

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΕ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Γεωτεχνικής Ε.Μ.Π.

της

Μαρίας Κ. Κωνσταντίνου

ΕΚΤΕΝΗΣ ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή διερευνήθηκε η επίδραση της ανισότροπης στερεοποίησης στη συμπεριφορά τυπικών αμμωδών υλικών κατά τη μονοτονική και ανακυκλική στρεπτική διάτμηση υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης. Όλα τα πειράματα εκτελέστηκαν στη συσκευή στρεπτικής διάτμησης κοίλου δοκιμίου του Ε.Μ.Π. Έμφαση δόθηκε στη σύγκριση της εδαφικής συμπεριφοράς μετά από συνθήκες ισότροπης και ανισότροπης στερεοποίησης ενώ επιπρόσθετα εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών παραγόντων στην αστράγγιστη συμπεριφορά των δοκιμίων όπως είναι το μέγεθος της αρχικής ενεργού τάσης, το μέγεθος της επιβαλλόμενης ανακυκλικής στρεπτικής τάσης, η πυκνότητα των υλικών και η τιμή του συντελεστή ανισότροπης στερεοποίησης. Η φόρτιση των δοκιμίων περιλάμβανε αρχικά την περίπτωση της απλής διάτμησης ενώ τα ανισότροπα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμορφωσιμότητας των υπό εξέταση εδαφικών υλικών διερευνήθηκαν, πέρα από την απλή διάτμηση, τόσο για την περίπτωση της φόρτισης υπό σταθερές αλλά διαφορετικές διευθύνσεις των κυρίων τάσεων όσο και για την περίπτωση της φόρτισης με συνεχή μεταβολή της διεύθυνσης των κυρίων τάσεων. Τα πειραματικά αποτελέσματα της παρούσας διατριβής αποτελούν μια χρήσιμη βάση δεδομένων η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προηγμένα αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης της απόκρισης των μη συνεκτικών εδαφικών υλικών. Επιπρόσθετα, η πειραματική αυτή βάση δεδομένων παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για μια πιο ακριβή πρόβλεψη της εδαφικής συμπεριφοράς στην περίπτωση γεωτεχνικών

έργων ή κατασκευών που εδράζονται εντός ή επί ανισότροπα στερεοποιημένων εδαφικών αποθέσεων.

Από τα αποτελέσματα των μονοτονικών πειραμάτων προέκυψε ότι η γωνία διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί στην περιβάλλουσα αστοχίας, στην γραμμή αλλαγής φάσης και στην γραμμή αστάθειας δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες στερεοποίησης (ισότροπες ή ανισότροπες). Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά δυστημσίας καθώς και η διαδρομή ενεργών τάσεων των δοκιμίων εξαρτώνται από την ακολουθώμενη τασική διαδρομή κατά το στάδιο της στερεοποίησης με τα ανισότροπα στερεοποιημένα δοκίμια (AC) να αναπτύσσουν κατά τη φόρτιση τους απομειωμένες τιμές εδαφικής δυστημσίας, μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις και μικρότερες υπερπίεσεις πόρων συγκριτικά με τα αντίστοιχα ισότροπα στερεοποιημένα δοκίμια (IC). Κυρίως βρέθηκε ότι η ανισότροπη στερεοποίηση στην περίπτωση των δοκιμίων με τη χαλαρότερη δομή επιφέρει δραστικές αλλαγές με τα AC δοκίμια να παρουσιάζουν συμπεριφορά «κατάρρευσης» σε αντίθεση με τη ψαθυρή συμπεριφορά των IC δοκιμίων. Επιπρόσθετα, η τιμή του διατμητικού φορτίου που φέρουν τα δοκίμια κατά το πέρας της ανισότροπης στερεοποίησης τους, επηρεάζει σημαντικά το περιθώριο αύξησης του διατμητικού φορτίου που δύναται να επιβληθεί στα δοκίμια πριν την εμφάνιση ασταθούς συμπεριφοράς. Η παρατήρηση αυτή επισημαίνει ότι όταν οι συνθήκες στερεοποίησης των εδαφικών υλικών είναι ανισότροπες, όπως είναι η συνήθης περίπτωση, τότε τα γεωτεχνικά κριτήρια σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ότι αυτά τα εδαφικά υλικά είναι πιο ευαίσθητα σε μια επικείμενη φόρτιση και αστοχούν για μικρές μεταβολές του διατμητικού φορτίου υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης.

