

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : "ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ, ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ
ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ"

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : Π. ΜΑΝΤΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : ΤΟΛΗ ΚΑΛΛΙΑΝΘΗ

ΠΑΤΡΑ, 1993



ΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	1574
---------------------	------

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

3. ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ ΕΜΠΟΔΙΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ

ΕΔΑΦΟΥΣ

- 3.1 Γενικά
- 3.2 Εργαστηριακή δοκιμή
- 3.3 Αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής συμπίεσο-μέτρου
 - 3.3.1 " Τάσεις-Ανηγμένες παραμορφώσεις". Μέτρο συμπίεστότητας E_c
 - 3.3.2 " Τάσεις-Δείκτες πόρων ". Συντελεστής συμπίεστότητας m_v . Δείκτες συμπίεστότητας C_c .
 - 3.3.3 Προφόρτιση- Προσδιορισμός της τάσεως προφορτίσεως.
- 3.4 Συμπίεστότητα αργιλικών στρωμάτων
- 3.5 Υπολογισμός της συμπίεστότητας προφορτισμένων αργίλων.
- 3.6 Στερεοποίηση. " Χρόνοι-παραμορφώσεις ".

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

4. ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
 - 4.1 Εισαγωγή
 - 4.2 Το φαινόμενο της κύριας στερεοποιήσεως
 - 4.3 Υπολογισμός της επιδράσεως του χρόνου στο βαθμό στερεοποιήσεως.
 - 4.4 Δευτερεύουσα στερεοποίηση ή δευτερεύουσα συμπίεση.

4.5 Διερεύνηση του γενικού προβλήματος της στερεοποίησης

4.6 Στερεοποίηση -συμπεράσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

5. ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

5.1 Ορισμοί-Χαρακτηριστικά της θεμελίωσης

5.2 Εισαγωγή

5.3 Μορφές θραύσης του εδάφους

5.4 Γενικά

5.5 Υπολογισμός του φορτίου θραύσεως στην περίπτωση κατακόρυφης συμμετρικής φορτίσεως.

5.6 Διορθώσεις της σχέσεως της φέρουσας ικανότητας.

5.6.1 Επίδραση του υπόγειου νερού στην φέρουσα ικανότητα

5.6.2 Επίδραση του σχήματος της θεμελίωσης στην φέρουσα ικανότητα

5.6.3 Έκκεντρα φορτία

5.6.4 Κεκλιμένα φορτία

5.6.5 Κεκλιμένα πέδιλα

5.6.6 Θεμελίωση σε πρανές

5.7 Εφαρμογές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙV

6. ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

6.1 Εισαγωγή

6.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός

6.2.1 Ειδικός εργαστηριακός εξοπλισμός

6.2.2 Γενικός εργαστηριακός εξοπλισμός

6.2.3 Προπαρασκευή του δοκιμίου

6.2.4 Περιγραφή - πορεία της δοκιμής

6.2.5 Υπολογισμοί

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 υπόψη, 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 συμπιεστότης.

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.

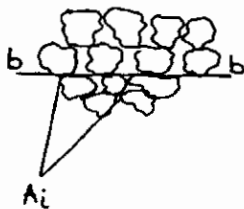
Η παραμόρφωση του εδάφους, από την επιβολή ορθών θλιπτικών τάσεων, ερευνάται εργαστηριακώς συνήθως με τη βοήθεια της δοκιμής του συμπίεσομέτρου, η οποία αποτελεί δοκιμή θλίψεως στην οποία παρεμποδίζεται πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου.

Στην πραγματικότητα οι συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκεται το φυσικό έδαφος απέχουν 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 δείγματος. Εστω η οριζόντια τομή (b-b) του δείγματος (Σχήμα 1), η οποία μη τέμνοντας τους κόκκους διέρχεται δια μέσου των σημείων επαφής των κόκκων.

Εαν 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.



Σχ. 1 Τομή εδάφους

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 αυ-

τή ονομάζεται ενεργός τάση αντιπροσωπεύει το τμήμα της εξωτερικής πιέσεως σ (ολικής τάσεως) το οποίο παραλαμβάνεται από τους κόκκους. Η παραλαμβανομένη 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 :

$$\sigma = \sigma' + u_a - x(u_a - u_w) \quad (3)$$

όπου : u_a η πίεση του αέρα των πόρων,

u_w η πίεση του νερού των πόρων,

x το ποσοστό της επιφανείας A το οποίο καταλαμβάνεται από νερό ($x=1$ 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.

$$u = u_a - x \cdot (u_a - u_w) \quad (4)$$

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. ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ ΕΜΠΟΔΙΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ.

3.1 Γενικά

Εαν στρώμα μαλακής αργίλου βρίσκεται αμέσως κάτω από τα θεμέλια κτιρίου, αυτά υφίστανται σημαντική καθίζηση και είναι δυνατόν ακόμη και να βυθιστούν μέσα στο έδαφος.

Σε αυτή την περίπτωση οι δυσμενείς εδαφικές συνθήκες γίνονται εύκολα αντιληπτές από τους μελετητές οι οποίοι μπορούν να προβλέψουν τους πιθανούς κινδύνους και να τους αποφύγουν με την διάταξη των θεμελίων επί βάθρων ή πασσάλων, οι οποίοι διέρχονται δια μέσου του μαλακού εδάφους και εδράζονται στην υποκειμένη σταθερή στρώση του εδάφους.

Αντίθετα δεν είναι τόσο εύκολη η πρόβλεψη των δυσμενών αποτελεσμάτων, τα οποία οφείλονται στην ύπαρξη αργιλικής στρώσεως μικρού πάχους κάτω από αμμώδες έδαφος, το οποίο εκτείνεται σε σχετικά σημαντικό βάθος.

Πριν την ανάπτυξη της εδαφομηχανικής επικρατούσε γενικά η αντίληψη ότι οι καθιζήσεις των θεμελίων εξαρτώνται μόνο από τη φύση του αμέσως κάτω από αυτά ευρισκομένου εδάφους. Έτσι ουδεμία σημασία δινόταν στην ύπαρξη στρώσεως μαλακής αργίλου σε βάθος τριών ή τεσσάρων μέτρων κάτω από την επιφάνεια εδράσεως των θεμελίων. Ακόμη και σήμερα πολλές φορές, δεν λαμβάνεται υπ' όψη η παρουσία τέτοιων στρώσεων, μολονότι αυτές μπορούν να προκαλέσουν υπερβολικές και άνισες καθιζήσεις των κτιρίων, οφειλόμενες στην βαθμιαία στερεοποίηση της αργίλου από το βάρος των υπερκειμένων

κατασκευών.

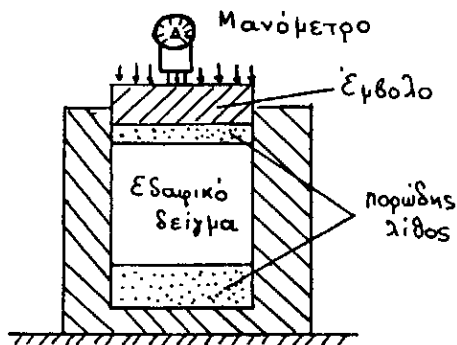
Επειδή τέτοιες απρόβλεπτες καθιζήσεις είναι σχετικά συχνές κατεβλήθηκα κατά τις τελευταίες δεκαετίες ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή επί της συμπεριφοράς των αργιλικών στρώσεων και της μελέτης αυτής.

Αναπτύχθηκαν έτσι διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό ή την εκτίμηση του μεγέθους και της κατανομής των καθιζήσεων. Εάν προκύψει ότι οι υπολογιζόμενες πιθανές καθιζήσεις υπερβαίνουν ορισμένο παραδεκτό όριο ασφαλείας, γίνεται ανασύνταξη της μελέτης των θεμελίων. Επειδή το συμπιεζόμενο αργιλικό στρώμα εμποδίζεται να διασταλεί πλευρικά, λόγω της πρόσφυσης και της τριβής με το γειτονικό έδαφος, το πρόβλημα του προσδιορισμού του μεγέθους της καθίζησης περιπλέκεται και γι' αυτό καταφεύγουμε στις εργαστηριακές δοκιμές θλίψης εδαφικών δειγμάτων που εμποδίζονται πλευρικά, απ' όπου παίρνουμε χρήσιμα στοιχεία.

3.2 Εργαστηριακή δοκιμή

Η εργαστηριακή δοκιμή δείγματος εδάφους σε εμποδιζόμενη θλίψη αποβλέπει στον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των τάσεων και των παραμορφώσεων, η οποία αποτελεί τη βάση υπολογισμού της καθίζησης των θεμελίων των κατασκευών, που οφείλεται στην μείωση του όγκου του εδάφους.

Η δοκιμή πραγματοποιείται με τη διάταξη του σχήματος.



Σχ. 2

Το εδαφικό δείγμα τοποθετείται μέσα σε μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο μεταξύ δύο πλακών από πορώδη λίθο, έτσι ώστε το νερό που προκύπτει από την συμπίεση να μπορεί ν'απομακρύνεται. Το φορτίο εφαρμόζεται καταβαθμίδες στην άνω επιφάνεια του δείγματος με τη βοήθεια

άκαμπτης πλάκας. Σε κάθε βαθμίδα φορτίσεως μετρούνται με τη βοήθεια μηκυσιομέτρου οι παραμορφώσεις του δοκιμίου, σε διάφορα χρονικά διαστήματα, μέχρι αυτές να περατωθούν πρακτικώς. Οι επιβαλλόμενες τάσεις ακολουθούν συνήθως γεωμετρική πρόοδο (0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0 kg/cm^2), ο απαιτούμενος δε χρόνος για την ολοκλήρωση των καθιζήσεων

σε κάθε βαθμίδα φορτίσεως, εξαρτάται απο το είδος του εδαφικού υλικού.

Ενώ δηλαδή για τα αμμώδη εδάφη οι καθιζήσεις λαμβάνουν χώρα σχεδόν αμέσως, για τα αργιλικά εδάφη απαιτούνται μεγάλα χρονικά διαστήματα, λόγω της δυσκολίας διαφυγής του ύδατος (μικρή διαπερατότης). Συνήθως οι αλλαγές φορτίσεως λαμβάνουν χώρα ανα 24ωρο. Μετα το πέρας και της τελευταίας βαθμίδας φορτίσεως, αποφορτίζεται το δοκίμιο ομοίως κατα βαθμίδες, ενώ συγχρόνως παρακολουθείται η παραμόρφωσή του.

Εκ των λαμβανομένων κατα τη δοκιμή του συμπιεσομέτρου μετρήσεων, καράσσονται διαγράμματα, από τα οποία προσδιορίζονται χαρακτηριστικά μεγέθη, που μπορούν να χρησιμεύσουν αφ' ενός για τον προσδιορισμό των καθιζήσεων (διαγράμματα "τάσεις-παραμορφώσεις-" αφ' ετέρου για την εκτίμηση του χρόνου εντός του οποίου οι καθιζήσεις θα συντελεστούν, (διαγράμματα " χρόνος -παραμορφώσεις").

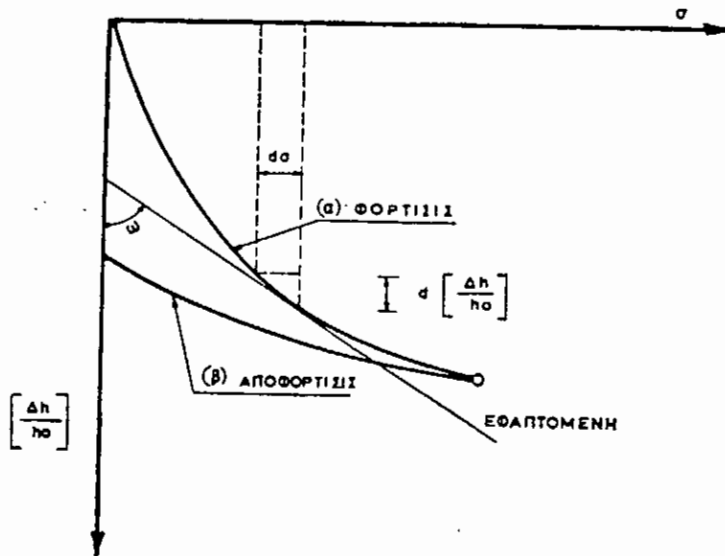
Σε δοκιμές αδιατάρακτων δειγμάτων είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την προΐστορία του εδαφικού υλικού (προσδιορισμός προφορτίσεως).

Τέλος, με τη δοκιμή του συμπιεσομέτρου προσδιορίζεται και ο συντελεστής διαπερατότητος του εδαφικού υλικού είτε άμεσα (διαπερατόμετρο μεταβλητού φορτίου) είτε έμμεσα (εκ των διαγραμμάτων "χρόνοι -παραμορφώσεις").

3.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ.

3.3.1 "Τάσεις Ανηγμένες παραμορφώσεις" Μέτρο συμπίεστότητας E_c .

Απο τις ενδείξεις του μηχανομετρου Δh , στο τέλος κάθε βαθμίδος φορτίσεως μιας δοκιμής συμπίεσομέτρου, μπορεί να χαρακτηί διάγραμμα "τάσεις σ -πραγματικές ανηγμένες παραμορφώσεις $\Delta h/h$ ". Συνήθως οι παραμορφώσεις ανάγονται στο αρχικό ύψος του δοκιμίου h_0 , οπότε λαμβάνεται διάγραμμα "τάσεις σ - συμβατικές ανηγμένες παραμορφώσεις" $\Delta h/h_0$ " (Σχήμα 3).



Σχ. 3

Από το παραπάνω διάγραμμα, προσδιορίζεται ένα χαρακτηριστικό μέγεθος, το μέτρο συμπίεστότητας του εδάφους E_c . Ονομάζεται μέτρο συμπίεστότητας E_c , το πηλίκο της μεταβολής $d\sigma$ της πίεσεως, δια της αντιστοίχου μεταβολής

$d (\Delta h/h_0)$, της συμβατικής ανηγμένης παραμορφώσεως, όταν παρεμποδίζεται η πλευρική διόγκωση του δοκιμίου.

$$E_s = \frac{d_\sigma}{d\left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)} \quad (5)$$

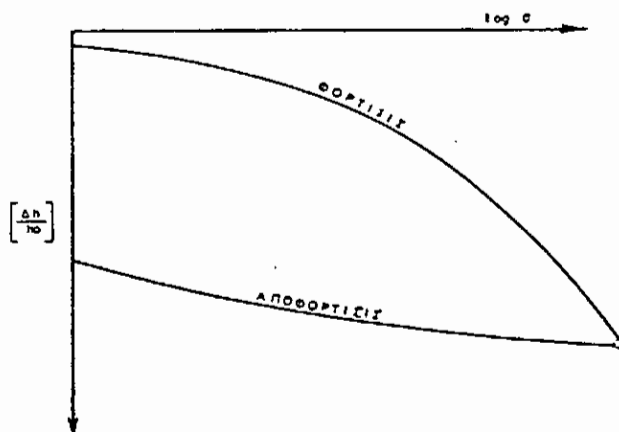
Το μέτρο συμπίεσεως εκφράζεται σε μονάδες τάσεως.

Όπως προκύπτει από την καμπύλη (α) (Σχήμα 3), το μέτρο E_s δεν παραμένει σταθερό, αλλά μεταβάλλεται μετά της τάσεως, εκφράζει δε την κλίση ω της εφαπτομένης σε κάθε σημείο της καμπύλης.

Το μέτρο συμπίεσεως αποτελεί χρήσιμο μέγεθος για τον προσδιορισμό των καθιζήσεων, καθ'όσον η συνολική καθίζηση ΔH ενός εδαφικού στρώματος πάχους H , λόγω μεταβολής της φορτίσεως, μπορεί να προσδιοριστεί εκ της σχέσεως :

$$\Delta H = H \int_0^H \frac{d_\sigma}{E_s} \quad (6)$$

λαμβανομένου υπόψη ότι η τάση σ μεταβάλλεται μετά του βάθους.



Σχ. 4

Η καμπύλη (β) του σχήματος 3 αντιστοιχεί στην αποφόρτιση του δοκιμίου. Απο αυτήν προκύπτει, ότι κατά την αποφόρτιση, το δοκίμιο δεν επανέρχεται στην πριν της φορτίσεως κατάσταση, αλλά το μεγαλύτερο μέρος της παραμορφώσεως παραμένει ως πλαστική παραμόρφωση. Πολλές φορές καράσσονται διαγράμματα² λογάριθμοι τάσεων-συμβατικές (ή πραγματικές) ανηγμένες παραμορφώσεις² με μοναδικό σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη της καμπύλης στην περιοχή των μικρών τάσεων.

(Σχήμα 4).

Σχετικά σημειώνουμε ότι οι τιμές του μέτρου συμπίεστικότητας E για τ'αμμώδη εδάφη είναι πολύ μεγαλύτερες απ'ότι για τα συνεκτικά (π.χ. αργιλικά). Οι καθηζήσεις δηλαδή που προκαλούνται απο την ίδια φόρτιση είναι μεγαλύτερες στα πρώτα απ'ότι στα δεύτερα.

Αυτό δε οφείλεται κυρίως στον τρόπο σχηματισμού των αμμωδών εδαφών και στο ότι τα κενά τους συμπληρώνονται με λεπτά υλικά, με αποτέλεσμα τα εδάφη αυτά να παρουσιάζουν μεγάλη σχετική πυκνότητα και μικρή μεταβολή του δείκτη των πόρων e .

Για το λόγο αυτό, κατά τον υπολογισμό της καθίζησης των θεμελίων που εδράζονται πάνω σε επάλληλα στρώματα άμμου και αργίλου, θεωρούμε την άμμο απαραμόρφωτη και περιορίζομαστε μονο στον υπολογισμό της συμπίεσης της αργίλου.

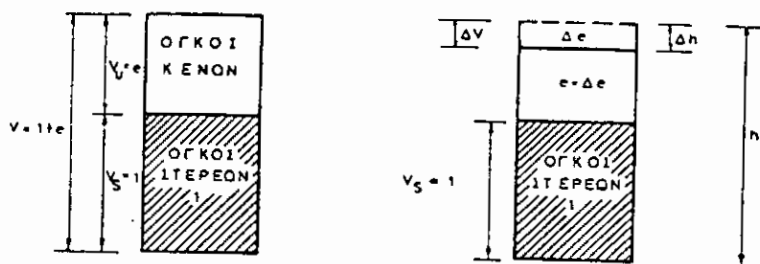
3.3.2 "Τάσεις -Δείκτες πόρων".- Συντελεστής συμπιεστότητας π_U .
Δείκτης συμπιεστότητας C_c .

