

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : " ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΦΕΡΟΥΣΑ

ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ "

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : Π. ΜΑΝΤΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΦΩΤΗΣ ΚΑΤΣΩΝΑΣ

ΠΑΤΡΑ, 2001

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	3220
----------------------	------

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή
2. Ενεργός τάση. Τάση του ύδατος πόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

- 3 ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
 - 3.1 Εισαγωγή
 - 3.2 Το φαινόμενο της κύριας στερεοποίησης
 - 3.3 Υπολογισμός της επιδράσεως του χρόνου στο βαθμό στερεοποίησης.
 - 3.4 Δευτερεύουσα στερεοποίηση ή δευτερεύουσα συμπίεση.
 - 3.5 Διερεύνηση του γενικού προβλήματος της στερεοποίησης
 - 3.6 Στερεοποίηση -συμπεράσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

- 4 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
 - 4.1 Ορισμοί-Χαρακτηριστικά της θεμελίωσης
 - 4.2 Εισαγωγή
 - 4.3 Μορφές θραύσης του εδάφους
 - 4.4 Γενικά
 - 4.5 Υπολογισμός του φορτίου θραύσεως στην περίπτωση κατακόρυφης συμμετρικής φορτίσεως.
 - 4.6 Διορθώσεις της σχέσεως της φέρουσας ικανότητας.
 - 4.6.1 Επίδραση του υπόγειου νερού στην φέρουσα ικανότητα
 - 4.6.2 Επίδραση του σχήματος της θεμελίωσης στην φέρουσα ικανότητα
 - 4.6.3 Έκκετρα φορτία
 - 4.6.4 Κεκλιμένα φορτία
 - 4.6.5 Κεκλιμένα πέδιλα
 - 4.6.6 Θεμελίωση σε πρανές
 - 4.7 Εφαρμογές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

- 5 ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ
 - 5.1 Εισαγωγή
 - 5.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός
 - 5.2.1 Ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός
 - 5.2.2 Γενικός εργαστηριακός εξοπλισμός
 - 5.2.3 Προπαρασκευή του δοκιμίου
 - 5.2.4 Περιγραφή - Πορεία της δοκιμής
 - 5.2.5 Υπολογισμοί.

1. Εισαγωγή

Η παραμόρφωση των εδαφικών υλικών λόγω επιβολής θλιπτικών φορτίων, οφείλεται κυρίως στην μείωση του όγκου των κενών που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων. Αν λάβουμε μάλιστα υπ' όψη, ότι στα περισσότερα έργα, τα επιβαλλόμενα φορτία δεν είναι τόσο μεγάλα, ώστε να προκαλέσουν σημαντική παραμόρφωση των κόκκων, η μεταβολή του όγκου ενός εδαφικού υλικού, μπορεί να αποδοθεί κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην μείωση του όγκου των κενών.

Η εν λόγω ιδιότητα των εδαφικών υλικών, είναι γνωστή ως συμπιεστότητα.

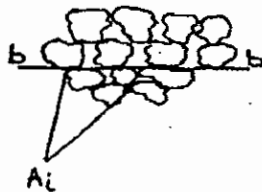
Στα κεκορεσμένα εδαφικά υλικά, η συμπιεστότητα συνεπάγεται αποβολή του ύδατος των πόρων και επομένως η μεταβολή του όγκου συνδέεται με τον ρυθμό εκροής του ύδατος-στερεοποίηση.

Η παραμόρφωση του εδάφους, από την επιβολή ορθών θλιπτικών τάσεων, ερευνάται εργαστηριακώς συνήθως με τη βοήθεια της δοκιμής του συμπιεσομέτρου, η οποία αποτελεί δοκιμή θλίψεως στην οποία παρεμποδίζεται πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου.

Στην πραγματικότητα οι συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκεται το φυσικό έδαφος αφήνεται της προϋποθέσεως μηδενικής πλευρικής παραμορφώσεως. Σε αυτή την περίπτωση θα προσέγγιζε την πραγματικότητα τριαξονική δοκιμή, με επιβολή πλευρικών πιέσεων ανταποκρινόμενων προς την φυσική εντατική κατάσταση του εδαφικού δείγματος.

2. Ενεργός τάση. Τάση του ύδατος πόρων.

Προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός εδαφικού υλικού, κατά την εφαρμογή σ' αυτό εξωτερικής τάσεως σ , πρέπει προηγουμένως να εξετασθεί κατά ποίον τρόπο η τάση αυτή κατανέμεται μεταξύ των στοιχείων, τα οποία συνθέτουν αυτό - κόκκοι, ύδωρ, αέρας. Εξετάζεται χάριν απλότητας, η συνήθης περίπτωση κεκορεσμένου εδαφικού



Σχ. 1 Τομή εδάφους

δείγματος. Έστω η οριζόντια τομή (b-b) του δείγματος (Σχ. 1) η οποία μη τέμνοντας τους κόκκους διέρχεται δια μέσου των σημείων επαφής των κόκκων.

Εάν στο εδαφικό δείγμα εφαρμοστεί μια τάση εξωτερική σ , ένα μέρος αυτής θα παραληφθεί από τους κόκκους μεταβιβαζόμενο μέσω των επιφανειών επαφής αυτών A_i , το υπόλοιπο θα παραληφθεί από το ύδωρ των πόρων, το οποίο καταλαμβάνει τον μεταξύ των κόκκων χώρο.

Εάν ληφθεί το άθροισμα όλων των καθέτων στην επιφάνεια της τομής (b-b) συνιστωσών των δυνάμεων, οι οποίες ασκούνται μεταξύ των κόκκων, θα προκύψει μια συνισταμένη δύναμη, η οποία αναγόμενη σε επιφάνεια (b-b) του δείγματος δίνει μια τάση σ' . Η τάση αυτή ονομάζεται ενεργός τάση αντιπροσωπεύει το τμήμα της εξωτερικής πίεσεως σ (ολικής τάσεως) το οποίο παραλαμβάνεται από τους κόκκους. Η παραλαμβανόμενη από το νερό των πόρων τάση u , ονομάζεται τάση πόρων.

Εάν A είναι η επιφάνεια της οριζόντιας τομής (b-b) του δείγματος και α το ποσοστό της επιφάνειας A , το οποίο καταλαμβάνουν τα σημεία επαφής των κόκκων, θα πρέπει να ισχύει η σχέση :

$$\sigma \cdot A = \sigma' \cdot A + u(1-\alpha) \cdot A \quad \text{ή} \quad \sigma = \sigma' + u(1-\alpha) \quad (1)$$

Η τιμή του α δεν είναι δυνατό να προσδιορισθεί επακριβώς, επειδή όμως αποτελεί ελάχιστο ποσοστό της ολικής επιφάνειας A , μπορεί χωρίς μεγάλο σφάλμα να τεθεί :

$(1-\alpha) \cdot A \approx A$ και επομένως :

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2)$$

Πρέπει να τονισθεί ότι η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για πλήρως κεκορεσμένα εδαφικά υλικά, ενώ για τα μη κεκορεσμένα δίνεται η από τον Bishop προτεινόμενη σχέση :

$$\sigma = \sigma' + u\alpha - \chi(u\alpha - uw) \quad (3)$$

όπου : $u\alpha$ η πίεση του αέρα των πόρων,

uw η πίεση του νερού των πόρων,

χ το ποσοστό της επιφάνειας A το οποίο καταλαμβάνεται από νερό

($\chi=1$ για κεκορεσμένο εδαφικό υλικό)

Εκ των (2) και (3) προκύπτει ότι η τάση πόρων U για τα μη κεκορεσμένα συστήματα είναι συνάρτηση των τάσεων του νερού k' του αέρος των πόρων.

$$u = u_a - \chi \cdot (u_a - u_w)$$

(4)

Συνήθως στην πράξη χρησιμοποιείται για απλούστευση η σχέση (2) και για τα μη κεκορεσμένα εδαφικά υλικά. Η πίεση του νερού των πόρων σε κάθε σημείο, δρα προς όλες τις διευθύνσεις, προκαλώντας μόνο υδροστατική συμπίεση των κόκκων, η οποία μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Παραμόρφωση του εδαφικού σκελετού θα προέλθει μόνο από τη μεταβολή της ενεργού τάσεως, γι' αυτό και έχει σημασία η γνώση αυτής κατά την μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

3. Στερεοποίηση του εδάφους

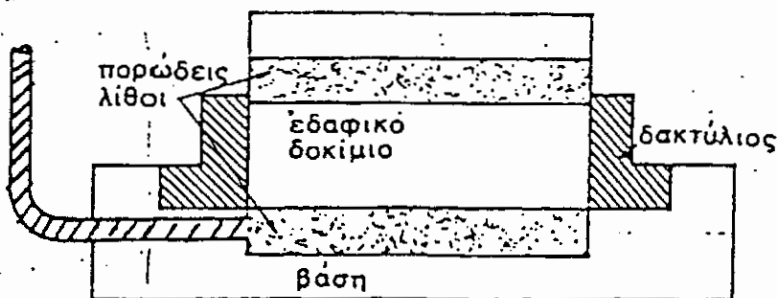
3.1 Εισαγωγή

Στερεοποίηση του εδάφους είναι η παραμόρφωση που οφείλεται στην απομάκρυνση του νερού των πόρων που πλεονάζει, όταν το έδαφος δέχεται εξωτερικά φορτία.

Για τα χονδρόκοκκα εδάφη δεν υπάρχει θέμα στερεοποιήσεως, γιατί το νερό των πόρων απομακρύνεται εύκολα, όταν το έδαφος φορτισθεί και δεν εμποδίζει έτσι την παραμόρφωση.

Αφού όμως η παραμόρφωση αντιστοιχεί σε μια εκροή ύδατος πόρων, η ολική καθίζηση απαιτεί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να συμπληρωθεί. Σε κάθε χρονική στιγμή μετά τη φόρτιση του εδάφους θα πραγματοποιείται ένα μέρος της ολικής καθιζήσεως. Ο υπολογισμός του ποσοστού καθιζήσεως σε συνάρτηση με το χρόνο, καθώς και του ολικού χρόνου καθιζήσεως, αποτελεί το αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού.

Η μελέτη της επιδράσεως του χρόνου στην καθίζηση μπορεί να γίνει στο εργαστήριο, με τη βοήθεια του οιδημέτρου του Terzaghi.



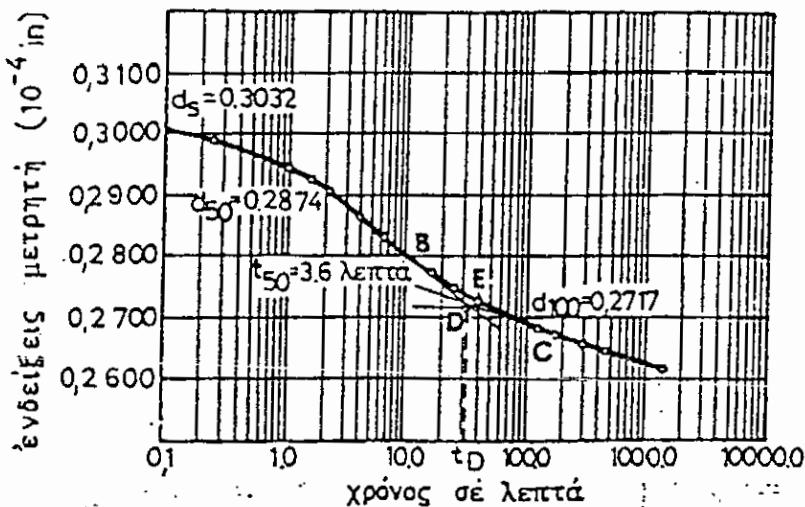
Σχ. 11

Το οιδήμετρο επιτρέπει τη μελέτη της καθίζησης με ένα κυλινδρικό δοκίμιο αργίλου μικρών διαστάσεων (πάχος 2 cm, διάμετρος 6 cm).

Το δοκίμιο τοποθετείται ανάμεσα σε δύο πορώδεις λίθους Σχ. 2.1 . Πλευρικά περιορίζεται απο επιφάνεια κυλινδρική που εμποδίζει κάθε διόγκωση.

Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων. Το φορτίο εφαρμόζεται σε διαδοχικές φάσεις για να χαραχθεί η καμπύλη φορτίο-δείκτης πόρων.

Για κάθε φορτίο, που παραμένει 24 ώρες ή 1440 λεπτά, χαράσσεται η καμπύλη, λογάριθμος του χρόνου σε λεπτά, ολικό ύψος του δοκιμίου σε ίντσες. Η καμπύλη έχει τη μορφή του σχήματος 2.2



Σχ. 12

Παρατηρείται μια σχετικά μεγάλη παραμόρφωση μέχρι ένα σημείο

D, που αντιστοιχεί θεωρητικά στο τέλος της στερεοποιήσεως. Ο χρόνος t_p που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό είναι ο χρόνος της στερεοποιήσεως. Η παραμόρφωση του εδάφους, με σταθερό φορτίο, συνεχίζεται και μετά το σημείο D, αλλά με αργότερο ρυθμό. Η καθίζηση αυτή ονομάζεται δευτερεύουσα στερεοποίηση ή δευτερεύουσα συμπίεση.

3.2 Το φαινόμενο της κύριας στερεοποιήσεως

Είναι γνωστό ότι αν εφαρμοσθεί τάση σ σε αργιλικό έδαφος, μέρος της τάσεως μεταφέρεται στο νερό των πόρων, του οποίου η πίεση αυξάνεται στιγμιαία. Η υπερπίεση αυτή λαμβάνεται ίση με u .

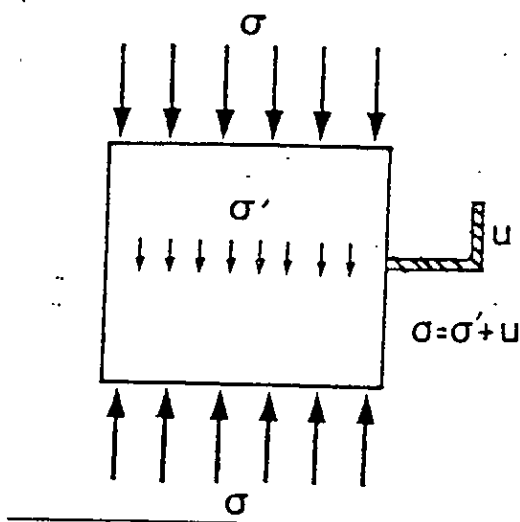
Η τάση σ' του στερεού σκελετού του εδάφους, που ονομάζεται στερεά ή ενεργός τάση, έχει συνεπώς τιμή χαμηλότερη από το σ και ίση με,

$$\sigma' = \sigma - u$$

Η δημιουργία των υπερπιέσεων u οφείλεται στους παρακάτω λόγους :

- 1) Για εδάφη με χαμηλή διαπερατότητα, όπως είναι οι άργιλοι, η εκροή του νερού χρειάζεται αρκετό χρόνο, που είναι συνάρτηση της αποστάσεως από τα διαπερατά στρώματα. Για τα χονδρόκοκκα εδάφη έχουμε από την αρχή, $\sigma' = \sigma$
- 2) Το νερό μπορεί να θεωρηθεί σαν ασυμπίεστο σε σχέση με το έδαφος. Η μείωση του όγκου κατά μονάδα $\frac{\Delta V}{V}$, για πίεση 1 kg/cm^2 , είναι ίση προς $\frac{1}{22.000}$ για το νερό, ενώ είναι ίση προς $\frac{1}{100}$ για την άργιλο και $\frac{1}{1000}$ για την άμμο. Αλλά, όταν αυξάνεται η πίεση του νερού, δημιουργείται υδραυλική βαθμίδα και το νερό μπαίνει σε κίνηση και απομακρύνεται η περιεκτικότητα σε νερό μειώνεται και κατά συνέπεια τα κενά των πόρων καταλαμβάνονται από τους κόκκους που μετατοπίζονται, γιατί παίρνουν μεγαλύτερο

μέρος της ολικής τάσεως. Η καθίζηση του εδάφους αυξάνεται μέχρι τη στιγμή που μηδενίζεται η υπερπίεση και όλη η τάση μεταφέρεται στο σκελετό των κόκκων, οπότε επέρχεται ισορροπία. Η βαθμιαία μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, για ένα σταθερό φορτίο αποτελεί το φαινόμενο της κύριας στερεοποιήσεως.



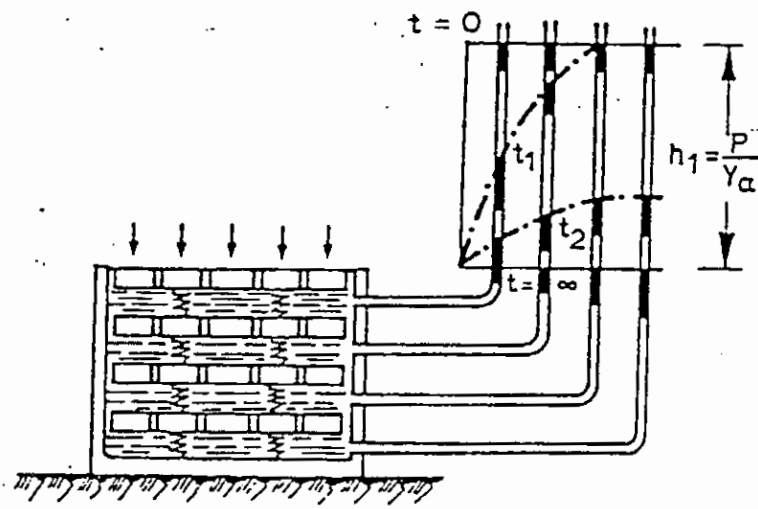
Σχ. 13

Ο Terzaghi για να εξηγήσει τη συμπεριφορά του εδάφους, δίνει ένα παράδειγμα που αντιστοιχεί σ' ένα ανάλογο φαινόμενο. (Σχ.14) θεωρεί κυλινδρικό δοχείο μέσα στο οποίο υπάρχουν διάτρητοι δίσκοι συνδεδεμένοι με ελατήρια. (Σχ.14) Το δοχείο είναι γεμάτο νερό μέχρι την επιφάνεια του πρώτου δίσκου που κυκλοφορεί ελεύθερα μέσα απο

τους δίσκους, χάρη στην ύπαρξη των οπών.

Όταν εφαρμοσθεί ένα φορτίο p στην επιφάνεια του δοχείου, την πρώτη στιγμή, πριν το νερό φύγει απο τις οπές του πρώτου δίσκου, και αφού τα ελατήρια δεν μπορούν να παραλάβουν φορτίο αν δεν μετακινηθούν, όλο το φορτίο μεταβάλλεται σε πίεση νερού, $u = p = h_1 \cdot \gamma_w$, την οποία μπορούμε να παραστήσουμε με οριζόντια ευθεία, σε ύψος h_1 πάνω απο το δίσκο. Ύστερα απο ένα χρονικό διάστημα t_1 , μέρος του νερού που περιέχεται ανάμεσα στον πρώτο και τον δεύτερο δίσκο, κύνεται απο τις οπές του πρώτου δίσκου, και τα ε-

λατήρια ανάμεσα στους δύο πρώτους δίσκους παραμορφώνονται.



Σχ. 14

Μέρος του φορτίου μεταφέρεται με τα ελατήρια και η πίεση του νερού μειώνεται στο επάνω μέρος, αλλά εξακολουθεί να είναι ίση με ρ στο κάτω μέρος του δοχείου. Η καμπύλη πίεσεως παίρνει τη μορφή (t_1). Το φαινόμενο εξακολουθεί με τον ίδιο τρόπο. Μετα την πάροδο χρόνου t_2 η πίεση παριστάνεται με την καμπύλη (t_2) και ούτω καθεξής, μέχρι ότου μετα πάροδο χρόνου T η πίεση εξαφανιστεί τελείως και το φορτίο P μεταφερθεί ολόκληρο στα ελατήρια. Ύστερα απο το πέρασμα του χρόνου T η καθίζηση εξαρτάται μόνο απο την ελαστικότητα του στερεού μέρους του εδάφους και όχι του υγρού.

Εαν S_{∞} είναι η καθίζηση τη στιγμή T και S_1 η καθίζηση τη στιγμή t_1 , η στερεοποίηση χαρακτηρίζεται απο τον συν-

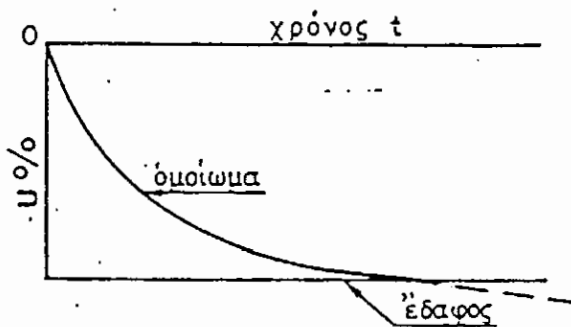
τελεστή U , που εκφράζεται σε ποσοστά :

$$U(t_1) = \frac{S_1}{S_{00}} \quad (\%) \quad (23)$$

$U(t_1)$ καλείται βαθμός στερεοποιήσεως στο χρόνο t_1 .

Αντιστοιχεί στην καμπύλη (u, z) που καλείται "ισόχρονη t_1 ".

Αν για το πρότυπο του Terzaghi αναζητήσουμε τη θεωρητική καμπύλη $U(t)$, θα έχουμε το σχήμα 15.



Σχ. 15

Στην περίπτωση της αργίλου, η καμπύλη έχει ανάλογη μορφή, αλλά συνεχίζεται και για τιμές μεγαλύτερες από $U = 100\%$ εξαιτίας της δευτερεύουσας στερεοποιήσεως.

Το παράδειγμα του δοχείου του Terzaghi επιτρέπει να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός που συνδέει τη μετατόπιση των δίσκων - που είναι αντίστοιχη με την καθίζηση του αργιλικού εδάφους - και την εκροή του νερού του δοχείου, που συμπεριφέρεται όπως το νερό των πόρων του εδάφους. Αλλά βέβαια το πραγματικό φαινόμενο της στερεοποιήσεως της αργίλου είναι πολύ πιο πολύπλοκο από τη μετατόπιση

των δίσκων του δοχείου. Το παράδειγμα του Terzaghi επιτρέπει ένα καλό παραλληλισμό με το φαινόμενο της στερεοποιήσεως, αλλά τίποτα περισσότερο.

Η στερεοποίηση επιταχύνεται όταν η διαπερατότητα του εδάφους και συνεπώς η τιμή του συντελεστή K , είναι υψηλή, καθώς και όταν η συμπιεστότητα, που χαρακτηρίζεται από τις τιμές του συντελεστή $m = \frac{\alpha_v}{1+e}$ είναι χαμηλή.

Η στερεοποίηση μπορεί να χαρακτηριστεί με τρόπο ικανοποιητικό και από το συντελεστή στερεοποιήσεως C_v , που ορίζεται από τη σχέση :

$$C_v = \frac{K}{m_v} \frac{1}{\gamma_w} (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (24)$$

Η μέση τιμή του C_v είναι της τάξεως του 10^{-4} (cm^2/sec).

Όταν η τιμή του δείκτη πόρων μειώνεται, εξαιτίας του εφαρμοζόμενου φορτίου, οι συντελεστές K και m_v μεταβάλλονται με ανάλογο τρόπο και ο λόγος τους παραμένει σχετικά σταθερός.

Ο συντελεστής C_v μπορεί έτσι να θεωρηθεί σαν αμετάβλητος σε όλη τη διάρκεια της στερεοποιήσεως.

Η τιμή C_v εξαρτάται πάντως από την τιμή του φορτίου, και είναι προτιμότερο να γίνεται ο προσδιορισμός του στο εργαστήριο, για φορτίο που αντιστοιχεί με αυτό, για το οποίο θα μελετηθεί η στερεοποίηση του εδάφους.

Η τιμή C_v μπορεί να υπολογισθεί από τις τιμές του K και m_v , ή, καλύτερα να προσδιορισθεί από τις ισόχρονες καμπύλες του οιδήμετρου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός του C_v δεν μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια και αυτό μειώνει την αξιοπιστία των υπολογισμών στερεοποιήσεως.

