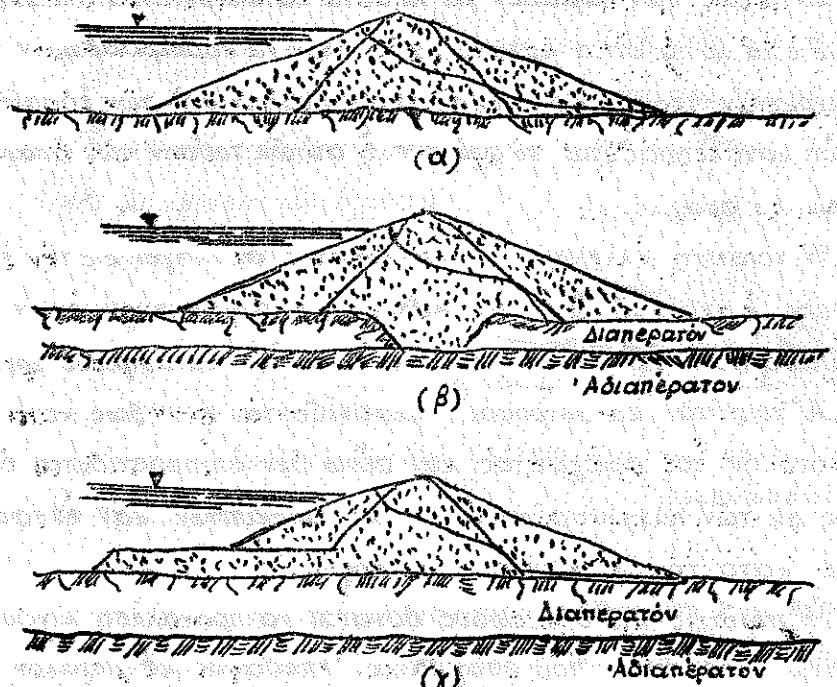


Σχ. 176 Παρατηρηθεῖσα γραμμή διηθήσεως εἰς ὁμοιογενές φράγμα Ζυ (Ε.Σ.Σ.Δ. Ρωσία).

Εἰς τό Σχ. 176 ἡ γραμμή διηθήσεως κατῆλθεν σημαντικῶς ἀπό τήν θεωρητικήν διά τῆς τοποθετήσεως διϋλιστηρίου εἰς τόν πόδα τοῦ κατάντη πρανοῦς. Τά διϋλιστήρια ταῦτα ἁπλοῦνται ἐνίοτε ἐπί μεγάλου μήκους (διηθητικόν ταπητα) ὑπό τό ἐπίχωμα, ὥστε νά κατέρχηται ἡ γραμμή διηθήσεως ἔτι ταχύτερον καί νά στραγγίζωνται τά ὕδατα χαμηλά.

Εἰς τό Σχ. 177 δίδεται ἡ γραμμή διηθήσεως εἰς ἀνομοιογενῆ φράγματα καί δή ἐπικείμενα α) εἰς ἀδιαπέρατον ἔδαφος ἤ β) καί γ) εἰς διαπερατά ἐδάφη.

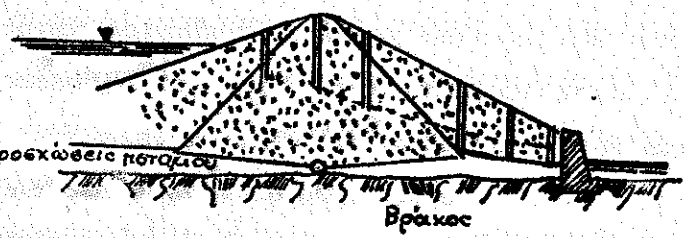
Εἰς τό Σχ. 177 τό ἀδιαπέρατον ὑλικόν τοῦ πυρῆνος ἐπεκτείνεται εἰς τά ἀνάντη πρός σχηματισμόν ἀδιαπεράτου (ἀργιλλικοῦ



Σχ. 177. Ἀνομοιογενῆ φράγματα (Ἀδιαπέρατος πυρήν).

τάπητος, ὅστις συντελεῖ εἰς τήν ἐλάττωσιν τῆς ροῆς διά μέσου τοῦ διαπερατοῦ (ὑπό τό φράγμα) στρώματος τοῦ ὑπεδάφους. Εἰς τά Σχήματα 177 α, β, γ ἐμφαίνεται ἡ πτῶσις τῆς γραμμῆς ροῆς εἰς τά

ἀδιαπέρατα τμήματα τοῦ φράγματος, οὖσα ἰσχυροτέρα ἢ εἰς τὰ διαπερατά. Εἰς τὸ Σχ. 178 ἐμφαίνεται ἡ γραμμὴ ροῆς εἰς τὸ ἀνομοιογενὲς φράγμα Unkal εἰς Ἰνδίας.



Σχ. 178 Φράγμα Unkal (Ἰνδία)

Ἡ ἐλευθερία διόδου τοῦ ὕδατος, χέοντος κατὰ μῆκος τῶν ἀγωγῶν ὑδροληψίας, δημιουργεῖ τὰς αὐτὰς, ὡς ἀνωτέρω συνθήκας κινήσεως τῶν κομάτων μὲ τὰ αὐτὰ καταστρεπτικὰ ἀποτελέσματα.

Εἰς τὰ λοιπὰ αἴτια καταστροφῆς δέον νὰ συμπεριλάβωμεν τὴν ἀνεπάρκειαν τῆς συνεκτικότητος (cohesion) τῶν ἐδαφῶν ἐφ' ὧν κατασκευάζεται τὸ φράγμα ἢ αὐτῶν τοίχων τῶν ἀπαρτιζόντων τὸ φράγμα.

Ἡ τοιαύτη ἔλλειψις συνεκτικότητος ἀπολήγει εἰς τὴν ἐμφάνισιν ἐπιφανειῶν ὀλισθήσεως, δημιουργουμένων κατὰ διαφόρους τρόπους καὶ προκαλούντων τὴν καταστρ. τοῦ ἔργου.

Αἱ τοιαῦται καταστροφαί, ἐμφανίζονται συνήθως κατὰ τὴν κατασκευὴν τοῦ φράγματος καὶ οὕτω δὲν ἐπιπροστίθεται ὁ κίνδυνος ἐκ τῶν πλημμυρῶν, ὅστις θὰ προέκυπτεν ἐὰν ἐνεφανίζοντο κατὰ τὴν λειτουργίαν τοῦ ἔργου.

Ἡ ποιότης τοῦ ὑπεδάφους δύναται νὰ προκαλέσῃ κινδύνους εἰς τὴν ἰσορροπίαν τοῦ φράγματος. Ὑπέδαφος μὲ μεγάλον συντελεστὴν ὁμοιομορφίας, ἐὰν κορεσθῇ ὕδατος καὶ ἔχῃ πυκνότητα (densité) μικροτέραν τῆς κρισίμου τοῦ ὑλικοῦ τοῦ φράγματος εἶναι δυνατὸν νὰ συμπεριφερθῇ ὡς ὑγρὸν καὶ νὰ ρεύσῃ ὑπὸ τὸ βάρος τοῦ ἔργου, ὅπερ οὕτως θὰ καταρρεύσῃ.

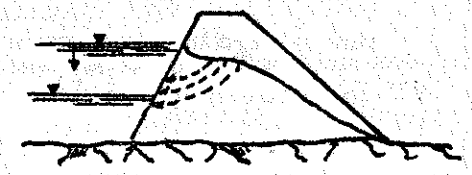
Ἐκ τῶν ἀνωτέρω λεχθέντων περὶ τῶν κινδύνων καταστροφῆς τῶν φραγμάτων συνεπάγεται ὅτι αἱ ἀκόλουθοι συνθῆκαι πρέπει νὰ ἀποτελέσωσιν ἀντικείμενον μελέτης, πρὸ τῆς κατασκευῆς χωματίνου φράγματος καὶ νὰ ὑπαχθῶσιν εἰς τὴν βάσανον ὑπολογισμῶν, δοκιμῶν ἢ καὶ ἀμφοτέρων.

1ον. Ὁ κίνδυνος ὑπερχειλίσεως τῶν ὑδάτων ὑπεράνω τοῦ φράγματος δέον νὰ ἀποκλεισθῇ τελείως (Μελέτη ὑδρολογικῶν στοιχείων, ἐπαρκὴς ὑπολογισμὸς καὶ ἀνεπίληπτος κατασκευὴ ἀκκειλιστοῦ).

2ον. Ἡ γραμμὴ διηθήσεως (γραμμὴ κορεσμοῦ) τῶν διὰ τοῦ φράγματος διηθουμένων ὑδάτων δέον νὰ μὴ ἐμφανίζηται ἐπὶ τῆς κατάντης παρειᾶς τοῦ φράγματος.

3ον. Ἡ ἀνάντη παρειὰ δέον νὰ μὴ κινδυνεύῃ εἰς ὀλίσθησιν εἰς περίπτωσιν ἀποτόμου ἐκκενώσεως τῆς λίμνης (βλ. ὡς Σχ. 179 τὰς γραμμὰς ροῆς δι' ἀποτόμου ἐκκένωσιν).

4ον. Αἱ κλίσεις τῶν ἀνάντη πρανῶν δέον νὰ ἐξασφαλίζουν τὴν εὐστάθειαν τοῦ φράγματος συναρτήσει τῶν χρησιμοποιουμένων ὑλικῶν καὶ λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν τῆς μεθόδου ὑπολογισμοῦ καὶ τῶν παραδεκτῶν ὑποθέσεων) νὰ ἐξασφαλίζουν ἱκανοποιητικοὺς συντελεστὰς ἀσφαλείας. Ἐνταῦθα δέον νὰ ὑπολογίζωνται κυρίως αἱ διατμητικαὶ τάσεις, αἵτινες πιθανὸν νὰ ἐμφανισθῶσιν εἰς διάφορα σημεῖα τοῦ φράγματος (ἐκ τοῦ στατικοῦ ὑπολογισμοῦ) καὶ νὰ ἐξετάζεται ἐὰν αὗται δύνανται νὰ παραληφθῶσιν ὑπὸ τοῦ ὑλικοῦ δοκιμαζομένου



Σχ. 179 Γραμμαὶ ροῆς δι' ἀποτόμου ἐκκενώσεως

ἐργαστηριακῶς καὶ ἐπὶ τόπου πρὸς προσδιορισμὸν τῶν ὑπ' αὐτοῦ δυναμένων νὰ παραληφθῶσιν διατμητικῶν τάσεων.

5ον Αἱ ὑπὸ τοῦ ἔργου μεταδιδόμεναι εἰς τὸ ἔδαφος τάσεις νὰ δύνανται νὰ παραληφθῶσιν ὑπὸ τοῦ τελευταίου τούτου ἄνευ κινδύνου καθιζήσεων (πέραν τῶν ἐπιτρεπομένων) ὀλισθήσεως ἢ διαρροῆς.

6ον Ἐντὸς τοῦ φράγματος ἢ τοῦ ὑπεδάφους δέον νὰ ἀποκλείεται ἡ δημιουργία διόδων προτιμήσεως τοῦ ὕδατος, ἐπιτρεπόντων τὴν διοχέτευσιν αὐτοῦ ἐκ τῶν ἀνάντη πρὸς τὰ κατάντη.

7ον Τὸ διὰ τοῦ φράγματος ἢ τοῦ ὑπεδάφους διηθούμενον ὕδωρ δέον ν' ἀναδύεται εἰς τὴν κατάντη παρειὰν μὲ τὴν μικροτέραν δυνατὴν ταχύτητα καὶ τὸν δυνατὸν τεχνικώτερον τρόπον ὥστε ἐν οὐδεμιᾷ περιπτώσει νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ παράσυρσις καὶ τῶν λεπτοτέρων κόκκων τοῦ ὑλικοῦ.

8ον Τὰ ἀνάντη πρανῆ δέον νὰ ἐξασφαλίζωνται ἀπὸ πάσης δυνατῆς βλαπτικῆς ἐπιρροῆς τῶν κυμάτων ἢ ἐπιπλεόντων ἀντικειμένων ἢ μεγάλων ταχυτήτων ὕδατος (λ.χ. πλησίον τῶν ἐκχειλιστῶν).

9ον Τὰ κατάντη πρανῆ δέον νὰ προστατεύωνται ἐπιμελῶς ἀπὸ πάσης ἐπιρροῆς τῶν ἀτμοσφαιρικῶν συνθηκῶν (βροχή, χιών, ἰσχυροὶ ἄνεμοι κ.λ.π.).

Μὲ βάσιν τὰς ἀνωτέρω συνθήκας δυνάμεθα ἤδη νὰ προσεγγίσωμεν τοὺς τρόπους ὑπολογισμοῦ τῶν φραγμάτων.

3. Σύστασις καὶ ἀντοχὴ (συμπεριφορὰ) τοῦ ὑλικοῦ τῶν χωματίνων φραγμάτων. Φυσικαὶ καὶ ἐργαστηριακαὶ ἔρευναι (Στοιχεῖα ἐδαφομηχανικῆς).

Διὰ τὴν ἐκλογὴν τοῦ ὑλικοῦ, τὸν ὑπολογισμὸν καὶ τὴν κατασκευὴν τῶν χωματίνων φραγμάτων δέον ὅπως ἔχωμεν ὑπ' ὄψιν λεπτομερῶς τὴν φύσιν καὶ τὰς ἰδιότητας τοῦ ὑλικοῦ ἐξ οὗ ταῦτα κα-

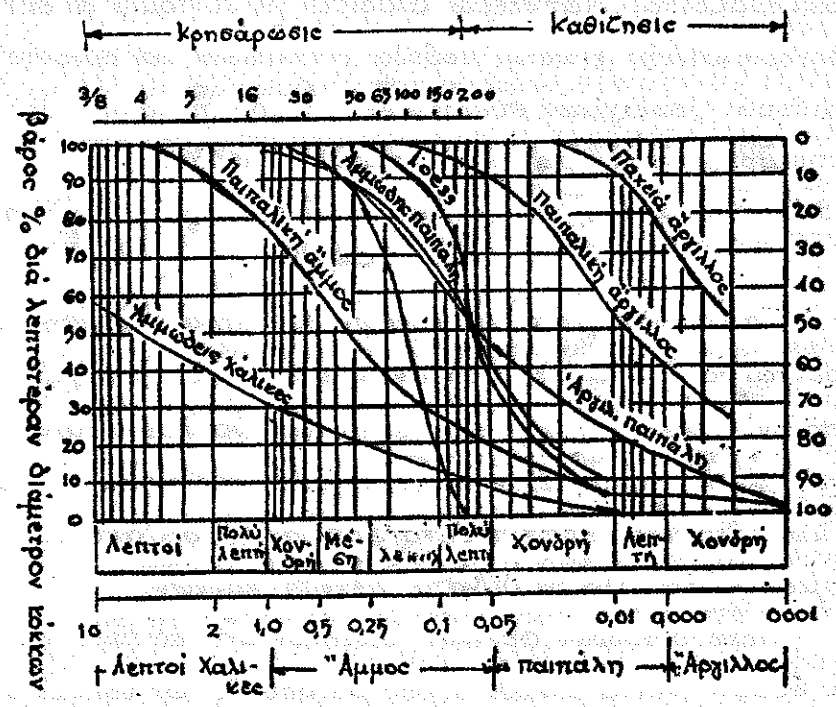
τασκευάζονται. Κατωτέρω δίδονται ἐν συντομίᾳ αἱ ἐκτῆς ἐδαφομηχανικῆς γνωσταί μέθοδοι ἀναλύσεως καί ἐρεύνης τῶν ψαθυρῶν γεωλογικῶν συστατικῶν (ἄμμος, παιπάλη, ἰλύς), ἅτινα χρησιμοποιοῦνται διά τάς ἐν λόγῳ κατασκευάς.

3-1 Μηχανική ἀνάλυσις τοῦ ἐδάφους. Κοκκομετρική σύνθεσις.

Τά ἀπηλλαγμένα ὀργανικῶν συστατικῶν ἐδάφη, ἀποτελοῦνται ἀπό κόκκους ἀνοργάνων συστατικῶν τό μέγεθος τῶν ὁποίων συνίσταται ἀπό ἐλαχιστοτάτας διαστάσεις μικρῶν τινῶν (κολλοειδῆ) μέχρι τῶν γνωστῶν μεγεθῶν τῆς ἄμμου καί τῶν χαλίκων. Συνήθως εἰς τά πλεῖστα φυσικά ἐδάφη ἀπαντῶνται ἀναμεμιγμένα ὅλα τά δυνατά μεγέθη κόκκων.

Λόγῳ διαφόρων φυσικῶν ἰδιοτήτων αἵτινες παρουσιάζονται εἰς ἐδάφη ἔχοντα μικρόν εὖρος μεταβολῆς τῶν κόκκων αὐτῶν (σχετικῶς μεγάλην ὁμοιομορφίαν) κατατάσσονται ἀναλόγως τοῦ εὖρους τούτου τά ἐδάφη εἰς τέσσαρας διακεκριμένας κατηγορίας ἤτοι χάλικας, ἄμμον (sand), παιπάλην (silt) καί ἄργιλλον (clay). Εἰς τό Σχ. 180 ἐμφαίνεται ἡ μηχανική ἀνάλυσις διαφόρων κατηγορῶν ἐδαφῶν, ὡς καί τά ὅρια τῆς διαμέτρου τῶν κόκκων (ἰσοδύναμος διάμετρος ποικιλομόρφων ἀνωμάλων κόκκων) διά τάς ὡς ἄνω κατηγορίας. (Εἰς τά λεπτά ὑλικά κανονισμοί διαφόρων ὀργανισμῶν ἔχουν ἐνίοτε διάφορα ὅρια ἀπό τά ὡς ἄνω τοῦ Ἀμερ. Γραφείου τασινομίσεως τῶν ἐδαφῶν).

Προκειμένων μιγμάτων ἐδαφῶν ἡ ὀνομασία λαμβάνεται ἀπό τό ὑπερισχύον ὑλικόν καί τό ἐπικρατέστερον τῶν δευτερευόντων (βλ. Σχ. 180. πακετᾶ ἄργιλλος, παιπαλική ἄργ. ἀργιλλική παιπάλη, ἀμμώδης παιπάλη, παιπαλική ἄμμος, ἀμμώδεις χάλικες. Ἡ ἄμμος τῶν αἰολικῶν θινῶν, loess, ἔχει, γνωστόν, μεγάλην ὁμοιομορφίαν λεπτῶν κόκκων ὡς ἐμφαίνεται εἰς τό αὐτό σχῆμα). Λεπτομερέστερον, ἀ-



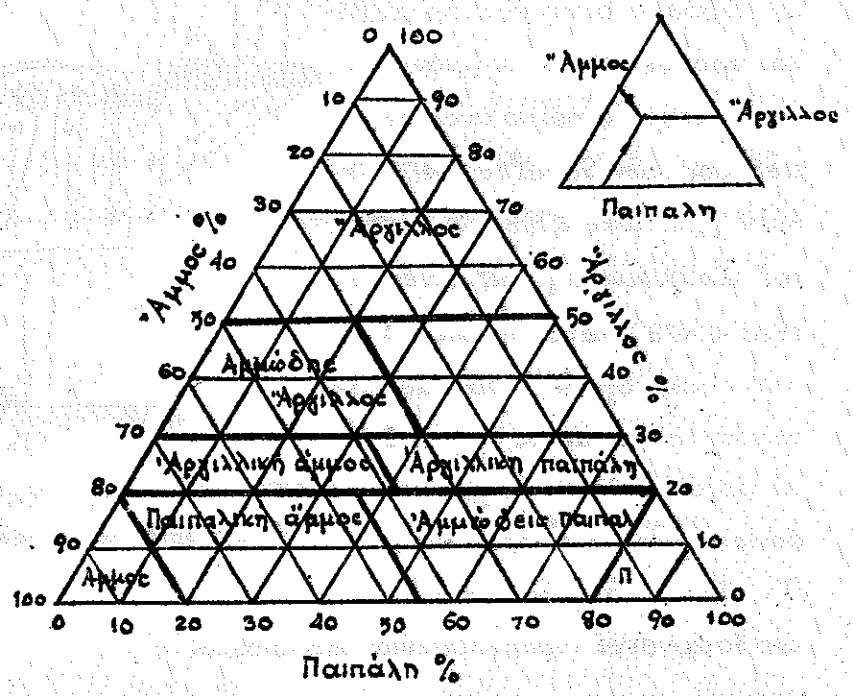
Σχ. 180 Μηχανικὴ ἀνάλυσις διαφόρων ἐδαφῶν

ναλόγως τῆς ἐν βάρους ἑκατοστιαίας ἀναλογίας ἄμμου, παιπάλης καὶ ἀργίλλου δίδονται αἱ ἄνω μικταὶ ὀνομασίαι εἰς τὰ ἐδάφη συμφώνως πρὸς τὸ Σχ. 181 ὅπερ ἀποδίδει τὴν "Τριγωνικὴν ταξινόμησιν τῶν ἐδαφῶν."

"Ἕκαστον δεῖγμα ἐδάφους ἀναλόγως τῶν 3 ἀνω συστατικῶν δίδει ἓν σημεῖον ἐπὶ τοῦ τριγώνου (βλ. τρόπον ἀναγραφῆς ἄνω δεξιὰ τοῦ Σχ. 181.) καὶ ἀναχιγνώσκεται ταυτοχρόνως τὸ εἶδος τοῦ ἐδάφ.

Ἡ κοκκομετρικὴ ἀνάλυσις τῶν ἐδαφῶν διὰ σχετικῶς μεγάλας διαμέτρους γίνονται διὰ τῆς κρησαρώσεως ξηροῦ ἐδάφους διὰ σειρᾶς κρησάρων διαφόρου διαμετρήματος καὶ ζυγίσεως τοῦ βάρους τοῦ μεταξὺ δύο κρησάρων διαδοχικοῦ διαμετρήματος.

Ἡ κρησάρωσις γίνεται μέχρι κόκκων διαμέτρου 0,074 χιλ. (ἀριθ. 200 τῶν προτύπων κρησάρων τῶν Η.Π.Α.) ἤτοι 200 ὀπαὶ ἀνὰ τρέχουσαν ἴντσαν κρησάρου.



Σχ. 181. Τριγωνική ταξινόμισις ἐδαφῶν (Mississippi River Com.)

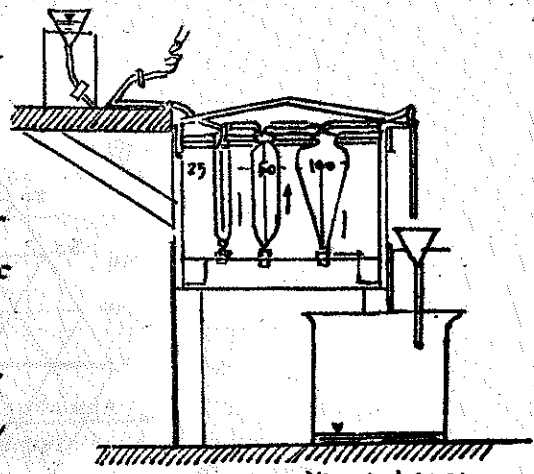
Διά λεπτοτέρους κόκκους ἡ ἀνάλυσις γίνεται ὑδραυλικῶς τοῦ δείγματος διαρρεομένου ὑπό ὕδατος τῆς αὐτῆς παροχῆς ἐντὸς κυλίνδρων διαφόρου διαμέτρου ἄρα μέ διάφορον ταχύτητα (βλ. Σχ. 182). Τοιουτοτρόπως εἰς ἕκαστον κυλίνδραν παραμένουν κόκκοι διαφόρου διαμέτρου οἵτινες ξηραίνονται καί ζυγίζονται καί οὕτω προκωρεῖ ἡ ἀνάλυσις εἰς τό Σχ. 180 διά τούς λεπτοτέρους κόκκους.

Ἡ διάμετρος τῶν κόκκων νῦν ὑπολογίζεται ἐκ τῆς ταχύτητος ἀνόδου εἰς τούς κυλίνδρους διά τοῦ τύπου τοῦ Stakes:

$$(89)\quad d_{mm}=\sqrt{\frac{18\nu}{(\gamma_1-\gamma)}\cdot\frac{v}{g}}\quad \text{ἔνθα}\quad v=\frac{Q}{F}\quad (F\ \text{ἐπιφάνεια κυλίνδρου}).$$

καὶ $\gamma = \frac{0,0175}{1+0,04\,t_0}$ $cm^3/sec.$

Ἡ μέθοδος αὕτη ἀπαιτεῖ μεγάλον χρόνον διὰ τὰς δοκιμὰς καὶ ἀντ' αὐτῆς χρησιμοποιεῖται ἡ μέθοδος τῶν Schulze καὶ Harkort (βλ. Tölke 6.198) ἢ ἡ μέθοδος τοῦ Βουγιούκου (Soil Science 1928 6.473) κατὰ τὴν ὁποίαν ἓν λίαν εὐαίσθητον ἀραιόμετρον τοποθετεῖται ἐντὸς ὑαλίνου κυλίνδρου ἔνθα τὸ δεῖγμα τοῦ ἐδάφους καλῶς ἀναταραχθὲν (Σχ. 183) τὸ ἀραιόμετρον ἔχει διαβαθμισθεῖ προηγουμένως καὶ δίδεται ἡ σχετικὴ καμπύλη αὐτοῦ (πυκνώτης αἰωρήματος συναρτήσει βυθίσεως).



Υαλικά d<0,01

Σχ182 Μηχανικὴ ὑδραυλικὴ ἀνάλυσις λεπτοκόκκων ἐδαφῶν.

Ἤδη ἅμα τῇ τοποθετήσει τοῦ ἀραιομέτρου ἐντὸς τοῦ ἀναταραχθέντος ἀναχωρήματος ἀναγιγνώσκονται εἰς χρόνους t (1, 2, 5, 10, 30..60 λεπτὰ) καὶ οἱ ἀντίστοιχοι βυθίσεως α τοῦ ἀραιομέτρου.


Σχ. 183 Ἀραιόμετρον

Ἔχοντες ὑπ' ὄψιν ὅτι $v = \frac{\alpha}{2}$ εὑρίσκομεν τὰς ἑκάστοτε διαμέτρους ἐκ τοῦ ὡς ἄνω τύπου:

$$(90)\quad d = \sqrt{\frac{\alpha}{gt} \cdot \frac{18\nu}{\gamma_1 - \gamma}}$$

ἐνῷ τὸ ποσοστὸν τοῦ βάρους τῆς ἀντιστοίχου διαμέτρου εὑρίσκεται ἐκ τῆς ἀντιστοιχούσης πυκνότητος ἐκ τῆς καμπύλης πυκνότητος αἰωρήματος βυθίσεως.

3-2 Τὸ πορῶδες ἡ ὑγρασία καὶ ἡ πυκνότης τῶν ἐδαφῶν

Τὰ ἐδάφη ἀποτελοῦνται ἀπό στοιχεῖα, ἅτινα ἔχουν μορφήν κόκκων ἢ ἱζηματικῶν οὐσιῶν (flocules). Οἱ κόκκοι εἶναι σφαιροειδῆ ἢ γωνιακά ἀνεξάρτητα σωματίδια ὡς λ.χ. ἡ ἄμμος. Ὁ ὄγκος τῶν διακένων (τὸ πορῶδες) αὐτῶν εἶναι μικρός καί μεταβάλλεται ἐντός περιορισμένων ὁρίων.

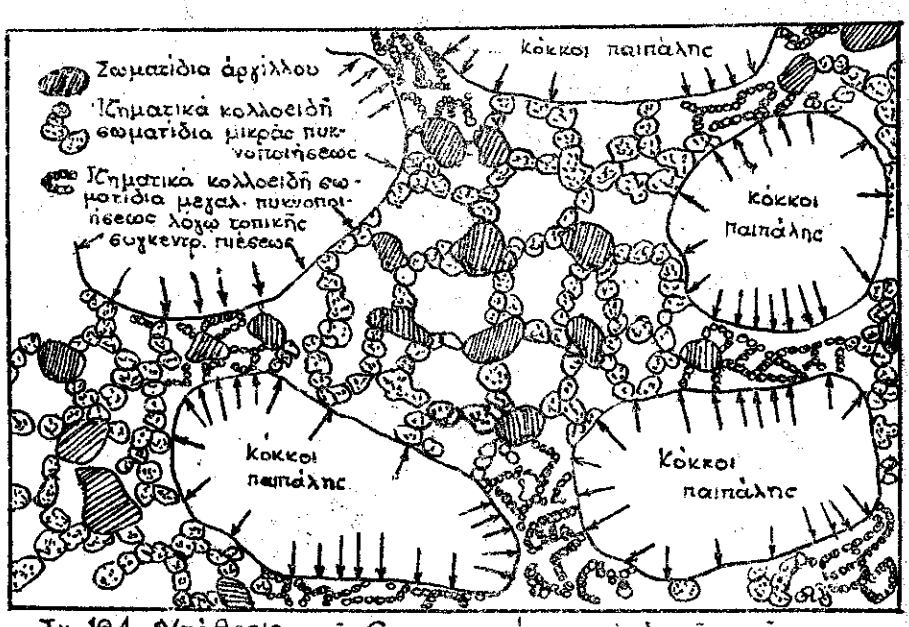
Εἰς ἐδάφη μέ πολύ λεπτά σωματίδια, ὡς εἶναι ἡ ἄργιλλος λ.χ. ὁμοία συμπαχής σύστασις αὐτῶν παρεμποδίζεται λόγῳ ἠλεκτροχημικῶν δυνάμεων ἕλξεως (Ca^{++}, Al^{+++}, K^{+}, Fe^{+++}, Na^{+}, Li^{+}) μεταξύ τῶν μικροσκοπικῶν μορίων. Κατά τήν καθίζησιν αἱ δυνάμεις αὐταί προκαλοῦν ἐνδεχομένως συσσώρευσιν τῶν μορίων εἰς ἀμόρφους ἱζηματικάς οὐσίας (floccules) διά τοῦ φαινομένου τῆς ἱζηματοποιήσεως (coagulation). Ἡ οὕτω προκύπτουσα κυψελοειδής ἢ ἱζηματική μορφή ἔχει διάκενα πολύ μεγαλύτερα ἢ ἡ κοκκώδης μορφή τοῦ ἐδάφους, καί παρουσιάζει, ἑπομένως δυνατότητα μεγάλης συμπιέσεως διά τῆς θλάσεως τῆς ἀρχικῆς κυψελοειδοῦς μορφῆς. Διά τούς ὡς ἄνω λόγους τά ἀργιλλικά ἐδάφη παρουσιάζουσι μεγάλα διάκενα, μεγάλην περιεκτικότητα εἰς ὕδωρ καί ἐπί πλέον μεγάλας μεταβολάς πυκνότητος, ἐν συγκρίσει πρός τά κοκκώδη ἐδάφη.

Ἡ ἀνάπλασις (remolding) ἐδαφῶν μέ λεπτά συστατικά διά τῆς διαταράξεως τῆς δομῆς αὐτῶν (ἰδία εἰς ἀργίλλους) προκαλεῖ ἐνίοτε σοβαράς κατασκευαστικάς δυσχερείας εἰς τάς θεμελιώσεις, διότι δι' αὐτῆς ἐλαττοῦται ἀφ' ἑνός ἡ εἰς διάτμησιν ἀντοχή τοῦ ἐδάφους ἐνῶ ἐξ ἄλλου αὐξάνει τό συμπιεστόν αὐτοῦ (compres.)

Διά τόν λόγον αὐτόν δέον τά ἐδάφη αὐτά νά δοκιμάζωνται

ἐργαστηριακῶς πρό τῆς ἐκτελέσεως οἱωνδήποτε ἔργων (πασσαλώσεις) ὀρύγματα κ.τ.λ.) ἄτινα ἐνδεχομένως θά διαταράξουν τήν σύστασιν αὐτῶν.

Ἐπικρατεστέρα ἐκ τῶν θεωριῶν συμμίκτου δομῆς τῶν ἐδαφῶν εἶναι ἡ τοῦ Casagrands ἡ διδομένη εἰς τό Σχ. 184 ἐξ ἧς καταφαίνεται ὁ λόγος διά τόν ὁποῖον ὁ ἄργιλλος δύναται νά βαστάξῃ μεγάλα φορτία ἐάν δέν διαταραχθῇ ἡ δομή αὐτῆς, ἐνῶ ἐξ ἄλλου γίνεται μαλακή ἐάν τύχῃ ἀναπλάσεως, ὁπότε καταστρέφεται ὁ ἀντιστηρίζων σκελετός δομῆς, ἀναμιγνύεται μέ τά μή συμπυκνωμένα τμήματα καί αὐξάνεται τό συμπιεστόν τῆς ὅλης δομῆς.



Σχ. 184 Ὑπόθεσις τοῦ Casagrande περί δομῆς τῆς ναυτικῆς ἀργίλλου

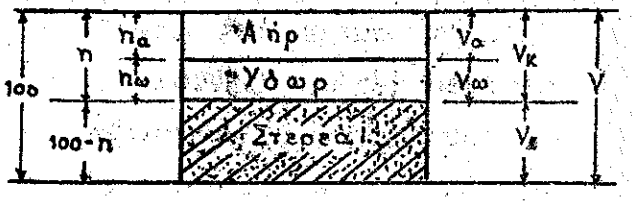
Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι τό πορῶδες κυμαίνεται εἰς τά διάφορα ἐδάφη μεγάλως ἀναλόγως τῆς συστάσεως αὐτοῦ ἀλλά δύναται νά μεταβάλλεται εἰς τό αὐτό ἔδαφος ἀναλόγως τῶν ἐπ' αὐτοῦ ἐξασκουμένων πιέσεων.

Τό π ο ρ ῶ δ ε ς τοῦ ἐδάφους εἰς ἑκάστην κατάστασιν αὐτοῦ

ἐκφράζεται ὡς ἑκατοστιαία ἀναλογία (n) τοῦ ὄγκου τῶν κενῶν ($V_κ$) ὡς πρὸς τὸ ὅλον ὄγκον (V) τοῦ ἐδάφους, ἤτοι :

$$n = \frac{V_κ}{V} \cdot 100 \qquad (91)$$

Τὸ πορῶδες τῆς ἄμμου κυμαίνεται ἀπὸ 30-50%, ἐνῶ αἱ χαμηλότεραι τιμαὶ παρουσιάζονται εἰς ἐναποθέσεις σχηματιζομένας ἐκ βραδέως ῥεόντων ὑδάτων φυσικὰ στρώματα ἀργίλλου παρουσιάζουν πορῶδες δυνάμενον νὰ φθάσῃ 89%. Τὸ πορῶδες πληροῦται δι' ὕδατος ἢ δι' ἀέρος (βλ. Σχ. 185).



Σχ. 185. Πορῶδες (n) καὶ ἀναλογία κενῶν (e)

Συνήθως προκειμένης πυκνοποιήσεως τοῦ ἐδάφους χρησιμοποιεῖται διὰ τὴν μέτρησιν τοῦ πορώδους αὐτοῦ ὁ ὅρος ἀναλογία κενῶν (e) ὅστις ἐκφράζει τὸν λόγον τοῦ ὄγκου τῶν κενῶν ($V_κ$) πρὸς τὸν ὄγκον τῶν στερεῶν ($V_Σ$), ἤτοι :

$$e = \frac{V_κ}{V_Σ} = \frac{n}{100-n} \qquad (92)$$

ὁπότε :

$$n = \frac{e}{1+e} \cdot 100 \qquad (93)$$

Ὁ λόγος e δίδει τὴν ἀναλογίαν τοῦ πορώδους ὡς πρὸς τὸ σταθερὸν μέγεθος $V_Σ$ ἐνῶ ὁ λόγος n ἀναφέρεται πρὸς τὸν ὅλον ὄγκον V, ὅστις μεταβάλλεται εἰς πυκνοποιούμενα ἐδάφη.

Ὁ ὁλικὸς ὄγκος V μετρᾶται δι' ἐμβαπτίσεως εἰς ὑδράργυρον ἢ γεωμετρικῶς ἐπὶ κανονικῶν σχημάτων ἢ διὰ μετρήσεως τοῦ ὄγκου

τῆς ὁπῆς ἣν ἐγκαταλείπει τὸ δοκίμιον

Ὁ ὄγκος τῶν στερεῶν V_Σ ὑπολογίζεται ἐκ τοῦ βάρους B_Σ διαιρουμένου διὰ τοῦ εἰδ. βάρους τῶν γ_1

Ἡ περιεκτικότης εἰς ὕδωρ ἢ ὑγρασία (wassergehalt, water content, teneur en eau) ἐκφράζεται συνήθως ὡς ἡ ἑκατοστιαία ἀναλογία τοῦ βάρους τοῦ περιεχομένου ὕδατος (B_Y) ὡς πρὸς τὸ βάρος τῶν στερεῶν B_Σ (καὶ ὄχι τοῦ ὁλικοῦ βάρους τοῦ ἐδάφους, ὅπερ δὲν εἶναι σταθερὸν εἰς διαφόρους συνθήκας) διὰ τῆς ἐξισώσεως:

$$W = \frac{B_Y}{B_\Sigma} \cdot 100 \qquad (94)$$

Τὸ B_Y καὶ B_Σ ὑπολογίζεται διὰ ζυγίσεως τοῦ δείγματος πρὸ καὶ μετὰ τὴν ξήρανσιν εἰς κλίβανον 105 - 110°C. περιλαμβάνει ὅθεν ἡ περιεκτικότης εἰς ὕδωρ, τὸ ὕδωρ βαρύτητος, τὸ ὕδωρ τοῦ τριχοειδοῦς κατὰ τὴν ὑγροσκοπικὴν ἀκόμη ὑγρασίαν, ἀλλ' ὄχι τὴν στερεᾶς περιβάλλουσα τὰ μόρια τῶν στερεῶν καὶ ὑπ' αὐτῶν προσφυομένην στιβάδα ὕδατος (adsorhed water film)

Εἰς περίπτωσιν καθ' ἣν τὸ ἔδαφος εἶναι πλήρως κεκορεσμένον δι' ὕδατος ἔχομεν τὴν αὐταπόδεικτον σχέσιν:

$$e = \frac{W}{100}\gamma_1 \qquad (95)$$

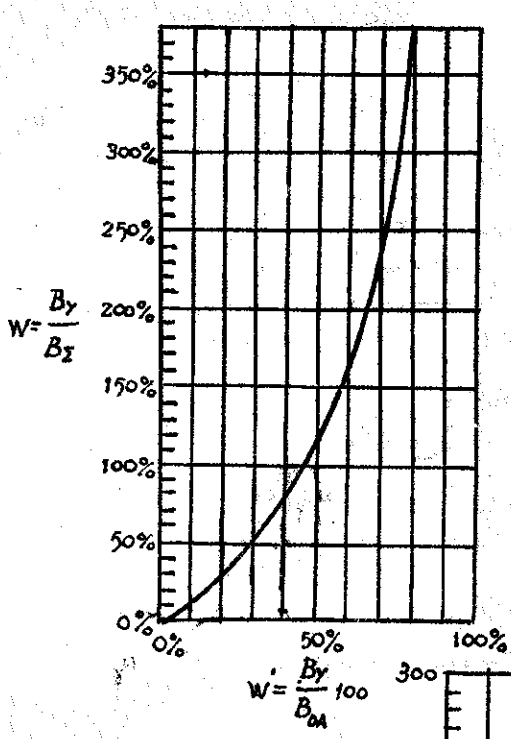
ἔνθα γ_1 τὸ εἰδικὸν βάρος τῶν στερεῶν $\left(e = \frac{V_\kappa}{V_\Sigma} = \frac{B_Y}{B_\Sigma : \gamma_1} = \frac{W}{100}\gamma_1\right)$

Εἰς τὸ Σχ 186 δίδεται ἡ σχέσις τῆς ὑδροχωρητικότητος W τοῦ ἐδάφους ἐκπεφρασμένη εἰς βάρος ὕδατος πρὸς βάρος στερεῶν ἀν σχέσει μὲ τὴν ὑδροχωρητικότητα W' ἐκφραζομένην εἰς βάρος ὕδατος πρὸς τὸ ὁλικὸν βάρος.

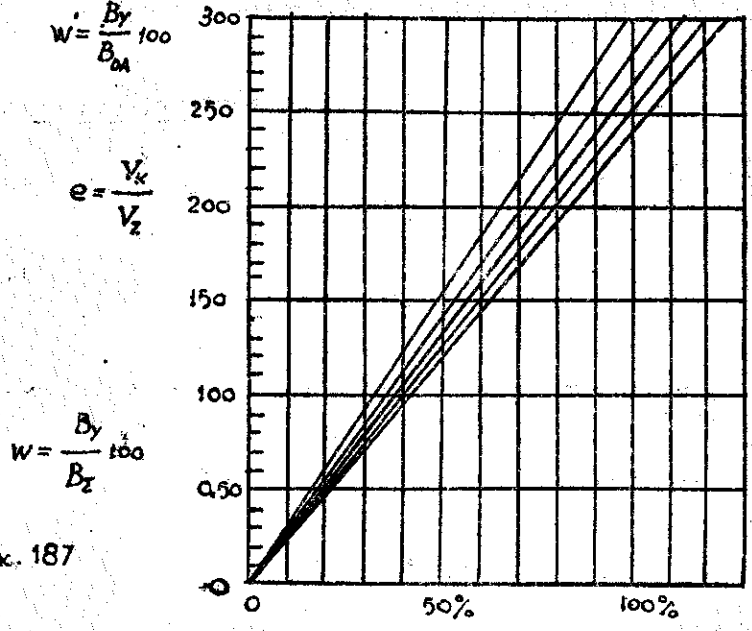
Εἰς τὸ Σχ. 187 δίδεται ὁ λόγος τῶν κενῶν (e) συναρτήσει τῆς ὑδροχωρητικότητος W διὰ πλήρη κορεσμὸν τῶν χωμάτων καὶ διὰ

διαφόρους τιμάς τοῦ πραγματικοῦ εἰδικοῦ βάρους τῶν κωμάτων.

Εἰς τό Σχ. 188 δίδεται ἡ ἐξάρτησις μεταξύ τοῦ λόγου τῶν κενῶν (e) καί τοῦ φαινομενικοῦ ξηροῦ βάρους γ_0 διά διαφόρους τιμάς τοῦ πραγματικοῦ εἰδικοῦ βάρους τῶν κωμάτων.

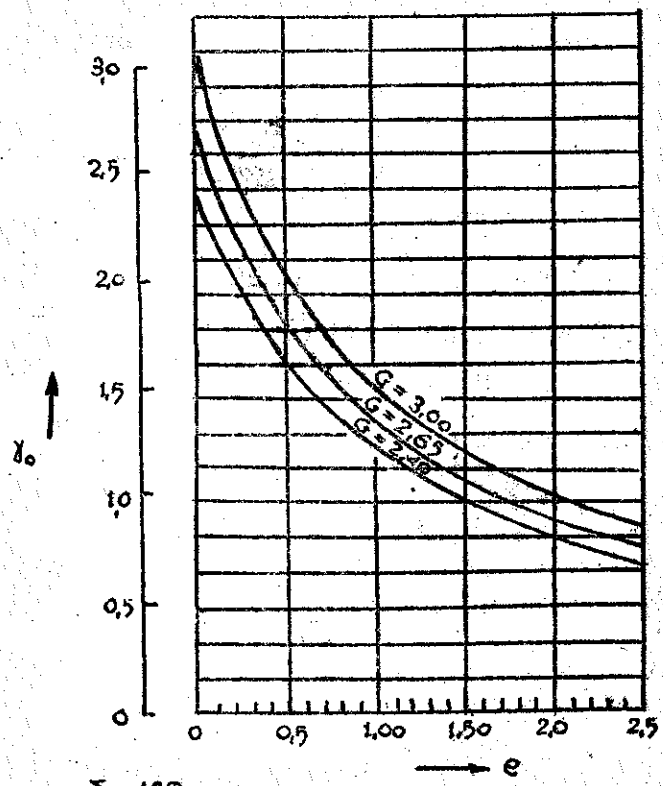


Σχ. 186



Σχ. 187

Τό φαινομενικόν εἰδικόν βάρος γ_0 τῶν κωμάτων (bulk specific gravity, Raumgewicht) εἶναι τό εἰδικόν βάρος τῆς μονάδος τοῦ ὄγκου τῶν κωμάτων (ἄνω τῆς στάθμης τῶν ὑπογείων ὑ-



Σχ. 188

e συναρτήσει γ_0

δάτων) ἤτοι ὁ λόγος τοῦ ὁλικοῦ βάρους τοῦ ἐδάφους εἰς τὸν ἀέρα πρὸς τὸν ὁλικὸν ὄγκον αὐτοῦ εἰς ὃν περιλαμβάνονται ὅλα τὰ διάκενα, ἤτοι :

$$\gamma_0 = \frac{B}{V} \qquad (96)$$

Τὸ φαινομενικὸν εἰδικὸν βάρος ἐξαρτᾶται ἑκάστοτε ἐκ τοῦ ποσοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ ἐδάφους.

Διὰ ξηρὸν ἔδαφος,

$$\gamma_{0\xi} = \frac{B_\Sigma}{V} = \frac{\gamma_1}{1+e} \qquad (97)$$

Τὸ βάρος τοῦτο καλεῖται καὶ ξηρὰ πυκνότης (drydensity)

Διὰ κενὰ πεπληρωμένα μὲ τριχοειδὲς ὕδωρ :

$$\gamma_{0\kappa} = \frac{\gamma_1}{1+e} + \gamma \cdot \frac{e}{1+e} = \frac{\gamma_1 + e}{1+e} \qquad (98)$$

Διὰ κενὰ μερικῶς πεπληρωμένα μὲ ὕδωρ :

$$\gamma_0 = \frac{B}{V} = \frac{\gamma_1}{1+e}(1+W/100) \qquad (99)$$

Εἰς ἣν περίπτωσιν τὸ ἔδαφος εὑρίσκεται ὑπὸ τὸ ὕδωρ τότε τὸ βάρος αὐτοῦ εἶναι ὀλιγώτερον λόγῳ τῆς ἀνώσεως καὶ θὰ εἶναι:

$$\gamma' = \frac{B_\Sigma - (V_\Sigma \cdot \gamma)}{V} = \frac{\gamma_1 - 1}{1+e} \qquad (100)$$

Τὸ φαινομενικὸν εἰδικὸν βάρος ἐδαφῶν τινῶν δίδεται ὑπὸ τοῦ Schacklisch ὡς ἀκολούθως :

Χάλικες	ξηροί	1700 kg/m³	Ἄργιλλος	ὑγρά	1800-2000 kg/m³
»	ὑγροί	2000 »	Γαῖαι	ξηραί	1600 »
Ἄμμος	ξηρὰ	1600 »	»	ὑγραί	2100 »
»	ὑγρὰ	2100 »			

Ἡ πυκνότης (density, dichte) τοῦ ἐδάφους ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ μέγεθος καὶ τὴν μορφὴν τῶν κόκκων, τὴν κοκκομετρικὴν σύνθεσιν αὐτῶν, καὶ ἐκ τῶν ἐπὶ τοῦ ἐδάφους φορτίων.

Ἡ δυνατότης πυκνοποιήσεως (Verdichungsfähigkeit) F, ἑνὸς ἐδάφους δίδεται ἀπὸ τὴν σχετικὴν κατάστασιν τῶν κενῶν εἰς τὴν ψαθυροτέραν δυνατὴν κατάστασιν τῶν (e_{max}) πρὸς τὴν ἐλαχίστην δυνατὴν τιμὴν αὐτῶν (e_{min}), ἤτοι :

$$F = \frac{e_{max} - e_{min}}{e_{min}} = \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{min}(1 - n_{max})} \qquad (101)$$

ἀντιστοίχως δὲ ἡ σχετικὴ πυκνότης (Dd) ἀμμωδῶν ἐδαφῶν μὲ ἀναλογίαν κενῶν (e) δίδεται ὑπὸ τοῦ τύπου :

$$D_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad \text{(σχετικὴ πυκνότης)} \qquad (102)$$

ἤτοι δίδει τὴν σχέσιν ἐλαττώσεως τῶν κενῶν ἀπὸ τὴν ψαθυροτεραν δυνατὴν κατάστασιν (e_{max}) εἰς τὴν πραγματικὴν (e) ἐν σχέσει πρὸς τὴν μεγίστην δυνατὴν πυκνοποίησιν ἐκ τῆς μεγίστης τι-

μῆς τῶν κενῶν (e_m) πρὸς τὴν ἐλαχίστην δυνατήν (e_{min}). Ὁ λόγος οὗτος D_d δίδεται συνήθως εἰς ἑκατοστιαίαν ἀναλογίαν καὶ ἔχει δι' ἄμμον ὡς ἑξῆς :

ψαθυρὰ ἄμμος D_d : 0 ÷ 33 %

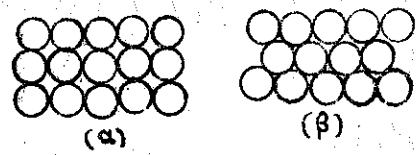
Μέση » D_d : 33 ÷ 66 %

Συμπαχὴς » D_d : 66 ÷ 100 %

Αἱ τιμαὶ τῶν e_{max} καὶ e_{min} δύνανται νὰ ἔχωσιν διαφόρους τιμὰς διὰ διαφόρους κοκκομετρικὰς συνθέσεις. Δι' ὁμοιομόρφους σφαιρικοὺς κόκκους αἱ ἀντίστοιχοι τιμαὶ εἶναι : (βλ. Σχ. 189)

$$\left.\begin{matrix} e_{max} = 0,91 \\ e_{min} = 0,35 \end{matrix}\right\} \text{καὶ ἀντιστοίχως:} \left\{\begin{matrix} n_{max} = 48\,\% \\ n_{min} = 26\,\% \end{matrix}\right.$$

Οὕτω διὰ φυσικὰ ἐδάφη ὅσον ἡ κοκκομετρικὴ σύνθεσις αὐτῶν εἶναι πλέον ὁμοιόμορφος αἱ τιμαὶ τῶν e_{max} καὶ e_{min} πλησιάζουν τὰ ὡς ἄνω ὅρια. Ἀντιθέτως δι' ἐδάφη ἀνομοιομόρφου κοκκομετρικῆς ἀναλύσεως αἱ τιμαὶ e_{max} καὶ e_{min} θὰ εἶναι μικρότεραι, διότι οἱ μικρότεροι κόκκοι συμπληρώνουν τὰ κενὰ τῶν μεγαλυτέρων. Εἰς τὴν πραγματικότητα ὅμως ἡ ἄμμος ἔχει τὰς ὡς ἄνω τιμὰς περίπου πορώδεις ($n_{max} \sim 50\,\%$. $n_{min} \sim 30\,\%$) λόγῳ χωνιώδους καὶ μὴ σφαιρικῆς μορφῆς τῶν κόκκων.



Σχ. 189
Ὁμοιόμορφος σφαιρικὸς κόκκος

Ὁ προσδιορισμὸς τῶν e_{max} καὶ e_{min} εἶναι δυσχερὴς καὶ δὲν ἔχει εἰσέτι προτυποποιηθῆ. Τὸ e_{min} προσδιορίζεται διὰ τῶν δοκιμῶν συμπυκνώσεως διὰ τῆς μεθόδου τοῦ Proctor (βλ. κατωτέρω 3,4). Τὸ e_{max} προσδιορίζεται διὰ πληρώσεως δι' ὕδατος (οὗ ὁ ὄγκος μετρᾶται) τῆς ἄμμου εὑρισκομένης εἰς τὴν ψαθυροτέραν κατάστασιν.

Οἱ ὡς ἄνω ὅροι σχετικῆς πυκνότητος (n_d) καὶ σχετικῆς ὑ-

χρασίας χρησιμοποιοῦντα κυρίως σι'ἀμμώδη ἐδάφη. Εἰς λίαν λεπτόκοκκα ἐδάφη (ἄργιλλος κυρίως) χρησιμοποιοῦμεν τούς κατωτέρω ἐκτιθεμένους ὅρους καί μεθόδους ἐρεύνης (§ 3.3).

3.3. Ἡ ὑφή τῶν ἀργιλλικῶν ἐδαφῶν (Consistency of clays)

Ἡ ἄργιλλος ἀναλόγως τῆς ὑδροπεριεκτικότητος τῆς φυσικῆς καταστάσεως αὐτῆς λαμβάνει διάφορον ὑφήν δυνάμεθα δέ νά προσδιορίσωμεν τά ὅρια ἔνθα ἐναλλάσσεται ἡ ὑφή αὐτῆς. Οὕτω ἐναπόθεσις ἀργίλλου κατά τόν πρῶτον σχηματισμόν αὐτῆς (καθίζησις λ.χ. ἐντός στασίμων ὑδάτων) ἔχουσι κατ'ἀρχήν ὑφήν ρευστῆς (ὑγρᾶς) ἰλύος μετακινούμεναι δέ εἰς τήν κατάστασιν αὐτῆς ρέουν εὐχερῶς.

Ἐάν ἐκ τῆς καταστάσεως αὐτῆς ἀφαιρεθῇ ποσότης ὕδατος (εἴτε δι'ἐξατμίσεως εἰς τόν ἀτμοσφαιρικόν ἀέρα εἴτε διά συμπιέσεως ὑπό νέων ἐδαφῶν ἐπιτιθεμένων εἰς τά πρῶτα) ἡ ἄργιλλος χάνει τήν ρευστότητα αὐτῆς εἶναι ὅμως ἀκόμη μαλακή καί πλαστική, ἤτοι μεταβάλλει σχῆμα ὑπό τήν ἐπίδρασιν ἐξωτερικῶν δυνάμεων ἄνευ σημαντικῆς μεταβολῆς τοῦ ὄγκου αὐτῆς (ὅριον ρευστότητος Liquid Limit LL).