Εφ'όσον κατά τη δοκιμή του συμπιεσομέτρου η διατομή του δοκιμίου παραμένει σταθερά, η μεταβολή του όγκου του δοκιμίου θα ισούται με την μεταβολή του ύψους αυτού. Επειδή η μεταβολή του όγκου οφείλεται κυρίως στην μεταβολή του όγκου των κενών, θα ισχύουν οι σχέσεις (Σχήμα 5):

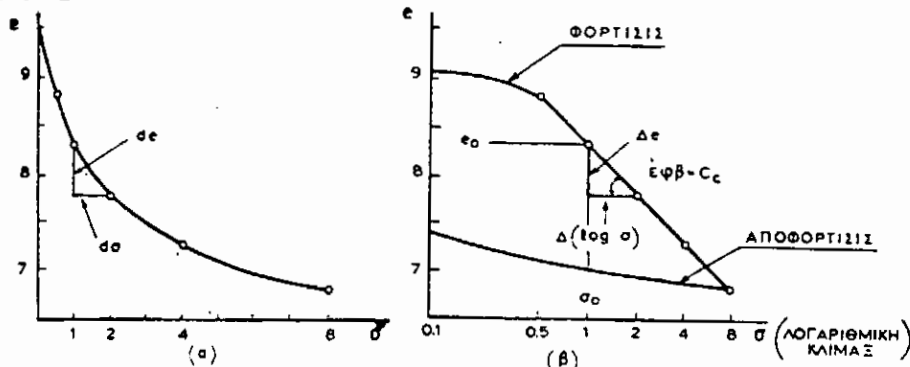
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta h}{h} \quad (7)$$

και
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta e}{1+e} \quad (8)$$

οπότε:
$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta e}{1+e} \quad (9)$$



Σχ. 5



Σχ. 6 Διαγράμματα "τάσεις σ -δείκτες πόρων e " και λογάριθμοι τάσεων $\log \sigma$ - δείκτες πόρων e ".

Απο τις γνωστές επομένως διαστάσεις του δοκιμίου στο τέλος κάθε βαθμίδος φορτίσεως, προσδιορίζεται ο δείκτης πόρων, οπότε καθίσταται δυνατή η χάραξη διαγράμματος "τάσεις -δείκτες πόρων" (Σχήμα 6α) ή "λογάριθμοι τάσεων-δείκτες πόρων" (Σχήμα 6β).

Το πηλίκο της μεταβολής de του δείκτη των πόρων δια της αντίστοιχης μεταβολής $d\sigma$ της πίεσεως, ονομάζεται συμπίεστικότητα α_v , επομένως:

$$\alpha_v = - \frac{de}{d\sigma} \quad (10)$$

Η συμπίεστικότητα α_v , εκφράζει την κλίση της εφαπτομένης σε κάθε σημείο της καμπύλης "σ-ε" (Σχήμα 6α).

Το πηλίκο της συμπίεστικότητας δια του ολικού όγκου του δοκιμίου, καλείται συντελεστής συμπίεστικότητος π_v ή συντελεστής μειώσεως όγκου.

$$(11) \quad \pi_v = \frac{\alpha_v}{V} \quad \text{ή} \quad \pi_v = - \frac{de}{d\sigma(1+e)} \quad (12)$$

Οι συντελεστές α_v και π_v εκφράζονται σε μονάδες (1/τάση). Πρέπει να τονισθεί, ότι ο συντελεστής συμπίεστικότητος π_v , χρησιμοποιείται κυρίως απο την Αγγλοσαξονική βιβλιογραφία αντι του μέτρου συμπίεσεως E_c . Εκ του ορισμού του μέτρου E_c λαμβανομένης υπ'όψη και της σχέσεως () προκύπτει:

$$E_c = - \frac{d\sigma}{de} \cdot (1+e_0) \quad (13)$$

Αν συγκρίνουμε την (12) με την (13) συνεπάγεται, ότι $E_c \neq 1/m_u$ εφόσον το E_c λαμβάνεται από διάγραμμα "τάσεις-συμβατικές ανηγμένες παραμορφώσεις $\Delta h/h_0$ ". Για να ίσχυε $E_c = 1/m_u$ θα έπρεπε το μέτρο συμπιεστότητας να λαμβάνεται από διάγραμμα "τάσεις-πραγματικές ανηγμένες παραμορφώσεις $\Delta h/h$ " όπου h το πραγματικό ύψος του δοκιμίου στο τέλος κάθε βαθμίδος φορτίσεως.

Συνήθως καράσσεται διάγραμμα "τάσεις -δείκτες πόρων" χρησιμοποιουμένης λογαριθμικής κλίμακας για τις τάσεις (Σχήμα 6β). Η προκύπτουσα καμπύλη εμφανίζει μεγάλο τμήμα σχεδόν ευθύγραμμο, του οποίου η εξίσωση θα είναι:

$$e = e_0 + C_c \log\left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (14)$$

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

$$C_c = - \frac{\Delta e}{\Delta(\log \sigma)} \quad (15)$$

Απο το διάγραμμα παρατηρείται ότι ο δείκτης συμπιεστότητας παραμένει σταθερός για σχετικά μεγάλη περιοχή τάσεων και επομένως είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της καθιζήσεως γι' ορισμένη μεταβολή τάσεως.

Πράγματι :

$$\Delta e = C_c \log\left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}\right)$$

αλλά :

$$\Delta e = \frac{\Delta h}{h_0} (1 + e_0)$$

$$\text{οπότε : } \Delta h = \frac{h_o}{(1+e_o)} C_c \log\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o}\right) \quad (16)$$

όπου τα e_o, h_o, σ_o αντιστοιχούν στην πρό της επιβολής της φορτίσεως εντατική κατάσταση.

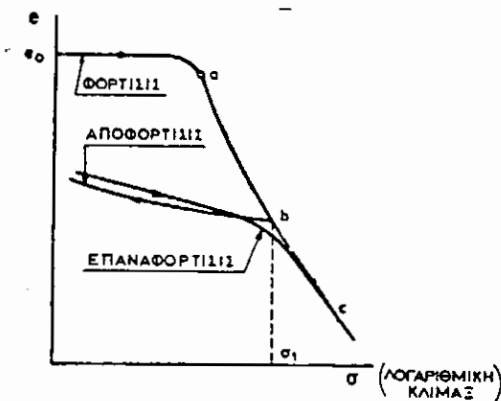
Πρέπει να τονιστεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις αργίλων ενδέχεται να μην υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα στο διάγραμμα "log $\sigma - e$ ", ή να υπάρχει αλλά η εντατική κατάσταση του εδάφους να δίνει τάσεις που βρίσκονται εκτός του εν λόγω ευθυγράμμου τμήματος.

Σε αυτήν την περίπτωση η καθίζηση δεν μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση (16) αλλά απαιτείται ή η χρησιμοποίηση διορθωτικού συντελεστού ή η εφαρμογή της μεθόδου του μέτρου συμπίεσεως.

3.3.3 Προφόρτιση. Προσδιορισμός της τάσεως προφορτίσεως.

Το έδαφος, το οποίο βρίσκεται υπο πίεση μικρότερη της εφαρμοσμένης σ' αυτό κατά το παρελθόν, καλείται προφορτισμένο.

Η προφόρτιση επηρεάζει την συμπεριφορά του εδάφους ως προς τις καθιζήσεις, αυτό μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί κατά την εργαστηριακή μελέτη του φαινομένου, με τη δοκιμή του συμπιεσομέτρου.

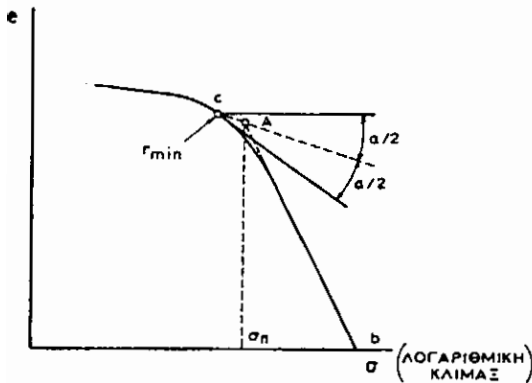


Σχ. 7 Διάγραμμα φορτίσεως και αποφορτίσεως εδαφικού δείγματος.

Σε αυτήν αδιατάρακτο εδαφικό δείγμα υποβάλλεται σε φόρτιση μέχρι της τιμής σ_1 και στην συνέχεια αποφορτίζεται (Σχήμα 7) οπότε όπως και προηγουμένως το μεγαλύτερο μέρος της παραμορφώσεως την οποία αυτό υπέστη παραμένει ως πλαστική παραμόρφωση.

Κατά την επαναφόρτιση του δοκιμίου, η καμπύλη του διαγράμματος "log σ - ϵ ", για τις τιμές τάσεων μικρότερες της σ_1 , έχει μικρή κλίση, ενώ αντίθετα όταν οι επιβαλλόμενες τάσεις υπερβούν την τιμή της σ_1 , η καμπύλη κυρτώνει απότομα και εμφανίζει εντόνως κεκλιμένο τμήμα στην προέκταση του κλάδου ab, της πρώτης καμπύλης φορτίσεως. Τούτο σημαίνει ότι μικρή αύξηση της τάσεως όταν αυτή είναι μεγαλύτερη της τάσεως προφορτίσεως, προκαλεί έντονες παραμορφώσεις

στο εδαφικό υλικό. Απο τα παραπάνω καθίσταται πρόφανης η σημασία της υπάρξεως τάσεως προφορτίσεως και η ανάγκη προσδιορισμού αυτής κατα την μελέτη των καθιζήσεων. Η τιμή της τάσεως προφορτίσεως προσδιορίζεται εκ της δοκιμής του συμπιεσομέτρου επι αδιατάρακτου εδαφικού δείγματος, δι' εφαρμογής της εμπειρικής μεθόδου του Casagrande, στο λαμβανόμενο διάγραμμα "log σ- e" (Σχήμα 8).



Σχ. 8 Προσδιορισμός τάσεως προφορτίσεως σ_{π} .

δίνει προβαλλόμενη επί του άξονος των τάσεων, την τάση προφορτίσεως σ_{π} .

Εφ' όσον η σ_{π} συμπίπτει με την τάση φορτίσεως του δείγματος, το δείγμα θεωρείται ως κανονικά προφορτισμένο. Εάν όμως η σ_{π} είναι μεγαλύτερη της τάσεως φορτίσεως των υπερκειμένων γαιών, το δείγμα θεωρείται ως υπερπροφορτισμένο. Πρέπει να τονισθεί ότι η σχέση (14) ισχύει μόνο όταν η τάση $(\sigma_p + \Delta\sigma)$ είναι μεγαλύτερη της τάσεως προφορτίσεως.

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 αυτό τον τρόπο γωνία α .

Η τομή A της διχοτόμου της γωνίας α με την προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης

3.4 Συμπιεστότητα αργιλικών στρωμάτων

Το μέγεθος της συμπιεστότητας των αργιλικών εδαφών εξαρτάται, εκτός από την τιμή της επιβαλλόμενης φόρτισης και από την τυχόν ύπαρξη προφόρτισης.

Η άργιλος θεωρείται προφορτισμένη εφόσον προϋπήρξε φόρτιση μεγαλύτερη από την προκαλούμενη με την κατασκευή του τεχνικού έργου.

Η προφόρτιση είναι δυνατόν να προκληθεί είτε από το βάρος των εδαφικών στρωμάτων τα οποία διαβρώθηκαν μεταγενέστερα και απομακρύνθηκαν, είτε από παγετώνες οι οποίοι στην συνέχεια εξαφανίστηκαν λόγω τήξης, είτε ακόμη από ξήρανση λόγω έκθεσης στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Προσδιορισμός του μεγέθους της συμπιεστότητας απροφόρτιστων αργίλων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω με την βοήθεια της σχέσεως :

$$\Delta h = \frac{h_o C_c}{1+e_o} \log \left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} \right) \quad (16)$$

υπολογίζεται η καθίζηση της επιφάνειας του εδάφους που οφείλεται στην στερεοποίηση του απροφόρτιστου αργιλικού στρώματος πάχους h_o .

Μετα από σειρά πειραμάτων του Skempton προέκυψε ότι ο δείκτης συμπιεστότητας C_c , του διαταραχθέντος εδαφικού δοκιμίου συνδέεται άμεσα με το όριο υδαρότητας W_L της απροφόρτι-

στης αργίλου με τη γραμμική σχέση :

$$C_c' = 0,7 (W_L - 0,10) \quad (17)$$

Ο δείκτης C_c του φυσικού εδάφους λαμβάνεται τότε απο τη σχέση :

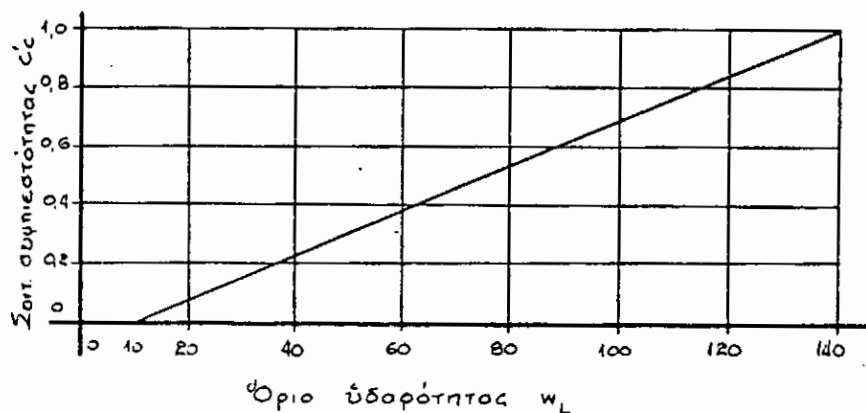
$$C_c \approx 1,30 C_c' \quad (18)$$

οπότε λόγω της (17)

$$C_c \approx 0,9 (W_L - 0,10) \quad (19)$$

Με τη βοήθεια αυτής της σχέσεως είναι δυνατό να υπολογισθεί κατα προσέγγιση η καθίζηση μιάς κατασκευής που βρίσκεται πάνω από απορφορτιστη άργιλο, με μόνο γνωστό το όριο υδαρότητας και χωρίς την πραγματοποίηση δοκιμής στερεοποίησης.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 9 δίνεται η μεταβολή του συντελεστή συμπιεστότητας C_c' συναρτήσει του όριου υδαρότητας W_L .



Σχ. 9 Μεταβολή του C_c' συναρτήσει του W_L .

3.5 Υπολογισμός της συμπεστότητας προφορτισμένων αργίλων.

Η καθίζηση δίνεται και πάλι από την σχέση (16), όπου ο δείκτης συμπεστότητας C_c αντικαθίσταται από τον C_1 .

$$\Delta h = \frac{h_o}{1+e_o} C_1 \log\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o}\right) \quad (20)$$

Ο C_1 υπολογίζεται από τον προσεγγιστικό τύπο :

$$C_1 = K^2 \cdot C_c \quad (21)$$

εφόσον $K < 1$

Η τιμή του K υπολογίζεται από τη σχέση :

$$K = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_o' - \sigma_o} \quad (22)$$

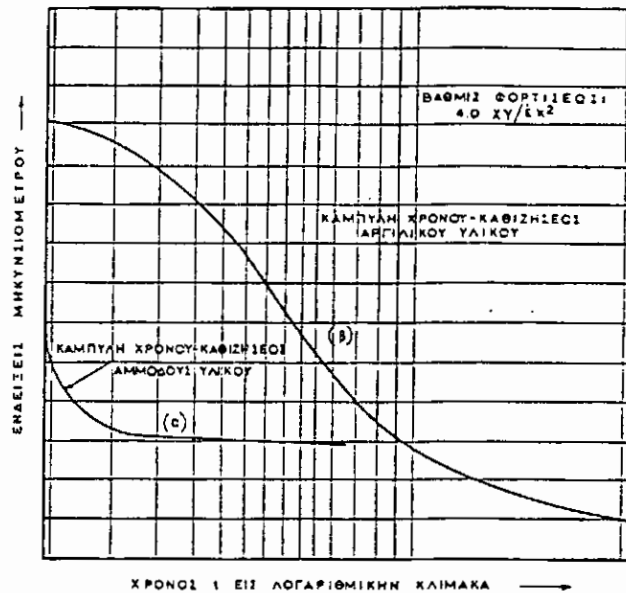
όπου $\Delta\sigma$ η αύξηση της ενεργού τάσης που προκαλεί η κατασκευή του έργου.

σ_o η ενεργός τάση κάτω από τις παρούσες συνθήκες.

σ_o' η μέγιστη ενεργός τάση που αναπτύχθηκε κατά το παρελθόν (προφόρτιση).

3.6 ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ "ΧΡΟΝΟΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ "

Οπως έχει ήδη αναφερθεί, για την περάτωση των καθιζήσεων των αργιλικών εδαφών απαιτείται, σε αντίθεση προς τα αμμόδη, μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της δυσκολίας διαφυγής του ύδατος των πόρων (Σχήμα 10).



Σχ. 10 Διάγραμμα "Λογάριθμοι χρόνων- παραμορφώσεις"

Εάν εξωτερική τάση σ , ασκηθεί σε αργιλικό έδαφος-το οποίο εξετάζεται συνήθως κεκορεσμένο - αυτή αμέσως μετα την εφαρμογή της αναλαμβάνεται απο το νερό των πόρων το οποίο είναι ασυμπίεστο.

Λόγω της δημιουργόμενης υπερπίεσεως του νερού των πόρων, αυτό αρχίζει να εκρέει βραδέως, με αποτέλεσμα την μείωση της πίεσεως των πόρων, u .

Εφόσον αναήρτα τιγμή η εξωτερικά επιβαλλόμενη τάση- ολική τάση- αναλαμβάνεται απο τους κόκκους και απο το νερό των πόρων (σχέση 2), η μείωση της υπερπίεσεως του νερού

των πόρων, συνεπάγεται αύξηση της ενεργού τάσεως σ' και επομένως ένα μέρος της εξωτερικής πιέσεως μεταβιβάζεται με την πάροδο του χρόνου στους κόκκους. Μετα την πάροδο θεωρητικά άπειρου χρόνου, η υπερπίεση του νερού των πόρων μηδενίζεται και ολόκληρη η εξωτερική τάση παραλαμβάνεται απο τους κόκκους ως ενεργός τάση.

Το ανώτερο φαινόμενο, της συμπίεσεως του εδάφους λόγω βραδείας διαφυγής του ύδατος των πόρων, ονομάζεται στερεοποίηση. Η μελέτη της καθιζήσεως των αργιλικών εδαφών βασίζεται στην αναπτυχθείσα απο τον Terzaghi και Fröhlich θεωρία της στερεοποιήσεως.

