

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΕ ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΚΑΙ ΜΕ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Αναλύσεις ευστάθειας πρανών στις οποίες χρησιμοποιείται η αστράγγιστη παράμετρος διατμητικής αντοχής, c_u συμβαίνει πολλές φορές να οδηγούν σε μεγαλύτερους συντελεστές ασφάλειας από ότι αναλύσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται οι ενεργές παράμετροι (παράμετροι βραδείας στράγγισης). Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση εφαρμογής της παραμέτρου c_u και των αστράγγιστων παραμέτρων c_{cu} , ϕ_{cu} που λαμβάνονται από τριαξονικές δοκιμές: Αναλύσεις στις οποίες χρησιμοποιείται η συντηρητική παράμετρος c_u προκύπτουν πιο ασφαλείς από αναλύσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται οι αστράγγιστες παράμετροι τριαξονικών δοκιμών, c_{cu} , ϕ_{cu} .

Στη συνέχεια θα επιχειρήσουμε να απαντήσουμε στα ερωτήματα αυτά.

1. Η αστράγγιστη συνοχή c_u (συνθήκη $\phi_u=0$) δοκιμών απλής θλίψης αναφέρεται σε μία παράμετρο **διαθέσιμης αντοχής** συνεκτικού εδάφους συγκεκριμένου δείκτη πόρων: Σε ένα μέγεθος δηλαδή που εμπεριέχει τόσο τη συνιστώσα αντοχής που οφείλεται στη συνοχή όσο και τη συνιστώσα αντοχής που οφείλεται στην τριβή.

Η αστράγγιστη συνοχή c_u εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μέγεθος των αρχικών ενεργών γεωστατικών τάσεων που δρούσαν στη θέση από την οποία έγινε η λήψη του δοκιμίου. Κατά τον Terzaghi οι τάσεις αυτές συνεχίζουν να διατηρούνται στο εργαστηριακό δοκίμιο και μετά την απομάκρυνσή του από τη θέση του στο πεδίο λόγω φαινομένων τριχοειδούς ανύψωσης. Αντίθετα, από άλλους ερευνητές υποστηρίζεται ότι για να επανέλθει το δοκίμιο στην αρχική του τασική κατάσταση θα πρέπει προηγουμένως να στερεοποιηθεί υπό τις συνθήκες που επικρατούσαν στη θέση του δοκιμίου στο πεδίο (Raymond, Davis/Poulos, Bjerrum).

2. Οι παράμετροι c_{cu} , ϕ_{cu} και c'_{cu} , ϕ'_{cu} είναι παράμετροι οι οποίες αναφέρονται σε μία εδαφική στρώση, όμοιας μεν σύστασης αλλά μεταβλητού με το βάθος δείκτη πόρων και προσδιορίζονται με τριαξονικές δοκιμές CUPP. Οι παράμετροι c_{cu} , c'_{cu} αποτελούν μέρος μόνο της διατμητικής αντοχής (δεν εμπεριέχουν τη συνιστώσα της αντοχής τριβής).

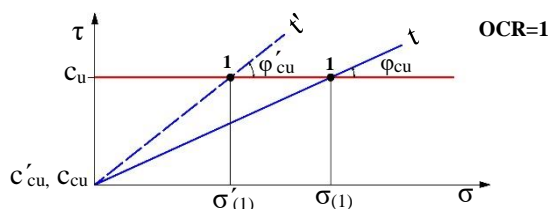
Η αστράγγιστη και η ενεργός συνοχή, c_{cu} και c'_{cu} τριαξονικών δοκιμών είναι μηδενικές σε μία **απροφόρτιστη** αργιλική στρώση ενώ σε μία **προφορτισμένη** αργιλική στρώση είναι μεγαλύτερες από το μηδέν και εξαρτώνται από το βαθμό στον οποίο η στρώση αποφορτίστηκε και από το συντελεστή υπερστερεοποίησης OCR (στις αμιγείς αργίλους η κατάσταση της οριστικής αποφόρτισης αποτελεί την αρχική τασική κατάσταση του δοκιμίου στο εργαστήριο).

Εξετάζονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

α) Περίπτωση απροφόρτιστης αργίλου

$$c_u \neq 0, \quad c_{cu} = 0, \quad c'_{cu} = 0$$

$$\phi_u = 0, \quad \phi_{cu} \neq 0, \quad \phi'_{cu} \neq 0, \quad \phi'_{cu} > \phi_{cu}$$



Η c_u είναι μεγαλύτερη από τις c_{cu} ($=0$) και c'_{cu} ($=0$). Για μειωμένες τιμές της ορθής τάσης, η c_u είναι μεγαλύτερη και από την αστράγγιστη διατμητική αντοχή, $t = \sigma \times \text{tg} \phi_{cu} + c_{cu}$ και από τη διατμητική αντοχή βραδείας στράγγισης, $t' = \sigma \times \text{tg} \phi'_{cu} + c'_{cu}$ (Σχήμα). Αυτό όμως συμβαίνει μέχρι μία τιμή της ορθής τάσης η οποία ορίζεται από τα σημεία τομής των αντίστοιχων ευθειών

θραύσης, σημεία 1: ορθή τάση $\sigma_{(1)}$ και ορθή τάση $\sigma'_{(1)}$. Για τιμές μεγαλύτερες από τις $\sigma_{(1)}$ και $\sigma'_{(1)}$ οι διατμητικές αντοχές t και t' γίνονται μεγαλύτερες από τη c_u .

Σε περιπτώσεις μειωμένων τιμών ορθών τάσεων (των τάσεων που είναι κάθετες στις υπό έλεγχο επιφάνειες ολίσθησης) οι διατμητικές αντοχές $t = \sigma \times \text{tg}\varphi_{cu} + c_{cu}$ και $t' = \sigma' \times \text{tg}\varphi'_{cu} + c'_{cu}$ θα είναι λοιπόν μικρότερες από τη c_u .

Οι τιμές των οριακών αυτών ορθών τάσεων $\sigma_{(1)}$ και $\sigma'_{(1)}$ υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\sigma'_{(1)} = c_u / \text{tg}\varphi'_{cu} \text{ και } \sigma_{(1)} = c_u / \text{tg}\varphi_{cu} \quad \sigma'_{(1)} < \sigma_{(1)}$$

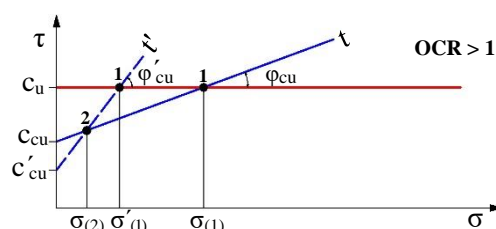
Στις απροφόρτιστες αργίλους υπάρχουν συνεπώς ανώτατες οριακές τιμές ορθών τάσεων (οι $\sigma'_{(1)}$ και $\sigma_{(1)}$). Το μέγεθός τους εξαρτάται από τη θέση, τον προσανατολισμό και τη γεωμετρία της επιφάνειας ολίσθησης: κύκλοι πρानούς, κύκλοι ποδός, βαθιάς ολίσθησης, απότομοι κύκλοι κ.λπ) κάτω από τις οποίες η εφαρμογή στις αναλύσεις της αστράγγιστης συνοχής c_u οδηγεί σε υψηλότερους συντελεστές ασφάλειας από ότι η εφαρμογή της ενεργού διατμητικής αντοχής, t' (παράμετρος φ'_{cu}) και η εφαρμογή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, t (παράμετρος φ_{cu}).

β) Περίπτωση προφορτισμένης

αργίλου, $c_u > c_{cu} > c'_{cu}$

$c_u \neq 0, c_{cu} \neq 0, c'_{cu} \neq 0, c_u > c_{cu} > c'_{cu}$

$\varphi_u = 0, \varphi_{cu} \neq 0, \varphi'_{cu} \neq 0, \varphi'_{cu} > \varphi_{cu}$



Η c_u είναι μεγαλύτερη από τις c_{cu} και c'_{cu} επειδή η c_u εμπεριέχει και τη συνιστώσα της αντοχής τριβής ($= \sigma_o \times \text{tg}\varphi'$. $\sigma_o =$ η αρχική ορθή ενεργός γεωστατική τάση, κάθετη στην επιφάνεια ολίσθησης).

Εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία $c_u > c_{cu}$ (Σχήμα).