Το C_v επηρεάζεται ιδιαίτερα από τον συντελεστή διαπερατότητας K , του οποίου η τιμή, όπως είναι γνωστό, είναι αρκετά μεταβλητή.

3.3. Υπολογισμός της επιδράσεως του χρόνου στο βαθμό στερεοποιήσεως.

Το γενικότερο πρόβλημα της στερεοποιήσεως είναι τριασδιάστατο και αναφέρεται στις περιπτώσεις ανομοιόμορφων και ανισότροπων αργιλικών στρώσεων. Οι οριακές συνθήκες, από τις οποίες εξαρτάται απόλυτα το φαινόμενο της εκροής του νερού, δεν μπορούν να ληφθούν σωστά υπόψη. Για τους λόγους αυτούς το πρόβλημα της στερεοποιήσεως δεν μπορεί να λυθεί αναλυτικά στην γενική του μορφή. Μόνο για ορισμένα απλά προβλήματα υπάρχουν λύσεις που καταλήγουν σε νομογραφήματα.

Για άλλα, λιγότερο απλά προβλήματα, μπορεί επίσης να γίνει προσεγγιστική επέκταση των νομογραφημάτων αυτών. Κλασσικό παράδειγμα υπολογισμού του χρόνου στερεοποιήσεως αποτελεί η περίπτωση την οποία μελέτησε ο TERZAGHI. Ο TERZAGHI μελέτησε τη στερεοποίηση ενός οριζόντιου ομοιογενούς και ισότροπου στρώματος κορεσμένης αργίλου, σταθερού πάχους, που εδράζεται σε στρώμα τελείως αδιαπέρατο.

Το οριζόντιο φορτίο είναι ομοιόμορφο και εφαρμόζεται σε στρώμα διαπερατής άμμου σταθερού πάχους (Σχ.16).

Στην περίπτωση αυτή οι ροές είναι μονοδιάστατες και γίνονται από κάτω προς τα πάνω, η δε ολική τάση είναι σταθερή.

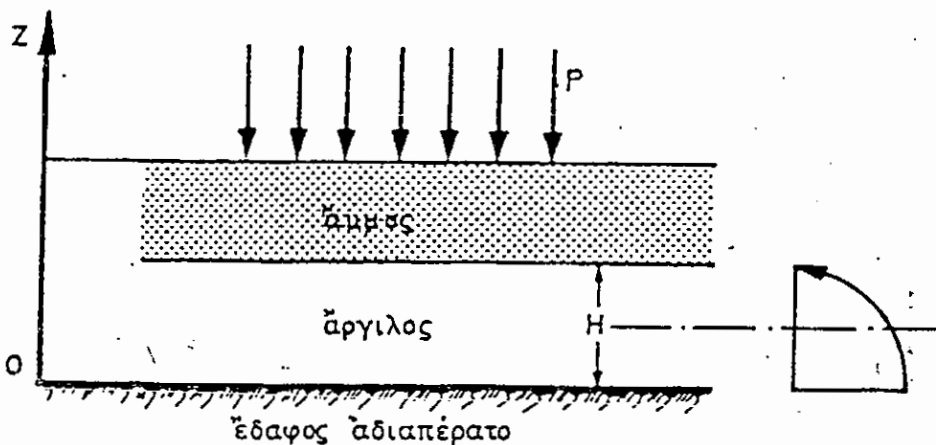
Αν γράψουμε ότι η μεταβολή του δείκτη πόρων είναι ίση με τον όγκο του νερού, το οποίο εκρέει σύμφωνα με τον νόμο του DARCY, καταλήγουμε στην εξίσωση :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

όπου u : πίεση του νερού των πόρων σε μια χρονική στιγμή t ,

z : η κατακόρυφη συντεταγμένη ενός σημείου του στρώματος της αργίλου.

C_v : σταθερός συντελεστής στερεοποιήσεως =
 $= \frac{K}{m_v \gamma_w} \text{ (cm}^2/\text{sec)} .$



Σκ. 16

θέτοντας $z = \frac{z}{H}$, (H , πάχος του στρώματος αργίλου)

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (25)$$

Καταλήγουμε σε μια εξίσωση, ανεξάρτητη από τα ειδικά δεδομένα,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial T_v}$$

της οποίας η λύση είναι :

$$u = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2P}{A} (\sin A_z) e^{-A^2 T_v}$$

όπου $A = \frac{\pi}{2} (2\eta + 1)$

Η εξίσωση αυτή είναι της μορφής,

$$u = f(z, T_v)$$

Για κάθε τιμή του T_v έχουμε μια ισόχρονη καμπύλη της μορφής του σχήματος 17, της οποίας η εξίσωση είναι :

$$u = g(T)$$

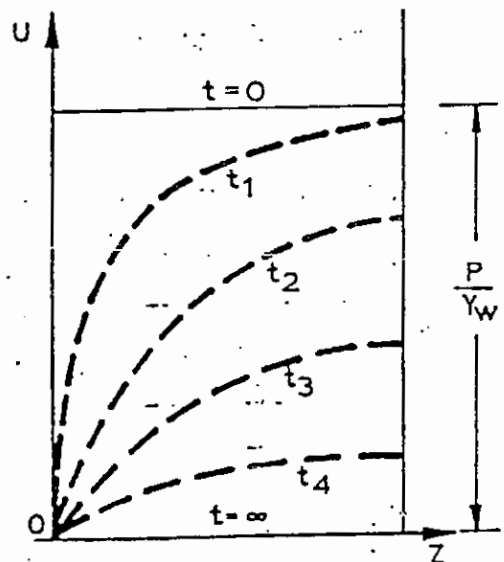
Η καθίζηση στο χρόνο T_v είναι:

$$S_T = [\rho - g(T)] H \cdot m_v$$

ενώ στο χρόνο $T \rightarrow \infty$, όπου $u = 0$ είναι :

$$S_{\infty} = H \cdot \rho \cdot m_v$$

Εφόσον η μόνη μεταβλητή είναι ο χρόνος T , έχουμε τελικά,



Σχ. 17

$$S_T = S \infty \frac{U(T_v)}{100}$$

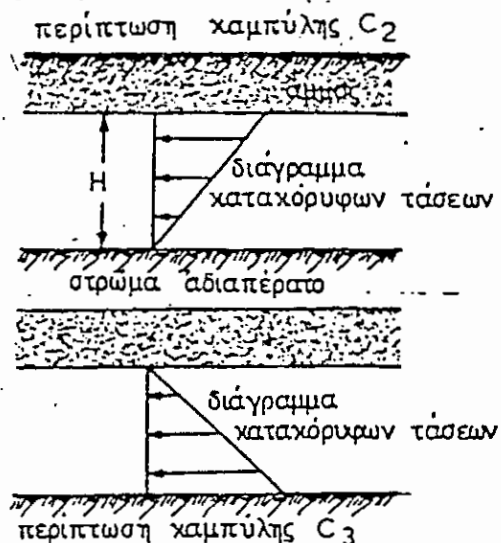
όπου U ο βαθμός στερεοποιήσεως στο χρόνο t , είναι συνάρτηση μόνο του :

$$T_v = t \cdot \frac{C_v}{H^2}$$

Η τιμή της συναρτήσεως $U(T_v)$, έχει υπολογισθεί και δίνεται σε νομογραφήματα ή πίνακες. Αντιστοιχεί σε μια σταθερή αρχική αύξηση της πιέσεως του ύδατος πόρων.

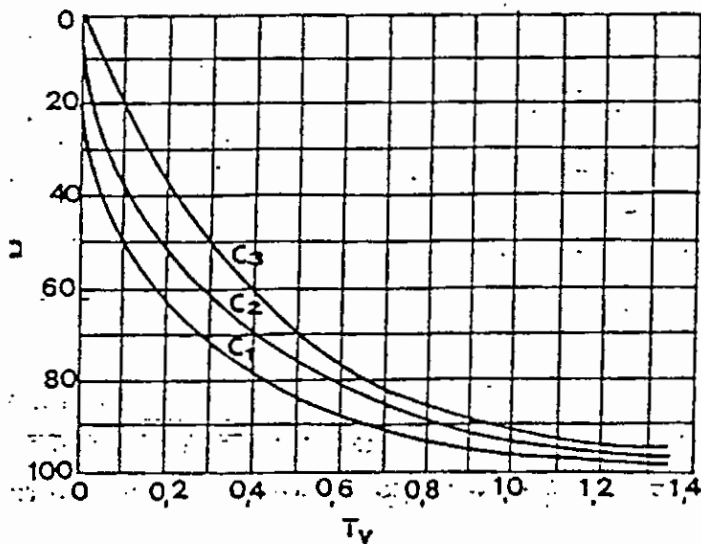
Ανάλογος υπολογισμός έχει γίνει και για άλλης μορφής μεταβολές της πιέσεως του ύδατος των πόρων.

Έτσι έχουν μελετηθεί, εκτός απο την περίπτωση της σταθερής αυξήσεως της τάσεως, που αναφέραμε παραπάνω, και οι δύο περιπτώσεις C_2 και C_3 του σχήματος 18 που αντιστοιχούν, η πρώτη στην περίπτωση που τα εξωτερικά φορτία είναι σε περιορισμένη ζώνη και μηδενίζονται στη βάση και η δεύτερη στην περίπτωση του ίδιου βάρους του στρώματος της αργίλου. Στις δύο περιπτώσεις αυτές έχουμε την τριγωνική κατανομή τάσεων του σχήματος 18.



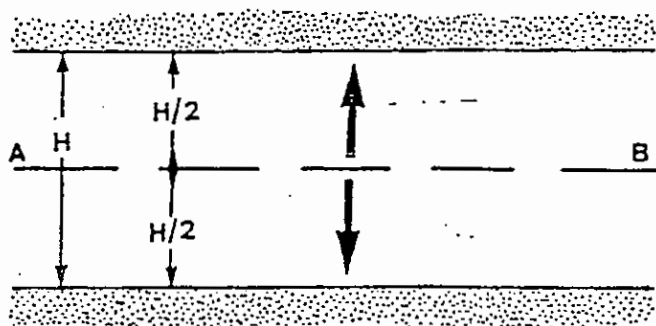
Σχ. 18

Το Νομογράφημα του σχήματος 19 δίνει την καμπύλη C_1 που αντιστοιχεί στην σταθερή τιμή των τάσεων (περίπτωση του προβλήματος του Terzaghi) και τις περιπτώσεις C_2 και C_3 . Όταν το στρώμα στο οποίο εδράζεται το στρώμα που στερεοποιείται είναι διαπερατό, γίνεται η παραδοχή ότι οι ροές γίνονται για το τμήμα που βρίσκεται πάνω από τον άξονα AB του στρώματος (βλ. σχ. 20) μόνο προς τα επάνω, ενώ γίνεται μόνο προς τα κάτω για το άλλο μισό του στρώματος.



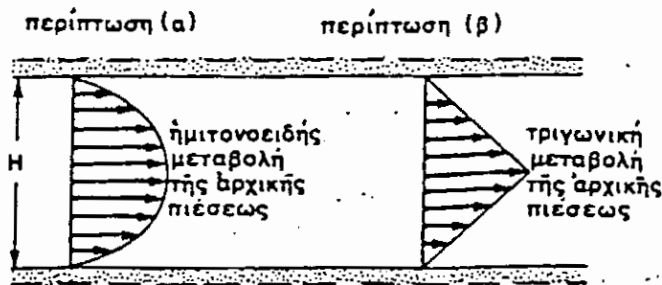
Σχ. 19

Εφαρμόζεται ακόμη το νομογράφημα του σχήματος 19 αλλά για πάχος $H/2$. Ο χρόνος στερεοποιήσεως, ανάλογος προς το τετράγωνο του H , είναι έτσι τέσσερις φορές πιο μικρός, όταν όχι μόνο το πάνω αλλά και το κάτω στρώμα είναι διαπερατό.



Σχ. 20

Αφού η διαφορική εξίσωση του φαινομένου είναι γραμμική, μια καμπύλη μεταβολής της αρχικής τάσεως μπορεί να αναλυθεί σε ένα σύνολο πιο απλών καμπυλών και να εφαρμοσθούν κατ'αναλογία υπάρχοντα νομογραφήματα και πίνακες. Δίνεται επίσης ο πιο κάτω πίνακας για συμπλήρωμα του νομογραφήματος του σχήματος 19 για τις περιπτώσεις (α) και (β) του σχήματος 21.



Σχ. 21

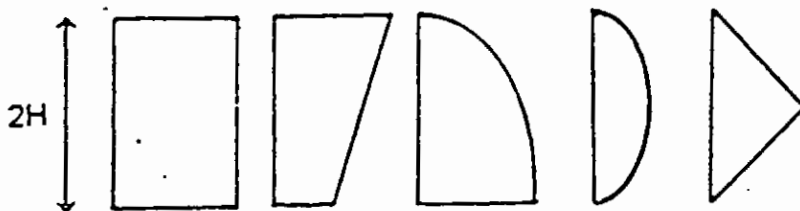
Εχει διαπιστωθεί ότι οι υπολογισμοί οδηγούν συστηματικά σε χρόνους στερεοποιήσεως μεγαλύτερους από τους πραγματικούς.

Άλλες περιπτώσεις υπολογισμού μπορούν να αντιμετωπισθούν με συνδιασμό των πιο πάνω λύσεων ή με την κατάλληλη προσαρμογή της τιμής του συντελεστή στερεοποιήσεως C_v , η οποία όπως είδαμε δεν μπορεί να υπολογισθεί με μεγάλη ακρίβεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Λύση της μονοδιάστατης στερεοποίησης για 4 περιπτώσεις μεταβολής της αρχικής πίεσεως πόρων.- Η αποστράγγιση γίνεται από δύο όρια του στρώματος

(α) Κατανομή της αρχικής πίεσεως πόρων



Σταθερή Γραμμική 1/2 ήμιτον. Ήμιτονο- Τριγωνική
 μεταβολή καμπύλης ειδής

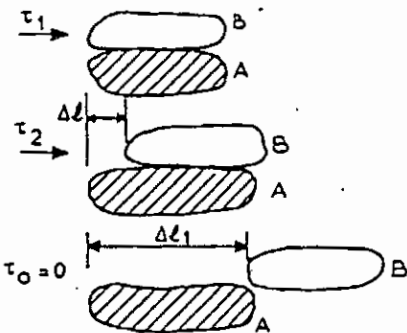
Περίπτωση 1 Περίπτωση 2 Περίπτωση 3 Περίπτωση 4

(β) Μέσο ποσοστό στερεοποίησης για διάφορες τιμές του T_v

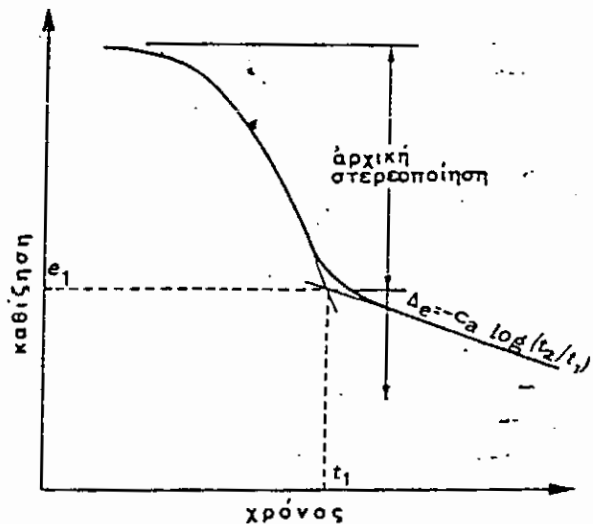
T_v	Μέσο ποσοστό της στερεοποίησης U (%)			
	Περ. 1	Περ. 2	Περ. 3	Περ. 4
0.004	7.14	6.49	0.98	0.80
0.008	10.09	8.62	1.95	1.60
0.012	12.26	10.49	2.92	2.40
0.020	15.96	13.67	4.81	4.00
0.028	18.88	16.38	6.67	5.60
0.036	21.40	18.76	8.50	7.20
0.048	24.72	21.96	11.17	9.60
0.060	27.64	24.81	13.76	11.99
0.072	30.28	27.43	16.28	14.35
0.083	32.51	29.67	18.52	16.51
0.100	35.63	32.88	21.87	19.77
0.125	39.63	35.54	25.54	24.42
0.150	43.70	41.12	30.03	29.66
0.175	47.13	44.73	35.07	33.06
0.200	50.41	48.03	39.95	37.04
0.250	55.22	54.17	46.03	44.32
0.300	61.32	59.50	52.20	50.78
0.350	65.82	64.21	57.83	56.49
0.400	69.79	68.36	62.73	61.54
0.500	76.40	76.28	70.88	69.95
0.600	81.56	80.69	77.25	76.52
0.700	85.59	84.91	82.22	81.65
0.800	88.74	88.21	86.11	85.66
0.900	91.20	90.79	89.15	88.80
1.000	93.13	92.80	91.52	91.25
1.500	93.00	97.90	97.53	97.45
2.000	99.42	99.39	99.28	99.26

3.4. Δευτερεύουσα στερεοποίηση ή δευτερεύουσα συμπίεση.

Η καθίζηση μπορεί να συνεχιστεί με σταθερό φορτίο και αφού τελειώσει η στερεοποίηση. Επικράτησε ο όρος "δευτερεύουσα στερεοποίηση" για την καθίζηση αυτή αλλά ούτε δευτερεύουσα είναι, γιατί για ορισμένα μαλακά ή οργανικά εδάφη μπορεί να έχει τιμές μεγαλύτερες από την κύρια στερεοποίηση, ούτε για στερεοποίηση πρόκειται, αφού δεν μεταβάλλεται η ποσότητα του ύδατος πόρων. Γι' αυτό τελευταία χρησιμοποιείται μάλλον, ο όρος "δευτερεύουσα συμπίεση" (SECONDARY COMPRESSION). Το φαινόμενο μπορεί σχηματικά να εξηγηθεί με τη μελέτη της σχετικής μετατόπισης, των κόκκων του εδάφους, που στην περίπτωση της αργίλου έχουν μακρόστενη μορφή. Ο κόκκος Β γλιστρά με σταθερό διατμητικό φορτίο τ_1 πάνω στον κόκκο Α (Σχ. 22). Αυτό προκαλεί τη μετατόπιση Δl που μπορεί να φθάσει μέχρι μια μέγιστη τιμή Δl_1 , ίση περίπου με το μήκος των κόκκων, οπότε μηδενίζεται η διατμητική δύναμη.



Σχ. 22



Σχ. 23

Πρόκειται για το φαινόμενο του ερπυσμού που μπορεί να μελετηθεί με τη χρήση ροολογικών μοντέλων.

Εκτός από την καθίζηση το φαινόμενο αυτό γίνεται αιτία και κατολισθήσεων των αργιλικών πρανών.

Η μελέτη του μηχανισμού του ερπυσμού και ο υπολογισμός της δευτερεύουσας στερεοποίησης δεν μπορεί να γίνει με τρόπο ικανοποιητικό.

Από εργαστηριακές δοκιμές προκύπτει, ότι αφού ολοκληρωθεί η κύρια στερεοποίηση στο χρόνο t_1 , η μεταβολή του δείκτη πόρων και της καθίζησης, συνεχίζεται με τρόπο γραμμικό (Σχ. 23)

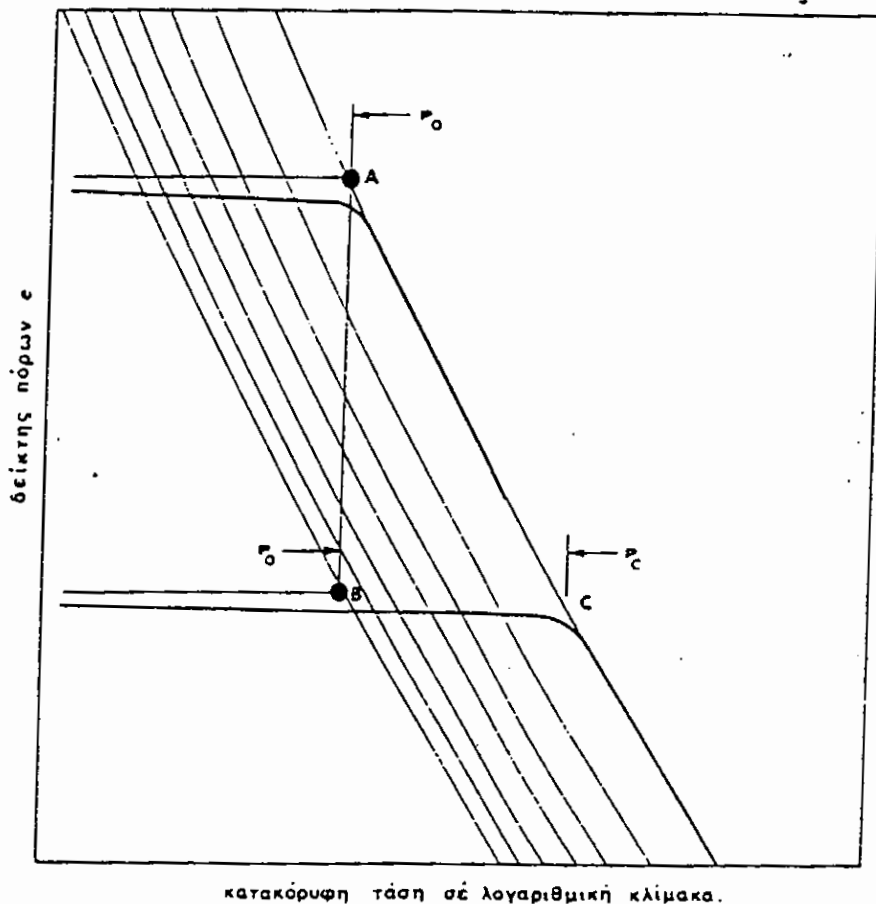
Η δευτερεύουσα καθίζηση χαρακτηρίζεται έτσι από την κλίση C_a των ευθύγραμμων αυτών τμημάτων και, συνεπώς, μετά t_2 έτη έχουμε μια ολική μεταβολή του δείκτη πόρων:

$$\Delta e = C_a \log \frac{t_2}{t_1} \quad (20)$$

Το φαινόμενο είναι από τα πιο πολύπλοκα και ανεξήγητα πως δεχόμαστε μεταβολή του δείκτη πόρων χωρίς απομάκρυνση του νερού; Και πως γνωρίζουμε ότι η καμπύλη του σχήματος 23 είναι ευθύγραμμη;

Μια εξήγηση θα ήταν ότι η απομάκρυνση του νερού συνεχίζεται χωρίς να οφείλεται στις διάφορες πιέσεις αλλά στην κίνηση των κόκκων.

Αφού η δευτερεύουσα συμπίεση μειώνει το δείκτη πόρων, το έδαφος, μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα,



Σχ. 24

συμπεριφέρεται σαν να είχε υποστεί μια προστερεοποίηση. Ο BJERRUM έδωσε νομογράφημα που επιτρέπει να μελετηθεί, τουλάχιστο θεωρητικά, το φαινόμενο αυτό (Σχ.24). Έτσι μια κανονικά στερεοποιημένη άργιλος για μια τάση (σημείο A του σχήματος 24, μετά απο 10.000 χρόνια, λόγω κάρη, χαρακτηρίζεται απο το σημείο B που αντιστοιχεί σε μια κατακόρυφη τάση στερεοποιήσεως $P_c > P_0$. Η δευτερεύουσα στερεοποίηση έχει έτσι ανάλογα αποτελέσματα με μια προστερεοποίηση των υλικών ίση με $(P_c - P_0)$.

Το θεωρητικό αυτό σχήμα φαίνεται ικανοποιητικό, αλλά στην πράξη ούτε το σημείο A είναι γνωστό, ούτε η πραγματική θέση των καμπυλών για διάφορες διάρκειες της δευτερεύουσας στερεοποιήσεως είναι γνωστές ούτε, τέλος, είναι

πάντα δυνατό να ξεχωρίσουν σίγουρα η κύρια και η δευτερεύουσα στερεοποίηση.

Για όλους αυτούς τους λόγους και επειδή για τα μη μαλακά εδάφη η δευτερεύουσα στερεοποίηση έχει συνήθως χαμηλές τιμές, στο συνηθισμένο υπολογισμό καθιζήσεων, δε λαμβάνεται καθόλου υπόψη η επίδραση της δευτερεύουσας συμπίεσεως.