Στη θεωρία αυτή στηρίζεται και η αξιοποίηση των διαγραμμάτων "χρόνοι-παραμορφώσεις", τα οποία λαμβάνονται εκ της δοκιμής του συμπιεσομέτρου.

Αυτα χαράσσονται για κάθε βαθμίδα φορτίσεως, απο τις ενδείξεις του μηκυνσιομέτρου συναρτήσει του χρόνου (π.χ. καμπύλη β Σχήματος 10).

Η αξιοποίηση των παραπάνω διαγραμμάτων αποβλέπει στον προσδιορισμό των στοιχείων εκείνων, τα οποία θα επιτρέψουν την εκτίμηση, του χρόνου εντός του οποίου θα συντελεσθεί η καθιζηση ενός αργιλικού στρώματος, υπό την επίδραση του φορτίου της κατασκευής.

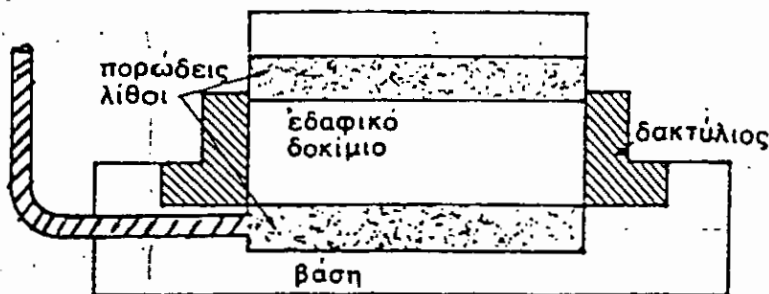
4. Στερεοποίηση του εδάφους

4.1 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 στερεοποίησης, 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.



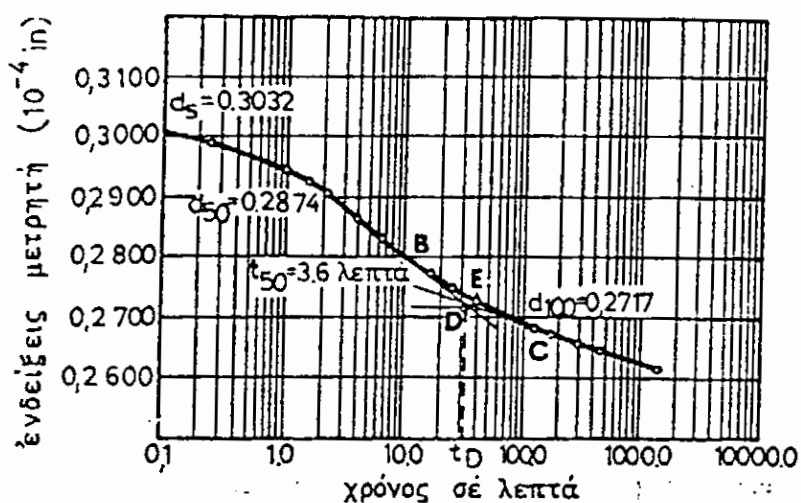
Σχ. 11

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 από 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_D 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.

4.2 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,

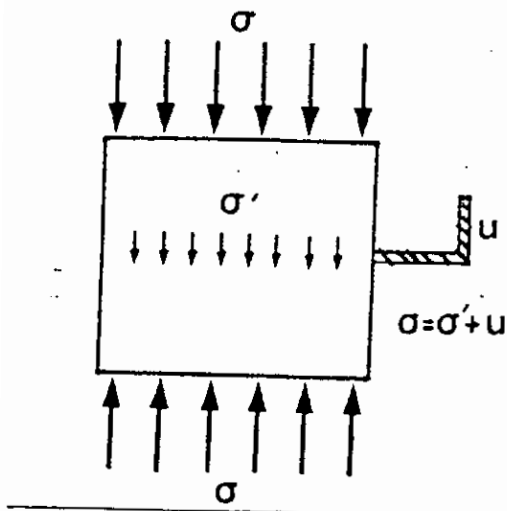
$$\sigma' = \sigma - u$$

Η δημιουργία των υπερπίεσεων 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 απο 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.



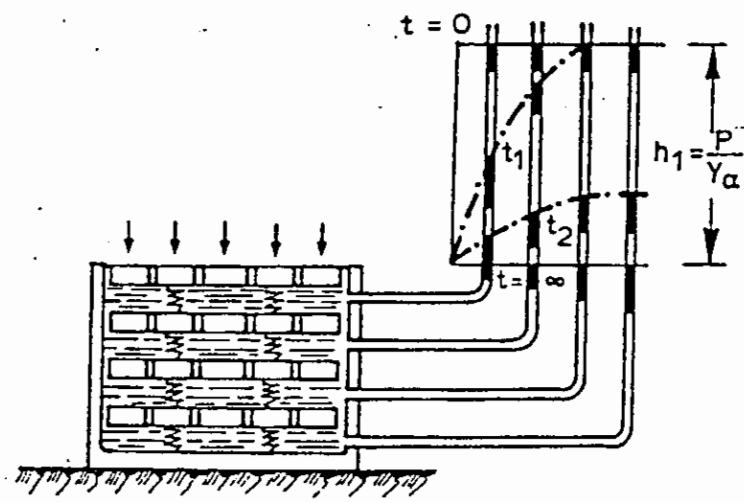
Σχ. 13

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, χύνεται 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 από το πέρασμα του χρόνου T η καθίζηση εξαρτάται μόνο από την ελαστικότητα του στερεού μέρους του εδάφους και όχι του υγρού.

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

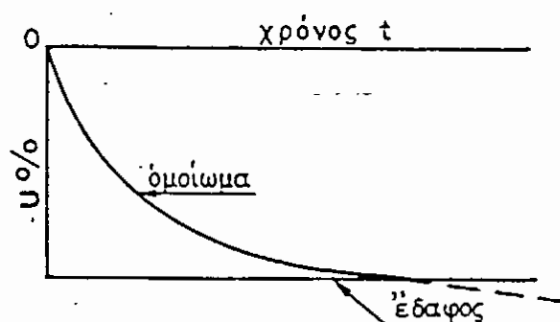
τελεστή U , που εκφράζεται σε ποσοστά :

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

$U(t_1)$ καλείται βαθμός στερεοποίησης 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 στερεοποίησης.

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 στερεοποίησης 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 στερεοποίησης, 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 στερεοποίησης 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 σχετικώς σταθερός.

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

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.

4.3. 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, απο 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 απο κάτω προς τα πάνω, η δε ολική τάση είναι σταθερή.

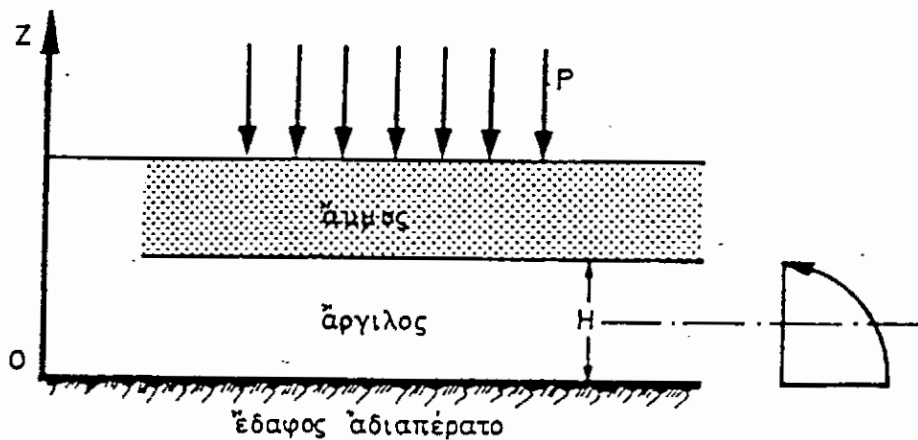
Αν γράψουμε ότι η μεταβολή του δείκτη πόρων είναι ίση με τον όγκο του νερού, το οποίο εκρέει σύμφωνα με τον νόμο του DARCY, καταλήγουμε στην εξίσωση :

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

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

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

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



Σχ. 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 :

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

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 :

$$u = g(T)$$

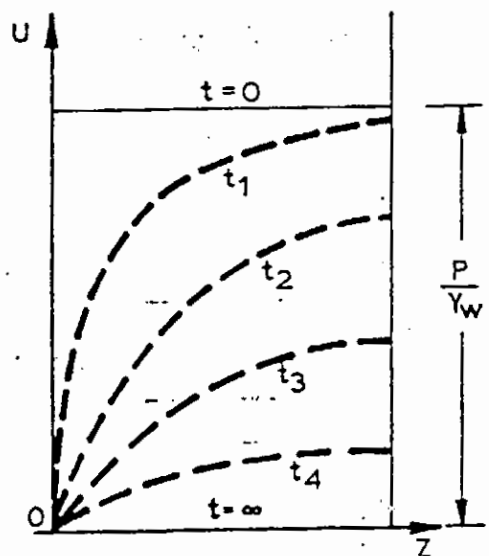
Η καθίζηση στο χρόνο T_v είναι:

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

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

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

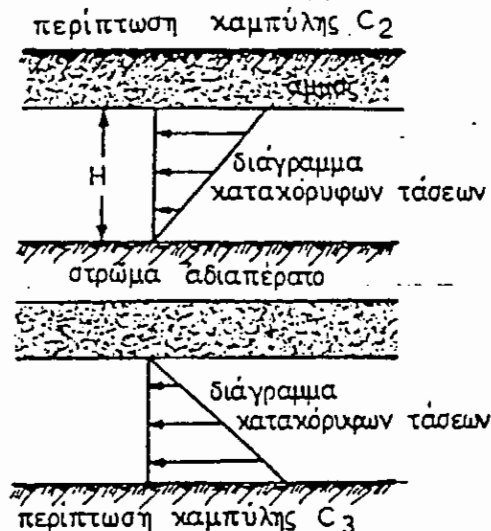
όπου U ο βαθμός στερεοποιήσεως στο χρόνο t , είναι συνάρτηση μόνο του :

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

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.

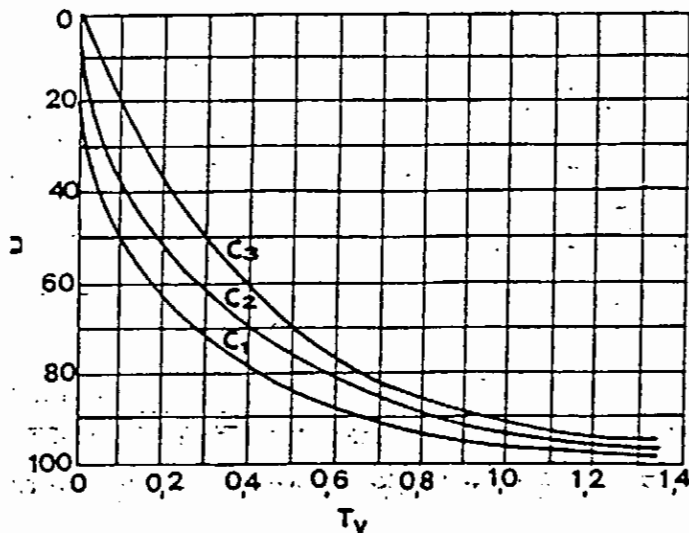
Ανάλογος υπολογισμός έχει γίνει και για άλλης μορφής μεταβολές της πιέσεως του ύδατος των πόρων.

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.



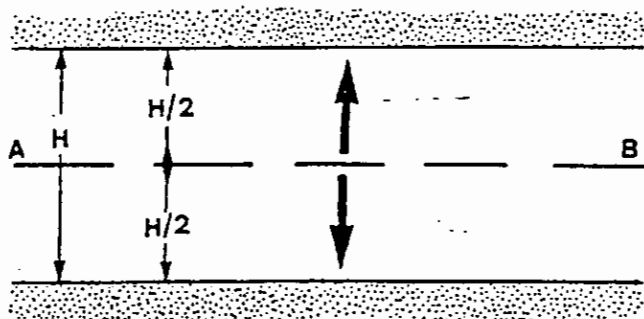
Σχ. 18

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.



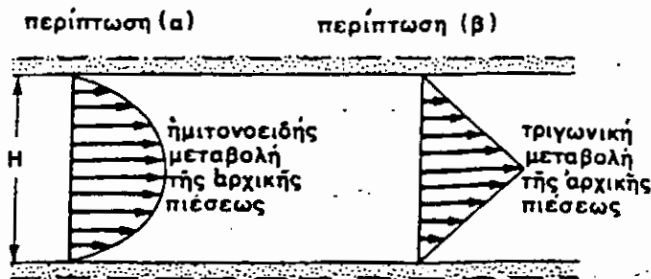
Σχ. 19

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

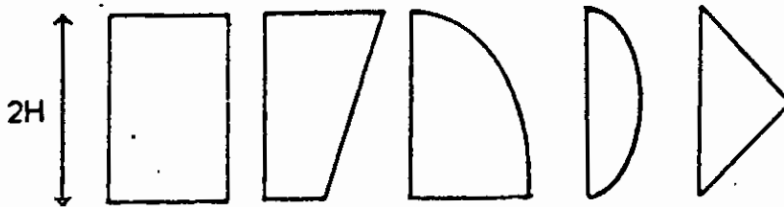
Εχει διαπιστωθεί ότι οι υπολογισμοί οδηγούν συστηματικά σε χρόνους στερεοποιήσεως μεγαλύτερους απο τους πραγματικούς.

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 ειδήs

Περίπτωση 1

Περίπτωση 2

Περίπτωση 3

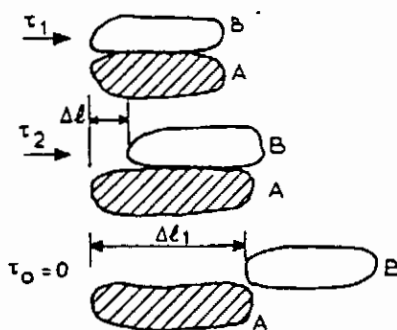
Περίπτωση 4

(β) Μέσο ποσοστό στερεοποίησης για διάφορες τιμές του T_v

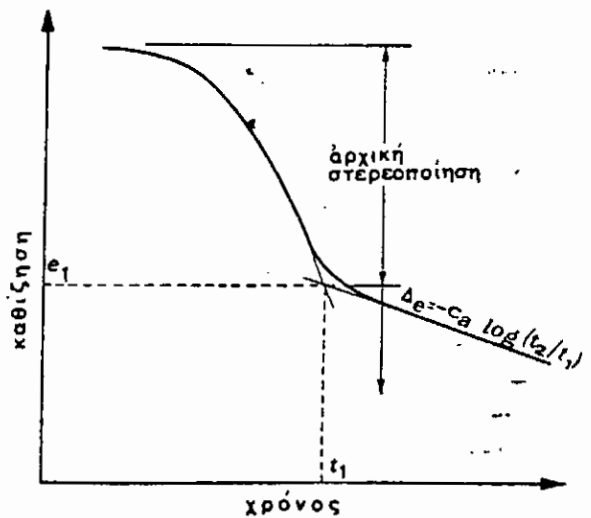
T_v	Μέσο ποσοστό της στερεοποίησης U (%)			
	Περ. 1	Περ. 2	Περ. 3	Περ. 4
0.004	7.14	6.49	0.98	0.80
0.008	10.09	8.02	1.95	1.60
0.012	12.36	10.49	2.92	2.40
0.020	15.96	13.67	4.81	4.00
0.028	18.88	16.38	6.67	5.60
0.036	21.40	18.76	8.50	7.20
0.048	24.72	21.96	11.17	9.60
0.060	27.64	24.81	13.76	11.99
0.072	30.28	27.43	16.28	14.33
0.083	32.51	29.67	18.52	16.51
0.100	35.63	32.88	21.87	19.77
0.125	39.83	35.54	25.54	24.42
0.150	43.73	41.12	29.93	28.86
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	52.30	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	97.43
2.000	99.42	93.39	99.28	99.26

4.4 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)

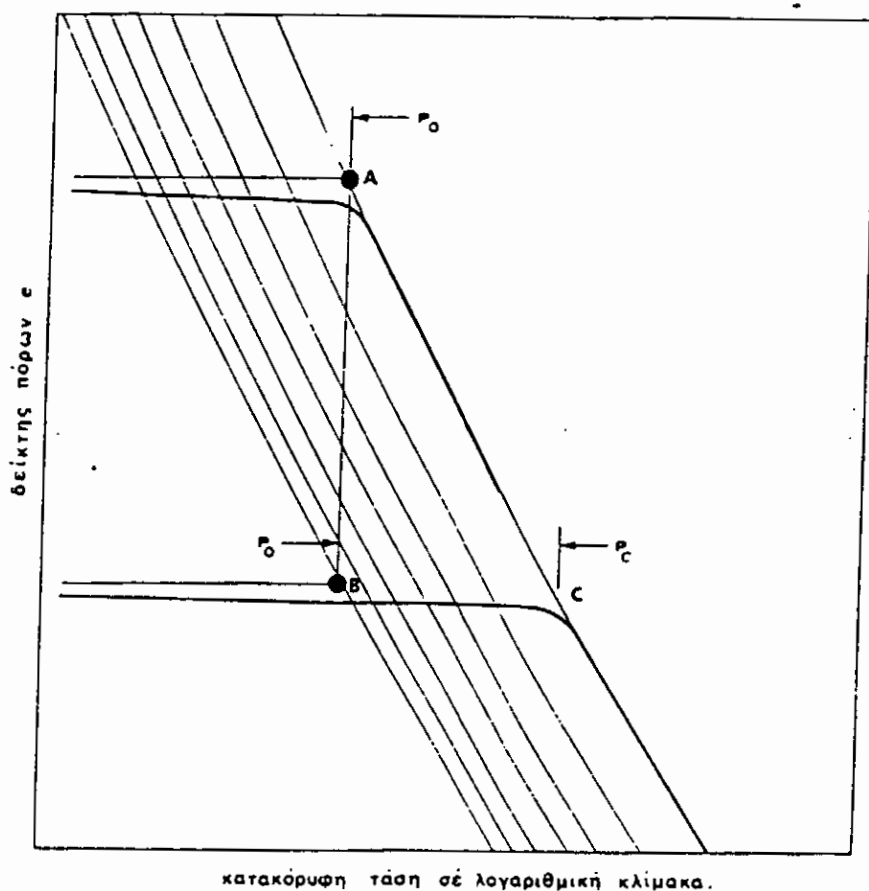
Η δευτερεύουσα καθίζηση χαρακτηρίζεται έτσι από την κλίση C_a των ευθύγραμμων αυτών τμημάτων και, συνεπώς, μετά t_2 έτη έχουμε μια ολική μεταβολή του δείκτη πόρων:

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

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 στεροποιήσεως $P_c > P_0$. 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.

4.5 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.

