

Technical Notes 1

Άργιλοι παρουσιάζουν τιμές παραμέτρων διατμητικής αντοχής ως εξής:

Αποτελέσματα τριαξονικών δοκιμών CU:

Μηδενική συνοχή, $c=0$!

Γωνία τριβής, $\phi=30^\circ$!

Ερώτημα: Πρόκειται για λάθος αποτελέσματα ή, αλλιώς, πώς αιτιολογούνται ?

Απάντηση: Τα αποτελέσματα είναι σωστά και επιβεβαιώνονται διεθνώς, χρειάζονται όμως αιτιολόγηση και κάποιες διευκρινήσεις.

Αιτιολόγηση/Διευκρινήσεις: Για τα αργιλικά εδάφη ο *Hvorslev* (1937) απέδειξε πειραματικά ότι:

α) Η πραγματική συνοχή, c_r^* εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το δείκτη πόρων e , ο οποίος από την πλευρά του είναι συνάρτηση της ισοδύναμης πίεσης στερεοποίησης, σ'_e ** η οποία τον προκάλεσε (Σχ. 1β).

β) Η πραγματική γωνία τριβής ϕ_r^* είναι ανεξάρτητη από το δείκτη πόρων (Σχ. 1β). Οι τιμές της ϕ_r κυμαίνονται από 2° για τις πολύ πλαστικές μέχρι 30° για τις ισχνές αργίλους.

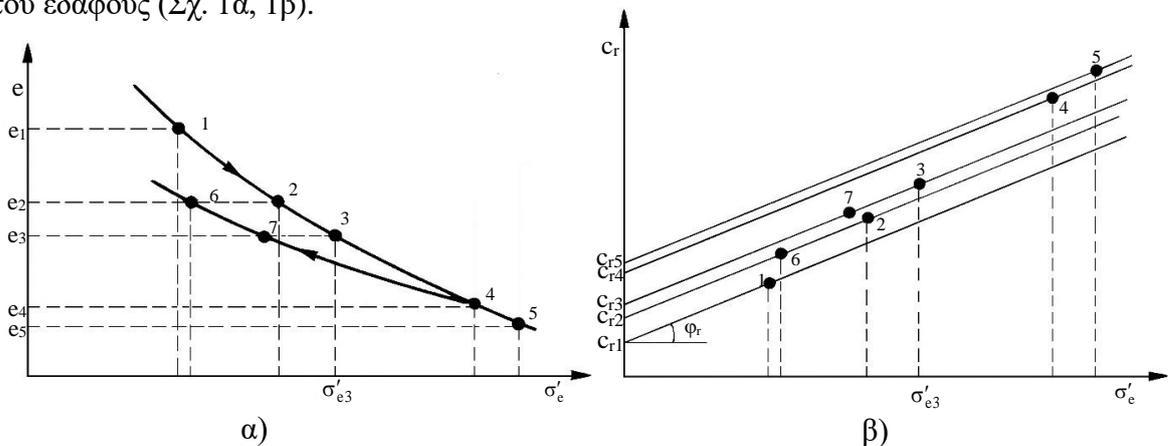
Για κανονικά στερεοποιημένες αργίλους ο *Hvorslev* διατύπωσε τη σχέση:

$$c_r = k \times \sigma'_e$$

k = σταθερή η οποία εξαρτάται από το είδος του εδάφους

σ'_e = ισοδύναμη πίεση στερεοποίησης

Για την πραγματική συνοχή, c_r δεν παίζει ρόλο ο τρόπος με τον οποίο προέκυψε ο δείκτης πόρων. Με άλλα λόγια, η τιμή της c_r είναι ανεξάρτητη από τη φορτική ιστορία του εδάφους (Σχ. 1α, 1β).



Σχ. 1. Αποτελέσματα *Hvorslev*. α) Σχέση δείκτη πόρων-ισοδύναμης ενεργού τάσης, σ'_e .

β) Σχέση των πραγματικών παραμέτρων διατμητικής αντοχής, c_r , ϕ_r από την ισοδύναμη ενεργό τάση σ'_e .

* Πραγματικές παράμετροι διατμητικής αντοχής: Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής σε άργιλο συγκεκριμένης σύστασης και συγκεκριμένου δείκτη πόρων.

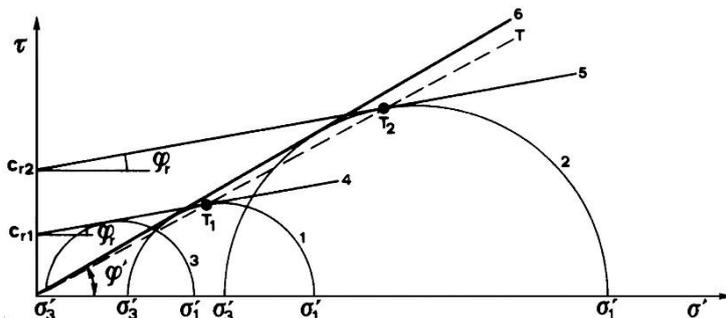
** Στο υπέδαφος δεν ασκείται ομοιόμορφη ολομερής πίεση επειδή $\sigma'_h = k_o \sigma'_v$. Η ισοδύναμη ολομερής πίεση, σ'_e ορίζεται ίση με $\sigma'_e = 1/3 (\sigma'_v + 2 \sigma'_h)$ όπου σ'_v , σ'_h η κατακόρυφη και η οριζόντια ενεργός γεωστατική τάση στο βάθος του δοκιμίου.