Από τα αποτελέσματα των ανακυκλικών πειραμάτων προέκυψε ότι η ανισότροπη στερεοποίηση των δοκιμίων επηρεάζει σημαντικά την ανακυκλική αντοχή τους η οποία, για τα δοκίμια με τη χαλαρότερη δομή, φτάνει να είναι μικρότερη ακόμη και από το 50% της ανακυκλικής αντοχής των αντίστοιχα ισότροπα στερεοποιημένων δοκιμίων ενώ σε μεγαλύτερες πυκνότητες η συμπεριφορά αυτή αντιστρέφεται. Τα πειραματικά αυτά αποτελέσματα υποδεικνύουν μεταξύ άλλων ότι οι συνθήκες στερεοποίησης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό των γεωτεχνικών έργων ενώ ιδιαίτερη προσοχή

απαιτείται στην περίπτωση των χαλαρών προς μέσης πυκνότητας ανισότροπα στερεοποιημένων δοκιμίων τα οποία παρουσιάζουν τις μικρότερες αντοχές σε σεισμική φόρτιση. Η αντοχή σε ανακυκλική φόρτιση αυξάνει, αυξανομένης της σχετικής πυκνότητας τόσο για τα AC όσο και για τα IC δοκίμια ενώ η ανακυκλική αντοχή των δοκιμίων με τη χαλαρότερη δομή μειώνεται αυξανομένου του βαθμού ανισότροπης στερεοποίησης. Επιπρόσθετα, βρέθηκε ότι κατά την ανακυκλική φόρτιση τα AC δοκίμια αναπτύσσουν, για διαφορετικές τιμές σχετικής πυκνότητας, μια τελική τιμή υπερπίεσης πόρων η οποία δεν ξεπερνάει το 40% της αρχικής ενεργού τάσης και τα δοκίμια αστοχούν υπό την έννοια αυξημένων αξονικών παραμορφώσεων. Αντιθέτως, στα IC δοκίμια οι αναπτυσσόμενες υπερπίεσεις πόρων ξεπερνάνε το 70% της αρχικής ενεργού τάσης και η αστοχία επέρχεται εξαιτίας αυξημένων διατμητικών παραμορφώσεων. Συμπερασματικώς, τα προβλήματα που σχετίζονται με την ευστάθεια διαφόρων κατασκευών οι οποίες εδράζονται εντός ή επί ανισότροπα στερεοποιημένων εδαφικών αποθέσεων, δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται μόνο με τη λογική του σχεδιασμού που θέλει την τιμή του λόγου υπερπίεσης πόρων να παραμένει αρκετά μικρότερη από 100%. Η τελική τιμή της υπερπίεσης πόρων κανονικοποιημένη ως προς την αρχική ενεργό τάση, εκφράζεται ως συνάρτηση του συντελεστή ανισότροπης στερεοποίησης και της σχετικής πυκνότητας των δοκιμίων ενώ η ανάπτυξη της υπερπίεσης πόρων υπολογίζεται σε όλα τα δοκίμια ως συνάρτηση του κανονικοποιημένου έργου που υφίσταται στο εδαφικό υλικό κατά την ανακυκλική φόρτιση.