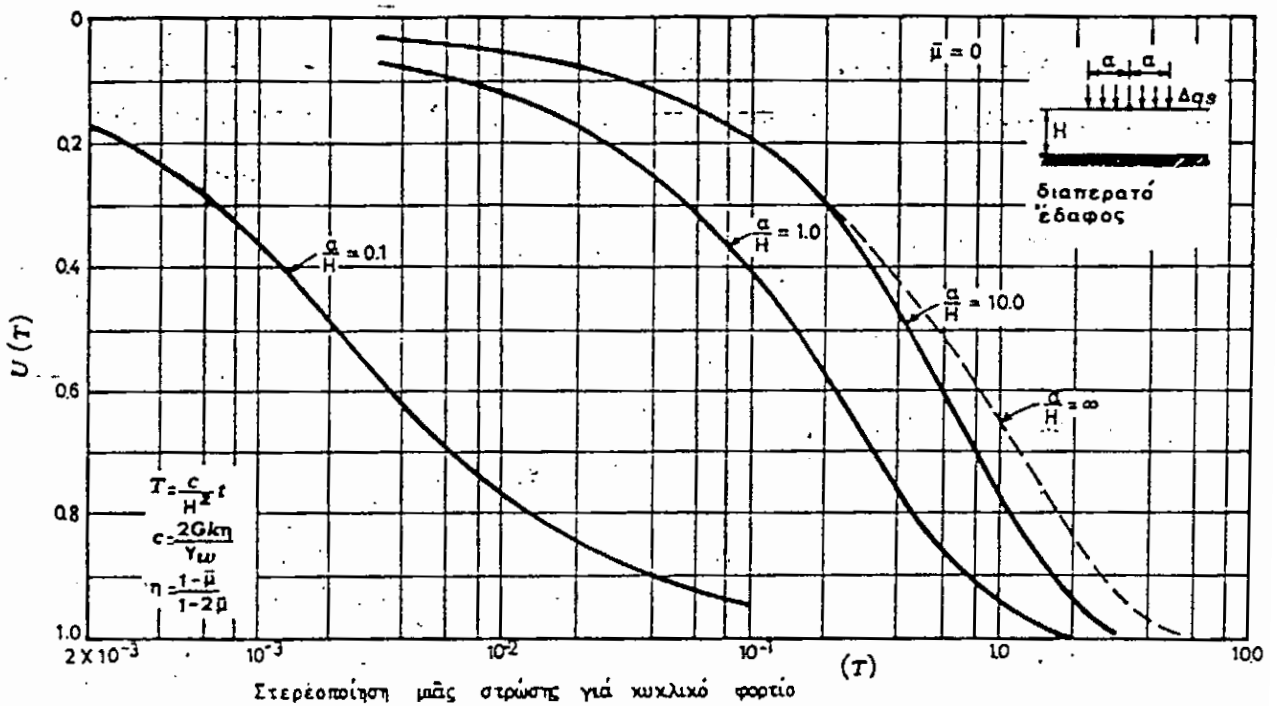
Για σ σταθερό, ο δεύτερος όρος μηδενίζεται.

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c\rho \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

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

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

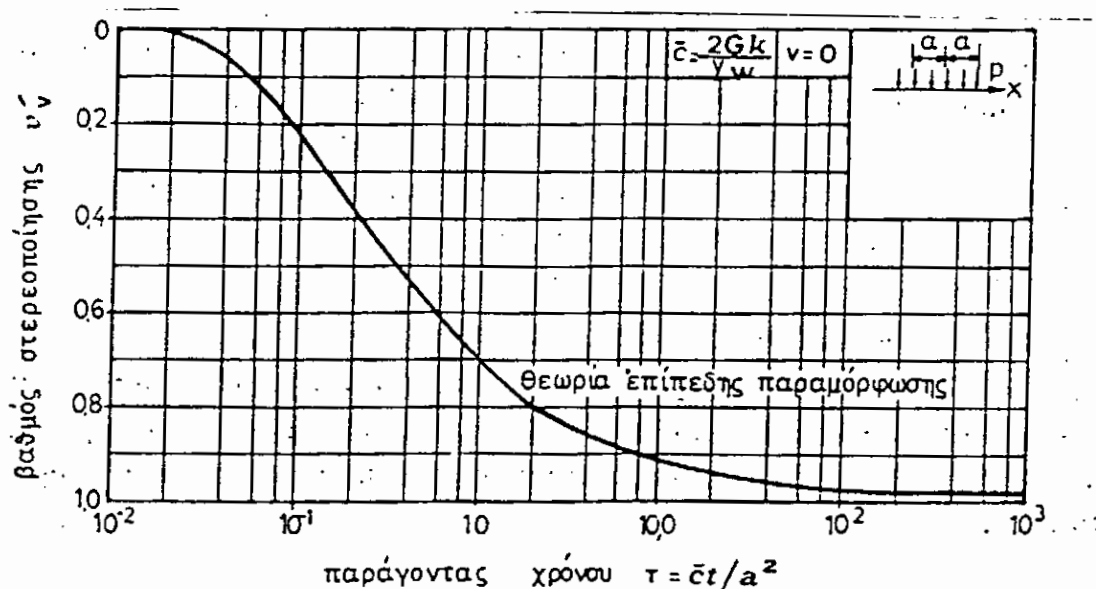


Σχ. 25

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,

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

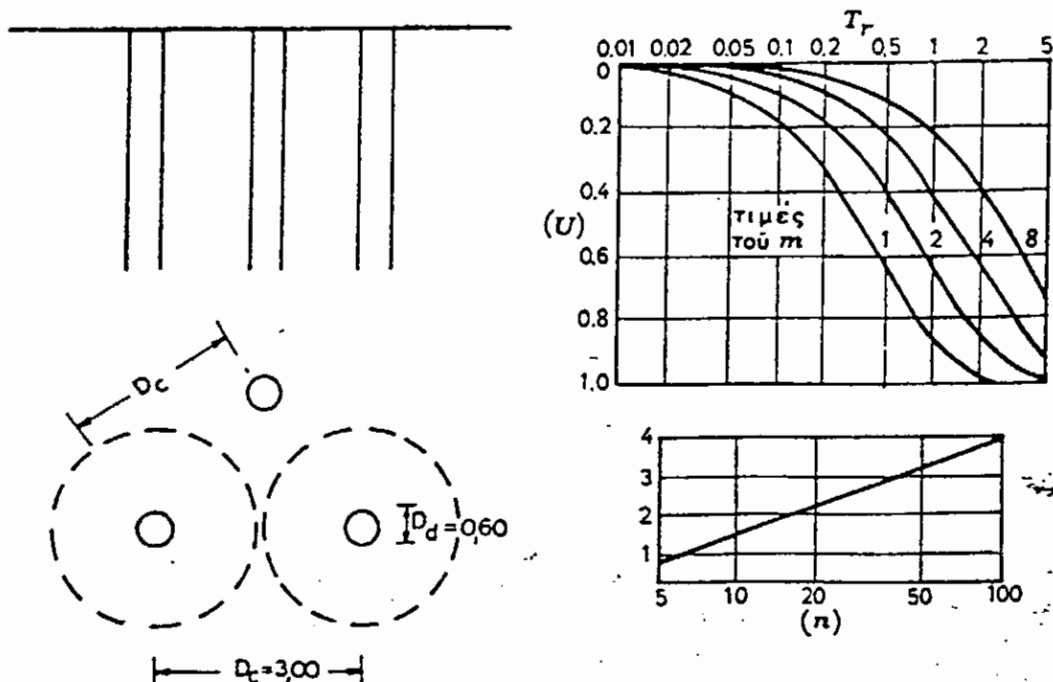


Σχ. 26

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 στερεοποιήσεως έχει εξάλλου αντιμετωπισθεί και απο 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 πιέσεως 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 απο τη μόνη τιμή της κατακόρυφης κύριας τάσεως σ_1 , όπως το παραδέχεται ο Terzaghi, αλλα και απο τις τιμές των οριζοντίων τάσεων, που στην περίπτω-

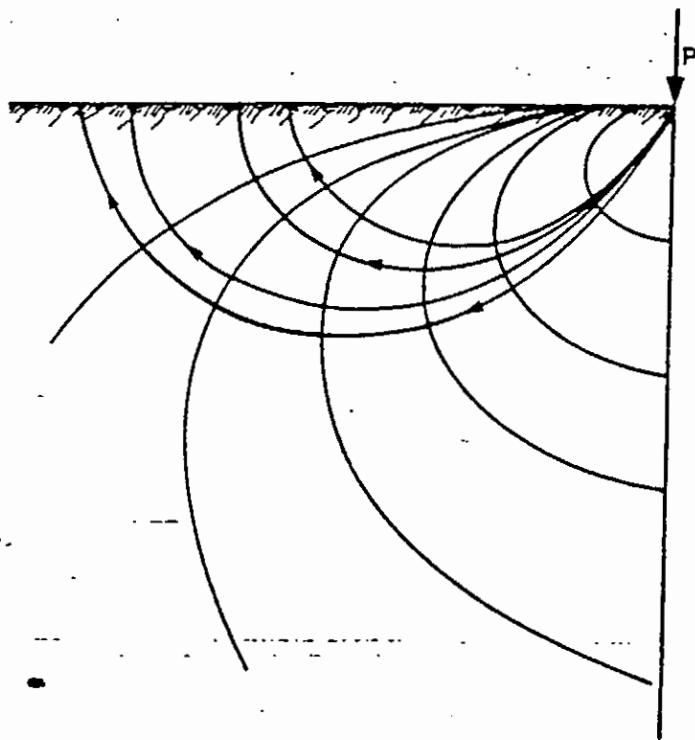
ση αυτή θεωρούνται ίσες. Για $A = B = 1$ ξαναβρίσκουμε την παραδοχή του TERZAGHI.

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

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

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

$$\frac{z}{\rho z} = \text{σταθερή}$$

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.

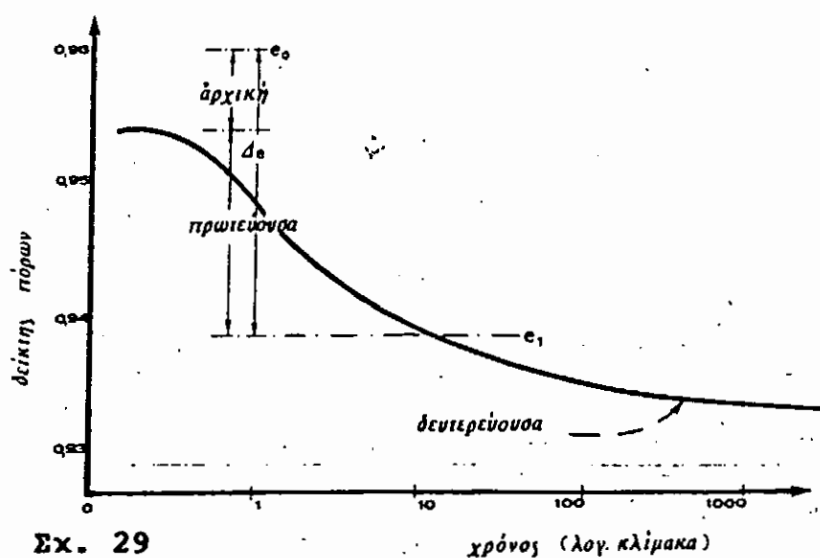
Μέθοδος του SCOTT.

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 εφαρμογή γενικότερης θεωρίας για τη συμπεριφορά του εδάφους.

4.6 Στερεοποίηση - Συμπεράσματα

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



Σχ. 29

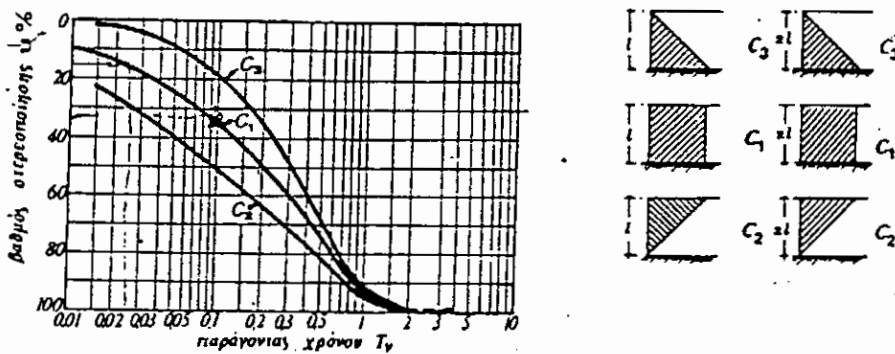
χρόνος (λογ. κλίμακα)

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.

5. ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ :

5.1 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 μιας 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 απο τυχόν υποσκαφές απο 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 απο 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.

5.2 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:

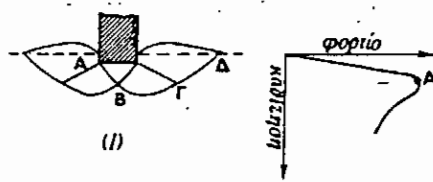
- I) Θραύση του εδάφους λόγω υπέρβασης της αντοχής του σε διάτμηση. Καταστροφές αυτού του τύπου έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις και γενικά έντονη παραμόρφωση του εδάφους με άμεσο αποτέλεσμα την καταστροφή της υπερκείμενης κατασκευής που γίνεται απότομα.
- II) Υπερβολικές καθιζήσεις 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 καθιζησης 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.

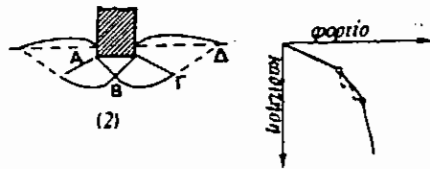
5.3 Μορφές θραύσης του εδάφους

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

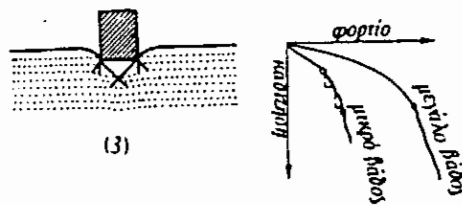
- α) Γενική θραύση (σχήμα 31.1)
- β) Τοπική θραύση (σχήμα 31.2)
- γ) Βύθιση του θεμελίου μέσα στο έδαφος (σχήμα 31.3)



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 από το θεμέλιο ακριβώς παρατηρείται μια συνεχιζόμενη κατακόρυφη καθίζηση. Το έδαφος έξω από την φορτιζόμενη επιφάνεια παραμένει απαραμόρφωτο (σχήμα 31.3).

Από 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 από μια εικόνα θραύσης που είναι καθορισμένη μόνο κάτω από την φορτιζόμενη επιφάνεια.

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

Παρατηρούνται σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις και συμπύκνωση του εδάφους κάτω από 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.

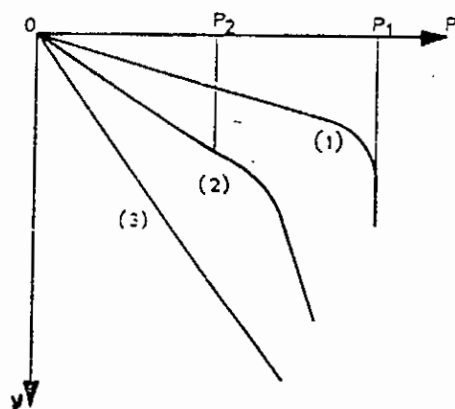
Η μορφή θραύσης που παρατηρείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες.

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.

5.4 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.

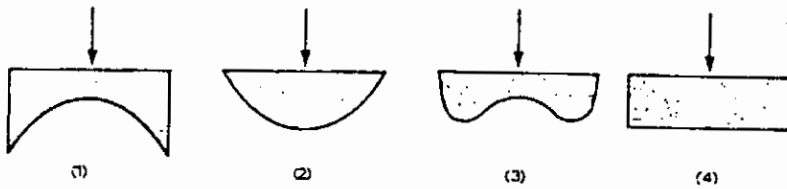
Για την καμπύλη (3) δεν μπορεί να ορισθεί φορτίο θραύσεως του εδάφους.

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 από 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.

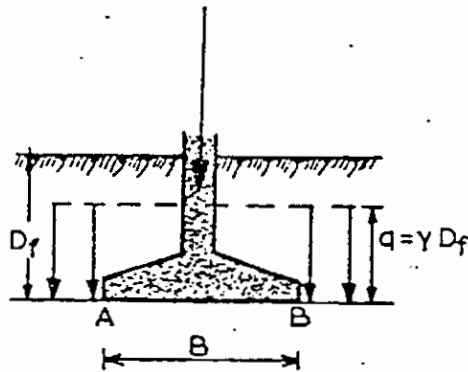
$$\psi = 0,10 B$$

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.

5.5 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).

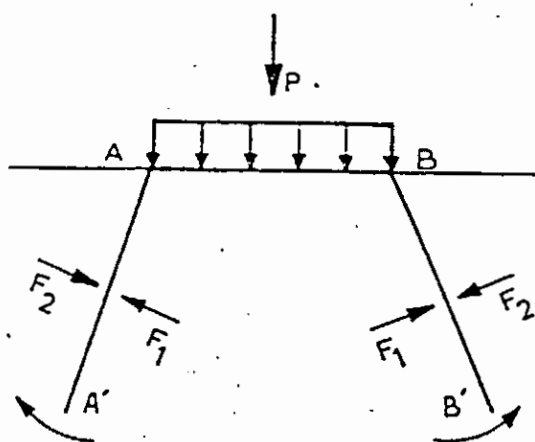


Σχ. 34

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.

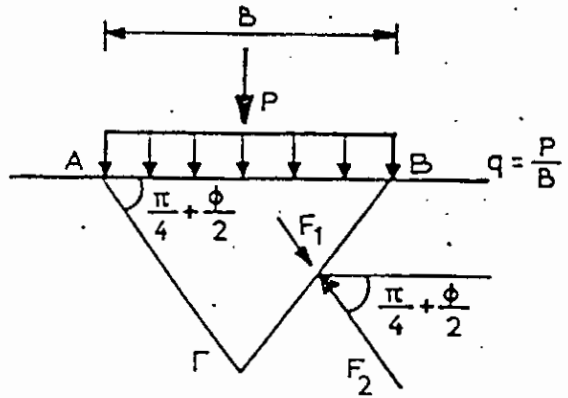
Όσο αυξάνεται το φορτίο P τόσο μεγαλύτερες γίνονται οι δυνάμεις F_1 ενώ οι δυνάμεις F_2 που δεν εξαρτώνται από το φορτίο δεν μεταβάλλονται. Η θραύση θα επέλθει όταν οι δυνάμεις F_1 θα γίνουν μεγαλύτερες από τις δυνάμεις F_2 , γιατί τότε τίποτα δεν εμποδίζει την μετατόπιση των επιπέδων AA' και BB' , δηλαδή 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 $A\Gamma$ και $B\Gamma$, 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 Ρ.