Ἐφ' ὅσον ἡ ἐλάττωσις τοῦ ὕδατος τῆς ἀργίλλου ἐξακολουθήσει αὕτη παύει πλέον νά εἶναι πλαστική καί ἀνταπλασσομένη θρυμματίζεται (τρίβεται) εὐκόλως. Τό ὅριον μεταβολῆς καλεῖται πλαστικόν ὅριον (Plastic Limit PL). Πέραν τοῦ ὁρίου τούτου ἡ ἄργιλλος ἀποκτᾶ τήν ἡμιστερεάν κατάστασιν (semisolid state) καί ἐμφανίζει ρικνώσεις (shrinkage) εἰς τήν ἐπιφάνειαν αὐτῆς. Περαιτέρω ἀφυδάτωσις φέρει τήν ἄργιλλον εἰς σταθερόν ὄγκον καί λῆξιν τῆς ρικνώσεως ὁπότε ἡ ἄργιλλος λαμβάνει στερεάν μορφήν καί ἀνοικτότερον χρῶμα. Τό ὅριον μεταξύ τῶν δύο εἰς ἄνω καταστάσεων καλεῖται ὅριον ρικνώσεως (shrinkage limit S.L).

Τά ὡς ἄνω ὅρια καλούμενα συνήθως καί ὅρια τοῦ Atterberg καλοῦνται ὅρια τῆς ὑφῆς τῆς ἀργίλλου, ἐκφράζονται δέ συνήθως συναρτήσει τῆς περιεκτικότητος τοῦ ἐδάφους εἰς ὕδωρ εἰς τά ὅρια αὐτά. Οὕτω ἔχομεν :

Ὑφή ἐδάφους	Ὅρια ὑφῆς	Περιεκτικότης εἰς ὕδωρ
Ὑδαρής	Ὅριον ρευστότητος (LL)	W_L (ἐκατοστιαία ἀναλ. $\frac{B_Y}{B_\Sigma}$)
Πλαστική	Ὅριον πλαστικότητος (PL)	W_P (» » »)
Ἡμιστερεά	Ὅριον ρικνώσεως (SL)	W_S (» » »)
Στερεά		

Διά τοῦ ὅρου ὑφή (consistency) ἀποδίδεται ὁ βαθμός ἀντιστάσεως τῶν λεπτοκόκκων ἐδαφῶν εἰς ροήν ἤ παραμορφώσεις γενικῶς.

Τό εὖρος μεταξύ τῶν ὁρίων ρευστότητος καί πλαστικότητος ($W_L - W_P$) καλεῖται συνήθως δείκτης πλαστικότητος I_P, ἤτοι :

$$I_P = W_L - W_P$$

ἤτοι ἐάν δι' ἄργιλλον ἔδαφος ἡ ὑγρασία $W_L = 63\%$ καί $W_P = 22\%$ ὁ δείκτης πλαστικότητος εἶναι 41%.

[Τό ὅριον ρευστότητος ὁρίζεται διά τῶν (ἐξ ὕψους 1 ἑκ.) κρούσεων δοχείου περιέχοντος δεῖγμα αἵτινες ἀπαιτοῦνται ἵνα ἄνοιγμα γενόμενον διά μαχαίρας εἰς τό δεῖγμα κλεισῃ ἐπί μῆκους 12,5 χιλιοστῶν. Τό ὅριον πλαστικότητος ὁρίζεται ὅταν δεῖγμα ἐδάφους πλασσόμενον εἰς κυλίνδρους διαμέτρου 3 χιλιοστῶν δέν θρυμματίζεται ἀκόμη]

Ὁ δείκτης ὑφῆς (consistency index) I_C δίδει τήν κατάστασιν εἰς ἥν εὑρίσκεται δεῖγμα ἐδάφους (περιεκτικότης ὑγρασίας W) ἐν σχέσει πρός τά δύο ὡς ἄνω ὅρια τῆς καταστάσεως πλαστικότητος (W_L W_P) ἤτοι :

$$I_C = \frac{W_L - W}{W_L - W_P} \cdot 100 = \frac{W_L - W}{I_P} \cdot 100 \qquad (103)$$

Ὁ δείκτης ὑφῆς εἶναι διά τήν ἄργιλλον ἀπό φυσικῆς πλευρᾶς

ἀνάλογος πρός τήν σχετικήν πυκνότητα διά τήν ἄμμον (βλ. ἐξίσωσιν 102). Εἰς σχετικούς πίνακας δίδονται ἡ σχετική πυκνότης καί ἡ ἐδα ἐδαφῶν ἐξ ἄμμου καί ἀργίλλου.

3-4. Ἡ πυκνοποίησις καί συμπύκνωσις τῶν ἐδαφῶν (consolidation καί compaction)

Ἡ συμπίεσις τοῦ ἐδάφους ὀφείλεται κυρίως εἰς μείωσιν τοῦ ὄγκου τῶν κενῶν (ἡ συμπίεσις τῶν στερεῶν καί ἡ ἐξ αὐτῆς μείωσις τοῦ ὄγκου θεωρεῖται καί εἶναι μηδαμινή). Ἐάν τά κενά περιέχουσιν ὕδωρ ἡ μείωσις τοῦ ὄγκου δύναται νά ἐπέλθῃ μόνον διά τῆς διαφυγῆς τοῦ ὕδατος. Βαθμιαία συμπίεσις ὑγμάτων ἐξ ἰδίου βάρους ἢ τεχνικῶν ἔργων καλεῖται πυκνοποίησις (consolidation) ἐνῶ συμπίεσις ἐπιτελουμένη διά τεχνητῶν μέσων (ὡς ἡ κυλίνδρωσις τῶν φραγμάτων) καλεῖται συμπύκνωσις τῶν ἐδαφῶν (compaction).

α) Πυκνοποίησις.

Ἐφ' ὅσον φορτίον P ἐξασκεῖται εἰς κεκορεσμένον ἔδαφος αἱ τάσεις τοῦ ὕδατος u παραλαμβάνουν τάς τάσεις τοῦ φορτίου καί ἔχομεν:

$$P = u$$

ὅπου ἡ u καλεῖται οὐδετέρα τάσις ἢ καθ' ὑπέρβασιν πίεσις τῶν πόρων. Ἐφ' ὅσον κατά τήν συμπίεσιν τοῦ ἐδάφους (ἰδία τῆς συνεκτικῆς ἀργίλλου) τό ὕδωρ τῶν πόρων εὑρίσκει διέξοδον, τότε τό ἔδαφος πυκνοποιεῖται ἐκ τῆς ἐξόδου ταύτης καί μέρος τοῦ φορτίου ἀρχίζει νά παραλαμβάνεται ὑπό τοῦ σκελετοῦ τοῦ ἐδάφους διά τῆς ἐνεργοῦ τάσεως αὐτοῦ (effective stress) fe. Τότε ἡ ἀρχική πίεσις συντίθεται ἐκ δύο μεγεθῶν, ἤτοι:

$$P = u + fe$$

Διά τῆς συνεχοῦς ἐφαρμογῆς τῆς πιέσεως καί τῆς πυκνοποιήσεως τοῦ ἐδάφους, μετατίθεται, βαθμιαίως ὅλον τό φορτίον

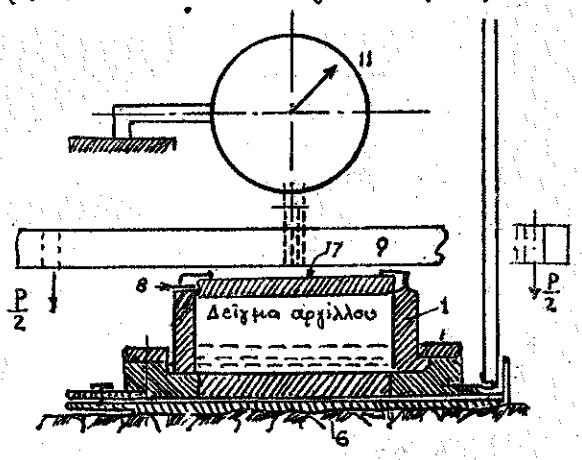
ἐπί τοῦ ἐδάφους, ὁπότε παύει ἡ ἐκροή τοῦ ὕδατος καί παραλαμβάνεται ὅλον τό φορτίον P ὑπό τοῦ ἐδάφους ($p = fe$). Ἡ εἰς ἑκάστην στιγμήν παρατηρουμένη καθίζησις S θά εἶναι ποσοστόν τῆς τελικῆς καθιζήσεως S_2, ἤτοι ἡ ἑκατοστιαία καθίζησις U δίδεται ὑπό τοῦ τύπου :

$$U = \frac{S}{S_2} \cdot 100$$

Ἀποτέλεσμα τῆς πυκνοποιήσεως τοῦ ἐδάφους εἶναι ἡ παραλαβή μεγαλυτέρων διατμητικῶν τάσεων ὑπό τοῦ ἐδάφους, δοθέντος ὅτι αἱ ὑπό ὕδατος παραλαμβανόμεναι τάσεις δέν συμβάλουν εἰς τήν ὑπό τοῦ ἐδάφους παραλαβήν διατμητικῶν τάσεων.

Διά τόν προσδιορισμόν τῆς πυκνοποιήσεως καί συμπυκνώσεως τῶν ἐδαφῶν χρησιμοποιεῖται τό συμπυκνωσιόμετρον τοῦ A. Casagrande (Σχ. 190). Εἰς αὐτό ἡ μεταλλική πλάξ (9) μεταφέρει τό φορτίο $2\frac{P}{2}$ εἰς τήν πορώδη πλάκα (7), ἥτις πιέζει τό δεῖγμα, ὅπερ περιορίζεται ὑπό τοῦ δακτυλίου (1) καί τῆς πορώδους πλακός τοῦ πυθμένος (6).

Τό δεῖγμα ἐξάγεται ἐκ τοῦ ἐδάφους καί τοποθετεῖται ἀδιατάρακτον ἐντός τοῦ δακτυλίου 1 (δεξιῶς στροβιλευόμενον πρός τοῦτο).



Σχ. 190 Συμπυκνωσιόμετρον Casagrande

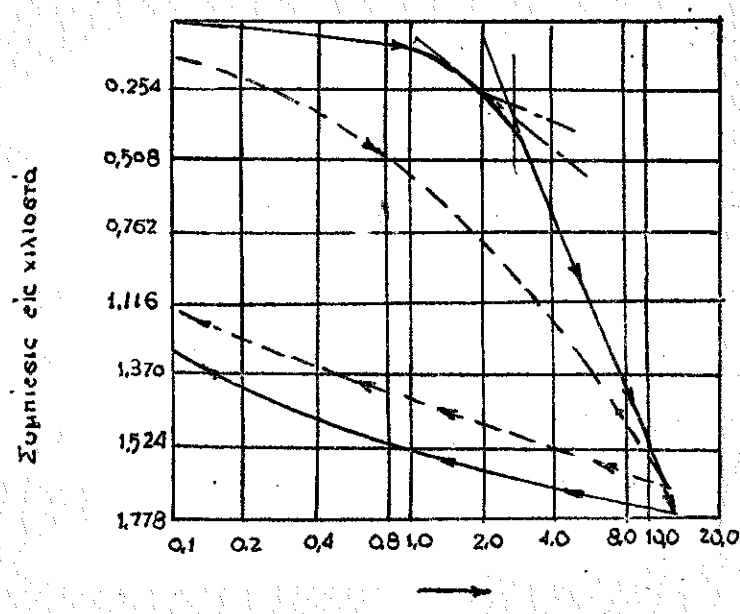
Ἡ διάταξις τοῦ σωλῆνος τοποθετεῖται διά τήν βεβαίαν μέτρησιν τῆς διαπερατότητος τοῦ δείγματος. Ἡ διάμετρος τοῦ δακτυλίου 1 εἶναι συνήθως 76 χιλιοστά δέν συναντῶνται δέ μικροτέρα διάμετρος ὡς προκαλοῦσα ἐλάττωσιν τῆς ἀκριβείας τῶν ἀποτελεσμάτων. Τό ὕψος τοῦ δοκιμίου εἶναι 19 ἤ 25,4 χιλιοστά (3/4" ἕως 1").

Ἡ μέτρησις τῶν μετακινήσεων μετρᾶται διὰ τοῦ ἐπιμηκυνσιομέτρου 11, ὅπερ δίδει ἀναγνώσεις μέχρι 2,54 μ.(μικρά).

Ἡ πυκνοποίησις ἤδη ἐπιτελεῖται διὰ βαθμιαίας ἐφαρμογῆς φορτίων συνήθως τῆς τάξεως 0,20, 0,40, 0,8, 1,60, 3,20, 6,40 τόννους ἀνά τετραγωνικὸν πόδα (1 τον./τετρ. πόδα ≅ 1,076 kg/cm²).

Ἑκάστη διαβάθμισις φορτίου ἐπιδρᾷ ἐπὶ τοῦ δείγματος ἐπὶ ἕνα εἰκοσιτετράωρον πρὸ τῆς ἐφαρμογῆς τοῦ ἀμέσως ἀνωτέρω φορτίου. Μετὰ τὴν συμπίεσιν ἀφαιρεῖται - ἐπίσης τμηματικῶς ἀλλὰ μὲ μεγαλυτέρας διαβαθμίσεις φορτίων - ἡ φόρτισις καὶ ἀφίεται ἡ ἄργιλλος νὰ διογκοῦται.

Εἰς τὸ Σχ. 191. δίδεται τὸ ἀποτέλεσμα δοκιμῆς ἀργίλλου εἰς συμπίεσιν καὶ δὴ δίδεται ἡ συμπίεσις εἰς χιλιοστὰ συναρτήσει τῆς πιέσεως μεθ' ἧς φορτίζεται τὸ δεῖγμα (ἑκάστη ἐπιφόρτισις 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,40 12,80 τον/τετρ. πόδα διαρκεῖ 24ὥρας). Ὁμοίως δίδεται ἡ καμπύλη ἀποφορτίσεως ἐν συνεχείᾳ.



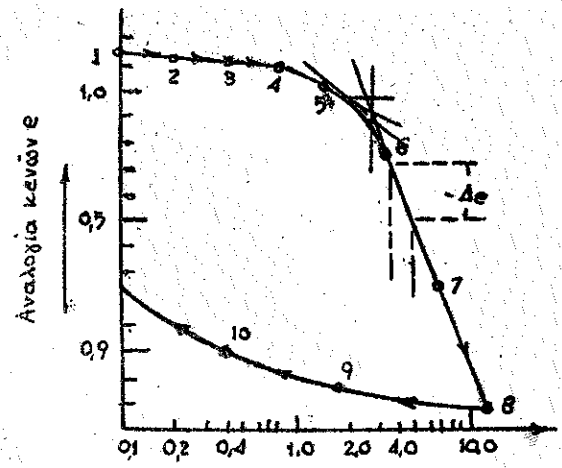
Σχ. 191 Πιέσεις τον/τετρ. πόδα (~ kg/cm²)

Εἰς τό αὐτό ἐχῆμα δίδεται ἡ καμπύλη φορτίσεως καί ἀποφορτίσεως εἰς ἀναπλασθέν δεῖγμα ἀργίλλου.

Τό ἀρχικόν ὕψος τοῦ δοκιμίου ἦτο 25,4 χιλ.(1").

Εἰς τό Σχ. 192 δίδεται ἡ δοκιμή τῆς αὐτῆς ἀργίλλου, ἀλλά ἡ πυκνοποίησις δέν δίδεται εἰς χιλιοστά ἀλλ'εἰς ἀναλογίαν κενῶν e. Μετά τήν συμπίεσιν τό δεῖγμα ἐξάγεται, ζυγίζεται, ξηραίνηται καί ζυγίζεται ἐκ νέου.

Ἐάν τό ξηρόν βάρος εἶναι B_Σ γ_1 τό εἰδ. βάρος αὐτοῦ καί A ἡ ἐπιφάνεια τοῦ κυλίνδρου τότε τό ἀναλογοῦν ὕψος τῶν στερεῶν εἶναι:



Σχ. 192. Λογαρ. κλῖμαξ πιέσεων (~kg/cm²)

$$h_\Sigma = \frac{B_\Sigma}{A \cdot \gamma_1}$$

Ἐνῶ ἐκ παραλλήλου ἐάν τό βάρος τοῦ ὕδατος αὐτοῦ εἶναι B_y τό ἀντίστοιχον ὕψος ὕδατος θά εἶναι:

$$h_{y,2} = \frac{B_y}{A}$$

Διά πλήρως κεκορεσμένον δεῖγμα ἀρχικοῦ ὕψους H_1 ἐλαττουμένου κατά Δh μετά τήν πυκνοποίησιν ἔχομεν:

(104) $H_1 = h_\Sigma + h_\nu + \Delta h$ ὁπότε ἡ ἀρχική ἀναλογία κενῶν θά εἶναι:

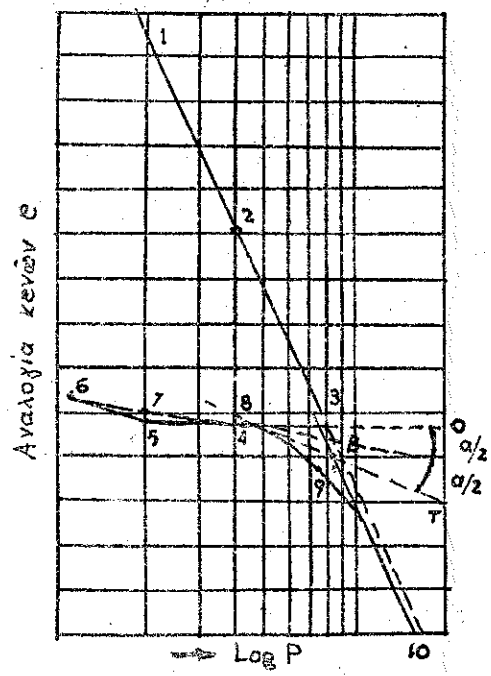
(105) $e = \frac{O_y}{O_\Sigma} = \frac{h_y}{h_\Sigma}$ μετά δέ τήν συμπίεσιν θά εἶναι:

(106) $e_2 = \frac{h_{y,2}}{h_\Sigma}$

Εἰς τὸ Σχ. 192 ἡ ὡς ἄνω τιμὴ e_2 ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸ σημεῖον 11. Τὰ ὑπόλοιπα σημεῖα 10,9...1 ἄγονται ἐπὶ τῆς καμπύλης μετὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἀλλαγῆς Δe τῆς ἀναλογίας τῶν κενῶν δι' ἑκάστην αὔξησιν ἢ ἐλάττωσιν τοῦ φορτίου, διὰ τοῦ τύπου $\Delta e = \frac{\Delta h}{h_\Sigma}$ ὅπου Δh εἶναι ἡ ὁλικὴ συστολὴ ἢ διαστολὴ τῆς ἀρχίλλου ἢ διδομένη ὑπὸ τοῦ ἐπιμηκυνσιομέτρου. (Ἀφαιροῦνται αἱ τιμαὶ διὰ τὰ σημεῖα 10,8,9 καὶ προστίθενται διὰ τὰ ὑπόλοιπα).

Αἱ καμπύλαι τῶν Σχημάτων 191 καὶ 192 δίδουν τὴν πυκνοποίησιν ἀρχιλλώδους δείγματος ληφθέντος εἰς μίαν δεδομένην στιγμὴν ἐκ τοῦ ἐδάφους, ὅπου ὅμως ἐνδεχομένως εἶχεν ὑποστεῖ πυκνοποίησιν ἂν μὴ ἐξ ἄλλου τινὸς αἰτίου πάντως ἐκ τοῦ ἰδίου βάρους. Εἶναι ἐνδεχόμενον ὅθεν νὰ εὑρίσκεται εἰς μίαν κατάστασιν μερικῶς πυκνοποιήσεως.

Πράγματι ἐὰν λάβωμεν δεῖγμα ἐδάφους, ἀναπλάσωμεν αὐτὸ ἐκ νέου κορέννυντες δι' ὕδατος πέραν τοῦ ὁρίου ρευστότητος καὶ φέρωμεν τοῦτο εἰς τὸ συμπυκνοσιόμετρον τοῦ Casagrande (Σχ. 190) θὰ λάβωμεν τότε, εἰς ἡμιλογαριθμικὸν χάρτην μίαν εὐθεῖαν γραμμὴν 1,2,3 (Σχ. 193) ἥτις καὶ συνήθως καλεῖται παρθένος καμπύλη συμπιέσεως, διότι δίδει τὰ ἀποτελέσματα συμπιέσεως παρθένου ἐδάφους, ὡς τοῦτο ἐμφανίζεται εἰς τὴν πρωτόμορφον αὐτοῦ κατάστασιν μὲ μόνην φόρτισιν τὸ ἴδιον βάρος. Ἂν εἶναι ἡ



Σχ. 193 Διαγρ. προπυκνοποιήσεως

πίεσις ἀφαιρεθῆ εἰς ὡρισμένας βαθμίδας, ἡ διόγκωσις λαμβάνει χώραν κατὰ τὴν καμπύλην 4,5,6.

Ἐκ νέου ἐφαρμογὴ τῶν φορτίων προκαλεῖ τὴν νέαν καμπύλην 6,7,8,9 καὶ ἡ περαιτέρω ἐπανάληψις τῶν φορτίσεων αἵτινες ἀρχικῶς ἐφηρμόσθησαν, δίδει τὴν καμπύλην 9-10 παράλληλον εἰς τὴν ἀρχικὴν 1-3 καμπύλην. Ἡ καμπύλη ἀπὸ 6-10 προσομοιάζει μὲ τὴν καμπύλην τοῦ ἀδιαταράκτου ἀρχικῶς ληφθέντος δείγματος τοῦ ἐδάφους (Σχ. 192). Ἐπὶ τῇ βάσει τῶν ὡς ἄνω παρατηρήσεων δυνάμεθα ἤδη νὰ ἐκτιμήσωμεν τὴν πιθανὴν προπυκνοποίησιν (precon Solidation) ἐνὸς ἐδάφους ἐξ' οὗ λαμβάνομεν ἀδιατάρακτον δεῖγμα.

Τοῦ ἐδάφους τούτου προσδιορίζομεν τὴν καμπύλην πυκνοποιήσεως (Σχ.192) λ.χ. εἰς Σχ.193 καμπύλη 6,7,8,9,10. Εἰς τὸ σημεῖον μικροτέρας καμπυλώσεως Α (Σχ.193) φέρομεν ἐφαπτομένην τῆς καμπύλης ΑΤ, ὡς καὶ ὁριζοντίαν εὐθεῖαν (ΑΟ) τὴν γωνίαν ΤΑΟ διχοτομοῦμεν καὶ προσδιορίζομεν τὸ σημεῖον τομῆς Β τῆς διχοτόμου μετὰ τῆς προεκτάσεως τῆς 9,10. Ἡ τετμημένη τοῦ σημείου Β παριστᾶ τὴν πίεσιν τῆς προπυκνοποιήσεως τοῦ δείγματος 6,7,8,9,10.

Ἡ ὡς ἄνω ἀρχὴ ἐπαληθεύεται συνήθως. Ἐνίοτε ὅμως ἡ ἐκτιμωμένη προπυκνοποίησις εἶναι πολὺ ἀνωτέρα τοῦ ἐκ τοῦ πιθανοῦ προϋπάρξαντος φορτίου, ἀποδίδεται δὲ ἡ διαφορὰ αὕτη εἰς χημικὰς ἐπιδράσεις προκαλέσασα τὴν πυκνοποίησιν.

Ὁ βαθμὸς τοῦ συμπιεστοῦ τοῦ ἐδάφους δίδεται ἐνίοτε διὰ τοῦ συντελεστοῦ τοῦ πιεστοῦ α_v ὅπου:

$$\alpha_v = \frac{-\Delta e}{\Delta p} \cdot 10^{-3} \left[cm^2/gm\right] \qquad (107)$$

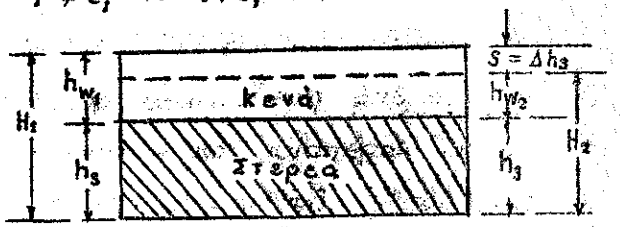
ὁ συντελεστὴς οὗτος παριστᾶ τὴν κλίσιν τῆς καμπύλης ἀναλογίας κενῶν πιέσεων τοῦ Σχ. 193.

Εἰς τὸ Σχ. 194 δίδεται σχηματικῶς ἡ ὁλικὴ πίεσις ἢ

καθίζησις S ἐνός ἐδάφους, ἐχουσα ὡς ἑξῆς :

$$S = h_{w_1} - h_{w_2} = \frac{h_{w_1} - h_{w_2}}{h_s + h_{w_1}} \cdot H_1 = \frac{\frac{h_{w_1}}{h_s} - \frac{h_{w_2}}{h_s}}{1 + \frac{h_{w_1}}{h_s}} \cdot H_1 =$$

$$S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H_1 = \frac{\Delta e}{1 + e_1} \cdot H_1 = \frac{a_v}{1+e} \Delta p H_1 \cdot 10^3$$



Σχ. 194

Ἐνίοτε ἀντὶ τοῦ συντελεστοῦ τοῦ πιέσεως (a_v) χρησιμοποιοῦμεν τὸν συντελεστὴν **ἀλλαγῆς ὄγκου** m_v, ἤτοι :

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_1} \quad [cm^2/g^n] \qquad (108)$$

ἢ

$$m'_v = \frac{a_v}{1+e} \cdot 10^3 = \frac{S}{\Delta p H_1} \quad [cm^2/kg] \quad (109)$$

Ὁ συντελεστὴς m'_v ἐμφανίζεται ὡς ἀντίθετος πρὸς τὸ μέτρον ἐλαστικότητος E καὶ ἐνίοτε ἀνταλλάσσεται μετ' αὐτοῦ. Δέον νὰ ἔχωμεν ὅμως ὑπ' ὄψιν ὅτι ἐνῷ ὁ συντελεστὴς τοῦ Young ἰσχύει μόνον εἰς ἐλαστικὰς περιοχάς ὁ m'_v ἰσχύει καὶ εἰς πλαστικὰς τοιαύτας.

Ἡ πυκνοποίησις ἐξ ἄλλου εἶναι συνάρτησις καὶ τοῦ χρόνου.

Ὁ Terzaghi εἰς τὴν διεξοδικὴν αὐτοῦ μελέτην ἐπὶ τῆς διαπερατότητος τῆς ἀργίλλου ἐκ τῆς διαίτης τῶν ὑδροδυναμικῶν φαινομένων τῶν τάσεων (1923) ἐθεμελίωσεν τὴν θεωρίαν τῆς πυκνοποιήσεως καὶ ἀπέδειξεν τὴν ἐπίδρασιν τοῦ χρόνου.

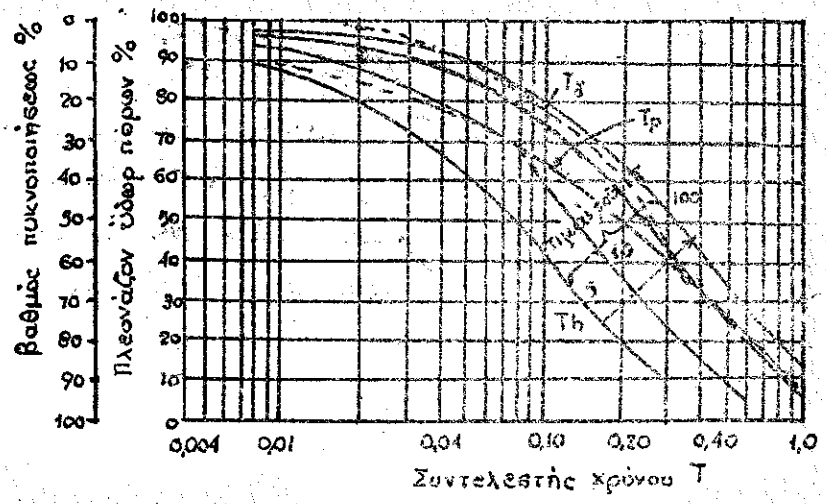
Ὁ χρόνος πυκνοποιήσεως ἀπέδειξεν τὴν ἐπίδρασιν τοῦ χρόνου. Ὁ χρόνος πυκνοποιήσεως ὑπολογίζεται διὰ τοῦ τύπου :

$$t = \frac{m_v}{k} H^2 T \qquad (110)$$

ἔνθα m_v ὁ ἀνωτέρω δοθεὶς συντελεστὴς ἀλλαγῆς ὄγκου, k ὁ συντελεστὴς ὑδροπερατότητος τοῦ Darcy, H τὸ πάχος τοῦ στρώματος τοῦ ἀργίλλου καὶ T ἀδιάστατος ἀριθμὸς διδόμενος ὑπὸ διαγραμμάτων ὡς συναρτήσεις τοῦ αἰτουμένου βαθμοῦ πυκνοποιήσεως (%) τοῦ εἴδους ἀποστραγγίσεως τοῦ ἀργιλλικοῦ στρώματος καὶ τοῦ πορώδους αὐτοῦ.

Εἰς τὸ Σχ. 195 δίδεται ἡ σχέσις μεταξὺ τῆς ἑκατοστιαίας ἀναλογίας πυκνοποιήσεως καὶ τοῦ συντελεστοῦ T διὰ διάφορα εἴδη στραγγίσεως. Οὕτω ἡ καμπύλη T_h ἀνάγεται εἰς ἄργιλλον φέρουσα εἰς ἴσας ἀποστάσεις φρέατα πεπληρωμένα δι' ἄμμου δι' ὧν στραγγίζεται τὸ ὕδωρ.

Ἡ καμπύλη T_p ἰσχύει διὰ στρῶμα ἀργίλλου πάχους $2H$ κειμένου μεταξὺ δύο στρωμάτων ἄμμου..



Σχ. 195 Σχέσις πυκνοποιήσεως καὶ χρόνου

Ἡ καμπύλη T_g ἰσχύει διὰ στρῶμα ἐλευθέρας ἀργίλλου ὑπερκειμένης βραχώδους ἐδάφους στραγγιζομένης εἰς τὰ ὅρια αὐτῆς

ἄνευ ἐνδιαμέσων στραγγιστήρων.

Ἤδη ζητεῖται ὁ χρόνος t διὰ τὴν πυκνοποίησιν U% καὶ διὰ συνθήκας ὡς ἡ Tp. Διὰ δοθὲν U% εὑρίσκεται ὁ συντελεστὴς T ἐκ τῆς καμπύλης Tp καὶ εἰσάγεται εἰς τὴν ἐξίσωσιν (110) ἐφ' ἧς δίδεται ὁ ζητούμενος χρόνος t διὰ τὴν δοθεῖσαν πυκνοποίησιν. Ἀντιστοίχως δοθέντος τοῦ χρόνου t, ὑπολογίζεται ὁ συντελεστὴς T ἐκ τῆς (110) καὶ ἐξ αὐτοῦ ἡ πυκνοποίησις.

β) Συμπύκνωσις τῶν ἐδαφῶν.

Ἤδη δυνάμεθα νὰ ἐξετάσωμεν τὰς ἐπενεργείας ἐπὶ τῆς πυκνότητος ἐπιχωμάτων αἵτινες δύνανται νὰ προέρχωνται εἴτε ἀπὸ συμπύκνωσιν (compaction, μηχανικὴν τεχνικὴν πυκνοποίησιν) εἴτε ἀπὸ τὴν μεταβολὴν τῆς ὑγρασίας εἴτε καὶ ἀπὸ τὰ δύο ἄτινα εἶναι καὶ ἀλληλένδετα.

Ἡ συμπύκνωσις εἰς τὸ ἐργοστάσιον, ὡς εἴδομεν, γίνεται διὰ τῶν ὁδοντωτῶν ὁδοστρωτήρων ἢ ἐνίοτε δι' ἐλαστικῶν τροχῶν (διαμέτρου μέχρι 2,0μ. καὶ βάρους 60-200 τόννων).

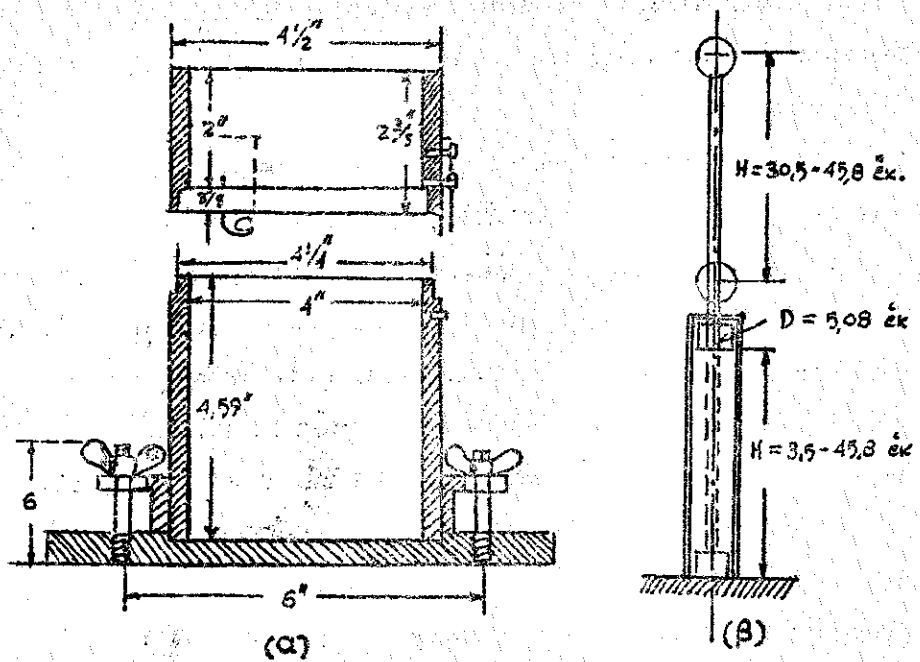
Εἰς τὸ ἐργαστήριον ἡ συμπύκνωσις τῶν δοκιμίων γίνεται διὰ τῆς ἁπλῆς συσκευῆς τοῦ Proctor, ἀπαρτιζομένης ἐκ κυλίνδρου διαμέτρου 4" καὶ ὕψους 4,59" ὑπερθεν τοῦ ὁποίου τίθεται πρόσθετον τεμάχιον (Βλ. Σχ. 196 α).

Τὸ δεῖγμα τοποθετεῖται ἐντὸς τοῦ δοχείου (α) εἰς 3 καὶ 5 στρώσεις καὶ κοπανίζεται διὰ συσκευῆς κριοῦ πίπτοντος ἐξ ὕψους 30,5 - 45,8 ἑκατοστῶν (β) καὶ βάρους 2,50 ἢ 4,54 kg.

Ἡ δοκιμὴ γίνεται διὰ 15 ἢ 25 κρούσεων ἀνὰ στρῶμα δείγματος καὶ εἶναι πάντοτε ἡ αὐτή.

Εἰς τὸν πίνακα I δίδονται αἱ συνήθεις πρότυποι (standar συνδιασμοὶ βάρους κριοῦ, ὕψους πτώσεως, ἀριθμῶν κρούσεων καὶ στρωμάτων καὶ καταβαλλομένης ἐνεργείας.

Τὸ δεῖγμα τίθεται εἰς τὸν κύλινδρον ἀνὰ στρώσεις, κοπανίζεται καλῶς καὶ εἶτα ἀφαιρεῖται τὸ τεμάχιον ἐπεκτάσεως καὶ ἰσοῦται τὸ δεῖγμα διὰ κοπτικοῦ ὀργάνου. Ζυγίζεται καὶ προσδιορίζεται καὶ ἡ ὑγρασία αὐτοῦ.



Σχ. 196 Δοχεῖον δοκιμῆς χωμάτων (α) καὶ κριὸς διὰ τὴν συμπύκνωσιν αὐτῶν (β).

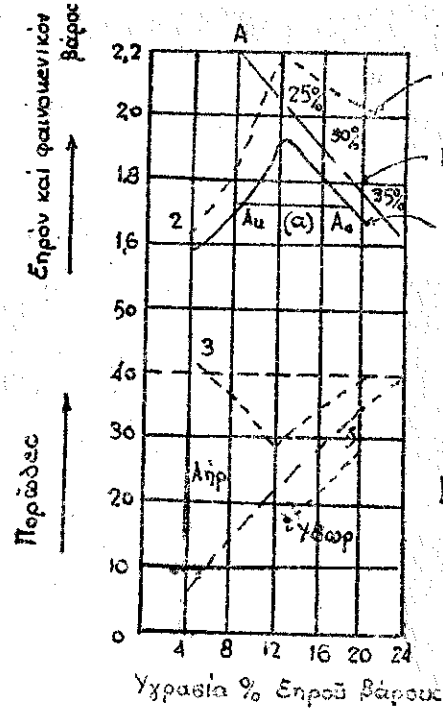
Πίναξ Ι: Στοιχεῖα ἐργαστηριακῶν μεθόδων συμπυκνώσεως ἐδαφῶν.

Μέθοδος ἐρεύνης.	Βάρος κριοῦ kg	Ὕψος πτώσεως cm	Ἀρ. κρούσεων ἀνὰ στρῶμα	Ἀριθ. στρωμάτων	Ἐνέργεια συμπυκνώσ. kgm/m³
Τροποποίησις μεθόδου Proctor	4,54	45,8	25	5	274,400
Μέθοδος Proctor.	2,50	30,5	25	3	60,070
Μέθ. Proc. (15 κρούσεων)	2,50	30,5	15	3	36,100

Ἐάν ἤδη ἡ ὡς ἄνω δοκιμή γίνῃ ἐπί διαφόρων δειγμάτων τοῦ αὐτοῦ ἐδάφους ἀλλά μέ διάφορον περιεκτικότητα εἰς ὑγρασίαν (κυμαινομένην λ.χ. ἀπό 0% ἕως 24% τοῦ ξηροῦ βάρους τοῦ ἐδάφους) προσδιορισθῶσιν δέ τό ξηρόν βάρος, τό φαινομενικόν βάρος καί τό πορῶδες τῶν δειγμάτων θά λάβωμεν (διά χῶμα λ.χ. μέ ἀπόλυτον εἰδικόν βάρος $\gamma_1 = 2,72\ t/m^3$) τάς καμπύλας τοῦ Σχ. 197.

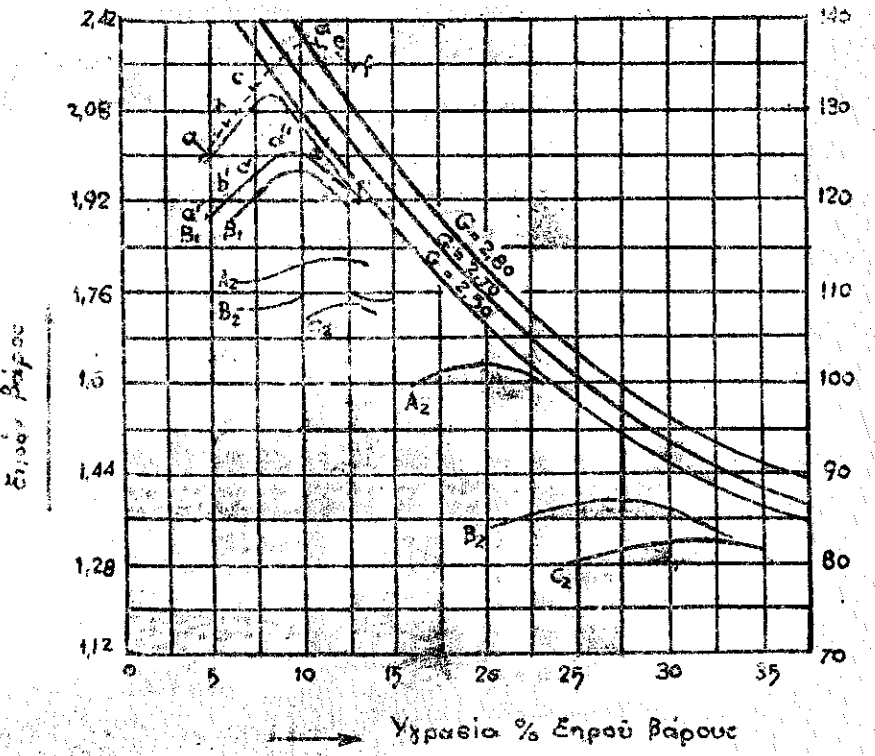
Ἐκ τῆς καμπύλης τοῦ ξηροῦ βάρους τοῦ χώματος μετά τήν συμπίεσιν αὐτοῦ ὑπό διάφορον περιεκτικότητα ὑγρασίας παρατηροῦμεν ὅτι ἀρχικῶς ἡ πυκνότης (density) αὐτοῦ αὐξάνει (αὔξησις ξηροῦ βάρους) μέχρι ἑνός σημείου (φερ' εἰπεῖν δι' ὑγρασίαν 13% εἰς τό ὑπ' ὄψιν δεῖγμα) ἀπότε τό πορῶδες γίνεται ἐλάχιστον.

Διά περαιτέρω προσθήκης ὕδατος αὐξάνει πάλιν ἡ περιεκτικότης τῶν πόρων, ἐνῶ δέ θά ἐδέχετό τις ὅτι τό ὕδωρ θά ἐξήρχετο τῶν πόρων τοῦτο δέν συμβαίνει, ὡς παρατηρεῖ ὁ Proctor, ἐπί σειρᾶς 200 δειγμάτων.



Σχ. 197
Καμπύλαι συμπυκνώσεως

Ἡ ἐξήγησις τοῦ φαινομένου ἀποδίδεται εἰς τὸ γεγονὸς ὅτι συνήθη συνεκτικὰ ἐδάφη εἰς χαμηλὴν ὑγρασίαν σχηματίζουν θρόμβους (σβόλους) δυσχερῶς ἀποσυντεθιμένους καὶ ἐμποδίζοντας τὴν πυκνοποίησιν. Ἡ αὔξησις τῆς ὑγρασίας προκαλεῖ τὴν πολτοποίησιν τῶν θρόμβων καὶ τοιουτοτρόπως ἐπιτυγχάνεται μεγαλυτέρα πυκνότης μὲ τὴν αὐτὴν προσπάθειαν συμπυκνώσεως. Τὰ ἀγαθὰ αὐτὰ ἀποτελέσματα τῆς προσθήκης ὑγρασίας ὅμως παύουν ὅταν τὸ ὕδωρ πληρώσῃ τοὺς πόρους τοῦ ἐδάφους (μετὰ τὴν ἐπένδυσιν τῶν καθέκαστα κόκκων) ὁπότε πᾶσα περαιτέρω προσθήκη ὕδατος θέτει τοὺς κόκκους εἰς ἀπόστασιν καὶ ἐλαττώνει ἐπομένως τὴν πυκνότητα (ξηρὸν βάρος τοῦ ἐδ.).



2x 198. Καμπύλαι συμπυκνώσεως διαφόρων δειγμάτων.

(ἡ ἐξίσωσις τῆς καμπύλης Δ εἶναι: $\gamma = \frac{G}{1+e} = \frac{G}{1+\frac{W}{100-W}}$)

Τό ποσόν τῆς ὑγρασίας, διά τό ὁποῖον δίδεται ἡ μεγαλυτέρα πυκνότης τοῦ ἐδάφους (μέγιστον ξηρόν βάρος) καλεῖται Ἀρίστη τιμή ὑγρασίας (optimum moisture, Bestwert des Wasergehaltes).

Κατά τήν κατασκευήν τῶν κυλίνδρωμένων φραγμάτων δυνάμεθα δι' ἐκλογῆς τῶν κυλίνδρων, τοῦ ἀριθμοῦ τῶν κυλινδρώσεων καί τῆς ρυθμίσεως τῆς ὑγρασίας (ἐπιδιώκοντας τήν ἀρίστη αὐτῆς τιμήν) νά ἐπιτύχωμεν τήν προσφορωτέραν στεγανότητα καί ἀντοχήν τοῦ ἐπιχώματος ὡς καί τήν καλλιτέραν ἀντοχήν εἰς διάτμησιν.

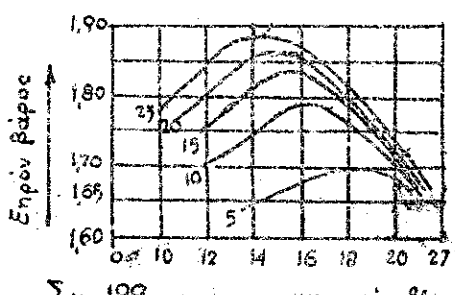
Εἰς τό Σχ 198 δίδεται ὁ προσδιορισμός τοῦ ξηροῦ βάρους τριῶν διαφορετικῶν δειγμάτων χώματος καί δή συμπυκνωθέντων καί διά τῶν τριῶν μεθόδων τοῦ πίνακος.

Ἡ καμπύλη abcdef δίδει τό φαινομενικόν βάρος τοῦ δείγματος 1.

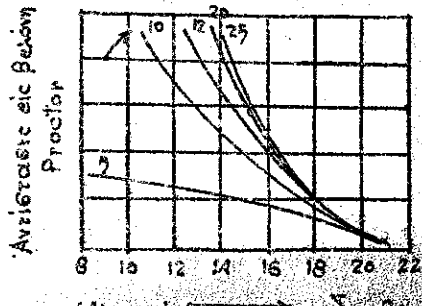
Εἰς τόν πίνακα II δίδονται ὅλα τά στοιχεῖα τῶν τριῶν τούτων δειγμάτων (1.2.3).

Ἡ μελέτη τοῦ πίνακος τούτου καί τοῦ σχήματος 198 ἐπιτρέπουν τήν διαφοροποίησιν τῶν διαφόρων τύπων χωμάτων.

Εἰς τό Σχ. 198 ἐμφαίνεται ἡ διαφορά πυκνοποιήσεως ἀναλόγως τοῦ μεγαλυτέρου βάρους ἤ τοῦ ὕψους πτώσεως τοῦ κριοῦ. Εἰς τό Σχ. 199 δίδεται ἐμφανέστερον τοῦτο διά πυκνοποίησιν μέ βαθμιαίως αὐξοντα ἀριθμόν κρούσεων.



Σχ. 199



Σχ. 200

γ) Ἔλεγχος συμπυκνώσεως τῶν ἐδαφῶν.

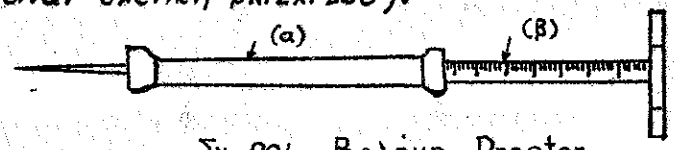
Ὁ ἔλεγχος τῆς συμπυκνώσεως τῶν ἐδαφῶν γίνεται δι' ἐξαγωγῆς δείγματος ἐκ τοῦ ἐδάφους καὶ προσδιορισμοῦ τῆς ὑγρασίας αὐτοῦ (ξύγισις, ξήρανσις, ἐπαναζύγισις). Ὁ ὄγκος τοῦ δείγματος προσδιορίζεται διά πληρώσεως τῆς ὀπῆς: α/ διά πυκνορεύστου ἐλαίου μετρουμένου ἐγκου (δι' ἀδιαπέρατα ἐδάφη) ἢ β/ διά λεπτοῦ ἐλαστικοῦ σάκκου πληρουμένου ὕδατος ἐντός τῆς ὀπῆς ἢ γ) διά πληρώσεως διά λεπτῆς ξηρᾶς ἄμμου ριπτομένη ἀπό ὡρισμένον σταθεροῦ ὕψος.

Δι' ἔτι ταχύτερον προσδιορισμόν χρησιμοποιεῖται ἡ ὑπό τοῦ Proctor ἐπινοηθεῖσα βελόνη ἡ ἐμφαινομένη εἰς τό Σχ. (201). Ἡ συσκευή φέρει εἰς τά ἄκρα βελόνην (μέ ἀντιλλακτικάς τοιαύτας κυμαινομένας εἰς ἐπιφάνειαν ἀκίδος ἀπό 30-150 τετρ. χιλ.)

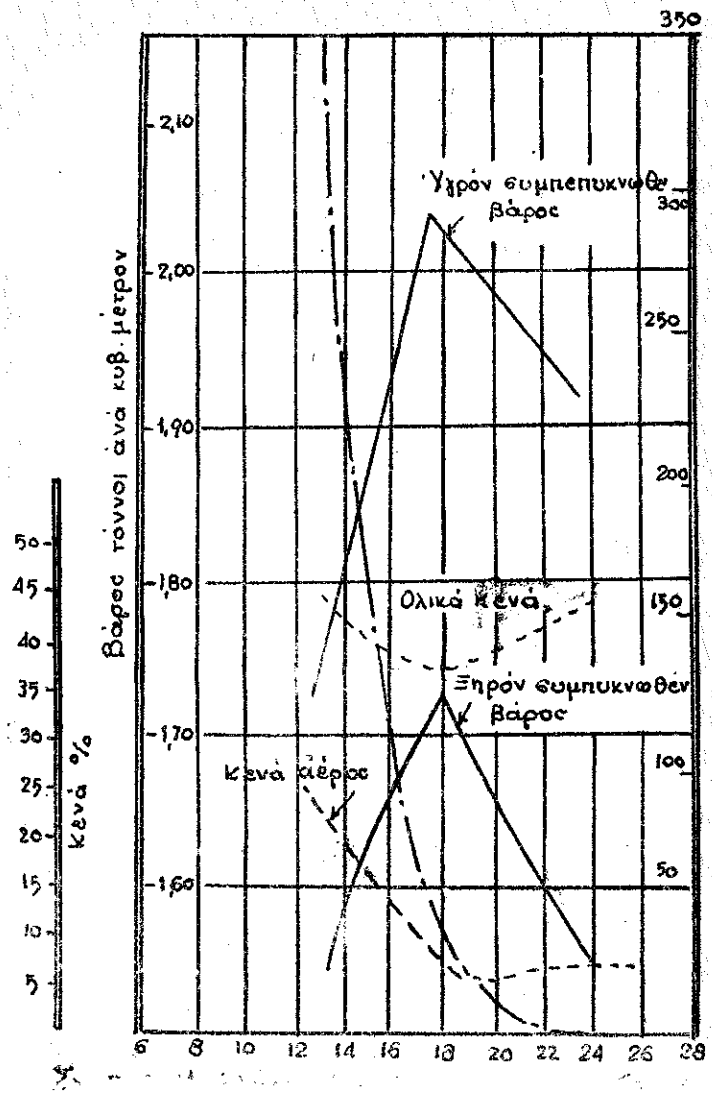
Πίναξ II: Στοιχεία τῶν τριῶν δειγμάτων τοῦ σχήματος 195

Τύπος ἐδάφους		Εἰδικ. βάρος	Ὅρια Ἀτερβέργ			Ἄμμος %	Ἰλύς κόκκων %		Ἀρίστη ὑγρασία %			Μεγίστη ξηρά πυκνότης t/m³		
			W_L	W_p	I_p		Παπαλίνη	Ἀργιλλος	A	B	C	A	B	C
1	Παπαλική ἄμμος	2,67	17	16	1	80	15	5	8	10	10	2,12	2,0	1,958
2	Ἄμμος	2,67	Μή πλαστικόν		0	92	5	3	ἀόριστος			808	1,76	1,728
3	Ἄργιλλος	2,73	68	21	47	10	28	62	20	28	31	1,632	1,408	1,328

ἤτις ὠθεῖται διά πιέσεως ἐντός τοῦ ἐδάφους. Ἐλατήριον ἐντός τοῦ κυλίνδρου (α) μετρᾶ δι' ἀπ' εὐθείας ἀναγνώσεως εἰς τό στέλεχος (β) τήν ἀσκουμένην δύναμιν, ἐνῷ ἐκ παραλλήλου μετρᾶται τό βάθος τῆς διεισδύσεως καί ὁ χρόνος αὐτῆς. (Ἡ μέθοδος ἐναπόκειται εἰς τήν προσωπικήν ἀντίληψιν τοῦ παρατηρητοῦ καί εἶναι σχετική βλ. Σχ. 200).



Σχ. 201 Βελόνη Proctor



Εἰς τό Σχ. 202 δίδεται μία εἰδική ἀνάλυσις ἑνός δείγματος ἀργιλλικῆς παιπάλης καί δίδονται αἱ καμπύλαι τοῦ φαινομενικοῦ βάρους τοῦ ξηροῦ βάρους τῶν συνολικῶν κενῶν καί τῶν κενῶν τοῦ ἀέρος. Ἐπί πλέον εἰς τό σχῆμα δίδεται ἡ ἀντοχή τοῦ ἐδάφους kg/cm² εἰς τήν βελόνην τοῦ Proctor διά διαφόρους περιεκτικότητας εἰς ὕδωρ. Τό σχῆμα δεικνύει τήν ταχείαν πτῶσιν τῆς ἀντοχῆς εἰς διείσδυσιν τοῦ ἐδάφους μέ αὔξησιν τῆς ὑγρασίας. Ὁμοίως ἐμφαίνεται ἐκ τοῦ σχήματος ὅτι εἶναι πρόσφορον νά σταματῶμεν τήν ὑγρασίαν ὀλίγον χαμηλότερον ἀπό τήν ἀρίστην τιμήν της.

3-5 Ἡ διαπερατότης τῶν ἐδαφῶν καί ἡ ροή τοῦ ὕδατος δι' αὐτῶν.

α/ Ὁ συντελεστής διαπερατότητος.

