

ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΡΙΖΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Ι. Γραμματικόπουλος και Κ. Αναγνωστόπουλος

Εργαστήριο Εδαφομηχανικής & Θεμελιώσεων, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών, Αριστ. Παν/μιο Θεσ/νίκης, 54006, Θεσσαλονίκη, ygram@geo.civil.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν δοκιμές οιδημέτρου σε έξι αναζυμωμένα δοκίμια αμμοίλου-
ος διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα χαράχθηκαν
οι καμπύλες της ποσοστιαίας μεταβολής του ύψους του δοκιμίου σε σχέση με το χρόνο σε διάφορες
βαθμίδες φόρτισης και υπολογίστηκε ο συντελεστής στερεοποίησης c_v σύμφωνα με τις μεθόδους
Casagrande και Taylor.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την διεξαγωγή μιας δοκιμής οιδημέτρου (A.S.T.M. 1980), σε κάθε εφαρμογή μιας βαθμίδας
του φορτίου ολοκληρώνεται μια περίοδος στερεοποίησης κατά τη διάρκεια της οποίας εκτονώνεται
η υπερπίεση του νερού με ταυτόχρονη καθίζηση του δοκιμίου. Κανονικά μετά την εφαρμογή του
φορτίου πρέπει να περιμένουμε για ένα χρονικό διάστημα 24 ωρών, κατά τη διάρκεια του οποίου
λαμβάνονται περιοδικές αναγνώσεις των καθιζήσεων (Lambe 1951, Atkinson & Bransby 1978). Στο
σχήμα 1 φαίνονται οι καμπύλες στις διάφορες βαθμίδες φόρτισης.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή στερεοποίησης c_v χρησιμοποιείται είτε η μέθοδος της τε-
τραγωνικής ρίζας του χρόνου είτε η μέθοδος του λογαρίθμου του χρόνου. Βασική παραδοχή και
των δύο μεθόδων για τον προσδιορισμό του c_v είναι η σύμπτωση της θεωρητικής (προκύπτει από
την αναλυτική επίλυση της εξίσωσης της στερεοποίησης) και της πειραματικής καμπύλης της στε-
ρεοποίησης. Η μέθοδος του Casagrande (1958), (Παπαχαρίσης 1974, Γραμματικόπουλος 1996)
συσχετίζει τον απαιτούμενο χρόνο για να έχουμε καθίζηση του δοκιμίου ίση με 50% της καθίζησης
της στερεοποίησης με τον αδιάστατο παράγοντα T_v που αντιστοιχεί και αυτός σε μια τιμή του μέσου
βαθμού στερεοποίησης

$$U_m = \frac{s(t)}{S_c} = 50\% \quad (T_v = 0.197) \quad (1)$$

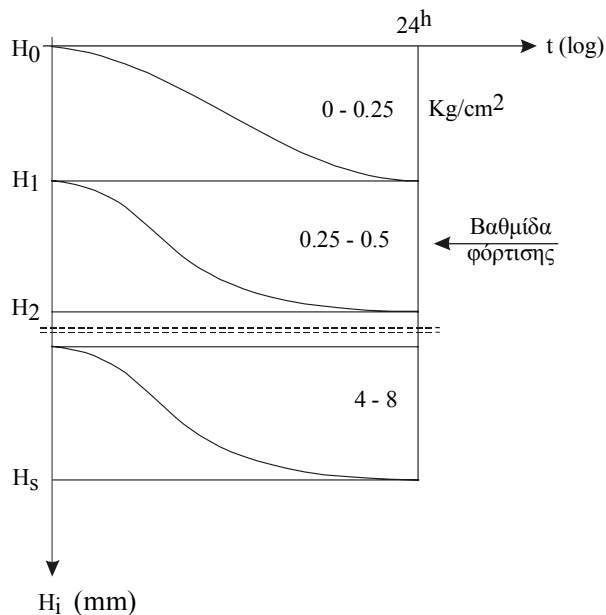
$s(t)$: η καθίζηση τη χρονική στιγμή t
 S_c : τελική καθίζηση της στερεοποίησης

Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής στερεοποίησης είναι:

$$c_v = \frac{H_d^2 \cdot 0.197}{t_{50}} \quad (2)$$

όπου H_d = το μισό του μέσου ύψους του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης στην αντί-
στοιχη βαθμίδα φόρτισης.