3.5. Διερεύνηση του γενικού προβλήματος της στερεοποίησης

Το θέμα απασχόλησε πολλούς μελετητές, που κατέληξαν σε μαθηματικές σχέσεις περισσότερο ή λιγότερο σωστές. Χρησιμοποιούνται όμως διάφοροι συντελεστές, των οποίων οι τιμές δεν είναι πάντοτε εύκολο να προσδιοριστούν. Γι αυτό οι προσπάθειες αυτές έχουν μάλλον θεωρητικό χαρακτήρα.

Ο LAMBE βασίζει τη μελέτη διαφόρων περιπτώσεων στην εξίσωση της δισδιάστατης ροής,

$$K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \frac{1}{1+e} \left(e \frac{\partial s}{\partial t} + S \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

όπου z συντεταγμένη στην κατακόρυφη διεύθυνση,

x συντεταγμένη στην οριζόντια διεύθυνση,

K_z, K_x αντίστοιχοι συντελεστές διαπερατότητας,

h ολικό υδραυλικό φορτίο,

S βαθμός κορεσμού.

Για $S = 1$ ξαναβρίσκουμε την εξίσωση του Terzaghi, υπο τη γενικότερη μορφή,

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

όπου σ ολική κατακόρυφη τάση.

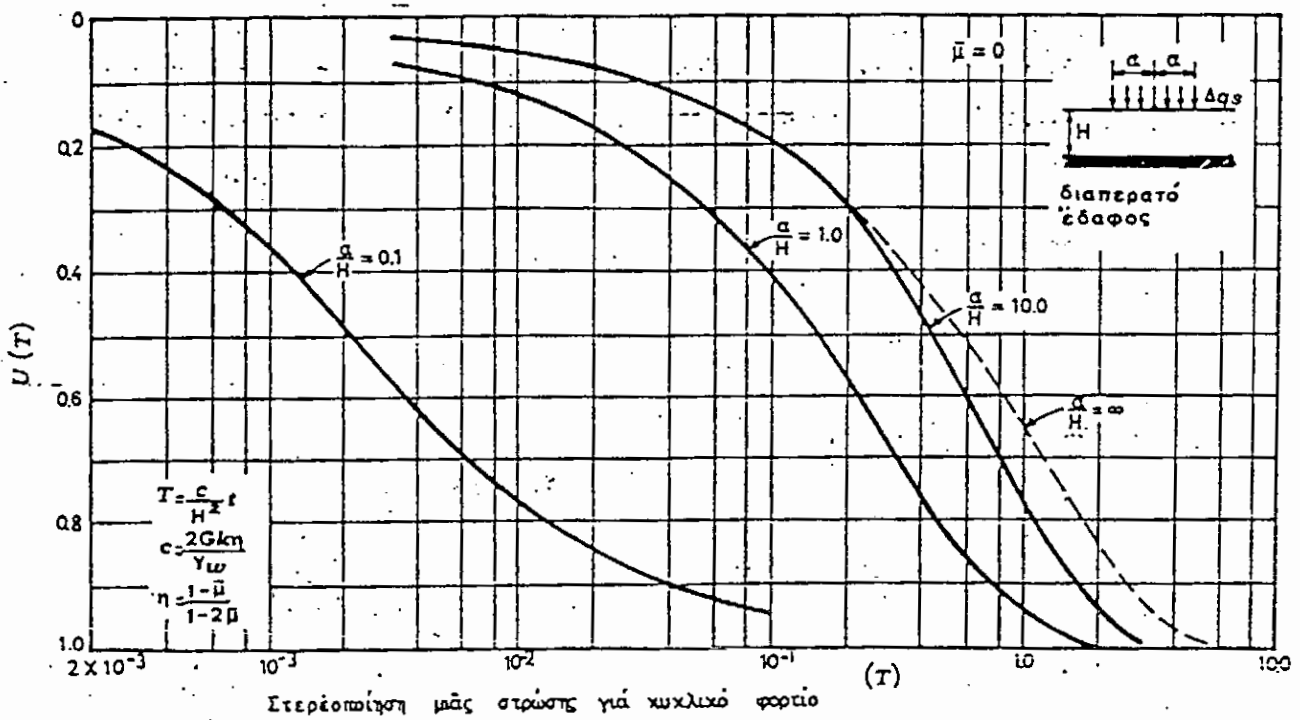
Για σ σταθερό, ο δεύτερος όρος μηδενίζεται.

Μια γενικότερη μορφή της εισώσεως, στην οποία κατέληξε ο PENDULIC, είναι :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_p \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

Το πρόβλημα της τρισδιάστατης ροής έχει επίσης αντιμετωπισθεί από διάφορους μελετητές.

Στο Σχ. 25 δίνονται τα αποτελέσματα για τις περιπτώσεις μιας κυκλικής επιφάνειας φορτίσεως.

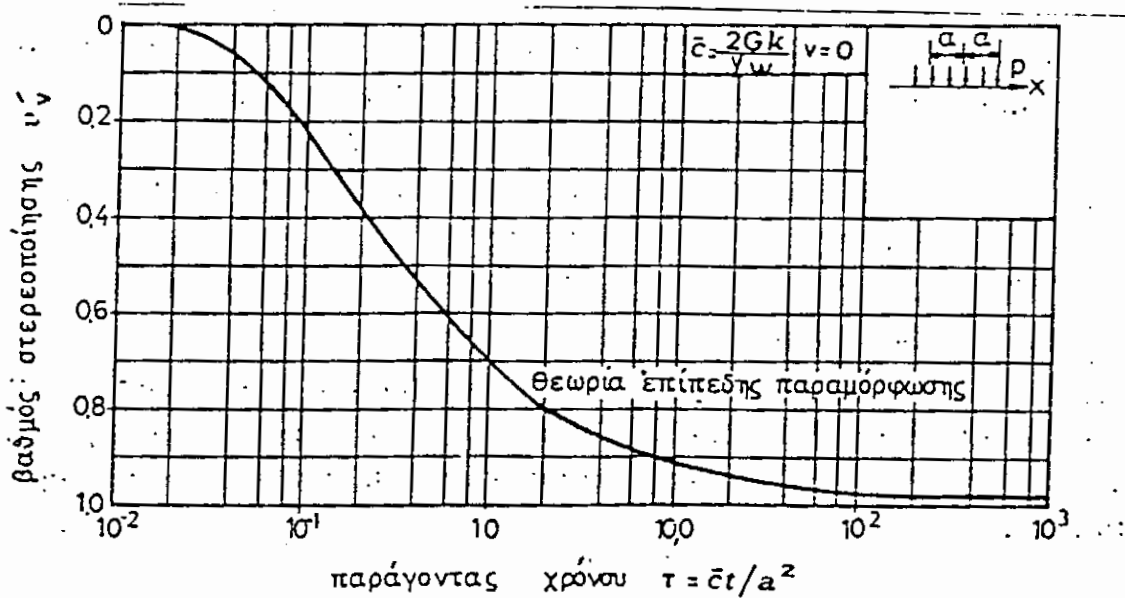


Σχ. 25

Ο SCHIFFMAN, εξάλλου, μελέτησε την περίπτωση ενός ελαστικού ημικώρου που φορτίζεται σε μια ζώνη πλάτους $2a$. Στο Σχ. 26 δίνεται, ως παράδειγμα, μία από τις καμπύλες στις οποίες

καταλήγει η θεωρία αυτή. Πρόκειται για τη μεταβολή της κατακόρυφης ενεργού τάσεως, σ' ένα ορισμένο σημείο του εδάφους, σε συνάρτηση με το χρόνο. Η τιμή της τεταγμένης U_v' είναι,

$$U_v' = \frac{\sigma_v'(T) - \sigma_v'(0)}{\sigma_v'(\infty) - \sigma_v'(0)}$$

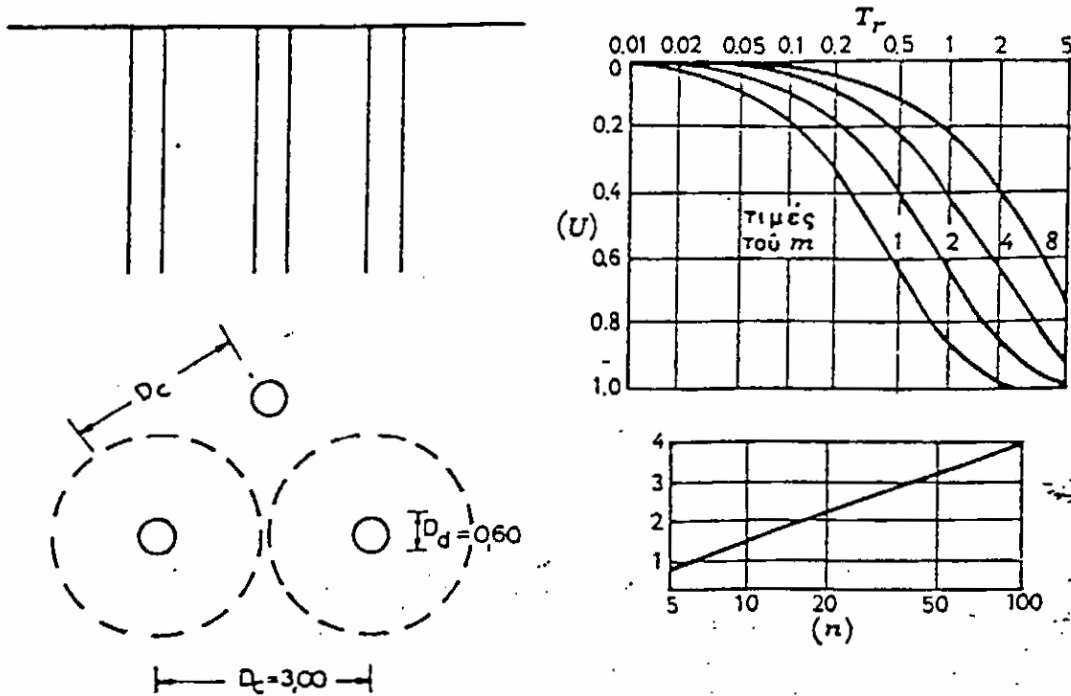


Σχ. 26

Δίνεται επίσης (Σχ. 27) το νομογράφημα του SCOTT, που αφορά τη στερεοποίηση με κατακόρυφα φρεάτια, δηλαδή για την περίπτωση που οι ροές γίνονται οριζόντια και όχι κατακόρυφα. Στο νομογράφημα αυτό έχουμε,

$$T_2 = C_v = \frac{t}{e} \quad \text{και} \quad \eta = \frac{r}{l}$$

όπου l ημιαπόσταση των φίλτρων και r ακτίνα.



Σχ. 27

Το θέμα της στερεοποίησης έχει εξάλλου αντιμετωπισθεί και από άλλους ερευνητές.

Δίνουμε ορισμένα στοιχεία για τις μεθόδους των SKEMPTON, CAQUOT και SCOTT.

Μέθοδος του SKEMPTON

Ο SKEMPTON (1957) βασιζόμενος σε αποτελέσματα πειραμάτων στην τριαξονική συσκευή, καταλήγει στην εξής σχέση για την τιμή της πίεσεως του ύδατος πόρων σε συνάρτηση με τις τιμές των κυρίων τάσεων,

$$u = B [\Delta\sigma_3 + A (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]$$

Η τιμή του u δεν εξαρτάται από τη μόνη τιμή της κατακόρυφης κύριας τάσεως σ_1 , όπως το παραδέχεται ο Terzaghi, αλλά και από τις τιμές των οριζοντίων τάσεων, που στην περίπτωση-

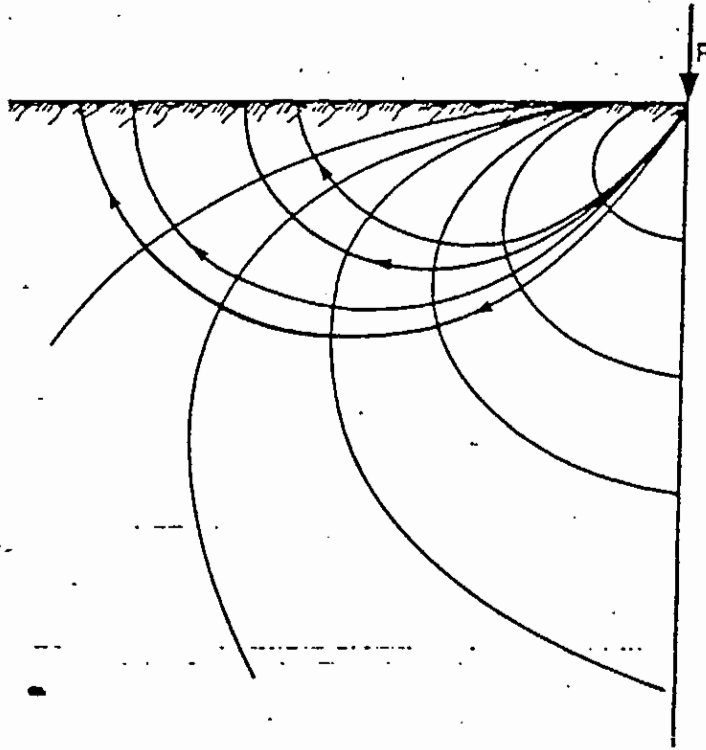
ση αυτή θεωρούνται ίσες. Για $A = B = 1$ ξαναβρίσκουμε την παραδοχή του TERZAGHI.

Ο SKEMPTON έδωσε τη λύση του προβλήματος της στερεοποίησης για $B = 1$ και για A διάφορο από τη μονάδα. Καταλήγει σε αποτελέσματα που μπορεί να θεωρηθούν σαν πιο ικανοποιητικά από αυτά που δίνει η μέθοδος του TERZAGHI. Πρόκειται όμως, όπως το αναγνωρίζει και ο συγγραφέας, για μέθοδο εμπειρική και προσεγγιστική.

Μέθοδος των CAQUOT και WERISEL.

Απαρχή θεωρητικής μεθόδου αποτελεί η προσπάθεια των CAQUOT και KERISEL. Αφορά τη στερεοποίηση του εδάφους για την περίπτωση σημειακού φορτίου και βασίζεται στα αποτελέσματα της μεθόδου του BOUSSINESQ.

Η μέση πίεση μ στο σημείο (ρ, z) του εδάφους, που θεωρείται ελαστικό, ομοιογενές και ισότροπο, είναι ίση με τη μέση τιμή των κυρίων τάσεων (Σχ. 15.15).



Σχ. 28

$$\mu = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \rho \frac{1 + \mu}{2\pi} \frac{z}{\rho^3}$$

Οι καμπύλες ίσης πιέσεως (S), έχουν συνεπώς την εξίσωση:

$$\frac{x}{\rho^3} = \text{σταθερή}$$

και παρουσιάζονται με τη μορφή ομοθετικών βολβών.

Οι καμπύλες ροής R είναι κάθετες στις καμπύλες αυτές.

Μπορεί συνεπώς να βρεθεί η εξίσωση των γραμμών ροής.

Οι CAQUOT-KERISEL καταλήγουν σε μία διαφορετική εξίσωση

του τύπου FOURRIER ανάλογη μ'αυτήν που καθορίζει τη

θερμική διάχυση σ'ένα στερεό σώμα, αλλά οι οριακές

συνθήκες δεν είναι οι ίδιες στις δύο περιπτώσεις.

Δεν δίνουν όμως τη λύση της εξισώσεως για τις πραγματικές οριακές συνθήκες.

Μέθοδος του SCOTT.

Ο R. T. SCOTT λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις ροής, που

είναι συναρτήσεις των χαρακτηριστικών της υπογείου

ροής, για την κατάρτιση των εξισώσεων ισορροπίας.

Έχει έτσι τη μαθηματική λύση του προβλήματος στη γενική

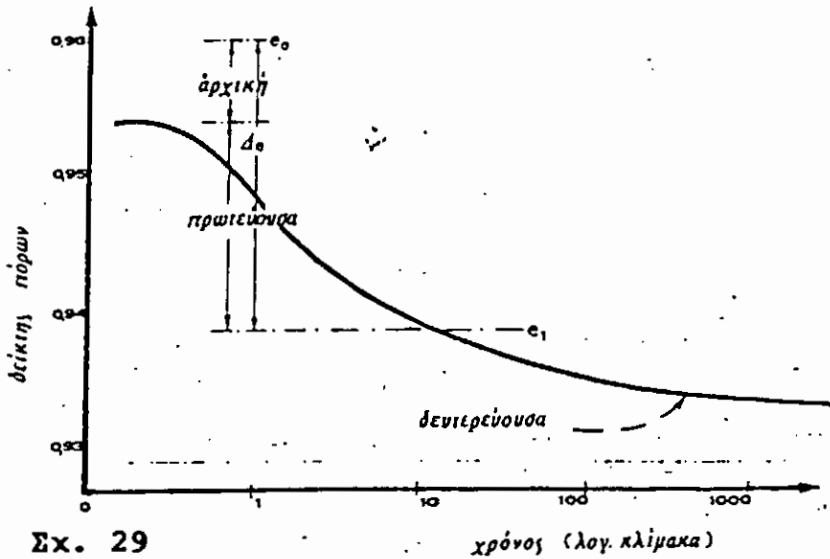
του μορφή. Πρόκειται για μία πολύ ενδιαφέρουσα μέθοδο

που δεν μπορεί όμως να αναλυθεί, γιατί αποτελεί εφαρμο-

γή γενικότερης θεωρίας για τη συμπεριφορά του εδάφους.

3.6. Στερεοποίηση - Συμπεράσματα

Αμέσως μετά την εφαρμογή της φόρτισης ένα κορεσμένο αργιλικό έδαφος παραμορφώνεται χωρίς αποστράγγιση του νερού των πόρων.



Σχ. 29

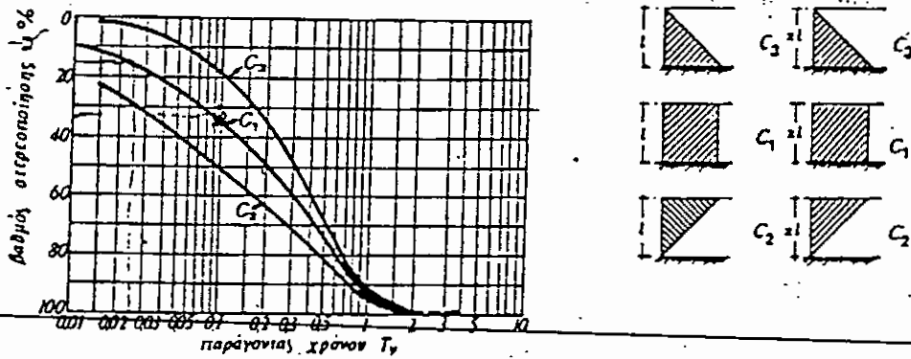
χρόνος (λογ. κλίμακα)

Η καθίζηση που οφείλεται στην παραπάνω παραμόρφωση ονομάζεται αρχική (ή άμεση ή αστράγγιστη ή διατμητική) και είναι αποτέλεσμα των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται και πραγματοποιείται με σταθερό όγκο.

Μετά το τέλος της αρχικής καθίζησης, σαν συνάρτηση του χρόνου γίνεται η καθίζηση λόγω στερεοποίησης, που πραγματοποιείται βαθμιαία, όπως βαθμιαία απομακρύνεται το νερό των πόρων από το έδαφος και η φόρτιση μεταφέρεται από το νερό στον στερεό σκελετό. Η παρακολούθηση του φαινομένου γίνεται με τη μέτρηση της μεταβολής της πίεσης του νερού των πόρων. Το φαινόμενο τελειώνει όταν η (πίεση του νερού των πόρων εξισωθεί με τις υπάρχουσες οριστικές υδραυλικές συνθήκες). Τέλος παρατηρείται μια καθίζηση σε συνάρτηση με το χρόνο,

που δεν έχει σχέση με τη μεταβολή της πίεσης πόρων και ονομάζεται δευτερευούσα καθίζηση (Σχήμα 29).

Ο TERZAGHI αντιμετώπισε το πρόβλημα της στερεοποίησης των κορεσμένων αργιλικών εδαφών και έδωσε πλήρη μαθηματική λύση για το πρόβλημα της μονοδιάστατης στερεοποίησης που παρουσιάζεται με μορφή νομογραφημάτων, και είναι απόλυτα ικανοποιητική, για τις απλές περιπτώσεις των πρακτικών εφαρμογών (Σχήμα 30).



Σχ. 30

Η καθίζηση S_t δηλαδή η καθίζηση μετά απο παρέλευση χρόνου t απο την επιβολή του φορτίου, δίνεται από τη σχέση :

$$S_t = U \cdot S_{\infty}$$

όπου : S_{∞} = τελική καθίζηση.

U = βαθμός στερεοποίησης που προορίζεται απο το σχήμα 2, σαν συνάρτηση του παράγοντα χρόνου T_v που δίνεται απο τη σχέση :

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$$

όπου : C_v = ο συντελεστής στερεοποίησης που λαμβάνεται από τη δοκιμή οιδημέτρου (με μονάδες cm^2/sec),

t = ο χρόνος στερεοποίησης (σε sec),

H = το μήκος αποστράγγισης που είναι ίσο με το πάχος του στρώματος, όταν το νερό των πόρων μπορεί να αποστραγγιστεί μόνο από πάνω και ίσο με το μισό πάχος του στρώματος όταν το νερό των πόρων μπορεί να αποστραγγιστεί από πάνω και από κάτω.

Η καμπύλη που θα χρησιμοποιηθεί C_1 ή C_2 ή C_3 εξαρτάται από τη διανομή των τάσεων μέσα στο αργιλικό στρώμα.

Η καμπύλη C_3 χρησιμοποιείται όταν η τάση αυξάνεται γραμμικά με το βάθος (δηλαδή όταν το αργιλικό στρώμα στερεοποιείται μόνο με το ίδιο βάρος του).

Η καμπύλη C_2 αντίθετα χρησιμοποιείται όταν οι τάσεις μειώνονται γραμμικά με το βάθος.

Τέλος η καμπύλη C_1 χρησιμοποιείται γενικά, δηλαδή όταν έχουμε ομοιόμορφη κατανομή τάσεων.

4. ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ :

4.1. Ορισμοί - Χαρακτηριστικά της θεμελίωσης.

Η εφαρμογή των αρχών της εδαφομηχανικής είναι σημαντική για τον υπολογισμό των θεμελίων των κατασκευών.

Θεμέλιο μιάς κατασκευής είναι το τμήμα που συνδέει την ανωδομή με το έδαφος, πάνω στο οποίο στηρίζεται (εδράζεται) και δια μέσου του οποίου μεταφέρονται τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία μίας καλής θεμελίωσης είναι :

- α) Το επαρκές βάθος το οποίο πρέπει να είναι τουλάχιστον όσο το πλάτος της επιφάνειας έδρασης της θεμελίωσης, καθώς επίσης και τόσο ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια από τυχόν υποσκαφές από νερά που ρέουν είτε επιφανειακά, είτε υπόγεια.
- β) Η ασφαλής έδραση, δηλαδή η στήριξη σε επιφάνεια της οποίας η φέρουσα αντοχή ν'αντιστέκεται ικανοποιητικά στην παραμόρφωση που προκαλείται από το βάρος της κατασκευής.
- γ) Η εξασφάλιση περιορισμένου μεγέθους καθίζησης, που είναι αποτέλεσμα της συμπύκνωσης των στρώσεων του εδάφους που βρίσκονται κάτω από το θεμέλιο και που συντελείται βαθμιαία με την πάροδο του χρόνου.
- δ) Η εξασφάλιση ομοιόμορφης καθίζησης, πέρα δηλαδή από το περιορισμένο μέγεθος της, δεδομένου ότι στην αντίθετη περίπτωση προκαλείται εντατική κατάσταση στην

ανωδομή του έργου.