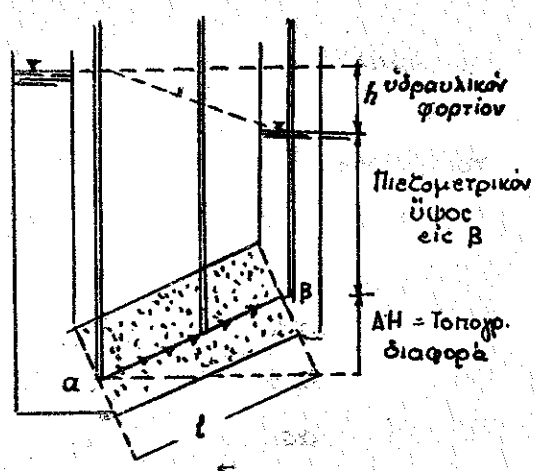
Ὅλα τά ἐδάφη εἶναι διαπερατά ἐφ' ὅσον, ὡς εἴδομεν, παρουσιάζουν πάντοτε κενά, μέσω τῶν ὁποίων διηθεῖται τό ὕδωρ. Ἡ πραγματική ταχύτης τοῦ ὕδατος ἐντός τῶν πόρων εἶναι ἡ ταχύτης διηθήσεως (percolation) v_s συνήθως ὅμως λαμβάνεται ἡ ἰδεατή ταύτης $v = \frac{Q}{F}$ (ἔνθα F ἡ διαρρεομένη διατομή ἐκ στερεῶν ὑλικῶν καί κενῶν) εἰς τούς ὑπολογισμούς, ἥτις εἶναι ἡ ταχύτης διαπερατότητος (permeability). Ἡ ροή τοῦ ὕδατος διά μέσου τῶν ἐδαφῶν ἀπαιτεῖ, ὡς πᾶσα ροή, ἀπώλειαν ὑδραυλικοῦ φορτίου διά τῆς δημιουργίας τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς.

Εἰς τό Σχ. 203 δίδεται ἡ ροή ὕδατος διά μέσου ἰσοπαχοῦς δείγματος μήκους t μέ ἀπώλειαν ὑδραυλικοῦ φορτίου h. Ἡ ροή λαμβάνει χώραν ἐδῶ κατά παραλλήλους εὐθείας γραμμάς ροῆς καί εἶναι στρωτή (Laminar)

Σχεδόν κατά κανόνα ἡ ροή εἶναι στρωτή εἰς τά ὑπόγεια ὕδατα πλήν τῆς περιπτώσεως ἐδαφῶν μέ χάλικας μεγάλ. διαμέτρων.

Αἱ γραμμαὶ ροῆς εἰς ἄλλας περιπτώσεις εἶναι καμπύλαι, συνήθως μεγάλης καμπυλότητος

Εἰς τὸ Σχ. 203 ἡ διαφορὰ πιέσεως $\gamma h = u$ ἀναγομένη εἰς τὴν μονάδα μήκους καλεῖται κλίσις τῆς πιέσεως:



Σχ. 203

Διαπερατότης τοῦ ἐδάφους.

$$J_n = \frac{\gamma h}{l} = \frac{u}{l} \left(gr/cm^3\right) \quad (111)$$

ὁ δὲ λόγος:

$$J = \frac{J_n}{\gamma} = \frac{h}{l} \qquad (112)$$

καλεῖται κλίσις τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς.

Ἡ ἰδεατὴ ταχύτης v καλουμένη ἁπλῶς ταχύτης ὑποχείων ὑδάτων v, ἰσοῦται μὲ τὴν ποσότητα ὕδατος, ἥτις διέρχεται καθέτως πρὸς τὴν μονάδα ἐπιφανείας τοῦ ἐδάφους εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου. Ἐφ' ὅσον τὸ ὕδωρ διέρκεται διὰ λεπτοκόκκων ὑλικῶν, ἡ ταχύτης v δίδεται ἐπακριβῶς διὰ τοῦ τύπου τοῦ Dansy.

$$v = \frac{k}{n} i_p = \frac{k}{n} \gamma \cdot i \qquad (113)$$

ὅπου $n \left[\frac{gr \cdot sec}{cm^2}\right]$ εἶναι ἡ συνεκτικότης τοῦ ὕδατος καὶ k σταθερὰ τῆς διαπερατότητος.

Εἰς τὰς συνήθεις περιπτώσεις χρησιμοποιοῦμεν τὸν συντελεστὴν τῆς διαπερατότητος.

Εἰς τὰς συνήθεις περιπτώσεις χρησιμοποιοῦμεν τὸν συντελεστὴν διαπερατότητος k (coefficient of pemeability) ὅστις εἶναι:

$$k = \frac{k \gamma}{n} \qquad (114)$$

καὶ ἂν λάβωμεν τὴν γνωστὴν ἐξίσωσιν τοῦ Dancy:

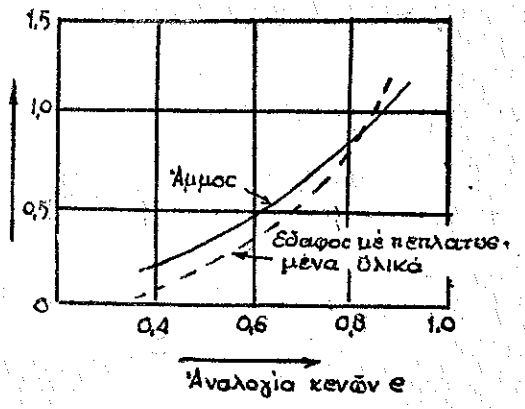
$$v = k \cdot J \qquad (115)$$

Ὁ συντελεστὴς K εἶναι συνάρτησις τῶν ἀνοιγμάτων τῶν κενῶν τοῦ ἐδάφους ἄρα τοῦ τετραγώνου τῆς διαμέτρου (νόμος Poiseuille-Hazen) καὶ τῆς ὁμοιομορφίας τῶν κόκκων.

Οὕτω ὁ Allen-Hazen εὗρεν τὴν σχέσιν

$$K\,(cm/sec) = c_1 d_{10}^2 \qquad (116)$$

ἔνθα d_{10} ἡ 10% διάμετρος (βαρύνουσα διάμετρος) καὶ $c = 100 - 150\,[cm\,sec]$. Ὁ τύπος ἰσχύει διὰ ὁμοιόμορφον ἄμμον ἐν ψαθυρᾷ κατατάσει.



Σχ.204 Συναρτήσεις k καὶ e

Ὁ συντελεστὴς διαπερατότητος k ἐξαρτᾶται ὁμοίως ἐκ τῶν κενῶν τοῦ ἐδάφους. Εἰς τὸ Σχ. 204 δίδεται καμπύλη τοῦ Casagrande ἐξ ἧς προκύπτει τὸ k δι' οἱανδήποτε τιμὴν τῶν κενῶν ὅταν εἶναι γνωστὴ ἡ τιμὴ αὐτοῦ $k_{0,85}$ διὰ κενὰ $e = 0,85$ δι' ἄμμου. Δι' ἄλλα μίγματα, ἰδιαὶ μὲ μαρμαρυγίαν δὲν νὰ προσδιορίζηται πειραματικῶς ὅλη ἡ καμπύλη (ἐστιγμένη γραμμή).

Εἰς τὸν πίνακα III δίδονται ἐξ ἄλλου εἰς λογαριθμικὴν κλίμακα αἱ τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ διαπερατότητος k διὰ διαφόρους τύπους ἐδαφῶν, ἢ εἰς ἑκάστην ἐξ αὐτῶν ἀντιστοιχοῦσα ἱκανότητα στραγγίσεως καὶ τέλος ὁ τρόπος προσδιορισμοῦ τοῦ συντελεστοῦ.

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τοῦ συντελεστοῦ τοῦ K διακρίνομεν, εἰς τῶν κατωτέρω πίνακα, τὴν ἄμεσον μέθοδον δι' ἀντλήσεως γνωστὴν ἐκ τῆς ὑδραυλικῆς. Κατ' αὐτὴν ἀντλεῖται ὕδωρ ἐξ ἑνὸς φρέατος καὶ δημιουργεῖται ἡ καμπύλη καταπτώσεως ἐκ τῆς μελέτης τῆς ἐξισώσεως τῆς ὁποίας ὑπολογίζεται ἀμέσως ὁ συντελεστὴς K,

Πίναξ III : Συντελεσταί διαπερατότητος (κατά Casagrande και Fadum)

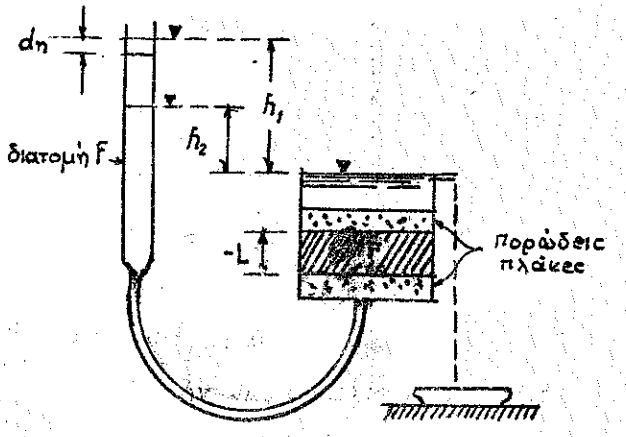
(Συντελεστής K [an sec^{-1}])

$K =$	10^{2}	10^{1}	10^{0}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Στρώσεις	Καλή					Μικρά				Πρακτικώς αδιαπέρατος		
Τύποι εδαφών	Καθαροί χάλικες		Καθαρά άμμος, καθαροί άμμοχάλικες		Αδιαπέρατα εδάφη, μεταβαλλόμενα λόγω φυτείας ή καιρικών μεταβολών		Πολύ λεπτή άμμος, οργαν. και ανόργ. παιπάλαι, μίγματα άμμου παιπάλης και αργίλλου, διαστρώσεις εναποθέσεων αργίλλου.			Άργιλλοι ομοιογενείς κάτω της ζώνης επιρροής καιρικών μεταβολών		
Άμεσος προσδιορισμός του K	Επί τόπου δι' άντλήσεως. Εμπειρία απαραίτητος. Ικανοποιητικά αποτελέσματα διά προσεκτικήν εκτέλεσιν											
	Διαπερατόμετρον σταθεροῦ φορτίου. Μικρά πεῖρα ἀναγκαία.											
Έμμεσος προσδιορισμός του K		Διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ φορτίου. Μικρά πεῖρα αναγκαία. Ακριβής					Διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ φορτίου. Μεγάλη πεῖρα ἀναγκαία. Όχι ακριβής		Διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ φορτίου. Σχετικώς ακριβής. Σοβαρά πεῖρα ἀναγκαία			
	Υπολογισμός ἐκ διανομῆς τῶν κόκκων. Εφαρμοστέα μόνον εἰς καθαράν ἄμμον καὶ χαλίκας ἄνευ συνοχῆς.									Υπολογισμός ἐκ τῶν ἀποτελεσμάτων πυκνοσιήσεως. Ακριβής. Σοβαρά παρά ἀναγκαία		

καὶ δὴ δι' ἀδιατάρακτον ὑδατοπερατὸν στρῶμα.

Ὁ ὑπολογισμὸς τοῦ K γίνεται ἐργαστηριακῶς διὰ διαπερατομέτρων καὶ δὴ δύο τύπων.

Εἰς τὸ διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ φορτίου ὕδωρ σταθερᾶς θερμοκρασίας διέρχεται διὰ τοῦ δείγματος πάχους L (τοποθετουμένου μεταξὺ δύο πορωδῶν πλακῶν) καὶ ἔχει ἀπώλειαν διὰ χρόνον dt ἴσην μὲ dh (βλ. Σχ. 205).



Σχ. 205 : Διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ Φορτίου

Ἐὰν F ἡ διατομὴ τοῦ τροφοδοτοῦντος κατακορύφου σωλῆνος καὶ F ἡ διατομὴ τοῦ δείγματος (καθέτως πρὸς τὴν ροήν) τότε ἡ παροχή, διὰ χρόνον t, θὰ εἶναι :

$$Q = vF = K \cdot JFt \qquad (117)$$

ἡ δὲ διαφορικὴ παροχή :

$$dQ = dh \cdot f = k \cdot \frac{h}{L} F dt \qquad (118)$$

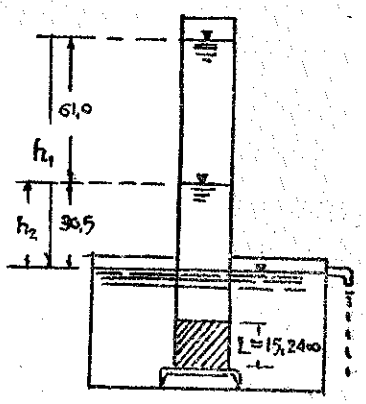
ἤτοι :

$$-\frac{dh}{h} = k \cdot \frac{F}{FL} dt \qquad (119)$$

Εἰς χρόνον $t_2 - t_1 = t$ ἡ στάθμη κατέρχεται ἀπὸ h_1 εἰς h_2 καὶ ἡ ὡς ἄνω ἐξίσωσις (119) ὁλοκληροῦται ὡς κάτωθι :

$$\left[-\log_e \cdot h\right]_{h_1}^{h_2} = k \cdot \frac{F}{fL} \left[t\right]_{t_1}^{t_2} \quad \text{ὁπόθεν}$$

$$k = \frac{f \cdot L}{F(t_2 - t_1)} \log_e \frac{h_1}{h_2} = 2{,}5 \frac{fL}{Ft} \log \frac{h_1}{h_2} \qquad (120)$$

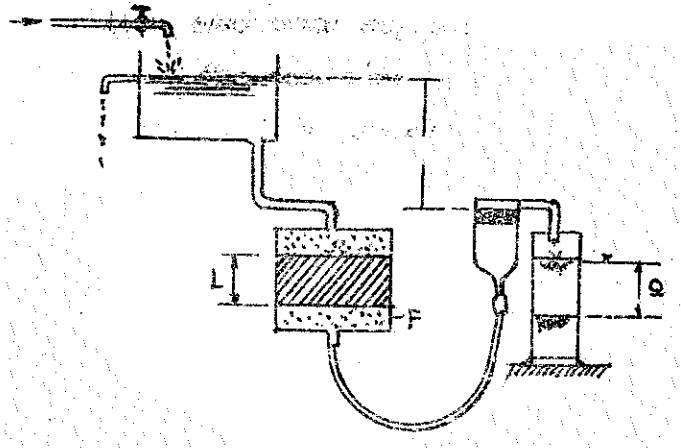


Σχ. 206 Ἁπλοποίησις συσκευῆς τοῦ Σχήματος 205

ἤτοι προσδιορίζεται ὁ συντελεστής K διά δύο ἀναγνώσεων h_1, h_2 εἰς χρονομέτρησιν $t_2 - t_1 = t$. Ἡ μέθοδος αὕτη ἁπλοποιεῖται ἐάν τό δεῖγμα μήκους L=6" τεθεῖ ἐντός τοῦ κυλίνδρου ἔνθα γίνονται αἱ ἀναγνώσεις h_1 καί h_2. Τότε f=F καί ὁ τύπος (120) ἁπλοποιεῖται ἐφ' ὅσον ἡ διαφορά ἀναγνώσεων $h_2 - h_1$ εἶναι σταθερά καί ἴση μέ 61.0 ἑκ. (24") ὡς κάτωθι :

$$k = \frac{16{,}7}{t} \qquad (121)$$

Ἡ ἁπλοποίησις αὕτη ἐφαρμόζεται κυρίως εἰς διαπερατά ἀμμώδη ἐδάφη. Τό διαπερατόμετρον σταθεροῦ φορτίου δίδεται εἰς τό Σχ. 207 ἔνθα ἐμφαίνεται ἡ ὅλη διάταξις λειτουργίας του.



Σχ. 207. Διαπερατόμετρον σταθεροῦ φορτίου h.

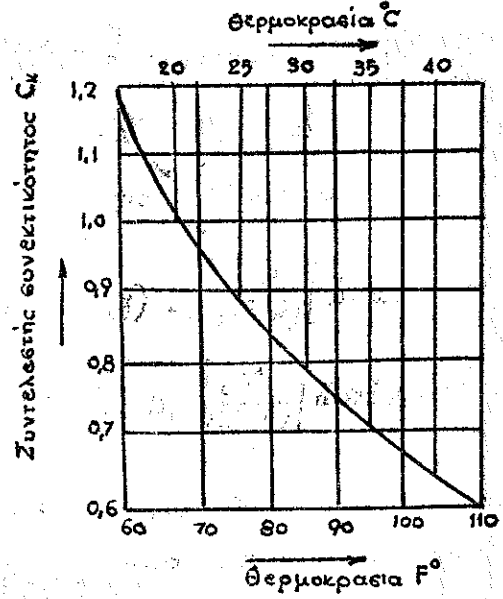
Ἡ διά τοῦ δείγματος διερχομένη παροχή (Q) εἶναι σταθερά

λόγῳ τοῦ σταθεροῦ ὕψους h καί μετρᾶται εἰς τόν κύλινδρον ἐξόδου. Ὁ συντελεστής διαπερατότητος δίδεται ἐκ τῆς ὡς ἄνω ἐξισώσεως (117):

$$K = \frac{Q}{\mathcal{J} F t} = \frac{\Omega}{\mathcal{J} F} = \frac{\Omega \cdot L}{F \cdot h} \qquad (122)$$

Ἡ ἐπιρροή τῆς θερμοκρασίας δίδεται διά τῆς σχέσεως τοῦ συντελεστοῦ συνεκτικότητος εἰς διαφόρους θερμοκρασίας (Σχ. 208).

Εἰς τά φυσικά ἐδάφη διατεταγμένα κατά στρώσεις συμφώνως πρός τήν φυσικήν ἐναπόθεσιν αὐτῆς, ὁ συντελεστής K εἶναι διάφορος κατά τήν μίαν ἔννοιαν ροῆς (συνήθως ὁριζοντίαν δι' ὁριζοντίας περίπου ἐναποθέσεις) καί διάφορος κατά τήν ἄλλην ἔννοιαν ροῆς (κατακόρυφον). Ὁμοίως ὁ συντελ. K δύναται νά εἶναι διάφορος εἰς ἑκάστην τῶν ἀλλεπαλλήλων στρώσεων, αἵτινες συνήθως ἔχουσι διάφορον κοκκομετρικήν σύνθεσιν καί διάφορα κενά ἀναλόγως τῆς πυκνοποιήσεως αὐτῶν.



Σχ. 208 Ἐπιρροή θερμοκρασίας εἰς διαπερατότητα

Τοιουτοτρόπως ἐάν στρῶμα ἐδάφους πάχους H ἀπαρτίζεται ἀπό διάφορα στρώματα μέ πάχη:

$$H_1 + H_2 + H_3 + \cdots + H_\nu = H$$

μέ συντελεστάς διαπερατότητος $K_1, K_2, K_3 \cdots K_\nu$ καί μέ μέσους συντελεστάς διαπερατότητος.

K_I κατὰ τὴν ὁριζοντίαν ἔννοιαν ροῆς (παράλληλον πρὸς τὰ στρώματα)

K_{II} κατὰ ροὴν κάθετον πρὸς τὰ στρώματα (κατακόρυφον) τότε διὰ ροὴν παράλληλον πρὸς τὰ στρώματα.

$$v = k_1 \cdot i = \frac{1}{H}\left[v_1 H_1 + v_2 H_2 + \cdots + v_\nu H_\nu\right] = \frac{i}{H}\left[K_1 H_1 + K_2 H_2 + \cdots + K_\nu H_\nu\right] \quad (123)$$

ἤτοι :

$$K_I = \frac{1}{H}\left(K_1 H_1 + K_2 H_2 + \cdots + K_\nu H_\nu\right) \quad (124)$$

Ἐξ ἄλλου διὰ ροὴν καθέτως εἰς τὰ ἐναλλασσόμενα στρώματα θὰ ἔχωμεν διὰ συνολικὴν ἀπώλειαν h :

$$v = \frac{h}{H} K_{II} = K_1 i_1 = K_2 i_2 = \cdots = K_\nu \cdot i_\nu \quad (125)$$

$$\text{καὶ} \quad h = H_1 i_1 + H_2 i_2 + \cdots + H_\nu i_\nu \quad (126)$$

ἐξ ὧν προκύπτει :

$$K_{II} = \frac{H}{\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \cdots \frac{H_\nu}{K_\nu}}$$

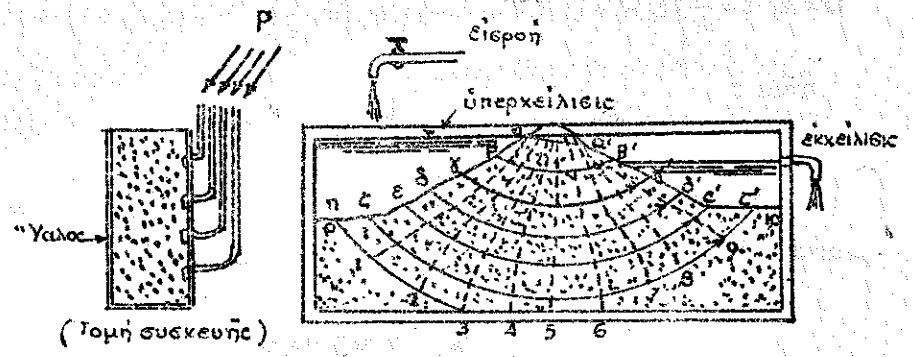
Ἀποδεικνύεται νῦν θεωρητικῶς ὅτι διὰ ἐδάφη κατὰ στρώσεις ὁ συντελεστὴς K_{II} εἶναι μικρότερος ἀπὸ τὸν K_I καὶ δι' αὐτὸ συνήθως τίθεται :

$$K_1 = K_{max} \quad \text{καὶ} \quad K_2 = K_{min}$$

β) Ἐπίπεδος ροὴ τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ ἐδάφους

Ἐάν παρακολουθήσωμεν ἐντὸς ὁμοιογενοῦς διαπερατοῦ ὑλικοῦ τὴν ροὴν τοῦ ὕδατος ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν ὑδραυλικοῦ φορτίου h μέσῳ πιεζομετρικῶν δεικτῶν (βλ. Σχ. 209) θὰ ἴδωμεν ὅτι οἱ δεῖκται

αὐτοί ἀποδεικνύουν ὅτι ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ διαπερατοῦ ὑλικοῦ ἔχει ἴσας τιμὰς κατὰ ὡρισμένας γραμμάς (διακεκομμέναι γραμμαὶ εἰς τὸ Σχ. 209). Ὡς εἶναι γνωστὸν καὶ ἐκ τῆς ὑ-



Σχ. 209

δραυλικῆς αἱ γραμμαὶ αὗται (1,2,3,...,8) καλοῦνται γραμμαὶ ἴσου δυναμικοῦ (ἕκαστον σημεῖον εἰς ἑκάστην γραμμὴν δεικνυει τὴν αὐτὴν πίεσιν, ἤτοι ὕψος εἰς τὸν πιεζομετρικὸν σωλῆνα P). Ἡ πτῶσις τοῦ ὑδραυλικοῦ φορτίου ἐξ οἱουδήποτε σημείου τῆς γραμμῆς 1 ὡς πρὸς οἱονδήποτε σημεῖον τῆς γραμμῆς 2 εἶναι ἡ αὐτὴ ὁμοίως μεταξὺ 2 καὶ 3, 3 καὶ 4 καὶ οὕτω καθ' ἑξῆς:

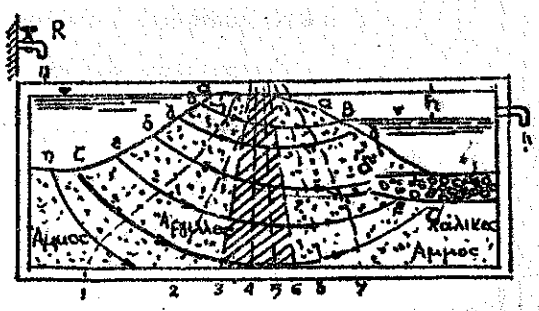
Αἱ ὁριακαὶ γραμμαὶ ἴσου δυναμικοῦ εἶναι αἱ αζ καὶ α'ζ', ἤτοι αἱ ἐπιφάνειαι τοῦ ἐδάφους. (Ἐκεῖ ὅλα τὰ πιεζόμετρα δείκνουν σταθμην εἰς (α) πρὸς τὰ ἀνάντη καὶ α' πρὸς τὰ κατάντη).

Ἐάν ἤδη εἰς τὴν παρειὰν αζ φέρομεν δι' ὑαλίνων βελονῶν χρῶμα (συνήθως φθορεσεΐνην, flourercin) εἰς διάφορα σημεῖα (α, β, γ, ... η) θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος διὰ μέσου τοῦ ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ λαμβάνει χώραν κατὰ τὰς καμπύλας γραμμὰς αα', ββ', γγ'..., ζζ'. Αἱ γραμμαὶ αὗται καλοῦνται γραμμαὶ ροῆς

καὶ τέμνονται καθέτως πρὸς τὰς γραμμὰς ἴσου δυναμικοῦ. Ἐφ' ὅσον ἑκάστη γραμμὴ ροῆς ἔχει διαφορετικὸν μῆκος, τὴν αὐτὴν δὲ ὑψομετρικὴν διαφορὰν εἰς τὰ ἄκρα αὐτῆς (=h) εἶναι φυσικὸν ἡ ταχύτης τοῦ ὕδατος νὰ εἶναι διάφορος (ἐφ' ὅσον καὶ τὸ K εἶναι τὸ αὐτὸ διὰ τὸ ὁμοιογενὲς ὑλικόν) εἰς ἑκάστην ἐξ αὐτῶν.

Διὰ ὁμοιόμορφον ὑλικὸν τὸ τμῆμα ἑκάστης γραμμῆς ροῆς μεταξὺ τῶν γραμμῶν ἴσου δυναμικοῦ εἶναι σχεδὸν σταθερόν. Ἄρα διὰ σταθερὸν K καὶ ἡ ταχύτης κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς ροῆς θὰ εἶναι σταθερά.

Ἐὰν ἡ διατομὴ τοῦ φράγματος ἀποτελεῖται ἀπὸ διαφορετικὰ ὑλικὰ (Σχ. 210) τότε εἰς τὸ πλέον λεπτόκοκκον ὑλικὸν ἡ ἀπώλεια ὑδραυλικοῦ φορτίου εἶναι μεγαλυτέρα καὶ ἐπομένως αἱ γραμμαὶ ἴσου δυναμικοῦ εἶναι πλησιέστερον ἀλλήλων.



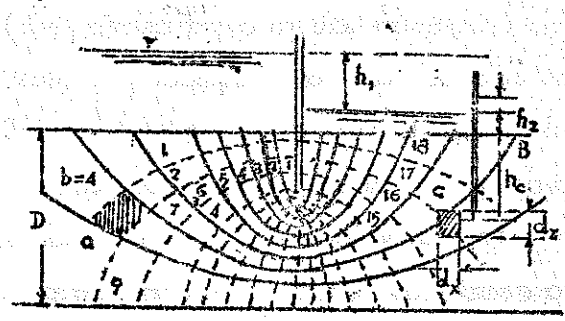
Σχ. 210: Φράγμα ἐκ διαπερατοῦ ὑλικοῦ μὲ ἀργιλλικὸν πυρῆνα καὶ χαλικώδες ἀντέρεισμα.

Τὸ ἀντίθετον συμβαίνει ἐὰν τὸ ὑλικὸν εἶναι πλέον διαπερατόν, ὡς λ.χ. ἡ δεξιὰ πλευρὰ τοῦ σχήμ. 210 ἔνθα ὑπάρχει στρῶμα χαλίκων.

Εἰς περίπτωσιν καθ' ἣν ἐντὸς τοῦ ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ ἤθελεν τοποθετηθεῖ λεπτὸν ἀδιαπέρατον στρῶμα (πασσαλοσανίδων γραμμὴ ἤ τι παρόμοιον) λαμβάνουν χώραν γραμμαὶ δυναμικοῦ καὶ ροῆς ἀνάλογαι πρὸς τὰς δημιουργουμένας συνθήκας.

Εἰς τὸ Σχ. 211 δίδεται μία τοιαύτη περίπτωσις. Ἐνταῦθα

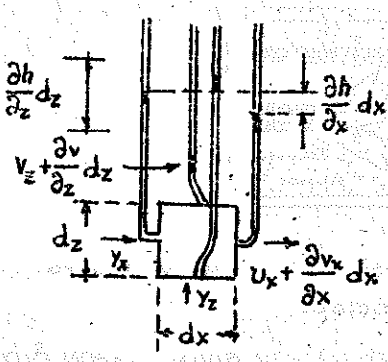
καράσσονται ὁμοίως αἱ γραμμαὶ ροῆς ὑποδιαιροῦσαι τὸ διαρρεόμενον ὁμοιογενὲς ὑλικὸν εἰς 9 τμήματα ($N_o=9$) καὶ 18 γραμμαὶ



Σχ.211. Ροὴ ὑπογείου ὕδατος εἰς ὁμοιογενὲς ὑλικὸν διακοπτόμενον ὑπὸ στεγανοῦ τοίχου.

ἴσου δυναμικοῦ ὑποδιαιροῦσαι τὴν διαφορὰν δυναμικοῦ h εἰς 18 τμήματα ($N_s=18$) ἤτοι ὕψους $\Delta h=\frac{h_1}{18}$ ἕκαστον.

Ἐὰν ἤδη λάβωμεν ἓν ἀπειροστὸν τμῆμα $dxdz$ ἐπὶ τῆς διασταυρώσεως τῶν γραμμῶν ροῆς καὶ δυναμικοῦ εἰς σημεῖον C καὶ καλέσωμεν v_x καὶ v_z τὰς προβολὰς εἰς τοὺς ἄξονας τῆς ταχύτητος v_r ἢ τὸ ὑδροστατικὸν φορτίον τοῦ σημείου καὶ $i_x=\frac{\partial h}{\partial x}$ καὶ $\frac{i}{z}=\frac{\partial h}{\partial z}$ τὴν πτῶσιν τοῦ φορτίου κατὰ τὰς ὁριζοντίους καὶ κατακορύφους κατευθύνσεις θὰ ἔχωμεν τὴν εἰσερχομένην εἰς τὸ ἀπειροστὸν τμῆμα $dxdydz$ παροχήν (Σχ.212).



Σχ.212
Πίεσις εἰς σημεῖον G

$$v_x\,dz\,dx + v_z\,dx\,dy \qquad (128)$$

καὶ τὴν ἐξερχομένην:

$$v_x\,dz\,dx + \frac{\partial v_x}{\partial x}\,dx\,dz\,dy + v_z\,dx\,dy + \frac{\partial v_z}{\partial z}\,dz\,dx\,dy \qquad (129)$$

Ἤδη δι' ἀσυμπίεστον ὑγρόν καὶ διὰ σταθερόν ὄγκον κενῶν, ἡ ποσότης τοῦ εἰσερχομένου καὶ ἐξερχομένου ὕδατος εἶναι σταθερά καὶ ἑπομένως ἴσχυει ἡ εὐκολοαπόδεικτος σχέσις :

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \qquad (130)$$

ἡ γνωστὴ ἐξίσωσις συνεχείας τῆς ὑδραυλικῆς (βλ. μαθήματα ὑδραυλικῆς).

Ἐκ παραλλήλου, ἐκ τῆς ἐξισώσεως τοῦ Darcy (ἐξ. 5 σελ.32) προκύπτει :

$$v_x = Ki_x = K\cdot\frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{καὶ} \quad v_z = Ki_z = K\frac{\partial h}{\partial z} \qquad (131)$$

Ἐάν ἤδη λάβωμεν τὴν παράστασιν $\Phi = Kh$ δι' ἣν :

$$v_x = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad \text{καὶ} \quad v_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$$

καὶ εἰσαγάγωμεν τὰς τιμὰς εἰς τὴν ἐξίσωσιν (130) ἔχομεν :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \qquad (132)$$

τὴν γνωστὴν ἐξίσωσιν τοῦ Laplace, ἥτις γραφικῶς παριστάνει τὸ δίκτυον τῶν ὀρθῶς ἀλληλοτεμνομένων γραμμῶν ροῆς καὶ δυναμικοῦ. Ἡ παράστασις $\Phi = Kh$ καλεῖται δυναμικὸν τῆς ταχύτητος.

Εἶναι εὔκολον νὰ εὕρωμεν ἤδη τὴν πίεσιν εἰς οἱονδήποτε σημεῖον Α ἐλαττουμένη κατὰ $^{16}/_{18}\, h_1$ ἢ ὡς εἰς τὸ σημεῖον β αὐξανομένη κατὰ $^{2}/_{18}\, h_1$ (βλ. Σχ. 211).

Ἡ παροχὴ τοῦ διηθουμένου ὕδατος δύναται νὰ ὑπολογισθῇ ἤδη εὐχερῶς.

Ἡ ὑδραυλικὴ κλίσις μεταξὺ δύο διαδοχικῶν καμπύλων ἴσου δυναμικοῦ εἰς σημεῖον ἔνθα αὗται ἀπέχουν κατὰ α θὰ εἶναι (βλ. διαγραμμισμένον τετράγωνον τοῦ Σχ. 211).

$$i = \frac{\Delta h}{\alpha} \qquad (133)$$

ὁπότε ἡ ταχύτης θά εἶναι :

$$v = K_1 = K\frac{\Delta h}{\alpha} = \frac{K}{\alpha}\cdot\frac{h_1}{Nd}$$

καί ἡ διά τοῦ τετραχώνου παροχή :

$$\Delta Q = bv = K\cdot\frac{b}{\alpha}\cdot\frac{h_1}{N\delta}$$

Συνήθως κατά τήν κατασκευήν τοῦ δικτύου ἐπιδιώκομεν καί ἐπιτυγχάνομεν $\alpha=\beta$ ὁπότε ἡ ὁλική παροχή τοῦ διαρρεομένου στρώματος θά εἶναι ἀνά μονάδα πλάτους τοῦ φράγματος :

$$Q = N_p\cdot\Delta Q = Kh_1\frac{NF}{Nd} \qquad (134)$$

Ὑπολογιζομένη εὐκερῶς εὐθύς ὡς κατασκευασθῆ τό δίκτυον ροῆς.

Ἐάν ἐκ παραλλήλου ἐξετάσωμεν τόν κῦβον α^3 (διαγραμμισμένον τμῆμα τοῦ Σχ. 211) βλέπομεν ὅτι αἱ δύο ἀκμαί αὐτοῦ αἱ κάθετοι πρός τήν διεύθυνσιν τῆς ροῆς ὑφίστανται πιέσεις αἵτινες παρουσιάζουν διαφοράν :

$$P_s = \alpha^2(15\Delta h\cdot\gamma - 14\Delta h\cdot\gamma) = \alpha^3\frac{\Delta h}{\alpha}\gamma = \alpha^3 i\gamma \qquad (135)$$

ἤ εἰς τήν μονάδα ὄγκου πίεσις :

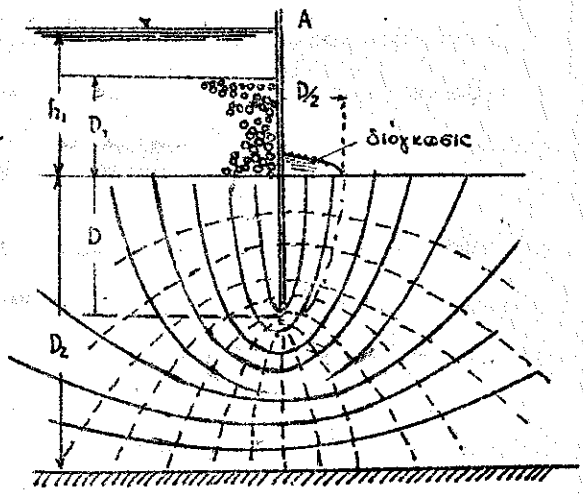
$$P_s = i\gamma \qquad (136)$$

ἀσκεῖται ὑπό τοῦ ρέοντος ὕδατος ἐπί τοῦ ἐδάφους καλεῖται πίεσις διηθήσεως (seepage pressure) καί ἔχει διαστάσεις μονάδος βάρους [kg/cm³] (κλίσις τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς τῆς ὑπ' ὄψιν εὐθείας ροῆς).

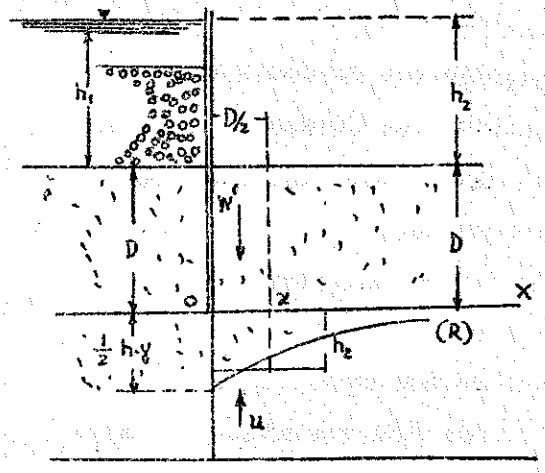
γ) Σωληνοειδεῖς διαφυγαί.

Ὡς ἐλέχθη ἀνωτέρω τό διηθούμενον ὕδωρ παρασύρον συστατικά τοῦ ἐδάφους δι' οὗ ρέει δύναται νά δημιουργήσῃ σωληνοειδῆ κενά (piping, phenomene de renard) ἐντός αὐτοῦ καί νά προκαλέσῃ τήν καταστροφήν τοῦ φράγματος.

Τά κενά ταῦτα δημιουργοῦνται εἴτε διά βαθμιαίας φθορᾶς τοῦ ἐδάφους (ὁπότε δέν εἶναι δυνατόν νά ὑπολογισθῶσιν) ἤ δύνανται νά δημιουργηθῶσι διά τῆς διογκώσεως τοῦ ἐδάφους μετά τοῦ κάτωθεν ρέοντος ὕδατος ὁπότε τίθεται τό ἔδαφος ἐν ροῇ μετακινούμενον δέ δημιουργεῖ κενά, καταπτώσεις καί καταστροφήν τοῦ φράγματος.



Εἰς περίπτωσιν ἀμμώδους ἐδάφους ἤ οὕτω μετακινουμένη διά διογκώσεως τῶν κενῶν αὐτῆς ἄμμος καλεῖται ὑδαρής ἄμμος (quick-sand) δυναμένη νά ἀπορροφήσῃ τυχόν βαρέα ἀντικείμενα ἐντός αὐτῆς.



Σχ. 213 Δημιουργία σωληνοειδοῦς διά διογκώσεως

Εἰς τό Σχ. 213 ἐχαράχθη διά τό ἐπίπεδον σχ ἡ καμπύλη π τῶν πιέσεων διηθήσεως (ὡς ἀνωτέρω).

Ἐάν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν

ὅτι πειραματικῶς εὑρίσκεται συνήθως ἡ σωληνοειδὴς διόγκωσις ἔχουσα ὕψος $D/2$ (τὸ ἥμισυ τοῦ βάρους D) τότε ἡ ἰσορροπία τοῦ πρίσματος $O\alpha\beta\gamma$ θὰ ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας διδομένου ἐκ τοῦ λόγου :

$$\Sigma = \frac{\text{βάρος ἄμμου } W'}{\text{ὑδροστατ. πίεσις } M} = \frac{\frac{1}{2}D^2 \cdot \gamma'}{\frac{1}{2}D\gamma \cdot h} = \frac{D\gamma'}{\gamma h \alpha} \qquad (137)$$

τὸ $h\alpha$ γραφικῶς μέση τιμὴ ὑπὸ τὸ πλάτος $\frac{D}{2} \cdot \gamma' = \gamma_1 - \gamma$.

Ἐξ ἄλλου ὁ Harza εἶδε τὴν κρίσιμον κλίσιν τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς, διὰ τὴν ὁποίαν δύναται νὰ ἀρχίσῃ ἡ ἄμμος νὰ τίθεται εἰς κίνησιν διὰ τοῦ τύπου :

$$i_F = \frac{h}{L} = (1-P)(\gamma_1 - 1) \qquad (138)$$

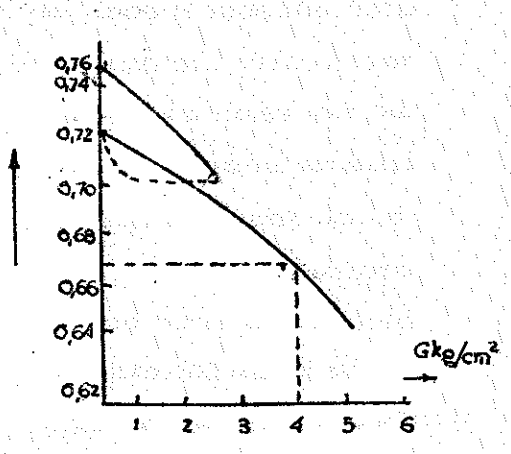
ἔνθα p τὸ πορῶδες τοῦ ἐδάφους καὶ γ_1 τὸ εἰδικὸν βάρος αὐτοῦ. (Ἤτοι ὁ πραγματικὸς ὄγκος ὑλικοῦ $(1-p)$ πολ/μένος ἐπὶ τὸ ἐν τῷ ὕδατι βάρος $(\gamma_1 - 1)$).

3-6 : Ἡ καθίζησις τῶν χωματίνων ἔργων.

Ἡ καθίζησις τῶν χωματίνων φραγμάτων θὰ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν σύνθεσιν τοῦ ὑλικοῦ καὶ τὰς δυνάμεις πυκνοποιήσεως, αἵτινες ἐφαρμόζονται ἐπ' αὐτοῦ.

Ἡ ἑκατοστιαία ἀναλογία ἀλλαγῆς ὄγκου ἢ ὀφειλομένη εἰς πυκνοποίησιν θὰ εἶναι (βλ. τὴν ἐξίσωσιν 93):

$$\frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$$



Σχ. 213α Πυκνοποίησις δείγματος παιπαλικῆς ἀργίλλου

καί διά τό πάχος χώματος h ή όλική καθίζησις S θά εἶναι :

$$S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot h$$

Οὕτω ἄς λάβωμεν ὡς παράδειγμα φράγμα ὕψους 21,30 μ. (κατακόρυφος πίεσις εἰς τό μέσον αὐτοῦ 4 kg/cm²) καί ἄς ὑποθέσωμεν ὅτι τό πλαστικόν ὑπέδαφος πάχους 15,25 μ. εὑρίσκεται ἐκ παπαλίκης ἀργίλλου, τῆς ὁποίας ἡ καμπύλη πυκνοποιήσεως δίδεται εἰς τό Σχ. 213ᵍ. Τότε ἡ καθίζησις τοῦ ὑπεδάφους θά εἶναι :

$$S = \frac{0,75 - 0,67}{1,75} \cdot 15,25 = 0,70 \text{ m}$$

ἤτοι τό φράγμα δέον νά κατασκευασθῇ κατά 0,70 m. ὑψηλότερον διά νά ἔλθῃ τελικῶς εἰς τήν θέσιν του.

Ἡ ὡς ἄνω μέθοδος προϋποθέτει ὅτι ἡ πίεσις 4 αἱ θά εἶναι ὁμοιόμορφος ἐπί τοῦ πλαστικοῦ ὑπεδάφους, ὅπερ δέν θά συμβῇ εἰς τήν πραγματικότητα καί ἡ ὡς ἄνω ἐκτίμησις περιέχει συντελεστήν ἀσφαλείας οὐσιώδους μεγέθους.

3·7 Αἱ ὑπό τῶν ἐδαφῶν παραλαμβανόμεναι τάσεις

Ἡ ἔρευνα τῆς μεταβιβάσεως καί τῆς διανομῆς τῶν φορτίσεων ἐντός τῶν ἐδαφῶν τῶν δημιουργουμένων τάσεων ὡς καί τῶν ὑπό τῶν ἐδαφῶν δυναμένων νά παραληφθῶσι τάσεων, ἄνευ κινδύνου τῶν ἔργων ἀποτελεῖ τό [illegible] μέλημα ἡμῶν προκειμένων χωματίνων φραγμάτων διά τήν μελέτην τόσον τοῦ χωματουργικοῦ ἔργου ὅσον καί τοῦ βαστάζοντος ὑπεδάφους.

Δέον ὅθεν διά τήν σύνταξιν τῆς μελέτης νά ἐρευνήσωμεν τάς ἰδιότητας τοῦ φέροντος ἐδάφους ὡς καί τοῦ ὑλικοῦ ἐξ οὗ θά κατασκευασθῇ τό φράγμα, ἰδίᾳ διά τάς ἰδιότητας ἐκείνας αἱ-

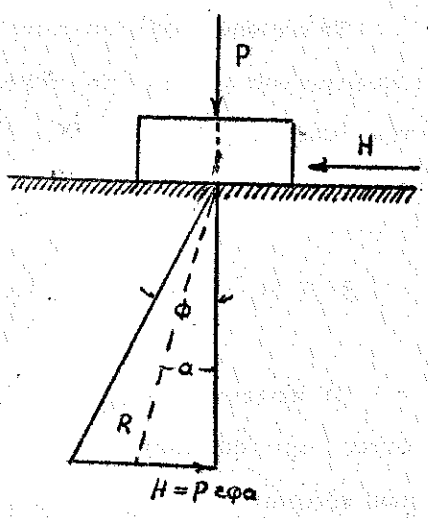
τινες θά προκύψουν διά τάς συνθήκας ὑπό τάς ὁποίας θά κατασκευασθῇ τό φράγμα.

Πλήν τῆς ἐπουδῆς διανομῆς τῶν τάσεων προβάλει ὁμοίως τό θέμα τῶν τρόπων ἐργαστηριακῆς δοκιμῆς τῶν διαφόρων ὑλικῶν δομῆς τῶν φραγμάτων, ὑπό τάς συνθήκας κατασκευῆς αὐτῶν, διά τόν προσδιορισμόν τοῦ τρόπου συμπεριφορᾶς αὐτῶν καί τόν προσδιορισμόν τῆς ἀσφαλείας τοῦ ἔργου. Ἡ ἔρευνα αὕτη ἀφορᾶ τόσον τάς τάσεις διατμήσεως ὅσον καί τάς κυρίας τάσεις.

α. Αἱ τάσεις διατμήσεως τῶν ἐδαφῶν.

α.α. Γενικαί ἔννοιαι, συσκευαί, τύποι δοκιμῶν.

Ὡς εἶναι γνωστόν, ἐάν σῶμα ὑπό κατακόρυφον φόρτισιν P, εὑρίσκεται ὑπό τήν ἐπιρροήν ὁριζοντίας ὠθήσεως H ἡ συνισταμένη τῶν δύο δυνάμεων R σχηματίζει γωνίαν α, ἥτις αὐξανομένης τῆς ὁριζοντίας ὠθήσεως θά λάβῃ τελικῶς μίαν τιμήν φ δι' ἥν θά ἀρχίσῃ ἡ ὀλίσθησις, ἐπί τῆς ἐπιφανείας τῆς βάσεως τοῦ F, ὁπότε :



Σχ. 214
Ὀλισθησις

$H = P\,\varepsilon\varphi\varphi$ καί ἐπειδή $\begin{cases} P = \sigma \cdot F \\ H = \tau \cdot F \end{cases}$

θά ἔχωμεν :

$$\tau = \sigma \cdot \varepsilon\varphi\varphi \qquad (139)$$

ἤτοι ἡ μεγίστη διατμητική δύναμις εἶναι συνάρτησις τῆς κατακορύφου πιέσεως.

Τό φαινόμενον τῆς ὀλισθήσεως εἶναι ἀρκετά πολύπλοκον γενικῶς, γίνεται ὅμως ἔτι πολυπλοκώτερον προκειμένου περί ψαθυρῶν ὑλικῶν ὅπου ἡ ἀλληλοκλειδώσεις (interlocking) τῶν κόκκων ἐπηρεάζει τάς τριβάς μεγάλως.

Ἕτερον στοιχεῖον ἐπιρροῆς εἶναι ἡ παρουσία ὕδατος περιλαμβάνοντος τούς κόκκους τοῦ ἐδάφους, ἥτις μεταβάλλει μεγάλως τήν τριβήν. Τό ὕδωρ εἶναι γνωστόν ἀντιλιπαντικόν καί αὐξάνει μεγάλως τάς τριβάς εἰς ὡρισμένα ὑλικά (ὑδρόφιλα ὡς λ.χ. ἡ ἄμμος) ἤ ἐλαττώνει ταῦτα εἰς ἄλλα (ὑδροφόβα ἤ ὑδατοπαυστικά ὡς ὁ τάλκης) οὕτω ὁ λόγος $\frac{\tau}{\sigma}$ εἶναι 4,5 φορές μεγαλύτερος εἰς ὑγράν (ἤ ἐμβαπτισμένην ἄμμον) παρά εἰς ξηράν. Ἀπεναντίας ὁ λόγος $\frac{F}{\sigma}$ εἶναι 20-30% μεγαλύτερος εἰς ξηρόν πυροφυλλίτην ἤ εἰς ἐμβαπτισμένον ἐν ὕδατι.

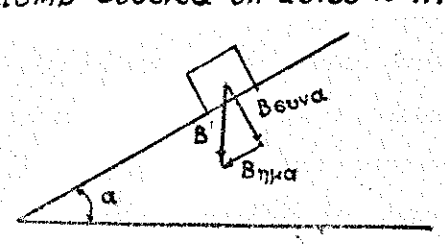
Πλήν ὅμως τῆς διατμητικῆς τάσεως, ἥτις ἀναπτύσσεται εἰς τά κώματα ἐκ τῆς κατακορύφου φορτίσεως ἔχουσιν τά πλεῖστα τῶν ἐδαφῶν τήν ἱκανότητα ἀντοχῆς εἰς διατμήσεις λόγῳ τῆς συνεκτικότητος αὐτῶν (cohesion) καί ἡ τιμή αὐτῆς ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ εἴδους τοῦ ἐδάφους τῆς καταστάσεως αὐτοῦ (σχετική πυκνότης, περιεκτικότης εἰς ὑγρασίαν, ἠλεκτροχημικαί δυνάμεις κ.λ.π.).

Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει ἡ ἐξίσωσις 139 λαμβάνει τήν γενικήν μορφήν :

$$\tau = c + \sigma \varepsilon\varphi\phi \qquad (140)$$

ἥτις εἶναι ἡ ἐξίσωσις τοῦ Coulomb δοθεῖσα ὑπ'αὐτοῦ τό 1776.

Ἐάν ἤδη τό ἀνωτέρω ὀλισθαῖνον σῶμα κεῖται ἐπί ὑπό γωνίαν α κεκλιμένης ἐπιφανείας τότε ἡ ἐφαπτομενική συνιστῶσα, βημα τείνει νά προκαλέσῃ ὀλίσθησιν εἰς ἣν ἀ-



Σχ. 215 Γωνία ὀλισθήσεως

μως ἀντιδρᾶ ἡ τριβὴ τῆς καθέτου συνιστώσης ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας, ἤτοι ἡ Β συνα.εφΦ.

Ἐὰν αὐξήση ἡ γωνία α τότε διὰ μίαν μεγίστην τιμὴν αὐτῆς α_m θὰ λαβῃ χώραν ἡ ὀλίσθησις καὶ τότε θὰ ἔχωμεν τὴν ἰσότητα:

$$B\eta\mu\alpha_m = B\sigma\upsilon\nu\alpha_m \, \epsilon\varphi\Phi \qquad (141)$$

ἢ

$$\epsilon\varphi\alpha_m = \epsilon\varphi\Phi \text{ ἢ } \alpha_m = \Phi \qquad (142)$$

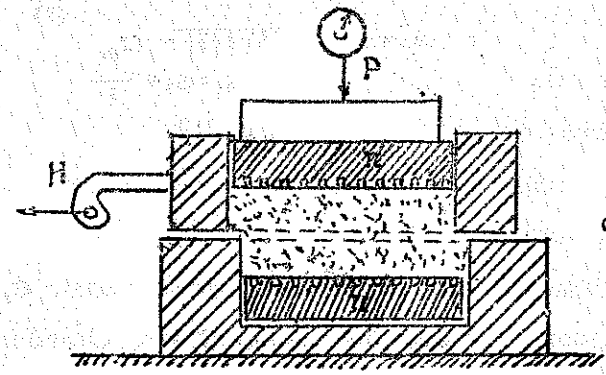
Διὰ σφαιρικὸν σῶμα β ἡ γωνία θὰ εἶναι μικροτέρα λόγῳ κυλίσεως. Εἰς τὰ κοκκώδη ἐδάφη λαμβάνουν χώραν φαινόμενα ὀλισθήσεως, κυλίσεως καὶ ἀλληλοκλειδώσεως ὅτινα καθιστοῦν τὸ φαινόμενον πολυπλοκώτατον. Ἡ γωνία $\alpha_m = \Phi$ εἶναι γνωστὴ γωνία τοῦ φυσικοῦ πρανοῦς. Ὑπάρχουν ὅθεν καθαρῶς διαχραφόμεναι περιπτώσεις (καθαρὰ ὁμοιόμορφος ἄμμος) ὅπου ἡ γωνία Φ τῆς ἐξισώσεως (140) θὰ ἠδύνατο νὰ προσδιορισθῇ διὰ τῆς εὑρέσεως τῆς γωνίας τοῦ φυσικοῦ πρανοῦς.

Εἰς τὰς πλείστας ὅμως τῶν περιπτώσεων φυσικῶν ἐδαφῶν διαφόρων ἰδιοτήτων (κοκκομετρικῆς συνθέσεως, πυκνότητος, ὑγρασίας ἰόντων, ἐναλλαχῆς βάσεως κ.λ.π.) δέον νὰ εἰσέλθωμεν εἰς θέσιν νὰ προσδιορίσωμεν τὴν γωνίαν Φ πειραματικῶς καὶ τοῦτο γίνεται διὰ δύο τύπων κυρίως συσκευῶν καὶ διὰ τῆς συσκευῆς ἀμέσων διατμητικῶν δοκιμῶν (tri ialshear test) διὰ τῶν ὁποίων ἐπιτυγχάνονται διαφόρων κατηγοριῶν δοκιμαὶ τῶν ἐδαφῶν.

