

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ ΚΟΙΛΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Γεωτεχνικής Ε.Μ.Π.

του

Αργύριου Ι. Τσομόκου

ΕΚΤΕΝΗΣ ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή διερευνήθηκε πειραματικά η συμπεριφορά δύο τυπικών αμμωδών υλικών, διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης, σε δοκιμές στατικής και δυναμικής στρέψης κοίλου δοκιμίου. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση ενός πλαισίου συμπεριφοράς αμμωδών υλικών για χρήση στις αναλυτικές μελέτες με βάση το οποίο θα είναι δυνατή η ακριβής πρόβλεψη της συμπεριφοράς παρομοίων αμμωδών αποθέσεων στη φύση.

Τα πειράματα εκτελέστηκαν στη συσκευή στρεπτικής διάτμησης κοίλου δοκιμίου του Ε.Μ.Π. η οποία είναι μία καινούργια συσκευή στον Ελλαδικό χώρο που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Στη συσκευή είναι δυνατόν να εκτελεστούν στατικές και δυναμικές στρεπτικές φορτίσεις κοίλου δοκιμίου. Αρχικά, η συσκευή βαθμονομήθηκε με την πραγματοποίηση ειδικών δοκιμών τόσο σε ειδικά δοκίμια από καουτσούκ όσο και σε δοκίμια άμμου, ώστε να διασφαλισθεί η σωστή λειτουργία της και η επαναληπτικότητα των δοκιμών.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η επίδραση διαφορετικών παραγόντων στη συμπεριφορά των άμμων Ham river (HRS) και Fontainebleau κατά την μονοτονική στρεπτική διάτμηση τόσο υπό συνθήκες εμποδιζόμενης όσο και υπό συνθήκες ελεύθερης στράγγισης. Έμφαση δόθηκε στη μεταβολή των χαρακτηριστικών δυσμησίας και αντοχής. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν ήταν το μέγεθος της αρχικής ενεργού τάσης στερεοποίησης p_i' , η πυκνότητα των υλικών και ο βαθμός προστερεοποίησης. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων προέκυψε ότι η άμμος Fontainebleau, που είναι λεπτότερη από την άμμο Ham river,

εμφανίζει περισσότερο συστολική συμπεριφορά τόσο υπό συνθήκες εμποδιζόμενης όσο και υπό συνθήκες ελεύθερης στράγγισης. Συγκεκριμένα, κατά τη φόρτιση σε στρεπτική διάτμηση υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης εμφανίζει ψαθυρή συμπεριφορά με διαρκή μείωση της αντοχής της έως ότου εμφανίσει αλλαγή φάσης, ενώ η άμμος HRS υπό αντίστοιχες συνθήκες φόρτισης αναλαμβάνει σταδιακά αυξανόμενο στρεπτικό φορτίο. Η έντονη μη γραμμικότητα της συμπεριφοράς των δύο άμμων μπορεί να περιγραφεί από απλές μαθηματικές σχέσεις οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές των εντατικών μεγεθών, των παραμορφώσεων και του δείκτη πόρων. Τα πειραματικά αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, για την αριθμητική προσομοίωση της απόκρισης των άμμων Ham river και Fontainebleau με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων του Imperial College (ICFEP) και ενός σύνθετου ελαστοπλαστικού προσομοιώματος της διεθνούς βιβλιογραφίας κατά τη διάρκεια 3μηνης παραμονής του συγγραφέα στο Εργαστήριο Soil Mechanics του Imperial College. Η αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των άμμων υπό συνθήκες ελεύθερης στράγγισης ήταν πολύ καλή, ενώ υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης η απόκριση των δοκιμίων δεν μπορούσε να προβλεφθεί επακριβώς.