4.9. Εισαγωγή

Σκοπός μιας θεμελίωσης είναι η μεταφορά των φορτίων της ανωδομής στο έδαφος με τρόπο ασφαλή. Καταστροφές μιας θεμελίωσης παρατηρούνται με μια απο τις δύο παρακάτω μορφές:

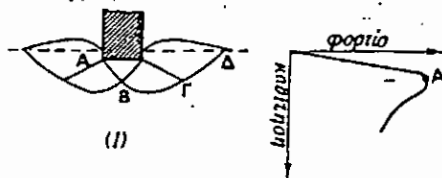
- I) Θραύση του εδάφους λόγω υπέρβασης της αντοχής του σε διάτμηση. Καταστροφές αυτού του τύπου έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις και γενικά έντονη παραμόρφωση του εδάφους με άμεσο αποτέλεσμα την καταστροφή της υπερκείμενης κατασκευής που γίνεται απότομα.
- II) Υπερβολικές καθιζήσεις λόγω παραμορφώσεων του εδάφους, ~~που μερικά οφείλονται στις διατμητικές τάσεις που εμφανίζονται λόγω των φορτίων της ανωδομής και μερικά στην~~ στερεοποίηση του εδάφους.

Η αντοχή του εδάφους σε θραύση λόγω διατμητικών δυνάμεων που ονομάζεται φέρουσα ικανότητα του εδάφους και η τιμή της καθίζησης που απρατηρείται εξαρτώνται γενικά απο τις διαστάσεις και το σχήμα της θεμελίωσης, απο το βάθος θεμελίωσης, απο τα εφαρμοζόμενα φορτία και απο τη φύση του εδάφους. Για την εκλογή του τύπου, των διαστάσεων και τον υπολογισμό της θεμελίωσης πρέπει να εξεταστεί τόσο η φέρουσα ικανότητα όσο και το πρόβλημα των καθιζήσεων.

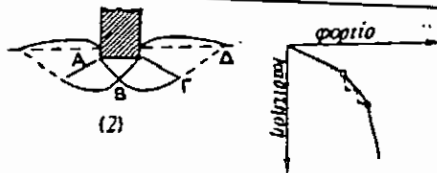
4.3. Μορφές θραύσης του εδάφους

Υπάρχουν τρεις μορφές θραύσης του εδάφους κάτω από μία επιφανειακή θεμελίωση, και είναι :

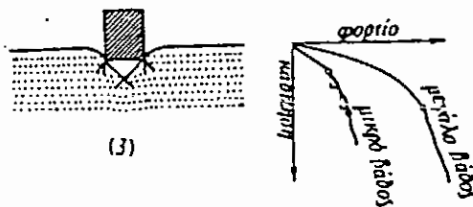
- α) Γενική θραύση (σχήμα 31.1)
- β) Τοπική θραύση (σχήμα 31.2)
- γ) Βύθιση του θεμελίου μέσα στο έδαφος (σχήμα 31.3)



Σχήμα 31.1



Σχήμα 31.2



Σχήμα 31.3

Η γενική θραύση χαρακτηρίζεται από την παρουσία μιας συγκεκριμένης εικόνας θραύσης που εμφανίζεται σαν μία συνεχόμενη επιφάνεια από το ένα άκρο του πεδίου μέχρι

την επιφάνεια του εδάφους. Η θραύση συνοδεύεται από ισχυρή παραμόρφωση του εδάφους που εμφανίζεται σαν διόγκωση στην ελεύθερη επιφάνεια. Αν καράζουμε ένα διάγραμμα καθιζήσεων-φορτίου, όπου θα μεταφέρονται οι καθιζήσεις που παρατηρούνται, παίρνουμε το διάγραμμα του σχήματος 31.1. Το σημείο Α αντιστοιχεί στο φορτίο θραύσης του εδάφους.

Αντίθετα με την προηγούμενη μορφή θραύσης η βύθιση του θεμελίου μέσα στο έδαφος χαρακτηρίζεται από εικόνα θραύσης που δεν είναι απόλυτα καθορισμένη. Με την αύξηση του φορτίου, που συνοδεύεται με συμπύκνωση του εδάφους κάτω απο το θεμέλιο ακριβώς παρατηρείται μια συνεχιζόμενη κατακόρυφη καθίζηση. Το έδαφος έξω απο την φορτιζόμενη επιφάνεια παραμένει απαραμόρφωτο (σχήμα 31.3).

Απο ένα σημείο και μετά η αύξηση του φορτίου έχει σαν συνέπεια την επιτάχυνση των καθιζήσεων. Το φορτίο θραύσης δεν καθορίζεται ακριβώς, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Η τοπική θραύση χαρακτηρίζεται απο μια εικόνα θραύσης που είναι καθορισμένη μόνο κάτω απο την φορτιζόμενη επιφάνεια.

Η επιφάνεια θραύσης αρχίζει απο το ένα άκρο θεμελίωσης χωρίς να φθάνει στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους.

Παρατηρούνται σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις και συμπύκνωση του εδάφους κάτω απο την θεμελίωση, όπως και στην περίπτωση της βύθισης του θεμελίου.

Ουσιαστικά η τοπική θραύση είναι μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στις δύο προηγούμενες ακραίες μορφές θραύσης.

Η μορφή θραύσης που παρατηρείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες.

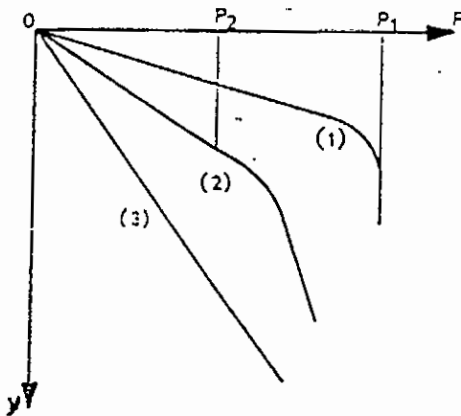
Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η μορφή θραύσης εξαρτάται περισσότερο από την συμπιεστότητα του εδάφους και λιγότερο από τις γεωμετρικές συνθήκες και τις συνθήκες φόρτισης. Αν το έδαφος είναι πρακτικά ασυμπίεστο (π.χ. πυκνή άμμος), παρουσιάζει την μορφή της γενικής θραύσης.

Αντίθετα αν το έδαφος είναι πολύ συμπιεστό (π.χ. χαλαρή άμμος) παρουσιάζει την μορφή της βύθισης του θεμελίου μέσα στο έδαφος.

4.4. Γενικά

Όταν φορτισθεί η επιφάνεια του εδάφους με ένα κατακόρυφο φορτίο P , που κατανέμεται συμμετρικά κάτω από ένα πέδιλο, η καμπύλη της καθιζήσεως σε συνάρτηση με το φορτίο έχει μ από τις μορφές του. (Σχ. 32).

Στην περίπτωση της καμπύλης (1), το μέγιστο φορτίο που μπορεί να μεταφερθεί στο έδαφος είναι αναμφισβήτητα το φορτίο P_1 .



Σχ. 32

Στην περίπτωση της καμπύλης (2) είναι ακόμα δυνατό χωρίς δισταγμό να θεωρηθεί σαν φορτίο θραύσεως το φορτίο P_2 , που αντιστοιχεί στο σημείο της καμπύλης όπου αρχίζουν να αυξάνονται απότομα οι καθιζήσεις.

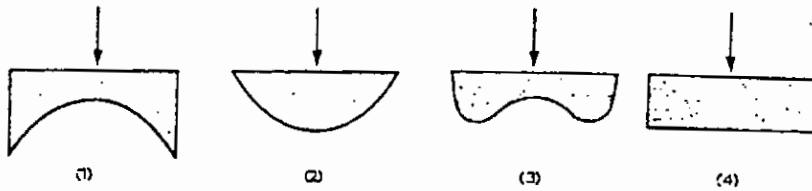
Για την καμπύλη (3) δεν μπορεί να οριστεί φορτίο θραύσεως του εδάφους.

Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους λαμβάνεται ίση με :

$$q_0 = \frac{P}{S} \quad (27)$$

όπου P το φορτίο θραύσεως και S το εμβαδό του πεδίου.

Ο αριθμός της φέρουσα ικανότητας q_0 βασίζεται στην παραδοχή ότι η κατανομή της τάσεως φορτίσεως στην περίπτωση ενός συμμετρικού φορτίου είναι ομοιόμορφη. Τόσο η θεωρία του BOUSSINESQ όσο και οι διάφοροι πειραματικοί έλεγχοι αποδεικνύουν ότι αυτό δεν είναι σωστό.



Σχ. 33

Η κατανομή των τάσεων μπορεί να έχει μια απο τις μορφές (1), (2), (3) του Σχ. 33. Η ομοιόμορφη κατανομή (4) αποτελεί έτσι απλοποίηση, υποχρεωτική όμως γιατί δεν είναι εύκολο να γνωρίζει κανείς ποιά είναι πραγματική κατανομή. Η δυσκολία εξάλλου παύει να υπάρχει αν αντί της φέρουσας ικανότητας q_0 , γίνεται λόγος για το ολικό φορτίο θραύσεως P . Η περίπτωση της καμπύλης (3) του σχ. 32 αντιστοιχεί σε μια συνεχή καθίζηση και δεν επιτρέπει να προσδιορισθεί μια συγκεκριμένη τιμή του φορτίου θραύσεως.

Η περίπτωση αυτή ορίζεται σαν τοπική θραύση.

Θα γίνει η παραδοχή ότι η τοπική θραύση επέρχεται όταν η παραμόρφωση φθάσει σε μια ορισμένη τιμή, ποσοστό ψ του πλάτους B της ζώνης φορτίσεως.

Η τιμή του ποσοστού αυτού ορίζεται συμβατικά από τη σχέση.

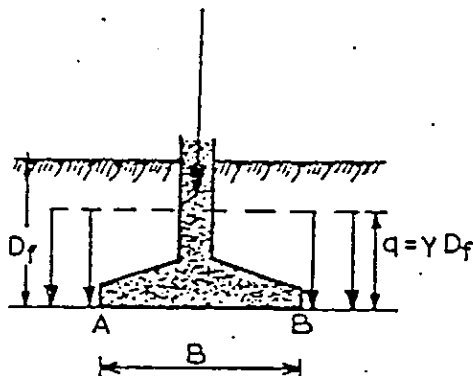
$$\psi = 0,10 B$$

Εχει εξάλλου διαπιστωθεί ότι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην θραύση του εδάφους είναι της τάξεως των 6-7% του Β. Τοπική θραύση παρατηρείται όταν το έδαφος είναι χαλαρό και το βάθος θεμελιώσεως μικρό. Ικανοποιητικός προσδιορισμός του φορτίου θραύσεως στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατός.

4.5. Υπολογισμός του φορτίου θραύσεως στην περίπτωση κατακόρυφης συμμετρικής φορτίσεως.

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες που επιτρέπουν τον υπολογισμό του φορτίου θραύσεως P , και που διαφέρουν λίγο μεταξύ τους. Θα παρουσιάσουμε τη μέθοδο των CAQUOT-KERISEL.

(Πρακτικά του 3ου Διεθνούς Συνεδρίου Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Ζυρίχη 1953, Τόμος I, σελ. 336-337).

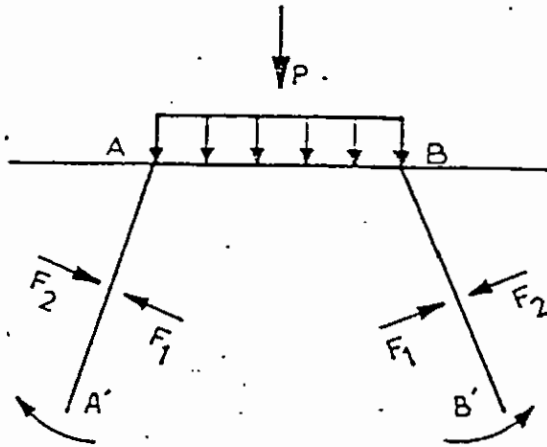


Σχ. 34

Η θεμελίωση τοποθετείται πάντοτε σ' ένα ορισμένο βάθος κάτω από το έδαφος. Θα δεχθούμε ότι η περίπτωση θεμελιώσεως σε βάθος D_f είναι η ίδια με την περίπτωση θεμελιώσεως στην επιφάνεια του εδάφους, με ομοιόμορφη φόρτιση $q = \gamma \cdot D_f$ στην ζώνη γύρω, από το πέδιλο. (Σχ. 34).

Θα δεχθούμε επίσης ότι το πέδιλο του πλάτους B , έχει άπειρο μήκος. Το πρόβλημα έτσι γίνεται δισδιάστατο.

Η αρχή της μεθόδου υπολογισμού είναι η εξής:



Σχ. 35

Σε ακτινικό επίπεδο AA' (ή BB'), (Σχ. 35), ενεργούν, σύμφωνα με τη θεωρία των ωθήσεων του RANIKINE, δύο δυνάμεις F_1 και F_2 που ισορροπούν, όταν δεν υπάρχει θραύση του εδάφους. Η δύναμη F_1 που τείνει να μετακινήσει τα επίπεδα είναι ενεργός. Η δύναμη που εμποδίζει την κίνηση είναι παθητική.

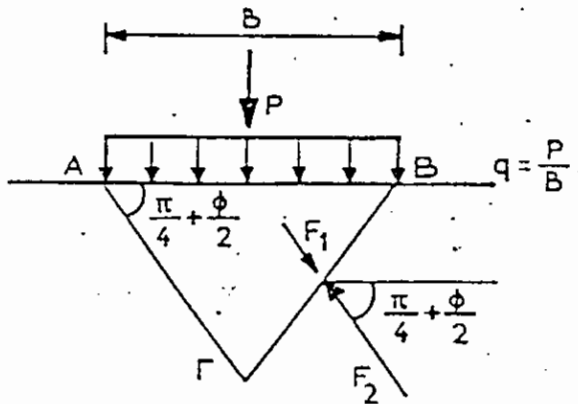
Όσο αυξάνεται το φορτίο P τόσο μεγαλύτερες γίνονται οι δυνάμεις F_1 ενώ οι δυνάμεις F_2 που δεν εξαρτώνται από το φορτίο δεν μεταβάλλονται. Η θραύση θα επέλθει όταν οι δυνάμεις F_1 θα γίνουν μεγαλύτερες από τις δυνάμεις F_2 , γιατί τότε τίποτα δεν εμποδίζει την μετατόπιση των επιπέδων AA' και BB', δηλαδή την καταστροφή του συστήματος των κόκκων που αρχικά δέχεται τις τάσεις φορτίσεως.

Ο παραπάνω έλεγχος πρέπει βέβαια να γίνει στο επίπεδο AA' (BB') που αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή του φορτίου P .

Κάτω από το πέδιλο δημιουργείται μια κατάσταση ενεργών ωθήσεων που περιορίζεται από δύο επίπεδα ΑΓ και ΒΓ, που είναι τα επίπεδα ενεργού θραύσεως του εδάφους σε γωνία $\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$ με

την οριζόντια διεύθυνση.

Δημιουργείται έτσι μια " σφήνα" ABΓ που αποτελεί μέρος του πεδίου αφού, με την παραδοχή του RANKINE το τμήμα του εδάφους που δεν υφίσταται θραύση συμπεριφέρεται σαν στερεό.



Σχ. 36

θα εξετάσουμε πρώτα την περίπτωση του ψαθυρού εδάφους.

Τα πείπεδα ΒΓ (ή ΑΓ) θεωρούνται ως τα επίπεδα που αντιστοιχούν στον υπολογισμό του ελάχιστου φορτίου P.

Οι πίνακες του CAQUOT επιτρέπουν να υπολογισθεί η τιμή της παθητικής ωθήσεως F_2 που ενεργεί στο εξωτερικό των επιπέδων αυτών και που εμποδίζει την διείδυση της σφήνας ABΓ μέσα στην μάζα του εδάφους.

Αν δεχθούμε ότι η παθητική ώθηση σχηματίζει τη μέγιστη γωνία ϕ , με την κάθετη στο επίπεδο ΒΓ, έχουμε την τιμή της κατακόρυφης προβολής των παθητικών ωθήσεων στα επίπεδα ΑΓ και ΒΓ.

$$R = 2 \frac{1}{2} \gamma \cdot b \overline{B\Gamma}^2 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

όπου b , συντελεστής παθητικών ωθήσεων που δίνουν οι πίνακες του CAQUOT, και γ φαινόμενο βάρος του εδάφους.

Η φέρουσα ικανότητα έχει συνεπώς την τιμή :

$$\gamma S_1 \frac{B}{2}$$

όπου

$$S_1 = \bar{b} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)}{1 - \sin\phi}$$

ή, αν αντικαταστήσουμε το \bar{b} με την τιμή του

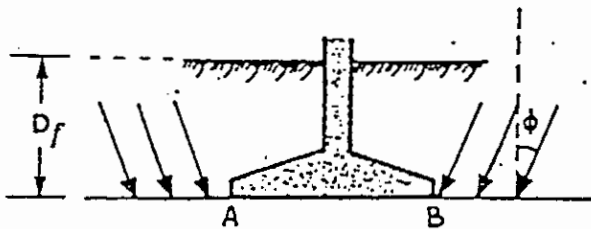
$$2(N_q + 1) \operatorname{tg}\phi$$

όπου

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg}\phi} \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$$

Η τιμή της παθητικής ωθήσεως στο επίπεδο ΒΓ, που οφείλεται στο ίδιο βάρος γΗ του εδάφους, πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης, υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο και δίνει τελικά την τιμή της φέρουσας ικανότητας που αντιστοιχεί στο βάθος D_f .

$$\gamma \cdot D_f \cdot N_q$$



Σχ. 37

Ο υπολογισμός αυτός αντιστοιχεί στην παραδοχή ότι δεν δημιουργούνται τριβές στα επίπεδα θεμελιώσεως. Αν όπως φαίνεται στο Σχ. 37, οι δυνάμεις που ενεργούν έξω από τη ζώνη AB έχουν κλίση φ , η αντοχή που αντιστοιχεί στο βάθος D_f θα έχει αυξημένη τιμή. Η παραδοχή της κατακόρυφης φορτίσεως είναι έτσι προς το μέρος της ασφάλειας.

Στην περίπτωση του συνεκτικού εδάφους, η εφαρμογή του θεωρήματος των αντιστοίχων καταστάσεων επιτρέπει να γίνουν οι υπολογισμοί για ένα ψαθυρό έδαφος με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο $\frac{H}{\text{tg}\varphi}$.

Έχουμε έτσι την αντοχή cN_c με :

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

Κατα πρώτη προσέγγιση η φέρουσα ικανότητα του εδάφους μπορεί να θεωρηθεί ίση με το άθροισμα των τριών όρων που υπολογίσθηκαν πιο πάνω :

- τον όρο της τριβής $\frac{1}{2} B \gamma N_\gamma$,
- τον όρο του βάθους θεμελιώσεως $\gamma \cdot D_f \cdot N_q$,
- τον όρο συνοχής cN_c

$$q = \gamma \cdot D_f \cdot N_q + cN_c + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \quad (28)$$

Οι συντελεστές N_q , N_c και N_γ έχουν τιμές που εξαρτώνται μόνο από το φ .

Ο πίνακας II δίνει τις τιμές των συντελεστών αυτών.

Στο Σχ. 38 δίνονται οι αντίστοιχες καμπύλες.

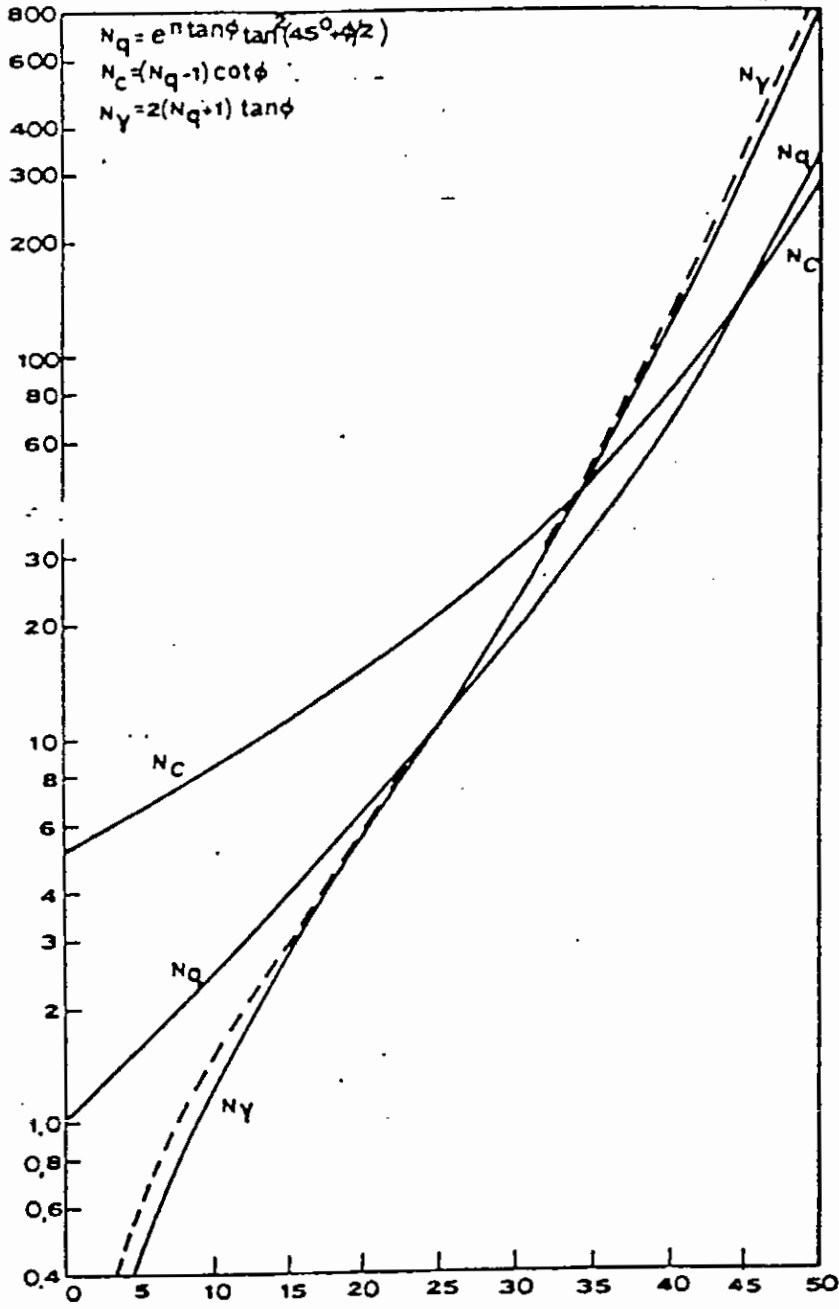
Τα παραπάνω αποτελέσματα αντιστοιχούν στην μέθοδο του CAQUOT.

Ο Terzaghi κατέληξε στα ίδια περίπου αποτελέσματα με τρόπο ημιεμπειρικό, που βασίζεται στις παραδοχές του Σχ. 39. Η θραύση παρατηρείται όταν η κατακόρυφη προβολή των δυνάμεων συνοχής και τριβής που ενεργούν κατά μήκος της καμπύλης θραύσεως ΑΓΔΕ γίνονται μεγαλύτερες από το φορτίο P.