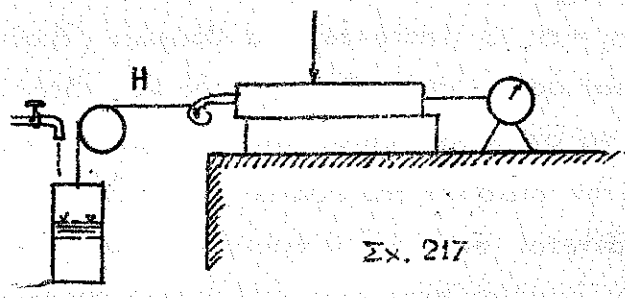
Ἡ γενικὴ διάταξις τῆς συσκευῆς ἀμέσων διατμητικῶν δοκιμῶν ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 218. Τὸ δεῖγμα τοῦ ἐδάφους τίθεται μεταξὺ δύο ὁριζοντίων μεταλλικῶν δακτυλίων ἐκ τῶν ὁποίων ὁ κατώτερος εἶναι συνήθως σταθερὸς καὶ ὁ ἀνώτερος κινητὸς ὑπὸ τὴν ἐπήρειαν ὁριζοντίου δυνάμεως. Κατὰ τὴν κίνησιν τὸ δεῖγμα ὑφίσταται καθαρὰν διάτμησιν. Τὸ δεῖγμα

συμπιέζεται μεταξύ δύο πλακών Π,Π αίτινες φέρουσιν εντομάς (ἢ προεξέχουσας λεπίδας) διά τήν πλήρη πάκτωσιν τοῦ δείγματος ἡ ἄνω δέ πλάξ μεταβιβάζει κατακόρυφα φορτία ἐπί τοῦ δείγματος. Οἱ πλάκες δύνανται νά εἶναι ἐκ παρώδους ὑλικοῦ διά τήν εὐχρονον ἀποστράγγισιν τοῦ δείγματος κατά τήν πυκνοποίησιν αὐτοῦ λόγῳ τῶν κατακορύφων φορτίων.

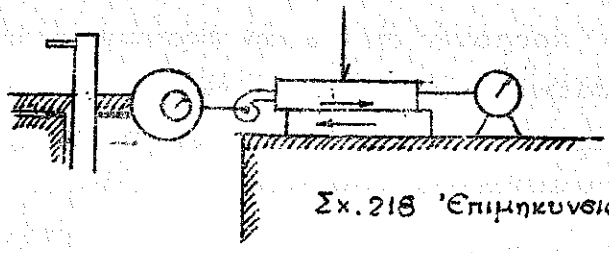
Ἡ ἐφαρμογή τῆς ὁριζοντίας δυνάμεως Η γίνεται ἢ διά συνεχοῦς αὐξήσεως αὐτῆς (ὡς εἰς τό Σχ. 217) ἢ δι' ἐλεγχομένης κατά διακεκριμένα ποσά κλιμακωτῆς αὐξήσεως αὐτῆς (βλ.Σχ.218).



Σχ. 216 Συσκευή ἁμέσων διατμητικῶν δοκιμῶν



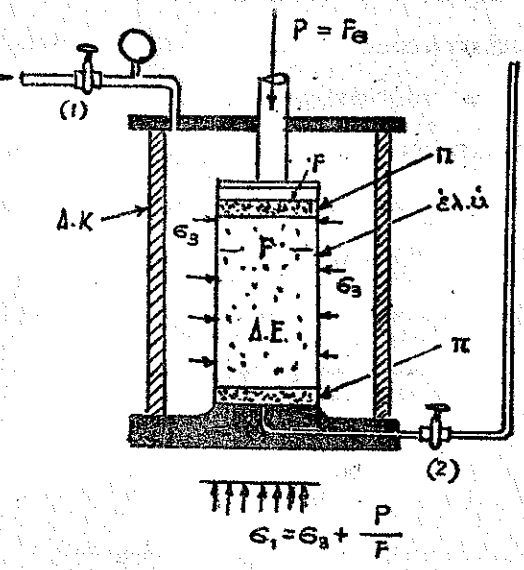
Σχ. 217



Σχ. 218 Ἐπιμηκυνσίμετρον

Ἐξ ἄλλου ἡ συσκευὴ τριαξονικῶν διατμητικῶν δοκιμῶν δίδεται εἰς τὸ Σχ. 219.

Τὸ δεῖγμα τοῦ ἐδάφους (ΔΕ) περιβαλλόμενον ὑπὸ λεπτοῦ ἐλαστικοῦ ὑμένος (ἐλ.ὑ.) τοποθετεῖται ἐντὸς τῆς συσκευῆς ἀπαρτιζομένης ἀπὸ διαφανῆ πλαστικὸν κυλινδρον (Δ.Κ) καλυπτόμενον ὑπὸ δύο πορωδῶν πλακῶν π.



Σχ. 219
Συσκευὴ τριαξονικῶν δοκιμῶν

Τὸ Δ.Ε. ὑπόκειται νῦν εἰς τάσεις $\sigma_2 = \sigma_3$ (κατὰ τὴν ὁριζοντίαν ἔννοιαν) ρυθμιζομένας διὰ τοῦ σωλῆνος (1) φέροντος δείκτην πιέσεως καὶ εἰς κατακορύφους τάσεις σ_1 ρυθμιζομένας ὑπὸ τοῦ φορτίου P καὶ τῶν τάσεων $\sigma_2 = \sigma_3$. Οἱοσδήποτε συνδιασμὸς $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$ εἶναι δυνατός. Ἐπίσης εἶναι δυνατὸν νὰ θέσωμεν $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$. Τὰ ἀποτελέσματα δοκιμῶν (θραῦσις εἰς διάτμησιν) εἶναι ὁρατὰ διὰ τοῦ διαφανοῦς κυλίνδρου. Τὸ δεῖγμα δύναται νὰ ἀποστραγγίζεται διὰ τοῦ διακόπτου (2) (φέροντος καὶ δείκτην στάθμης τοῦ ὕδατος) ἢ καὶ ὄχι.

Ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῶν ἄνω συσκευῶν κατὰ τὴν ἐκτέλεσιν τῶν δοκιμῶν ἐφαρμόζεται κατ' ἀρχὴν ἕνα κατακόρυφον φορτίον $P = \sigma \cdot F$, εἶναι δὲ ἡ διατμητικὴ φόρτισις $H = T \cdot F$.

Εἶναι προφανὲς ὅτι διὰ τῶν φορτίων τούτων μεταβάλλεται ἡ ἀναλογία τῶν κενῶν ἐνῶ ἐκ παραλλήλου αἱ τριβαὶ τοῦ τυχὸν ὑπάρχοντος ὕδατος διὰ τῶν κενῶν ἐπιβραδύνει τὰ φαινό-

μενα, καὶ δὴ κατ'ἀναλογίαν πρὸς τὴν πυκνοποίησιν τοῦ ἐδάφους τὴν διαπερατότητα αὐτοῦ, τὴν στράγγισιν τοῦ δείγματος καὶ τοῦ τρόπου ἐφαρμογῆς τῶν δυνάμεων. Οἱ συντελεσταὶ οὗτοι λαμβάνονται ὑπ'ὄψιν κατὰ τὰς δοκιμάς, αἵτινες καὶ χαρακτηρίζονται ἀναλόγως τῶν ἰσχυουσῶν ἑκάστοτε συνθηκῶν κατὰ τὴν ἐκτέλεσίν των.

Οὕτω ὁ A.Casagrande συνιστᾷ τὴν ἀκόλουθον ταξινόμησιν τῶν δοκιμῶν διατμήσεως.

1- Ταχεῖα δοκιμή (Quick-test Q). Κατ'αὐτὴν δὲν στραγγίζεται τὸ ὕδωρ κατὰ τὴν ἐφαρμογὴν τῶν P καὶ H, ἐπιτελεῖται δ'αὕτη ἐντὸς ἐλαχίστου χρόνου. Ἡ δοκιμὴ ἐκτελεῖται καλλίτερον διὰ τῆς συσκευῆς τοῦ Σχ. 219 (τριαξονικὴ συσκευή) κλειομένου τοῦ διακόπτου 2.

Ἡ μέθοδος αὕτη χρησιμοποιεῖται πρὸς ἔρευναν τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως εἰς φυσικὰ χώματα φραγμάτων εὐθὺς ἀμέσως κατὰ τὴν κατασκευὴν αὐτῶν καὶ μετὰ τὴν κατασκευὴν αὐτῶν καὶ μὲ τὴν φυσικὴν κατάστασιν περιεκομένης ὑγρασίας. Ἡ δοκιμὴ διαρκεῖ 3-5 πρῶτα λεπτά.

2- Πυκνοποιηθεῖσα, ταχεῖα δοκιμή (Consolidated quick test Qc). καθ'ἣν τὸ δεῖγμα πυκνοποιεῖται τελείως, ὑπὸ κατακόρυφον φόρτισιν καὶ ὑποβάλλεται ἐν συνεχείᾳ εἰς διάτμησιν μὲ τὸ αὐτὸ περιεχόμενον ὕδατος (ἄνευ στραγγίσεως). Ἡ δοκιμὴ ἐπιτελεῖται καὶ διὰ τῶν δύο ὡς ἄνω συσκευῶν (Σχ. 216 καὶ 219) καὶ χρησιμοποιεῖται πρὸς διαπίστωσιν τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως ἤτοι θὰ προκύψῃ εἰς μίαν κατασκευὴν πυκνοποιημένην ὑπὸ τὸ ἴδιον βάρος ἢ τεχνητῶς, καθ'ἣν δὲν προλαμβάνει νὰ ἀπομακρυνθῇ τὸ ὕδωρ (ἀρχιλλικαὶ ἐπικώσεις). Ἡ πυκνοποίησις τοῦ δείγματος δέον νὰ εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὴν εἰς φυσικὸν μέγεθος ἀναμενομένην.

3- Βραδεῖα δοκιμή (Slow test, S) κατὰ τὴν ὁποίαν μετὰ τὴν πλήρη πυκνοποίησιν τοῦ δείγματος ὑπὸ κατακόρυφον φόρτισιν (ὡς εἰς προηγουμένην δοκιμήν) ἐφαρμόζεται βραδέως

ἡ ὁριζοντία ὤθησις Η εἰς μικρὰς προσαυξήσεις καὶ κατὰ περιόδους ἀρκετὰ μακρὰς ὥστε νὰ ἀποκαθίσταται ἰσορροπία τοῦ ἐδάφους μεταξὺ αὐτῶν καὶ νὰ δημιουργεῖται ἡ εὐκαιρία ὥστε νὰ ἐφραχίζεται τὸ ὕδωρ καὶ εἰς τὰ πλέον ἀδιαπέρατα ὑλικά.

Βραδεῖαι δοκιμαὶ διαρκοῦν ἐνίοτε ἕνα μῆνα καὶ πλέον. Ἡ δοκιμὴ αὕτη εἶναι ἐνδεικτικὴ τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ ὑλικοῦ μετὰ πλήρη πυκνοποίησιν αὐτοῦ ἐπὶ τόπου τοῦ ἔργου.

4 - Ἐλευθέρα δοκιμὴ συμπιέσεως (Unconfined compreron test, u). Αὕτη ἐφαρμόζεται κυρίως εἰς ἀργιλλικὰ ἐδάφη, καὶ τὸ δεῖγμα ἐπιφορτίζεται μὲ μίαν μόνον τάσιν σ_1 ἐνῷ $\sigma_2 = \sigma_3$ (βλ. συσκευὴν τριαξονικῆς φορτίσεως, ἥτις καὶ μόνη ἐφαρμόζεται διὰ τὴν δοκιμὴν ταύτην Σχ. 219) μέχρι θραύσεως εἰς διάτμησιν. Εἰς κεκορεσμένα δείγματα ἀργίλλου τὰ ἀποτελέσματα εἶναι παραπλήσια πρὸς τὰ τῆς δοκιμῆς Q (βλ. πρώτην δοκιμὴν ἀνωτέρω) ἐφ' ὅσον διαρκοῦν 10 ἕως 20 λεπτά.

Σύγκρισις τῶν ἀνωτέρω δοκιμῶν καταδεικνύει ὅτι διὰ κεκορεσμένα συνεκτικὰ ἐδάφη αἱ βραδεῖαι δοκιμαὶ δίδουν τὴν μεγαλυτέραν ἀντοχὴν εἰς διάτμησιν, αἱ ταχεῖαι τὴν μικροτέραν αἱ δὲ πυκνοποιηθεῖσαι ταχεῖαι μέσας τιμάς.

Εἰς στραγγιζόμενα ὁκίμια ἡ ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν αὐξάνει ἐφ' ὅσον ἐλαττοῦνται ὁ ρυθμὸς μεθ' οὗ ἐφαρμόζεται ἡ δύναμις διατμήσεως.

α - β. Ἀποτελέσματα δοκιμῶν καὶ ἐπουδὴ αὐτῶν.

Ὡς προκύπτει ἐκ τῆς ἐξισώσεως Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \varepsilon\varphi\,\phi \qquad (140)$$

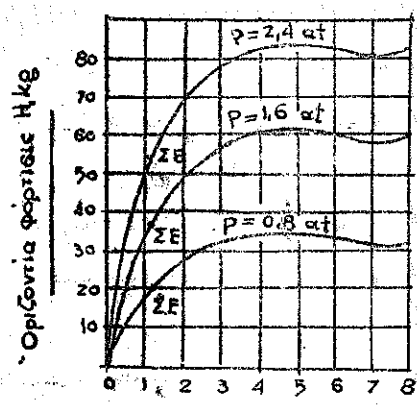
ὁ ὑπολογισμὸς τῶν τάσεων εἰς χωμάτινα ἔργα δύναται νὰ ἐπιτευχθῇ ἐφ' ὅσον προσδιορισθοῦν τὰ μεγέθη c καὶ ϕ διὰ τὸ ὑλικὸν ὡς καὶ ἡ μεταβολὴ αὐτῶν λόγῳ πυκνοποιήσεως ἢ συμπυκνώσεως ὡς καὶ δι' αὐξομειώσεως ὑδατοπεριεκτικότητος.

Ἡ εὐθεῖα τῆς ἐξισώσεως (140) προκειμένων ἀργιλλικῶν παλαιῶν ἢ ἀναμίκτων χωμάτων περιεχόντων τὰ δύο ταῦτα συστατικά, τέμνει τὸν ἄξονα τεταγμένων εἰς σημεῖον καθορίζον τὸ μέγεθος C ἔχει δὲ κλίσιν πρὸς τὸν ἄξονα τετμημένων δίδουσαν τὴν γωνίαν φ. Εἰς περίπτωσιν καθαρῶς ἀμμωδῶν ἐδαφῶν ἡ εὐθεῖα αὕτη διέρχεται διὰ τῆς ἀρχῆς τῶν συντεταγμένων, ἤτοι C = 0, ἡ δὲ κλίσις αὐτῆς (ἂν δὲν ληφθῇ ἡ φαινομενικὴ παρουσιαζομένη ἐνίοτε συνεκτικότης) ἰσοῦται μὲ τὴν γωνίαν φυσικοῦ πρανοῦς.

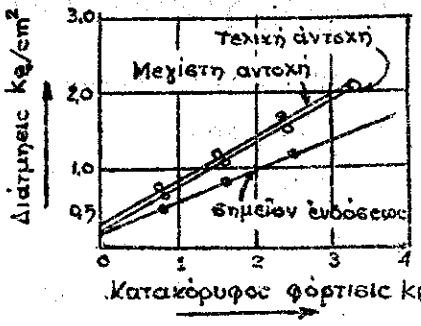
Εἰς τὸ Σχ. 220 δίδονται τὰ ἀποτελέσματα δοκιμῆς δείγματος ἀργιλλικῆς ἀμμώδους παιπάλης εἰς ὃ ἐφηρμόζετο διάφορος κατακόρυφος φόρτισις P καὶ ἐμετρᾶτο ἡ ὁριζοντία μετακίνησις ἐ εἰς χιλιοστὰ διὰ διαφόρους ὁριζοντίας φορτίσεις H.

Ἡ μετακίνησις αὐξάνει βαθμιαίως μέχρι τοῦ σημείου ἐνδόσεως Σ.Ε. (Yield Point) καὶ ἀκολουθεῖ μέχρι ἑνὸς μεγίστου πέραν τοῦ ὁποίου ἐλαττοῦται ὀλίγον καὶ μεταβάλλεται ἀσυμπτωτικῶς. Τὰ αὐτὰ σημεῖα (ἐνδόσεως, μέγιστον καὶ ἀσυμπτωτικῶς) μεταφερόμενα εἰς τὸ σχῆμα 221 δίδουν τὰς ἐξισώσεις (140) τοῦ δείγματος διὰ τὰς τρεῖς αὐτὰς καταστάσεις. Ἐξ αὐτῶν προκύπτουν αἱ σταθεραὶ C καὶ φ τοῦ δείγματος.

Εἰς τὰς δοκιμὰς διατμήσεως διὰ τῆς συσκευῆς ἀμέσων δοκιμῶν ἡ τάσις I προσδιορίζεται ἀμέσως δι' ἕκαστον σημεῖον θραύσεως τοῦ δοκιμίου εἰς τὰς ἀντιστοίχους θ. Ἄλλως



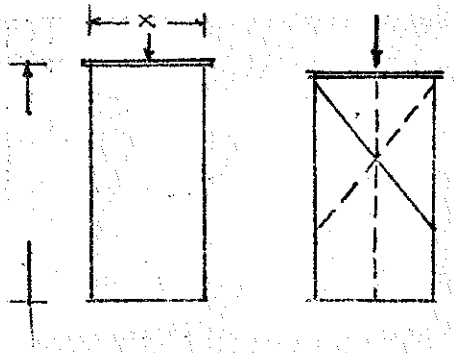
Σχ. 220. Συσχετίσεις φορτίων μετακινήσεως ἀργιλλικῆς ἀμμώδους παιπάλης.



Στοιχεία →	c	φ	εφ.φ
Σημείον ενδόσεως	0,23	21°,4	0,392
Μεγίστη άντοχή	0,36	28°,1	0,534
Τελική άντοχή	0,30	28°,1	0,534

Σχ. 221 Συσχέτισις τ, σ καί προσδιορισμός c καί φ.

ἐξετάζονται ὅμως τά δοκίμια εἰς τήν συσκευήν τριαξονικῶν τάσεων ὅπου τό περιβαλλόμενον ὑπό τοῦ ἐλαστικοῦ ὑμένος δεῖγμα ὑπόκειται εἰς τάς τάσεις $\sigma_2=\sigma_3$ καί εἶτα εἰς τήν φόρτισιν σ_1, μέχρι ἐπελεύσεως τῆς θραύσεως εἰς διάτμησιν κατά μίαν κεκλιμένην γραμμήν (Σχ.222). Ὁ καθορισμός τῶν τάσεως σ_1 καί $\sigma_2=\sigma_3$ κατά τήν θραῦσιν προσδιορίζει νῦν τήν κλίσιν τῆς γραμμῆς θραύσεως, τάς διατμητικάς τάσεις τ καί τήν γωνίαν Φ καί τόν συντελεστήν συνεκτικότητος ἐμμέσως.



Σχ.222. Θραῦσις δοκιμίων εἰς τριαξονικήν συσκευήν διατμήσεως

Πράγματι θεωρήσωμεν ἕνα δοκίμιον ὑποβαλλόμενον εἰς τάς ὁριζοντίους πιέσεις $\sigma_2=\sigma_3$, καί τήν κατακόρυφον σ_1, θραυόμενον κατά τήν γωνίαν α καί λάβωμεν ἕνα διαφορικόν πρίσμα οὕτινος ζητήσωμεν τήν ἰσορροπίαν (Σχ.223).

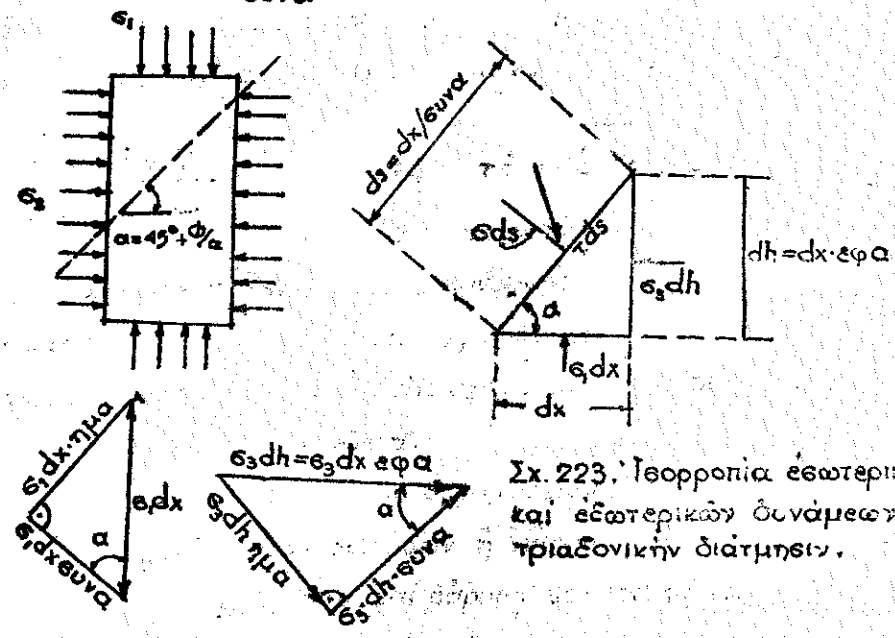
Ἡ κάθετος δύναμις εἰς τήν ὑποτείνουσαν τῆς τομῆς τοῦ πρίσματος θά ἔχῃ τήν τιμήν :

$$\sigma \cdot ds = \sigma \cdot \frac{dx}{συνα} = \sigma_2 dx \cdot εφα \cdot ημα + \sigma_1 dx συνα$$ ἤτοι:

$$\sigma = \sigma_3 \cdot \eta\mu^2\alpha + \sigma_1 \cdot \sigma\upsilon\nu^2\alpha = \sigma_3 + \sigma\upsilon\nu^2\alpha\,(\sigma_1 - \sigma_2) \qquad (143)$$

Ἡ ἐφαπτομενική δύναμις εἰς τὴν ὑποτείνουσαν τοῦ πρίσματος ἐξ ἄλλου θά εἶναι :

$$\tau \cdot ds = \tau \cdot \frac{dx}{\sigma\upsilon\nu\alpha} = \sigma_1 \cdot dx\,\eta\mu\alpha + \sigma_3 dx\,\varepsilon\varphi\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha \qquad \text{ἤτοι :}$$



Σχ. 223. Ἰσορροπία ἐσωτερικῶν καὶ ἐξωτερικῶν δυνάμεων εἰς τριαξονικὴν διάτμησιν.

$$\tau = \sigma_1 \eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha + \sigma_3 \eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3) \cdot \eta\mu 2\alpha \qquad (144)$$

Ὡς γνωστὸν εἰς συνεκτικὰ ἐδάφη ἄνευ ἐσωτερικῶν τριβῶν (ὡς καὶ εἰς περίπτωσιν ἐλαστικῶν σωμάτων) ἡ μεγίστη τιμὴ τῆς διατμητικῆς τάσεως λαμβάνει χώραν διὰ γωνίαν 45° ὁπότε :

$$T_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3) \qquad (145)$$

Διὰ τὰ ἐδάφη ὅμως μὲ ἐσωτερικὴν τριβὴν θὰ ἰσχύῃ ἡ ἐξίσωσις τοῦ Coulomb (140).

Ἀντικαθιστῶντες εἰς αὐτὴν τὰς τιμὰς σ ἐκ τῆς (143) καὶ τ ἐκ τῆς (144) ἔχομεν :

$$\sigma_1 \eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha + \sigma_3 \eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha = C + \sigma_3 \varepsilon\varphi\Phi + \sigma_1 \sigma\upsilon\nu^2\alpha \cdot \varepsilon\varphi\Phi - \sigma_3 \cdot \sigma\upsilon\nu^2\alpha \cdot \varepsilon\varphi\Phi$$

ἤ :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{c + \sigma_3 \cdot \varepsilon\varphi\,\Phi}{\eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha - \sigma\upsilon\nu^2\alpha \cdot \varepsilon\varphi\Phi} \qquad (146)$$

Μεταβαλλομένου ἤδη τοῦ σ_1 θά ἔλθη στιγμή καθ' ἥν εἰς τό δοκίμιον τοῦ Σχ. 223 θά ἐπέλθη ἡ θραῦσις εἰς διάτμησιν καί ζητοῦμεν τήν ἐλαχίστην αὐτήν τιμήν τῆς σ_1. Αὕτη θά λάβῃ χώραν ὅταν ἡ παράστασις τοῦ παρανομαστοῦ τοῦ δευτέρου μέλους τοῦ δεξιοῦ μέρους τῆς ἐξισώσεως (146) λάβῃ τήν μεγίστην αὐτῆς τιμήν ἤτοι διά:

$\frac{d}{dx}(\eta\mu\alpha\cdot\sigma\upsilon\nu\alpha - \sigma\upsilon\nu^2\alpha\cdot\varepsilon\varphi\Phi) = 0$ τοῦτο πρακύπτει ὅταν :

$$\alpha_{\kappa\rho} = 45^\circ + \frac{\Phi}{2} \qquad (147)$$

ἤτοι ἡ θραῦσις εἰς διάτμησιν θά παρουσιασθῇ διά τήν κρίσιμον τιμήν αὐτῆς τῆς γωνίας α.

Ἀντικαθιστῶντες ἤδη τό α εἰς τήν ἐξίσωσιν (146) διά τοῦ εὑρεθέντος (ἐξ. 147) ἔχομεν :

$$\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}\cdot\sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa\rho} - \sigma\upsilon\nu^2\alpha_{\kappa\rho}\,\varepsilon\varphi\Phi = \frac{1}{2\varepsilon\varphi\alpha_{\kappa\rho}} \qquad (148)$$

καί ἀντικαθιστῶντες εἰς τήν (146) λαμβάνομεν :

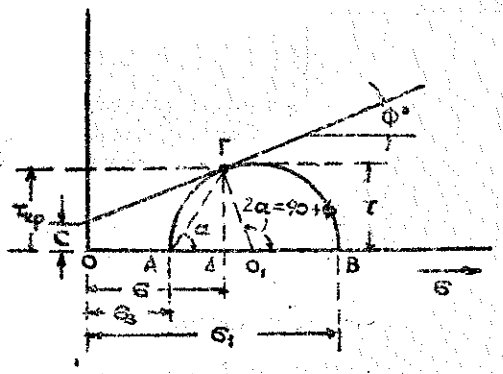
$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \varepsilon\varphi^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) + 2c\,\varepsilon\varphi\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) \qquad (149)$$

ὁπόθεν : διά $c=0$: $\sigma_1 = \sigma_3\,\varepsilon\varphi^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$ (150)

καί διά $\Phi = 0$: $\sigma_1 = \sigma_3 + 2c$ (151)

Ἤδη δυνάμεθα καί γραφικῶς νά προσδιορίσωμεν τήν ἐντατικήν κατάστασιν, τῇ βοηθείᾳ τοῦ γνωστοῦ ἐκ τῆς ἀντοχῆς κύκλου τοῦ Mohr. Οὕτω εἰς ἄξονα τεταγμένων φέρομεν τάς τάσεις σ_1 καί σ_3 καί γράφομεν μέ κέντρον τό O_1 τόν κύκλον τοῦ Mohr. Τότε ἡ κρίσιμος διατμητική τάσις $\tau_{\kappa\rho}$ λαμβάνεται διά τήν γωνίαν $2\alpha_{\kappa\rho}$ ἐκ τοῦ O_1 ; $\alpha_{\kappa\rho}$ ἐκ τοῦ A, εἶναι δέ αὕτη (λόγῳ τῆς φύσεως

της έξισ. (140) μικροτέρα από την μεγίστην τ_{max} εις ελαστικά υλικά όπου $\alpha = 45°$. Ως προκύπτει εκ του διαγράμματος η κλίσις της εφαπτομένης του κύκλου εις το σημείον Γ ισούται με την γωνίαν Φ, το δε μήκος ΟΔ δίδει την ορθην τάσιν σ εις το επίπεδον διατμήσεως (σχηματίζον γωνίαν O_{kp} με την διεύθυνσιν).



Σχ. 224 · Κύκλος του Mohr (διά S)

Κατά την έρευναν των δοκιμίων διά της συσκευής τριαξονικών δοκιμών, επαναλαμβάνομεν συνήθως το πείραμα εις 3 δοκίμια (με διαφόρους τιμάς σ_3 και αντιστοίχους τιμάς θραύσεως σ_1).

Με τα τρία ζεύγη των σ_1, σ_3 χαράσσομεν τους τρεις κύκλους και φέροντες την περιβάλλουσαν αυτών προσδιορίζομεν τόσον το Φ όσον και το C του εδάφους (βλ. Σχ. 224).

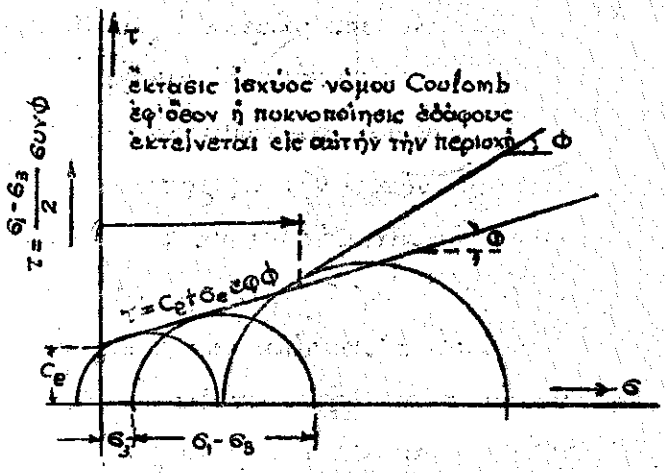
Η έρευνα αύτη γίνεται κυρίως διά της βραδείας δοκιμής (S) και εφαρμόζεται είτε διά κεκορεσμένα εδάφη, άτινα στραγγίζονται ελευθέρως εν τη φύσει, είτε διά ξηρά ή μερικώς κεκορεσμένα εδάφη εις τα οποία δεν αναπτύσσεται πίεσις εις τους πόρους.

Εις ην περίπτωσιν η έρευνα ηθελεν γίνει διά της πυκνοποιηθείσης ταχείας δοκιμής (consolidated quick. Qc) τότε η διατμητική τάσις υπολογίζεται εκ του τύπου 144 ένθα $\alpha = 45° + \frac{\Phi}{2}$ ήτοι διά του τύπου:

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\,\text{συν}\,\Phi \qquad (152)$$

ένθα η γωνία Φ προσδιορίζεται διά της προηγουμένης μεθόδου ή ακόμη και εκλέγεται εκ πείρας (28° - 30° διά παπάλην ή άργιλ-

λον). Τὰ ἀποτελέσματα τῶν πειραμάτων ἔχουν τότε τὴν μορφὴν τοῦ Σχ. 225'.



Σχ. 225. Κύκλος Mohr (διὰ Qc)

Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην ἡ μέση τιμὴ ē εἰς τὸ ἐπίπεδον θραύσεως ἰσοῦται μὲ τὸν μέσον ὅρον τῶν τριῶν κυρίων τάσεων $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ἤτοι ἰσοῦται μὲ τὴν μέσην πίεσιν τὴν προκαλοῦσαν πυκνοποίησιν.

Ἐνταῦθα δυνάμεθα ἀκόμη διὰ τῆς τριαξονικῆς συσκευῆς νὰ ἐπιτελέσωμεν τὴν ἐλευθέραν δοκιμὴν συμπιέσεως (U, ὡς ἀνωτέρω). Τότε ἡ γενικὴ ἐξίσωσις (149) ἁπλοποιεῖται ἐφ' ὅσον $\sigma_3 = 0$ εἰς τὴν μορφήν:

$$\sigma_1 = q_u = 2c\,\varepsilon\varphi\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) \qquad (153)$$

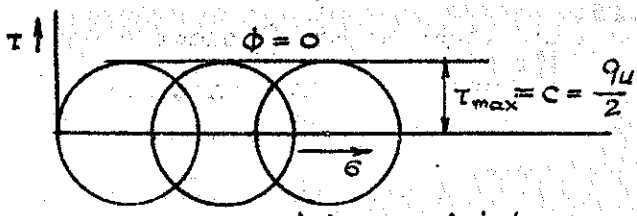
καὶ ἐξ αὐτῆς προσδιορίζεται ἡ c:

$$c = \frac{q_u}{2\varepsilon\varphi\,(45^\circ + \Phi/2)} \qquad (154)$$

διὰ δὲ τὴν εἰδικὴν περίπτωσιν $\Phi = 0$ (ἄργιλλος π.χ.) ἔχομεν:

$$c = \frac{q_u}{2} \qquad (155)$$

Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει ὅλοι οἱ κύκλοι τοῦ Mohr ἔχουν τὴν αὐ-



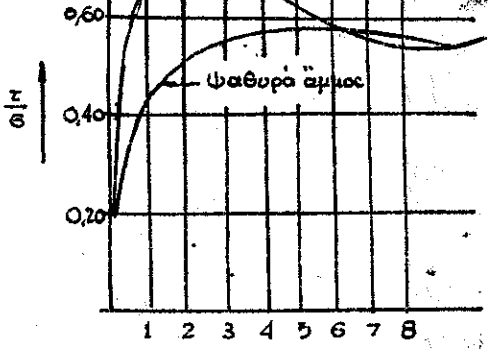
Σχ. 226. Διάτμησις ὅτε Φ = 0

τὴν ἀκτῖνα, ἡ διατμητικὴ τάσις εἶναι σταθερὰ ἴση μὲ τὸν συν/κὴν συνεκτικότητος C καὶ μὲ τὸ ἥμισυ τῆς ἐλευθέρας συμπιέσεως q_u. Ἡ εὐθεῖα τ = c δίδει τὰς τάσεις δι' οἱονδήποτε σ καὶ διὰ Φ = 0 (κατὰ τὴν δοκιμὴν δὲν μεταβάλλεται ἡ ὑδατοπεριεκτικότης).

Κατωτέρω δίδονται γενικαὶ ἐφαρμογαὶ τῶν ἀνωτέρω εἰς ἀμμώδη ἐδάφη καὶ εἰς ἀργιλλικὰ τοιαῦτα.

α·γ. Ἀντοχὴ ἀμμωδῶν ἐδαφῶν εἰς διάτμησιν.

Ἡ κατάστασις πυκνότητος τῆς ξηρᾶς ἄμμου μεταβάλλεται ὅταν αὕτη ὑπόκειται εἰς διάτμησιν καὶ δὴ ἡ μὲν πυκνὴ ἄμμος αὐξάνει εἰς ὄγκον, ἤτοι διογκοῦται (expands) ἐνῶ ἡ ψαθυρὰ ἄμμος (loose) συμπυκνοῦται. Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 227 δίδεται ἡ συσχέτισις τῶν μετακινήσεων ε (Σχ. 218) συναρτήσει τῆς διατμητικῆς τάσεως διὰ κατακόρυφον φόρτισιν σ = 1 at.



Σχ. 227. ε συναρτήσει $\frac{\tau}{\sigma}$ (διὰ σ = 1 at)

Οὕτω ἡ πυκνὴ ἄμμος ἀπαιτεῖ μεγαλυτέραν τ διὰ νὰ μετακινηθῇ μέχρι τοῦ σημείου A, ὁπότε προφανῶς ἀρχίζει ἡ διάσπασις κόκκων τῆς ἄμμου.

Ἡ σχέσις μεταξὺ ὀρθῆς πιέσεως σ καὶ τῆς διατμητικῆς τάσεως εἰς

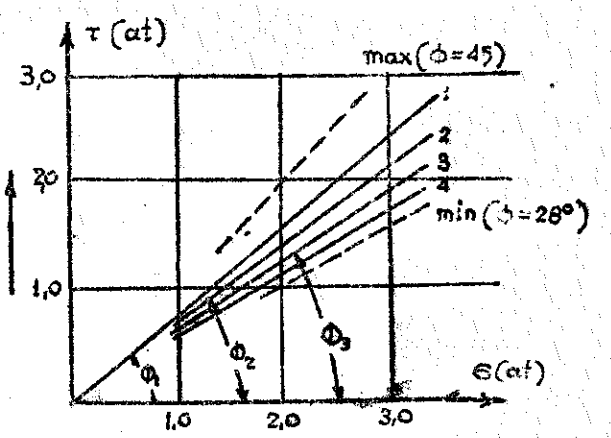
τὴν περίπτωσιν τοῦ μεγίστου Α τῆς καμπύλης δίδεται ὑπὸ τῆς εὐθείας (1) τοῦ Σχ. 228, ἥτις θὰ ἔχῃ τὴν ἐξίσωσιν:

$$\tau = \sigma \, \varepsilon\varphi.\Phi \qquad \text{διότι ἐδῶ } c=0$$

Ἐὰν ἤδη λάβωμεν ψαθυροτέραν ἄμμον θὰ ἔχωμεν τὴν εὐθείαν 2 κ.ο.κ. Εἰς τὸν πίνακα τοῦ Σχ. 228 δίδονται ἡ γωνία Φ, τὸ περιεχόμενον ποσὸν κενῶν καὶ ἡ σχετικὴ πυκνότης διὰ ξηρὰν ἢ ἐλαφρῶς ὑγρὰν ἄμμον.

Εἰς τὸ σχῆμα δίδονται ὁμοίως αἱ πιθαναὶ ἀκραῖαι τιμαὶ τοῦ Φ διὰ τὴν μεγίστην καὶ ἐλαχίστην πιθανὴν πυκνότητα τῆς ἄμμου τοῦ παραδείγματος.

Αἱ τιμαὶ τῶν Φ εἶναι κατὰ τι μικρότεραι ἂν οἱ κόκκοι τῆς ἄμμου εἶναι στρογγυλευμένοι (ὅρια Φ = 28,5° καὶ 95°) καὶ κατὰ τι μεγαλύτεραι διὰ γωνιακοὺς κόκκους (ὅρια Φ = 34° καὶ 46°).



	Φ	η	e	D_d	W
1	39°	31%	0,45	100%	Ξηρά
2	35°	35%	0,54	62%	6%
3	33°	41%	0,69	0%	Ξηρά
4	30°	47%	0,89	- 83%	6%

Σχ. 228 Ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν ἀμμωδῶν ἐδαφῶν μὲ διαφόρους πυκνότητας

Ἐνίοτε ἡ ἄμμος λόγῳ παρουσίας ἀνθρακικοῦ ἀσβεστίου ἔχει μικρά τινα συνεκτικότητα, c, ὁπότε ἡ ἐξίσ. γίνεται πάλιν:

$$\tau = c + \sigma \cdot \varepsilon\varphi\Phi \qquad (140)$$

ἡ γωνία Φ ὅμως ἰσοῦται μὲ τὴν τῆς ξηρᾶς ἄμμου ὁμοίας ἀναλογίας κενῶν.

Εἰς τὴν περίπτωσιν κεκορεσμένης ἄμμου ἡ ἀντίστασις εἰς διάτμησιν ἐξαρτᾶται ἀπό τήν πίεσιν τοῦ ὕδατος καί τήν ἀναλογίαν τῶν κενῶν, ὡς εἴδομεν. Ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ τιμή e τόσον μικροτέρα ἡ ἀντοχή εἰς διάτμησιν, αἱ δέ διαφοραί εἶναι μεγαλύτεραι παρουσίᾳ ὕδατος. Δι' ὡρισμένην τιμήν τοῦ e (e$_{κρίσιμον}$) ἡ ἀντοχή εἰς διάτμησιν εἶναι ἡ αὐτή ἐν ξηρῷ ἢ ἐν ὕδατι.

Ὅσον ὅμως τό e αὐξάνει πέραν τοῦ κρισίμου ἡ ἀντοχή τῆς ὑγρᾶς ἄμμου ἐλαττοῦται ταχέως, ἡ δέ παρουσία κρύσεων δύναται νά κάμῃ τήν ἄμμον νά ρεύσῃ ὡς ὑγρά. Διά τόν λόγον αὐτόν τά ἀμμώδη ἀνακώμματα δέον νά πυκνοποιοῦνται καλῶς καί νά στραγγίζωνται ἐπιμελῶς.

α.δ. Διάτμησις ἀργιλλωδῶν ἐδαφῶν.

Ἡ συμπεριφορά τῶν ἀργιλλωδῶν ἐδαφῶν εἰς τήν φυσικήν αὐτῶν κατάστασιν καί θέσιν ἀποτελεῖ θέμα πολύπλοκον, μή διασαφηνισθέν μέχρι σήμερον ἐν πολλοῖς, καί τοῦτο διότι εἶναι τόσον πολλοί οἱ συντελεσταί, οἵτινες ἐξαρτῶνται ἐκ τοῦ τρόπου δομῆς τῆς ἀργίλλου ὥστε νά μήν εἶναι δυνατή πλήρης διερεύνησις αὐτῶν. Συνήθως ἡ φόρτισις φυσικῆς ἀργίλλου παραλαμβάνεται ἀπό τόν σκελετόν τῶν πλέον χονδροκόκκων ὑλικῶν, ἐφ' ὅσον ταῦτα περιορίζονται πλευρικῶς. Διά μικρᾶς ὅμως διαταράξεως τοῦ σκελετοῦ τούτου τό φορτίον παραλαμβάνεται ἀπό τήν περιβάλλουσα τούς κόκκους τοῦ σκελετοῦ μάζαν τῆς ἀργίλλου, ἧς ἡ ἀντοχή εἰς διάτμησιν εἶναι ἀνεξάρτητος τῆς πιέσεως τοῦ ὑπερκειμένου φορτίου καί ἐξαρτᾶται κυρίως ἀπό τήν θιξοτροπίαν*

---

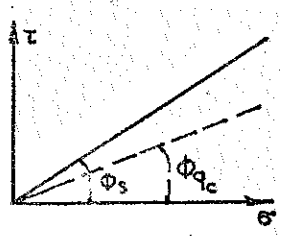
* Thixotropy : Ἰδιότης τῆς ἀργίλλου καθ' ἣν αὕτη ζημουμένη (ἄνευ μεταβολῆς τῆς ὑδατοχωρητικότητος) χάνει τήν στερεότητα αὐτῆς ἐπί τινα χρόνον καί ἐπανακτᾶ ταύτην βαθμιαίως. (Διατάραξις καί βαθμιαία ἀποκατάστασις τῆς μοριακῆς αὐτῆς δομῆς.).

ἀργίλλου (βλ.λεπτ. Terzaghi and Peck, Soil Mechanics. wiley 1948)

Συνήθως δεκόμεθα ὅτι ἡ ἄργιλλος εἰς τὴν φυσικὴν αὐτῆς κατάστασιν καὶ θέσιν ἔχει γωνίαν $\Phi = 0$.

Ὁ ὑπολογισμὸς τῆς ἀντοχῆς εἰς διάτμησιν εἰς αὐτὴν τὴν κατάστασιν γίνεται ἀσφαλέστερον διὰ τῆς θεωρίας τῆς **πλαστικότητος**. Κατ' αὐτὴν "ἡ μέση διατμητικὴ τάσις εἰς τὰς ἐπιφανείας ὀλισθήσεως εἰς φυσικὰ στρώματα μαλακῆς ἀργίλλου, ἰσοῦται, κατὰ τὴν στιγμὴν τῆς ὀλισθήσεως, κατὰ κανόνα, μέ τάσιν κατά τι μικροτέραν τοῦ ἡμίσεως τῆς μέσης ἐλευθέρας τάσεως συμπιέσεως (q_u βλ.σελ. 304) ἤτοι $\tau = c = \frac{q_u}{2}$ συμφώνως καὶ πρὸς τὴν ἐξίσωσιν 155.

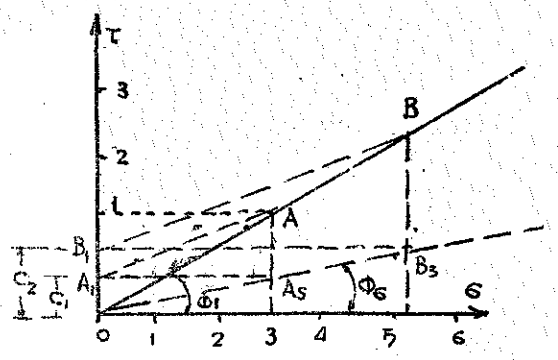
Ἄλλως ὅμως ἔχει ἡ κατάστασις τῆς ἀργίλλου ἐξεταζομένης εἰς τὸ ἐργαστήριον ἢ χρησιμοποιουμένης εἰς χωματουργικὰ ἔργα ὁπότε αὕτη **ἀναπλάσσεται**. Εἰς τὰς περιπτώσεις αὐτὰς ἡ ἄργιλλος παρουσιάζει ἐργαστηριακῶς (συσκευαὶ διατμήσεως) γωνίας Φ αὐξανομένας ἀπὸ [illegible]-20° (διὰ πυκνοποιηθείσας ταχείας δοκιμὰς Q_c) μέχρι 28°-30° (διὰ βραδείας δοκιμὰς S).



Σχ. 229

Πράγματι ἄρτι ἀνακλασθεῖσα ἄργιλλος παρουσιάζει τὸ διάγραμμα τάσεων τ τοῦ Σχ. 229 εἰς πρώτην αὐτῆς φόρτισιν διὰ φορτίων σ.

Ἐὰν τώρα μετὰ τὴν φόρτισιν σ τοῦ δείγματος, ἀφαιρέσωμεν βαθμιαίως ταύτην, τότε ἡ ἐλάττωσις τῆς ἀντοχῆς εἰς διάτμησιν ἐλαττοῦται μέ



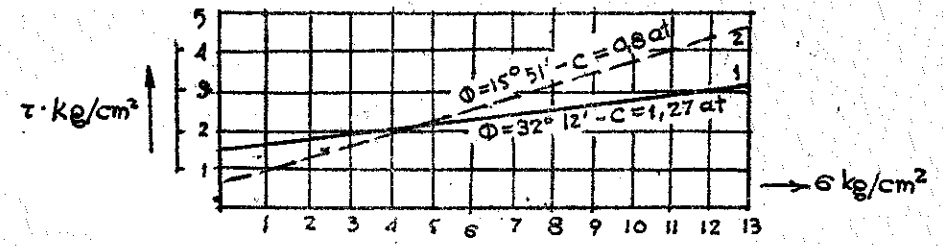
Σχ. 230

βραδύτερον ρυθμόν καί διά πλήρη ἀφαίρεσιν τῶν κατακορύφων φορτίων ε παραμένει πλέον ἀρχική ἀντοχή εἰς διάτμησιν ἤ συνεκτικότης C (εἰς τό δεῖγμα). Οὕτω διά τό δεῖγμα τοῦ Σχ. 230 διά φόρτισιν σ_1 λαμβάνομεν τό σημεῖον A_1 δι' ἐκφόρτισιν τό σημεῖον B. Διά φόρτισιν σ_2 λαμβάνομεν τό σημεῖον B καί δι' ἐκφόρτισιν τό σημεῖον B_1. Αἱ γραμμαί AA_1 καί BB_1 εἶναι παράλληλοι καί σχηματίζουν γωνίας Φ μέ τήν ὁριζοντίαν ἴσας μεταξύ των.

Κατά τούς Krey-Tieteman τότε ἡ ἐξίσωσις τοῦ Coulomb λαμβάνει τήν μορφήν:

$$\tau = \rho_c \cdot \varepsilon\varphi - \Phi_c + \sigma\, \varepsilon\varphi\Phi \qquad (156)$$

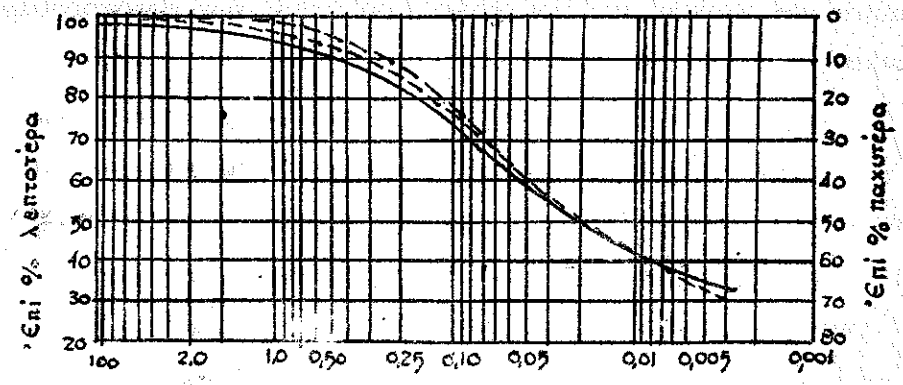
ἔνθα ρ_c θά εἶναι ἡ δύναμις προπυκνοποιήσεως, ἥτις προεκάλεσεν τήν συνεκτικότητα $C_t = \rho_c\, \varepsilon\varphi\, \Phi_c$. Μολονότι ἡ ἔκφρασις αὐτη δέν εἶναι ἀκριβής (διότι ἡ γωνία Φ μεταβάλλεται μέ τό μέγεθος τῆς P_c) εἶναι ἐν τούτοις ἱκανοποιητική.



Σχ. 231. Ταχεῖα (1) καί πυκνοποιηθεῖσα (2) ταχεῖα δοκιμή

Εἰς τό Σχ. 231 δίδονται τά ἀποτελέσματα δοκιμῶν δείγματος μικτοῦ χώματος, εἰς ταχεῖαν (Q) καί πυκνοποιηθεῖσαν ταχεῖαν δοκιμήν (Q_c) πρός σύγκρισιν.

Εἰς τό Σχ. 232 δίδεται ἡ μηχανική ἀνάλυσις τοῦ αὐτοῦ δείγματος.

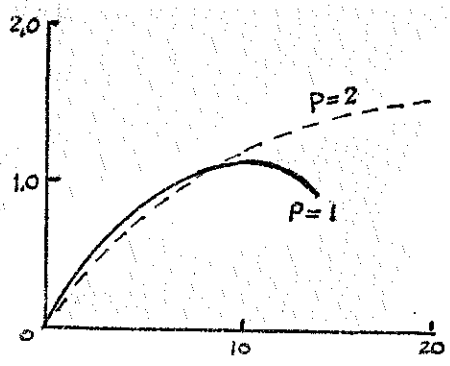


Σχ. 232. Μηχανική ανάλυσις του δείγματος του Σχ. 231

α.ε. Παραδείγματα αναλύσεως.

Εἰς κατωτέρω πίνακα δίδονται στοιχεῖα ἀναλύσεων δειγμάτων τινῶν ἐδαφῶν πλησιοχώρων εἰς τὸ μελλοντικὸν χωμ. φράγμα Ἄχρας.

Εἰς τὸ Σχ. 233 δίδονται αἱ δοκιμαὶ εἰς διάτμησιν καὶ ὁ ὑπολογισμὸς τῶν γωνιῶν Φ καὶ τοῦ σημείου C.



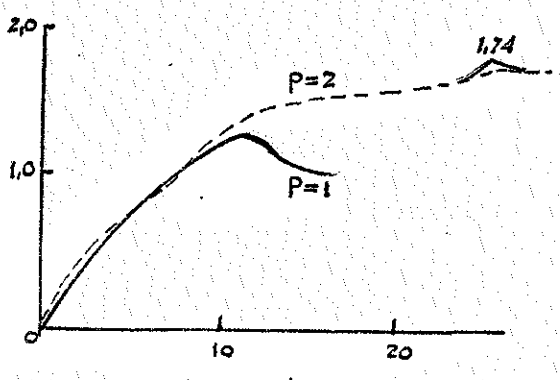
Μετακινήσεις

$\sigma=2 \quad \tau = 1,56 = C + 2\,\varepsilon\varphi\Phi$

$\sigma=1 \quad \tau = 1,15 = C + \varepsilon\varphi\Phi$

$\Phi = 22°15' \quad q_u = 2C\,\varepsilon\varphi\left(45+\frac{\Phi}{2}\right) = 2,78\,at$

$C = 0,74 \quad q_u = 2,75$ (πειραμ.)



Μετακινήσεις

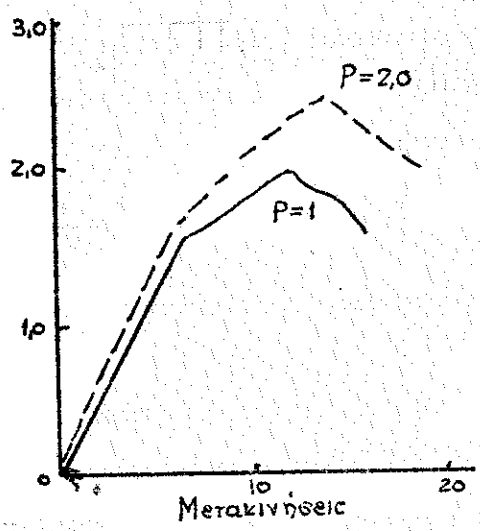
$\sigma=2 \quad \tau = 1,74 = C + 2\,\varepsilon\varphi\Phi$

$\sigma=1 \quad \tau = 1,29 = C + \varepsilon\varphi\Phi$

$\Phi = 24°30 \quad q_u = 2C\,\varepsilon\varphi\left(45+\frac{\Phi}{2}\right) = 2,62$

$C = 0,84 \quad q_u = 2,88$ (πειραμ.)

Σχ. 233 Ἀναλύσεις δειγμάτων διὰ χωμ. φράγμα Ἄχρας



$\sigma = 2 \quad \tau = 2,37 = C + 2 \varepsilon\varphi\Phi$

$\sigma = 1 \quad \tau = 2,01 = C + \varepsilon\varphi\Phi$

$\Phi = 19^{\circ}45^{\circ} \quad q_u = 2c\,\varepsilon\varphi\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) = 4,75$

$C = 1,65 \quad q_u = 4,86$ (πειραμ.)

Σχ. 233. Αναλύσεις δειγμάτων διά χωμ. φράγμα "Αγρας.