Για μικρές σχετικά τιμές της ορθής τάσης, η c_u είναι μεγαλύτερη και από τις $t = \sigma \times \text{tg}\varphi_{cu} + c_{cu}$ και $t' = \sigma' \times \text{tg}\varphi'_{cu} + c'_{cu}$. Όπως και στην περίπτωση της απροφόρτιστης αργίλου αυτό συμβαίνει μέχρι μία τιμή της ορθής τάσης η οποία ορίζεται από τα σημεία τομής των αντίστοιχων ευθειών θραύσης (περιβάλλουσες θραύσης). Για τιμές μεγαλύτερες από τις $\sigma_{(1)}$ και $\sigma'_{(1)}$ οι διατμητικές αντοχές t και t' είναι μεγαλύτερες από τη c_u .

Οι τιμές των οριακών αυτών ορθών τάσεων υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\sigma'_{(1)} = (c_u - c'_{cu}) / \text{tg}\varphi'_{cu} \text{ και } \sigma_{(1)} = (c_u - c_{cu}) / \text{tg}\varphi_{cu} \quad \sigma'_{(1)} < \sigma_{(1)}$$

Και στις προφορτισμένες αργίλους υπάρχουν συνεπώς ανώτατες οριακές τιμές ορθών τάσεων (οι $\sigma'_{(1)}$ και $\sigma_{(1)}$) κάτω από τις οποίες η εφαρμογή στις αναλύσεις της αστράγγιστης συνοχής c_u οδηγεί σε υψηλότερους συντελεστές ασφάλειας από ότι η εφαρμογή της ενεργού διατμητικής αντοχής, t' (παράμετροι c'_{cu} , φ'_{cu}) και η εφαρμογή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής, t (παράμετροι c_{cu} , φ_{cu}).

Το ίδιο, αλλά σε πιο περιορισμένο βαθμό, συμβαίνει και με τις διατμητικές αντοχές t' και t : Για ορθές τάσεις μικρότερες της $\sigma_{(2)}$ και σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στις απροφόρτιστες αργίλους, η εφαρμογή της αστράγγιστης συνθήκης οδηγεί σε ασφαλέστερες λύσεις από ότι η εφαρμογή της ενεργού συνθήκης διατμητικής αστοχίας.

Εξηγείται με τον τρόπο αυτό γιατί σε αναλύσεις ευστάθειας πρानών συμβαίνει αναλύσεις στις οποίες εφαρμόζεται η αστράγγιστη παράμετρος αντοχής c_u να οδηγούν σε μεγαλύτερους συντελεστές ασφάλειας από ότι αναλύσεις στις οποίες εφαρμόζονται οι ενεργές διατμητικές παράμετροι. Ανάλογη είναι και η κατάσταση στις αναλύσεις στις οποίες εφαρμόζεται η συντηρητική παράμετρος c_u και οι αστράγγιστες παράμετροι c_{cu} , φ_{cu} .

Βέβαια αποκλίσεις της τιμής της c_u από την τιμή της c_{cu} , ικανές πολλές φορές, θα υπάρχουν και εξαιτίας εσφαλμένου προσδιορισμού της c_u , ιδίως όταν η εκτίμησή της γίνεται μέσω εμπειρικών συσχετίσεων, όπως για παράδειγμα μέσω

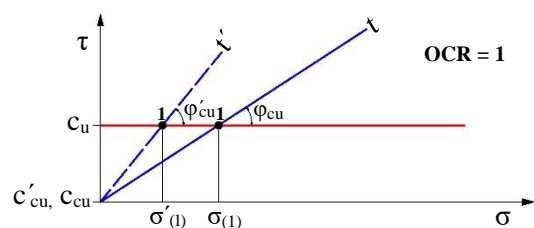
σχέσεων, $N-c_u$, q_c-c_u . Στις περιπτώσεις αυτές ($c_u \gg c_{cu}$) είναι αυτονόητο η χρησιμοποίηση στις αναλύσεις ευστάθειας της c_u να οδηγεί σε ασφαλέστερα αποτελέσματα από ότι η χρήση των υπόλοιπων εργαστηριακών παραμέτρων αστράγγιστης και στραγγιζόμενης διατμητικής αστοχίας.

γ) Οι αρχικές ενεργές γεωστατικές τάσεις είναι έντονα απομειωμένες στο εργαστηριακό δοκίμιο.