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 διείσδυση 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

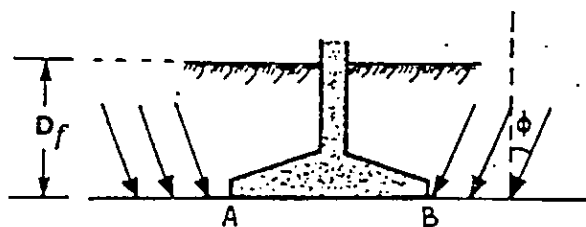
$$2(N_q + 1) \operatorname{tg}\phi$$

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 γH 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 $\frac{H}{tg\varphi}$.

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.

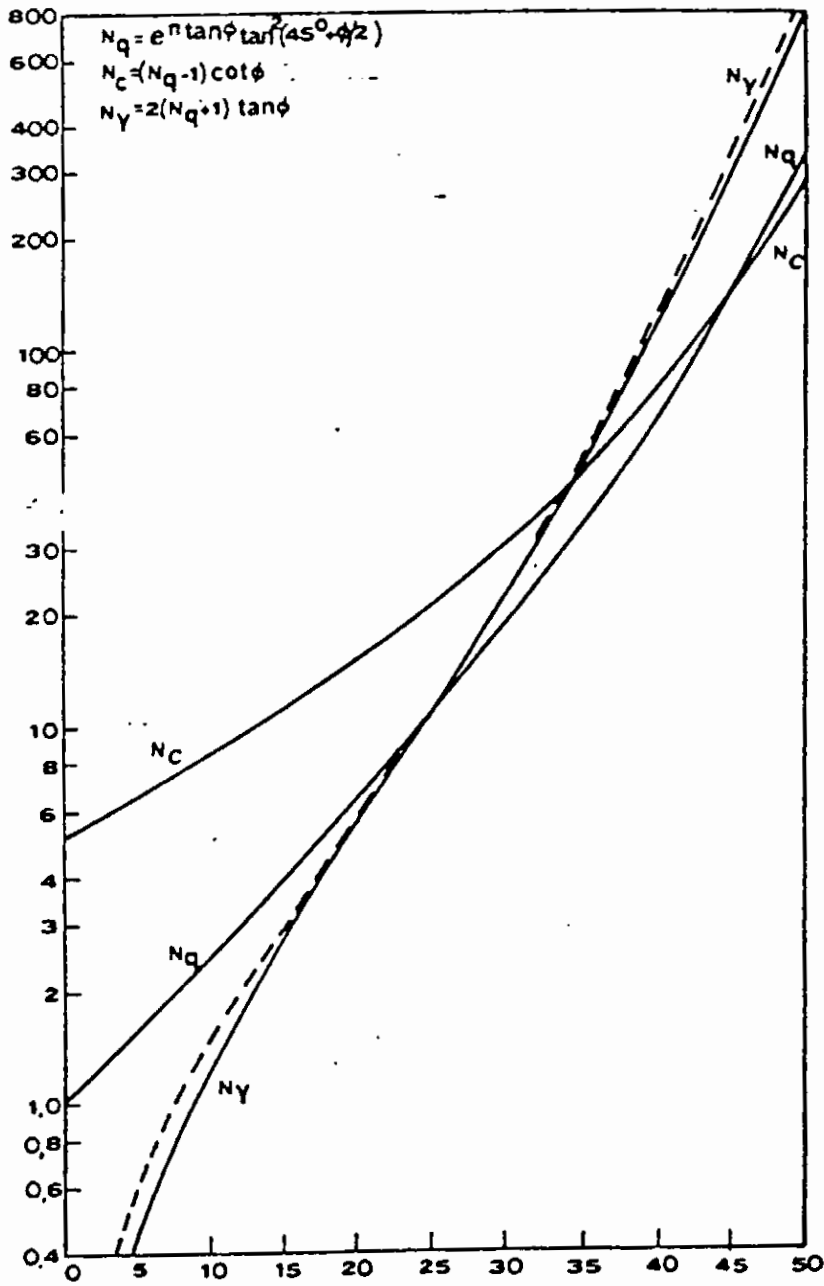
Τα παραπάνω αποτελέσματα αντιστοιχούν στην μέθοδο του CAQUOT.

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 .

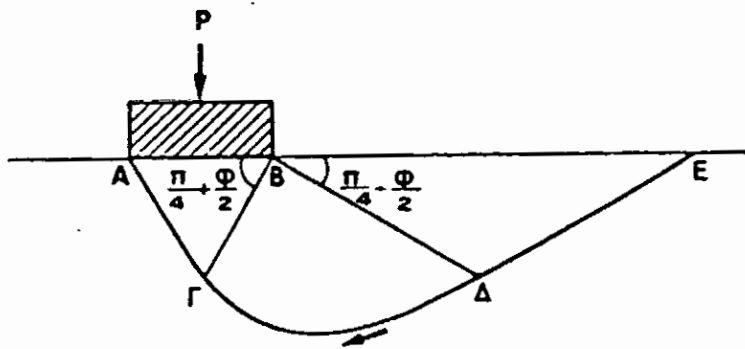
Στο τμήμα ΑΓ και ΔΕ η καμπύλη θραύσεως είναι οι ευθείες της ενεργού και παθητικής ωθήσεως του RANKINE. Στη ζώνη ΓΔ η καμπύλη έχει άγνωστη μορφή. Ο TERZAGHI κάνει την παραδοχή ότι πρόκειται για κυκλική καμπύλη, και, αναζητώντας τη χάραξη που αντιστοιχεί στην ελάχιστη αντοχή, καταλήγει στην ίδια σχέση 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

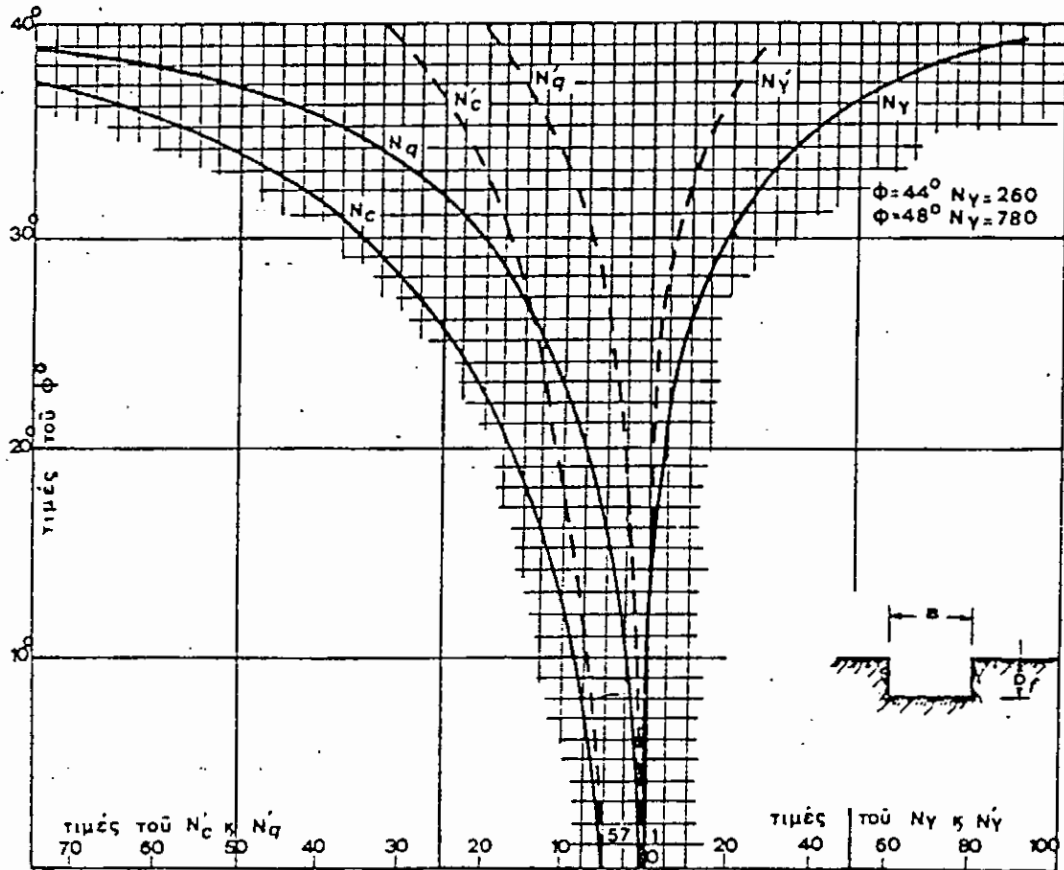
φ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \varphi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	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	330.35	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, ΤΕΡΖΑΓΗ, συντελεστών φέρουσας ικανότητας του εδάφους.

Σχ. 40

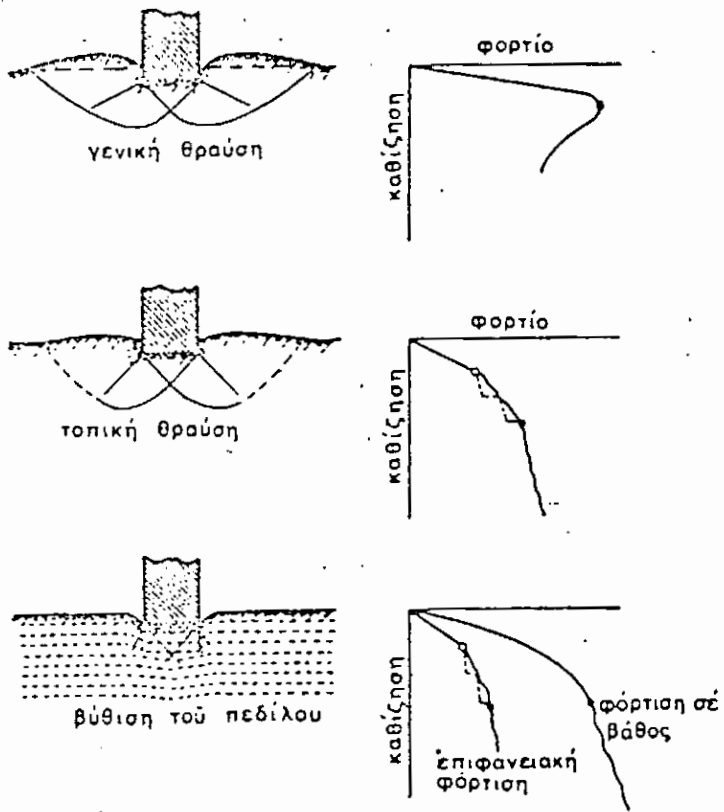
Το νομογράφημα του ΤΕΡΖΑΓΗ επιτρέπει επι πλέον τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας για την περίπτωση της τοπικής θραύσεως, δηλαδή για την περίπτωση του μαλακού εδάφους. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται οι συντελεστές N_{γ}' , N_{q}' , N_c'

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.

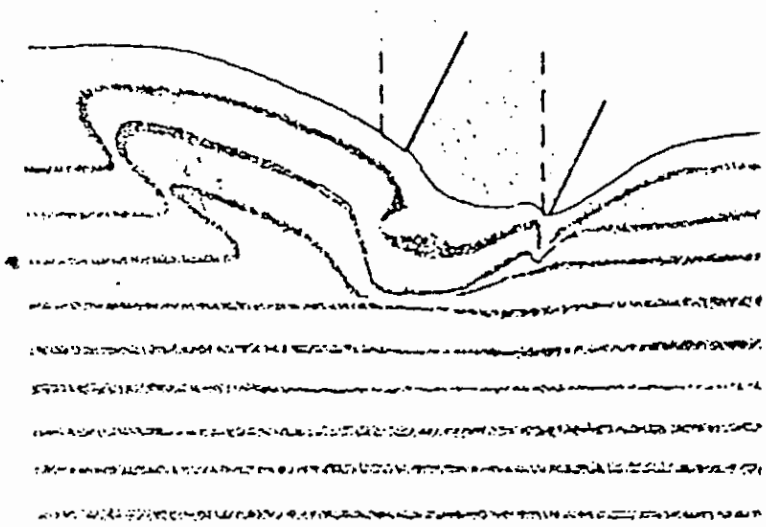
$$c' = \frac{2}{3} c, \quad \text{tg } \phi' = \frac{2}{3} \text{tg } \phi$$

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 απο τη φόρτιση αποτελούνταν απο οριζόντιες στρώσεις χρωματισμένες διαφορετικά, ότι πράγματι η καμπύλη ολισθήσεως κατα 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 απο αυτή που προκύπτει απο την εφαρμογή των μεθόδων CAQUOT ή TERGAΓΗΙ.

Αυτό οφείλεται πιθανώς στην αύξηση της αρχικής γωνίας τριβής κατα τη διάρκεια της συμπίεσεως του εδάφους και στο ότι το υπερκείμενο στρώμα δεν προκαλεί κατακόρυφη φόρτιση αλλα 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 απο τους πιο πάνω υπολογισμούς, εξαρτάται απο τα εξής μεγέθη :

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

Ενας απο 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.

5.6 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.

5.6.1 Επίδραση του υπόγειου νερού στην φέρουσα ικανότητα.

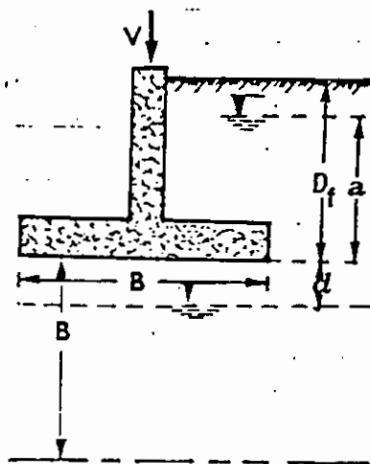
Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης και σε απόσταση a από αυτό (σχήμα 43) τότε ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας γίνεται με βάση την παρακάτω σχέση :

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

όπου :

γ' = το φαινόμενο βάρος του βυθισμένου εδάφους, και

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

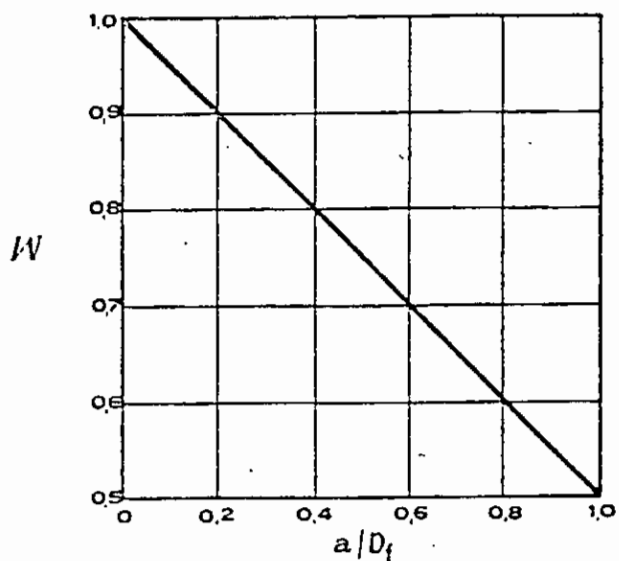


Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης σε βάθος $d \leq B$ (σχήμα 43), ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας γίνεται με βάση τον τύπο :

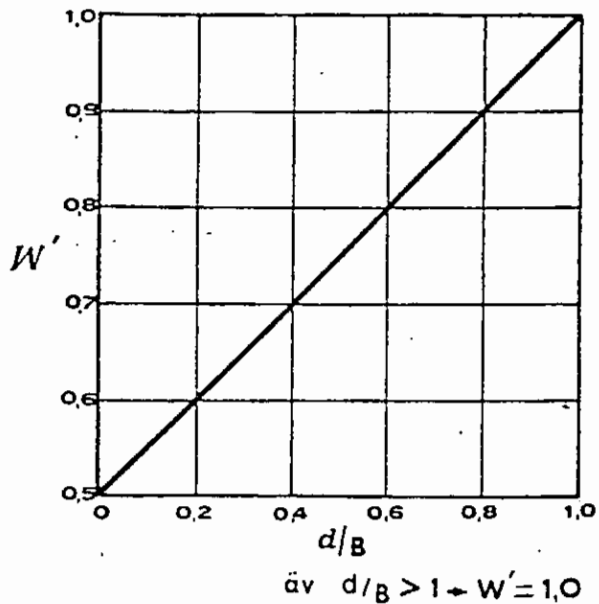
$$q = cN_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot W' \quad (31)$$

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.

5.6.2 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	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) i \gamma \varphi$	$1 - 0,4 \left(\frac{B}{L}\right)$
Τετραγωνική ή κυκλική	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + i \gamma \varphi$	0,60

Επίσης έχουν προταθεί και οι παρακάτω εμπειρικοί τύποι :

τετραγωνικά πέδιλα : $q = 1,3 cN_c + \gamma \cdot N_q \cdot D_f + 0,4 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$

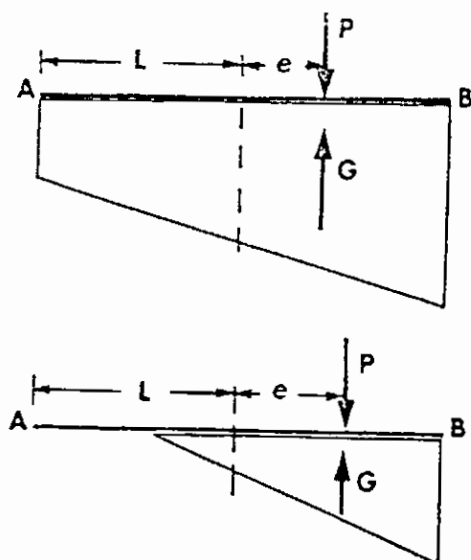
κυκλικά πέδιλα : $q = 1,3 cN_c + \gamma \cdot N_q \cdot D_f + 0,3 \gamma B \cdot N_\gamma$

(για τα κυκλικά πέδιλα $B = \text{διάμετρος του πέδιλου}$).

5.6.3 Εκκεντρα φορτία

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

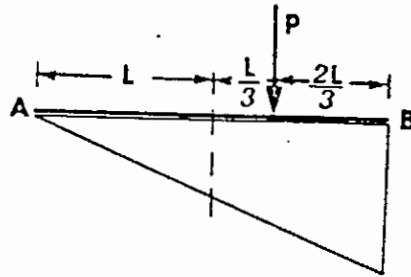
Η βασική συνθήκη ισορροπίας του AB επιβάλλει να βρίσκεται η συνισταμένη G των τάσεων του εδάφους στην κατακόρυφη του φορτίου P . Δεν μπορεί συνεπώς να υπάρξει συμμετρική διάταξη των τάσεων του εδάφους.