ΠΙΝΑΞ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

(Διατεταραγμένα δείγματα)

	Nº 1	Nº 3	Nº 7	Nº 8	Nº 9
Μεγίστη πυκνότης t/m^3	1,71	1,71	1,44	1,51	1,53
Άριστη ὑγρασία %	19,3	18,2	27,4	23,2	22,6
Ἀπόλυτον εἰδ. βάρος t/m^3	2,62	2,67	2,78	2,71	2,69
Γωνία Φ	22° 15'	24°30'	20°50'	17°45'	19°45'
Συνεκτικότης C kg/cm^2	0,74	0,84	1,14	1,74	1,[illegible]
Ὑφή τῶν ἐδαφῶν: LL %	34,5	36,75	62,50	65,40	43,4[illegible]
PL %	23,20	26,10	32,70	36,90	2[illegible]
Δείκτης πλαστικότητος PI	11,30	10,65	29,80	28,50	16,60
Ἐλευθ. δοκιμή συμπ. $u\,(q_u)$ kg/cm^2	2,75	2,88	3,80	5,10	4,86
Μηχαν. Ἀνάλυσις Ἄμμος (2-0,06mm) %	24	15	3	3	3
Παιπ. (0,002-0,060) %	61	73	70	59	62
Ἀργίλλας (<0,002) %	15	12	25	38	28
Ὑγρασία (% ἐπροῦ βάρους)	22,2	29,6	45,0	40,70	31,6
Δείκτης συμπιέσεως $\begin{cases} C_s = 0,007(LL-10\%) \\ C = C_c - C_s \log_{10} \frac{P_0+\Delta P}{P_0} \end{cases}$	0,171	0,187	0,367	0,887	0,293

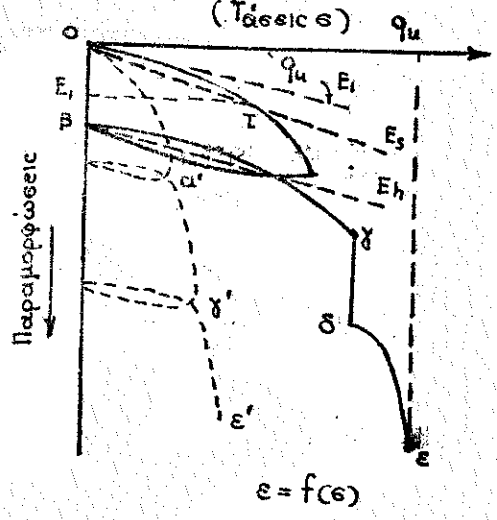
α. στ. Ἡ καμπύλη παραμορφώσεως τοῦ ἐδάφους.

Εἰς τὰ τελείως ἐλαστικὰ σώματα, ὅπου ἰσχύει ὁ νόμος τοῦ Hooke ἔχομεν τὰς γνωστὰς σχέσεις:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \text{καὶ} \quad \mu = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_2} \quad (\text{συντ/της Poisson } \frac{1}{5} \sim \frac{1}{4})$$

ἔνθα μ, E εἶναι ἀνεξάρτητα τῶν τάσεων καὶ χαρακτηρίζουν τὴν σχέσιν τάσεων καὶ παραμορφώσεων.

Διὰ τὸ ἔδαφος ὅμως τὸ ἀντίστοιχον μέτρον πρὸς τὸ μέτρον ἐλαστικότητος εἶναι μεταβλητόν. Ἔστω δεῖγμα ἀσυμπιέστου ἀργίλλου. Εἰς τὸ Σχ. 234 ἐμφαίνεται ἡ σχέσις τάσεων παραμορφώσεων διὰ τὸ ἔδαφος τοῦτο ὅταν ἡ τάσις σ μεταβάλλεται ὁμοιομόρφως. Ἐὰν τὸ φορτίον ἀφαιρεθῇ κατὰ τὴν αὐτὴν πρόοδον καθ' ἣν καὶ προσετέθη λαμβάνομεν τὴν καμπύλην αβ, ἂν δὲ φορτισθῇ τὸ δοκίμιον ἐκ νέου αἱ παραμορφώσεις τείνουν πάλιν πρὸς τὴν ἀρχικὴν καμπύλην ὁταν. Ὅταν ἡ τάσις σ λάβῃ τὴν τιμὴν q_u (ἐλευθέρα δοκιμὴ συμπιέσεως υ) τότε τὸ δοκίμιον θραύεται λόγῳ διατμήσεως.



Σχ. 234

Τὸ μέτρον ἐλαστικότητος ἐδῶ εἶναι μεταβλητὸν καὶ συνήθως μετρᾶται διὰ τῆς ἐφαπτομένης εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς καμπύλης E_2 ἢ διὰ τῆς χορδῆς οτ (ἔνθα q_u = κλάσμα τῆς q_u συνήθως $\frac{1}{3} q_u$) ἢ διὰ τῆς κλίσεως τῆς γραμμῆς E_h. (Ὑστέρησις δι' ὡρισμένην τιμὴν τῆς σ).

Ἐάν τό δεῖγμα τῆς ἀργίλλου ἤθελεν ἀναπλασθῆ καί δοκιμασθῆ ἐκ νέου λαμβάνομεν νέας τιμάς παραμορφώσεων καί τήν καμπύλην Οα'γ'ε', ἔνθα q_u, E_i, E_s εἶναι πολύ μικρότερα.

Εἰς ἥν περίπτωσιν τό δεῖγμα ὑποστεῖ καί πλευρικάς τάσεις (σ_3, σ_2), τότε ἡ κλίσις τῆς ἐφαπτομένης εἰς τήν ἀρχήν τῆς καμπύλης E_i αὐξάνει καί δή εὑρίσκεται ὅτι:

$$E_i = C(\sigma_1 - \sigma_3) \qquad (157)$$

ἔνθα ἡ τιμή τοῦ C ἐξαρτᾶται ἀπό τό εἶδος τῶν χωμάτων καί τόν τρόπον στραγγίσεως τοῦ δείγματος. Διά ταχείαν προπυκνοποιηθεῖσαν δοκιμήν (Q_c) ἡ τιμή τοῦ C κυμαίνεται ἀπό 10 διά κολλοειδῆ ἄργιλλον μέχρι 100 διά παιπαλικάς ἤ ἐλαφρῶς ἀμμώδεις ἀργίλλου.

α·c - Ἐκτίμησις τῆς ἀντιστάσεως διατμήσεως τοῦ ἐδάφους εἰς τάς κατασκευάς.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω ἐκτεθέντων προκύπτει ὅτι ὁ ἀκριβής ὑπολογισμός τῆς ἀντοχῆς εἰς διάτμησιν τῶν ἐδαφῶν εἶναι δυσχερής.

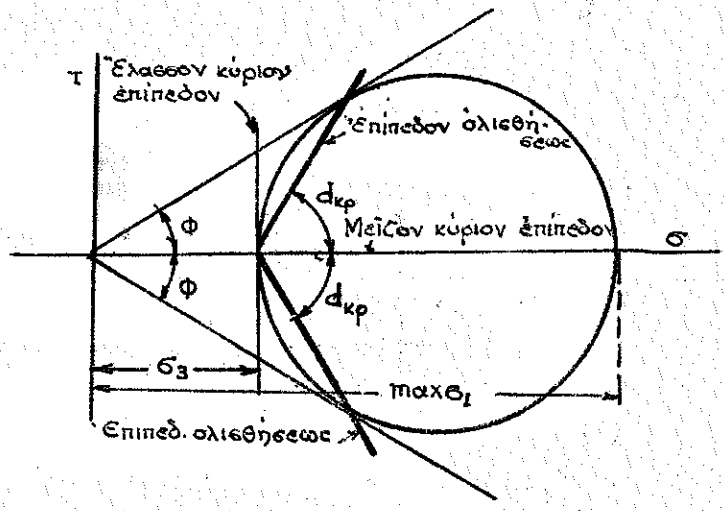
Κατά τόν Terzaghi δέον νά ἔχωμεν ὑπ'ὄψιν τά ἑξῆς:

1) - Δι' ἀμμώδη ἐδαφη, ἡ γωνία φυσικοῦς πρανοῦς μᾶς δίδει ἱκανοποιητικῶς τήν γωνίαν τριβῆς Φ. Διά καλήν συμπύκνωσιν δεχόμεθα τιμάς τῆς Φ κατά 5°-10° ἀνωτέρας τῆς τοῦ φυσικοῦ πρανοῦς. Διά ἄμμον ὑπό τό ὕδωρ ἡ γωνία τοῦ φυσικοῦ πρανοῦς ἐλαττοῦται κατά 1°-2°.

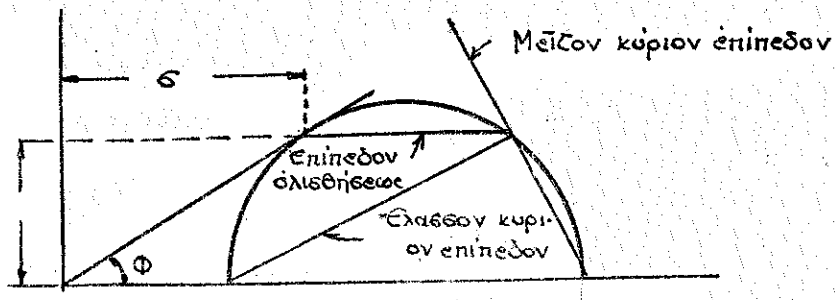
2) Διά παιπάλην καί παιπαλικήν ἄμμον Φ=20°-22° καί ἐξαιρετικῶς δύναται νά κατέλθῃ εἰς Φ=17°.

3) Δι' ἄργιλλον τό θέμα εἶναι πολύπλοκον. Ἡ μέθοδος τῆς πλαστικότητος ($\tau = C = \frac{q_u}{2}$) σήμερον ἀποτελεῖ ἀκόμη τόν καλλίτερον τρόπον ὑπολογισμοῦ τῶν διατμητικῶν τάσεων, ὁ δέ προσδιορισμός τῆς $\frac{q_u}{2}$ (δοκιμή u) εἶναι ταχύς καί ἁπλοῦς.

Εἰς τό Σχ. 234 α δίδονται γραφικῶς διά τοῦ κύκλου τοῦ Mohr, αἱ κατευθύνσεις τῶν κυρίων ἐπιπέδων καί τῶν ἐπιπέδων ὀλισθήσεως, ὡς αὗται προσδιορίζονται διά τῶν δύο κυρίων συσκευῶν διατμήσεως, αἵτινες περιεγράφησαν ἀνωτέρω.



(α) Ὀλισθήσεις εἰς τριαξονικήν συσκευήν



(β) Ὀλισθήσεις εἰς συσκ. ἀμέσου δοκιμῆς εἰς διάτμησιν.

Σχ. 234 α Ἐπίπεδα κυρίων τάσεων καί κρισίμων διατμητικῶν τάσεων (ὀλισθήσεως) ὡς ταῦτα προκύπτουν ἐκ τῶν δύο συσκευῶν δοκιμῆς.

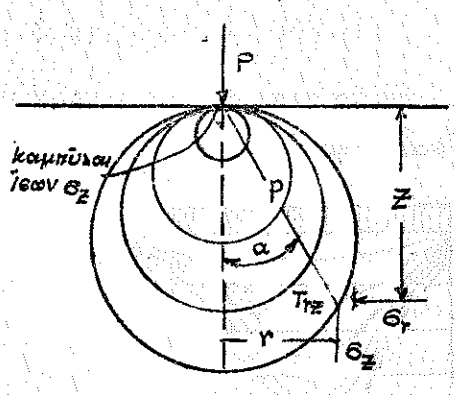
β) Αἱ ὀρθαὶ τάσεις

β·α Διανομὴ τῶν τάσεων.

Ἡ διανομὴ τῶν τάσεων ἐντὸς ἐδάφους φορτιζομένου ὑπὸ συγκεντρωμένου φορτίου, λαμβάνεται, ὡς γνωστόν, συμφώνως πρὸς τὴν θεωρητικὴν ἀνάλυσιν τοῦ Bonssinesq (1885) διὰ ἐλαστικὸν χῶρον ὑπὸ τῶν ἐξισώσεων:

$$(158)\quad \begin{cases} (\alpha) & \sigma_z = -\dfrac{3P}{2\pi} z^3 \left(r^2+z^2\right)^{\frac{5}{2}} \\ (\beta) & \tau_{rz} = -\dfrac{3}{2}\cdot\dfrac{P}{\pi} r z^2 \left(r^2+z^2\right)^{-5/2} \\ (\gamma) & \sigma_r = \dfrac{P}{2\pi}\left[(1-2\nu)\left[\dfrac{1}{r^2}-\dfrac{z}{r^2}\left(r^2+z^2\right)^{-1/2}\right]-3r^2 z\left(r^2+z^2\right)^{5/1}\right] \end{cases}$$

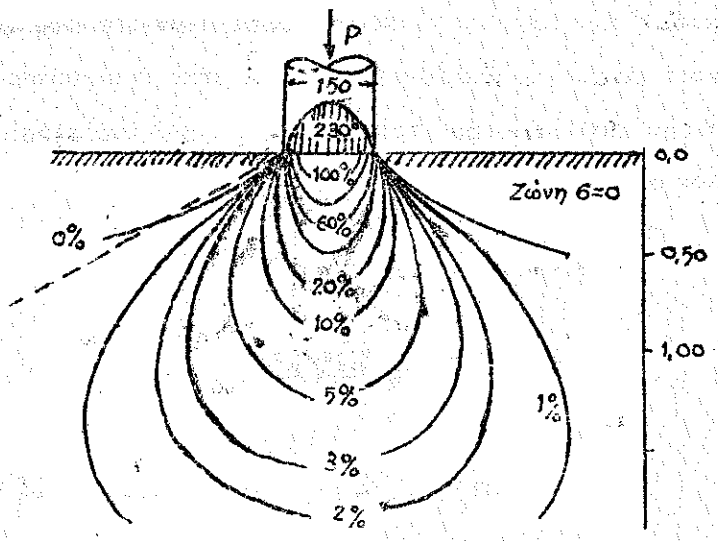
αἵτινες ἀναφέρονται εἰς τὸ Σχ. 235. Ἐκ παραλλήλου αἱ γνωσταὶ πειραματικαὶ ἐργασίαι εἰς Freiberg ἔδωσαν τὸ εἰς τὸ Σχ. 235 διάγραμμα διανομῆς τῶν κατακορύφων τάσεων ἐδάφους φορτιζομένου ὡς ἐν τῷ σχήματι.



Σχ. 235 Ἀνάλυσις τάσεων (Boussinesq)

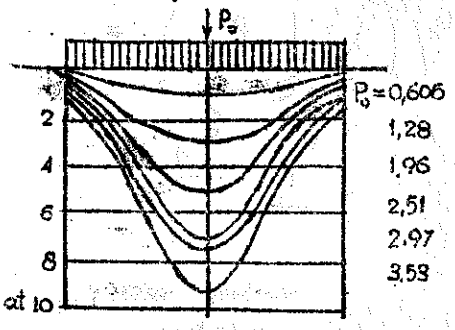
Αὗται ὡδήγησαν εἰς τὴν ἔκφρασιν τοῦ "βολβοῦ τῶν πιέσεων" τὴν ἀναπτυχθεῖσαν ὑπὸ τοῦ Jurgenson (Pressure bulb). Λίαν ἀξιόλογα εἶναι ἐπὶ τοῦ προκειμένου τὰ πειράματα τοῦ O. Faber γενόμενα ὑπὸ τῆς ὑπὸ αὐτοῦ ἐπινοηθείσης προσφυοῦς συσκευῆς δι' ὧν μελετοῦνται αἱ κατακόρυφοι τάσεις καὶ ἡ δι-

ανομήν αὐτῶν διά διαφορετικήν ἔντασιν φορτίων, δι' ὑπερφόρτισιν διά χωμάτων τῶν παραπλεύρως πρός τήν φόρτισιν χωμάτων αἰς καί διά διάφορα εἴδη χωμάτων.

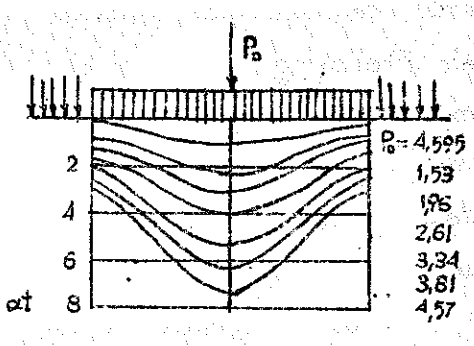


Σχ.236 : Διανομή κατακορύφων τάσεων εἰς ἄμμον

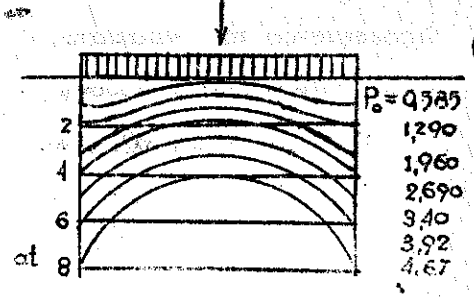
Εἰς τά σχημ. 237 α, β, καί γ δίδονται αἱ κυριώτεραι ἐρευνηθεῖσαι περιπτώσεις.



(α) Καθαρά ἄμμος ἄνευ περιφερειακῆς ἐπιφορτίσεως



(β) Καθαρά ἄμμος μέ περιφερειακήν ἐπιφόρτισιν 1,50 at.

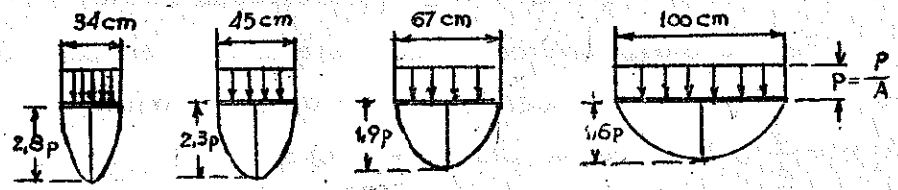


(γ) Συμπαγής ἄρχιλλος ἄνευ ἐπιφορτίσεως.

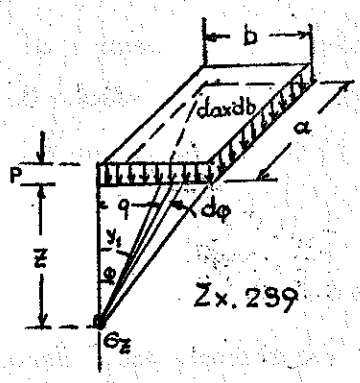
Σχ. 237 α, β, γ.

Ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῶν ἀποτελεσμάτων τούτων ἡ μεγίστη τοῦ ἐδάφους ἐπιφόρτισις (μεγίστη τεταγμένη εἰς τὰ διαγράμματα) ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ εἴδους τοῦ ἐδάφους, τοῦ πλάτους καὶ τῆς ἐντάσεως ἐπιφορτίσεως κλπ. Διὰ τὴν ἄργιλλον (Σχ. 237 γ.) ἡ διανομὴ εἶναι τελείως ἀντίθετος ἢ διὰ τὴν ἄμμον.

Εἰς τὸ Σχ. 238 ἐμφαίνεται ἡ ἐπίδρασις τοῦ πλάτους ἐπιφορτίσεως εἰς τὴν διανομὴν τῶν τάσεων ἐπὶ τοῦ ὑπεδάφους.



Σχ. 238 Μεγίστη τάσις ἐδάφους συναρτήσει τοῦ πλάτους φορτίσεως



Σχ. 239

Ὁ θεωρητικὸς ὑπολογισμὸς τῶν τάσεων ἐπὶ τῇ βάσει τῶν ἐξισώσεων (158) εἶναι κοπιώδης, καὶ πρὸς ἁπλούστευσιν τῶν ὑπολογισμῶν καταρτίζονται διαγράμματα συντασσόμενα ἐπὶ τῆς κατωτέρω βάσεως.

Τὸ φορτίον ἐπὶ τοῦ διαφορικοῦ ἐπιπέδου $da\,x\,db$ (Σχ. 239) εἶναι:

$$do = p \cdot da\,db$$

καὶ ἡ ἐξ αὐτῶν αὔξησις τῆς τάσεως σ_z ὑπὸ τὸ σημ. Α θὰ εἶναι

$$d\sigma_z = -dp\,\frac{3z^3}{2\pi}\left(r^2+z^2\right)^{-5/2}$$

συμφώνως πρὸς τὴν (158α). Διὰ συνδυασμοῦ τῶν (159) καὶ (160) λαμβάνομεν κατόπιν ὁλοκληρώσεως (Stembremer 1936) τὴν ἐξίσωσιν:

$$\sigma_z = -\frac{p}{2\pi}\left[\text{τοξ.εφ}\left(\frac{h}{z}\cdot\frac{\alpha(\alpha^2+\beta^2)-2\alpha z(R-z)}{z(\alpha^2+b^2)(R-z)-z(R-z)^2}\right)+\frac{bz}{b^2+z^2}\cdot\frac{\alpha(R^2+z^2)}{z^2(\alpha^2+z^2)R}\right] \quad (161)$$

ἁπλοποιουμένην εἰς

$$\sigma_z = q\cdot I_o \quad (162)$$

ἡ τιμὴ τῆς παραστάσεως I_o δίδεται ὑπὸ πινάκων (Terzaghi καὶ Fodum) συναρτήσει τῶν λόγων:

$$\eta = \frac{\alpha}{z} \quad \text{καὶ} \quad m = \frac{\beta}{z} \quad (\text{βλ.διάγραμμα Σχ. 240})$$

Ἐκ τοῦ διαγράμματος αὐτοῦ φαίνεται ὅτι ἡ ἐπιρροὴ τοῦ συντελεστοῦ η εἶναι ἐλαχίστη διὰ τιμὰς αὐτοῦ μεγαλυτέρας τοῦ $3\left(\eta = \frac{\alpha}{z} \geqslant 3{,}0\right)$. Ὁμοίως διὰ $m = \frac{\beta}{z} \geqslant 3{,}0$ ἡ ἐπιρροὴ τοῦ πλάτους εἶναι μηδαμινή.

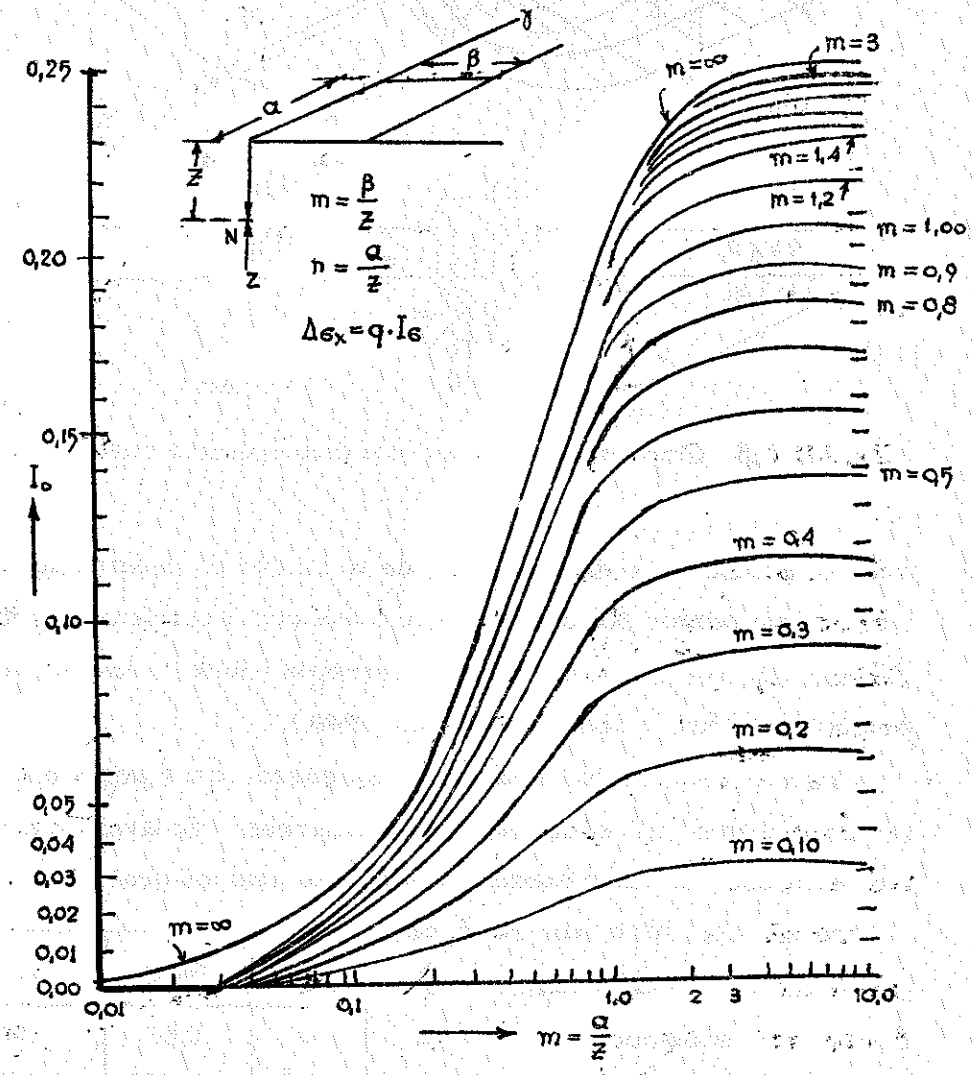
Ἡ ἀνωτέρω ἐξίσωσις (162) δίδει τὰς τιμὰς κάτω τῆς γωνίας τοῦ πεδίου τῆς φορτίσεως $\alpha\cdot\beta$. Διὰ ἐνδιάμεσον σημεῖον z αἱ τάσεις ὑπολογίζονται ὡς τάσεις προερχόμεναι ἀπὸ τέσσαρα διαφορετικὰ πεδία φορτίσεως (I, II, III, IV) (βλ. Σχ. 240 α) διὰ τῆς ἀρχῆς τῆς ἐπαλληλίας.

β·β Ἀντοχὴ τοῦ ἐδάφους.

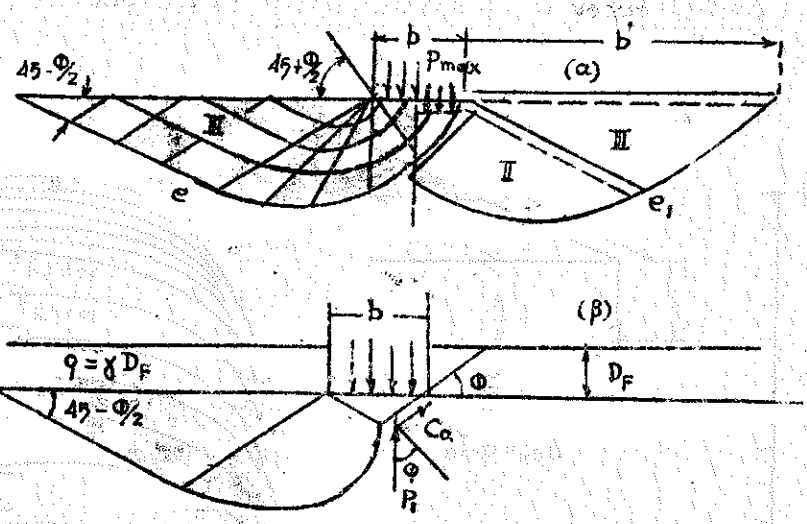
Ἀντοχὴ τοῦ ἐδάφους (ἡ ἱκανότης εἰς φόρτισιν τοῦ ἐδάφους) καλεῖται ἡ κατακόρυφος φόρτισις ἣν δύναται νὰ παραλάβῃ δεδομένον ἔδαφος χωρὶς νὰ παρουσιάσῃ ὑποχώρησιν εἰς τὴν φόρτισιν.

Ὅς εἶναι εὐνόητον ἡ ὑποχώρησις θὰ ἐμφανισθῇ κυρίως λόγῳ τῶν διατμητικῶν τάσεων αἵτινες θὰ παρουσιασθοῦν συνεπείᾳ τῶν ὀρθῶν τάσεων τῆς φορτίσεως. (βλ. Σχ. 235 καὶ ἐξίσ. 156 β).

Ἡ μελέτη τοῦ θέματος ἤρχισεν εἰς ἐλαστικὰ σώματα διὰ τῆς θεωρίας τοῦ Prandtl (1921) δίδεται δὲ εἰς τὸ Σχ. 241α ἡ ἐντατικὴ κατάστασις διὰ τὴν περίπτωσιν φορτίου ἐνεργοῦντος εἰς



Σχ. 240. Γραφική λύσις εξισώσεων 161 και 162 (Terzaghi και Fadum)



Σχ. 241 α,β. Φόρτισις ἐδάφους καὶ διαμόρφωσις τάσεων [illegible] αὐτοῦ

τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ἐδάφους εἰς δέ τό Σχ. 241 β, περίπτωσις φορτίσεως εἰς ἱκανόν βάθος, ὅπότε τό ὑπέδαφος φορτίζεται διά τοῦ βάθους D_F τῆς θεμελιώσεως (βλ. Terzaghi-Peck : πλαστική ἰσορροπία εἰς ἐδάφη : Soil mechanics 1948).

Ἐκ τῆς θεωρίας τοῦ Prandtl εὑρίσκεται ὅτι ἡ μεγίστη δυνατή ἐπιφόρτισις τοῦ ἐδάφους P_{max} συναρτήσει τῆς ἀντοχῆς τοῦ αὐτοῦ ἐδάφους, ὡς καί ἡ σχέσις b:b' δίδεται ὑπό τοῦ ἀκολούθου πίνακος:

Φ	P_{max}/q	b:b'
0°	2,57	1,00
10°	3,499	1,57
20°	5,194	2,53
30°	8,701	4,29
40°	7,560	8,46

Ἐκ τῶν Σχ. 241 α καί 241 β ἐμφαίνεται ὅτι θά λάβῃ χώραν ὀλισθησις τοῦ ἐδάφους κατά τήν κρίσιμον γωνίαν $45^\circ + \Phi/2$.

Διά τήν περίπτωσιν πλαστικῆς ἀργίλλου καθ' ἥν ὡς εἴδομεν ἤδη ἡ $\frac{1}{2} q_u = c$ καί ὅπου $\Phi = 0$ θά ἔχωμεν διά τάφρον θεμελιώσεως ἀπείρου μήκους :

$$P_{max} = 2,57 q_u = 5,14\, c \quad (168)$$

ὁ Fellenius εὗρεν δι' ἄμεσον στήριξιν ἐπὶ τοῦ ἐδάφους :

$$P_{max} = 5,52\, c \qquad (164)$$

Διὰ θεμελιώσεις εἰς βάθος D_F (Σχ. 241 β) ἔχομεν :

$$P_{max} = 6,28 c \left(1 + 0,32 \frac{D_F}{b} + 0,16 \frac{\gamma_o}{c} h\right)$$

Ὁ Terzaghi δίδει διὰ $\Phi = 0$ καὶ ἐπιφάνειαν ὁλισθήσεως τόξον κύκλου :

$$P_{max} = 2,85\, q_u = 5,70\, c \qquad (165)$$

ἔνθα c καὶ q_u τὰ γνωστὰ μεγέθη ἐκ τῶν τριαξονικῶν δοκιμῶν.

Διὰ θεμελιώσεις π ε π ε ρ α σ μ έ ν ο υ μήκους καὶ δὴ διὰ τετραγωνικὰ πέλματα θεμελιώσεως, εὑρίσκει ὁ Terzaghi :

$$P_{max} = 3,7\, q_u = 7,4\, c \qquad (166)$$

(βλ. Terzaghi καὶ Peck : Soil Mechanics, ἔνθα καὶ ἀναλυτικωτέρα μελέτη τοῦ ζητήματος).

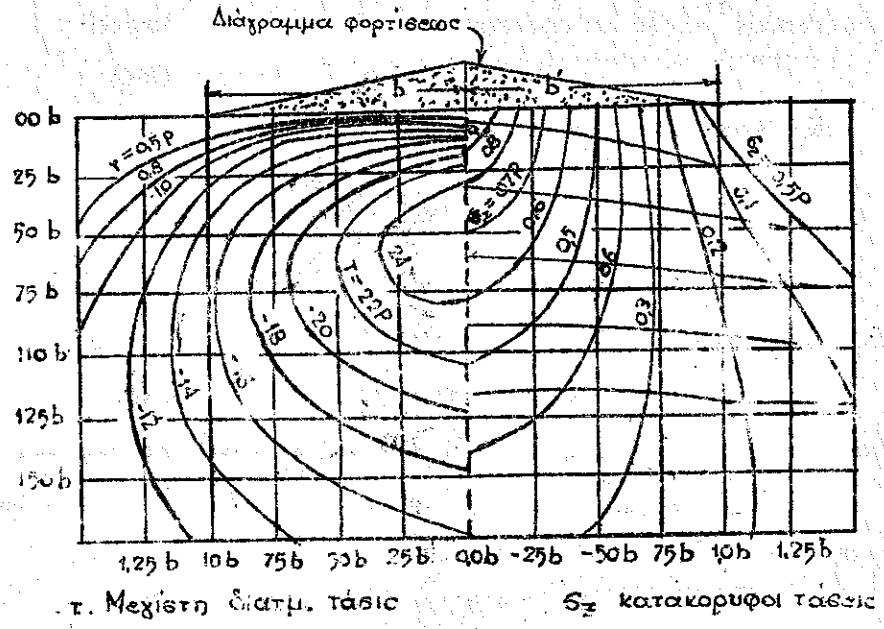
β·γ Φ ο ρ τ ί σ ε ι ς μ ε τ α β λ η τ ῆ ς ἐ ν τ ά σ ε ω ς.

Προκειμένης τῆς ἐρεύνης τῆς ἐπιφορτίσεως τοῦ ἐδάφους ὑπὸ χωματίνων φραγμάτων ἢ ἐκ τοῦ βάρους τῶν τελευταίων τούτων διανομὴ τῶν φορτίων εἶναι τριγωνικὴ καὶ ἑπομένως ἡ διανομὴ τῶν τάσεων θὰ εἶναι διάφορος.

Εἰς τὸ Σχ. 242 δίδονται ἡ μεγίστη διατμητικὴ τάσις τ καὶ ἡ κατακόρυφος τάσις σ_z εἰς διάφορα βάθη [$z = f(b)$] διὰ τριγωνικὴν φόρτισιν ἐκ χωματίνου φράγματος.

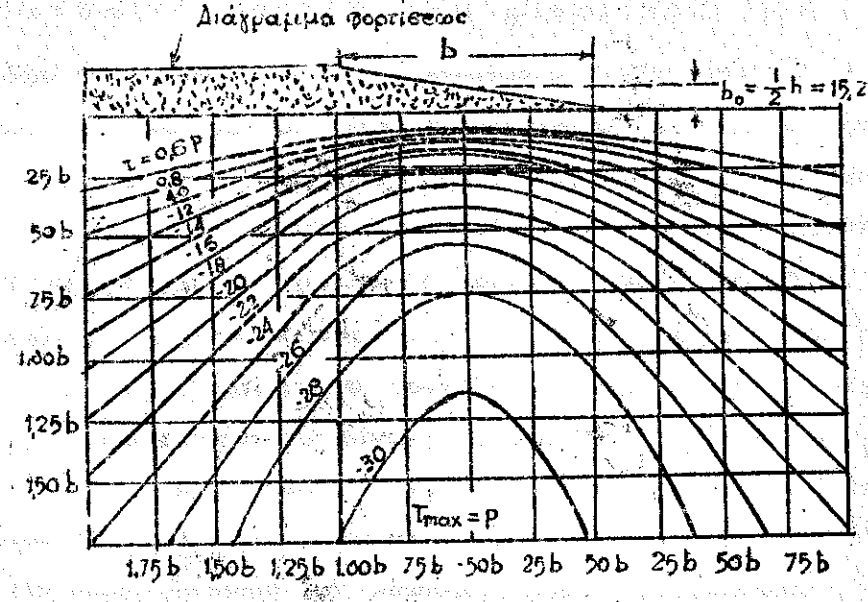
Εἰς τὸ Σχ. 243 δίδεται ἡ μεγίστη διατμητικὴ δύναμις τ_{max} συναρτήσει τοῦ βάθους κατωθεν πρανοῦς. Ἀμφότερα τὰ διαγράμματα ἀναφέρονται εἰς ὁμοιογενὲς ἰσότροπον ὑλικὸν καὶ μόνον.

Παράδειγμα χρησιμοποιήσεως τῶν πινάκων τούτων εἰς ὁμοιογενὲς ἰσότροπον ὑλικὸν δίδεται κατωτέρω :



. τ. Μεγίστη διατμ. τάσις S_z κατακορυφοι τάσεις

Σχ. 242. Διάγραμμα διατμητικών και κυρίων τάσεων διά τριγωνικήν φόρτισιν (I. Jürgenson Elasticit. και Elasticity σ. 169)



Σχ. 243 Διάγραμμα διατμητικών τάσεων διά τραπεζοειδή φόρτισιν (L. Jürgenson)

"Εστω φράγμα ἐξ ἰσοτρόπου λεπτῆς παιπάλης ἄνευ συνεκτικότητος, ὅπερ ἔχει $\varepsilon\varphi\Phi = 0,40$ ($\Phi = \sim 21^\circ 45'$), $\gamma_0 = 1,9224$ (120 lb/cf) $H = 50,48\,\mu$, $b = 60,96\,\mu$.

Εἰς βάθος τοῦ ἐδάφους $0,5\,b$ (30,48 m) ἡ διατμ. τάσις εἰς τὸ μέσον τοῦ πρανοῦς ἔσται: $\tau = 0,25$ (2x. 243) καὶ ἡ διατμητικὴ τάσις θὰ εἶναι:

$$\tau = 0,25\,p = 0,25 \cdot 30,48 = 1,924 = 1,46 \ \text{Kg/cm}^2.$$

Ἡ ἀντίστασις εἰς διάτμησιν εἰς τὸ αὐτὸ σημεῖον θὰ ἰσοῦται $\gamma_0 \cdot h_1 \cdot \varepsilon\varphi\Phi$.:

$$\gamma_0 \cdot h_1 \cdot \varepsilon\varphi\Phi = 1,924\,(0,5\,b + 0,5h) \cdot 0,4 = 1,924 \cdot 15h \cdot 0,4 = 1,1544h = 35 \ \text{kg/cm}^2$$

ἤτοι ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας τοῦ φράγματος ἔσται:

$$F_1 = \frac{3,50}{1,46} = 2,40$$

Ἀντιστοίχως εἰς βάθος τοῦ ἐδάφους $0,25\,b$ ἡ διάτμησις ἔσται:

$$\tau = 0,18 \cdot 30,48 \cdot 1,924 = 1,05 \ \text{kg/cm}^2$$

καὶ ἡ ἀντιστοίχως ἀντοχὴ εἰς διατμ. εἰς τὸ μέσον τοῦ πρανοῦς:

$$\gamma_0 h_2 \varepsilon\varphi\Phi = 1,924\,(0,5h + 0,25b) \cdot 0,4 = 0,1696 \cdot h = 2,34 \ \text{kg/cm}^2$$

καὶ ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας:

$$F_2 = \frac{2,34}{1,05} = 2,20$$

Τοιουτοτρόπως ἐλέγχοντες εἰς διάφορα σημεῖα τοῦ ὑπεδάφους ὑπολογίζομεν τὸν συντελεστὴν ἀσφαλείας εἰς διάτμησιν αὐτοῦ (δι' ὁμοιογενῆ ἰσότροπα ὑλικὰ μόνον) κατὰ τὸν Jürgenson.

4- Υδραυλική μελέτη τῶν φραγμάτων.

4-1 Γενικότητες.

Διά τῶν ψαθυρῶν ὑλικῶν τῶν χωματίνων φραγμάτων παρουσιάζεται ῥοή τοῦ ὕδατος καί φυσικά πολύ μεγαλυτέρα ἤ εἰς τά ἐκ λιθοδομῆς ἤ σκυροδέματος. Ἡ μελέτη τῆς ροῆς ἐπιβάλλεται τόσον διά τήν εὐστάθειαν τῶν φραγμάτων καί τήν πρόληψιν καταστροφῆς αὐτῶν (ἐκροή ἐπί τῶν κατάντη χωματίνων πρανῶν, δημιουργία σωληνοειδοῦς, ὀλίσθησις τῶν πρανῶν), ὅσον καί διά τόν ὑπολογισμόν τῆς ἐκ τοῦ ἀποθηκευομένου ὄγκου ἀπολυομένης ποσότητος ὕδατος.

Διά τόν ἔλεγχον ὅλων τῶν ἀνωτέρω συνθηκῶν δέον νά ὑπολογίσωμεν τάς συνθήκας ροῆς ἐντός τοῦ φράγματος, ἤτοι νά προσδιορίσωμεν τάς γραμμάς ροῆς καί ἴσου δυναμικοῦ, ὡς αὗται ἐξετέθησαν ἤδη ἐν ταῖς γενικαῖς αὐτῶν γραμμαῖς. (Παρόν κεφάλαιον § 3·5, σελ. 282 - 296)

Ὡς δεδομένα στοιχεῖα ἔχομεν τήν μορφήν τοῦ φράγματος καί τό εἶδος τοῦ ὑλικοῦ αὐτοῦ, ἰδίᾳ διά τήν ποιότητα τοῦ τελευταίου, ὅσον ἀφορᾷ τήν διαπερατότητα (συντελεστάι διαπερατότητος κατά τάς δύο τοὐλάχιστον κατευθύνσεις) ὡς καί τήν διαμόρφωσιν καί τήν σύστασιν τοῦ ὑπεδάφους. (Γεωλογία, ὑδατοπερατότης κ.τ.λ.).

Κατά τήν μελέτην τῆς τελικῆς μορφῆς τοῦ φράγματος δυνάμεθα νά εἰσαχάγωμεν τοιαύτας διατάξεις ὥστε ἡ παρουσιαζομένη ροή τοῦ ὕδατος νά ἐλέγχεται καί νά αἴρωνται τά πιθανά αἴτια καταστροφῆς τοῦ φράγματος.

Οὕτω εἰς τό Σχ. 244 δίδεται ἡ ροή τοῦ ὕδατος, εἰς ἁπλοῦν πρανές (244 α) ὅπου τό ὕδωρ δυνατόν νά ρεύσῃ ἐπί τῆς

ἐπιφανείας τοῦ πρανοῦς μὲ τελικὴν καταστροφὴν αὐτοῦ. Εἰς τὸ Σχ. 244 β ἡ στράγγισις τοῦ πέλματος καταβιβάζει τὴν γραμμὴν ροῆς ἐντὸς τοῦ ὄγκου τοῦ φράγματος. Ὁμοίως εἰς τὸ Σχ. 244 γ ἡ στράγγισις τοῦ πέλματος ὁδηγεῖ εἰς τὸ αὐτὸ ἀποτέλεσμα.



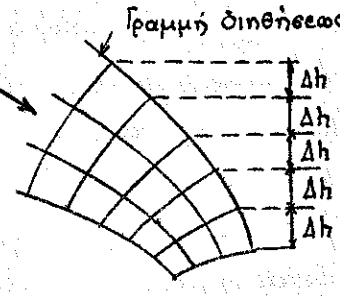
Σχ. 244 Ροὴ ὕδατος διὰ μέσου φραγμάτων

Διὰ τὰς ἑκάστοτε ὅθεν παρουσιασθησομένας περιπτώσεις δεόν νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν ροὴν τοῦ ὕδατος διὰ τῆς ὑδραυλικῆς μελέτης τοῦ φράγματος.

4·2. Διήθησις διὰ μέσου ὁμογενοῦς φράγματος

Προσδιορισμὸς τῆς γραμμῆς διηθήσεως.

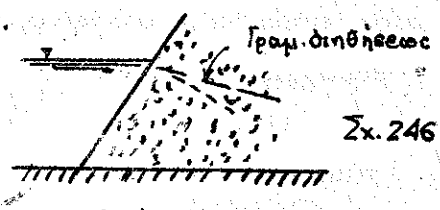
Ὁ προσδιορισμὸς τοῦ δικτύου ροῆς (ἰσορραϊκαὶ καὶ ἰσοδυναμικαὶ γραμμαὶ) δύναται νὰ γίνῃ κατὰ τὰ ἐκτεθέντα ἤδη (σελ. 289 κ.ἑ.ἑ.) περὶ τῆς ἐπιπέδου ροῆς τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ ἐδάφους. Δοθέντος ὅτι ἡ ἐλευθέρα γραμμὴ ὀλισθήσεως (βλ. ὁρισμὸν αὐτῆς Σχ. 209 σελ. 290) ὑπόκειται εἰς μόνην τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν ἔπεται ὅτι τὰ σημεῖα ὅπου αἱ ἰσοδυναμικαὶ γραμμαὶ τέμνουν αὐτὴν ἔχουν σταθερὰν ὑψομετρικὴν διαφορὰν Δh (Σχ. 245).



Σχ. 245 Γραμμὴ διηθήσεως

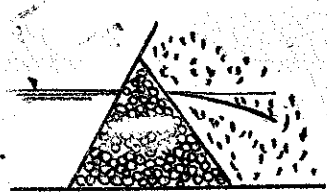
Εἰς τὸ σημεῖον εἰσροῆς τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ φράγμα-

τος δοθέντος ὅτι τὸ ἀνάντη πρανές, ὡς εἴδομεν, ἀποτελεῖ ἰσοδυναμικὴν γραμμήν, ἡ γραμμὴ ροῆς εἶναι κάθετος εἰς τὴν γραμμὴν τοῦ πρανοῦς (Σχ. 245).



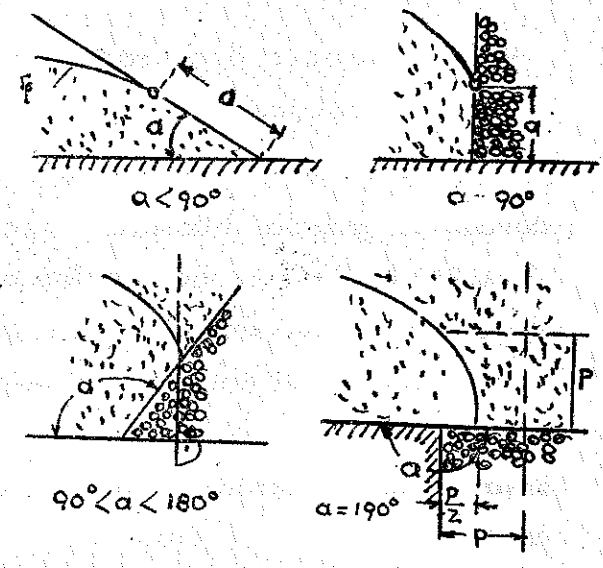
Σχ. 246

Εἰς εἰδικὰς τινὰς περιπτώσεις, μόνον ὡς λ.χ. κατὰ τὴν παρεμβολὴν λίαν διαπεράτου ὑλικοῦ εἰς τὰ ἀνάντη ἶναι δυνατὸν νὰ ἔχωμεν ὁριζοντίαν ἐφαπτομένην εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς γραμμῆς διηθήσεως (βλ. Σχ. 247).


Σχ. 247

Ἐξ ἄλλου εἰς τὸ σημεῖον ἐκροῆς τοῦ ὕδατος ἐκ τοῦ σώματος τοῦ φράγματος θὰ ἐξαρτηθῇ ἡ ροὴ ἐκ τῶν ὁριακῶν συνθηκῶν τῆς ἐκροῆς.

Δοθέντος ὅτι κατὰ τὴν ἐκροὴν μόνη ἐνεργοῦσα δύναμις εἶναι ἡ βαρύτης, τείνει ἡ γραμμὴ ροῆς νὰ λάβῃ κατακόρυφον διεύθυνσιν. Ἡ ὁριστικὴ ὅμως μορφὴ αὐτῆς θὰ ἐξαρτᾶται καὶ ἐκ τῆς γωνίας κλίσεως α τοῦ κατάντη πρανοῦς τοῦ ὑλικοῦ ἐντὸς τοῦ ὁποίου μελετᾶται ἡ ροή.



Σχ. 248. Διαμορφώσεις γραμμῆς ροῆς εἰς τὸ σημεῖον ἐκροῆς ἀναλόγως τῆς γωνίας α

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 248 δίδεται ἡ μορφὴ τῆς γραμμῆς διηθήσεως κατὰ τὴν ἐκροήν, ἀναλόγως τῆς γωνίας κλίσεως (α), εὐ-

μαινομένης ἀπό βαθμούς τινάς μέχρι 180° διά τήν περίπτωσιν τοῦ Σχ. 244 γ.

«Ἡ ὁριακή περίπτωσις δι' α=180 εἶναι ἡ ἁπλουστέρα διά μαθηματικήν ἀνάλυσιν καί ἡ συνηθεστέρα εἰς τάς ἐφαρμογάς (διηθητική στρωμνή, drainage blanket). Οὕτω δι' αὐτήν ἀποδεικνύει ὁ kozery (Grundwasser bewegung e.t.c. Wasserkraft und w/rtschaft, 1931) ὅτι ἡ γραμμή διηθήσεως εἶναι παραβολή ἐχουσα τήν ἑστίαν αὐτῆς εἰς τό ἀνάντη ἄκρον τῆς διηθητικῆς στρωμνῆς Ε (βλ. Σχ. 249 δ).

Ἐξ ἄλλου ὁ Casagrande (Seepage through dams. N.E.W. WA. 1937) ἀποδεικνύει ὅτι ἡ εἰσροή τοῦ ὕδατος εἰς τό φράγμα γίνεται ἀπό τό σημεῖον Β (βλ. Σχ. 250) ἀλλ' ἡ παραβολή προεκτεινομένη τέμνει τήν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕδατος εἰς τό σημεῖον Α ἔνθα ΑΒ = 0,3 (ΒΓ). (Διά ἀπότομον κλίσιν τοῦ ἀνάντη πρανοῦς ἡ ἀπόστασις ΑΒ δύναται νά κατέλθῃ εἰς 0,25 (ΒΓ) ἤ καί ἔλαττον δι' ἔτι ἀποτομωτέραν κλίσιν).

Οὕτω διά τῆς ἑστίας Ε καί τοῦ σημείου Α (Σχ. 250) δύναται νά κατασκευασθῇ ἡ **παραβολή**, ἥτις δίδει τήν γραμμήν διηθήσεως δι' α=180°. Μέ κέντρον τό Α καί ἀκτῖνα ΑΕ εὑρίσκεται τό σημεῖον Ι δι' οὗ διέρχεται ἡ διευθετοῦσα τῆς παραβολῆς, καί καθορίζεται καί ἡ παράμετρος αὐτῆς ΕΙ = ΚΙ = p. Ἐξ ἄλλου τό τμῆμα ΒΒ' χαράσσεται, δι' ἐλευθέρας χειρός, διερχόμενον διά τοῦ Β καί ἐφαπτόμενον τῆς παραβολῆς.