Σημειωτέον δε ότι το μέγεθος c_v εκφράζεται σε cm^2/sec ή $\mu^2/\text{έτος}$ και εξαρτάται από τη διαπερα-
τότητα και τη συμπιεστότητα του εδάφους.



Σχήμα 1: Διαγράμματα χρόνου-καθίζησης από διαδοχικές φορτίσεις στο Οιδήμετρο

Η μέθοδος του Taylor (1948), (Γραμματικόπουλος & Παπαχαρίσης 1997, Γραμματικόπουλος & Αναγνωστόπουλος 2001, Αναγνωστόπουλος et al. 2001) βασίζεται αντίθετα στην παρατήρηση ότι η σχέση μεταξύ των καθιζήσεων και της τετραγωνικής ρίζας των αντίστοιχων χρόνων είναι γραμμική μέχρι σχεδόν το 60% της στερεοποίησης και ότι η αντίστοιχη τετμημένη στο 90% της στερεοποίησης ισούται με 1.15 φορές την τετμημένη η οποία λαμβάνεται στην προέκταση της ευθείας (α) των πειραματικών δεδομένων (σχ. 2). Στην περίπτωση αυτή ο παράγων του χρόνου είναι:

$$T_v = 0.848 \text{ (για } U_m = \frac{S_t}{S_c} = 90\%) \quad (3)$$

και ο συντελεστής στερεοποίησης είναι:

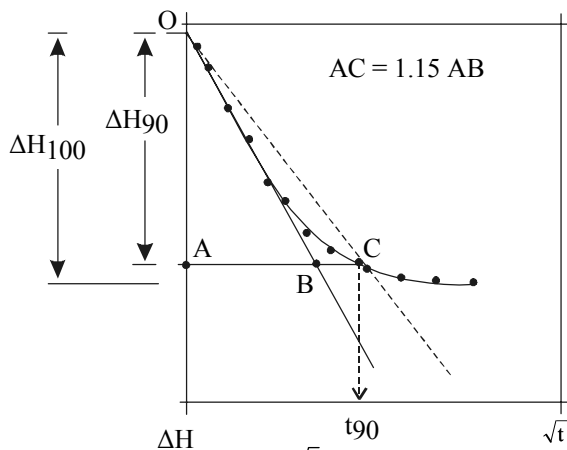
$$c_v = \frac{H_d^2 \cdot 0.848}{t_{90}} \quad (4)$$

Η καθίζηση που αντιστοιχεί στο τέλος της πρωτεύουσας στερεοποίησης δίδεται από τη σχέση $\Delta H_{100} = \frac{10}{9} \Delta H_{90}$. Η τιμή του λόγου της πρωτεύουσας συμπίεσης R ορίζεται από τη σχέση

$$R = \frac{\Delta H(t_{100})}{\Delta H(24^h)} \quad (5)$$

και είναι της τάξης 0.7 ± 0.2 για αργίλους κανονικά στερεοποιημένες και δίνει μια ιδέα για την επί τοις εκατό καθίζηση του δοκιμίου που οφείλεται στην δευτερεύουσα στερεοποίηση.

Σε εργαστηριακό επίπεδο η μέθοδος του Casagrande χρησιμοποιείται περισσότερο. Όμως αν λάβουμε υπ' όψιν μας ότι πολλές φορές η συνένωση των σημείων για την σχεδίαση της καμπύλης ($\log t - \Delta H_i / H_0$) χρειάζεται και την συμπαράσταση της φαντασίας του μελετητή, στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει η εκτίμηση ότι η μέθοδος του Taylor απαιτεί πιο συνοπτική διαδικασία σχεδίασης και εντοπισμού του χρόνου t_{90} .