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. Κατα συνέπεια, η κατανομή των τάσεων του εδάφους θα είναι τραπεζοειδής ή τριγωνική με κλάτος ΑΒ.

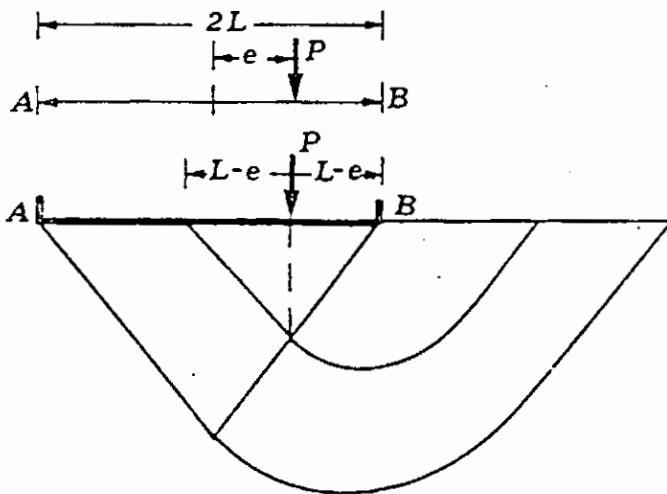


Σχ. 47

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 που 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.

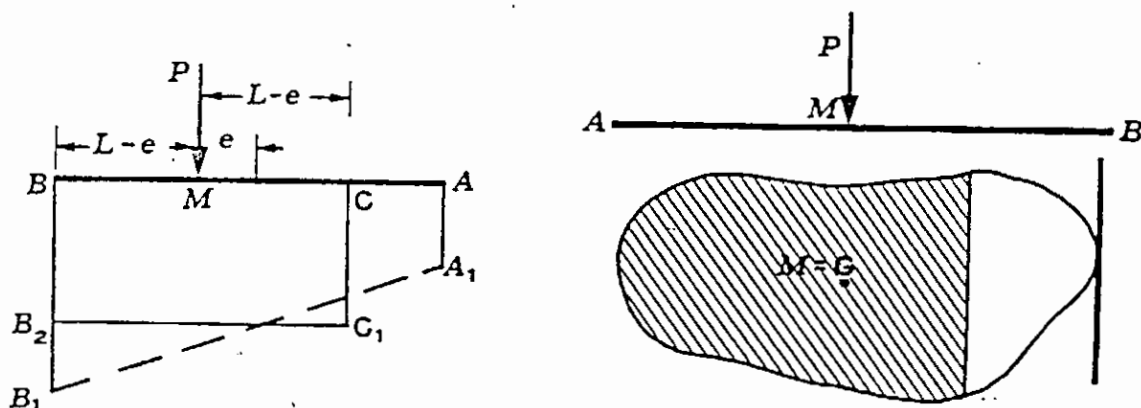
Η παραδοχή της γραμμικής κατανομής των τάσεων του εδάφους κάτω από το πέδιλο AB βασίζεται εξάλλου στις εξής δύο παραδοχές :

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

Καμία 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

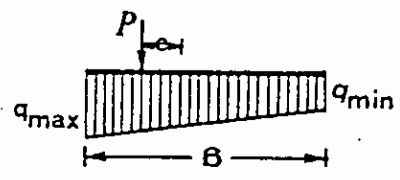
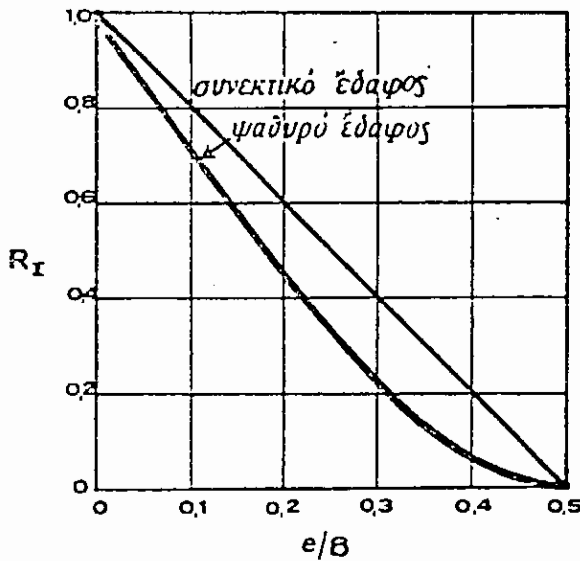
που αντιστοιχεί σε τριγωνική ή τραπεζοειδή διάταξη. Αφού πρέπει να εξισώσουμε τη μέγιστη φόρτιση BB_2 ή BB_1 με την επιτρεπόμενη τάση, η μέθοδος οδηγεί σε οικονομικότερη λύση.

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:

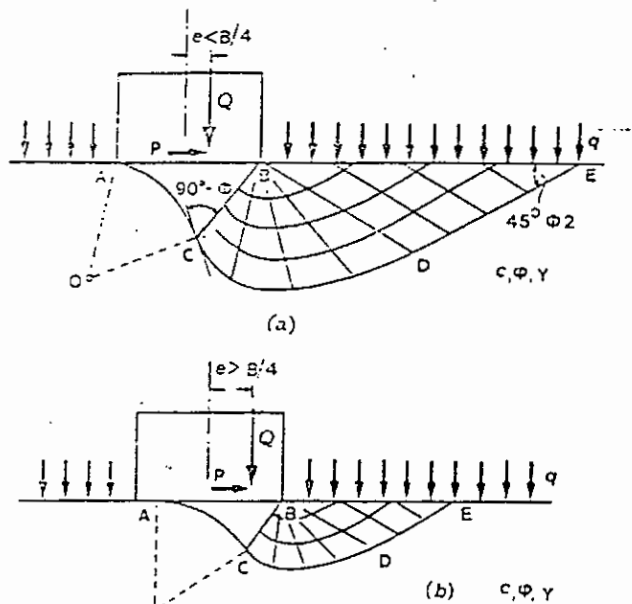
$$q' = q \cdot R_1 \quad (33)$$



Σχ. 50

5.6.4 Κεκλιμένα φορτία

Στην περίπτωση ενός κεκλιμένου κεντρικού φορτίου ή καμπύλη ολισθήσεως μετατοπίζεται, (Σχ. 51) με αποτέλεσμα να μειώνεται η φέρουσα ικανότητα. Έχουν δοθεί διάφορες σχέσεις, 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

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

5.6.5 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).

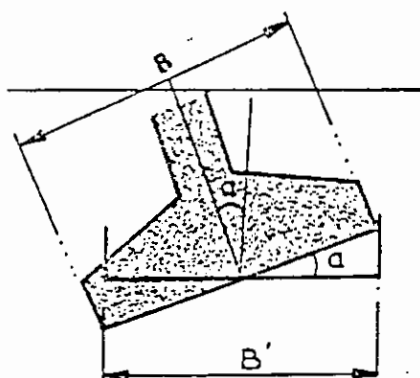
$$J_q = J_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg} \phi)^2$$

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

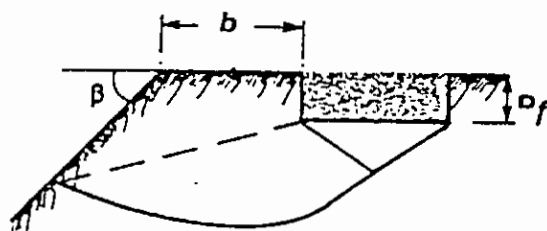
θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί η γενική μέθοδος με πέδιλο πλάτους $B' = B \cos \alpha$.

5.6.6 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

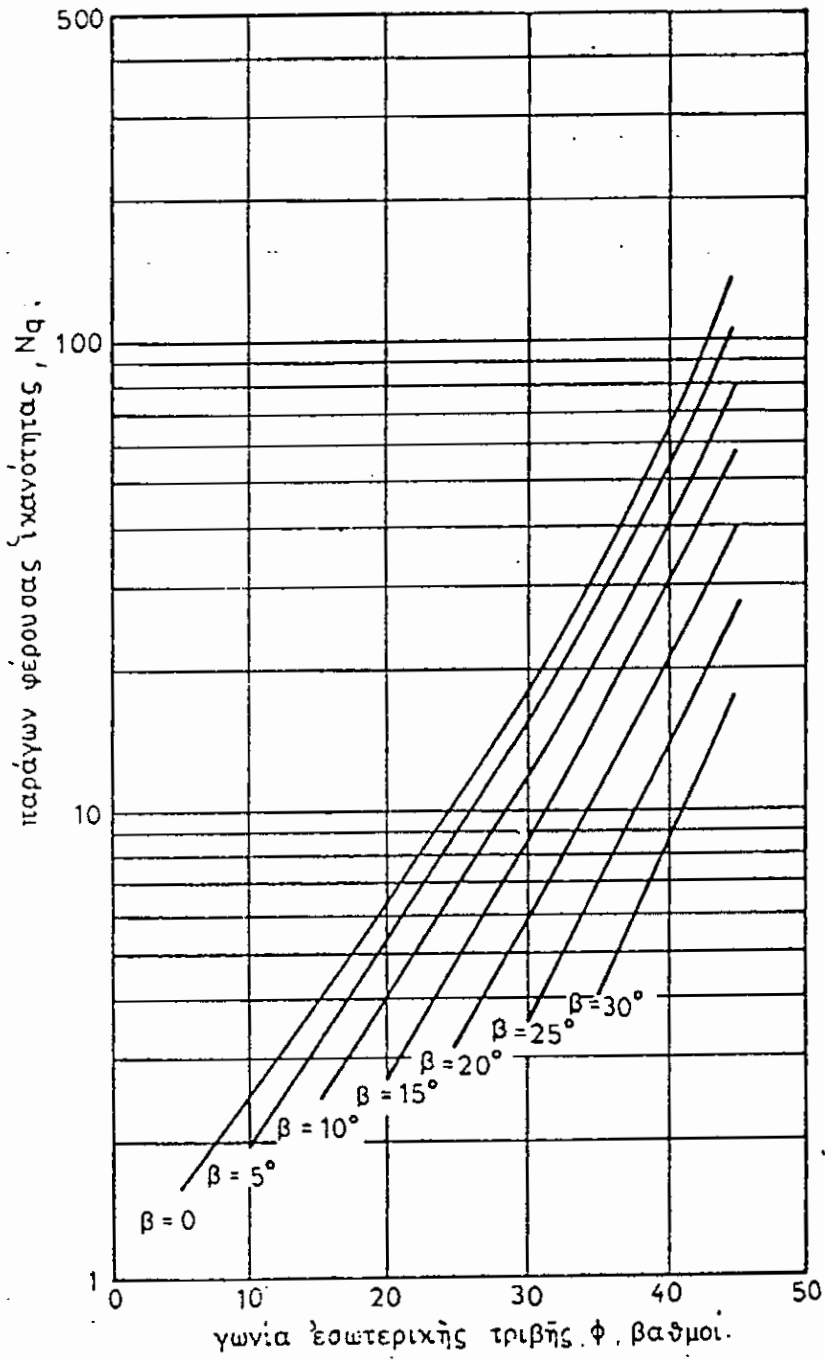
Οι συντελεστές μείωσης είναι συναρτήσεις της αποστάσεως b από την κορυφή του πρανούς, του βάθους D_f και της κλίσεως b του πρανούς.

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

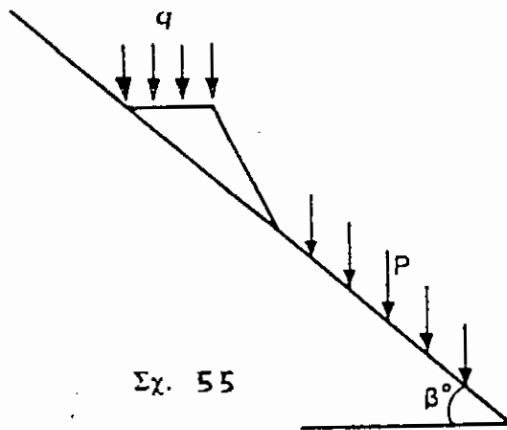
$$J_q = J_\gamma = (1 - \operatorname{tga})^2$$

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

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 κατά 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).

5.7 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 πέδιλο 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 υποτεθεί 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 πέδilu.

ΛΥΣΗ

- α) Η φέρουσα ικανότητα τετραγωνικού πέδilu 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 :

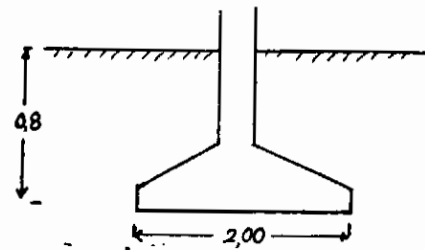
$$N_c = 37,20 \quad , \quad N_q = 22,50 \quad , \quad N_\gamma = 19,70$$

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 χαλαρή άμμο :

$$\phi = 30^\circ \longrightarrow N_{q'} = 8,30, N_{\gamma'} = 5,70$$

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

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

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

δ) Για $\phi = 25^\circ$ 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 :

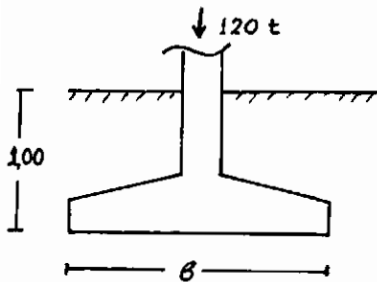
$$q_{\text{επ}} = \frac{q}{\nu} = \frac{34,00}{3} = 11,35 \text{ t/m}^2$$

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

$$\text{τιμή : } p = \frac{120}{B^2}$$

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

Σχήμα 2

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

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

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

$$\text{ή } A = 360 = B^2 (11,50 + 13,55 + 3,66B).$$

Η εξίσωση λύνεται προσεγγιστικά :

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

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 :

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

$$\text{για } d/B = 2,50 \quad W' = 1$$

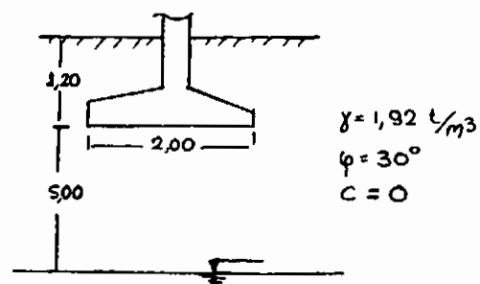
Για $\phi = 30^\circ$ από το νομογράφημα του TERZAGHI έχουμε :

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

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

β) Έχουμε (σχήμα 4).

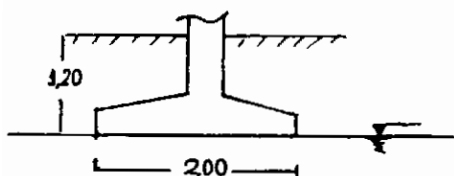
$$q = \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma' B N_\gamma = 1,92 \cdot 1,20 \cdot 22,00 + 0,40 \cdot 1,00 \cdot 2,00 \cdot 20,00 = 67,00 \text{ t/m}^2$$



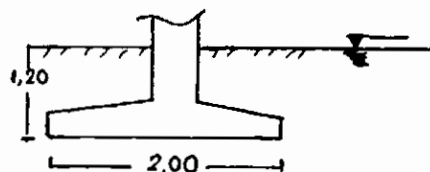
Σχήμα 3

γ) Έχουμε (σχήμα 5)

$$q = \gamma' D_f \cdot N_q + 0,40 \gamma' B N_\gamma = 1,00 \cdot 1,20 \cdot 22,00 + 0,40 \cdot 1,00 \cdot 2,00 \cdot 20,00 = 26,50 + 16,00 = 42,50 \text{ t/m}^2$$



Σχήμα 4



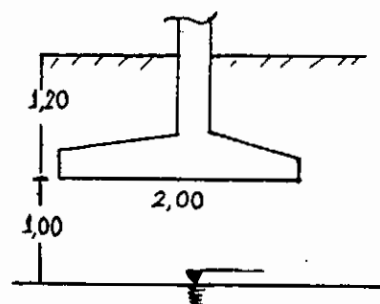
Σχήμα 5

δ) Απο τον τύπο :

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

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)

6. ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ.

6.1 Εισαγωγή

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση που ένα κορεσμένο, συ-
νεκτικό (αργιλικό) έδαφος υποβάλλεται σε αύξηση της ο-
λικής κατακόρυφης τάσης σ με παρεμπόδιση των πλευρικών
παραμορφώσεων.

Όταν αυξηθεί η ολική τάση σ , οι στερεοί κόκκοι προσπα-
θούν 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 ολι-
κής κατακόρυφης τάσης μεταβιβάζεται στο νερό των πό-
ρων. Η αύξηση όμως της πίεσης αυτής έχει σαν αποτέλεσ-
μα την ροή του νερού προς τα όρια του εδαφικού στρώμα-
τος.

Η ροή αυτή ή στράγγιση συνεχίζεται μέχρις ότου η πίε-
ση του νερού ξαναγίνει υδροστατική, μέχρις ότου δηλα-
δή η υπερπίεση $u_e = 0$. Όσο όμως προχωρεί η διαδικασία
της στράγγισης, οι στερεοί κόκκοι αποκτούν ελευθερία
μετακίνησης με αποτέλεσμα την αύξηση των δυνάμεων μετα-
ξύ 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 (συμπίεση 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 υπόκειται σε διάφορα αυξανόμενα φορτία.

Διάτρητες πλάκες που τοποθετούνται στις δύο επιφάνειες του δοκιμίου επιτρέπουν την κατακόρυφη στράγγιση (συνθήκες διπλής στράγγισης). Η κατακόρυφη συμπίεση 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.

6.2.1 (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 κατα 0,2 έως 0,5 mm. Το πάχος των πορόλιθων θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά την δοκιμή.

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

6.2.2 (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.

6.2.3 (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.

6.2.4 (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 φόρτισεως 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 από 5 min εφαρμογής του αρχικού αυτού φορτίου τοποθετείται το μηκυσιόμετρο 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.

6.2.5 (E) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

(E₁) Υπολογισμός του συντελεστή στερεοποίησης C_v με την μέθοδο του λογαρίθμου χρόνου.

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

(E.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.

(E.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 min. 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 .