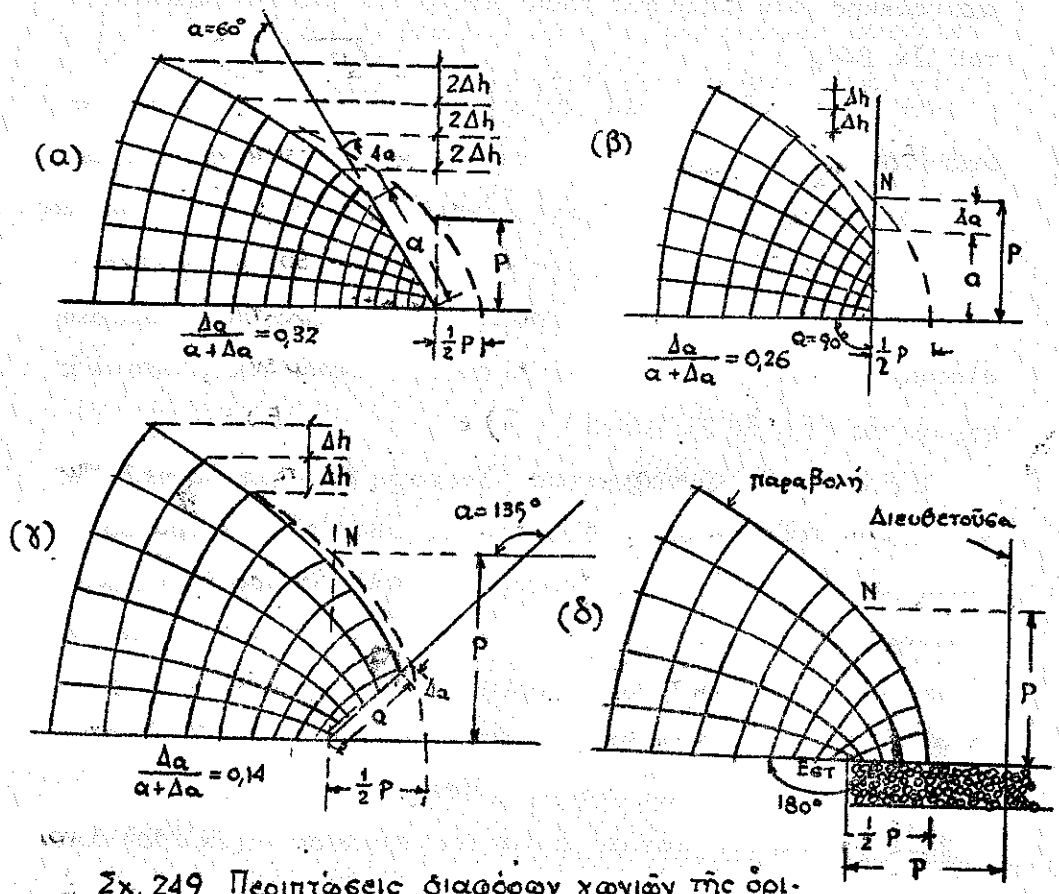
Δυνάμεθα ἔτι καί ἀναλυτικῶς νά ὑπολογίσωμεν τήν παραβολήν, δοθέντος ὅτι ἐξ ὁρισμοῦ αὐτῆς ἰσχύει ἡ σχέσις: (βλ. Σχ. 250)

$$\sqrt{x^2 + z^2} = x + p \qquad (167)$$

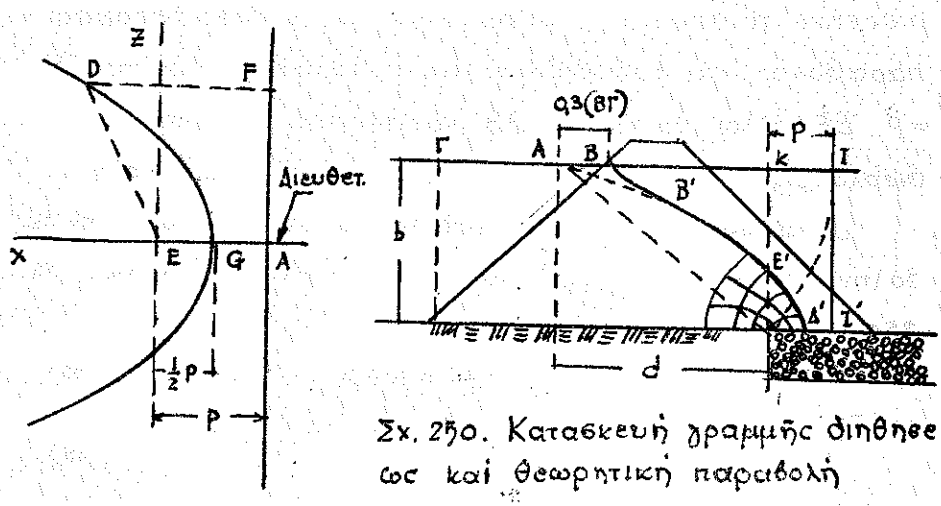
ἐξ ἧς:

$$x = \frac{z^2 - p^2}{2p} \qquad (168)$$

Ἐξ ἄλλου ἐκ τῶν συντεταγμένων τοῦ Α(d, h) καί ἐκ τῆς



Σχ. 249 Περιπτώσεις διαφόρων γωνιών τῆς ὀριζοντίας πρὸς τὴν ὁριακὴν γραμμὴν τοῦ κωματίνου ὑλικοῦ ((α) : α = 60°, (β) : α = 90°, (γ) : α = 135°, (δ) : α = 180°)



Σχ. 250. Κατασκευὴ γραμμῆς διηθήσεως καὶ θεωρητικὴ παραβολή

(167) εὑρίσκομεν :

$$\sqrt{d^2+h^2}=d+p \quad \text{ἢ} \quad p=\sqrt{d^2+h^2-d} \qquad (169)$$

Ἐπί πλέον ἐξ ὁρισμοῦ τῆς καμπύλης ἔχομεν:

$$E\Delta=\frac{1}{2}p \quad \text{καί} \quad EE'=p$$

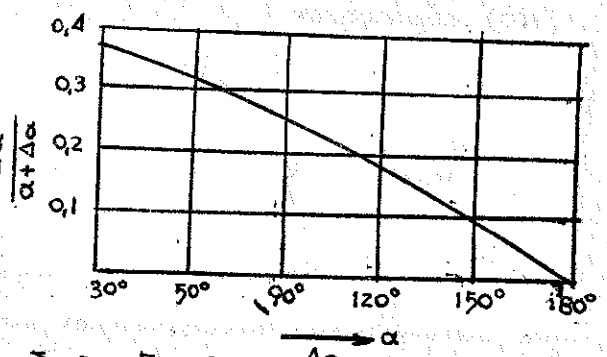
Διά τήν ἐξεταζομένην περίπτωσιν ($\alpha=180°$) δυνάμεθα τώρα εὐκόλως νά προσδιορίσωμεν καί τήν παροχήν τοῦ διηθουμένου ὕδατος. Οὕτω εἰς τό Σχ. 250 χαράσσομεν ἐπί τῆς ΔΕ' τρεῖς γραμμές ἴσου δυναμικοῦ ($N_\gamma=3$) καί ἐπί τῆς ΔΕ χαράσσομεν τάς ἀντιστοίχους τρεῖς γραμμάς ροῆς ($N_\rho=3$) ὁπότε συμφώνως πρός τήν ἐξίσ. 134 (σελ. 294) ἔχομεν :

$$q=k\cdot\frac{N_\rho}{N_\gamma}\cdot h_1=K\cdot P \qquad (170)$$

Φράγματα μέ ἀποστράγγισιν διηθητικῆς στρωμνῆς (Σχ. 244 γ καί 250) εἶναι λίαν πρόσφορα ἀπό ἀπόψεως εὐσταθείας καί δίνανται νά κατασκευασθῶσιν μέ ἀποτομώτερα πρανῆ ἀπό τά φραγμ. τῶν Σχ. 244 α καί 244 β. Τό μειονέκτημα τῶν πρώτων εἶναι ὅτι ἡ παροχή διηθήσεως αὐτῶν εἶναι πολύ μεγαλυτέρα ἤ εἰς τά δεύτερα ὅπου τό πρανές ἐκροῆς ἔχει ὀξείαν γωνίαν α.

Εἰς περίπτωσιν φραγμάτων μέ κεκλιμμένον τό πρανές ἐκροῆς ἤτοι διά γωνίαν $\alpha<180°$, ἡ γραμμή διηθήσεως θά διαφέρει ἀπό τήν εὑρεθεῖσαν παραβολήν. Ὡς ἐμφαίνεται εἰς τά Σχ. 249 α, β, καί γ ἡ διαφορά αὕτη μετρᾶται διά τοῦ μήκους Δα, μετρουμένου ἐπί τοῦ πρανοῦς ὑπό τήν ἑκάστοτε γωνίαν α, τῆς μετρήσεώς του ἀρχομένης ἐπί ἀποστάσεως α ἀπό τοῦ πέλματος τοῦ πρανοῦς, ἤτοι τῆς ἑστίας τῆς ὀρθοδόξου παραβολῆς. Κατόπιν μελέτης ὁ Casagrande προσδιορίζει τόν λόγον $\frac{\Delta\alpha}{\alpha+\Delta\alpha}$ διά διαγράμματος συναρτήσει τῆς γωνίας α (βλ. Σχ. 251). Τοιουτοτρόπως σχεδιάζεται δι' οἱανδήποτε γωνίαν α ἡ θεωρητική

παραβολή ὁπότε προσδιορίζεται αὐτομάτως ἐπ' αὐτῆς γραφικῶς τό σημεῖον (Ν) τό ἀπέχον ἐκ τοῦ πέλματος (α + Δα).



Σχ.251 Προσδιορ. $\frac{\Delta\alpha}{\alpha+\Delta\alpha}$ συναρτήσει α

Ἐκ τοῦ Σχ.251 διά τήν δεδομένην γωνίαν α εὑρίσκομεν τόν λόγον $\frac{\Delta\alpha}{\alpha+\Delta\alpha}$ καί τοιουτοτρόπως γνωστοῦ ὄντος ἤδη τοῦ α·Δα εὑρίσκεται τό Δα, ὅπερ χαράσσεται ἐπί τοῦ πρανοῦς (βλ. Σχ. 249 α, β, γ) καί προσδιορίζεται ἡ πραγματική γραμμή διηθήσεως.

4-8 - Διήθησις εἰς ἀνισότροπα ὑλικά τῶν φραγμάτων.

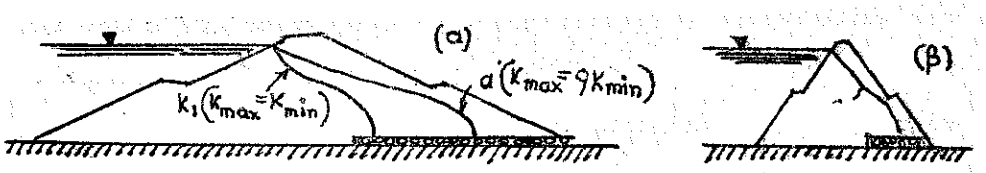
Ὁ συντελεστής διαπερατότητος τῶν προσχώσεων ἐν τῇ φύσει διαφέρει τόσον κατά τά στρώματα τῶν εἰς διαφόρους ἐποχάς ἀποθέσεων ὅσον καί εἰς τό αὐτό στρῶμα κατά τάς δύο κυρίως κατευθύνσεις αὐτοῦ, ἤτοι παραλλήλως καί καθέτως πρός τήν φυσικήν ἐναπόθεσιν (βλ. σχετικῶς τά ἐκτεθέντα εἰς σελ. 253 καί 289). Οὕτω ἐντός ἑνός καί τοῦ αὐτοῦ φυσικοῦ στρώματος εἶναι δυνατόν νά ἔχωμεν K_{max} (παράλληλος πρός τήν στρῶσιν κατεύθυνσις) δεκαπλασίαν ἀπό τό K_{min} (κάθετος πρός τήν στρωματοποίησιν κατεύθυνσις).

Τό αὐτό φαινόμενον παρουσιάζεται καί εἰς τάς τεχνικάς ἐπιχώσεις, ἤτοι κατά τήν κατασκευήν τῶν φραγμ. ἤ ἀναχωμάτων, εἴτε ταῦτα εἶναι ὑδατόπλαστα (στρώσεις μείζονος διαπερατότητος κατά τήν ὑδραυλικήν διάστρωσιν ἤ καθέτως) εἴτε κυλινδρώμενα. Διά τόν λόγον αὐτόν συνήθως κατά τήν ὑδραυλικήν διάστρω-

σιν ἀναταράσσεται ἡ ἰλύς διά μακρῶν ράβδων ἐνῶ κατά τήν κυλίνδρωσιν χρησιμοποιοῦνται αἱ προεξοχαί τῶν κυλίνδρων (κατσικοπόδαρα). Ἕτερος συντελεστής τῆς ἀνισοτροπίας εἰς τάς ἐπιχώσεις εἶναι ἡ διαφορά τοῦ k εἰς αὐτήν τήν πηγήν τῶν χωμάτων (ὀρυκεῖον) ὧν ἡ ἐκμετάλλευσις γίνεται κατά στρώσεις διαφόρου ὑδατοπερατότητος καί ἡ ἐπίχωσις ἐπομένως ἐπιτελεῖται καί ἀντιστοίχους διαστρώσεις διαφόρου διαπερατότητος K.

Ὁ Shaffernak ἀποδεικνύει (Wasserwirtschaft 1933) ὅτι ἐάν ἀλλάζωμεν τήν κλίμακα μηκῶν κατά τήν διεύθυνσιν καθ'ἥν παρουσιάζεται τό K_{max} (συνήθως τήν ὁριζοντίαν ἔννοιαν) διά τοῦ λόγου $\sqrt{\frac{K_{max}}{K_{min}}}$ τότε μετασχηματίζεται ἡ ἀρχική διατομή εἰς ἄλλην μέ ἀποτομωτέρα πρανῆ εἰς τήν στρεβλήν ταύτην κλίμακα. Τήν οὕτω προκύπτουσαν διατομήν μελετῶμεν κατά τά λεχθέντα εἰς τήν προηγουμένην παράγραφον δι'ἰσότροπα ὑλικά καί χαράσσομεν τήν γραμμήν διηθήσεως καί τό δίκτυον ροῆς.

Τήν οὕτω προκύπτουσαν ροήν μεταφέρομεν νῦν εἰς τήν ἀρχικήν κλίμακα καί λαμβάνομεν τήν πραγματικήν ροήν εἰς τό ἀνισότροπον ἐπίχωμα. Ἡ μέθοδος αὕτη ἐμφαίνεται εἰς τό ἀκόλουθον Σχῆμα 252, ὅπου εἰς τό σχῆμα (α) δίδεται ἡ ἀρχική διατομή



Σχ. 252. Γραμμή διηθήσεως δί ἀνισότροπα ὑλικά

εἰς δέ τό Σχ.(β) ἡ στρεβλή τοιαύτη ἔνθα ἡ κλίμαξ ὁριζοντίων μηκῶν ἔχει ἀναχθῆ εἰς τό ἕν τρίτον (ὑποτίθεται $K_{max}=9K_{min}$ καί ὅπου

προσδιορίζεται ἡ παραβολὴ διηθήσεως δι' ἰσοτρόπου ὑλικόν (π).

Εἰς τὸ Σχ. 252 α, μετοφέρεται ἡ καμπύλη π εἰς τὴν καμπύλην π' ἥτις θὰ εἶναι ἡ πραγματικὴ γραμμὴ διηθήσεως, ὡς τὸ ἀνισότροπον φράγμα.

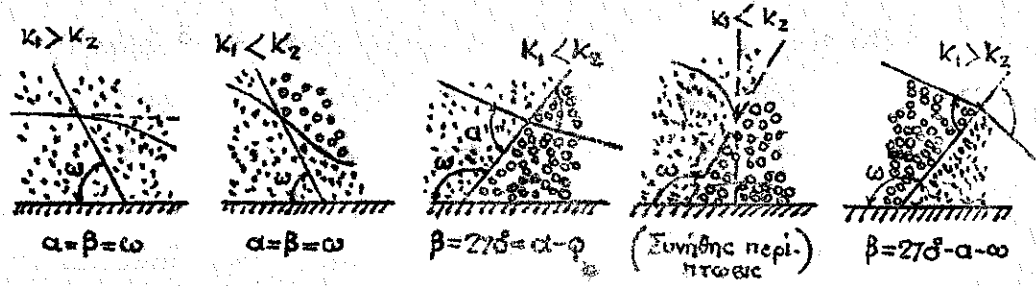
Ἡ καμπύλη π, τοῦ Σχ. 252α δίδει τὴν γραμμὴν διηθήσεως τοῦ φράγματος ἐὰν τοῦτο ἦτο ἰσότροπον,

Εἶναι προφανὲς ὅτι ἐὰν μεταφέρωμεν τὸ ὅλον δίκτυον ροῆς ἐκ τῆς στρεβλῆς κλίμακος εἰς τὴν πραγματικὴν ἡ τομὴ τῶν ἰσοβαρῶν καὶ ἰσοδυναμιῶν γραμμῶν δὲν θὰ γίνεται πλέον κατ' ὀρθὰς γωνίας. Ἡ ὑδραυλικὴ κλίσις καὶ τὰ μεγέθη τῶν πιέσεων διηθήσεως θὰ εἶναι πραγματικὰ μόνον εἰς τὴν φυσικὴν κλίμακα, ἐνῶ αἱ πιέσεις τῶν πόρων καὶ ἡ ὑδροστατικὴ ἄνωσις θὰ δύνανται νὰ ὑπολογίζωνται ἐξ οἱασδήποτε κλίμακος.

4-4 Διήθησις εἰς μικτὰ φράγματα.

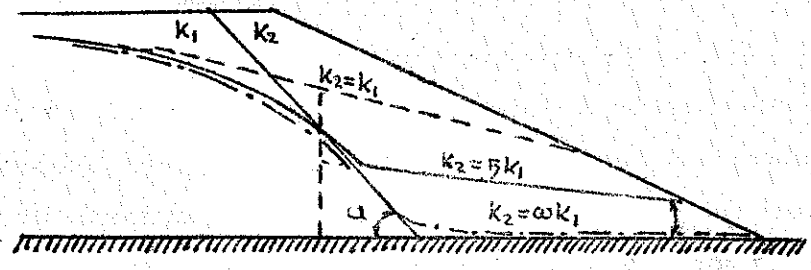
Πολλὰ ἐκ τῶν χωματίνων φραγμάτων ἀποτελοῦνται ἐκ μικτῶν διατομῶν ἔνθα τὰ πλέον ἀδιαπέρατα ὑλικὰ χρησιμοποιοῦνται εἰς τὸ μέσον (ἀργιλλικοὶ πυρῆνες) βλ. Σχ. 167, 169, 171, 173, 174 εἴτε εἰς τὴν ἀνάντη πλευράν. (βλ. Σχ. 162, 163, 168) διὰ τὴν καλλιτέραν στεγανοποίησιν τοῦ φράγματος. Ἐξ ἄλλου εἰς τινα φράγματα ἔχομεν βαθμιαίαν διάστρωσιν ἐξ ἀδιαπεράτων ὑλικῶν πρὸς διαπερατά (Σχ. 164).

Εἰς τὰς περιπτώσεις αὐτὰς θὰ ἔχωμεν μεταβολὴν τῶν ὑδραυλικῶν φαινομένων δι' ἕκαστον ὑλικόν. Εἰς τὰς ἐπιφανείας μεταβολῆς τοῦ ὑλικοῦ ἡ γραμμὴ διηθήσεως θὰ ἀλλάσσῃ κατεύθυνσιν. Εἰς τὸ Σχ. 253 δίδονται αἱ μεταβολαὶ τῶν γραμμῶν εἰς τὰς συνήθεις περιπτώσεις ἀλλαγῆς τῶν ἐπιπέδων ἐπαφῆς διαφόρων ὑλικῶν ἀναλόγως τοῦ συντελεστοῦ διαπερατότητος αὐτῶν.



Σχ. 253. Γραμμή διηθήσεως εἰς σημεῖα ἀλλαγῆς διαπερατότητος K.

Εἰς τό Σχ. 254 δίδεται ἡ ὅλη γραμμή διηθήσεως εἰς μικτήν διατομήν φράγματος ἀποτελουμένην ἀπό δύο ὑλικά ἔνθα $K_1 < K_2$, ὡς συνήθως συμβαίνει εἰς φράγματα μέ ἀργιλλικόν πυρῆνα καί ἀμμοαργιλλώδες κέλυφος. Εἰς τό σχῆμα δίδεται μέ διακεκομμένην γραμμήν ἡ γραμμή διηθήσεως εἰς περίπτωσιν καθ' ἣν $K_2 = K_1$. Ὁμοίως δίδεται μέ πλήρη γραμμήν ἡ γραμμή διηθήσεως διά $K_2 = 5K_1$. Τέλος μέ μικτήν γραμμήν δίδεται ἡ γραμμή διηθήσεως διά $K_2 = \infty K_1$ ἤτοι διά κέλυφος ἀπό χονδροκόκκους χάλικας.



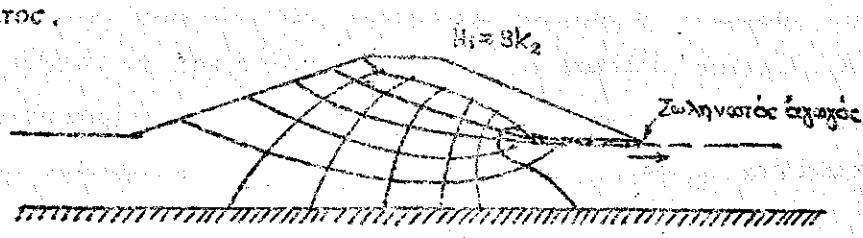
Σχ. 254. Γραμμή διηθήσεως εἰς μικτάς κατασκευάς

Εἰς τήν περίπτωσιν διαφορετικῶν K ἡ γραμμή διηθήσεως κατασκευάζεται ἀναζητητικῶς τοιουτοτρόπως ὥστε ἡ παροχή διηθήσεως εἰς τά δύο τμήματα νά εἶναι ἴση.

4·5 Ροή εἰς φράγματα ἐπὶ διαπερατοῦ ὑπεδάφους.

Εἰς τὰς ἀνωτέρω περιπτώσεις ὑπολογισμοῦ τῶν γραμμῶν ροῆς δὲν ἐλήφθη οὐδόλως ὑπ' ὄψιν τὸ ἔδαφος ἐφ' οὗ ἑδράζεται τὸ φράγμα, ἤτοι ἐθεωρήθη τὸ ὑπέδαφος ὡς ἀδιαπέρατον. Τοῦτο ὅμως δὲν ἀποτελεῖ συνήθη περίπτωσιν. Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 255 δίδεται φράγμα κατασκευασθὲν ἐπὶ διαπερατοῦ ἐδάφους, ὅπερ, ὅπως καὶ τὸ φράγμα, ἔχει $K_{max} = 3K_{min}$ (K_{max} δι' ὁριζοντίαν ροήν, K_{min} διὰ κατακόρυφον τοιαύτην).

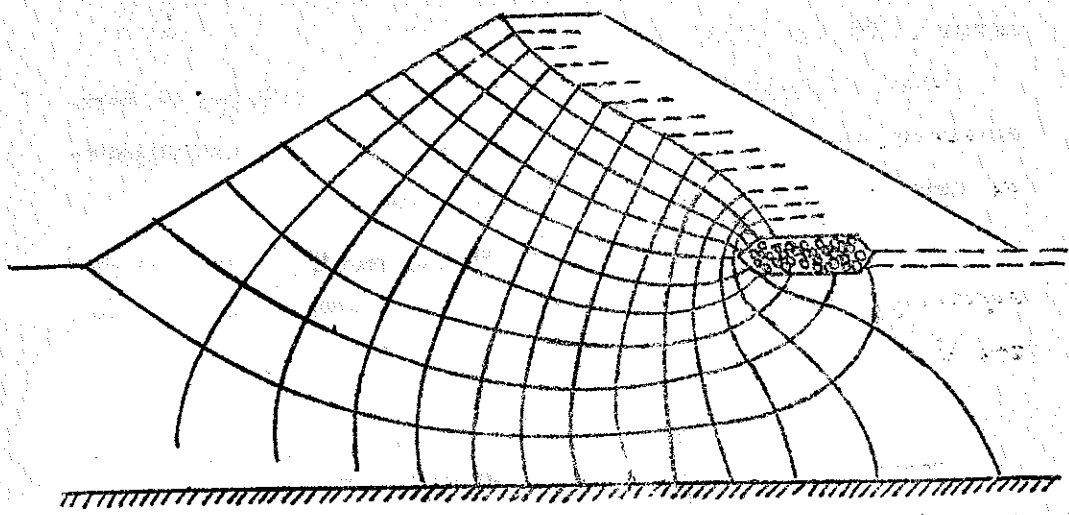
Ἡ στράγγισις τοῦ φράγματος γίνεται διὰ στραγγιστικῆς στρωμνῆς μικροῦ πλάτους διεπούσης ὅμως καθ' ὅλον τὸ μῆκος τοῦ φράγματος (καθέτως εἰς τὸ σχέδιον) καὶ ἀποχετευομένης διὰ σωληνωτοῦ ἀγωγοῦ διήκοντος κατὰ μῆκος τῆς βάσεως τῆς διατομῆς τοῦ φράγματος.



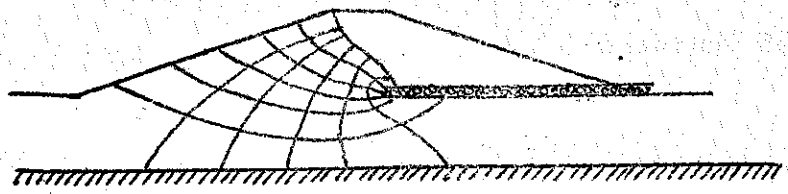
Σχ. 255. Ροή εἰς φράγμα καὶ ὑπέδαφος

Τὸ Σχ. 255 μετασχηματίζεται εἰς τὴν στρεβλὴν διατομὴν μὲ συντελεστὴν μετατροπῆς $\sqrt{3}$ (διπλασιαζομένης τῆς ὅλης κλίμακος) καὶ κατασκευάζεται τὸ διάγραμμα ροῆς (γραμμὴ διηθήσεως παραβολή) δι' ὁμοιογενὲς ὑλικὸν μεταφέρεται δὲ τὸ δίκτυον ἐκ τῆς στρεβλῆς κλίμακος τοῦ Σχ. 256 εἰς τὸ Σχ. 255.

Τοιουτοτρόπως εὑρίσκεται καὶ ἡ ροὴ ἐντὸς τοῦ ὑπεδάφους. Εἰς τὸ αὐτὸ ὡς ἄνω φράγμα εἶναι δυνατὸν νὰ ἐκταθῇ ἡ στραγγιστικὴ στρωμνὴ ἐπὶ τῆς ἡμισείας βάσεως τοῦ πλάτους τοῦ φράγματος ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 257. Τότε κατασκευάζεται



Σχ. 256 Τό φράγμα τοῦ σχ. 255 εἰς διπλασίαν κλίμακα καί μέ κλίμακα ὑψῶν $\times\sqrt{3}$ τῆς τῶν μηκῶν



Σχ. 257 Στραγγιστική στρωμνή μεγάλου μήκους.

πάλιν τό δίκτυον ροῆς εἰς στερεάν κλίμακα τοῦ φράγματος δι' ἰσότροπον δομήν ($K_1 = K_2 = K_{max}$) καί μεταφέρεται ἡ γραμμή ροῆς εἰς τό Σχ. 237.

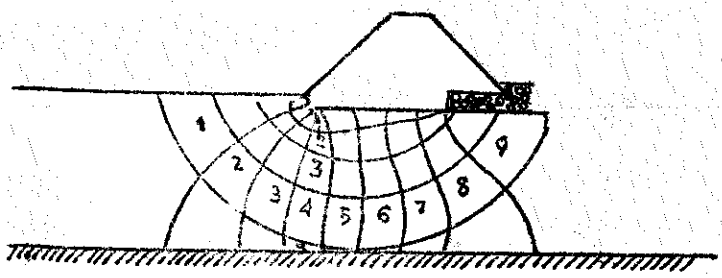
Εἰς τήν δευτέραν περίπτωσιν ἡ διαρρεομένη ἐπιφάνεια εἶναι πολύ μικροτέρα ἤ εἰς τό Σχ. 255.

Οὕτω κατά τόν Casagrande: "ἀνάχωμα μέ κλίσιν πρανῶν 1:1 εἶναι δυνατόν νά ἔχῃ ἀσφάλειαν πολύ μικροτέραν ἀπό καλῶς συμπεπυκνωμένον ἀνάχωμα μέ κλίσιν 2:1 εἰς τό ὁποῖον ὅμως προβλέπεται στραγγιστική στρωμνή ἐκτεινομένη εἰς τό ἥμισυ τοῦ πλάτους τῆς διατομῆς ὡς εἰς τό Σχ. 257". Ἡ ἄποψις αὕτη κατα-

δεικνύει τὴν σημασίαν τῆς στραγγίσεως τοῦ φράγματος, ἐπὶ τῆς εὐσταθείας αὐτοῦ, ὡς ἐμφαίνεται καὶ διὰ συγκρίσεως τῶν σχημάτων 255 καὶ 257.

Εἶναι ἐξ ἄλλου προφανὲς ὅτι ἡ στραγγιστικὴ στρωμνὴ ἐκτεινομένη εἰς μεγάλο μῆκος διευκολύνει τὴν ταχείαν στράγγισιν καὶ συνεπῶς ταχυτέραν πυκνοποίησιν αὐτοῦ.

Εἰς τὸ Σχ. 258 δίδεται τὸ δίκτυον ροῆς εἰς τὸ ὑπέδαφος διὰ περίπτωσιν καθ' ἣν τὸ φράγμα εἶναι ἀδιαπέρατον, κατασκευάζεται δὲ εἰς τὸ κατάντη πέλμα.

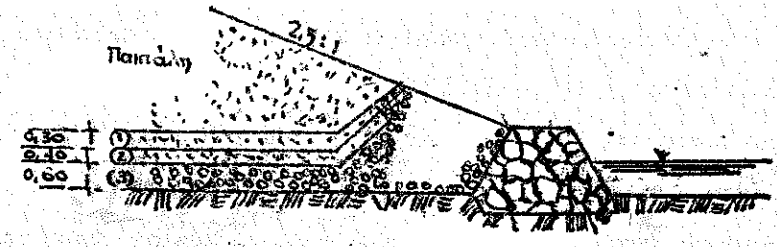


Σχ. 258 Ἀδιαπέρατον ἀνάχωμα ἐπὶ διαπερατοῦ ὑπεδάφους

4·6·Κατασκευὴ καὶ σύστασις τῶν στραγγιστήρων.

Ἡ κατασκευὴ τῶν στραγγιστήρων δέον νὰ γίνηται κατὰ τρόπον ἀποκλείοντα τὴν δημιουργίαν τοῦ σωληνοειδοῦς, ἐπομένως πρέπει νὰ κατασκευάζωνται οὗτοι μὲ διαβάθμισιν τῶν κόκκων τῶν ὑλικῶν.

Εἰς τὸ Σχ. 259 δείκνυται ἡ διαβάθμισις στραγγιστῆρος πέλ-



Σχ. 259 Διάταξις στραγγιστῆρος

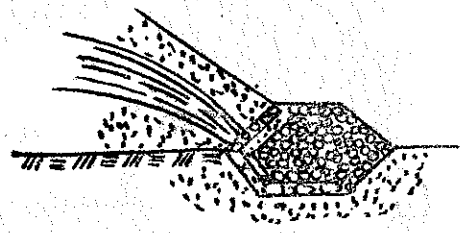
ματος, ἔνθα αἱ διάφοροι στρώσεις ἔχουν βαθμιαίως αὐξάνουσαν διάμετρον κόκκων κατ' ὁμοίως αὐξάνοντα συντελεστὴν διαπερατότητος K.

Οὕτω διὰ στρῶσιν 1 $K_1 = 750 \cdot 10^{-4}$ cm/sec.

» » » 2 $K_2 = 1250 \cdot 10^{-2}$ » »

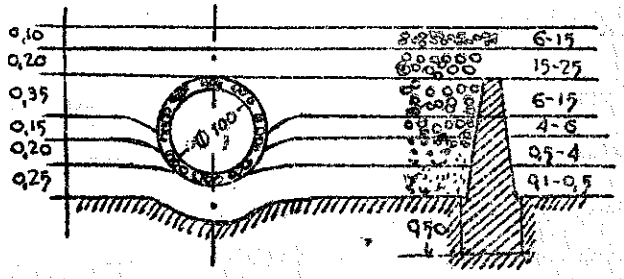
» » » 3 K_3 = πολὺ μεγάλο.

Εἰς περίπτωσιν καθ' ἣν ἐπιδιώκεται καὶ ἡ στράγγισις τοῦ ἐδάφους τότε ἡ διάταξις στραγγίσεως λαμβάνει τὴν ἐν τῷ σχήματι 260 δεδομένην μορφήν, ἔνθα πᾶσα πλευρὰ αὐτῆς ἐφαπτομένη μὲ τὸ ἔδαφος ἔχει βαθμιαίαν διάταξιν τῶν κόκκων.



Σχ. 260. Στράγγισις εἰς διαπέρατον ὑπέδαφος.

Εἰς ἣν περίπτωσιν τὸ ὑπέδαφος ἀποτελούμενον ἐξ ὁμογενοῦς ὑλικοῦ εἶναι διαπερατὸν συνιστᾶται ἡ κατασκευὴ ἀντεστραμμένων διϋλιστηρίων εἰς τὴν βάσιν τοῦ φράγματος δι' ὧν νὰ στραγγίζεται τὸ ἔδαφος τοῦ



Σχ 261 Στραγγιστὴρ ὑπεδάφους

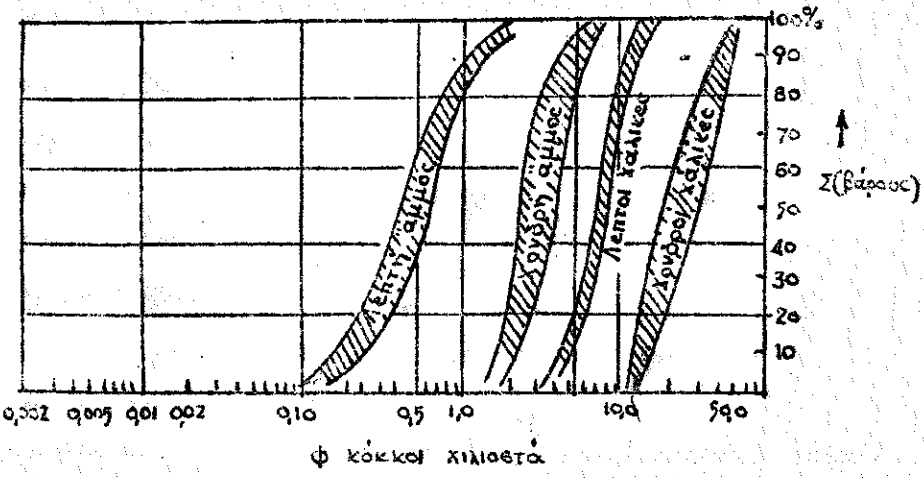
ὑπεδάφους καὶ νὰ ἀποφεύγεται τὸ ἐωλησειδές.

Εἰς τὸ Σχ. 261 δίδεται τοιαύτη διάταξις στραγγιστῆρος συνιστωμένη ὑπὸ τοῦ Mahet.

Ἡ στράγγισις δύναται νὰ γίνῃ ἐνίοτε διὰ διηθητικῶν φρεά-

των ἤτοι κατακορύφων στραγγιστήρων διαμέτρου 1,0-1,5 μ. πληρουμένων κατά ἐξωτερικόν δακτύλιον διά λεπτοκόκκων ὑλικῶν εἰς δέ τό κέντρον διά χονδροκόκκων τοιούτων.

Εἰς τό Σχ. 262 ἐμφαίνεται ἡ κοκκομετρική ἀνάλυσις τεσσάρων διαδοχικῶν στρωμάτων στραγγιστήρων καί τά ὅρια ἐντός τῶν ὁποίων δέον νά εὑρίσκεται ἡ ἀνάλυσις ἑκάστου τύπου ἐξ αὐτῶν.



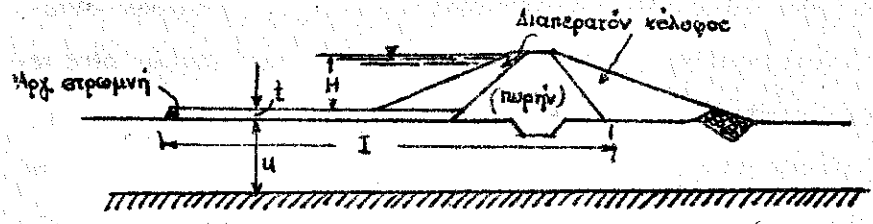
Σχ 262 Κοκκομετρική ἀνάλυσις στρωμάτων στραγγιστήρων.

4.7 Ἀδιαπέρατοι στρωμναί.

Πλήν τῆς δι' ἀποστραγγίσεως συλλογῆς καί ἀπορροῆς τῶν ὑδάτων δυνάμεθα νά ἀπομακρύνωμεν ταῦτα δι' ἀποκλεισμοῦ προσαγωγῆς αὐτῶν καί τοῦτο γίνεται ἤ διά τῶν παραπεταγμάτων (ὡς ταῦτα ἐκτενῶς ἀνεπτύχθησαν ἀλλαχοῦ) ἤ διά στρώσεων ἐξ ἀργιλλικοῦ ὑλικοῦ σχηματίζοντος ἀδιαπέρατον στρωμνήν (Clay blanket).

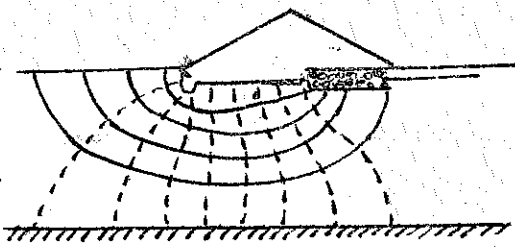
Εἰς τό Σχ. 263 ἐμφαίνεται ἡ κατασκευή ἀδιαπεράτου ἀργιλλικῆς στρωμνῆς ἐκτεινομένης μέχρι τοῦ ἀργιλλικοῦ πυρῆνος τοῦ φράγματος. Ἡ στρωμνή δέον νά ἐκτείνεται εἰς μεγάλο μή-

κος, διότι τοιουτοτρόπως ἐλαττοῦται ἡ ὑδροστατικὴ πίεσις ὑπ' αὐτὴν τοῦ ὕδατος διαρρέοντος μεγαλύτερον μῆκος διὰ τὴν αὐτὴν διαφορὰν δυναμικοῦ h.

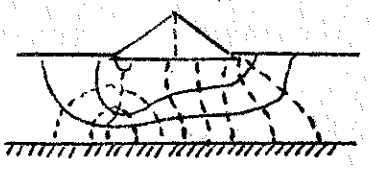


Σχ. 263 Ἀργιλλικὴ στρωμνή

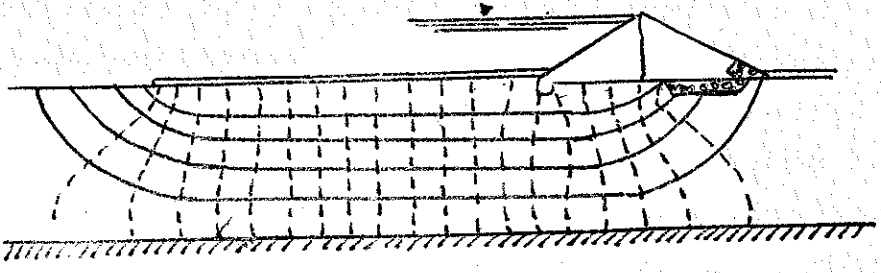
Εἰς τὰ ἀκόλουθα σχήματα δίδονται πρὸς σύγκρισιν αἱ τρεῖς συνήθεις περιπτώσεις διαθέσεως εἰς διαπερατὸν ὑπέδαφος κατὰ τὰς ὁποίας ἐπιδιώκομεν τὴν ἐλάττωσιν τῶν πιέσεων καὶ τῶν ταχυτήτων τοῦ ὑπογείου ὕδατος διὰ στραγγιστήρων (Σχ. 264) διὰ κατακορύφου τοίχου (Σχ. 265) καὶ διὰ ἀδιαπεράτων στρωμνῆς (Σχ. 265)



Σχ. 264



Σχ. 265



Σχ. 266

5. Ἡ εὐστάθεια τῶν χωματίνων φραγμάτων

Ὁ κίνδυνος καταστροφῆς τῶν χωματίνων φραγμάτων παρουσιάζεται εἴτε λόγῳ τοῦ σωληνοειδοῦς, εἴτε λόγῳ ἐλλείψεως ἀντοχῆς εἰς διάτμησιν εἰς τὴν ἐπιφάνειαν ἐδράσεως αὐτῶν εἴτε τέλος λόγῳ μικρῶν δυνάμεων συναφείας (μικρὸς συν/στὴς C) ἢ μικρᾶς γωνίας τοῦ φ τοῦ πρανοῦς τοῦ ὑλικοῦ (γωνίας Φ). Ἡ ἐκ τῶν ἄνω συνθηκῶν ἀσφάλεια μειοῦται εἰσέτι ἐκ τῆς παρουσίας ὕδατος καὶ τῆς ἐξ αὐτοῦ πιέσεως τῶν πόρων.

Μετὰ τὴν διὰ καταλλήλου στραγγίσεως ἀποτροπὴν ἐκ τῶν κινδύνων τοῦ σωληνοειδοῦς μεγαλύτερος κίνδυνος παραμένει ἡ ὀλίσθησις τῶν πρανῶν τοῦ φράγματος.

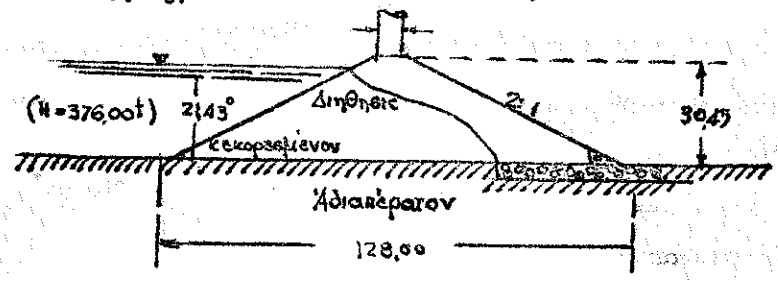
Κατωτέρω δίδονται αἱ μέθοδοι ὑπολογισμοῦ δι' ὧν ἐλέγχεται ἡ ὕπαρξις μεγάλων τάσεων διατμήσεως εἰς τὸν πυθμένα (§ 5.1) καὶ ἐν συνεχείᾳ ἐξετάζεται ἡ εὐστάθεια τῶν πρανῶν, ἥτις ἀποτελεῖ καὶ τὸ κυριώτερον σημεῖον ὑπολογισμοῦ τῶν χωματίνων φραγμάτων.

5.1 Ἔλεγχος χωματίνων φραγμάτων εἰς διάτμησιν τῆς βάσεως.

Ὁ ἔλεγχος τῆς βάσεως εἰς διάτμησιν καὶ ἡ πρόληψις ἑπομένως ὀλισθήσεως τοῦ ὅλου φράγματος ἐπὶ τῆς βάσεως αὐτοῦ, ἀποτελεῖ παλαιὰν μέθοδον προφανῶς δὲ οὐχὶ ἀκριβῆ μηδὲ ἀπολύτως ἀντέχουσαν εἰς λεπτομερῆ ἐπιστημονικὸν ἀναλυτικὸν ἔλεγχον. Οὐχ ἧττον χρησιμοποιεῖται εἰσέτι σήμερον καὶ ἀποτελεῖ ἕστω ἕνα πρόχειρον ἔλεγχον τῶν ἔργων τούτων. Κατωτέρω ἀποδίδονται οἱ τρεῖς τρόποι τοιούτου ἐλέγχου μετὰ σχετικῶν παραδειγμάτων :

α/ Ἔλεγχος τῆς ὅλης βάσεως.

Ἔστω φράγμα τοῦ Σχ. 267. Δεκόμεθα ὅτι κατόπιν ὑπο-



Σχ. 267 Ἔλεγχος βάσεως φράγματος

λογισμοῦ, τὸ ὑπὸ τοῦ ὕδατος διαρρεόμενον καὶ κεκορεσμένον τμῆμα τῆς διατομῆς ἀνέρχεται εἰς 65% τῆς ὅλης ἐπιφανείας αὐτῆς.

Ἐξ ἄλλου ἔστω ὅτι εὑρέθησαν αἱ ἀκόλουθοι τιμαὶ τῶν χρησιμοποιηθέντων χωμάτων :

Ξηρὸν βάρος : 1,89 t/m^3 Βυθισμένον βάρος : 1,20 t/m^3

Κεκορεσμένων » : 2,20 » Ὑγρὸν ἔδαφος : 1,96 »

Τὸ βάρος τοῦ φράγματος εἶναι :

$$65\% \cdot 1.20 = 0,780$$
$$35\% \cdot 1,96 = \underline{0,685}$$
Μέσον βάρος διατομῆς = 1,465 t/m^3

Ἐξ ἄλλου ἡ διατομὴ εἶναι $0,5(6,10 + 128,0) \cdot 50,48 = 2043,70\ m^2$ καὶ τὸ βάρος Β ἔσται : $2043,7 = 1,465 \cong 3,000\ t/m$ καὶ ἡ εἰς τὸν πυθμένα πίεσις ἔσται :

$$P = \frac{3000}{128,00\ \mu.} = 23,5\ t/m^2 = 2,35\ kg/cm^2$$

Ἐάν ὑποθέσωμεν ἤδη ὅτι τὸ ὑλικὸν τοῦ φράγματος ἔχει γωνίαν ἐσωτερικῆς τριβῆς $\Phi = 16°45'$ ὁπότε $\varepsilon\varphi\Phi = 0,3$ τότε ἡ τριβὴ τοῦ φράγματος ἐπὶ τῆς βάσεως αὐτοῦ θὰ εἶναι:

$$3000 \cdot 0,3 = 900,0\ \text{τόν.}$$

Ἐξ ἄλλου ἡ ὁριζοντία συνιστῶσα τῆς πρὸς τὰ ἀνάντη πλευ-

ρᾶς τοῦ φράγματος εἶναι :

$$H = 1,0 \cdot \frac{(27,43)^2}{2} = 376,0 \text{ τον}$$

Τότε ἡ μέση διατμητική τάσις εἰς τὴν βάθιν θὰ εἶναι :

$$\frac{376,00}{128,0} = 2,94 \, t/m^2 = 0,294 \, kg/cm^2$$

ὁ δὲ συντελεστὴς ἀσφαλείας :

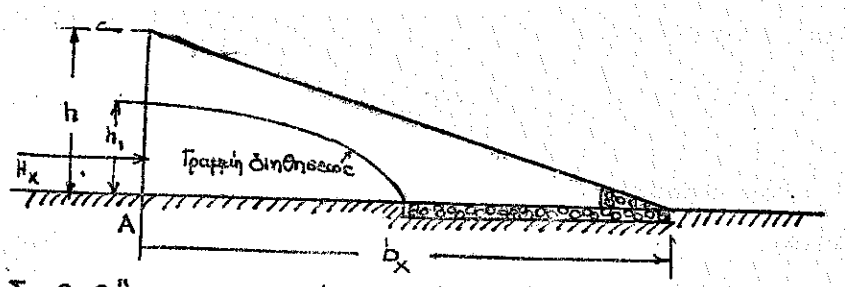
$$F = \frac{Pf}{H} = \frac{900}{376} = 2,41$$

Ὡς ἤδη ἐν ἀρχῇ ἐξετέθη ἡ μέθοδος αὕτη εἶναι ἐμπειρικὴ δοθέντος ὅτι ἡ ὁριζοντία συνιστῶσα τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος δὲν ἐφαρμόζεται εἰς τὸ ἀνάντη πρανὲς ὡς πίεσις, ἀλλὰ διαχέεται ὑπὸ μορφὴν τριβῶν καθ' ὅλην τὴν διαδρομὴν τοῦ ὕδατος μέσῳ τοῦ ψαθεροῦ ὑλικοῦ.

β/ Ὁριζοντία διάμησις εἰς τὸ κατάντη ἥμισυ τοῦ φράχμ.

Ἔστω ἐδῶ τὸ ἐν τῷ σχήματι 268 κατάντη ἥμισυ φράγματος.

Καλέσωμεν τ_k τὴν μέσην διατμητικὴν τάσιν εἰς τὴν βάσιν καὶ $max\,\tau_k$ τὴν ἀντίστοιχον μεγίστην (ἥτις λαμβάνεται συνήθως



Σχ. 268 Ἔλεγχος κατάντη ἡμίσεως φράγματος

διπλασία τῆς μέσης) καὶ H_k τὴν ὁριζοντίαν δύναμιν πιέσεως τῶν χωμάτων (κεκορεσμένων καὶ μή) εἰς τὸ κατάντη ἥμισυ τοῦ φράγμα-

τος, ἥτις δίδεται ἐκ τοῦ τύπου τοῦ Rankine (βλ. τοῖχοι ἀντιστηρίξεως):

$$H_k = \gamma_\mu \cdot \frac{h^2 \, e\varphi^2(45 - \Phi/2)}{2b_k} + \frac{\gamma \cdot h^2}{2b_k} \qquad (171)$$

ἔνθα γ = εἰδ. βάρος ὕδατος καὶ γ_μ μέσον φαινομενικὸν βάρος (μέσος ὅρος ὑγροῦ καὶ κεκορεσμένου ἐδάφους) ὑπεράνω τοῦ σημείου Α. Τότε ἡ διατμητικὴ τάσις ἔσται:

$$\tau_k = \gamma_\mu \cdot \frac{h^2 \, e\varphi^2(45 - \Phi/2)}{2b_k} + \frac{\gamma \cdot h_1^2}{2b_k} \qquad (172)$$

ἡ δὲ μεγίστη θὰ εἶναι: $\max \tau_k = 2\tau_k$ (173)

Εἰς ταύτην ἀντιδροῦν αἱ τριβαὶ τοῦ ἐδάφους, ἤτοι:

$$R_k = B \cdot e\varphi\Phi + C \cdot b_k$$

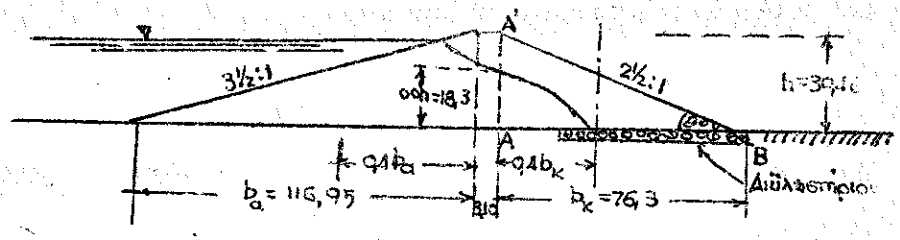
ἔνθα Β τὸ βάρος τοῦ κατάντη ἡμίσεως τοῦ φράγματος.

Ἔστω παράδειγμα τὸ φράγμα τοῦ σχημ. 269 διὰ τὸ ὁποῖον εὑρέθησαν:

Ἀναλογία κενῶν $e = 0{,}43$ $\gamma_1 = 2{,}65$ γ_{ok}(κεκορεσ.) $= (\gamma_{IV} + 0{,}30) = 2{,}15$

ἢ $n = \frac{e}{1+e} = 0{,}30$ $\gamma_{o,e} = \gamma_1(1-n) = 1{,}86$ γ_a(βυθισμ) $= \frac{\gamma_1 + 1}{1+e} = 1{,}15$

καὶ ἁπλῶς ὑγρὸν ἔδαφος καθορίζεται μὲ $\gamma_o = 1{,}92$.



Σχ. 269 Διάτμησις φράγματος

Ἐξ ἄλλου δεχόμεθα $\Phi = 26°$ ὁπότε $e\varphi\Phi = 0{,}488$.

Κατ' ἀρχὴν προσδιορίζομεν τὸ μέσον βάρος γ_μ ὑπὸ τὴν στέψιν

τοῦ φράγματος.

Τοῦτο θὰ εἶναι:

$$\frac{0,4 \cdot 1,92 + 0,60 \cdot 1,17}{1,0} = 1,458 \ t/m^3$$

καὶ τότε ἡ ἐξίσωσις γίνεται:

$$H_\kappa = \frac{1,458 (30,48)^2 \varepsilon\varphi^2(45^\circ - 15^\circ)}{2} \cdot \frac{1,0 \cdot (18,3)^2}{2} \varepsilon\varphi 32^\circ = 0,625$$

$\varepsilon\varphi^2(32^\circ) = 0,391$ καὶ τότε:

$$H_\kappa = 264,77 + 167 \cdot 45 = 432,22 \ ton.$$

Ἐξ ἄλλου αἱ ἀντιδρῶσαι δυνάμεις εἰς τὴν ὡς ἄνω ὤθησιν θὰ δίδωνται ὑπὸ τῆς ἐξισώσεως 124.

Δεχόμενον ὅτι ἐκ τῆς ἐπιφανείας ΑΒΑ' ποσοστὸν 32,5% εἶναι βυθισμένον καὶ τὸ ὑπόλοιπον ὑγρὸν ἔχομεν:

βυθισμένου $E_{\pi\iota\varphi} = 0,325 \frac{1}{2} (30,48 \cdot 76,3) = 377,91$ $B_1 = E_1 \cdot 1,17 = 434,6$ ton.

καὶ ὑγρόν: $E_{\pi\iota\varphi} = 0,675 \cdot \frac{1}{2} (30,48 \cdot 76,3) = 784,89$ $B_2 = E_2 \cdot 192 = 1807,0$ ton

τὸ ὁλικὸν βάρος εἶναι:

$$B_1 + B_2 = 6 = 1941,6 \ ton$$

καὶ ἡ ἀντίδρασις εἰς τὴν ὀλίσθησιν διὰ $c=0$ θὰ εἶναι:

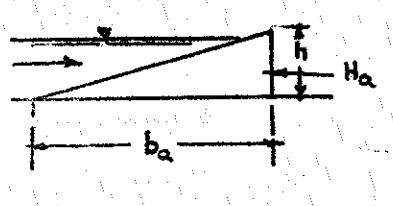
$$R = B \cdot \varepsilon\varphi\phi = 1941,6 \cdot 0,488 = 947,50$$

καὶ ὁ συν/στὴς ἀσφαλείας θὰ εἶναι:

$$\frac{R}{H_\kappa} = \frac{947,5}{432,22} \cong 2,2$$

γ/ Ὁριζόντια διάτμησις εἰς τὸ ἀνάντη ἥμισυ. Αἰφνιδία ἐταθμήπτωσις

Εἰς ἣν περίπτωσιν γίνει αἰφνιδία καταβίβασις τῆς στάθμης κατὰ τὴν λειτουργίαν μιᾶς τεχνητῆς λίμνης, εἶναι εὐνόητον ὅτι θὰ πα-



ρουσιασθοῦν διατμητικαί τάσεις εἰς τό ἀνάντη ἥμισυ τοῦ φράγματος. Οὐσιαστικῶς ἐκεῖ διατρέχομεν κίνδυνον ὀλισθήσεως τοῦ πρανοῦς κατά κύκλους, ὡς τοῦτο λεπτομερῶς ἐξετάζεται εἰς § 5, 2.

Ἐν τούτοις δυνάμεθα νά ἐλέγξωμεν καί τήν βάσιν τοῦ φράγματος. Διά διαπερατά ἐδάφη (χάλικες, χονδρόκοκκος, καθαρά ἄμμος) ἡ στάθμη τοῦ ὕδατος ἐν τῷ φράγματι πίπτει συγχρόνως μέ τήν τῆς λίμνης. Διά χαλαῖα ὅμως ἐδάφη καί διά ἀδιαπέρατα τοιαῦτα ἡ πτῶσις δυνατόν νά βραδύνῃ διά ἡμέρας πολλάς ὁπότε ὑπάρχει κίνδυνος διατμήσεως.