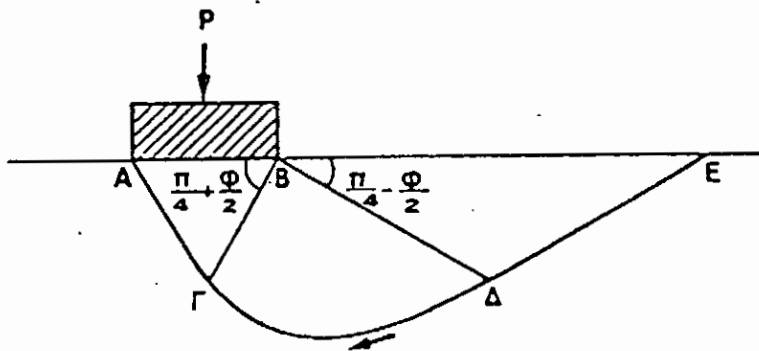
Στο τμήμα ΑΓ και ΔΕ η καμπύλη θραύσεως είναι οι ευθείες της ενεργού και παθητικής ωθήσεως του RANKINE. Στη ζώνη ΓΔ η καμπύλη έχει άγνωστη μορφή. Ο TERZAGHI κάνει την παραδοχή ότι πρόκειται για κυκλική καμπύλη, και, αναζητώντας τη χάραξη που αντιστοιχεί στην ελάχιστη αντοχή, καταλήγει στην ίδια σχέση με τον CAQUOT, αλλά οι τιμές των συντελεστών N είναι ελαφρώς διαφορετικές. Οι τιμές αυτές δίνονται στο Σχ. 40. Τα νομογραφήματα των TERZAGHI και CAQUOT μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδιάφορα, γιατί οι διαφορές των τιμών των συντελεστών N είναι από πρακτικής απόψεως ασήμαντες.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ

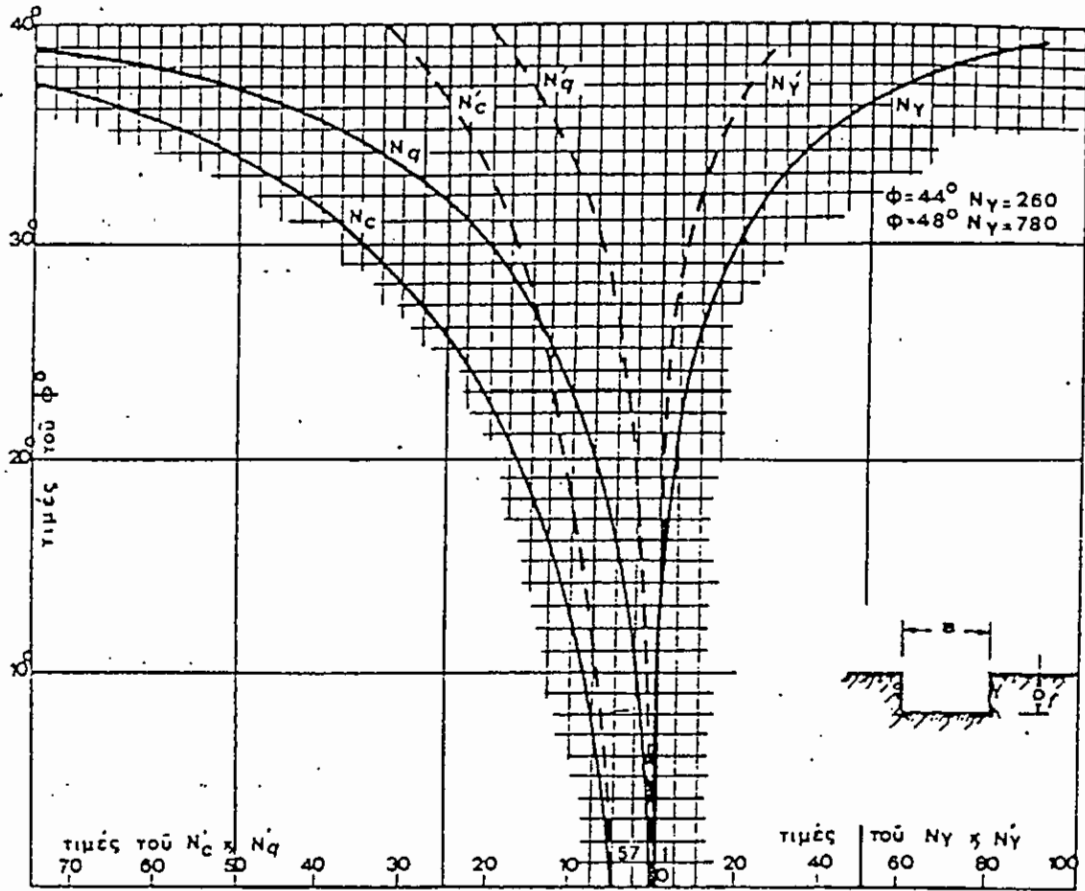
φ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \varphi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	320.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19



Σχ. 38



Σχ. 39



Νομογράφημα, ΤΕΡΖΑΓΧΙ, συντελεστών φέρουσας ικανότητας του εδάφους.

Σχ. 40

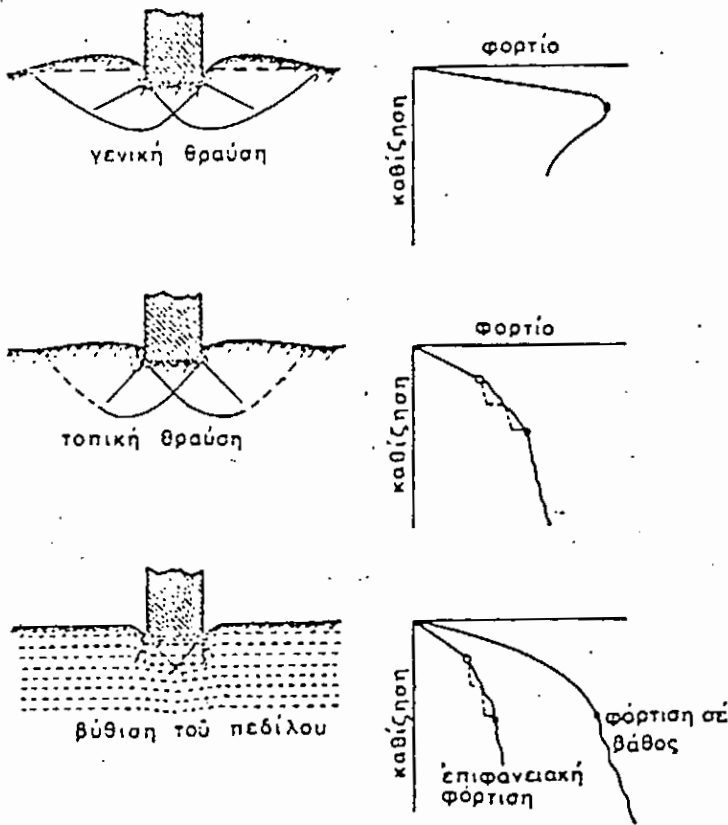
Το νομογράφημα του ΤΕΡΖΑΓΧΙ επιτρέπει επι πλέον τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας για την περίπτωση της τοπικής θραύσεως, δηλαδή για την περίπτωση του μαλακού εδάφους. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται οι συντελεστές N_{γ}' , N_{q}' , N_c'

που δίνονται απο τις διακεκομμένες καμπύλες και αντιστοιχούν στην παραδοχή ότι η συνοχή c' και ο συντελεστής τριβής $\text{tg } \phi'$ του εδάφους είναι ίσοι προς τα $2/3$ των πραγματικών συντελεστών.

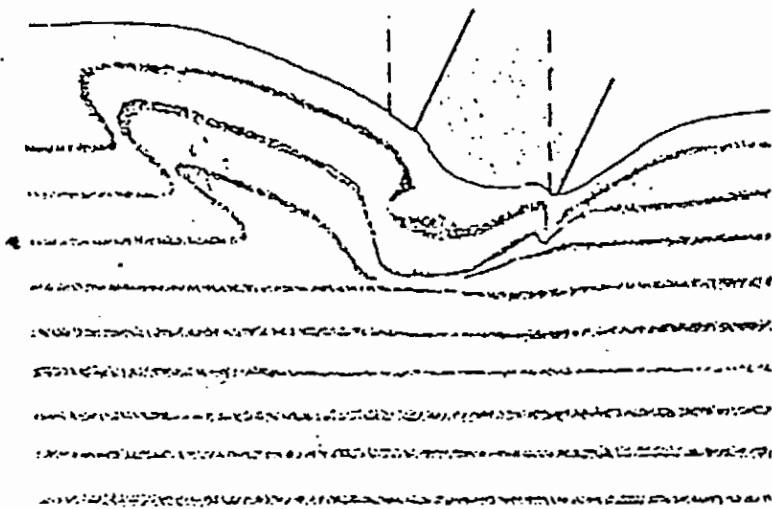
$$c' = \frac{2}{3} c, \quad \text{tg } \phi' = \frac{2}{3} \text{tg } \phi$$

Η θεωρία της φέρουσας ικανότητας έχει επαληθευθεί και πειραματικά σε ότι αφορά τις παραδοχές της. Έχει διαπιστωθεί ότι

κατα την θραύση του εδάφους παρατηρείται διόγκωση της επιφάνειας από τις δύο ή μόνο από τη μία πλευρά (Σχ. 41).



Σχ. 41



Σχ. 42

Στο εργαστήριο εξάλλου έχει ελεγχθεί με τη βοήθεια δοκιμίων ξηρού αμμώδους εδάφους, που πριν από τη φόρτιση αποτελούνταν από οριζόντιες στρώσεις χρωματισμένες διαφορετικά, ότι πράγματι η καμπύλη ολισθήσεως κατά τη θραύση έχει τη μορφή στην οποία βασίζονται οι υπολογισμοί (Σχ. 42).

Εντούτοις διαπιστώνεται τις περισσότερες φορές, ότι η πραγματική αντοχή του εδάφους είναι πολύ υψηλότερη από αυτή που προκύπτει από την εφαρμογή των μεθόδων CAQUOT ή TERGAΓΗΙ.

Αυτό οφείλεται πιθανώς στην αύξηση της αρχικής γωνίας τριβής κατά τη διάρκεια της συμπίεσεως του εδάφους και στο ότι το υπερκείμενο στρώμα δεν προκαλεί κατακόρυφη φόρτιση αλλά κεκλιμένα, λόγω τριβής (βλ. 37) . Ο DE BEER (1965) πιστεύει ότι για τα αμμώδη εδάφη, αν αντικατασταθεί η αρχική γωνία τριβής ϕ° με τη γωνία

$$\phi^{\circ} + 2^{\circ}$$

τα αποτελέσματα των υπολογισμών συμπίπτουν με τα πειραματικά. Η φέρουσα ικανότητα, όπως προκύπτει από τους πιο πάνω υπολογισμούς, εξαρτάται από τα εξής μεγέθη :

- γωνία τριβής ϕ .
- συνοχή c .
- βάθος θεμελιώσεως D_f .
- πλάτος θεμελιώσεως B .
- φαινόμενο βάρος γ .

Ένας από τους όρους είναι ανάλογος προς το πλάτος, ενώ άλλος είναι ανάλογος προς το βάθος.

Εχει όμως διαπιστωθεί πειραματικά ότι για μεγάλες τιμές του πλάτους και του βάθους, οι τιμές τείνουν να γίνουν ανεξάρτητες από το βάθος και το πλάτος.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις έχουν περισσότερο θεωρητικό παρά πρακτικό χαρακτήρα, αφού για την εκτίμηση της επιτρεπόμενης τάσεως:

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad (29)$$

που προκύπτει από τη φέρουσα ικανότητα q , μετά τη διαίρεση της με ένα συντελεστή ασφαλείας S , χρησιμοποιούνται τιμές αρκετά υψηλές του συντελεστή S .

- ελάχιστη τιμή του S : 2,0.
- Συνηθισμένη τιμή του S : 3,0.
- Για ευαίσθητες κατασκευές $S > 4$.

Αν ληφθεί υπόψη ότι για τα μαλακά εδάφη έχει ήδη μειωθεί η τιμή των χαρακτηριστικών αντοχής, βλέπουμε ότι ο τελικός συντελεστής ασφαλείας μπορεί να φθάσει έως 6-8.

4.6. ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΧΕΣΕΩΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.

Διάφοροι διορθωτικοί συντελεστές εφαρμόζονται στους όρους της σχέσεως που δίνει τη φέρουσα ικανότητα για να ληφθούν υπόψη δευτέρευοντες παράγοντες.

4.6.1. Επίδραση του υπόγειου νερού στην φέρουσα ικανότητα.

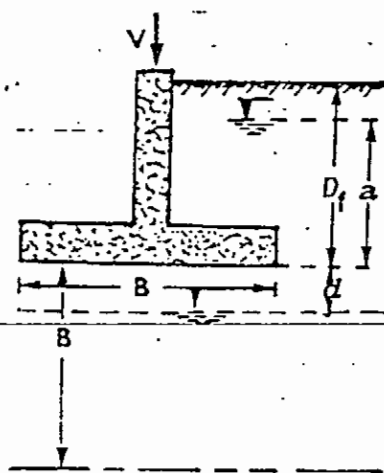
Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης και σε απόσταση a από αυτό (σχήμα 43) τότε ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας γίνεται με βάση την παρακάτω σχέση :

$$q = cN_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot W + \frac{1}{2} B \gamma' \cdot N_\gamma \quad (30)$$

όπου :

γ' = το φαινόμενο βάρος του βυθισμένου εδάφους, και

W = συντελεστής που λαμβάνεται από το νομογράφημα του σχήματος 44.

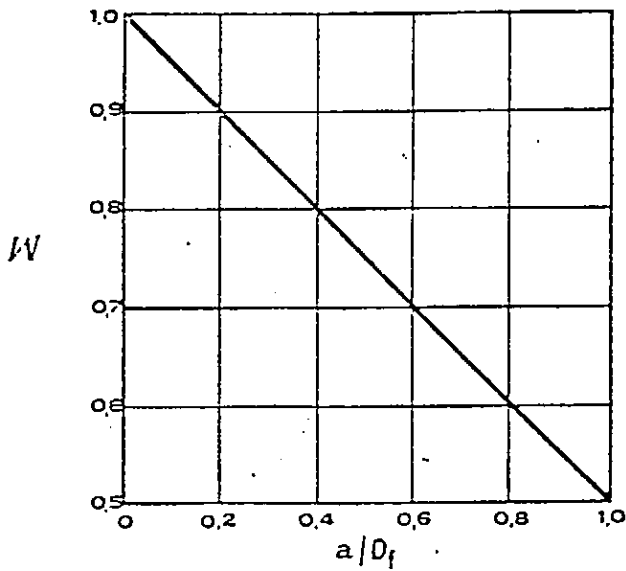


Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης σε βάθος $d \leq B$ (σχήμα 43), ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας γίνεται με βάση τον τύπο :

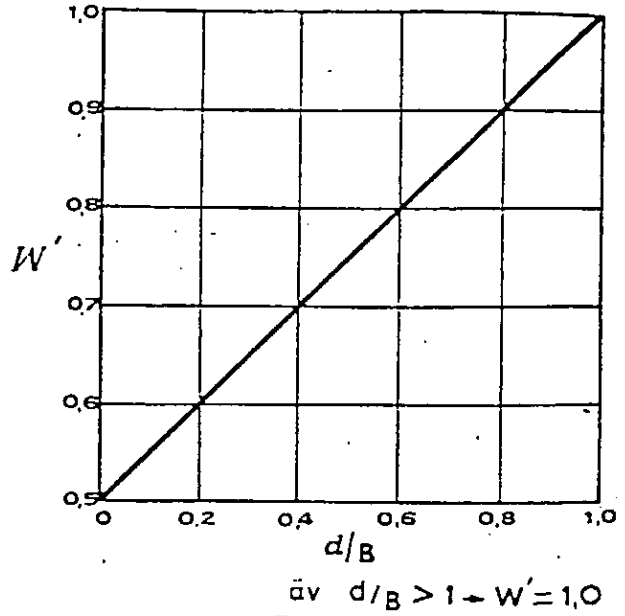
$$q = cN_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot W' \quad (31)$$

όπου :

W' = συντελεστής που λαμβάνεται απο το νομογράφημα του σχήματος 45.



Σχήμα 44



Σχήμα 45

Για $d > B$ δεν γίνεται καμιά διόρθωση.

Κατα τρόπο ανάλογο μπορεί να γίνει διόρθωση στην περίπτωση υπάρξεως διαφόρων στρωμάτων κάτω απο τη θεμελίωση.

4.6.9 Επίδραση του σχήματος της θεμελίωσης στη φέρουσα ικανότητα.

Πιο πάνω εξετάσθηκε το πρόβλημα του πεδίου άπειρου μήκους που αντιστοιχεί σε επίπεδη κατανομή των τάσεων.

Για τα συνηθισμένα πέδιλα, που έχουν μήκος L , της ίδιας τάξεως με το πλάτος B , το πρόβλημα είναι τρισδιάστατο και δεν έχει λυθεί θεωρητικά.

Η εξίσωση της φέρουσας ικανότητας μπορεί να γραφεί με τη μορφή,

$$q = cN_c J_c + q \cdot N_q J_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot \delta_\gamma \quad (32)$$

όπου N_c , N_q και N_γ είναι οι συντελεστές που υπολογίζονται με τα νομογραφήματα και J διορθωτικοί συντελεστές που δίνονται απο τον πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ III

Μορφή πεδίου	J_c	J_q	J_γ
Όρθογωνική	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \text{tg } \varphi$	$1 - 0,4 \left(\frac{B}{L}\right)$
Τετραγωνική ή κυκλική	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \text{tg } \varphi$	0,60

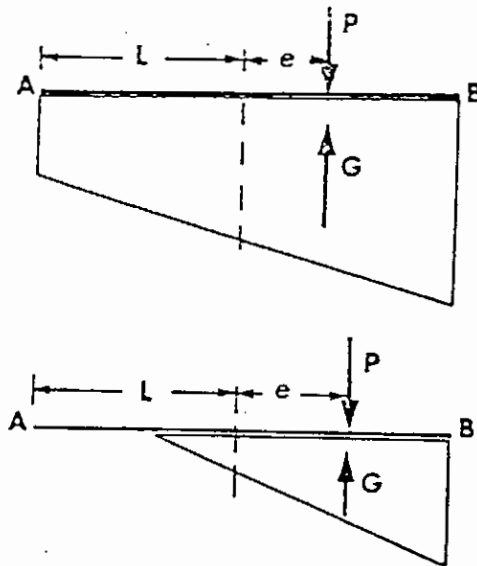
Επίσης έχουν προταθεί και οι παρακάτω εμπειρικοί τύποι :
 τετραγωνικά πέδιλα : $q = 1,3 cN_c + \gamma \cdot N_q \cdot D_f + 0,4 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$

κυκλικά πέδιλα : $q = 1,3 cN_c + \gamma \cdot N_q \cdot D_f + 0,3 \gamma B \cdot N_\gamma$
(για τα κυκλικά πέδιλα $B =$ διάμετρος του πέδιλου).

4.6.3 Εκκεντρα φορτία

Ας δεχθούμε ένα φορτίο P κατακόρυφο που βρίσκεται σε απόσταση e από τον άξονα του πεδίου AB .

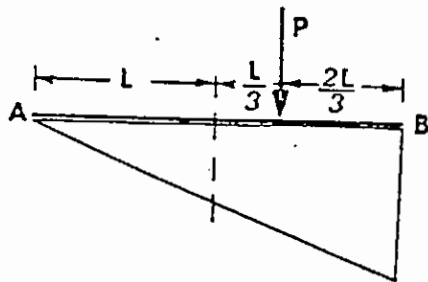
Η βασική συνθήκη ισορροπίας του AB επιβάλλει να βρίσκεται η συνισταμένη G των τάσεων του εδάφους στην κατακόρυφη του φορτίου P . Δεν μπορεί συνεπώς να υπάρξει συμμετρική διάταξη των τάσεων του εδάφους.



Σχ. 46

Η απλούστερη λύση του προβλήματος βασίζεται στην παραδοχή ότι οι τάσεις του εδάφους μεταβάλλονται γραμμικά. Παίρνουν συνεπώς τραπεζοειδή ή τριγωνική μορφή με τρόπο που το κέντρο βάρους να βρίσκεται σε απόσταση e από τον άξονα (Σχ. 46). Οι κανονισμοί των διάφορων χωρών βασίζονται συνήθως στην παραπάνω υπόθεση και επιβάλλουν τους εξής δύο περιορισμούς:

- α) Η μέγιστη τάση του εδάφους στο σημείο Β δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη φόρτιση, όπως αυτή υπολογίζεται για συμμετρικά φορτία.
- β) Η ελάχιστη τάση του εδάφους πρέπει να μην έχει αρνητικές τιμές. Κατά συνέπεια, η κατανομή των τάσεων του εδάφους θα είναι τραπεζοειδής ή τριγωνική με πλάτος ΑΒ.

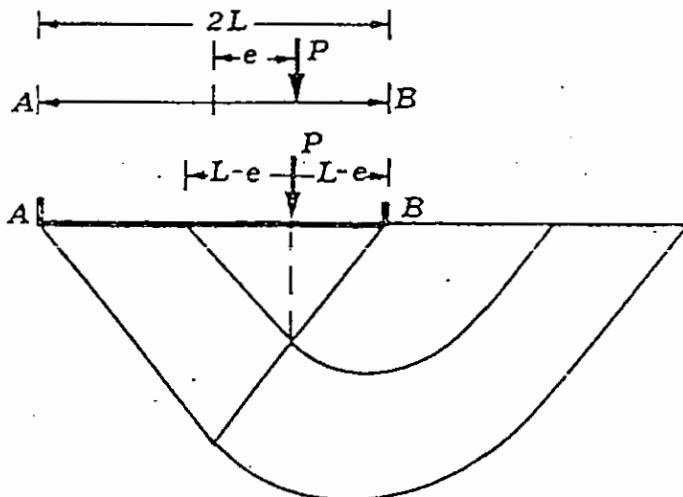


Σχ. 47

Στην περίπτωση των ορθογωνίων πεδίων θα ισχύει, συνεπώς, η σχέση :

$$e \leq \frac{L}{3} = \frac{AB}{6}$$

Όταν πρόκειται για θεμελιώσεις τεχνικών έργων οι



Σχ. 48

συνθήκες αυτές πρέπει να εφαρμόζονται αυστηρά.

Στην περίπτωση θεμελιώσεως κτηρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα κριτήρια πού αναφέρονται στις μελέτες του MEYERHOF και ιδιαίτερα στην ανακοίνωσή του στο Διεθνές Συνέδριο εδαφομηχανικής.

Οι καμπύλες θραύσεως σε περίπτωση έκκεντρης φορτίσεως, παρουσιάζονται με ασυμμετρική μορφή και είναι δύσκολο να μελετηθούν. (Σχ. 48)

Ο MEYERHOF παραδέχεται ότι η θραύση αντιστοιχεί στη μόνη φόρτιση του τμήματος του πεδύλου που το γεωμετρικό του κέντρο βρίσκεται στο ίδιο σημείο με το σημείο φορτίσεως. Στην περίπτωση του ορθογωνίου πεδύλου το μήκος της ζώνης θεμελιώσεως έχει για τιμή :

$$B' = B - 2e = 2L - 2e$$

Το πρόβλημα της έκκεντρης φορτίσεως ανάγεται έτσι στο πρόβλημα της κεντρικής φορτίσεως που μελετήθηκε ήδη με πέδιλο μικροτέρων διαστάσεων.

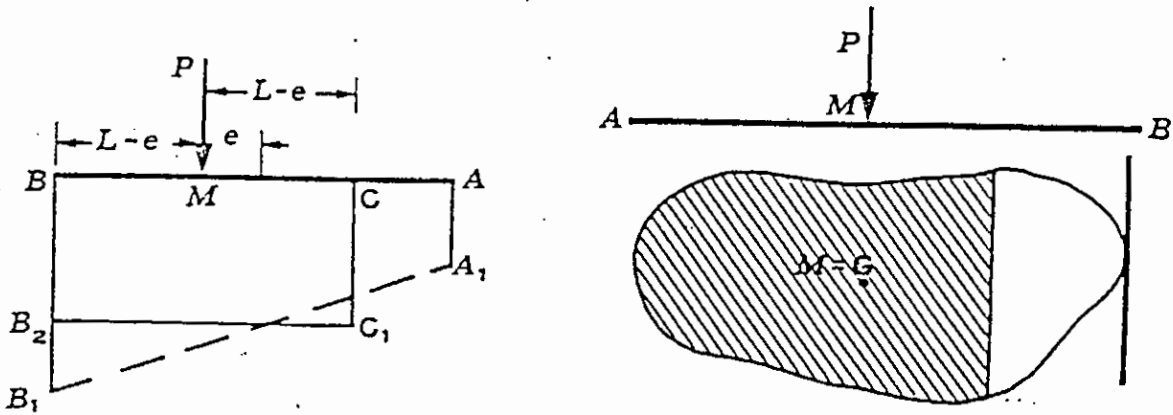
Η παραδοχή της γραμμικής κατανομής των τάσεων του εδάφους κάτω από το πέδιλο AB βασίζεται εξάλλου στις εξής δύο παραδοχές :

- α) Το πέδιλο είναι απαραμόρφωτο.
- β) οι τάσεις του εδάφους είναι ανάλογες με τις καθιζήσεις.