Σχήμα 2: Διάγραμμα χρόνου (\sqrt{t})-καθιζήσεων. Εντοπισμός του t_{90}

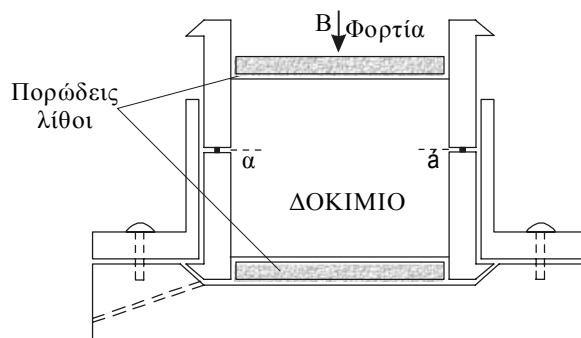
Βέβαια οι δύο μέθοδοι έχουν κοινό αποδέκτη τον προσδιορισμό του c_v για κάθε φόρτιση μεμονωμένα και πρέπει η τιμή αυτή να είναι ίδια. Στο τελευταίο αυτό σκεπτικό βασίστηκε η ιδέα της έρευνας η οποία ολοκληρώθηκε λαμβάνοντας υπ' όψη όλα όσα σχετίζονται με την υπολογιστική διαδικασία που χρησιμοποιούν οι δύο μέθοδοι.

2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την πειραματική διερεύνηση του θέματος χρησιμοποιήθηκαν έξι αναζυμωμένα δοκίμια με κοκκομετρική διαβάθμιση όπως φαίνεται στα αντίστοιχα διαγράμματα. Η ετοιμασία κάθε δοκιμίου έγινε με την κατωτέρω διαδικασία.

Σε κάψα από πορσελάνη τοποθετούνται μετά από ζύγιση κατά σειρά τα υλικά κάθε δοκιμίου. Ανακατεύεται το ξηρό εδαφικό μίγμα για 15 min περίπου μέχρι ν' αποκτήσει ομοιόμορφο χρώμα και με σκοπό βέβαια να γίνει ομοιόμορφη κατανομή των επί μέρους υλικών. Στο εδαφικό μίγμα προστίθεται νερό ενώ συγχρόνως ανακατεύεται. Αφήνεται έτσι το μίγμα για μια μέρα. Κατόπιν με μια σύριγγα αφαιρείται με πολύ προσοχή το νερό που υπερκαλύπτει το μίγμα. Ανακατεύεται το υδαρές μίγμα για καλύτερη ανακατανομή των κόκκων με το νερό.