Η σύγκριση μεταξύ των μονοτονικών και ανακυκλικών δοκιμών στρεπτικής διάτμησης έδειξε ότι τα χαλαρά ανισότροπα στερεοποιημένα δοκίμια εμφανίζουν κατά την ανακυκλική στρεπτική φόρτιση τους ασταθή συμπεριφορά όταν η διαδρομή ενεργών τάσεων προσεγγίσει την γραμμή αστάθειας που ορίζουν τα αντίστοιχα μονοτονικά δοκίμια. Η ασταθής συμπεριφορά συνδέεται με την απότομη αύξηση στο ρυθμό ανάπτυξης υπερπίεσης πόρων και παραμόρφωσης. Το πρότυπο αυτό ανακυκλικής συμπεριφοράς εφαρμόζεται σε όλα τα δοκίμια ανεξάρτητα από τις συνθήκες στερεοποίησης στις οποίες υποβλήθηκαν. Ωστόσο, στην περίπτωση των AC δοκιμίων η ασταθής αυτή συμπεριφορά σταθεροποιείται επί της γραμμής αλλαγής φάσης με τη δημιουργία σταθερών ή προσωρινά σταθερών βρόγχων ανακυκλικής φόρτισης ανάλογα

από την τιμή του συντελεστή ανισότροπης στερεοποίησης ενώ τα IC δοκίμια πρακτικά ρευστοποιούνται. Σε μεγαλύτερες πυκνότητες, τόσο για τα AC όσο και για τα IC πειράματα, η γραμμή αλλαγής φάσης, PTL, που προκύπτει από την ανακυκλική φόρτιση των δοκιμίων πρακτικά ταυτίζεται με την γραμμή αλλαγής φάσης που ορίζει η μονοτονική φόρτιση αντίστοιχων δοκιμίων. Μια κοινή γραμμή αλλαγής φάσης προκύπτει στην περίπτωση των χαλαρών προς μέσης πυκνότητας δοκιμίων ενώ για τα δοκίμια με πυκνότερη δομή στα οποία η συστολική τάση καταστέλλεται σε βαθμό που $(\Delta u/p_i)_{PTL} < 4\%$ η γωνία διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί στην γραμμή αλλαγής φάσης λαμβάνει μικρότερες τιμές. Τα αποτελέσματα από τις ανακυκλικές δοκιμές έδειξαν επίσης ότι η επίδραση της ανισότροπης στερεοποίησης δεν πρέπει να αγνοείται σε κάθε προσπάθεια προσδιορισμού του μέτρου εδαφικής δυστημσίας και του υστερητικού λόγου απόσβεσης μιας άμμου.

Τελικώς, τα αποτελέσματα από πειράματα ανακυκλικής στρεπτικής διάτμησης σε ισότροπα στερεοποιημένα δοκίμια άμμου με διαφορετική πυκνότητα, διαφορετική τάση στερεοποίησης, διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση και σχήμα κόκκων, χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό δύο ξεχωριστών εμπειρικών σχέσεων υπολογισμού της ανάπτυξης υπερπίεσης πόρων έως τη ρευστοποίηση των δοκιμίων. Η πρώτη σχέση στηρίζεται στη μεθοδολογία των Ishibashi et al. (1977) και συμπεριλαμβάνει την πυκνότητα καθώς και την τάση στερεοποίησης των δοκιμίων ως μεταβλητές στην προτεινόμενη σχέση, με αποτέλεσμα οι τέσσερις σταθερές που υπάρχουν στην αρχική σχέση των Ishibashi et al. (1977) να αντικαταστηθούν από μία μόνο εδαφική σταθερά. Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη υπερπίεσης πόρων έως τη ρευστοποίηση εκφράζεται συναρτήσει της συνολικής «απορροφούμενης» ενέργειας ανά μονάδα όγκου του εδαφικού υλικού και μια δεύτερη ενεργειακή σχέση προτείνεται η οποία περιλαμβάνει ως μεταβλητές την πυκνότητα, την τάση στερεοποίησης, τη μέση διάμετρο και την σφαιρικότητα των κόκκων του εξεταζόμενου υλικού. Οι δύο προτεινόμενες σχέσεις μπορούν εξαιτίας της απλότητας τους να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε αριθμητικά μοντέλα εκτίμησης του δυναμικού ρευστοποίησης.