Ἡ ὁριζοντία ὤθησις H_α τῶν χωμάτων μετά τήν πτῶσιν τῆς στάθμης θά εἶναι :

$$H_\alpha = h^2 \gamma_{o,\kappa} \cdot \frac{\varepsilon\varphi^2(45-\Phi/2)}{2} \qquad (175)$$

ἡ δέ διατμητική τάσις εἰς τόν πυθμένα (ἐφ' ὅσον δέν ὑπάρχει ὁριζοντία ὤθησις τοῦ ὕδατος, μετά τήν καταβίβασιν τῆς στάθμης αὐτοῦ):

$$\tau_\kappa = \frac{H_\alpha}{b} \quad \text{καί} \quad \max \tau_\kappa = 2\tau_\kappa$$

Ἡ ἀρῶσα δύναμις διά $\gamma_{o,\kappa} = 2{,}16$ ἔσται : διά $\varepsilon\varphi^2(45-\Phi/2) = \varepsilon\varphi^2 32^\circ = 0{,}391$:

$$H_\alpha = \frac{(30{,}48)^2 \cdot (0{,}391) \cdot 2{,}15}{2} \cong 392{,}00$$

Ἐξ ἄλλου ἀντιδρῶσα δύναμις θά εἶναι ἡ τριβή τοῦ βάρους, ὑπολογιζομένου εἰς περίπτωσιν διηθήσεως (ἤτοι βάρους ἀνώσεως $\gamma_o = 1{,}15$) ὅπου διά τό παράδειγμα τοῦ Σχ. 269 :

$$B = \text{Επιφ.} \cdot 1{,}15 = \tfrac{1}{2}(166{,}75) \cdot (30{,}48) \cdot 1{,}15 = 1860 \text{ τον.}$$

καί διά συν/στήν τριβῆς $\varepsilon\varphi\theta = \varepsilon\varphi 25^\circ = 0{,}466$, ἡ ἀντιδρῶσα δύναμις ἔσται : $R = B \cdot \alpha - \delta\theta = 909{,}00$

Ἄρα ὁ συν/στής ἀσφαλείας ὡς διάτμησιν ἐξ αἰφνιδίας πτώσεως τῆς στάθμης θά εἶναι :

$$\frac{R}{H} = \frac{909,0}{392} = 2,32$$

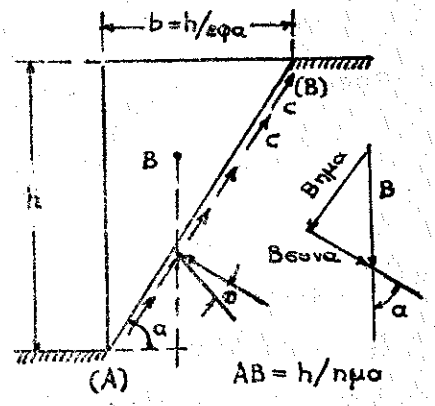
Οἱ ἀνωτέρω τρεῖς ἐκτεθέντες ἔλεγχοι εἶναι γενικοί μὴ ἀνταποκρινόμενοι εἰς τὴν πλήρη φυσικὴν κατάστασιν τῆς ἰσορροπίας τῶν ψαθυρῶν ὑλικῶν εἰς περίπτωσιν ὀλισθήσεως τῶν πρανῶν. Ἡ πραγματικὴ αὕτη κατάστασις ἐξετάζεται ἤδη λεπτομερῶς ἀμέσως κατωτέρω καὶ δὴ κατὰ διαφόρους μεθόδους.

5·2 Ἡ εὐστάθεια τῶν πρανῶν.

α.- Γενικαὶ ἀρχαὶ ἰσορροπίας τῶν πρανῶν

Ἂς ὑποθέσωμεν κατ'ἀρχὴν ὅτι ἔχομεν ἕνα κατακόρυφον πρανές, ὕψους h, τοῦ ὑλικοῦ ἐξ οὗ κατασκευάζεται ἕνα φράγμα καὶ ἐξετάσωμεν τὴν ἰσορροπίαν αὐτοῦ.

Ὑποθέσωμεν ὅτι ἡ κρίσιμος ἰσορροπία ὀλισθήσεως λαμβάνει χώραν κατὰ κρίσιμον ἐπίπεδον ὑπὸ κρίσιμον γωνίαν α. Κατὰ τὴν στιγμὴν τῆς ὀλισθήσεως ἡ κινοῦσα δύναμις τῆς βαρύτητος (Β) ἰσορροπεῖται ἀπὸ τὴν συνεκτικότητα τῶν χωμάτων (c) καὶ τὴν τριβὴν αὐτῶν κατὰ τὸ ἐπίπεδον ὀλισθήσεως.



Σχ. 271 Ἰσορροπία πρανοῦς

Οὕτω ἡ συνιστῶσα τοῦ βάρους Wημα τείνει νὰ παραβύρῃ τὸ πρανὲς εἰς ὀλίσθησιν (βλ. Σχῆμα 271) ἀντιδρᾷ δὲ πρὸς τοῦτο ἡ συνεκτικότητος c(AB) καὶ αἱ τριβαὶ τῆς καθέτου ἐπὶ τὸ πρανὲς συνιστῶσης (Wσυνα) κατὰ τὴν ἐπιφάνειαν

ὀλισθήσεως χωμάτων ἐπί χωμάτων (εφΦ).

Ἤτοι κατά τήν στιγμήν τῆς ὀλισθήσεως θά ἰσχύη ἡ σχέσις:

$$B\eta\mu\alpha_{\kappa\rho} = C\frac{\eta_{\kappa\rho}}{\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}} + B\sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa}\,\varepsilon\varphi\Phi \qquad (176)$$

(Διά τήν περίπτωσιν καθαρᾶς ἐπιφ. ἄμμου ὅπου C=0 ἔχομεν: $\alpha_{\kappa\rho} = \Phi$, ὅπερ ἦτο ἤδη γνωστόν).

Ἐάν, νῦν, ἀντικαταστήσωμεν τό βάρος W διά τοῦ $\frac{1}{2}\gamma h^2_{\kappa\rho}\frac{1}{\varepsilon\varphi\alpha}$ ἔχομεν ἐκ τῆς ἐξισώσεως (175):

$$\frac{\gamma h^2_{\kappa\rho}\,\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}}{2\,\varepsilon\varphi\alpha_{\kappa\rho}} - \frac{\gamma h^2_{\kappa}\,\sigma\upsilon\nu\alpha\cdot\varepsilon\varphi\Phi}{2\,\varepsilon\varphi\alpha_{\kappa\rho}} = \frac{c\,h_{\kappa\rho}}{\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}} \qquad (177)\ \text{ἤ}$$

$$\frac{\gamma h^2_{\kappa\rho}}{2}\left(\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}\cdot\sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa\rho} - \sigma\upsilon\nu^2\alpha_{\kappa\rho}\,\varepsilon\varphi\Phi\right) = c\,h_{\kappa\rho} \qquad (178)$$

Ἐκ τοῦ τύπου (178) ἐξάγεται ὅτι ἐνῶ ἡ ἐκ τῆς συνεκτικότητος (c) ἀντίστασις αὐξάνει μετά τοῦ ὕψους τοῦ πρανοῦς (h), ἡ κινοῦσα δύναμις ἡ προκαλοῦσα τήν ὀλίσθησιν αὐξάνει μετά τοῦ τετραγώνου τοῦ ὕψους τοῦ πρανοῦς, ἦτοι ταχύτερον.

Εἰς τό κρίσιμον ὕψος $h_{\kappa\rho}$ ἤδη θά λάβῃ χώραν ἡ ὀλίσθησις ὅταν ἡ τιμή τῆς παρενθέσεως τῆς ἐξισώσεως (178) λάβῃ τήν μεγίστην αὐτῆς τιμήν.

Τοῦτο θά συμβῇ (ἐάν παραγωγήσωμεν, ὡς ἤδη τοῦτο ἐγένετο διά τήν ἐξίσωσιν 148) ὅταν:

$$\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}\cdot\sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa\rho} - \sigma\upsilon\nu^2\alpha_{\kappa\rho}\cdot\varepsilon\varphi\Phi = \frac{1}{2\,\varepsilon\varphi\alpha_{\kappa\rho}} \qquad (179)$$

καί ἀντικαθιστῶντες εἰς τήν ἐξίσωσιν (178) ἔχομεν:

$$\frac{\gamma h^2_{\kappa\rho}}{4\,\varepsilon\varphi\left(45+\Phi/2\right)} = c\,h_{\kappa\rho} \quad \text{ἤτοι} \quad h_{\kappa\rho} = \frac{4C}{\gamma}\varepsilon\varphi\left(45+\Phi/2\right) \qquad (180)$$

καὶ λαμβάνοντες ὑπ' ὄψιν καὶ τὴν ἐξίσωσιν (153) ἔχομεν :

$$h_{κρ} = \frac{4c}{\gamma} \varepsilon\varphi(45 + \Phi/2) = \frac{2q_u}{\gamma} \qquad (181)$$

Οὕτω ἐφ' ὅσον δὲν λάβει χώραν συμπληρωματικὴ πυκνοποίησις τοῦ ἐδάφους τοῦ πρανοῦς λόγῳ τοῦ βάρους αὐτοῦ, τὸ κρίσιμον ὕψος αὐτοῦ δίδεται ἀπ' εὐθείας ὑπὸ τῆς ἐλευθέρας συμπιέσεως (q_u) εἴτε συμπεριλαμβάνεται εἰς αὐτὴν συντεταμένα τριβῶν ἀντιδράσεων εἰς διάτμησιν εἴτε ὄχι (ἤτοι διὰ $\Phi \gtrless 0$).

Ὁ λόγος :

$$N_s = \frac{c}{\gamma h_{κρ}} \qquad (182)^*$$

καλεῖται συντελεστὴς εὐσταθείας (stability factor). Διὰ $\Phi = 0$ (μαλακὴ ἄργιλλος) ὁ συντελεστὴς εὐσταθείας :

$$\frac{c}{\gamma h_{κρ}} = 0{,}25 \quad \text{καὶ} \quad h_{κρ} = \frac{4c}{\gamma} \qquad (183)$$

Ὁ Fellenius δίδει διὰ κυκλικὰς ἐπιφανείας ὀλισθήσεως τὴν τιμήν :

$$h_{κρ} = \frac{3{,}88\, r}{\gamma} \qquad (184)$$

Ἡ ἀνωτέρω ἀνάλυσις βασίζεται εἰς τὴν παραδοχὴν ὅτι οἱ ἐπενεργοῦσαι ἐπὶ τῆς γραμμικῆς σφηνὸς δυνάμεις διέρχονται ὅλαι διὰ τοῦ αὐτοῦ σημείου εἰς ὃ ἐφαρμόζεται ἡ συνισταμένη τῶν κατὰ μέρος δυνάμεων καὶ ἡ συνισταμένη ὅλων τῶν δυνάμεων. Τοῦ-

---

*Ὁ D. Taylor εἰσήγαγεν τὸν συντελεστὴν εὐσταθείας ὡς καὶ τὰ διαγράμματα εὐσταθείας (ὑπὸ τὴν μορφὴν $\frac{c_a}{\gamma H}$).

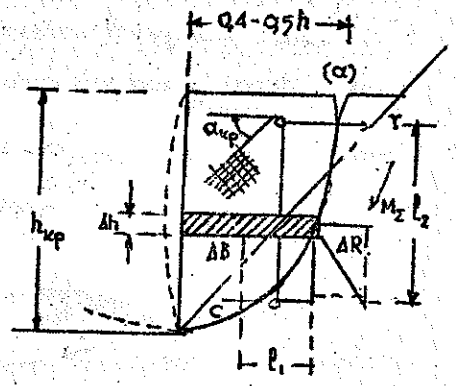
Ὁ Terzaghi ἀρχότερον ἀντέστρεψεν τὸν συντελεστὴν εὐσταθείας εἰσαγαγὼν τὴν ἔννοιαν $N_s = \frac{\gamma h_{κρ}}{c}$ ἢ $\frac{\gamma H}{c_a}$ καὶ προσήρμοσεν ἀντιστοίχως τὰ διαγράμματα εὐσταθείας. Οἱ μελετηταὶ τοιούτων κατασκευῶν δέον νὰ ἔχουν τοῦτο ὑπ' ὄψιν κατὰ τὴν χρῆσιν τῶν διαφόρων βιβλιογραφικῶν βοηθημάτων.

το δεν συμβαίνει, ως εικός, εις την πραγματικότητα.

Πλησιεστέρα ανάλυσις της πιθανής θέσεως της ολισθαινούσης σφηνός αποδεικνύει ότι αύτη πρέπει να είναι καμπύλη. Πράγματι άν εξετάσωμεν την ισορροπίαν μιάς οριζοντίας ζώνης διαφορικού ύψους dh (βλ. Σχ. 272) θά λάβωμεν έν ζεύγος δυνάμεων αποτελούμενον από το διαφορικόν βάρος AB και την ΔR κατακόρυφον συνιστώσαν της ΔR, ήτις είναι ή συνισταμένη της διατμητικής και καθέτου αντιδράσεως εις την επιφάνειαν της ολισθήσεως.

Το ζεύγος τούτο ΔM_o ως και πάν άλλο εκάστης οριζοντίας λωρίδος τείνει να προκαλέση ολίσθησιν της κυλινδρικής σφηνός· διά την ισορροπίαν αυτού χρειάζεται έτερον ζεύγος δυνάμεων και θά έχωμεν:

$$M_z = \tau i_2 = \sigma i_2 = \Sigma \Delta M_o \qquad (185)$$



Σχ. 272 Επιφάνεια ολισθήσεως πραγματικής

Η δύναμις τ ήδη δημιουργεί τάσεις ελκυσμού εις την οριζοντίαν επιφάνειαν της σφηνός, αίτινες και προκαλούσιν κατακορύφους ρωγμάς εις την θέσιν α, απεχούσας συνήθως 0.4h - 0.5h από της κατακορύφου παρειάς. Κατά τον Terzaghi το βάθος των ρωγμών τούτων δύναται να φθάση το 1/3 του κρισίμου ύψους οπότε το πραγματικόν κρισιμον ύψος $h_{κρ}$ (δι' ό και θά εφαρμόζονται αί δυνάμεις συνεκτικότητος και τριβής θά είναι τά $2/3\, h_{κρ}$ και τότε ή εξίσωσις (184) γίνεται:

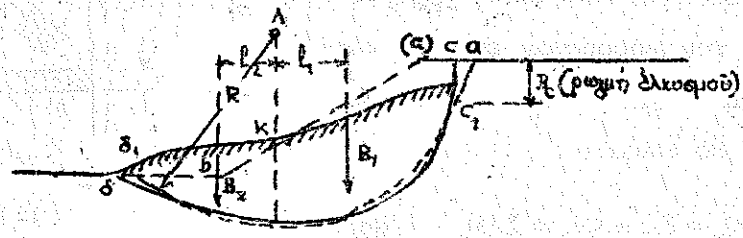
$$h'_{κρ} = \frac{2.58}{\gamma_o}\tau = \frac{1.29}{\gamma_o} q_u \qquad (186)$$

Ο καθορισμός της καμπύλης επιφανείας ολισθήσεως απαιτεί

λεσεν θέμα ἐρεύνης σημαντικόν. Γενικῶς θεωρεῖται ἡ κάθετος τομή τῆς ἐπιφανείας ὀλισθήσεως ὡς ἀποδιδομένην μέ μεγάλην ἀκρίβειαν ὑπό καμπύλης λογαριθμικῆς ἕλικος μέ λίαν δέ ἐπίσης ἱκανήν προσέγγισιν ὑπό τμήματος κύκλου.

Οὕτω συνήθως ἡ ἀνάλυσις γίνεται διά κυκλικόν τόξον. Ἡ τοιαύτη παραδοχή ἁπλοποιεῖ μεγάλως τούς ὑπολογισμούς διότι ἀρκεῖ νά ἐκλέξωμεν μερικά τόξα κύκλου καί νά ἐλέγξωμεν δι' ἕν ἕκαστον ἐξ αὐτῶν τάς συνθήκας ἰσορροπίας καί νά εὕρωμεν διά τό δυσμενέστερον ἐξ αὐτῶν ποῖος θά εἶναι ὁ συντελεστής ἀσφαλείας.

Διά ὁμοιογενῆ συνεκτικά ἐδάφη ἡ ἰσορροπία ἤδη τῶν πρανῶν δίδεται, κατά τήν ἀνωτέρω ἐκδοχήν κυκλικῆς ἐπιφανείας ὀλι-



Σχ. 273 Ἰσορροπία πρανοῦς φράγματος

σθήσεως, ὑπό τοῦ Σχήματος 273. Τό ἀρχικόν πρανές δbkae ὑποθέτομεν ὅτι θά ὀλισθήση κατά καμπύλην δυναμένην ν' ἀντικατασταθῇ μέ ἱκανήν προσέγγισιν διά τόξου κύκλου μέ κέντρον O καί ἀκτίνα R.

Τό βάθος τῶν ρωχμῶν ἐλκυσμοῦ προσδιορίζεται ἐκ πείρας. Τότε ἡ συνθήκη ἰσορροπίας μᾶς δίδει τήν ἐξίσωσιν (ροπαί ὡς πρός O):

$$B_1 l_1 = B_2 l_2 + \tau \cdot R \cdot \widehat{\delta_1 e_2} \qquad (187)$$

ἔνθα B_1 ἡ δρῶσα δύναμις καί B_2 καί $\tau\ \widehat{\delta_1 e_2}$ αἱ ἀντιδρῶσαι εἰς τήν ὀλίσθησιν δυνάμεις. Ἐκ τῆς ἐξισώσεως ταύτης προκύπτει ἡ σχέσις:

$$\tau = \frac{B_1 l_1 - B_2 l_2}{R \cdot \widehat{\delta_1 e_2}} \qquad (180)$$

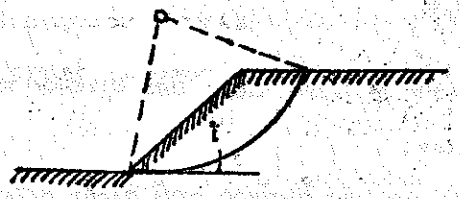
Ἡ μέθοδος αὕτη ἀποτελεῖ τὴν γενικὴν βάσιν ὑπολογισμοῦ τῶν πρανῶν τῶν χωματίνων φραγμάτων.

Ὁ προσδιορισμὸς τοῦ κέντρου καὶ τῆς ἀκτῖνος τοῦ πλέον ἐπικινδύνου κύκλου ὀλισθήσεως (τοῦ δίδοντος, τουτέστιν, τὸν μικρότερον συντελεστὴν ἀσφαλείας) ἀποτελεῖ ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει τὸ βασικὸν θέμα ὑπολογισμοῦ. Συνήθως τοῦτο ἐπιδιώκεται ἀπὸ δοκιμῶν διαφόρων κύκλων. Εἰς ὡρισμένας τινὰς περιπτώσεις (ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ καὶ ἐλλείψεως διηθήσεως) δυνάμεθα νὰ πλησιάσωμεν τὸν δυσμενέστερον κύκλον ἀπ' εὐθείας δι' ἀναλυτικῶν μεθόδων (περὶ ὧν κατωτέρω § 5·6).

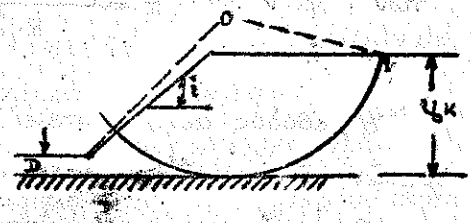
Ὁ κρίσιμος κύκλος θὰ ἐξαρτᾶται ὄχι μόνον ἐκ τῆς συστάσεως τοῦ φράγματος καὶ τοῦ ἀμέσως κάτωθεν ἐδάφους ἀλλὰ καὶ ἐκ τῆς θέσεως ἐνδεχομένου πυκνοτέρου ἐδάφους ὑπὸ τὸ ὑπέδαφος.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 274 ἐμφαίνονται οἱ πιθανοὶ δυσμενεῖς κύκλοι ὀλισθήσεως τῶν πρανῶν, ἤτοι αἱ περιπτώσεις καθ' ἃς εἶναι δυνατὸν ὁ κύκλος (α) νὰ διέρχεται διὰ τοῦ πέλματος (β) νὰ τέμνῃ τὸ πρανὲς ἄνω τοῦ πέλματος (γ) νὰ ἐφάπτεται τοῦ ὑποκειμένου στερεοῦ στρώματος καὶ νὰ τέμνῃ τὸ ἔδαφος πέραν τοῦ πέλματος ἢ τέλος (δ) νὰ τέμνῃ τὸ ἔδαφος πέραν τοῦ πελματος λόγῳ μεγάλου βάθους τοῦ στερεοῦ ὑποστρώματος.

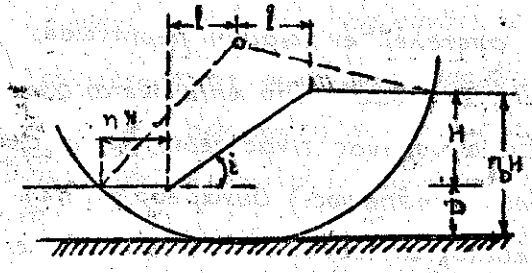
Ἀναλόγως τῆς ἑκάστοτε ἐμφανιζομένης ὡς ἄνω περιπτώσεως, δοκιμάζομεν κατὰ τὴν ἀνίχνευσιν τοῦ δυσμενεστέρου κύκλου τὴν ἀντίστοιχον θέσιν αὐτοῦ. Ὡς ἤδη ἐλέχθη εἴς τινας περιπτώσεις προσδιορίζεται ἀπ' εὐθείας ἡ θέσις αὐτοῦ.



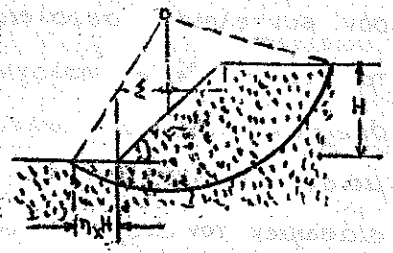
(α) κύκλος πέλματος



(β) κύκλος πρανοῦς.



(γ) η_x σχετικῶς μεγάλο κύκλος ἐπηρεάζεται ἐκ τοῦ η_D



(δ) η_D σχετικῶς μεγάλον η_x ἐπηρεάζει τὸν κύκλον

(γ καὶ δ) κύκλοι ἄνω μέσου πρανοῦς ἢ κύκλοι βάσεως (δι' ὁμοιογενῆ ξηρὰ ὑλικά)

Σχ. 274. Κύκλος ὀλισθήσεως ἀναλόγως τῶν τυπικῶν συνθηκῶν

β) Ἡ πίεσις τῶν πόρων.

Ὡς ἐλέχθη ἡ πίεσις τῶν πόρων (ἢ οὐδετέρα πίεσις) ἐντὸς τοῦ ὑπὸ ἔλεγχον τμήματος φράγματος εἶναι ἐνίοτε σημαντικὴ καὶ δέον νὰ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν. Οὕτω ὅπου αὕτη ἀναπτυχθῇ εἰς ἱκανὴν πίεσιν μεταβάλλει τὴν ἐξίσωσιν τοῦ Coulomb ὡς κατωτέρω:

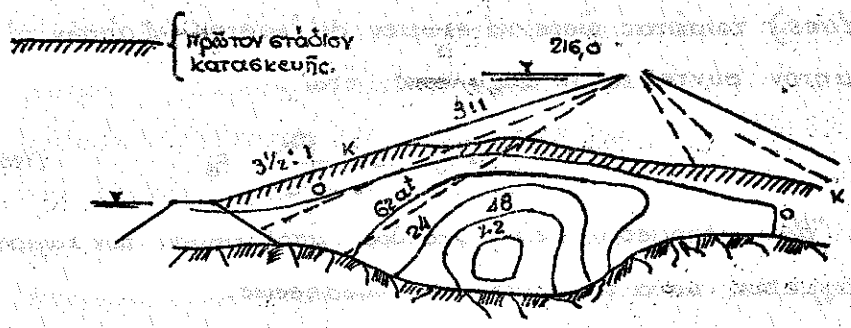
$$\tau = C + (\sigma - u)\, \varepsilon\varphi\Phi \qquad (189)$$

ὅπου δὲ $\sigma = u$: $\tau = C$ (περίπτ. κεκορεσμ. ἀργίλλου ὑπὸ πίεσιν).

Οὕτω τὸ φράγμα Grean Mountain ὕψους 151,50 μ. ἂν καὶ τοῦτο κατεσκευάζετο μὲ πυκνότητα μεγάλην ($\gamma_1 = 2{,}18\ t/m^3$) καὶ

μὲ τὴν ἀρίστην τιμὴν ὑγραείας παρουσίασεν ἐν τούτοις πιέσεις τῶν πόρων τοῦ ὕδατος 67% τοῦ βάρους τῆς ὑπερθεν ἐπιχώσεως λόγῳ τῆς ἐξ ἰδίου βάρους πυκνοποιήσεως. Ἐλάττωσις κατὰ 2% τῆς ἀρίστης τιμῆς τῆς ὑγραείας ὡδήγησεν εἰς βελτίωσιν τῆς καταστάσεως.

Ἕτερον παράδειγμα ἀποτελεῖ τὸ φράγμα Anderson Ranch ὁλικοῦ ὕψους ἐκ τῆς θεμελιώσεως 126,5 μέτρων. Τοῦτο κατὰ τὴν πρώτην περίοδον τῆς κατασκευῆς του παρουσίασεν ὑδροστατικὰς πιέσεις μέχρι 7,3 at λόγῳ ἰδίας πυκνοποιήσεως (Σχ. 275).



Σχ. 275. Πιέσεις πόρων εἰς τὸ φράγμα Anderson Raukch.

Κατὰ τὴν δευτέραν περίοδον κατασκευῆς (ἄνω τοῦ x-x) ἠλαττώθη ἡ ἀρίστη τιμὴ συμπυκνώσεως, ὥστε τὸ νέον τμῆμα δὲν παρουσίασεν σημαντικὰς πιέσεις.

Τοῦ κατωτέρου ὅμως τμήματος ηὐξήθησαν αἱ δυνάμεις τῶν πόρων λόγῳ τῆς συνεχίσεως τῆς ἰδίας πυκνοποιήσεως.

γ) Ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας.

Ἡ εὐστάθεια τῶν πρανῶν κατὰ τοὺς κύκλους ὀλισθήσεως

ἐξασφαλίζεται, ὡς ἐλέχθη, διά τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας.

Κατά τήν μελέτην ὅμως τῆς εὐστάθειας ὑπεισέρχονται αἱ δύο συντελεσταί C καί Φ ὑπό τήν προσδιορισθεῖσαν ἐργαστηριακῶς ἐνεργόν αὐτῶν τιμήν, ἤτοι $C_ε$ καί $Φ_ε$. Ἐάν ὁ τελικός συντελεστής τοῦ ἐλέγχου ὅμως ἔχει μίαν ἱκανοποιητικήν τιμήν (ἔστω 2 π.χ.) εἰς τήν ἐξίσωσιν 188 εἶναι ἐνδεχόμενον ὁ συντελεστής ἀσφαλείας διά μίαν ἐκ τῶν δύο τιμῶν (τῆς C ἤ Φ) νά εἶναι πολύ μικρότερος καί νά διατρέχῃ τό φράγμα κινδυνον ὀλισθήσεως.

Ὡς ἐκ τούτου συνήθως ἀντί τῶν ἐνεργῶν τιμῶν $C_ε$ καί $Φ_ε$ μεταχειριζόμεθα ἀ ν η γ μ έ ν α ς τοιαύτας $C_α$ καί $Φ_α$ (developed values) τοιαύτας ὥστε νά ἔχωμεν δι' ἑκάστην ἐξ αὐτῶν τό ἐπιθυμητόν συντελεστήν ἀσφαλείας, ἤτοι :

$$\frac{C_ε}{C_α} = F_c \quad \text{καί} \quad \frac{Φ_ε}{Φ_α} = F_φ \qquad (190)$$

Ἤδη ἐρχόμεθα εἰς τάς μεθόδους ὑπολογισμοῦ τῶν χωματοφραγμάτων κατά τοῦ κινδύνου ὀλισθήσεως.

5·3 - Εὐστάθεια φραγμ. ἐκ μή συνεκτικῶν ὑλικῶν.

Εἰς φράγματα ἐξ ὑλικῶν - ὧν ἡ συνεκτικότης εἶναι ἴση μέ μηδέν (C = 0) ὁ ὑπολογισμός εὐστάθειας εἶναι πολύ ἁπλοῦς. Ἀρκεῖ νά ἐνθυμηθῶμεν ὅτι ἐδῶ ὁ συντελεστής εφΦ ἀποτελεῖ τήν γωνίαν τοῦ φυσικοῦ πρανοῦς, ἥτις θά συμπίπτῃ μέ τήν γωνίαν i τοῦ πρανοῦς τοῦ φράγματος.

Ἐφ' ὅσον δέν ὑπάρχει διήθησις καί ἐάν ὁρίσωμεν τόν συντελεστήν ἀσφαλείας F τότε :

$$F = \frac{εφΦ}{εφi} \quad \text{ἤ} \quad εφi = \frac{εφΦ}{F} \qquad (191)$$

Ἐξ ἄλλου διά τήν περίπτωσιν ὑπάρξεως ὕδατος διηθήσεως ἐπότε τό ὑλικόν θά εἶναι βυθισμένον ἐν τῷ ὕδατι, θά ἔχωμεν διά

τόν συντελεστήν ἀσφαλείας :

$$F = \frac{\varepsilon\varphi\Phi}{\varepsilon\varphi i} \cdot \frac{\gamma_{\beta\upsilon\theta.}}{\gamma_{\kappa\varepsilon\kappa.}} \qquad (192)$$

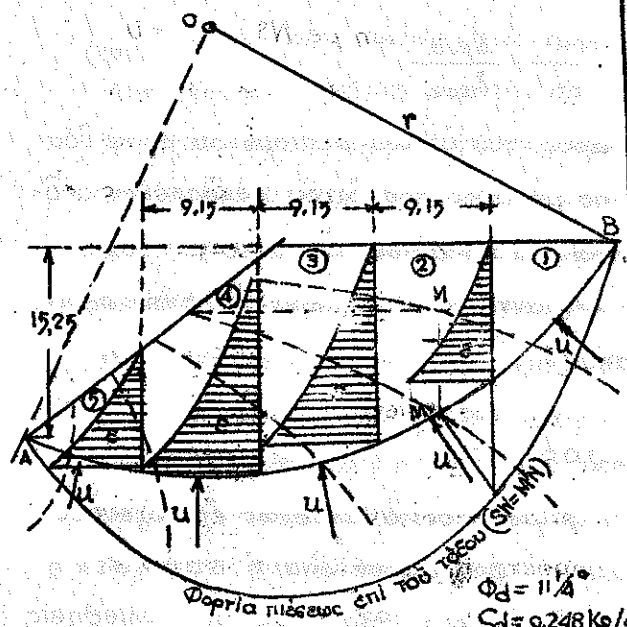
ὅπου $\gamma_{\beta\upsilon\theta.}$ θά εἶναι τό βάρος τοῦ ὑλικοῦ βυθισμένου ἐν τῷ ὕδατι καί $\gamma_{\kappa\varepsilon\kappa.}$ τό βάρος τῆς μονάδος τοῦ ὄγκου κεκορεσμένου ὑλικοῦ $= \gamma_{\beta\upsilon\theta} + \gamma_{\upsilon\delta\alpha\tau\sigma\varsigma}$ ἤτοι διά τόν αὐτόν συντελεστήν ἀσφαλείας ἡ κλίσις i θά εἶναι σημαντικῶς μικροτέρα ἤ εἰς τήν περίπτωσιν ἐλλείψεως διηθήσεως.

5.4 - Ἡ μέθοδος τῶν τεμάχων.

Ἡ πλέον διαδεδομένη μέθοδος ἀναλύσεως ὁμογενοῦς ἰσοτρόπου ὑλικοῦ χωματινῶν φραγμάτων εἶναι ἡ **συνηθική** μέθοδος (Peterson 1915, Fellenius 1936) καθ' ἥν ἡ ὀλίσθησις τῶν πρανῶν λαμβάνει χώραν κατά καμπύλην **λογαριθμικήν ἕλικος** ἤ μέ ἱκανήν προσέγγισιν, κατά τόξον κύκλου. Ὁ προσδιορισμός τοῦ δυσμενεστέρου κύκλου γίνεται διά διαφόρων δοκιμῶν μέχρι ἐξευρέσεως τοῦ δυσμενεστέρου συντελεστοῦ ἀσφαλείας, ἐάν οὗτος δέν εἶναι ἱκανοποιητικός ($< 1{,}80 - 2{,}0$) τότε ἐλαττοῦται ἡ κλίσις τοῦ πρανοῦς.

Διά τόν προσδιορισμόν τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας κατά τόν δοκιμαζόμενον κύκλον ἡ συνηθεστέρα μέθοδος, ἥτις δύναται νά ἐφαρμοσθῇ κατά ἱκανοποιητικήν προσέγγισιν καί εἰς φράγματα μικτῶν διατομῶν (ἐκ διαφόρων ὑλικῶν) εἶναι ἡ μέθοδος τῶν **τεμάχων** (slise, φέτα).

Κατ' αὐτήν τό ὑπό τοῦ αὐθαιρέτου ἐνθεχομένου κύκλου τεμνόμενον τμῆμα τοῦ πρανοῦς ὑποδιαιρεῖται εἰς μερικά τεμάχη (συνήθως 5-8) ὡς ἐμφαίνεται εἰς τό Σχ. 276α. Ἀπό τάς γραμμάς ἴσου δυναμικοῦ προσδιορίζονται αἱ οὐδέτεραι τάσεις (πιέσεις τῶν πόρων) εἰς τόν κυκλικόν πυθμένα ἑκάστου τεμάχους.



τέμαχος	δυνάμεις τον/μ.			
	$\Sigma(W_s)$	$\Sigma(P_n)$ ώς:		
	$=\Sigma(AJ)$	$\Sigma(EP)$	$\Sigma(PH)$	$\Sigma(C3)$
1	94,5	56,5	53,0	87,0
2	133,8	179,0	161,5	145,5
3	84,7	288,5	234,5	236,0
4	0	198,0	191,0	191,5
5	23,1	76,0	6[illegible]	52,0
1-5	290,0	748,0	700,0	652,0
Σ(in)		148,2	140,2	180,4
Σφφ		141,8	141,8	141,5
C_a Σ	290,0	290,0	232,0	272,2
	Δρῶσαι	Αντιδρῶσαι δυνάμεις		

$\Phi_d = 11\frac{1}{4}°$

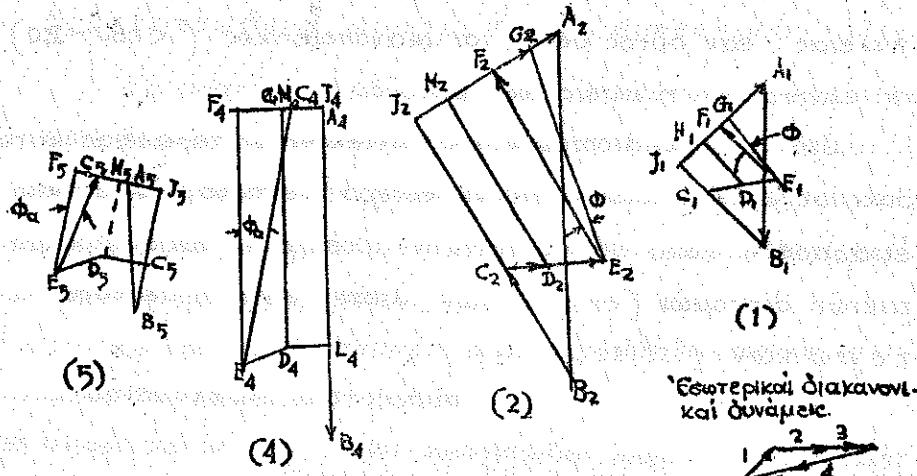
$C_d = 0{,}248\ kg/cm^2$

$\gamma_e = 2008\ kg/m^3$

u οὐδέτεραι δυνάμεις εἰς τὴν βάσιν

ε » » » τὰς πλευράς

Σχ. 276α: Το[illegible] κατά τόν κύκλον ὀλισθήσεως ANB καί πίναξ δυνάμεων



Σχ. 276β Δυναμοπολυγωνα τῶν τεμάχων

Π.χ. εἰς τὸ τεμάχιον 2 ἡ πίεσις εἶναι ἴση μὲ MN καὶ λαμβάνεται αὕτη κάθετος εἰς τὸ τόξον καὶ ἴση μὲ NS = MN = u. Ἀντιστοίχως προσδιορίζονται αἱ πιέσεις εἰς τὰ λοιπὰ τεμάχια καὶ λαμβάνεται ἡ καμπύλη ASB τοῦ Σχ. 276 α.

Ἤδη αἱ ἐπὶ ἑκάστου τεμάχους ἐνεργοῦσαι δυνάμεις εἶναι (βλ. καὶ Σχ. 276 β ἔνθα ὁ δείκτης τῶν ψηφίων ἀναφέρεται εἰς τὸν ἀριθμὸν τοῦ τεμάχους).

Τὸ βάρος AB = ὄγκος ἐπὶ τὸ βάρος μονάδος αὐτοῦ.

$$\left(\frac{\gamma_i + e}{1 + e}\right) \cdot \gamma \quad (\text{βλ. ἐξίσωσιν } 98)$$

Ἡ δύναμις BC = U, ἡ ὑδατέρα πίεσις εἰς τὴν βάσιν.

Ἡ δύναμις CD ἡ ὁριζοντία συνισταμένη τῶν ὑδατέρων δυνάμεων (ὑδροστατικὴ πίεσις) εἰς τὰς δύο κατακορύφους τοῦ ἀντιστοίχου τεμάχους.

Ἡ δύναμις DE, ἡ συνισταμένη τῶν δυνάμεων τριβῆς (διακοκκικαὶ δυνάμεις) εἰς τὰς δύο κατακορύφους πλευρὰς τοῦ ὑπ' ὄψιν τεμάχους. Ἡ δύναμις αὕτη ὁρίζεται συνήθως ἐκ πείρας καὶ διαισθήσεως. Μετὰ τὸν καθορισμόν αὐτῆς κλείνει τὸ δυναμοπολύγωνον ἐὰν ἐκ τοῦ E ἀχθῇ:

ἡ δύναμις EF (P_N) παράλληλος πρὸς τὴν ἀντίδρασιν τοῦ ἐδάφους εἰς τὸ κυκλικὸν τμῆμα τοῦ πυθμένος τοῦ τεμάχους καὶ ἐκ τοῦ A ἀχθῇ:

ἡ δύναμις FA (P_S) παράλληλος πρὸς τὴν ἐφαπτομένην εἰς τὸ κέντρον τοῦ κυκλικοῦ τμήματος τοῦ πυθμένος τοῦ ἀντιστοίχου τεμάχους.

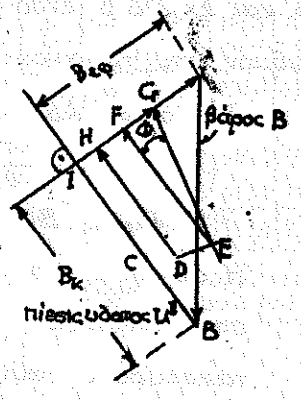
Τοιουτοτρόπως σχηματίζεται τὸ δυναμοπολύγωνον ἑκάστου τεμάχους λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν ὅλων τῶν ἐπενεργουσῶν ἐπ' αὐτοῦ δυνάμεων.

Εἶναι προφανὲς ὅτι ἡ διατμητικὴ δύναμις FA (P_S) ἐφαπτομένη εἰς τὸ κέντρον τοῦ πυθμένος τοῦ τεμάχους ἰσοῦται πρὸς

FG + GA ἔνθα τὸ σημεῖον G προσδιορίζεται ἂν ἐκ τοῦ E φέρομεν τὴν εὐθείαν EG σχηματίζουσαν πρὸς τὴν EF τὴν γωνίαν F.

Τότε : $FG + GA = P_n \, \varepsilon\varphi\Phi_\alpha + C_\alpha$

ἐξ ἄλλου ἡ δύναμις AB τοῦ βάρους B τοῦ τεμάχους δύναται νὰ ἀναλυθῇ εἰς μίαν κάθετον δύναμιν BI (παράλληλον πρὸς τὴν εὐθείαν τὴν διέπουσαν ἐκ τοῦ μέσου τοῦ πυθμένος πρὸς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου (B_κ), ἥτις θὰ συμπίπτει ἐν μέρει μὲ τὴν προηγουμένως ἀχθεῖσαν BC, καὶ μίαν διατμητικὴν δύναμιν IA παράλληλον εἰς τὴν ἐφαπτομένην ἕως τὸ ἀντίστοιχον τμῆμα τοῦ πυθμένος ($B_{\varepsilon\varphi}$).



Σχ. 276 γ.

Τότε αἱ δυνάμεις ΣAI (ἐφαπτομενικαὶ συνιστῶσαι τῆς βαρύτητος) εἶναι αἱ ἐνεργοὶ ἢ δρῶσαι δυνάμεις (actuating forces) αἵτινες τείνουν νὰ μετακινήσουν τὸ πρανὲς πρὸς ὀλίσθησιν (Σχ.276α). Ἐνῶ αἱ δυνάμεις Σ(EF) (ἢ ἀντιστοίχως Σ(ΦH) ἂν παραλείψωμεν τὰς DE ὡς ἐχούσας ἄθροισμα μηδὲν ἢ πάλιν αἱ Σ(CI) ἂν παραλείψωμεν τὰς CD ὡς ἐχούσας ὁμοίως περίπου ἄθροισμα ἴσον πρὸς τὸ μηδὲν) πολλαπλασιαζόμεναι ἐπὶ τὴν εφφ καὶ προστιθέμεναι εἰς τὰς δυνάμεις $\Sigma \cdot \overset{\frown}{C_\alpha L}$ ·(= Σ·GA) ἀποτελοῦν τὰς δυνάμεις αἵτινες λόγῳ συνοχῆς καὶ τριβῆς ἀντιδροῦν εἰς τὴν ὀλίσθησιν.

Ἐὰν ἤδη λάβωμεν τὰς ροπὰς τῶν δυνάμεων ὡς πρὸς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου ὀλισθήσεως O, εὑρίσκομεν ὅτι αἱ δυνάμεις B_κ, ὡς διερχόμεναι δι' αὐτοῦ δὲν δίδουν ροπήν, ἐνῶ αἱ δυνάμεις $B_{\varepsilon\varphi}$ ἔχουσιν συνολικῶς ροπὴν : $\Sigma r \cdot B_{\varepsilon\varphi}$.

Ἐκ παραλλήλου αἱ δυνάμεις CD καὶ DE δὲν δίδουν ροπὴν

διότι τό γεωμετρικόν ἄθροισμα αὐτῶν ἰσοῦται μέ μηδέν ὡς ἐμφαίνεται εἰς τό Σχ. 276 β. Αἱ δυνάμεις FE ὁμοίως διερχόμεναι διά τοῦ κέντρου τοῦ κύκλου δέν δίδουσι ροπήν.

Παραμένουν εἰσέτι αἱ δυνάμεις FA ἤ αἱ συνιστῶσαι αὐτῶν FG καί GA δίδουσαι ροπάς :

$$r\Sigma(FG)+r\Sigma(GA)=r\left(e\varphi\Phi_\alpha\cdot\Sigma P_n+\Sigma\cdot c_\alpha\cdot\overset{\frown}{L_i}\right)$$

Θά ἔχωμεν ὅθεν τελικῶς τήν ἐξίσωσιν τῶν ροπῶν ὡς πρός τό κέντρον τοῦ κύκλου :

$$r\Sigma(B_{e\varphi})=r\cdot e\varphi\,\Phi_\alpha\cdot\Sigma P_n+r\cdot c_d\cdot\overset{\frown}{L_{AB}}\qquad\text{ἤ}$$

$$\Sigma\cdot B_{e\varphi}=e\varphi\Phi_\alpha\cdot\Sigma(P_n)+c_d\cdot\overset{\frown}{L_{AB}}\qquad(193)$$

Ἡ ἐξίσωσις αὕτη εἶναι ἀνάλογος πρός τήν ἐξίσωσιν (188) καί δίδει τήν γενικήν ἰσορροπίαν τοῦ τμήματος τοῦ πρανοῦς τοῦ ἐγγεγραμμένου ἐντός τοῦ κύκλου ὀλισθήσεως.

Διά τόν ὅρον $\Sigma(P_n)$ λαμβάνονται αἱ δυνάμεις EF τοῦ δυναμοπολυγώνου αἵτινες θά ὦσιν καί αἱ ὀρθαί ἐφ'ὅσον ἡ ἐκτίμησις τῶν δυνάμεων DE ἔχινεν ὀρθῶς. Εἰς τόν πίνακα τοῦ σχήματος (2τεα) ἐμφαίνονται αἱ ἀναπτυσσόμεναι ἐνεργοί ἤ δρῶσαι δυνάμεις (290 ἤ 282,2 ἤ 272,2 τόν/μ.) καί δή εἰς τρεῖς ἐκδοχάς ἀναλόγως τοῦ μεγέθους ὃ δεκόμεθα διά τάς καθέτους δυνάμεις P_n.

Ὁ Σουηδός μηχανικός Fellenius ἐπρότεινεν ὅπως παραλείπονται αἱ ἐπί τῶν πλευρῶν ἑκάστου τεμάχου διακοκκικαί δυνάμεις (ὡς ἴσαι καί ἀντίθετοι) ὡς ἐπίσης καί αἱ ἐπί τῶν πλευρῶν ὑδροστατικαί πιέσεις (ὁμοίως ὡς ἴσαι καί ἀντίθετοι) ὁπότε θά ἔχωμεν τάς δύο ἀκολούθους ἐκδοχάς :

α) Αἱ πιέσεις τῶν κωμάτων εἰς τάς πλευρικάς παρειάς εἶναι ἴσαι καί ἀντίθετοι ὁπότε ὅλαι αἱ δυνάμεις DE ἰσοῦνται πρός

μηδέν καί $\Sigma(P_n)=\Sigma(DH)$ (βλ. μεσαίαν στήλην πίνακος τοῦ Σχ. 276α). Ἡ ἐκδοχή αὕτη δίδει ἀντιδράσεις δυνάμεις 3% μικροτέρας τῆς ὁλοκληρωτικῆς λύσεως.

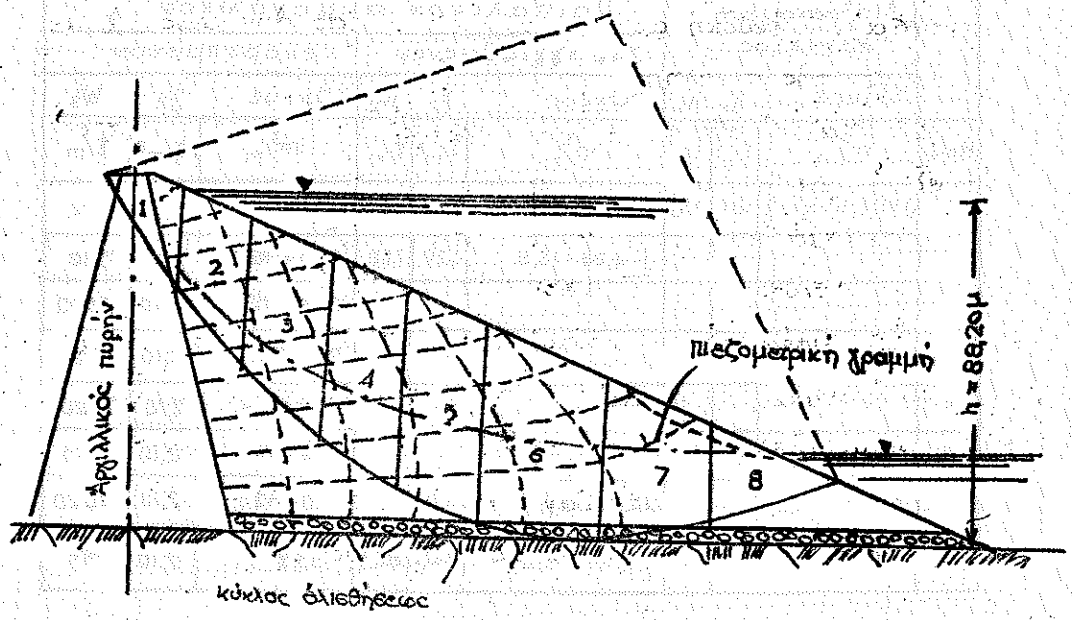
β) Καί αἱ ὑδροστατικαί πιέσεις εἰς τάς πλευρικάς παρειάς εἶναι ἴσαι καί ἀντίθετοι ὁπότε αἱ δυνάμεις CD καί DE ἔχουσιν ἄθροισμα ἴσον μέ μηδέν καί $\Sigma(P_n)=\Sigma(CI)$. Ἡ ἐκδοχή αὕτη δίδει ἀντιδράσεις δυνάμεις 6% μικροτέρας τῶν πραγματικῶν καί εἶναι ὑπέρ τῆς ἀσφαλείας τοῦ ἔργου. Ἡ ἐκδοχή αὕτη ἀπαλλάσσει τόν μελετητήν καί ἀπό τόν προσδιορισμόν τῶν γραμμῶν ροῆς πρός εὕρεσιν τῶν πιέσεων διηθήσεως καί ἀποτελεῖ τήν προσφορωτέραν καί συντομωτέραν λύσιν.

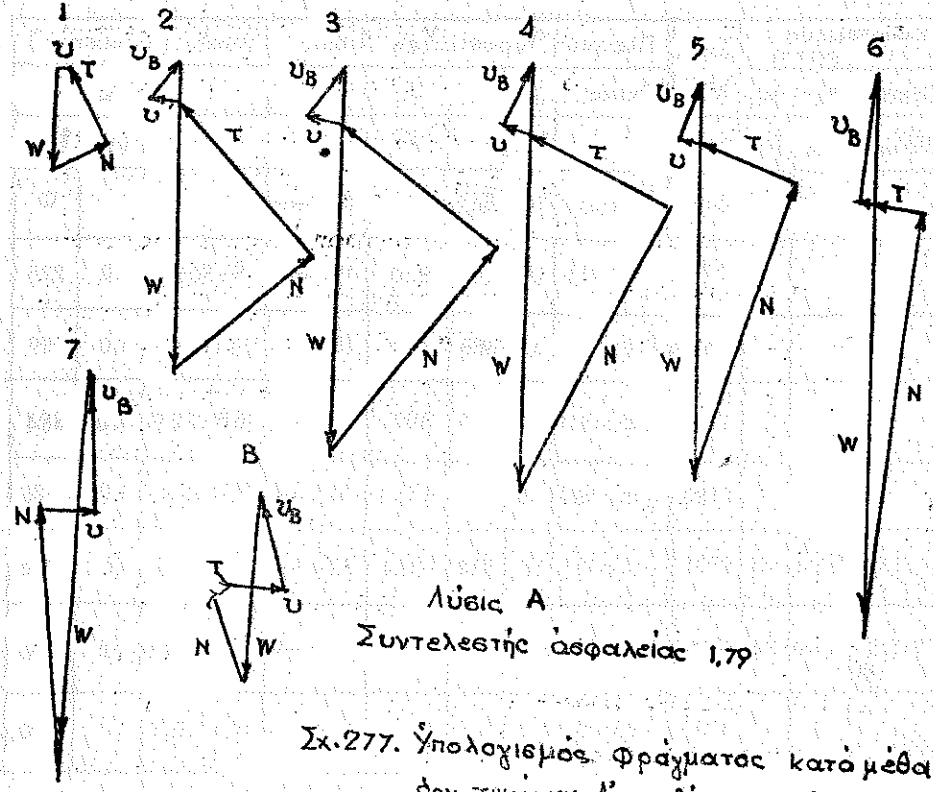
Ἤδη, ὡς ἐλέχθη, χαράσσομεν μερικούς κύκλους καί ὑπολογίζομεν τήν ἰσορροπίαν αὐτῶν συμφώνως μέ τήν ἐξίσωσιν μέχρις ἐξευρέσεως τοῦ δυσμενεστέρου συν/τοῦ ἀσφαλείας ἄν οὗτος δέν εἶναι ἱκανοποιητικός ἐλαττοῦμεν τήν κλίσιν τοῦ πρανοῦς.