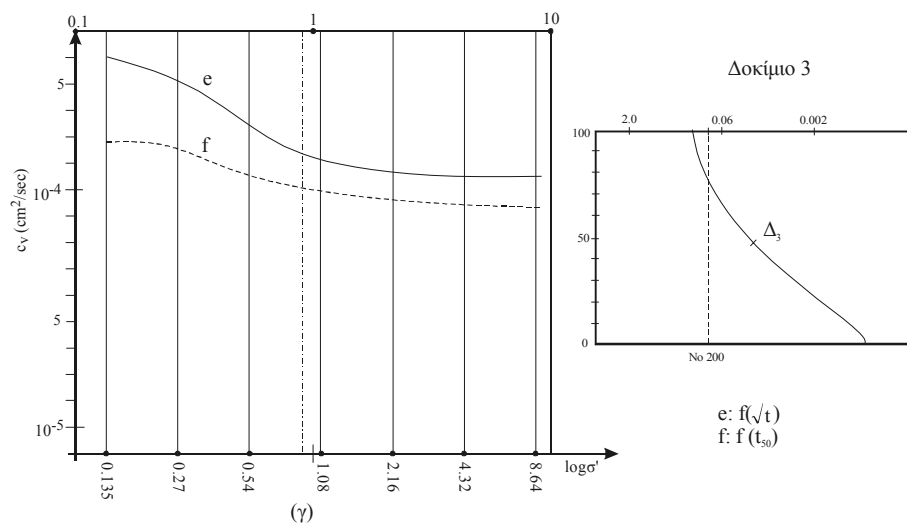
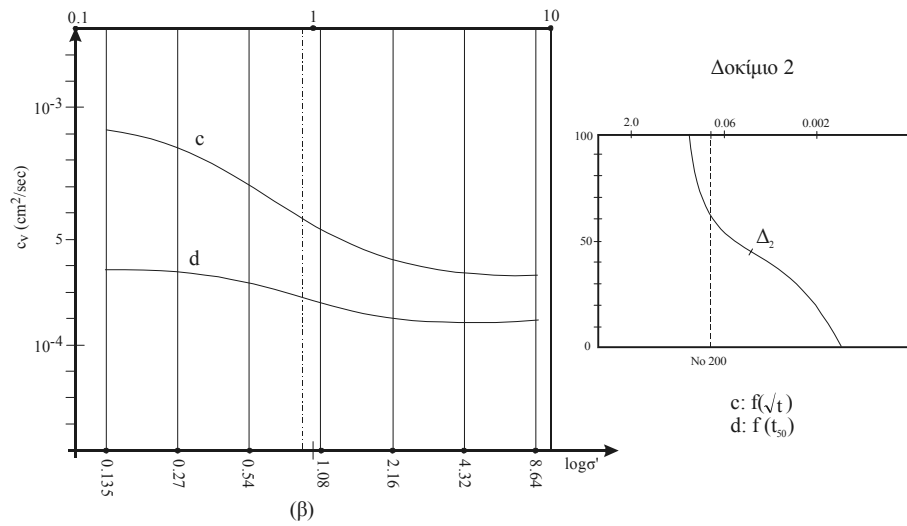
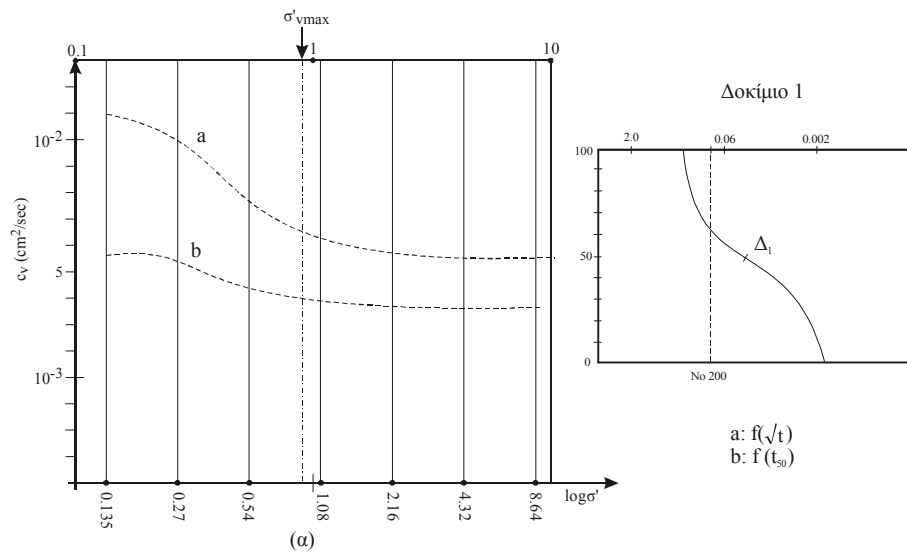
Η μήτρα που έγινε η έγχυση του υλικού αποτελείται από τα εξής μέρη (σχ. 3):