Καμμία από τις δύο αυτές υποθέσεις δεν είναι απόλυτα ικανοποιητική. Μπορούν συνεπώς να ληφθούν μερικά υπόψη, αν αυτό επιτρέπει καλύτερο χειρισμό προβλήματος.

Ο ΜΕΥΕΡΗΟΦ, με βάση τα παραπάνω, καταλήγει στον εξής κανόνα :

Στην περίπτωση έκκεντρων φορτίων η φόρτιση του εδάφους θα υπολογισθεί για ένα συμμετρικό πέδιλο του οποίου το κέντρο βάρους θα βρίσκεται στο ίδιο σημείο με το σημείο Μ εφαρμογής του φορτίου Ρ.



Σχ. 49

Στην περίπτωση ορθογωνίου πεδίου το μήκος της θεωρητικής διατομής θα είναι :

$$B' = 2L - 2e$$

Συνιστάται το σημείο εφαρμογής της φορτίσεως να βρίσκεται μέσα στον πυρήνα του πεδίου για να μην δημιουργούνται αρνητικές τάσεις.

Ισχύει, συνεπώς, για τα ορθογώνια πέδιλα, η συνθήκη

$$e \leq \frac{L}{3}$$

Το ενδιαφέρον της μεθόδου είναι διπλό :

- 1) Η τιμή του BB_2 είναι μικρότερη από την τιμή του BB_1

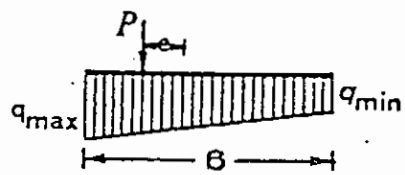
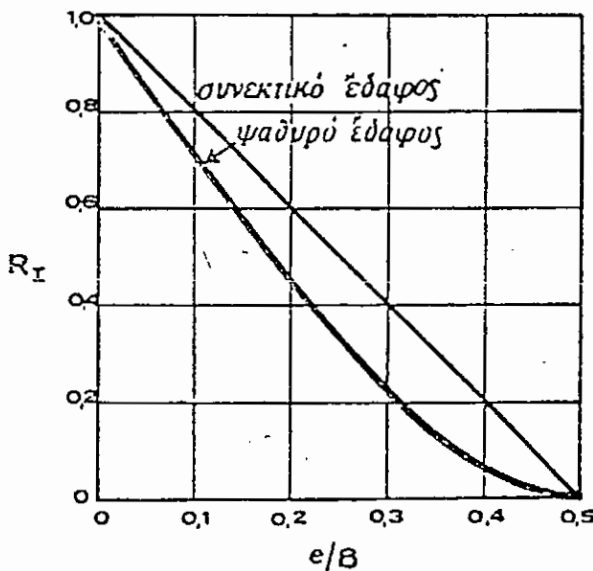
που αντιστοιχεί σε τριγωνική ή τραπεζοειδή διάταξη. Αφού πρέπει να εξισώσουμε τη μέγιστη φόρτιση BB_2 ή BB_1 με την επιτρεπόμενη τάση, η μέθοδος οδηγεί σε οικονομικότερη λύση.

2) Οι αριθμητικοί υπολογισμοί απλοποιούνται κατά πολύ, ιδιαίτερα στην περίπτωση πεδίων με πολύπλοκη μορφή, κυκλική ή πολυγωνική.

Στις περιπτώσεις αυτές αρκεί να αναζητηθεί επιφάνεια S_1 , που να έχει το M σαν κέντρο βάρους.

Είναι επίσης δυνατό, στην περίπτωση κατακόρυφης φόρτισης απλής εκκεντρότητας e , ο υπολογισμός γίνεται κανονικά με τη μέθοδο του TERZAGHI και εισάγεται ένας μειωτικός συντελεστής R_1 από το νομογράφημα του σχήματος 50, δηλαδή έχουμε:

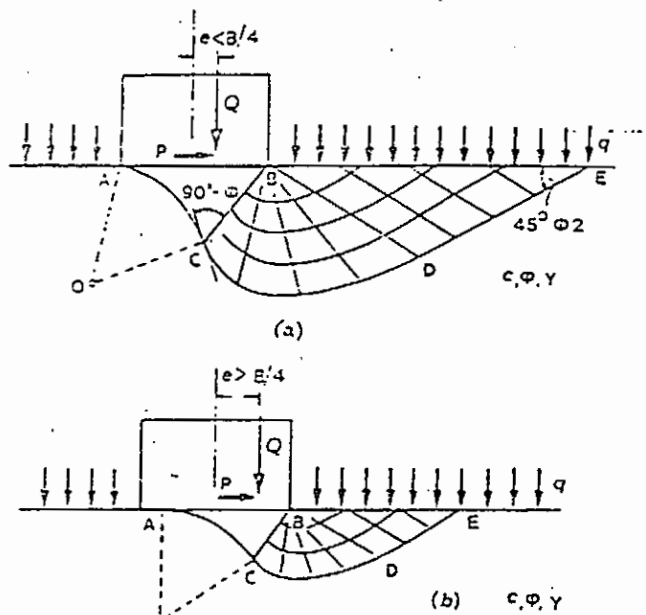
$$q' = q \cdot R_1 \quad (33)$$



Σχ. 50

4.6.4 Κεκλιμένα φορτία

Στην περίπτωση ενός κεκλιμένου κεντρικού φορτίου ή καμπύ-
λη ολισθήσεως μετατοπίζεται, (Σχ. 51) με αποτέλεσμα να
μειώνεται η φέρουσα ικανότητα. Έχουν δοθεί διάφορες σχέ-
σεις, αρκετά πολύπλοκες, για να ληφθεί υπόψη η μείωση
αυτή. Αφού οπωσδήποτε τα αποτελέσματα είναι προσεγγιστικά
είναι αρκετό να εφαρμοσθεί η πιο απλή σχέση που προτείνει
ο MEYERHOF, για γωνία κλίσεως α σε ακτίνια :



Σχ. 51

$$q = \left(1 - \frac{a}{\phi}\right)^2 \gamma \cdot \frac{B}{2} N_{\gamma} + \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi}\right) \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \left(1 - \frac{2a^2}{\pi}\right) c N_c$$

4.6.5 Κεκλιμένα πέδιλα

Όταν τα πέδιλα έχουν κλίση α (σε ακτίνια), προς την οριζόντια διεύθυνση, θα εφαρμοστούν οι διορθωτικοί συντελεστές που προτείνονται ο VE IG (Σχ. 52).

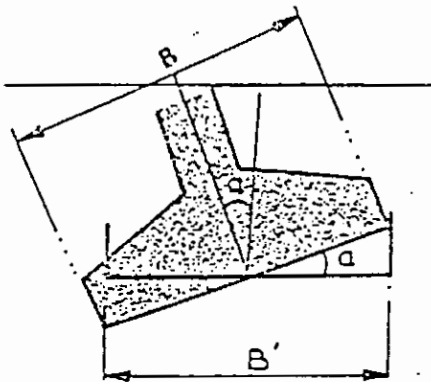
$$J_q = J_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg} \varphi)^2$$

$$J_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi+2}$$

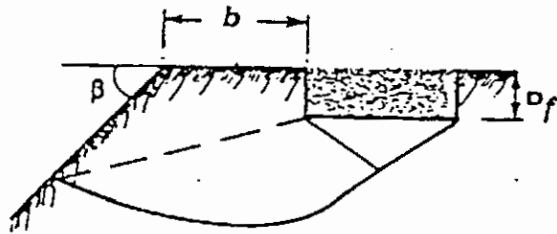
θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί η γενική μέθοδος με πέδιλο πλάτους $B' = B \cos \alpha$.

4.6.6 Θεμελίωση σε πρανές

Όταν η θεμελίωση βρίσκεται πλησίον σε πρανές η φέρουσα ικανότητα μειώνεται αφού μειώνεται το μήκος ορισμένων καμπυλών θράυσεως (Σχ. 53).



Σχ. 52



Σχ. 53

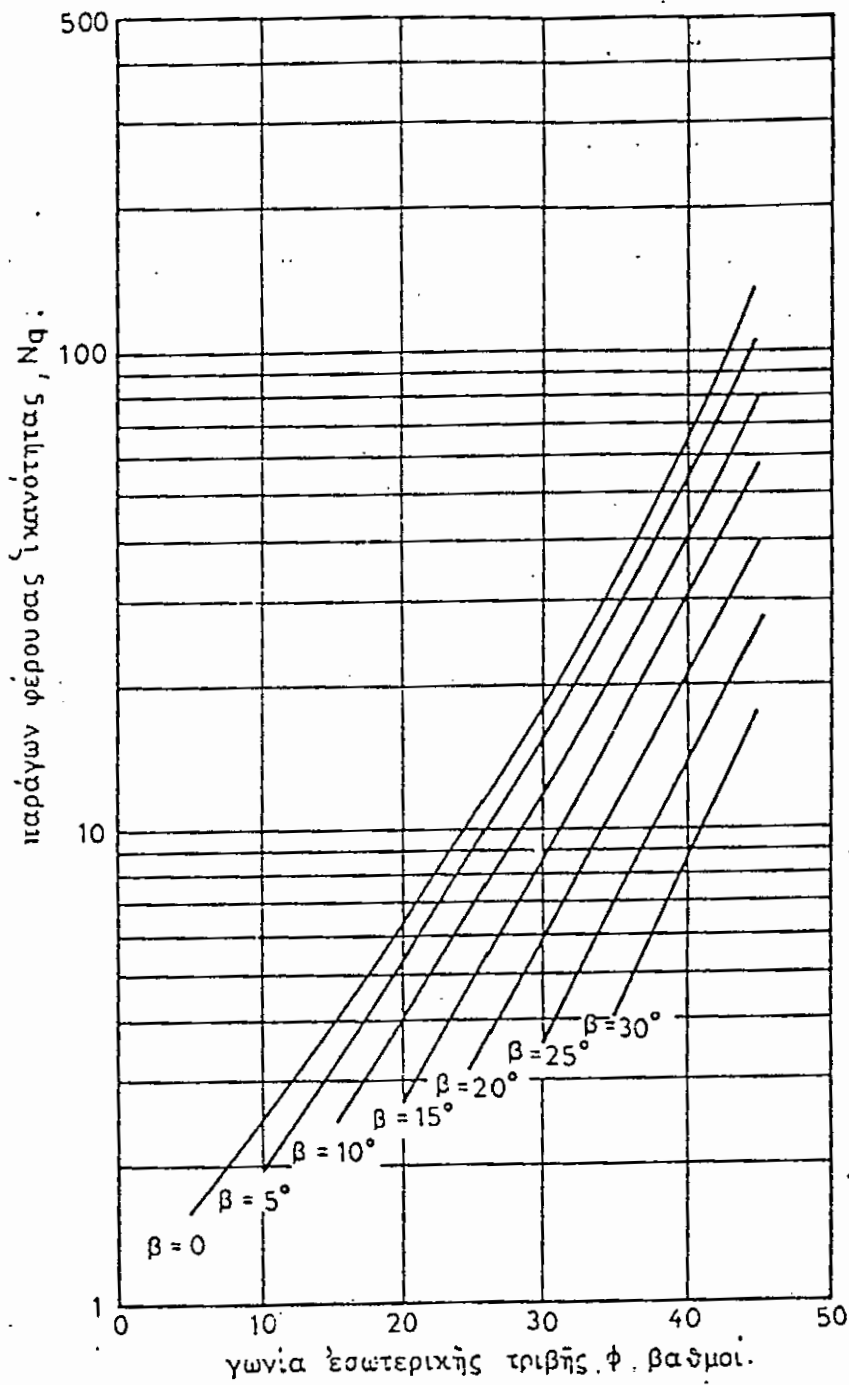
Οι συντελεστές μειώσεως είναι συναρτήσεις της αποστάσεως b από την κορυφή του πρανούς, του βάθους D_f και της κλίσεως b του πρανούς.

Είναι καλό να δίνεται στο b μία αρκετά μεγάλη τιμή (ιδίως σε σεισμοπαθείς περιοχές). Στην περίπτωση όμως που $b = 0$ οι τιμές των συντελεστών μειώσεως είναι :

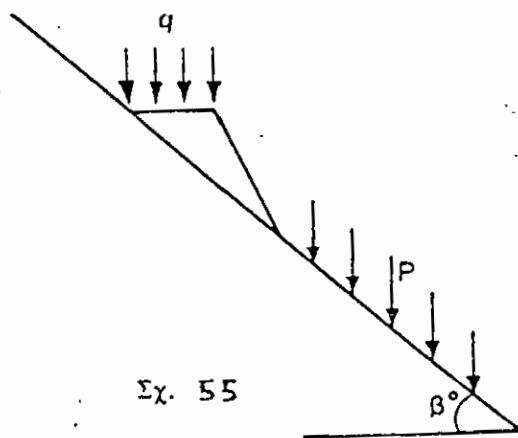
$$J_q = J_\gamma = (1 - \text{tga})^2$$

$$J_c = 1 - \frac{2a}{\pi + 2} \quad (a \text{ σε ακτίνια})$$

Η περίπτωση φορτίσεως οριζόντιας ζώνης κατά μήκος ενός πρανούς έχει επίσης μελετηθεί με τη βοήθεια των ελαστοπλαστι-



Σχ. 54



Σχ. 55

κών εξισώσεων ισορροπίας (Σχ. 55).

Στην περίπτωση ενός ψαθυρού εδάφους η φέρουσα ικανότητα των πρανών έχει την τιμή:

$$q = p \cdot N_q \quad (35)$$

όπου p = η επιφόρτιση κατα μήκος των πρανών (ή το βάρος $\gamma \cdot D_f$ ενός στρώματος εδάφους), και N_q συντελεστής που δίνεται στο νομογράφημα για διάφορες τιμές της γωνίας β του πρανούς (Σχ. 54).

4.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εφαρμογή 1

Ένα τετραγωνικό πέδιλο με πλευρά 2,00 m βρίσκεται μέσα σε ομογενές στρώμα από πυκνή ασυμπίεστη άμμο με φαινόμενο βάρος $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ και γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 30^\circ$, $c = 0$. Το πέλαμα του πέδिलου βρίσκεται 0,80 m κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Να υπολογιστούν :

- α) Ποιά είναι η φέρουσα ικανότητα κατά τη μέθοδο TERZAGHI ;
- β) Ποιό είναι το ασφαλές φορτίο που μπορεί να φέρει το πέδιλο για συντελεστή ασφαλείας $V = 3$;
- γ) Αν υποθεθεί ότι η άμμος είναι χαλαρή και επομένως μεγάλης συμπιεστότητας, ποια είναι η μεταβολή στον τύπο της φέρουσας ικανότητας ;
- δ) Αν λόγω της μεταβολής της πυκνότητας έχουμε $\gamma = 1,70 \text{ t/m}^3$ και $\phi = 25^\circ$, να υπολογιστεί η φέρουσα ικανότητα και το ασφαλές φορτίο του πέδिलου.

ΛΥΣΗ

- α) Η φέρουσα ικανότητα τετραγωνικού πέδिलου κατά TERZAGHI είναι :

$$q = 1,30 c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Για $\phi = 30^\circ$ από το νομογράφημα του σχήματος 6.5 έχουμε :

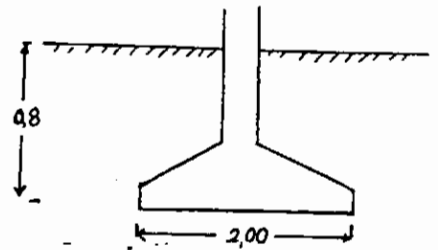
$$N_c = 37,20 \quad , \quad N_q = 22,50 \quad , \quad N_\gamma = 19,70$$

άρα :

$$q = 34,20 + 30,00 = 64,20 \text{ t/m}^2$$

β) Το ασφαλές φορτίο που μπορεί να φέρει το πέδιλο για συντελεστή ασφαλείας $\nu = 3$ είναι :

$$q_{\text{επ}} = \frac{q}{\nu} = \frac{64,20}{3} = 21,40 \text{ t/m}^2.$$



Σχήμα 1

γ) Για καλαρή άμμο :

$$\varphi = 30^\circ \rightarrow N_q = 8,30, N_\gamma = 5,70$$

$$q = 1,30 c' N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma \cdot B N_\gamma$$

$$q = 1,90 \cdot 0,80 \cdot 8,30 + 0,40 \cdot 1,90 \cdot 2,00 \cdot 5,70 = 12,60 + 8,67 \Rightarrow$$

$$q = 21,27 \text{ t/m}^2.$$

δ) Για $\varphi = 25^\circ$ έχουμε :

$$N_q = 12,70 \text{ και } N_\gamma = 9,70$$

$$q = 1,90 \cdot 0,80 \cdot 12,70 + 0,40 \cdot 1,90 \cdot 2,00 \cdot 9,70 = 19,30 + 14,70 = 34,00 \text{ t/m}^2$$

Το ασφαλές φορτίο του πέδιλου :

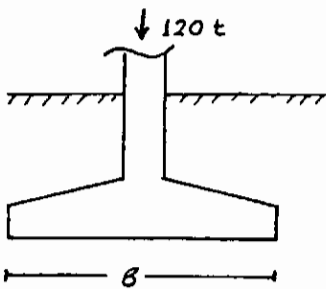
$$q_{\text{επ}} = \frac{q}{\nu} = \frac{34,00}{3} = 11,35 \text{ t/m}^2$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2

Ένα φορτίο $P = 120\text{t}$ πρόκειται να θεμελιωθεί πάνω σε πυκνό ασυμπίεστο εδαφικό στρώμα σε βάθος $1,00\text{ m}$.

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι : $\gamma = 1,83\text{ t/m}^3$, $\phi = 20^\circ$ και $c = 0,50\text{ t/m}^2$. Να υπολογισθεί η πλευρά του τετραγωνικού πέδιλου που μπορεί να μεταφέρει στο έδαφος ασφαλώς το φορτίο των $P = 120\text{ t}$, όταν ο συντελεστής ασφαλείας $\nu = 3$.

ΛΥΣΗ



Το φορτίο των $P = 120\text{ t}$ όταν μεταφερθεί στο έδαφος από τετραγωνικό πέδιλο με πλευρά B δημιουργεί ομοιόμορφο διάγραμμα τάσεων με

τιμή :

$$p = \frac{120}{B^2}$$

Εάν ο συντελεστής ασφαλείας είναι $\nu = 3$, για να μεταφερθεί ασφαλώς το φορτίο θα πρέπει η φέρουσα ικανότητα να είναι :

$$q = 3 \cdot \frac{120}{B^2} \text{ t/m}^2$$

Για $\phi = 20^\circ$, $N_c = 17,70$, $N_q = 7,40$ και $N_\gamma = 5,00$

άρα :

$$q = 1,30 c N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma = 3 \frac{120}{B^2}$$

ή

$$A = 360 = B^2 (11,50 + 13,55 + 3,66B).$$

Η εξίσωση λύνεται προσεγγιστικά :

για $B = 3,00\text{ m} \longrightarrow A = 330$

για $B = 3,20 \text{ m} \longrightarrow A = 385$

για $B = 3,10 \text{ m} \longrightarrow A = 352$

Αρα παίρνουμε τελικά πλευρά τετραγωνικού πέδιλου $B = 3,10 \text{ m}$.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 3

Να μελετηθεί πως μεταβάλλεται η φέρουσα ικανότητα του τετραγωνικού πέδιλου του σχήματος όταν μεταβάλλεται η στάθμη του υπόγειου νερού. Να μελετηθούν οι εξής περιπτώσεις :

- α) Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθος 5,00 m κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης.
- β) Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται στο επίπεδο θεμελίωσης.
- γ) Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους.
- δ) Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται 1,00m κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης.

(Υποτίθεται ότι η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ δεν μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται η στάθμη του υπόγειου νερού).

ΛΥΣΗ

α) φέρουσα ικανότητα δίνεται από τον τύπο :

$$q = 1,30 c \cdot N_c + \gamma D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot W'$$

για $d/B = 2,50$ $W' = 1$

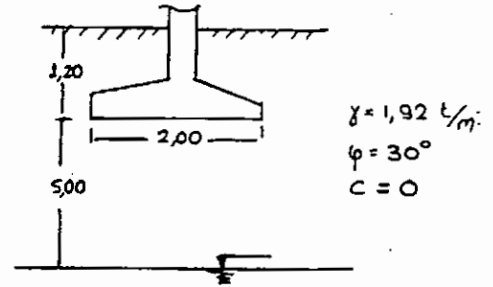
Για $\phi = 30^\circ$ από το νομογράφημα του TERZAGHI έχουμε :

$$N_c = 37,20, \quad N_q = 22,00, \quad N_\gamma = 20,00$$

$$q = 1,30 \cdot 0 \cdot 37,20 + 1,92 \cdot 1,20 \cdot 22,00 + 0,40 \cdot 1,92 \cdot 2,00 \cdot 20,00 \cdot 1 = 51,00 + 30,50 = 81,50 \text{ t/m}^2$$

β) Έχουμε (σχήμα 4).

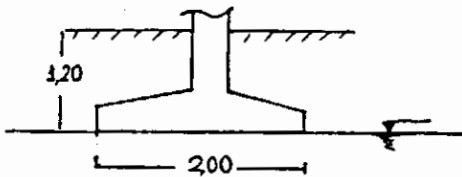
$$q = \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma' B N_\gamma = 1,92 \cdot 1,20 \cdot 22,00 + 0,40 \cdot 1,00 \cdot 2,00 \cdot 20,00 = 67,00 \text{ t/m}^2$$



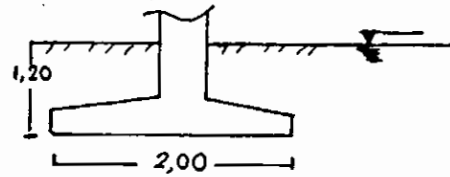
Σχήμα 3

γ) Έχουμε (σχήμα 5)

$$q = \gamma' D_f N_q + 0,40 \gamma' B N_\gamma = 1,00 \cdot 1,20 \cdot 22,00 + 0,40 \cdot 1,00 \cdot 2,00 \cdot 20,00 = 42,50 \text{ t/m}^2$$



Σχήμα 4



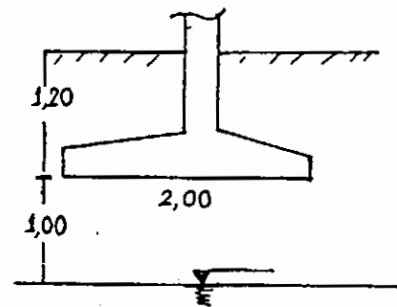
Σχήμα 5

δ) Απο τον τύπο :

$$q = 1,3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 B \cdot \gamma' N_\gamma \cdot W'$$

Έχουμε :

$$q = 1,92 \cdot 1,20 \cdot 22,00 + 0,40 \cdot 2,00 \cdot 1,92 \cdot 20,00 \cdot 0,75 = 50,69 + 23,04 = 73,73 \text{ t/m}^2$$



Σχήμα 6

(Ο παράγοντας W' λαμβάνεται από το νομογράφημα του σχ. 45)

5. ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ.

5.1 Εισαγωγή

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση που ένα κορεσμένο, συνεκτικό (αργιλικό) έδαφος υποβάλλεται σε αύξηση της ολικής κατακόρυφης τάσης σ με παρεμπόδιση των πλευρικών παραμορφώσεων.

Όταν αυξηθεί η ολική τάση σ , οι στερεοί κόκκοι προσπαθούν να μετατοπισθούν σε θέσεις κοντινότερες μεταξύ τους. Η μετακίνηση αυτή δεν είναι δυνατή αν το νερό δεν μπορεί εύκολα να διαφύγει, όπως συμβαίνει στα χαμηλής διαπερατότητας αργιλικά εδάφη.

Σαν αποτέλεσμα έχουμε ότι αρχικά όλη η αύξηση της ολικής κατακόρυφης τάσης μεταβιβάζεται στο νερό των πόρων. Η αύξηση όμως της πίεσης αυτής έχει σαν αποτέλεσμα την ροή του νερού προς τα όρια του εδαφικού στρώματος.