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

(E.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 απο 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 :

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

Αρα απο 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 %

$$\text{είναι : } 345 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 345 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,08763 \text{ cm} = 0,8763 \text{ mm}.$$

Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης 100 %

$$\text{είναι : } 495 \cdot 10^{-4} \text{ in} = 495 \cdot 10^{-4} \cdot 2,54 \text{ cm} = 0,12573 \text{ cm} = 1,257 \text{ mm}.$$

ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

ΕΡΓΟ: _____ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: _____

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ: ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ

1. Χαρακτηριστικά Δοκιμίου και Υπολογισμοί

Δοκίμιον: _____ Συσκευή Άρθ. _____
 Διαστάσεις συσκευής: Ύψος = _____ mm. - Διάμετρος = 60 mm. - Επιφάνεια Α = 28,26 cm²
 Ειδικό βάρος εδάφους $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 1,22$ Τύπος εδάφους _____
 Παρατηρήσεις _____
 Μέση υδατοπερατότητα _____

Βάρος συσκευής + υγρού εδάφους W = _____ gr
 Βάρος συσκευής W_υ = _____ gr
 Βάρος υγρού εδάφους W_τ = _____ gr
 Βάρος ξηρού εδάφους W_ξ = 39,49 gr
 R₁ = συσκευή μετά τύπου 90 mm _____ gr
 R₂ = συσκευή χωρίς φορτίο _____ gr
 R₃ = συσκευή με φορτίο _____ Kg/cm² gr
 H₀ = Άρθικό ύψος δοκιμίου 1 μ = 25,40 mm
 H_ε = Ύψος κόκκων _____ mm

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

(1) Πίεση kg/cm ²	(2) Τελ. άναγν. R	(3) Υποχθ. σε 0,0001 (ΔR)	(4) H = H ₀ - ΔR	(5) Διάμετρο H - H _s	(6) Λογ. διακ. $c = \frac{H - H_s}{H_s}$	Ξηρό φαιν. Βάρος kg/m ³	% Στερεοπ.	Παρατηρήσεις
0,5		67×10^{-4}		5313×10^{-4}	1,150			
1,0		344×10^{-4}		5036×10^{-4}	1,090			
2,0		760×10^{-4}		4620×10^{-4}	1,000			
4,0		1337×10^{-4}		4043×10^{-4}	0,875			
8,0		1915×10^{-4}		3465×10^{-4}	0,750			

	Άρθική κατάσταση	Τελική κατάσταση
Ξηρ. φαιν. βαρ. kg/m ³		
Συνολικό ύψος H ₀ mm		
Ύψος κόκκων H _s mm		
Ύψος νερού H _υ mm		
Ύψος αέρα H _α mm		(1)
Ποσοστό υγρασίας W%		(2)
Βαθμός κορσερού %	(3)	

(1) Κατά παραδοχή H_α αμετάβλητο κατά την κορσερού

$$(2) = \frac{H_{\alpha} \cdot A \cdot 100}{W_t}$$

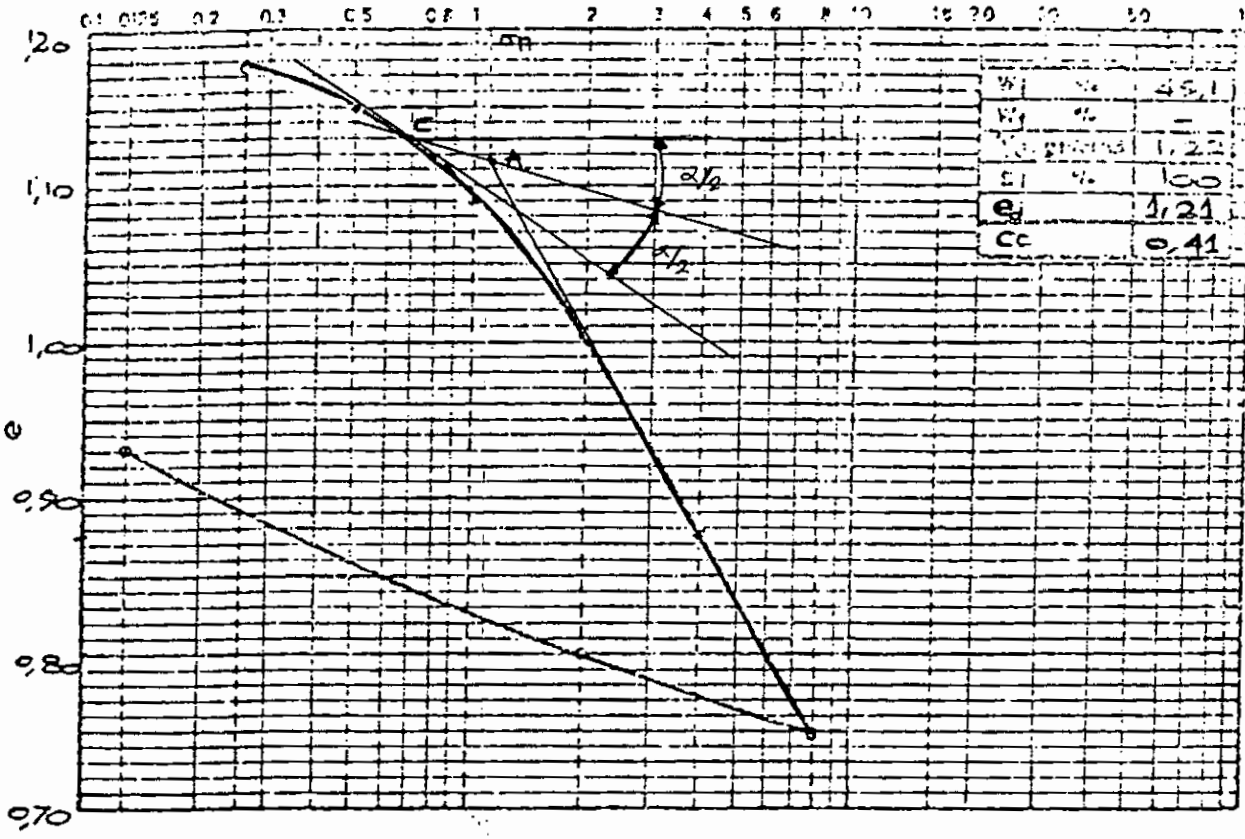
$$(3) S = \frac{H_{\alpha} \cdot 100}{H - H_s} = \frac{G_s \cdot W\%}{\cdot}$$

$$H_{\alpha} = \frac{W_t \cdot \cdot}{\cdot}$$

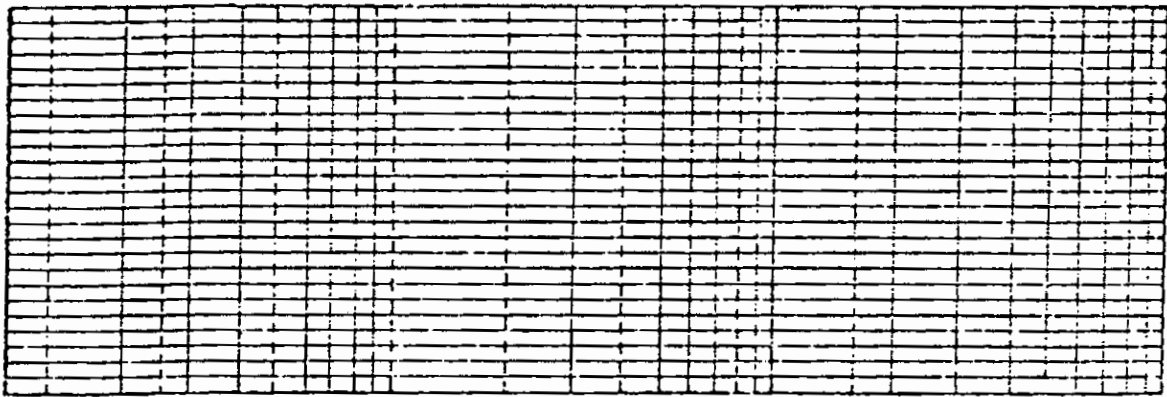
$$H_{\alpha} = H - H_s - H_{\alpha}$$

ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΟΓΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ — ΛΟΓ. ΠΙΕΣΕΩΣ — VOID RATIO — LOG PRESSURE DIAGRAM

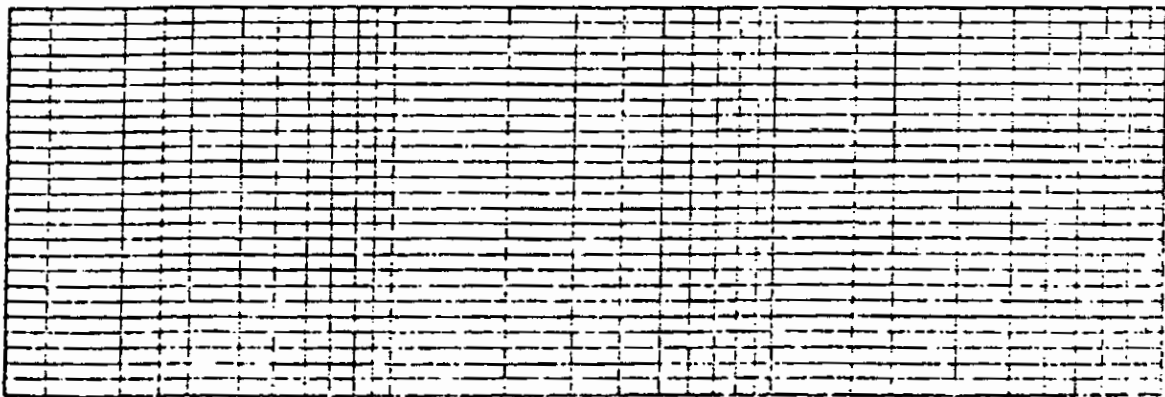


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤ. ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΟΣ — ΛΟΓ. ΠΙΕΣΕΩΣ — COEF. OF CONSOLIDATION — LOG. PRESSURE



$C_v \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$

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



$k \text{ cm}/\text{sec}$

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 Π1 / 5 30 - 5, 30

3 kg/cm²

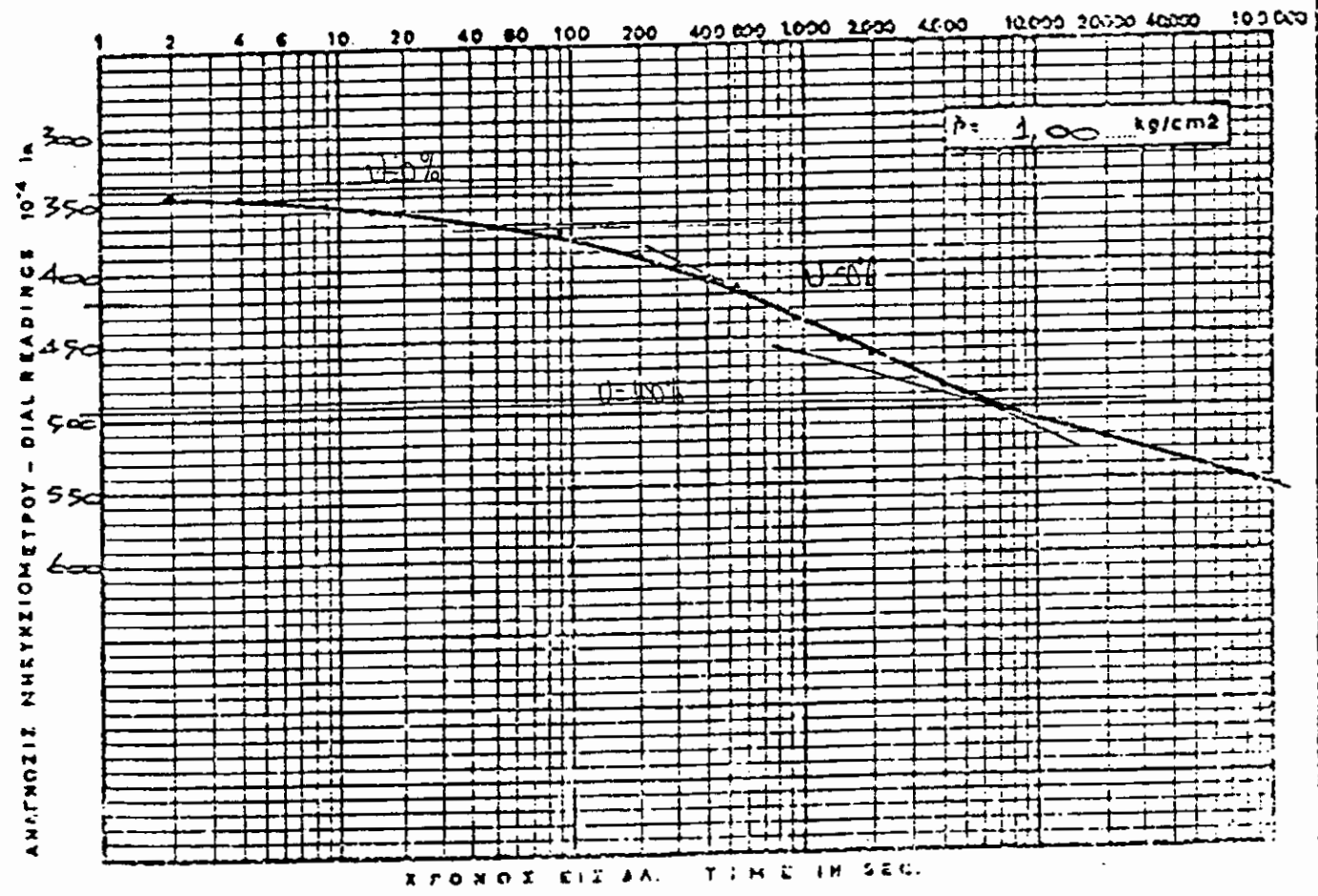
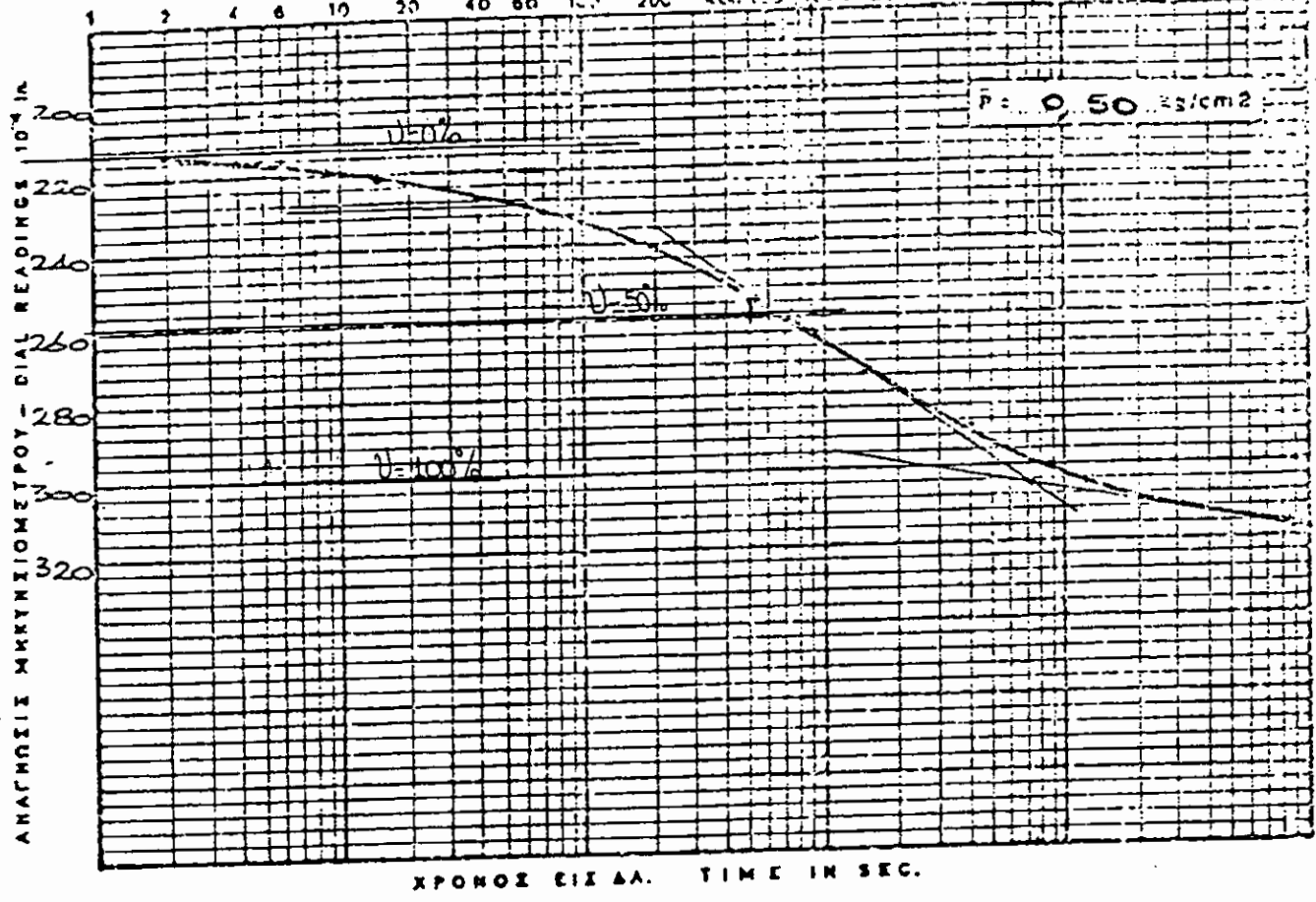
Στοιχεία δείγματος: Γεώτρηση: Βάθος:

Αριθμός ανοικτής:

CRA ΓΡΑΜΜΕΤΕΙΟ	ΥΑΞΗ Kg/cm ²	Χ Ρ Ο Ν Ο Σ Α Π Ο Τ Η Σ Ε Ν Δ Ε Ρ Ξ Ε Ο Σ																								
		0'	2"	4"	9"	16"	20"	40"	1'	1'30"	2'15"	3'20"	4'	6'40"	9'	12'15"	15'	16'	25'	33'20"	36'	49'	1600 4'40"	3000 10'35"	5000 15'45"	
0.50	-	213	216	219	221	223	228	229	232	236	240	247	252	256	260	264	266	276	280	281	286	292	300	304	316	
1.00	-	349	350	352	360	362	370	372	380	385	394	400	410	417	430	438	440	450	460	462	470	485	508	522	530	
2.00	-	590	595	600	605	610	620	628	635	648	658	664	688	700	720	730	738	768	790	800	818	840	870	922	955	
4.00	-	1005	1010	1020	1022	1025	1040	1060	1070	1080	1100	1110	1140	1160	1183	1200	1210	1250	1280	1290	1320	1358	1430	1490	1525	
8.00	-	-	1565	1578	1582	1590	1600	1610	1620	1638	1660	1670	1700	1720	1750	1780	1790	1835	1865	1880	1990	1940	2020	2070	2100	

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΙΑΣ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗΝ

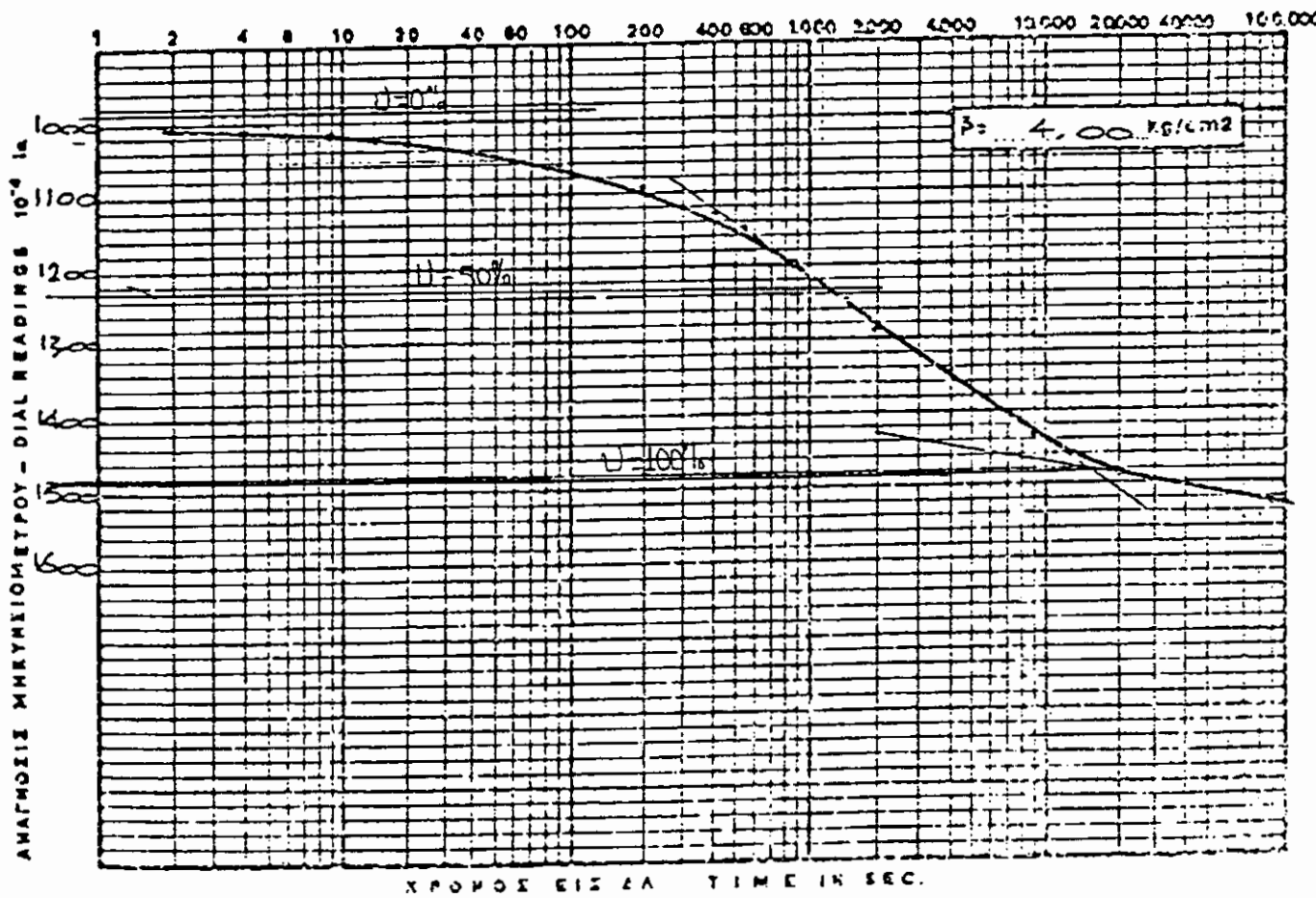
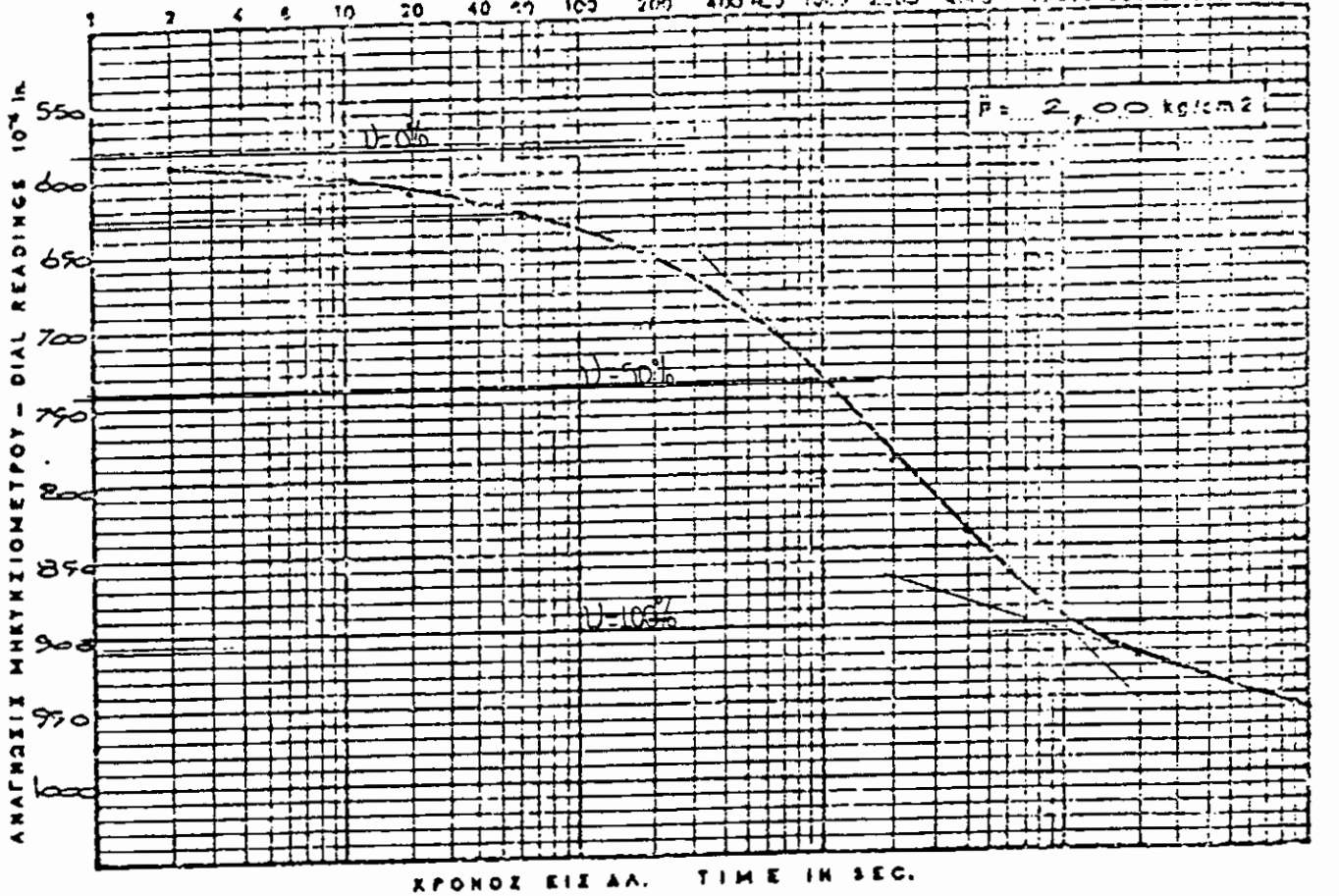
ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST
 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΟΥ — ΥΠΟΚΟΡΗΣΕΩΝ — TIME-COMPRESSION DIAGRAM



ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΣ: Α / 5.30-5.33

ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST

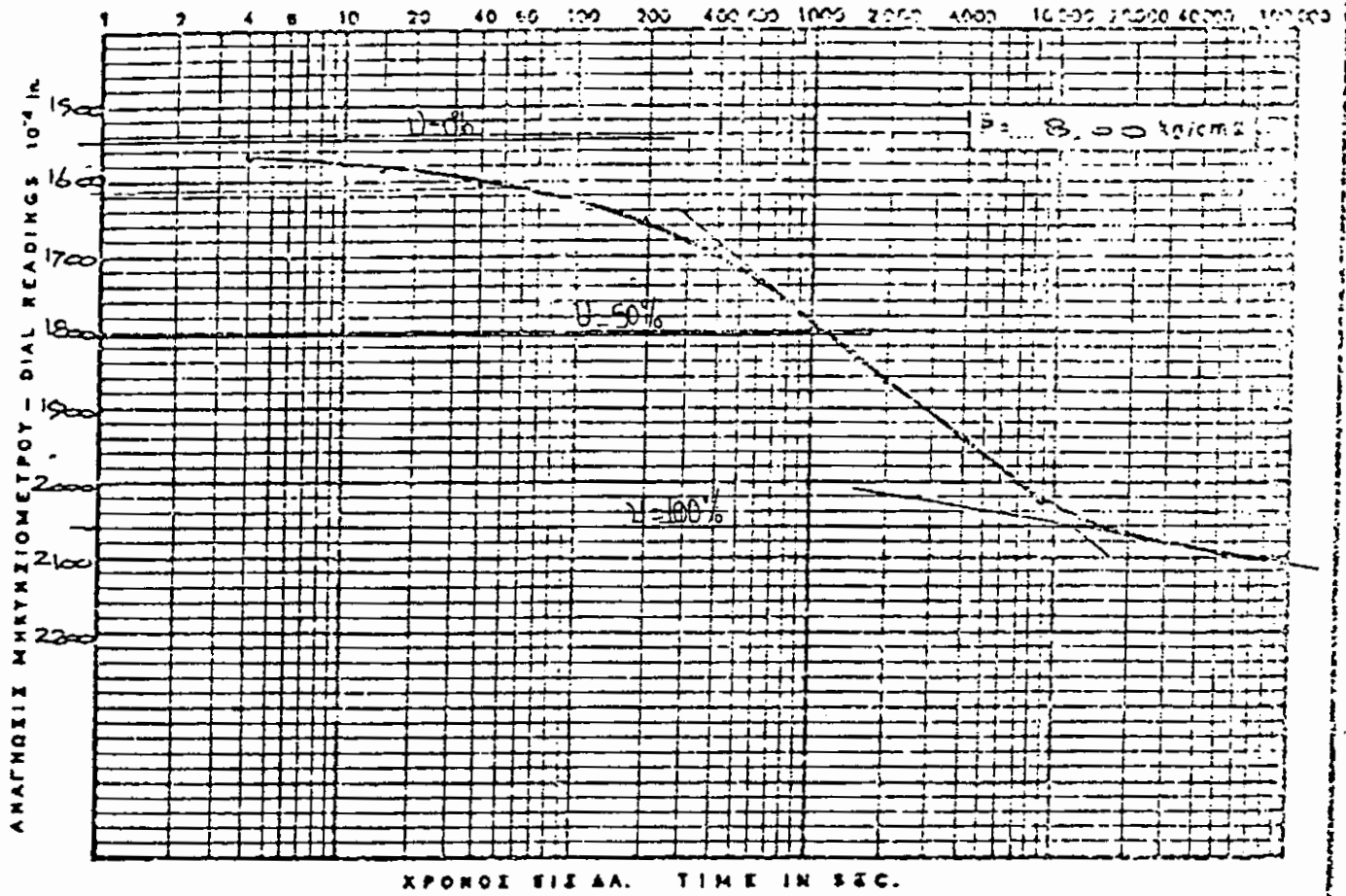
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΟΥ — ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΣ — TIME — COMPRESSION DIAGRAM



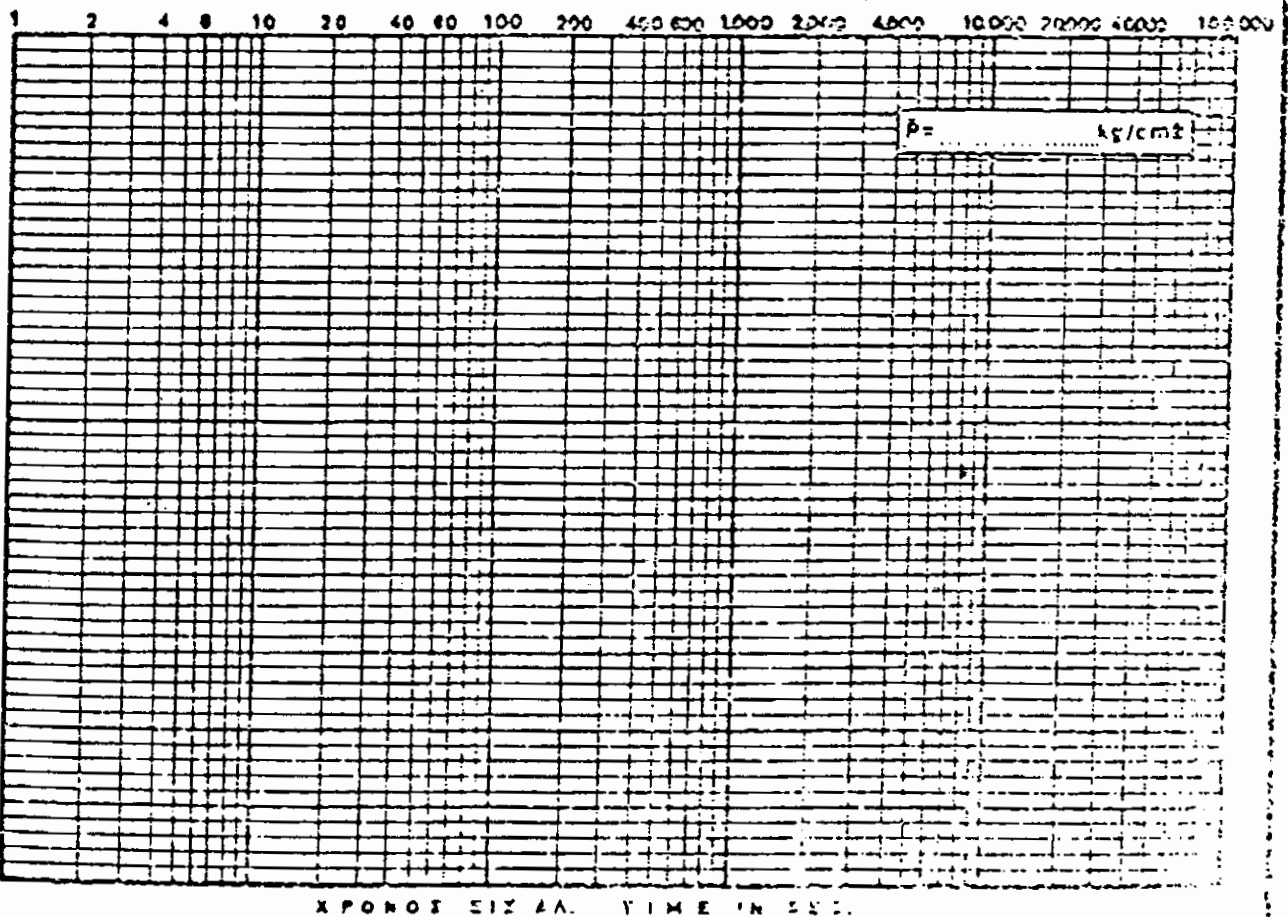
ΑΞΙΩΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Π / 5.50 - 5.50

ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ — CONSOLIDATION TEST

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΟΥ — ΥΠΣΧΩΡΗΣΕΩΝ — TIME — COMPRESSION DIAGRAM



ΑΝΑΓΝΩΣΤΗΣ ΜΗΚΥΜΝΙΟΜΕΤΡΟΥ - DIAL READINGS 10⁻⁴ in



ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ / SAMPLE NO. 5.30 - 5.90

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

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

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

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 μηκυνσιόμετρου είναι:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $t_{50} = 1200''$

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

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης c_v είναι:

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

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 $t_{50} = 1100''$

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

Αρα ο συντελεστής στερεοποίησης c_v είναι:

$$c_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{t_{50}} = \frac{0,197 \cdot (20,66/2)^2}{1100''} = 0,0180 \text{mm}^2/\text{sec.}$$

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

Υπολογίζουμε κατ'αρχήν τον δείκτη κενών e_0 .

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

$$e_0 = \frac{H_0 - H_c}{H_s} = \frac{2,54 - 1,15}{1,15} = \frac{1,39}{1,15} = 1,21$$

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.

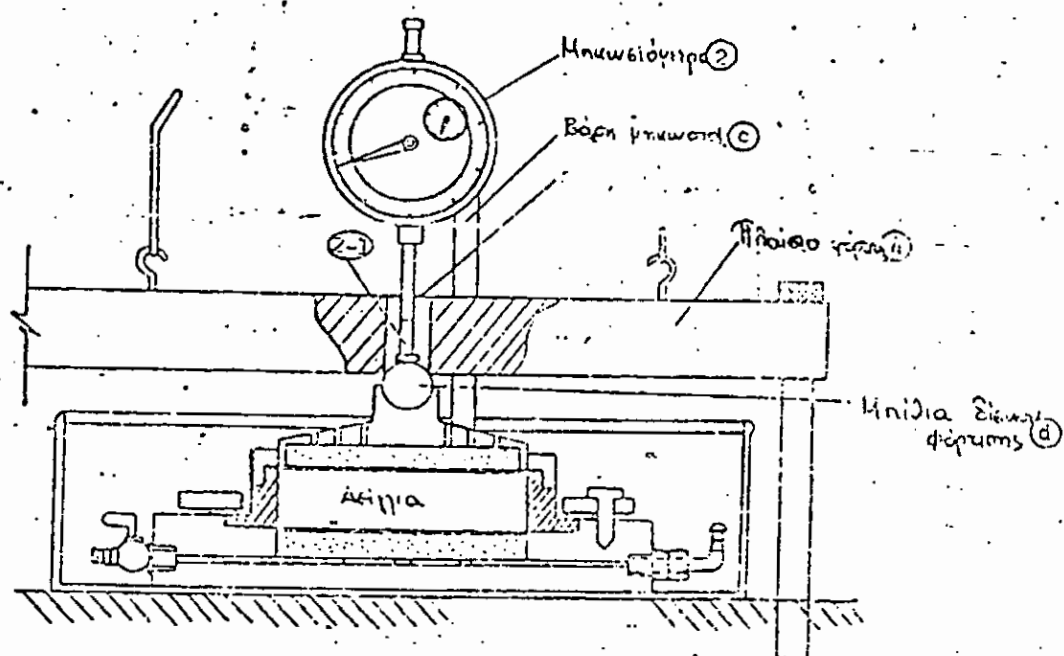
Ο δείκτης συμπιεστότητας C_c είναι αδιάστατο μέγεθος και εκφράζει την κλίση του ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης.

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

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

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



Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

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