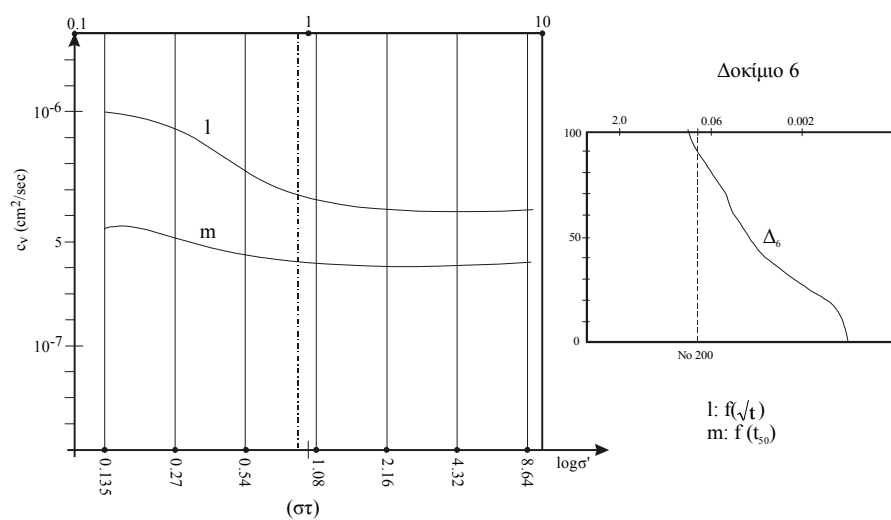
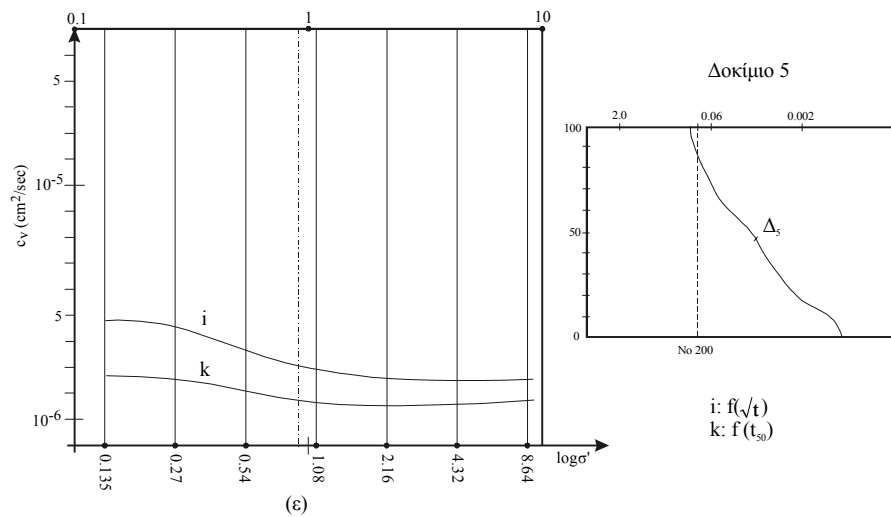
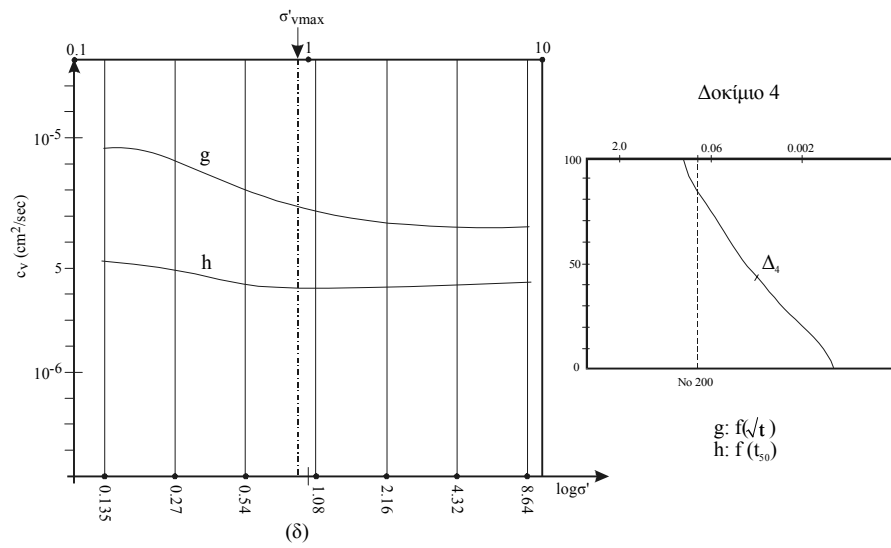