Περίπτωση απροφόρτιστης αργίλου: $c_u > c_{cu} = c'_{cu} = 0$

$$c_u \neq 0, \quad c_{cu} = 0, \quad c'_{cu} = 0, \quad c_u > c_{cu} = c'_{cu} = 0$$

$$\varphi_u = 0, \quad \varphi_{cu} \neq 0, \quad \varphi'_{cu} \neq 0, \quad \varphi'_{cu} > \varphi_{cu}$$



Στις απροφόρτιστες αργίλους υπάρχουν ανώτατες οριακές τιμές ορθών τάσεων (οι $\sigma'_{(1)}$ και $\sigma_{(1)}$) κάτω από τις οποίες η εφαρμογή στις αναλύσεις της αστράγγιστης συνοχής c_u οδηγεί σε υψηλότερους συντελεστές ασφάλειας από ότι η εφαρμογή των διατμητικών αντοχών, t' (παράμετρος φ'_{cu}) και t (παράμετρος φ_{cu}). Στην περίπτωση του αποδυναμωμένου αρχικού τασικού καθεστώτος, οι τιμές των $\sigma'_{(1)}$ και $\sigma_{(1)}$ είναι μικρότερες σε σχέση με την περίπτωση κατά την οποία στο εργαστηριακό δοκίμιο δεν υπάρχει διαφοροποίηση των αρχικών ενεργών τάσεων.

$$\sigma'_{(1)} = c_u / \text{tg} \varphi'_{cu} \quad \text{και} \quad \sigma_{(1)} = c_u / \text{tg} \varphi_{cu}$$

δ) Οι αρχικές ενεργές γεωστατικές τάσεις είναι έντονα απομειωμένες στο δοκίμιο.

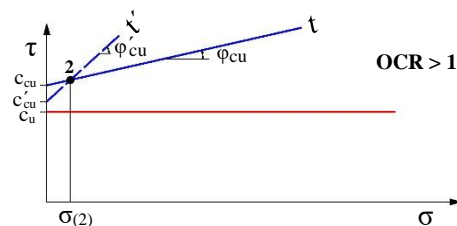
Περίπτωση προφορτισμένης αργίλου: $c_u > c_{cu}$

$$c_u < c'_{cu} < c_{cu}$$

$$\varphi_u = 0, \quad \varphi_{cu} \neq 0, \quad \varphi'_{cu} \neq 0, \quad \varphi'_{cu} > \varphi_{cu}$$

$$t = \sigma \times \text{tg} \varphi_{cu} + c_{cu} > c_u$$

$$t' = \sigma' \times \text{tg} \varphi'_{cu} + c'_{cu} > c_u$$



Στις προφορτισμένες αργίλους η εφαρμογή στις αναλύσεις της αστράγγιστης συνοχής c_u οδηγεί σε μικρότερους συντελεστές ασφάλειας από ότι η εφαρμογή των διατμητικών αντοχών, t' (παράμετροι c'_{cu} , φ'_{cu}) και t (παράμετροι c_{cu} , φ_{cu}).

Συμπεράσματα: Στις εφαρμογές της πράξης οι επιφάνειες ολίσθησης θα πρέπει να εξετάζονται τόσο με τις παραμέτρους βραδείας στράγγισης όσο και με τις παραμέτρους αστράγγιστης αντοχής.

Όταν όλες οι αναλύσεις οδηγούν σε ασφαλή περιθώρια ευστάθειας δεν υπάρχει πρόβλημα και γίνεται αποδεκτή η τιμή του μικρότερου συντελεστή ασφάλειας. Όταν όμως τα πράγματα είναι οριακά και θέλουμε ή είμαστε αναγκασμένοι να εξαντλήσουμε τη φέρουσα ικανότητα ενός πρανούς να ευσταθεί προσωρινά από μόνο του (χωρίς αντιστήριξη) η γεωτεχνική έρευνα θα πρέπει να είναι συστηματική και στοχευμένη. Σημαντικό ρόλο παίζουν η σπουδαιότητα του έργου, το ρίσκο μιας ενδεχόμενης αστοχίας και η εμπειρία του γεωτεχνικού μελετητή (πεδίου και εργαστηρίου).

Κατά την αξιολόγηση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο **συντελεστής διακύμανσης** (= τυπική απόκλιση / μέση τιμή) των εργαστηριακών τιμών ο οποίος για **ομοιογενές έδαφος** κυμαίνεται από 10-50% για την ενεργό γωνία τριβής αργίλων, φ' και 20-40% για την αστράγγιστη διατμητική αντοχή, c_u (Jay Ameratunga et al. Από Χρήστος Μαραγκός, 2020, «Επιτόπου δοκιμές στη Γεωτεχνική μηχανική. Εφαρμογές στο σχεδιασμό θεμελιώσεων).