Η ροή αυτή ή στράγγιση συνεχίζεται μέχρις ότου η πίεση του νερού ξαναγίνει υδροστατική, μέχρις ότου δηλαδή η υπερπίεση $u_e = 0$. Όσο όμως προχωρεί η διαδικασία της στράγγισης, οι στερεοί κόκκοι αποκτούν ελευθερία μετακίνησης με αποτέλεσμα την αύξηση των δυνάμεων μεταξύ τους. Δηλαδή καθώς προχωρεί η εκτόνωση της υπερπιέ-

σεως του νερού η ενεργός κατακόρυφη τάση αυξάνεται και αυτή η αύξηση συνοδεύεται απο αντίστοιχη μείωση του όγκου του εδαφικού στρώματος (συμπύεση ή καθίζηση). Όταν η υπερπίεση του νερού θα έχει γίνει μηδενική, ολόκληρη η μεταβολή της κατακόρυφης τάσης $\Delta\sigma$ θα έχει μεταβιβαστεί στον στερεό σκελετό. Το φαινόμενο αυτό λέγεται στερεοποίηση.

Η ποσότητα του νερού που διαφεύγει εξαρτάται απο το μέγεθος του φορτίου και την συμπιεστότητα του εδάφους. Ο ρυθμός με τον οποίο διαφεύγει εξαρτάται απο τον συντελεστή διαπερατότητας απο το πάχος και απο την συμπιεστότητα του εδάφους.

Η εργαστηριακή άσκηση που μελετά τον ρυθμό και μέγεθος της στερεοποίησης, βασίζεται στην θεωρία της μονοδιάστατης στερεοποίησης του TERZAGHI.

Γενικά, η άσκηση εκτελείται ως εξής: Ένα εδαφικό δείγμα πλευρικά περιορισμένο σε ένα μεταλικό δακτύλιο υπόκεινται σε διάφορα αυξανόμενα φορτία.

Διάτρητες πλάκες που τοποθετούνται στις δύο επιφάνειες του δοκιμίου επιτρέπουν την κατακόρυφη στράγγιση (συνθήκες διπλής στράγγισης). Η κατακόρυφη συμπύεση του δείγματος μετρείται για διάφορους χρόνους και για κάθε αύξηση του φορτίου.

Οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του φαινομένου

της στερεοποίησης γενικά και ειδικότερα για τον προσδιορισμό του συντελεστή στερεοποίησης C_v , τον δείκτη συμπιεστότητας C_c καθώς και την μέγιστη τάση προφόρτισης.

5.9.1 (A) Ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός.

(A₁) Συσκευή φορτίσεως για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο.

Η συσκευή αυτή θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή και διατήρηση φορτίου για μεγάλο χρονικό διάστημα καθώς επίσης να επιτρέπει την άμεση επιβολή φορτίου μέσα σε δύο δευτερόλεπτα χωρίς κρούση.

(A₂) Συσκευή στερεοποίησης.

Το δοκίμιο συγκρατείται μέσα σε δακτύλιο, ο οποίος είτε έχει συνδεθεί με τη βάση της συσκευής είτε όχι. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμόζονται πορόλιθοι. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει συνεχή κορεσμό του δοκιμίου, επιβολή κατακόρυφου φορτίου και μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου.

(A₃) Πορόλιθοι

Οι πορόλιθοι θα πρέπει να είναι από υλικά όπως καρβίδιο του πυριτίου, οξειδίο του αργιλίου ή μέταλλο που δεν διαβρώνεται από την υγρασία, ή ουσίες που περιέχονται στο έδαφος.

Η διάμετρος του πορόλιθου που τοποθετείται στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου θα πρέπει να είναι μικρότερη από

την εσωτερική διάμετρο του δακτυλίου τουλάχιστο κατά 0,2 έως 0,5 mm. Το πάχος των πορόλιθων θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά την δοκιμή.

(A₄) Μηκυνσιόμετρο για την μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο της στερεοποίησης.

5.2.2 (B) ΓΕΝΙΚΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.

- (B₁) Υγρός θάλαμος συντηρήσεως των δοκιμίων.
- (B₂) Μορφωτής δοκιμίου με τα εξαρτήματα του.
- (B₃) Εξολκέας δείγματος.
- (B₄) Ζυγοί ακριβείας 0,1 γραμμαρίων.
- (B₅) Κλίβανος ξηράσεως θερμοκρασίας $105 \pm 1\text{C}$
- (B₆) Διάφορες άλλες συσκευές γενικής χρήσης όπως σπάτουλες, μαχαίρια, συρματοπρίονα κ.λ.π. που χρησιμοποιούνται για την προπαρασκευή του δοκιμίου.

5.2.3 (Γ) ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ.

(Γ₁) Η μόρφωση του δοκιμίου γίνεται με προσοχή ώστε να αποφεύγεται η διατάραξη του και απώλεια υγρασίας μεγαλύτερη από 0,2 %₀. Εάν είναι ανάγκη η μόρφωση του δοκιμίου γίνεται μέσα στον υγρό θάλαμο.

Γενικά κατά τη μόρφωση του δοκιμίου θα πρέπει να αποφεύγονται οι δονήσεις και η οποιαδήποτε συμπίεση του υλικού.

(Γ₂) Το δοκίμιο με το δακτύλιο ζυγίζονται πριν από την δοκιμή.

5.2.4 (Δ) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ-ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

(Δ₁) Οι πορόλιθοι υγραίνονται έτσι ώστε να μην απορροφούν νερό απ' το δοκίμιο ούτε να αποδίδουν νερό σ' αυτό. Υγραίνονται επίσης όλες οι εσωτερικές επιφάνειες της συσκευής στερεοποίησης. Το δοκίμιο και οι πορόλιθοι συναρμολογούνται με το δακτύλιο και καλύπτονται με αεροσταγή μεμβράνη ώστε να εμποδίζεται η εξάτμιση του νερού του δοκιμίου.

(Δ₂) Η συσκευή στερεοποίησης τοποθετείται στην συσκευή φορτίσεως και εφαρμόζεται μία αρχική μικρή πίεση της τάξης των $0,05 \text{ Kg/cm}^2$. Για πολύ μαλακά εδάφη είναι επιθυμητή πολύ μικρή αρχική πίεση, της τάξης των $0,02 \text{ Kg/cm}^2$.

Μετά αποδομή εφαρμογής του αρχικού αυτού φορτίου τοποθετείται το μηκυνσιόμετρο στην ένδειξη μηδέν.

(Δ₃) Εφαρμόζονται πιέσεις $0,125, 0,25, 0,50, 1,0, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 \text{ Kg/cm}^2$... κλπ στο δοκίμιο και κάθε πίεση παραμένει σταθερή για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Η διαβροχή του δοκιμίου γίνεται αμέσως μετά την εφαρμογή του πρώτου φορτίου της κλίμακας. Αν κατά την διαβροχή σημειωθεί διόγκωση του δοκιμίου τότε προστίθεται το αμέσως επόμενο φορτίο της κλίμακας μέχρις ότου σταματήσει η διόγκωση και οι μετρήσεις αρχίζουν

πάλι απο την αρχή του χρόνου. Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να αυξάνεται μέχρις ότου το τελευταίο τμήμα της καμπύλης, παραμόρφωσης-λογαρίθμου πιέσεως, γίνει ευθύγραμμο.

(Δ₄) Πριν απ' την εφαρμογή της επόμενης βαθμίδας πιέσεως καταγράφεται το πάχος ή η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου και παίρνονται αναγνώσεις κάθε 0,1, 0,25, 0,50, 1,2,4,8,15 και 30 λεπτά, 1,2,4,8 κλπ ώρες μετρούμενα απ' τον χρόνο επιβολής της κάθε βαθμίδας πιέσεως.

Αναγνώσεις θα πρέπει να παίρνονται μέχρις ότου το χαρακτηριστικό ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης παραμόρφωσης-λογαρίθμου χρόνου κατα την δευτερεύουσα στερεοποίηση, γίνει εμφανές.

Σε εδάφη όπου η πρωτεύουσα στερεοποίηση πραγματοποιείται με αργό ρυθμό ή όταν ενδιαφέρει το φαινόμενο της δευτερεύουσας στερεοποίησης του εδάφους η κάθε βαθμίδα εφαρμόζεται για 24 και άνω ώρες.

5.2.5 (B) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

(B₁) Υπολογισμός του συντελεστή στερεοποίησης C_v με την μέθοδο του λογαρίθμου χρόνου.

(B.1.1) Κατασκευάζεται η καμπύλη "παραμορφώσεως-λογαρίθμου χρόνου" για κάθε βαθμίδα φορτίσεως.

(B.1.2) Προσδιορίζεται η παραμόρφωση ή ο δείκτης πόρων που

αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης $U=100\%$ προεκτείνοντας το μεσαίο ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης "παραμορφώσεως-λογαρίθμου χρόνου" και το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα τελευταία σημεία της καμπύλης στην περιοχή της δευτερεύουσας στερεοποίησης.

(B.1.3) Για κάθε βαθμίδα φορτίσεως προσδιορίζεται η παραμόρφωση ή ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί σε 0% βαθμό στερεοποίησης ως εξής: Στην καμπύλη "παραμορφώσεως-λογαρίθμου χρόνου" προσδιορίζονται δύο σημεία που αντιστοιχούν σε χρόνους t και $4t$. Ο χρόνος t εκλέγεται μεταξύ $0,1$ ως 1 μήν. Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε βαθμό 0% πρωτεύουσας στερεοποίησης θα είναι ίση με την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στον μικρότερο χρόνο μείον τη διαφορά σε παραμόρφωση των δύο εκλεγέντων σημείων.

Στη συνέχεια προσδιορίζεται ο χρόνος που αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης 50% (t_{50}). Ο χρόνος αυτός βρίσκεται απ' την καμπύλη "παραμορφώσεως-λογαρίθμου χρόνου" και αντιστοιχεί στην παραμόρφωση Δl .

$$\Delta l = \frac{(\Delta l)_{100\%} - (\Delta l)_{0\%}}{2}$$

(B.1.4) Υπολογισμός του συντελεστή στερεοποίησης C_V σε μονάδες (μήκος)² / χρόνος.

$$C_V = \frac{0,197 \cdot H^2}{t_{50}}$$

όπου $T_v = 0,197$ προκύπτει από την θεωρητική καμπύλη για $u = 50 \%$.

t_{50} : χρόνος για 50 % στερεοποίηση

H : ύψος του δοκιμίου

Για $\rho = 0,50 \text{ kg/cm}^2$

Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε 0 % βαθμό στερεοποίησης είναι :

$$213 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 213 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,0541 \text{ cm} = 0,541 \text{ mm}$$

Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε 100 % βαθμό στερεοποίησης είναι :

$$305 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 305 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,07747 \text{ cm} = 0,7747 \text{ mm}$$

Η παραμόρφωση επομένως που αντιστοιχεί σε 50 % βαθμό στερεοποίησης είναι :

$$213 \cdot 10^{-4} + \frac{(303 \cdot 10^{-4} - 213 \cdot 10^{-4})}{2} = 213 \cdot 10^{-4} + 92 \cdot 10^{-4} / 2 = \\ 213 \cdot 10^{-4} + 46 \cdot 10^{-4} = 259 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 259 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,06578 \text{ cm} = \\ 0,6578 \text{ mm}.$$

Αρα από το διάγραμμα έχουμε ότι $t_{50} = 600''$

$$H_1 = 1 - 316 \cdot 10^{-4} = 1 - 0,0316 = 0,9684 \text{ in} \cdot 2,54 \text{ cm} = 2,459 \text{ cm} = 24,59 \text{ mm}.$$

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης C_v είναι :

$$C_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{t_{50}} = \frac{0,197 \cdot (24,59/2)^2}{600''} = 0,0496 \text{ mm}^2/\text{sec}$$

Για $\rho = 1,00 \text{ kg/cm}^2$

Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης 0 % είναι : $345 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 345 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,08763 \text{ cm} = 0,8763 \text{ mm}.$

Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης 100 % είναι : $495 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 495 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,12573 \text{ cm} = 1,257 \text{ mm}.$

ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ: ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ

1. Χαρακτηριστικά Δοκιμίου και Υπολογισμοί

Συσκευή Άριθ. _____
 Ύψος = _____ mm. - Διάμετρος = 60 mm. - Επιφάνεια A = 28,26 cm²
 Βάρος εδάφους G_s = $\frac{G_s}{\delta V}$ = 1,22 Τύπος εδάφους _____
 Σημείωση _____
 Διαμορφωτότητα _____

Συσκευής + υγρού εδάφους W = _____ gr
 Συσκευής W_u = _____ gr
 Υγρού εδάφους W_T = _____ gr
 Ξηρού εδάφους W_s = 39,49 gr
 Συσκευή μετά τύπου 80 mm _____ gr
 Συσκευή χωρίς φορτίο _____ gr
 Συσκευή με φορτίο _____ Kg/cm² _____ gr
 Οριζοντιό ύψος δοκιμίου 1 H = 25,40 mm
 Ύψος κόκκων _____ mm

Υγρασία %	Πριν την δοκιμή	Πριν την δοκιμή	Μετά την δοκιμή
Δοχ. Άρ.			
Bδ + ε + υ			
Bδ + ε			
Bυ			
Bδ			
Bε			
w %			

σημ	Τέλ. άναγν. R	Υποχώρ. σε 0,0001 (ΔR)	H = H ₀ - ΔR	Διάμετρο H - H _s	Λογ. διακ. $\frac{H - H_s}{H_s}$	Ξηρό φαιν. Βάρος kg/m ³	% Στερεοπ.	Παρατηρήσεις
		67 x 10 ⁻⁴		5313 x 10 ⁻⁴	1.150			
		344 x 10 ⁻⁴		5036 x 10 ⁻⁴	1.090			
		760 x 10 ⁻⁴		4620 x 10 ⁻⁴	1.000			
		1337 x 10 ⁻⁴		4043 x 10 ⁻⁴	0.875			
		1915 x 10 ⁻⁴		3465 x 10 ⁻⁴	0.750			

	Άρχική κατάσταση	Τελική κατάσταση
πιν. βαρ. Kg/m ³		
οριζ. ύψος H mm		
κόκκων H _s mm		
υγρού H _u mm		
ξηρού H _s mm		(1)
υγρασία W %		(2)
στερεοπ. %	(3)	

(1) Κατά παραδοχή Η₀ άμετάβλητο κατά την κορσεμού

$$(2) = \frac{H_u - A \times 100}{W_s}$$

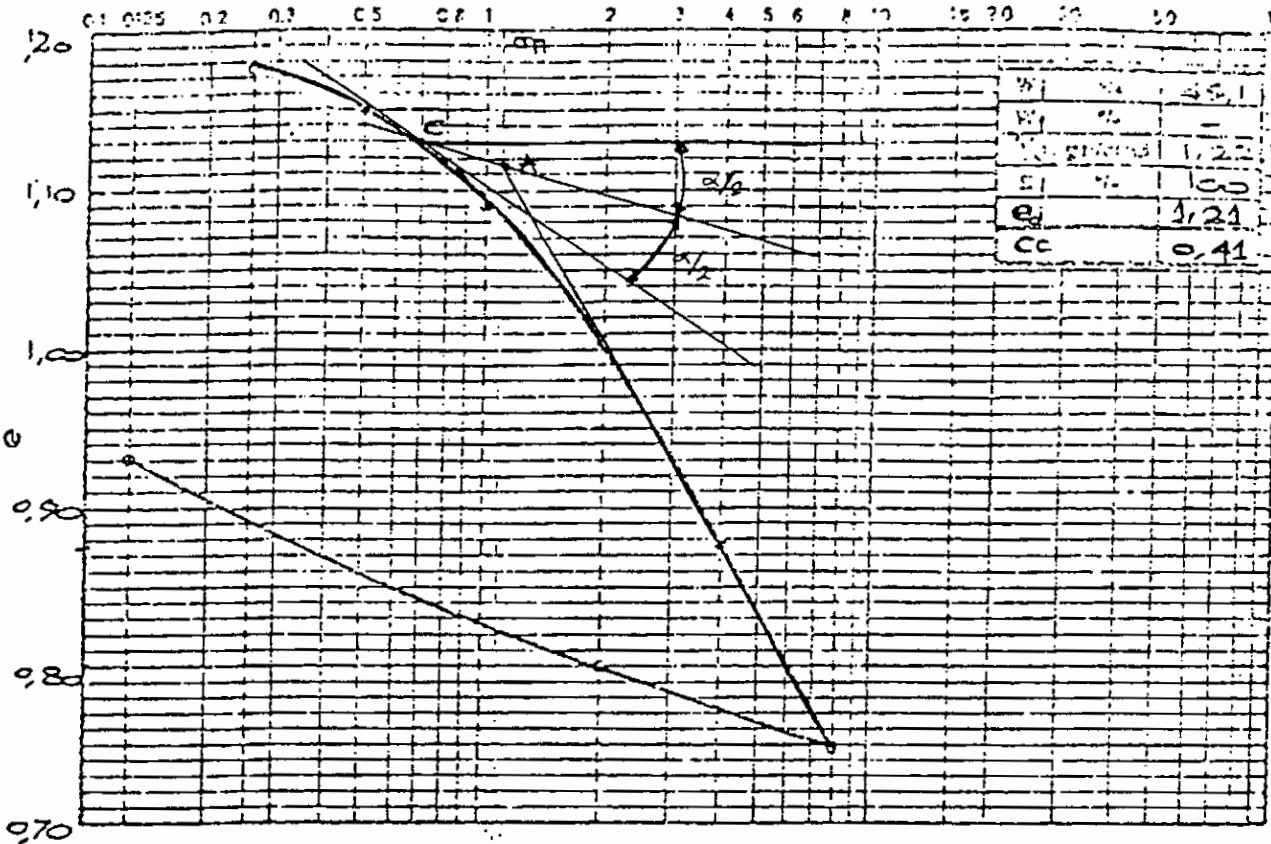
$$(3) S = \frac{H_u - 100}{H - H_s} = \frac{G_s \times W\%}{\dots}$$

$$H_u = \frac{W_T \times 100}{A}$$

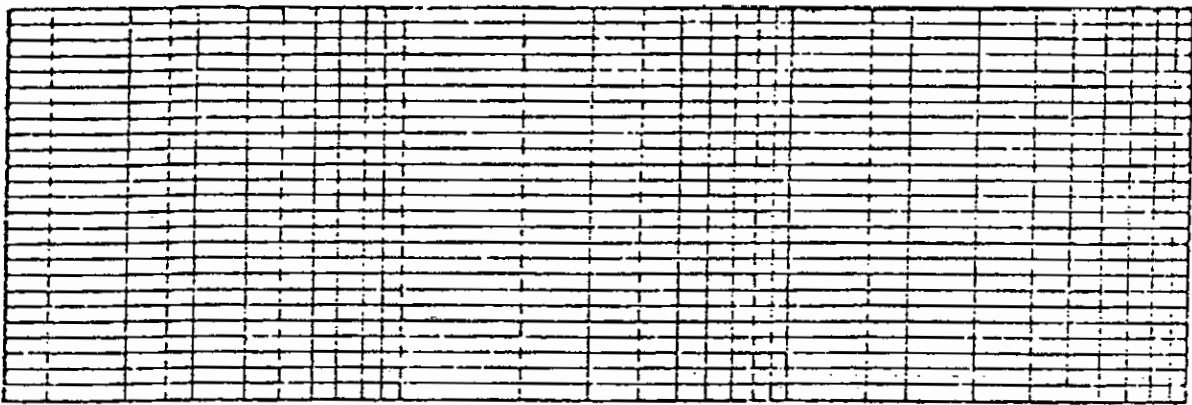
$$H_s = H - H_u - H_v$$

ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΟΓΟΥ ΚΕΧΟΚ — LOG. ΠΙΕΣΕΩΣ — VOID RATIO — LOG PRESSURE DIAGRAM

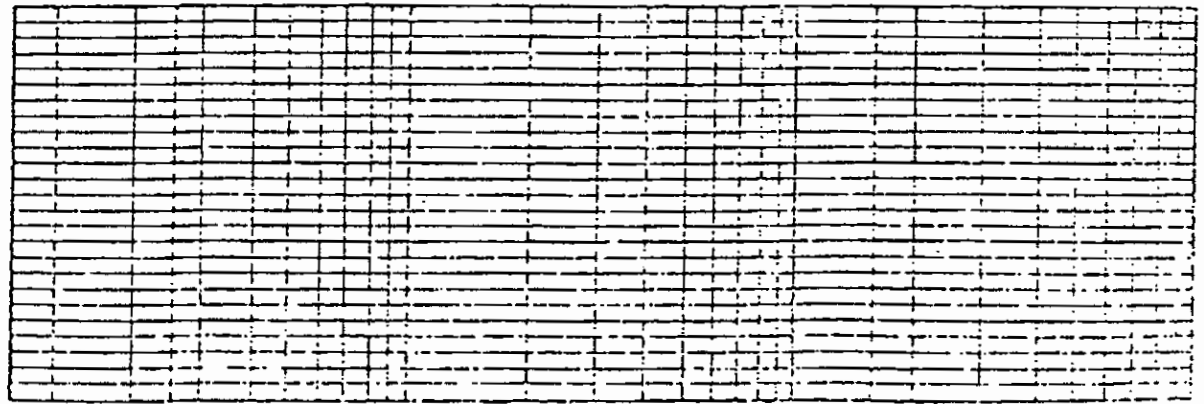


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤ. ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΟΣ — LOG. ΠΙΕΣΕΩΣ — COEF. OF CONSOLIDATION — LOG. PRESSURE



Cv x 10⁻⁴ cm²/sec

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤ. ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΟΣ — LOG. ΠΙΕΣΕΩΣ — COEF. OF PERMEABILITY — LOG. PRESSURE



k cm/sec

0.1 0.25 0.2 0.3 0.5 0.8 1 2 3 4 5 6 8 10 15 20 30 50 100

ΔΕΙΓΜΑ SAMPLE Π / 5 20 - 5, 9cm²

3 5cm²

Μετρήσεις υποχωρήσεων με συνάρτηση του χρόνου σε 1 X 10⁻⁴ in

Στοιχεία δείγματος: Γεώργιος Βάρος:
Αριθμός συσκευής:

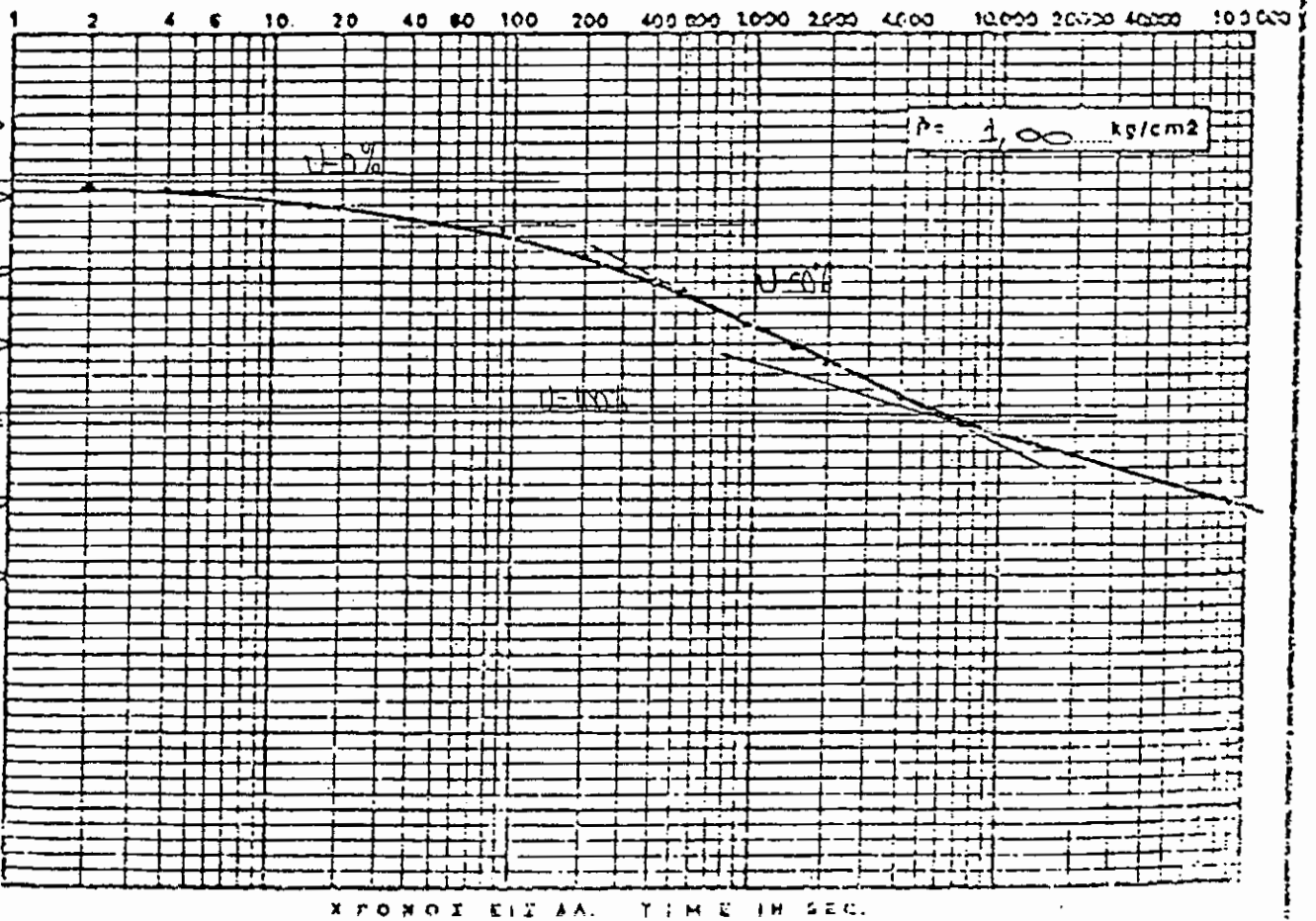
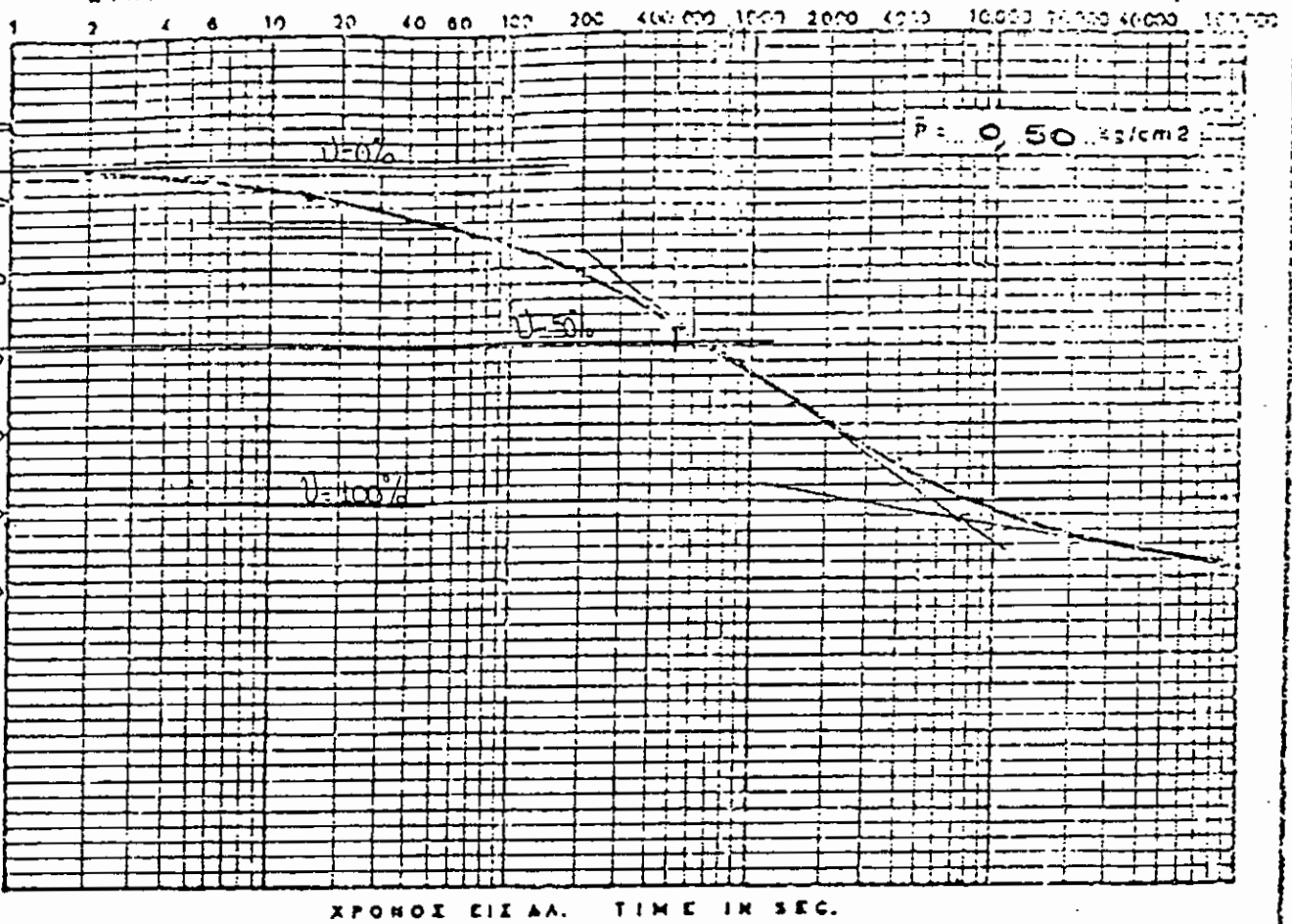
Χ Ρ Ο Ν Ο Σ Α Π Ο Τ Η Σ Ε Ν Α Ρ Ξ Ε Ο Σ

CPA [NIP:EI]	ΥΑΗ Kg/cm ²	Χ Ρ Ο Ν Ο Σ Α Π Ο Τ Η Σ Ε Ν Α Ρ Ξ Ε Ο Σ															10' 30"	10' 35"	10' 40"	Σύνολο 35' 40"	Σύνολο 35' 45"					
		0'	2"	4"	8"	16"	20"	40"	1'	1' 30"	2' 15"	3' 20"	4'	6' 40"	9'	13' 15"						15'	18'	35'	33' 20"	34'
0,50		-	215	216	219	221	223	228	229	232	236	240	247	252	256	260	264	266	276	280	281	286	292	300	304	316
100		-	349	350	352	360	362	370	372	380	385	394	400	410	417	430	438	440	450	460	462	470	485	508	522	530
200		-	590	595	600	605	610	620	628	635	640	658	664	688	700	720	730	738	768	790	800	818	840	870	922	955
400		-	1005	1010	1020	1022	1025	1040	1060	1070	1080	1100	1110	1140	1160	1183	1200	1210	1250	1280	1290	1320	1358	1430	1490	1525
800		-	-	1565	1578	1582	1590	1600	1610	1620	1638	1660	1670	1700	1720	1750	1780	1790	1835	1865	1880	1990	1940	2020	2070	2100

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗΝ

ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST

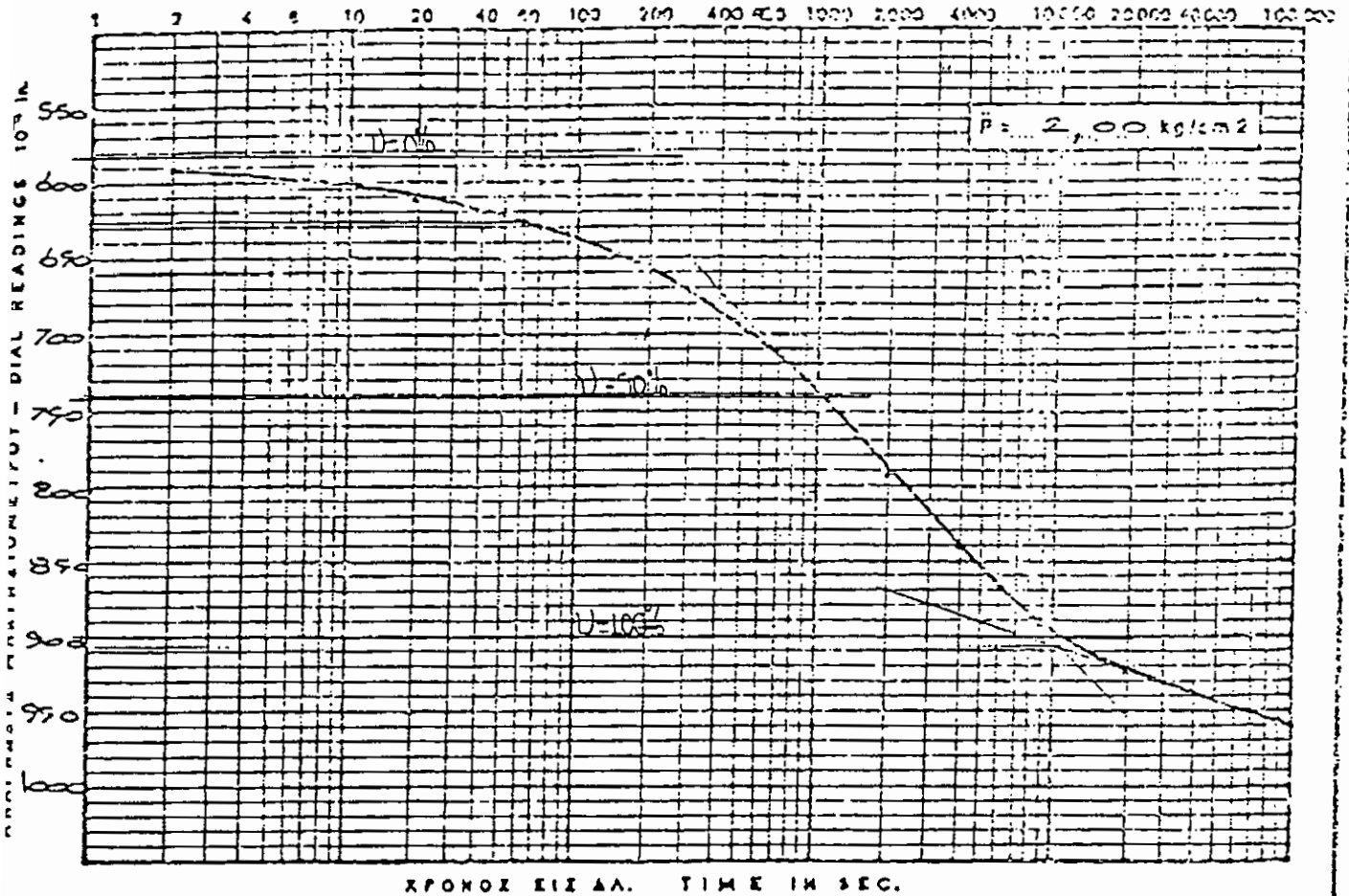
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΟΥ — ΥΠΟΚΟΡΗΤΕΩΝ — TIME — COMPRESSION DIAGRAM



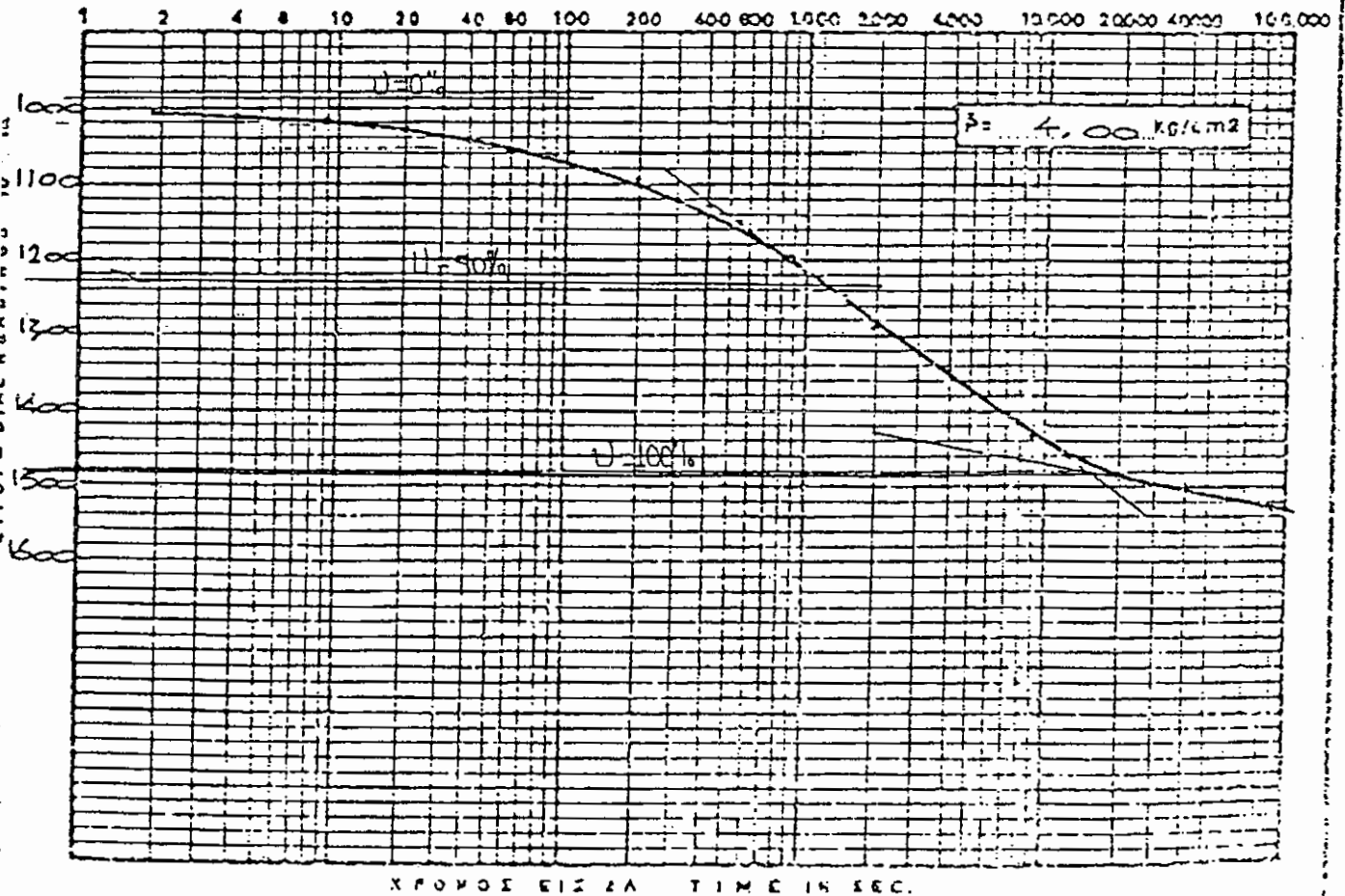
ΣΗΜΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ [A/ 5.30-5.35]

ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΟΥ — ΥΠΟΧΩΡΙΣΕΩΣ — TIME — COMPRESSION DIAGRAM



ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣ ΔΛ. TIME IN SEC.



ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣ ΔΛ. TIME IN SEC.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1 / 5.30 - 5.50

Επομένως η παρμόρφωση που αντιστοιχεί σε 50% στερεοποίηση είναι: $345 \cdot 10^{-4} + (495 \cdot 10^{-4} - 345 \cdot 10^{-4}) / 2 = 345 \cdot 10^{-4} + 150 \cdot 10^{-4} / 2 = 345 \cdot 10^{-4} + 75 \cdot 10^{-4} = 420 \cdot 10^{-4}$; $\eta = 420 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,10668 \text{ cm} = 1,0668 \text{ mm}$.

Αρα απο το διάγραμμα έχουμε ότι $t_{50} = 600''$

$$H_2 = 1 - 550 \cdot 10^{-4} = 1 - 0,0550 = 0,945 \quad \eta = 0,945 \cdot 2,54 \text{ cm} = 2,4 \text{ cm} = 24 \text{ mm}.$$

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης C_v είναι:

$$C_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{t_{50}} = \frac{0,197 \cdot (24/2)^2}{600''} = 0,0473 \text{ mm}^2/\text{sec}.$$

Για $\rho = 2,00 \text{ kg/cm}^2$

Αν $U = 0\%$ η ανάγνωση του μηκυσιόμετρου είναι:

$$580 \cdot 10^{-4}; \quad \eta = 580 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,1473 \text{ cm} = 1,473 \text{ mm}.$$

Αν $U = 100\%$ η ανάγνωση του μηκυσιόμετρου είναι:

$$907 \cdot 10^{-4}; \quad \eta = 907 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,2303 \text{ cm} = 2,303 \text{ mm}.$$

Επομένως για $U = 50\%$ η ανάγνωση του μηκυσιόμετρου είναι:

$$(1,473 + 2,303) / 2 = 1,888 \text{ mm}.$$

Αρα απο το διάγραμμα έχουμε ότι $t_{50} = 1000''$

$$H_3 = 1 - 955 \cdot 10^{-4} = 1 - 0,0955 = 0,9045 \quad \eta = 0,9045 \cdot 2,54 \text{ cm} =$$

$$2,297 \text{ cm} = 22,97 \text{ mm}.$$

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης C_v είναι:

$$C_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{50} = \frac{0,197 \cdot (22,97/2)^2}{1000''} = 0,0259 \text{ mm}^2/\text{sec}$$

Για $\rho=4,00 \text{ kg/cm}^2$

Αν $U=0\%$ η ανάγνωση του μηκυνσιόμετρου είναι:

$$985 \cdot 10^{-4} i_{\eta} = 985 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,25019 \text{ cm} = 2,502 \text{ mm}.$$

Αν $U=100\%$ η ανάγνωση του μηκυνσιόμετρου είναι:

$$1480 \cdot 10^{-4} i_{\eta} = 1480 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,37592 \text{ cm} = 3,759 \text{ mm}.$$

Επομένως για $U=50\%$ η ανάγνωση του μηκυνσιόμετρου είναι:

$$(2,502 + 3,759) / 2 = 3,130 \text{ mm}.$$

Αρα απο το διάγραμμα έχουμε ότι $t_{50} = 1200''$

$$H_4 = 1 - 1525 \cdot 10^{-4} = 1 - 0,1525 = 0,8475 \quad i_{\eta} = 0,8475 \cdot 2,54 \text{ cm} = 2,1526 \text{ cm} = 21,53 \text{ mm}.$$

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης c_v είναι:

$$c_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{t_{50}} = \frac{0,197 (21,53/2)^2}{1200''} = 0,0190 \text{ mm}^2/\text{sec}.$$

Για $\rho=8,00 \text{ kg/cm}^2$

Αν $U=0\%$ η ανάγνωση του μηκυνσιόμετρου είναι:

$$1545 \cdot 10^{-4} i_{\eta} = 1545 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,3924 \text{ cm} = 3,924 \text{ mm}.$$

Αν $U=100\%$ η ανάγνωση του μηκυνσιόμετρου είναι:

$$2.060 \cdot 10^{-4} i_{\eta} = 2.060 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,5232 \text{ cm} = 5,232 \text{ mm}.$$

Επομένως για $U=50\%$ έχουμε:

$$(3,924 + 5,232) / 2 = 4,578 \text{ mm}.$$

Αρα απο το διάγραμμα έχουμε $t_{50} = 1100''$

$$H_5 = 1 - 2.100 \cdot 10^{-4} = 1 - 0,2.100 \quad i_{\eta} = 0,79 = 0,79 \cdot 2,54 \text{ cm} = 2,0066 \text{ cm} = 20,066 \text{ mm}.$$

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης c_v είναι:

$$c_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{t \cdot 50} = \frac{0,197 \cdot (20,66/2)^2}{1100''} = 0,0180 \text{ mm}^2/\text{sec.}$$

Ε.2 Υπολογισμός του δείκτη συμπιεστότητας C_c και της μέγιστης τάσης προφόρτισης $\sigma_{\pi \max}$.

Υπολογίζουμε κατ'αρχήν τον δείκτη κενών e_o .

$$H_c = \frac{W_c}{A \cdot G_c \cdot \gamma_w} = \frac{39,49}{28,26 \cdot 1,22 \cdot 1} = \frac{39,49}{34,48} = 1,15 \text{ cm}$$

$$e_o = \frac{H_o - H_c}{H_c} = \frac{2,54 - 1,15}{1,15} = \frac{1,39}{1,15} = 1,21$$

Απο τις γνωστές επομένως διαστάσεις του δοκιμίου στο τέλος κάθε βαθμίδος φορτίσεως προσδιορίζεται ο δείκτης πόρων, οπότε είναι δυνατή η χάραξη διαγράμματος "λογαριθμοί τάσεων-δείκτες πόρων".

Η προκύπτουσα καμπύλη εμφανίζει μεγάλο τμήμα σχεδόν ευθύγραμμο.

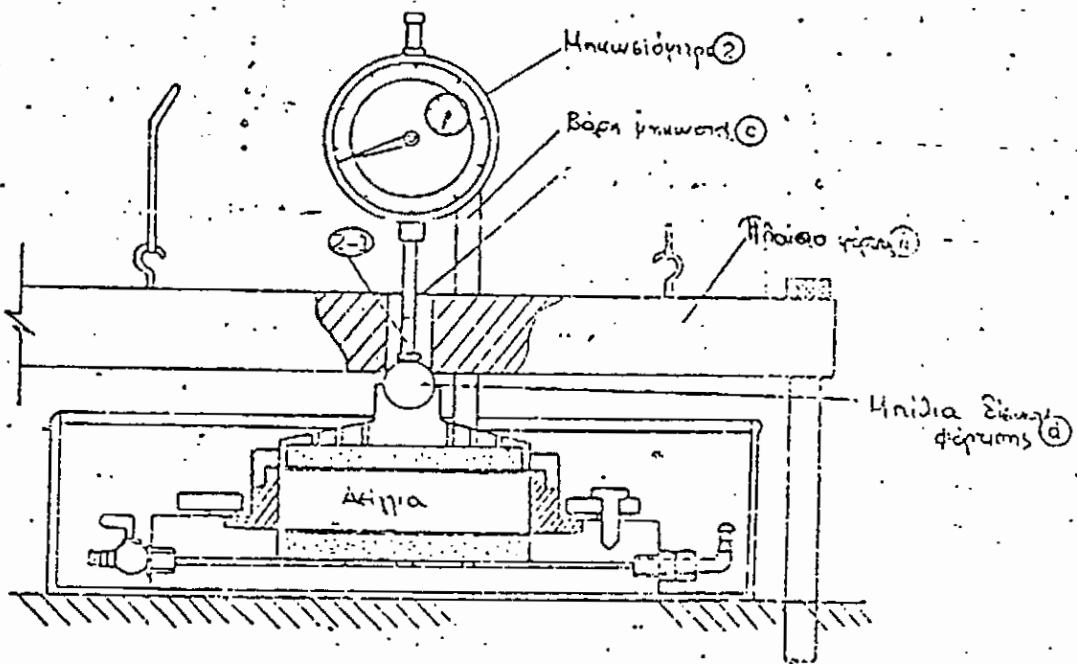
Ο δείκτης συμπιεστότητας C_c είναι αδιάστατο μέγεθος και εκφράζει την κλίση του ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta(\log \sigma)} = \frac{1,00 - 0,75}{\log 8 - \log 2} = \frac{0,25}{0,903 - 0,301} = \frac{0,25}{0,602} = 0,41$$

Απο το ίδιο διάγραμμα υπολογίζεται και η τάση προφορτίσεως ως εξής: στο σημείο C του διαγράμματος, το οποίο αντιστοιχεί στην μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας, φέρνουμε την εφαπτομένη στην καμπύλη και την παράλληλο προς τον άξονα των τάσεων και σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο γωνία α . Η τομή A της διχοτόμου της γωνίας α με την προέκταση του

ευθυγράμμου τμήματος. της καμπύλης δίνει προβαλλόμενη, επι του άξονα των τάσεων, την τάση προφορτίσεως

$$\sigma_{\pi} = 1,20 \text{ kg/cm}^2.$$



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εδαφομηχανική: Δημητρίου Θ. Βαλάλα
2. Εδαφομηχανική: Αντωνίου Λοΐζου
3. Εδαφομηχανική: Γιάννη Β. Γαλάνη