Σχήμα 3: Σύστημα έγχυσης αναζυμωμένου εδαφικού υλικού με προσαρμογή δακτυλίων οιδημέτρου

- Βάση οιδημέτρου
- Δύο δακτύλιοι οιδημέτρου
- Πορώδεις λίθοι

Ακολουθεί τοποθέτηση κυλινδρικών μεταλλικών φορτίων με τα εξής βάρη για τη συγκεκριμένη διάμετρο οιδημέτρου:





Σχήμα 4α-στ: Υπολογισμός του c_v αμμοίλων δοκιμών σύμφωνα με τη μέθοδο Casagrande και Taylor.

$B = 1.64 \text{ Kg}$ ($\sigma' = 0.052 \text{ Kg/cm}^2$)
 $B = 10$ " ($\sigma' = 0.32$ ") και
 $B = 28$ " ($\sigma' = 0.90$ ") = σ'_{vmax} .

Η διάρκεια παραμονής κάθε φορτίου ήταν 24h.

Τέλος, αφού γίνει απομάκρυνση του τελευταίου φορτίου (πάντοτε υπό την παρουσία νερού, ουσώστε να αποφευχθεί η δημιουργία μη κορεσμένων δοκιμίων) μ' ένα κατάλληλο μαχαιράκι αποκόπεται το εδαφικό τμήμα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από την διατομή α - α. Έτσι μέσα στη συσκευή οιδημέτρου έμεινε το τελικό δοκίμιο που πρόκειται να υποβληθεί στις φορτίσεις για την ολοκλήρωση των δοκιμών.

Η διαδικασία φόρτισης των οιδημέτρων ήταν επτά συνεχών ημερών με αντίστοιχες βαθμίδες φόρτισης 0,135 -0,27 -0,54 -1,08 -2,16 -4,32 -8,64 kg/cm².

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας απέδωσαν καμπύλες στο διάγραμμα $\log t - \Delta H_i/H_0$ οι οποίες δεν εμφανίζουν διαφορές από τις αντίστοιχες θεωρητικές καμπύλες στερεοποίησης.

Όπως προκύπτει από τα σχ. 4α-στ, υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των τιμών του c_v που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους.

Κατ' αρχάς για τιμές τάσεων μεγαλύτερες από την σ'_{vmax} των δοκιμίων έχουμε μικρή απόκλιση μεταξύ των τιμών του c_v , ενώ στα μικρά φορτία $\sigma'_i < \sigma'_{vmax}$ η απόκλιση μεταξύ των τιμών του c_v είναι ιδιαίτερα αισθητή. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα εν λόγω συμπεράσματα έρχονται εν μέρει σε αντίθεση με τις παρατηρήσεις των Atkinson & Bransby (1978).

Συγκεκριμένα:

1. Για $\sigma'_i < \sigma'_{vmax}$: περίπου 1,8 - 2,5 φορές μεγαλύτερη η τιμή του:

$$c_v (\sqrt{t}) > c_v (t_{50})$$

2. Για $\sigma'_i > \sigma'_{vmax}$: περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη η τιμή του:

$$c_v (\sqrt{t}) > c_v (t_{50})$$

Στην περίπτωση επομένως κορεσμένων εδαφών τα οποία πρόκειται να δεχθούν φορτίο μεγαλύτερο από την τάση στερεοποίησης είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται αδιακρίτως μία από τις δύο μεθόδους.