Στην περίπτωση **κανονικά στερεοποιημένης αργίλου** θα έχουμε λοιπόν:

$$\tau = \kappa \sigma'_e + \sigma' \operatorname{tg} \varphi_r$$

Η πραγματική διατμητική αντοχή για μία απροφόρτιστη άργιλο είναι συνεπώς συνάρτηση μόνο των ενεργών τάσεων.

Η σχέση αυτή παριστάνεται στο Σχήμα 2. Οι κύκλοι 1, 2 παριστάνουν τους οριακούς κύκλους δύο δοκιμών τα οποία στερεοποιήθηκαν κανονικά με διαφορετικές ολομερείς πιέσεις. Αφορούν συνεπώς δοκίμια με διαφορετικό δείκτη πόρων. Η τιμή e_2 θα είναι μικρότερη από την e_1 , επειδή το δοκίμιο 2 στερεοποιήθηκε με μεγαλύτερη πίεση. Σύμφωνα με τη σχέση του *Hvorslev* θα έχουμε: $c_r = \kappa \sigma'_e$ η οποία για το τριαξονικό πείραμα ισοδυναμεί με $c_r = \kappa \sigma'_3$.



Σχ. 2. Ενεργός συνθήκη διατμητικής αστοχίας. Ορισμός των ενεργών διατμητικών παραμέτρων κανονικά στερεοποιημένης αργιλικής στρώσης

Οι πραγματικές συνοχές, c_{r1} , c_{r2} θα είναι λοιπόν:

$$c_{r1} = \kappa \sigma'_{3(1)} \quad c_{r2} = \kappa \sigma'_{3(2)} \quad \rightarrow \quad c_{r1}/c_{r2} = \sigma'_{3(1)}/\sigma'_{3(2)}$$

Υπερστερεοποιώντας ένα τρίτο δοκίμιο και αποφορτίζοντάς το στη συνέχεια κατά τρόπο ώστε $e_3 = e_1$ λαμβάνουμε τον κύκλο 3. Η εφαπτόμενη 4 στους κύκλους 1, 3 ορίζει την πραγματική συνθήκη διατμητικής αστοχίας και τις πραγματικές παραμέτρους, φ_r , c_r για το δοκίμιο με δείκτη πόρων, e_1 . Η πραγματική γωνία τριβής -ανεξάρτητη από το δείκτη πόρων- είναι η ίδια και στην περίπτωση του κύκλου 2. Φέρνοντας λοιπόν από το σημείο το οποίο ορίζει τη c_{r2} ($c_{r2} = c_{r1} \times \sigma'_{3(2)}/\sigma'_{3(1)}$) την παράλληλη προς την 4, ορίζουμε την πραγματική συνθήκη θραύσης (ευθεία 5) για την άργιλο με δείκτη πόρων e_2 . Τα σημεία T_1 , T_2 στα οποία οι οριακές ευθείες 4, 5 εφάπτονται στους κύκλους 1, 2 ορίζουν τις πραγματικές διατμητικές αντοχές της ίδιας κατά τα άλλα, κανονικά στερεοποιημένης αργίλου, με δείκτες πόρων αντίστοιχα e_1 , e_2 . Εφαρμόζοντας περισσότερες τιμές της σ_3 σε ανάλογα δοκίμια θα λάβουμε ένα σύνολο (παράλληλων προς τις 4, 5) οριακών ευθειών και ένα πλήθος σημείων T, ο γεωμετρικός τόπος των οποίων θα ορίζει την οριακή ευθεία, την πραγματική συνθήκη θραύσης δηλαδή, ολόκληρης της αργιλικής στρώσης με δείκτες πόρων σταθερά μεταβαλλόμενους με το βάθος*.

Σύμφωνα με τη σχέση $\tau = \kappa \sigma'_3 + \sigma' \operatorname{tg} \varphi_r$, η ευθεία αυτή (ευθεία T) θα διέρχεται από το μηδέν.