Εἰς τό Σχ. 277 δίδεται ἡ τομή χωματίνου φράγματος ὕψους 38,20 μ. μέ ἀρχιλλικόν πυρῆνα καί κέλυφος ἐκ παιπαλικῆς ἄμμου καί χαλίκων. Ἡ λύσις δίδεται διά τήν ἐκδοχήν καθ' ἥν λαμβάνονται αἱ πιέσεις τῶν χωμάτων Ε ἴσαι δι' ἕκαστον τέμαχος καί ἀλληλοεξουδετερούμεναι. Οὕτω ὑπολογίζεται ὁ συν/τής ἀσφαλείας συμφώνως πρός τήν ἀνωτέρω ἐξίσωσιν (193):

$$F=\frac{\Sigma(P_n)\,\varepsilon\varphi\Phi_\alpha+C_\alpha\widehat{L}_{AB}}{\Sigma(B_{\varepsilon\varphi})} \qquad (193')$$

Τέλος εἰς τό Σχ. 278 δίδεται ἀνάχωμα ὕψους 8,00 μ. μέ κλίσιν πρανοῦς 2,5:1, ἀποτελούμενον κυρίως ἐκ συμπεπυκνωμένου ὑλικοῦ ($\Phi=37^\circ$ $\varepsilon\varphi\Phi=0,75$, $C=0$). Ὁ ἔλεγχος αὐτοῦ γίνεται κατά τούς τρεῖς κύκλους I, II, III τούς ἐμφαινομένους εἰς τό Σχῆμα καί ἔχοντας συντελεστάς ἀσφαλείας 1.82 – 1,80 καί 1,85 ὁ ἐπικινδυνωδέστερος κύκλος ἑπομένως εἶναι ὁ μεσαῖος





Σχ.277. Υπολογισμός φράγματος κατά μέθοδον τεμαχών. Αίφνιδία σταθμήπτωσις

	Διαβρεχομένη Άργιλλος			Παιπαλικόν άμμοκάλικον					
				Στραγγιζόμενον			Κεκορεσμένον		
	Όγκος	γ_1	W_1	Όγκος	γ_2	W_2	Όγκος	γ_3	W_3
Μονάδ	m^3/m	t/m^3	t/m	m^3/m	t/m^3	t/m	m^3/m	t/m^3	t/m
1	(1,38)(1,59)1=(2,5)	1,84	276	7·3,55-$\frac{1}{2}$4,37·4,01	1,79	49,2	$\frac{1}{2}$6,7·27,1	2,10	192
2				$\frac{1}{2}$ 4,26·18,3	1,79	7,00	20,5·36,8	2,10	1980
3							20,5·47,2	2,10	2030
4							20,5·51,4	2,10	2200
5							20,5·51,4	2,10	2200
6							30·44	2,10	2775
7				Ύδωρ	1,0		30·32,1	2,10	2020
8				$\frac{1}{2}$ 20,1·8,25	1,0	83,5	33,8·14	2,10	995

Πίνακες υπολογισμού του φράγματος του σχήματος *277*

Κεκορεσμένη λιθορράκη			Σύνολ	Πλευρική Υδροστατική πίεσις					Άνωσις (υδροστατ.)		
Όγκος	γ_4	W_4	WT	Όγκος	γ_w	U_R	U_L	$U \rightleftarrows$		γ_w	U_B
m^3/m	t/m^3	t/m	t/m		t/m^3	t/m	t/m	t/m		t/m^3	t/m
			516	$\frac{1}{2}$6,4·27,2	1,0	86,5	0	86,5 ←			0
			1570	$\frac{1}{2}$116·43,5	1,0	254	87,0	157 ←	9·30,5	1,0	275
			2020	$\frac{1}{2}$15,2·50	1,0	383	289	130 ←	13,4·25,3	1,0	339
			2180	$\frac{1}{2}$18,3·52,1	1,0	475	382	94 ←	16,8·22,9	1,0	384
			2180	$\frac{1}{2}$21,9·50,4	1,0	525	475,5	50,5 ←	19,7·21,4	1,0	420
30·2,13	2200	141	2920	$\frac{1}{2}$24,4·41,5	1,0	504	526,4	22,4 →	229·30,5	1,0	700
30·2,13	2,300	141	2170	$\frac{1}{2}$21·26,2	1,0	275	505	230 →	229·30,5	1,0	700
			1080	$\frac{1}{2}$8,35·8,35	1,0	36,0	276	240 →	14,9·36,3	1,0	540

φ	εφφ	κάθετος N	Νεφ Φ	Συνεκτικότης C	$\hat{l}$	$\hat{l}c$	Εφαπτομενική +τ	Εφαπτομενική -τ	ΣΤ
		t/m	t/m	t/m²	m	t/m	t/m	t/m	t/m
10	0.176	335	59.0	4.87	24.4	119	417		
35	0.70	925	645				[illegible]		
35	0.70	1670	956				1090		
35	0.70	1620	1130				880		
35	0.70	1690	1190				596		
40	0.84	2200	1650				335		4350
40	0.64	1465	1230					7.45	
35	0.70	565	396					97	124
			7.450						4246

Βασικά Δεδομένα					
Υλικό	Ειδ. Βάρη t/m³			Γωνία Τριβής	Συνεκτικότης t/m²
	Ξηρόν	κεκ.	ὑγρόν		
Ἀμμοχάλικο		2.10	1.39	35°	0
Ἄργιλλος		1.60	1.60	10°	4.87
Χάλικες		2.20	1.70	40°	0

Ἀποτελέσματα			
Δυνάμεις			Συντελεστὴς ἀσφαλείας
Ἀντιδρῶσαι		Δρῶσαι	
ΣΝεφΦ φ	Σ$\hat{l}$c	ΣΤ	$\frac{\Sigma N\varepsilon\varphi\Phi + \Sigma\hat{l}c}{\Sigma T}$
7450	119	4246	1.79

ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας ὅμως τοῦ ὁποίου (1.8) θεωρεῖται ἱκανοποιητικός (βλ. παραγωγικὰ ἔργα τοῦ ποταμοῦ Santa Ana Calif: Lytle καὶ Cajon Creeks improvement).

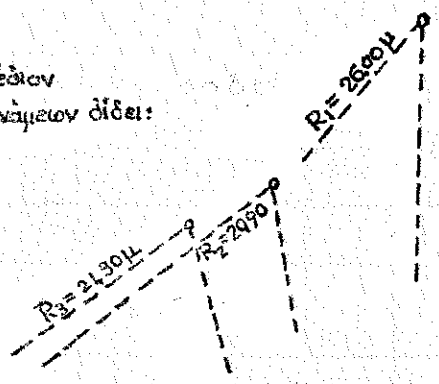
Δίδονται $\begin{cases} \phi = 37^\circ\,,\ c=0 \\ \text{Στάθμη ὕδατος ὡς εἰς σχεδίαν} \end{cases}$

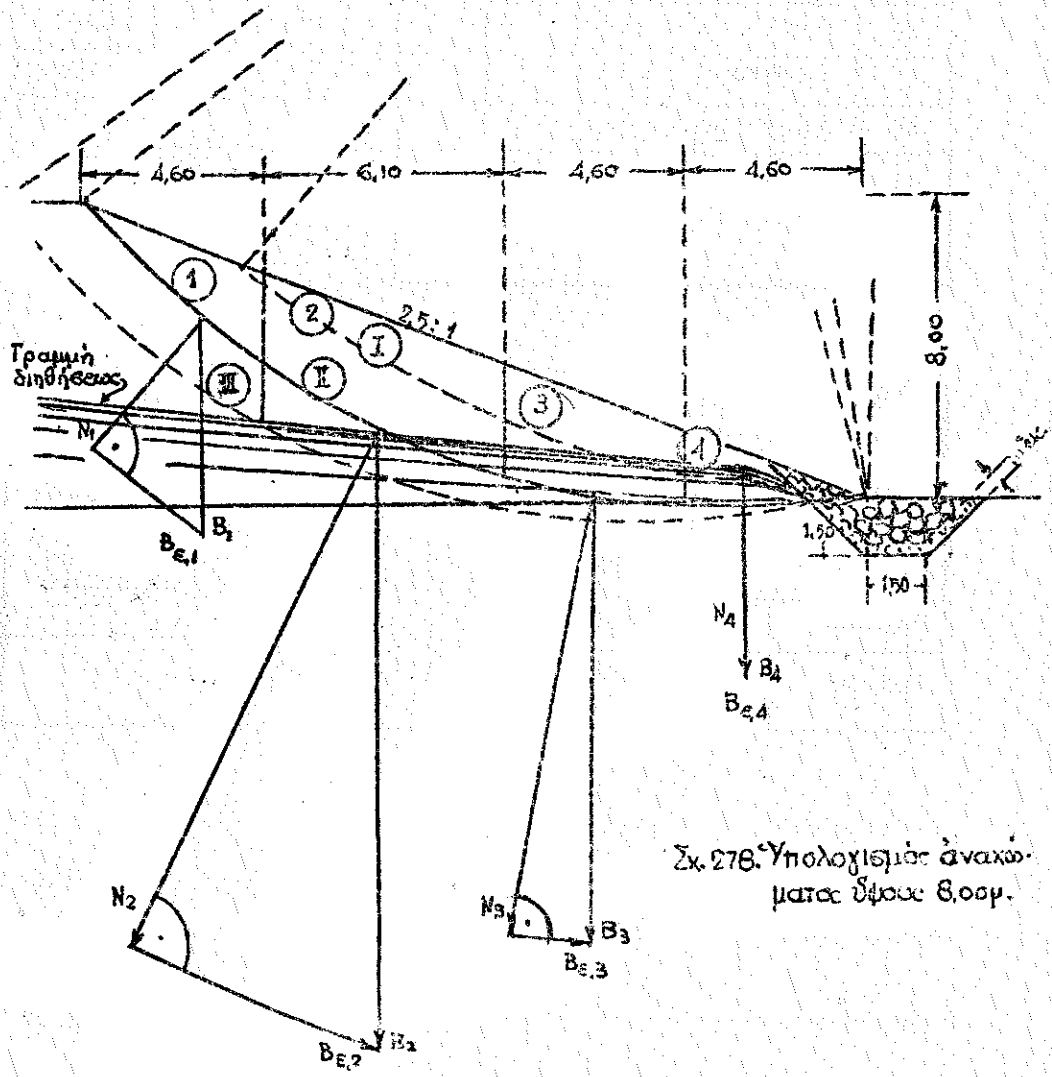
Διά τόν κύκλον II ὁ ἔλεγχος τῶν δυνάμεων δίδει:

$\Sigma(\#)\varepsilon\varphi\phi = 96,71$

$\Sigma B_\varepsilon = 53,53$

Συντελεστής ἀσφαλείας $\frac{96,71}{53,53} = \omega 1,80$





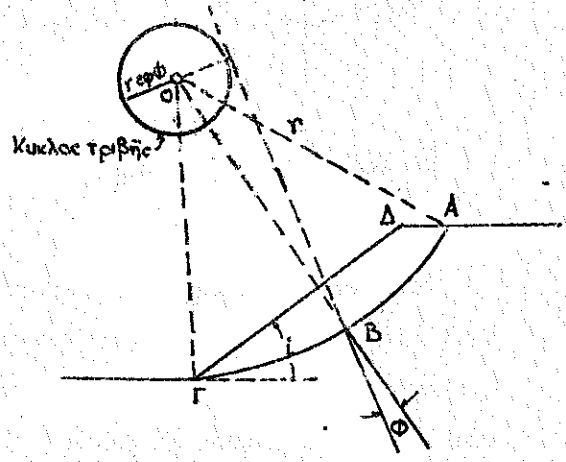
Σχ. 278. Ὑπολογισμός ἀνακώματος ὕψους 8,00μ.

5.5 Ἡ μέθοδος τῶν κύκλων τριβῆς.

Πρός ἀποφυγήν τῆς πολυπλόκου ἐργασίας ἣν ἀπαιτεῖ ἡ μέθοδος τῶν τεμαχίων (πρός ἐξεύρεσιν τῶν στοιχείων τῆς ἐξισώσεως (193)) κατεβλήθη προσπάθεια ἀναπτύξεως εὐχερεστέρας μεθόδου ὑπολογισμοῦ τῆς εὐστάθείας (ἤτοι τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας) τοῦ τμήματος τοῦ πρανοῦς τοῦ κινδυνεύοντος εἰς ὁλίσθησιν θεωρουμένου ὡς ἑνός μόνον τεμάχους. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται διά τῆς μεθόδου τοῦ κύκλου τριβῆς.

Ἄς δεχθῶμεν κατ' ἀρχήν κύκλον ὀλισθήσεως ΑΒΓ (μέ κέντρον Ο καί ἀκτῖνα r) καί γράψωμεν ὁμόκεντρον κύκλον μέ ἀκτῖνα r·ημφ (βλ. Σχ. 279) ὅν καλοῦμεν κύκλον τριβῆς.

Τότε ἐάν ἐξ οἱουδήποτε σημείου (Β) τοῦ κύκλου φέρωμεν ἐφαπτομένην εἰς τόν κύκλον τριβῆς αὕτη θά σχηματίζει μέ τήν ἀκτῖνα τοῦ κύκλου ὀλισθήσεως ΟΒ γωνίαν φ.

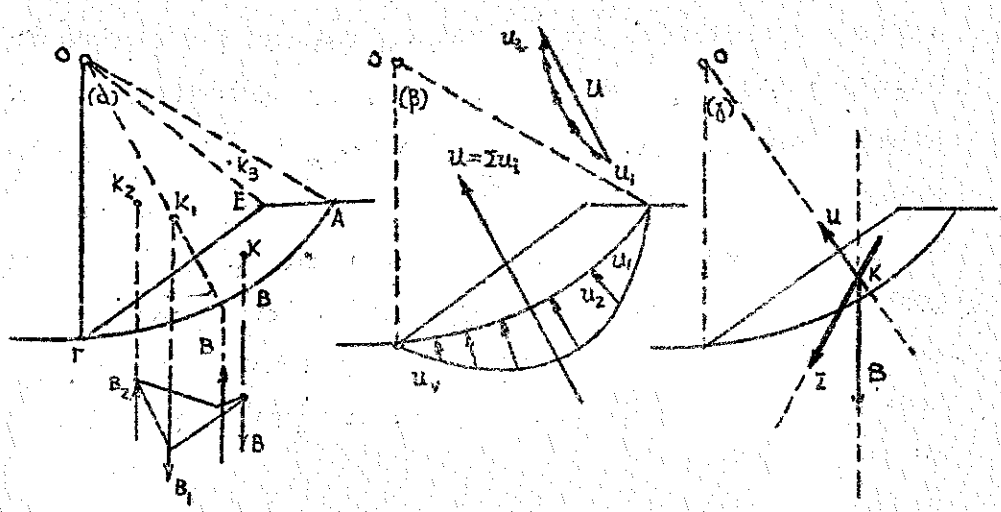


Σχ. 279. Κύκλος τριβῆς (ἤ κύκλος φ)

Ἐξετάσωμεν ἤδη ὑπό τό πρῖσμα τῆς ἰσορροπίας ἑνός πρανοῦς τάς δρώσας δυνάμεις, ἤτοι τάς ἐνεργούς δυνάμεις, αἵτινες τείνουν νά προκαλέσουν τήν ὀλίσθησιν τοῦ πρανοῦς καί τάς ἀντιδρώσας ἤ παθητικάς δυνάμεις αἵτινες

τείνουν νά συγκρατήσουν αὐτό.

Δρῶσαι δυνάμεις, εἶναι τό ἴδιον βάρος Β καί αἱ οὐδέτεραι δυνάμεις τῆς ὑποπιέσεως, ὧν ἡ συνισταμένη ἔστω U. Ἡ συνισταμένη τοῦ Β καί τῆς U εἶναι ἡ δύναμις Σ (βλ. Σχ. 280).



Σχ. 280. Δρῶσαι δυνάμεις ἐπί τοῦ πρανοῦς, σύνθεσις αὐτῶν

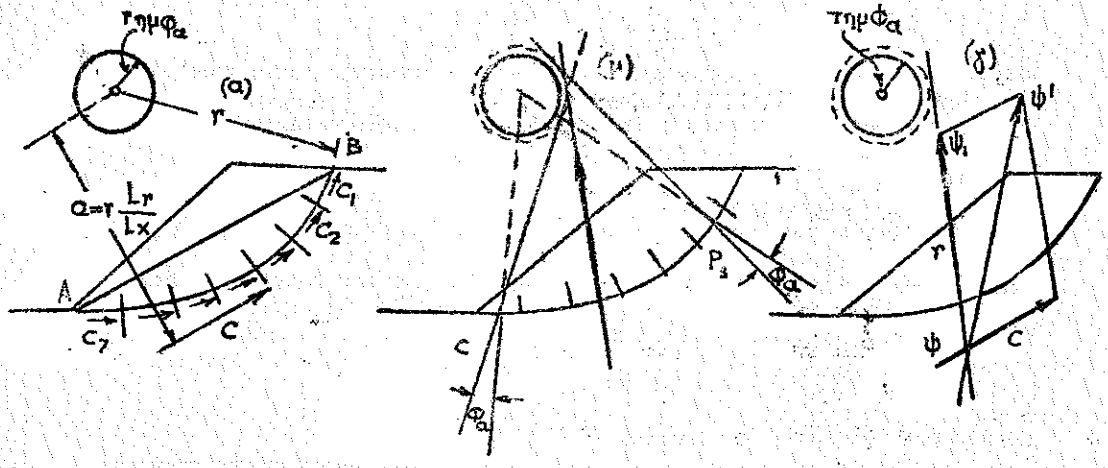
Ὁ προσδιορισμός τοῦ μεγέθους καί τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς τοῦ ἰδίου βάρους Β εἶναι εὐχερής διά κατασκευῆς δυναμοπολυγώνου (μή ἀναχραφομένου εἰς τό σχέδιον) καί σχοινοπολυγώνου ἔνθα τό βάρος Β εὑρίσκεται ὡς διαφορά τοῦ βάρους ΟΑΒΓ (τομεύς κύκλου) ἐξ οὗ ἀφαιροῦνται τά βάρη τῶν τριγώνων ΟΓΕ καί ΕΟΑ.

Τά κέντρα βάρους τῶν σχημάτων αὐτῶν εὑρίσκονται εὐχερῶς (βλ. Σχ. 280 α). Ἡ συνισταμένη τῶν ὑποπιέσεων ὁμοίως εὑρίσκεται εὐχερῶς δοθέντος ὅτι αὕτη θά διέρχεται διά τοῦ κέντρου Ο (ἐφ' ὅσον ὅλαι αἱ συνιστῶσαι διέρχονται δι' αὐτοῦ) τό μέγεθος δέ αὐτῆς προσδιορίζεται δι' ἁπλοῦ δυναμοπολυ-

γώνου (βλ. Σχ. 280 β). Τέλος ἡ συνισταμένη Σ τῶν Β καὶ Ὑ εὑρίσκεται ἀμέσως καὶ εὐχερῶς, ὡς σύνθεσις δύο δυνάμεων (βλ. Σχ. 280 γ).

Αἱ ἀντιδρῶσαι εἰς τὴν ὀλίσθησιν δυνάμεις εἶναι αἱ δυνάμεις συνεκτικότητος (cL) καὶ αἱ δυνάμεις τριβῶν τῶν καθέτων εἰς τὸ τόξον συνισταμένων τοῦ βάρους.

Οὕτω, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 281, αἱ συνισταμεναι τῶν δυνάμεων συνεκτικότητος C ἔχουσιν συνισταμένην τὴν δύναμιν C, ἡ-



Σχ. 281. Ἀντιδρῶσαι δυνάμεις ἐπὶ τοῦ πρανοῦς καὶ σύνθεσις αὐτῶν

τις θὰ εἶναι παράλληλος πρὸς τὴν χορδὴν τοῦ τόξου ΑΒ, μήκους Lx τὸ μέγεθος τῆς δυνάμεως ταύτης θὰ ἰσοῦται μὲ τὰς προβολὰς τῶν κατὰ μέρος δυνάμεων $C_1, C_2 \ldots C_\gamma$ ἐπὶ τοῦ τόξου, δοθέντος ὅτι αἱ κάθετοι πρὸς αὐτὸ συνισταμεναι τῶν C_1 ἕως C_γ ἀλληλοαναιροῦνται, ὡς ἔχουσαι, ἀνὰ ζεύγη, ἀντίθετον κατεύθυνσιν. Τὸ μέγεθος τῆς συνισταμένης θὰ εἶναι $(C_\alpha \cdot L_x)$ ἔνθα L_x εἶναι τὸ μῆκος τῆς εὐθείας ΑΒ ἤτοι τῆς χορδῆς τοῦ τόξου καὶ ἡ διεύθυνσις αὐτῆς παράλληλος πρὸς τὴν χορδήν.

Ἡ ἀπόστασις τῆς συνισταμένης C εὑρίσκεται ὁμοίως εὐ-

κόλως ἐάν λάβωμεν τάς ροπάς ὡς πρός τό κέντρον τοῦ κύκλου ὁπότε :

$$r(C_1 + C_2 + \cdots + C_7) = a \cdot c$$

καί ἐπειδή c εὑρέθη ἤδη ἴσον μέ $C_a L_x$ ἔχομεν :

$$r C_a (l_1 + l_2 + \cdots + l_7) = a \cdot c = a C_a \cdot L_x \qquad (194)$$

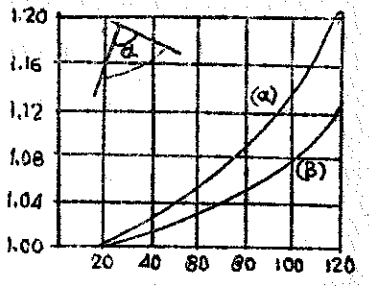
ἔνθα $l_1 + l_2 + \cdots + l_7$ = μῆκος τόξου A ἕως B , ἤτοι L_T καί ἑπομένως :

$$r \cdot C_a L_T = a \cdot C_a \cdot L_x \quad \text{ἤ}$$

$$a = r \cdot \frac{L_T}{L_x} \qquad (195)$$

ἤτοι εὑρίσκεται ἡ ἀπόστασις a τῆς συνισταμένης ἀπό τοῦ κέντρου. Ἡ ἀπόστασις αὕτη εἶναι ἀνεξάρτητος τοῦ συντελεστοῦ συνεπ-κότητος C_a.

Ἐξ ἄλλου αἱ ἀντιδρῶσαι δυνάμεις τριβῆς ($P_i \cdot \varepsilon\varphi\Phi_a$) θά εἶναι ὑλαι ἐκ κατασκευῆς ἐφαπτόμεναι εἰς τόν κύκλον τριβῆς. Ἡ συνισταμένη αὐτῶν θά κεῖται κατά τι ἔξω τοῦ κύκλου τούτου (μλ. σχῆμα 281 β) καί δή θά ἐφάπτεται κύκλου μέ ἀκτίνα $K \cdot r \cdot \eta\mu\Phi_a$ ἔνθα $K > 1$. Ὁ συν/στής οὗτος K, εἶναι συνάρτησις τῆς διανομῆς τῶν δυνάμεων τριβῆς κατά μῆκος τοῦ τόξου. Εἰς τό σχῆμα 282 δίδεται ὁ συντελεστής K, διά τῆς καμπύλης (α) εἰς περίπτωσιν καθ' ἥν αἱ πιέσεις εἶναι ὁμοιόμορφοι ἐπί τοῦ πρανοῦς καί διά τῆς καμπύλης (β) διά τήν περίπτωσιν καθ' ἥν αἱ πιέσεις εἶναι μηδέν εἰς τά δύο ἄκρα τοῦ τόξου μεταβάλλονται δέ κατά ἡμιτονοειδῆ καμπύλη εἰς τά ἐνδιάμεσα σημεῖα.



Σχ.282 Ἐπίκεντρος γωνία α

Τοιουτοτρόπως καθωρίσθη ἡ θέσις τῆς εὐθείας ἐφ ἧς κινεῖται ἡ δύναμις C (ἀπόστασις α) καὶ τὸ μέγεθος αὐτῆς ($C_\alpha \cdot T_\kappa$) ὡς καὶ ἡ κατεύθυνσις τῆς P, ἥτις θὰ ἐφάπτεται τοῦ κύκλου $\kappa \cdot \eta\mu\Phi_\alpha$ καὶ θὰ διέρχεται διὰ τοῦ Φ (βλ. Σχ. 281γ).

Ἤδη ἐρχόμεθα εἰς τὴν ἐξέτασιν τῆς ἰσορροπίας τῶν δρωσῶν καὶ ἀντιδρωσῶν δυνάμεων.

Κατ' ἀρχὴν καθωρίσθη ἡ συνισταμένη Σ (ὡς ἐξετέθη ἀνωτέρω καὶ ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 280γ), ἡ συνισταμένη τῶν δρωσῶν δυνάμεων.

Ἐκ τῶν ἀντιδρωσῶν καθωρίσθη ἤδη ἡ θέσις τῆς εὐθείας ἐφ' ἧς κινεῖται ἡ δύναμις C (ἀπόστασις α) καὶ τὸ μέγεθος αὐτῆς. Τοιουτοτρόπως καθορίζεται τὸ σημεῖον ψ τομῆς τῆς Σ καὶ C (βλ. Σχῆμα 281γ), ὡς καὶ τὸ σημεῖον ψ' ἔνθα τὸ μῆκος ψψ', εἰς καταλλήλως ἀνηγμένην κλίμακα δυνάμεων, παριστᾶ τὸ μέγεθος τῆς δυνάμεως Σ. Ἐὰν ἤδη λάβωμεν τὸ μῆκος $\psi'\psi_1 = C_\alpha T_\kappa$ ἔχομεν τὸ σημεῖον ψ_1 ἔνθα $\psi\psi_1$ θὰ εἶναι τὸ μέγεθος τῶν δυνάμεων τριβῆς P, ὁ δὲ ἐκ τοῦ Ο ἐφαπτόμενος κύκλος εἰς αὐτὴν μᾶς δίδει τὴν ἀκτῖνα $\kappa \cdot \eta\mu\Phi_\alpha$ ἐξ ἧς προσδιορίζεται τὸ μέγεθος Φ_α.

Ἐφ' ὅσον ἤδη ἐκλέξαμεν τὸ μέγεθος C_α καὶ προέκυψεν τὸ μέγεθος Φ_α θὰ ἔχωμεν διὰ τὸ σημεῖον ψ_1:

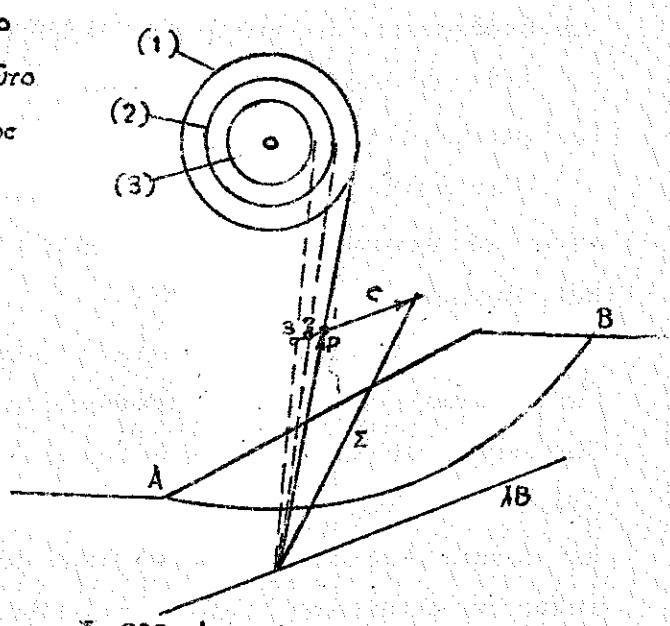
ἐκλεχέντα Συντελεστὴν ἀσφαλ. συνεκτικότητος $\frac{C_e}{C_\alpha} = F_{c,1}$

καὶ προκύπτοντα Συντελεστὴν ἀσφαλ. τριβῶν $\frac{\Phi_e}{\Phi_\alpha} = F_{\Phi,1}$

Κατὰ πᾶσαν πιθανότητα εἰς τὴν πρώτην ἐκλογὴν τοῦ C_α (πλὴν τυχαίας συμπτώσεως) οἱ συντελεσταὶ οὗτοι θὰ εἶναι διάφοροι μεταξύ των (βλ. περὶ συντόνου ἀσφαλείας § 5·2γ σελὶς 359) ὁπότε δὲν γνωρίζομεν τὸ ἀκριβὲς μέγεθος τῆς ἀσφαλείας τοῦ τόξου ἀπὸ κιν-

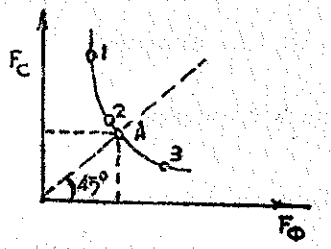
δύνου ἀλισθήσεως, ὡς θά συνέβαινεν ἐάν οἱ συντελεσταί F_c καί F_Φ, ἔχοντες ἐνιαίαν τιμήν, ἦσαν ἴσοι.

Διά τόν ὡς ἄνω λόγον καταβάλλεται προσπάθεια ἐξευρέσεως ἴσων τιμῶν τῶν δύο συν/στῶν ἀσφαλείας. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται εὐκόλως διά τριῶν, τεσσάρων δοκιμῶν ὡς ἀκολούθως: Δίδομεν τρεῖς λ.χ. διαφόρους τιμάς εἰς τό C_α καί εὑρίσκομεν τάς ἀντιστοίχους τιμάς τοῦ Φ_α ἐκ τῶν ἀντιστοίχων τριῶν κύκλων (βλ. Σχ. 283).



Σχ. 283 Δοκιμή ἐξισώσεως συν/στῶν ἀσφαλείας

Λαμβάνοντες ἤδη τούς συν/στάς ἀσφαλείας δι' ἑκάστην δοκιμήν ἐκ τῶν ὁριζόντων C_α καί τῶν ἐξαχθέντων Φ_α καί φέροντες εἰς σύστημα συντεταγμένων τά προκύπτοντα ζεύγη, λαμβάνομεν τό διάγραμμα τοῦ σχημ. 284. Ἐκ τούτου ἤδη προσδιορίζεται τό σημεῖον A δι' ὃ $F_c = F_\Phi$, ὅπερ μᾶς δίδει τόν συν/στήν $F = F_c = F_\Phi$ ἀσφαλείας τοῦ φράγματος, ὡς καί τάς ἀντιστοίχους τιμάς τῶν συντελεστῶν Φ καί C ἤτοι:



Σχ. 284. Μεταβολή συν/στῶν ἀσφαλείας

$$\Phi_\alpha = \frac{\Phi_e}{F} \qquad C_\alpha = \frac{C_e}{F}$$

Εἶναι εὐνόητον ἤδη ὅτι τὸν οὕτω εὑρεθέντα συντελεστὴν F τῆς τομῆς AB, συγκρίνομεν μὲ τοὺς καθ' ὅμοιον τρόπον ὑπολογιζομένους δι' ἄλλους κύκλους $A_1 B_1$, εὑρίσκομεν τὸν δυσμενέστερον ἐξ αὐτῶν καὶ κρίνομεν ἂν ἡ ὑπ' αὐτοῦ προσφερομένη ἀσφάλεια εἶναι ἐπαρκὴς $[F > (1,8 \div 2,0)]$ ἄλλως μεταβάλλομεν τὴν μελέτην.

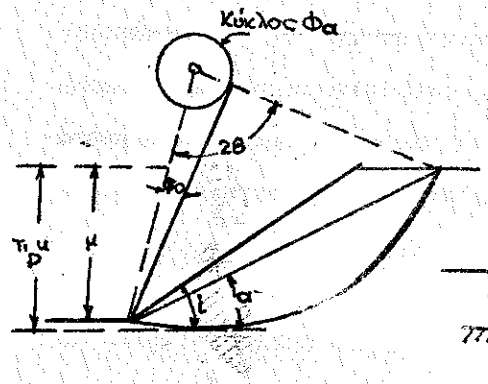
5·6.- Διαγράμματα εὐσταθείας δι' ἁπλᾶς περιπτώσεις. Ἀναγωγὴ συνθέτων τινων περιπτώσεων.

Διὰ τῆς γενικῆς μεθόδου τῶν τεμάχων ἐπιζητεῖται ὁ δυσμενέστερος κύκλος ὀλισθήσεως, διὰ δοκιμῶν κύκλων τινῶν, ἕκαστος, τῶν ὁποίων δοκιμάζεται διὰ τῆς πολυπλόκου ἀναλύσεως εἰς πολλὰ τεμάχη (5·4).

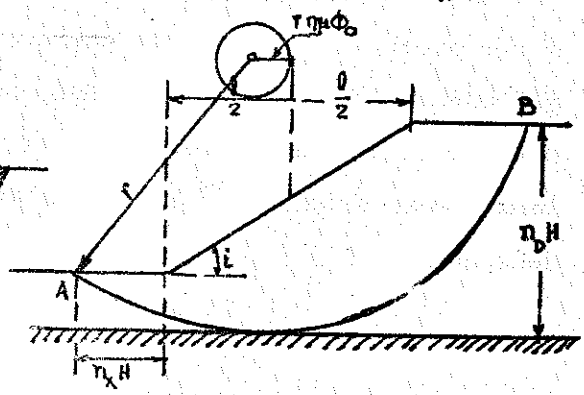
Διὰ τῆς μεθόδου τῶν κύκλων τριβῆς ἐπιτυγχάνεται εἰς ἁπλᾶς περιπτώσεις (ἢ ὑπὸ ὡρισμένας παραδοχὰς) ὁ ἄμεσος προσδιορισμὸς τῆς ἀσφαλείας ἑκάστου κύκλου ὥστε νὰ συντομεύηται κατὰ πολὺ ἡ συγκρισις τῶν πιθανωτέρων κύκλων ὀλισθήσεως (§ 5.5).

Ἤδη εἰς τὴν ἁπλοποιημένην αὐτὴν περίπτωσιν δύνανται τις γεωμετρικῶς νὰ ἀναζητήσῃ ἀπ' εὐθείας τὸν δυσμενέστερον κυκλον καὶ νὰ προσδιορίσῃ, κατὰ τὰ ἀνωτέρω (μέθοδος κύκλου τριβῆς) τὸν προκύπτοντα δυσμενέστερον συντελεστὴν ἀσφαλείας.

Διὰ τὰς ἁπλᾶς περιπτώσεις ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ, ἄνευ διηθήσεως, ἐχούσας συμφώνως πρὸς τὰ σχήματα (285 καὶ 286), ὁ προσδιορισμὸς τοῦ συντελεστοῦ εὐσταθείας δίδεται συναρτήσει τῆς γωνίας τριβῆς Φ, τοῦ συντελεστοῦ συνεκτικότητος C_α καὶ τῆς κλίσεως τοῦ πρανοῦς i.



Σχ. 285



Σχ. 286

Οὕτω διά τήν περίπτωσιν μαλακῆς ἀργίλλου ἔνθα ὡς γνωστόν $\tau = \frac{1}{2} q_u = c$, ἐάν τό c προκαθορισθῆ, τότε τό κρίσιμον ὕψος $H_{κρ}$ πρανοῦς ὑπό γωνίαν i δίδεται ἐκ τῆς ἐξισώσεως:

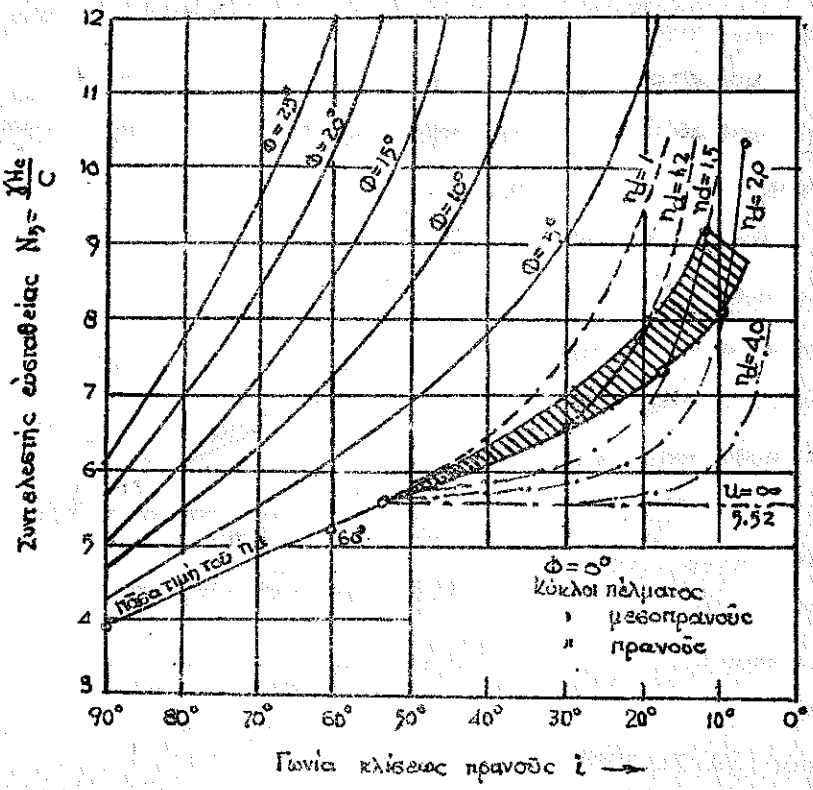
$$H_{κρ} = N_s \frac{c}{\gamma} \qquad (196)$$

ἔνθα N_s εἶναι ὁ ἀνωτέρω δοθείς συντελεστής εὐσταθείας (σελίς 354 ἐξ. 182).

Ὁ συντελεστής εὐσταθείας δίδεται ὑπό τοῦ διαγράμματος εὐσταθείας τοῦ Σχ. 287 ἐξαρτώμενος ἐκ τῆς κλίσεως i καί τοῦ συντελεστοῦ βάθους n_d ἐκφράζοντες τό βάθος καθ' ὅ ἡ ἄργιλλος ἐπικάθηται στερεοῦ ὑποστρώματος.

Ἡ ὀλίσθησις γίνεται συνήθως ἤ κατά κύκλον πέλματος (βλ. σχῆμα 285 καί Σχ. 274α) ἤ κατά κύκλον βάσεως (βλ. Σχ. 286 ἤ Σχ. 274γ καί 274δ) ὁπότε συνήθως ἡ ἐφαπτομένη εἰς τόν κύκλον τριβῆς διέρχεται διά τοῦ μέσου τοῦ πρανοῦς δι' ὅ καί ὁ κύκλος ὀλισθήσεως οὗτος καλεῖται κύκλος μεσοπρανοῦς (mid-point circle) καί εἶναι ἐφαπτόμενος τοῦ στερεοῦ ὑποστρώματος.

Οὕτω εἰς τό Σχ. 287 δίδεται τό διάγραμμα εὐσταθείας



Σχ. 287

Διά κλίσιν πρανοῦς μεγαλυτέραν τῶν 53° ὁ κύκλος ὀλισθήσεως εἶναι κύκλος πέλματος.

Διά $i < 53°$ ὁ κύκλος ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ βάθους τοῦ στερεοῦ ὑποστρώματος ἢ καὶ ἐκ τοῦ συντελεστοῦ n_d.

Διά $n_d = 1$ (ὑπόστρωμα εἰς τὸν πόδα τοῦ πρανοῦς) ἡ ὀλίσθησις γίνεται κατά κύκλον πρανοῦς (Σχ. 274 β ἔνθα D=0).

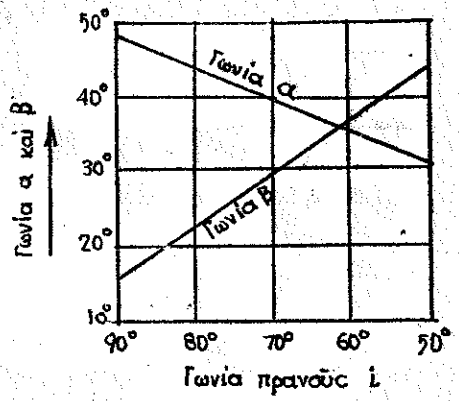
Διά $n_d > 4,0$ ἡ ὀλίσθησις γίνεται κατά κύκλον μεσοπρανοῦς καὶ εἶναι σχεδόν ἀνεξάρτητος τῆς κλίσεως τοῦ πρανοῦς.

Διά τιμάς $1,0 < n_d < 4$ ἡ ὀλίσθησις γίνεται κατά κύκλον

πρανοῦς ἐφ ὅσον αἱ τιμαὶ τοῦ n_d καὶ b δίδουν σημεῖα ἄνω τῆς διαγραμμισμένης ἐπιφανείας τοῦ σχήματος 287 καὶ κατὰ κύκλους μεσοπρανοῦς ἐφ'ὅσον εὑρίσκονται κατωθεν αὐτῆς.

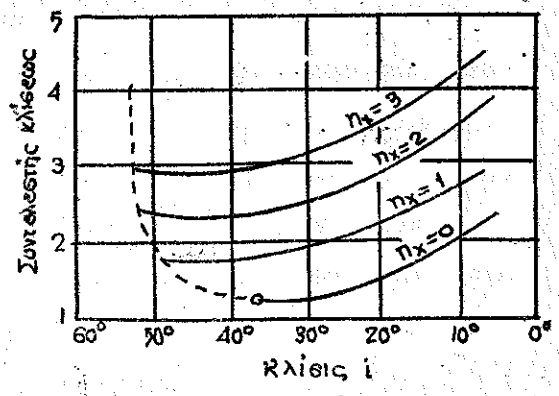
Διὰ σημεῖα (n_d, i) εὑρισκόμενα ἐντὸς τῆς διαγραμμισμένης ἐπιφανείας, ἡ ὀλίσθησις γίνεται κατὰ κύκλους πέλματος.

Διὰ κύκλον ὀλισθήσεως πέλματος, δυνάμεθα νῦν νὰ προσδιορίσωμεν καὶ τὸ κέντρον τοῦ ἐπικινδυνοτέρου κύκλου ἐκ τοῦ σχήματος 288, εἰς τὸ ὁποῖον αἱ γωνίαι α καὶ ο προσδιορίζονται συναρτήσει τῆς γωνίας τοῦ πρανοῦς i.



Σχ.286 Γωνία α καὶ β συναρτήσει i

Ἐξ ἄλλου διὰ τὴν περίπτωσιν κ... ...υ μεσοπρανοῦς (βλ. Σχ. 286) δυνάμεθα νὰ προσδιορίσωμεν εὐχερῶς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου ἐφ'ὅσον τοῦτο θὰ κεῖται ἐπὶ τῆς κατακορύφου ἐπὶ τοῦ μέσου τοῦ πρανοῦς ($\Phi_a \cong 0$ ἡμΦ_a = = 0) καὶ ὁ κύκλος τριβῆς γίνεται σημεῖον καὶ διὰ τοῦ σημείου Α ὅπερ κεῖται εἰς ἀπόστασιν $n_x H$ ἀπὸ τοῦ ποδὸς τοῦ πρανοῦς.



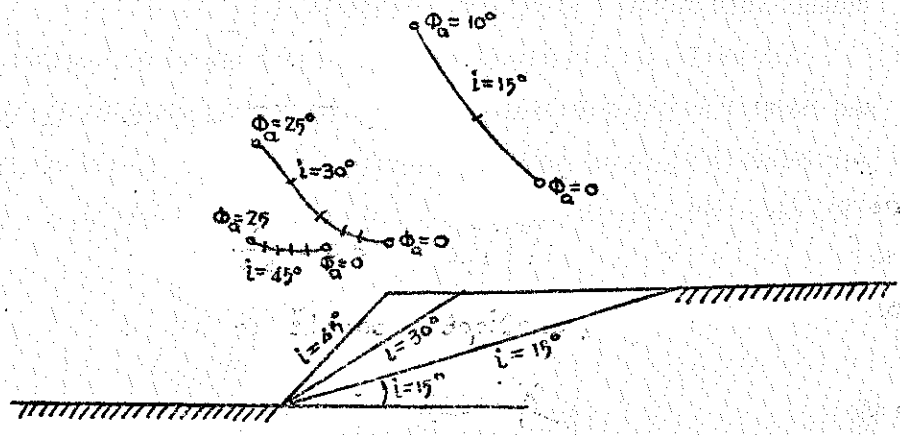
Σχ.289

Ὁ συντελεστὴς n_x ἤδη εὑρίσκεται ἐκ τοῦ διαγράμματος τοῦ σχήματος 289 συναρτήσει τῆς κλίσεως i καὶ τοῦ συντελεστοῦ n_d.

Διὰ τὴν περίπτωσιν ἀμμωδῶν ἐδαφῶν ($\Phi > 0$) ὁ συντελεστὴς εὐσταθείας δίδεται πάλιν ὑπὸ τοῦ διαγράμματος τοῦ Σχ. 287 διὰ τῶν καμπυλῶν ἄνω τοῦ σημείου τῶν 59° καὶ δι' ἀναλόγως τῆς ἑκάστοτε γωνίας τριβῆς Φ.

Αἱ καμπύλαι αὗται εἶναι εὐνόητον ὅτι ἔχουσιν ἀσύμπτωτον ἑκάστη τὴν τεταγμένην δι' ἣν ἡ τετμημένη i γίνεται ἴση μὲ τὴν τιμὴν τῆς ἀντιστοίχου καμπύλης Φ. Τότε $N_s \to \infty$ καὶ $\Phi = i$.

Διὰ τὰς περιπτώσεις αὐτὰς δύναται νὰ προσδιορισθῇ τὸ κέντρον τοῦ δυσμενεστέρου κύκλου καθ' ἱκανὴν προσέγγισιν ὑπὸ τοῦ Σχ. 290.

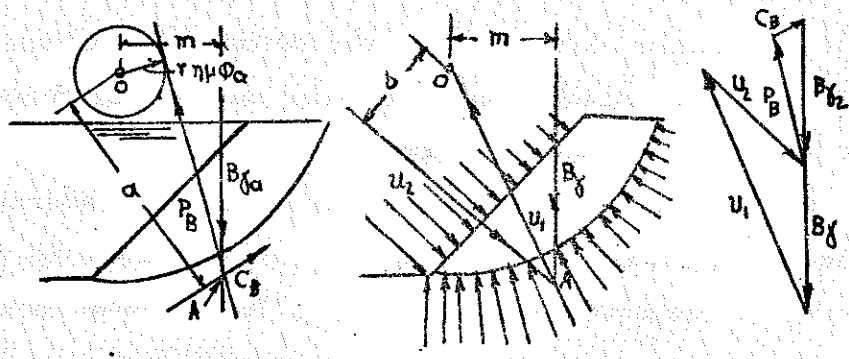


Σχ. 290. Γεωμετρικὸς τόπος τοῦ κέντρου τοῦ δυσμενεστέρου κύκλου, συναρτήσει i καὶ Φ_o, διὰ ὁλίσθησιν κατὰ κύκλον πέλματος (Taylor).

Περαιτέρω, δίδεται εἰς τὴν βιβλιογραφίαν ὁ τρόπος μελέτης διὰ τοῦ κύκλου τριβῆς εἰδικῶν περιπτώσεων καθ' ἃς ἡ θέσις τοῦ ὕδατος μεταβάλλει τὴν ἰσορροπίαν τῶν ἐπενεργουσῶν δυνάμε-

ων ἐπί τοῦ πρανοῦς.

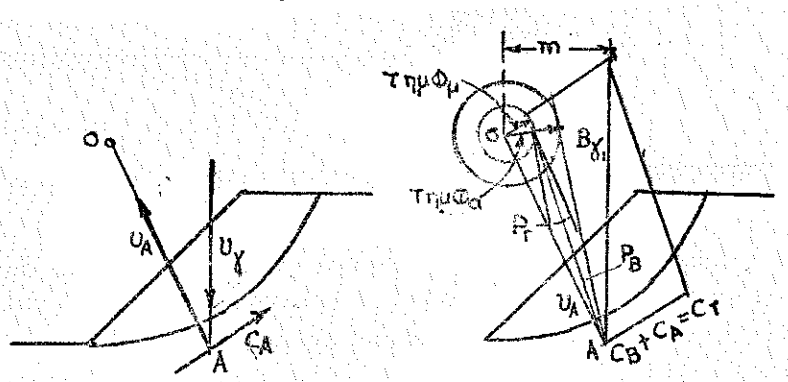
Οὕτω εἰς τό Σχ. 291 δίδεται ἡ περίπτωσις τῆς ἰσορροπίας τῶν δυνάμεων εἰς τελείως βυθισμένον πρανές, οὗτινος αἱ συν-



Σχ. 291 Ἰσορροπία βυθισμένου πρανοῦς.

θῆκαι ἰσορροπίας εἶναι λίαν εὐμενεῖς.

Εἰς τό Σχ. 292 δίδεται ἡ περίπτωσις αἰφνιδίας σταθμηπτώσεως ὅπου ἡ ἐνεργός σύναμις : ὄγκος $x\gamma_{o,\kappa}$ ($\gamma_{o,\kappa}=2,16$ εἰς τό παράδειγμα σελιδ. 349) εἶναι τάξεως διπλασίας ἤ εἰς τήν περίπτωσιν τοῦ Σχ. 91, ὅπου ἦτο : ὄγκος $x\gamma_{\ddot{a}}$ ($\gamma_{\ddot{a}}=1,15$ συμφώνως σελ. 349).



Σχ 292 Ἰσορροπία πρανοῦς ἐν αἰφνιδίᾳ σταθμηπτώσει

Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει θά ἔχωμεν δύναμιν $C_r=C_A+C_B$ καί ἡ συνιστῶσα τῶν δυνάμεων τριβῆς τώρα θά εἶναι ἡ P_r (συνιστῶσα τῶν P_B καί U_A) ἀντί τῆς προηγουμένης P_B.

Γράφοντες τὸν κύκλον μ' ἀκτῖνα $r\cdot\eta\mu\Phi_\mu$ (μικροτέραν τῆς ἀκτῖνος $r\cdot\eta\mu\Phi_\alpha$) λαμβάνομεν ἐκ τοῦ σχήματος :

$$P_r(r\cdot\eta\mu\Phi_\mu) = P_\beta\cdot r\cdot\eta\mu\Phi_\alpha \qquad (197)$$

ὁπόθεν προκύπτει ἡ μέση γωνία Φ_μ :

$$\eta\mu\Phi_\mu = \frac{P_\beta}{P_r}\,\eta\mu\Phi_\alpha \qquad (198)$$

ἤ

$$\Phi_\mu = \frac{\gamma_\alpha}{\gamma_{o,\kappa}}\,\Phi_\alpha \qquad (199)$$

καί ἡ συνθήκη ἰσορροπίας μᾶς δίδει :

$$\text{Ὁ}\cdot\gamma_{o,\kappa} = P_r\cdot r\eta\mu\Phi_\mu + C_r\cdot\alpha$$

καί ἡ λύσις τῆς περιπτώσεως ταύτης δίδεται διά τήν διαγραμμητήν εὐσταθείας ἄν θέσωμεν $\gamma_{o,\kappa}$ δια γ ($\gamma_{o,\kappa}$~1,80-2,10 t/m^3 καί ἄν λάβωμεν ἀντί τοῦ Φ_α τό Φ_μ ἐκ τῆς ἐξισώσεως (199).

Ἡ περίπτωσις αὕτη εἶναι καί ἡ συμφερωτάτη. Ἀποδεικνύεται εὐκόλως ὅτι ἡ συνήθης περίπτωσις σταθερᾶς ροῆς (ἐξετασθεῖσα διά τῆς μεθόδου τῶν τεμάχων τοῦ Σχ. 276α) καί εὐμενεστέρα ταύτης.

5-7 Ὑπολογισμός ὑδατοπλάστων φραγμάτων.

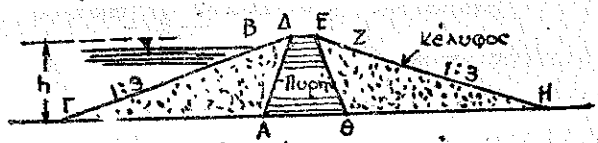
Διά τά ὑδατόπλαστα φράγματα ὁ G.Gilboy (Mechanics of Hydraulic-Fill Dams 1934) καταλήγει κατόπιν ἀναλυτικῆς ἐρεύνης εἰς τόν τύπον :

$$\sqrt{R} = \frac{(C-A)\sqrt{1+B^2}+\sqrt{C-A}\,\sqrt{C-B}\,\sqrt{1+A^2}}{(1+C^2)-(C-A)(C-B)} \qquad (200)$$

ὅπου A καί C ἡ συνεφαπτομένη τῆς γωνίας κλίσεως τοῦ πρανοῦς τοῦ πυρῆνος πρός τήν ὁριζοντίαν, καί τῆς γωνίας κλίσεως τοῦ ἐξωτερικοῦ πρανοῦς τοῦ κελύφους, ἀντιστοίχως.

B ἡ σφ. τῆς γωνίας τοῦ πρανοῦς τοῦ ὑλικοῦ τοῦ κελύφους καί

R ὁ λόγος τῆς μονάδος βάρους τῶν ὑλικῶν τοῦ πυρῆνος πρὸς τὴν τοῦ κελύφους. Δοθέντος ὅτι ὁ τελευταῖος οὗτος λόγος θά ἐξάγεται καί ἐπί τῇ βάσει τῶν χρησιμοποιουμένων ὑλικῶν καί ἔστω ὅτι εὑρίσκεται ἴσος μέ R_1, θά προκύπτει τότε ἐκ τοῦ ὑπολογισμοῦ τοῦ R ὁ συντελεστής ἀσφαλείας : $F_y = \frac{R}{R_1}$ (201)



Σχ. 293 Ὑδατόπλαστον φράγμα.

Ἔστω ὑδατόπλαστον φράγμα ὡς ἐν σχήματι 293 ὅπου :

$$A = 0,333 \quad B = 1,428 \quad C = 3,000$$

ὁπότε συμφώνως πρός τήν ἐξίσωσιν (201) : $R = 1,37$

Ἐκ παραλλήλου ἔστωσαν αἱ τιμαί :

α) Διά τό κελυφ. : $\gamma_1 = 2,62$ $n = 32\%$ $\gamma_{o,\xi} = 2,62(1,0-0,32) = 1,782$ $\gamma_{o\kappa} = 1,782 + 1 \cdot 0,32 = 2,102$

$\Phi_2 = 35^\circ$ $\gamma_\alpha = 2,102 - 1,00 = 1,102$ $\gamma_{o\,\delta_{\gamma\rho}} = 1,84$

β) Διά πυρῆνα : $\Phi_1 = 18^\circ$ $\gamma_1 = 2,62$ $\eta = 40\%$ $\gamma_{o\xi} = 2,62(1,0-0,4) = 1,572$ $\gamma_{o\kappa} = 1,572 + 1,0 \cdot 0,4 = 1,972$

Ἐάν δεχθῶμεν ὅτι κατά τό τέλος τῆς κατασκευῆς τό ὑλικόν τοῦ κελύφους θά εἶναι κατά τό ἥμισυ βυθισμένον ($\gamma_\alpha = 1,102$) καί κατά τό ἥμισυ ὑγρόν ($\gamma_{o,u} = 1,84$), τότε θά ἔχη βάρος μονάδος $\frac{1}{2}(1,84 + 1,10) = 1,47$. Τό ὑλικόν τοῦ κεκορεσμένου πυρῆνος ἔχει βάρος $\gamma_{o\kappa} = 1,972$ καί γωνίαν τριβῆς $\Phi = 18$, ὁπότε τό ἰσοδύναμον ὑγρόν βάρος μονάδος θά εἶναι :

$$(1,972) \cdot \varepsilon\varphi^2(45^\circ - \Phi/2) = 1,972\ \varepsilon\varphi^2 36^\circ = 1,972 \cdot 0,528 = 1,04$$

καί ὁ λόγος : $R_1 = \frac{1,035}{1,47} = 0,71$

ἤτοι ὁ συντελεστής ἀσφαλείας, κατά τό πέρας τῆς κατασκευῆς θά εἶναι:

$$\varepsilon_\gamma = \frac{R}{R_1} = \frac{1,37}{0,71} = 1,93$$

Εἰς περίπτωσιν αἰφνιδίας πτώσεως τῆς στάθμης ἀνάντη τοῦ φράγματος, ἡ δυσμενεστάτη περίπτωσις θά εἶναι νά παραμείνη τό κέλυφος πλήρως κεκορεσμένον ἐν ἀνάσει (ὅπερ ἀπίθανον διότι τό κέλυφος εἶναι ἐκ κατασκευῆς ὑδροπερατόν) ὁπότε τό βάρος τοῦ κέλυφος ἔστωσαν :

$$\gamma_\alpha = 1,102 \text{ καί } R_1 = \frac{1,04}{1,102} = 0,95 \text{ καί } F_y = \frac{1,37}{0,95} = 1,44$$