Στην περίπτωση κορεσμένων εδαφών τα οποία πρόκειται να δεχθούν φορτίο μικρότερο από την σ'_{vmax} προτείνεται ως τελική τιμή του c_v να λαμβάνεται ο μ.ο. των τιμών του c_v που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αναγνωστόπουλος, Κ.Α., Γραμματικόπουλος, Ι.Ν., Παπαχαρίσης, Ν.Δ., Μεταβολή του χρόνου στερεοποίησης μαλακής αργιλικής στρώσης με τοποθέτηση αμμοπασσάλων, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Τόμος Ι, σελ. 397-401, Αθήνα, 2001.

Γραμματικόπουλος, Ι.Ν., Πειραματική διερεύνηση των μηχανικών παραμέτρων μιγμάτων ιλύος - λεπτής άμμου της παράκτιας ζώνης της Θεσ/νίκης", Διδακτορική διατριβή, Θεσ/νίκη, 1996.

Γραμματικόπουλος, Ι.Ν., Παπαχαρίσης, Ν.Δ., Προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας K_v κεκορεσμένων μιγμάτων ιλύος - λεπτής άμμου, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα, 1997.

Γραμματικόπουλος, Ι.Ν., Αναγνωστόπουλος, Κ.Α., Μεταβολή του συντελεστή συμπίεστικότητας α_v μιγμάτων αργιλοίλυος - λεπτής άμμου σε συνάρτηση με το βαθμό υπερστερεοποίησης OCR, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Τόμος Ι, σελ. 49-56, Αθήνα, 2001.

Παπαχαρίσης, Ν.Δ., Δοκιμή διαπερατότητας συνεκτικών εδαφών δια της συσκευής του Οιδημέτρου, Ε.ΕΔ.Θ.Ε., Τόμος 1, σελ. 1-12, Θεσσαλονίκη, 1974.

ASTM D2435-80, Test for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.

Atkinson, J.H. and Bransby, P.L., The Mechanics of Soils, Ed. McCraw-Hill, London, 1978.

Casagrande, A., Piezometers for pore pressure measurements in Clay, Mimeographed, Harvard University, 1958.

Lambe, T.W., Soil Testing for Engineers, Ed. John Wiley, 1951.

Taylor, D.W., Fundamentals of Soil Mechanics, Ed. John Wiley & Sons, 1948.

ABSTRACT

DEVIATION VALUES OF THE CONSOLIDATION COEFFICIENT RESULTING FROM THE DEFINING METHODS OF THE t_{50} AND t_{90} TIMES, RESPECTIVELY

Grammatikopoulos I. and Anagnostopoulos C.

Department of Civil Engineering, School of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 540 06, Thessaloniki, ygram@geo.civil.auth.gr.

Six reconstituted silty-sand specimens of different granulometric gradation were used. Each specimen was prepared according to the usual procedure. The loading procedure was kept for seven sequent days with corresponding loading values of 0,135 – 0,27 – 0,54 – 1,08 – 2,16 – 4,32 – 8,64 Kg/cm².

According to the experimental results, there is a clear distinction between the values of c_v that resulted from the two methods. Firstly, for stress values higher than σ'_{vmax} , the corresponding deviation between the values of c_v is significantly high.

It was observed that:

1. For $\sigma'_1 < \sigma'_{vmax}$ approximately 1,8 – 2,5 times higher the value of

$$c_v(\sqrt{t}) > c_v(t_{50})$$

2. For $\sigma'_1 > \sigma'_{vmax}$ approximately 1,5 time higher the value of:

$$c_v(\sqrt{t}) > c_v(t_{50})$$