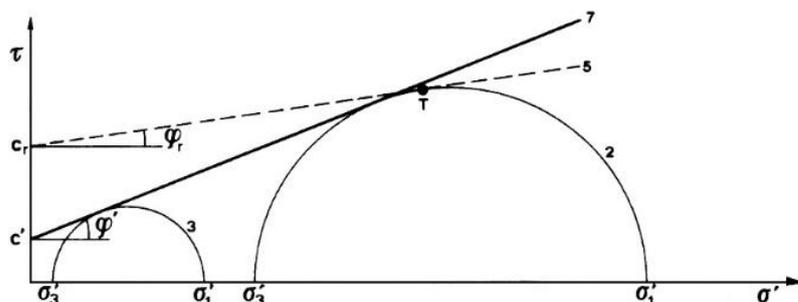
* Με την εφαρμογή στο ίδιο εδαφικό υλικό δύο έως τριών διαφορετικών πιέσεων στερεοποίησης κατά την εκτέλεση μιας σειράς τριαξονικών δοκιμών τύπου CU προσομοιώνονται συνθήκες (δομικές και συνθήκες ενεργών τάσεων) που χαρακτηρίζουν μια εδαφική στρώση ίδιας σύστασης. Συγκεκριμένα προσομοιώνεται η μείωση με το βάθος του δείκτη πόρων της εδαφικής στρώσης που προκαλείται λόγω της αύξησης, με αυτό, των ενεργών γεωστατικών τάσεων (τάσεων λόγω ίδιου βάρους του εδάφους).

Με τριαξονικές δοκιμές προσδιορίζεται η εφαπτόμενη, στους οριακούς κύκλους 1, 2, ευθεία 6. Η ευθεία αυτή θα μπορούσε να διορθωθεί περιστρέφοντάς την κατά τι ώστε να ταυτίζεται με την T. Η απόκλιση των ευθειών 6 και T είναι πολύ μικρή σε σχέση με την αβεβαιότητα που υπάρχει ως προς την ακρίβεια των πειραματικών αποτελεσμάτων. Έτσι σε προβλήματα εφαρμογών, η T αντικαθίσταται από την 6 για την οποία λέμε ότι ορίζει την **ενεργό διατμητική αντοχή της κανονικά στερεοποιημένης αργλικής στρώσης**. Όπως είδαμε, η ενεργός διατμητική αντοχή προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική διατμητική αντοχή της αργλικής στρώσης. Η γωνία που σχηματίζει η ευθεία 6 με τον άξονα σ' ονομάζεται ενεργός γωνία τριβής και συμβολίζεται με φ' .

Για μία κανονικά στερεοποιημένη αργλική στρώση, η ενεργός διατμητική αντοχή (\approx πραγματική διατμητική αντοχή της στρώσης) ορίζεται λοιπόν με τις σχέσεις:

$$\tau = \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \\ c' = 0$$

Στην περίπτωση της **προφορτισμένης αργίλου**, η οποία προσυμπιέστηκε μέχρι το δείκτη πόρων e_2 (αντίστοιχα με τον κύκλο 2) και στη συνέχεια αποφορτίστηκε, θα υπάρξουν συνθήκες θραύσης οι οποίες θα ορίζονται με τους κύκλους 2 και 3 και με ανάλογους ενδιάμεσους κύκλους (Σχ. 3).



Σχ. 3. Ενεργός συνθήκη διατμητικής αστοχίας. Ορισμός των ενεργών διατμητικών παραμέτρων προφορτισμένης αργλικής στρώσης

Και σε αυτήν την περίπτωση (εδώ δεν ισχύει η σχέση του *Hvorslev*, $c_r = k \sigma_e^{\sigma'}$) υπάρχει μία ευθεία T, η οποία ορίζει την πραγματική διατμητική αντοχή της προφορτισμένης αργλικής στρώσης. Σε προβλήματα εφαρμογών η ευθεία T αντικαθίσταται από την εφαπτόμενη στους κύκλους ευθεία 7 η οποία ορίζει την **ενεργό διατμητική αντοχή της προφορτισμένης αργίλου**. Οι ενεργές παράμετροι, c' , φ' φαίνονται στο Σχ. 3. Η ενεργός γωνία τριβής, φ' είναι μικρότερη από ότι στις κανονικά στερεοποιημένες αργλικές στρώσεις. Η τιμή της ενεργού συνοχής, c' εξαρτάται κυρίως από το βαθμό της προφόρτισης και είναι για αρκετούς τύπους αργίλων περίπου ανάλογη με αυτήν. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, η ενεργός διατμητική αντοχή μιας προφορτισμένης αργλικής στρώσης (\approx πραγματική διατμητική αντοχή της στρώσης) ορίζεται με τη σχέση: $\tau = \sigma' \operatorname{tg} \varphi' + c'$.

Περισσότερα: Βιβλίο Χρήστου Μαραγκού: «Επιτόπου δοκιμές γεωτεχνικής μηχανικής. Εφαρμογές σε θέματα θεμελιώσεων, Κεφάλαιο 1, ορισμός των μηχανικών παραμέτρων. Συνθήκες διατμητικής αστοχίας. Παράμετροι διατμητικής αντοχής.