Το πρόγραμμα των δυναμικών ή γρήγορων ανακυκλικών δοκιμών σχεδιάστηκε καταρχήν με στόχο την άμεση σύγκριση της απόκρισης των δύο υλικών υπό ανακυκλική στρεπτική διάτμηση και στη συνέχεια το συσχετισμό μεταξύ μονοτονικής και ανακυκλικής στρεπτικής διάτμησης στις δύο άμμους. Υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης βρέθηκε ότι η άμμος Fontainebleau παρουσιάζει μειωμένη αντίσταση στην ρευστοποίηση σε σχέση με την άμμο Ham river για τις ίδιες τιμές σχετικής πυκνότητας. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν εμπειρικές σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του ρυθμού ανάπτυξης των υδατικών υπερπείσεων πόρων λόγω ανακυκλικής φόρτισης στις δύο άμμους και την περιγραφή των καμπυλών ρευστοποίησης των υλικών που εξετάστηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή και έγινε σύγκρισή τους με αντίστοιχες της διεθνούς βιβλιογραφίας. Υπό συνθήκες ελεύθερης στράγγισης παρατηρήθηκε ότι η συμπεριφορά των δοκιμίων και των δύο άμμων είναι αρχικά συστολική, ενώ τα δοκίμια που φορτίστηκαν ανακυκλικά με σταθερή τάση παρουσίασαν σκλήρυνση με την αύξηση της παραμόρφωσης.

Η σύγκριση των μονοτονικών και των ανακυκλικών δοκιμών στρεπτικής διάτμησης υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης έδειξε ότι το όριο μεταξύ σταθερής και ασταθούς

απόκρισης τόσο της άμμου Ham river, χαλαρής και πυκνής, όσο και της πυκνής άμμου Fontainebleau κατά την ανακυκλική στρεπτική διάτμηση είναι η γραμμή αλλαγής φάσης που ορίζουν οι μονοτονικές δοκιμές. Αντίθετα, για τα χαλαρά δοκίμια της άμμου Fontainebleau το κρίσιμο όριο για την εμφάνιση ασταθούς απόκρισης κατά τη διάρκεια της ανακυκλικής φόρτισης είναι η γραμμή αστάθειας που ορίζεται από τις μονοτονικές δοκιμές. Όταν η διαδρομή ενεργών τάσεων κατά τη διάρκεια της ανακυκλικής φόρτισης πλησιάσει είτε τη γραμμή αλλαγής φάσης είτε τη γραμμή αστάθειας, γεγονός που λαμβάνει χώρα για παραμορφώσεις της τάξεως του 0.5%, παρατηρείται μεγάλη αύξηση στο ρυθμό ανάπτυξης τόσο της διατμητικής παραμόρφωσης όσο και της υπερπίεσης του νερού των πόρων. Γενικά, η απόκριση και των δύο άμμων σε ανακυκλική φόρτιση σε στρέψη υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης μπορεί να περιγραφεί από τρία στάδια:

1. Ένα αρχικό στάδιο, που σχετίζεται με τον πρώτο ή τους πρώτους κύκλους φόρτισης του υλικού, κατά το οποίο ο ρυθμός συσσώρευσης υπερπίεσεων του νερού των πόρων είναι σχετικά υψηλός.
2. Ένα στάδιο ημι-σταθερής κατάστασης κατά το οποίο οι διατμητικές παραμορφώσεις και οι υπερπίεσεις του νερού των πόρων αυξάνονται με περίπου σταθερό ρυθμό, μέχρι η διαδρομή τάσεων να συναντήσει τη γραμμή αλλαγής φάσης (PTL) ή τη γραμμή αστάθειας (IL) των μονοτονικών δοκιμών ανάλογα με την ψαθυρότητα του εξεταζόμενου υλικού. Έπειτα από τον πρώτο ή τους πρώτους κύκλους φόρτισης τα δοκίμια εμφανίζουν σκλήρυνση με την αύξηση της παραμόρφωσης (αύξηση της εδαφικής δυστημσίας τους) για να παρουσιάσουν στη συνέχεια ασταθή συμπεριφορά, μετά από μερικούς κύκλους φόρτισης, καθώς πλησιάζουν την PTL ή την IL.
3. Ένα τελικό στάδιο κοντά στην περιοχή της PTL (ή της IL), όπου ακόμα και τα μη ψαθυρά υλικά, όπως η άμμος Ham river της παρούσας εργασίας, παρουσιάζουν αύξηση της διατμητικής τους παραμόρφωσης και συσσώρευση υπερπίεσης του νερού των πόρων με αποτέλεσμα στο τελικό στάδιο των πειραμάτων η μέση ενεργός τάση p_i' σχεδόν να μηδενίζεται. Η αποφόρτιση από εντατικές καταστάσεις όπου ο λόγος των ενεργών τάσεων είναι μεγαλύτερος από το λόγο των ενεργών τάσεων κατά την αλλαγή φάσης οδηγεί στην αστοχία και τη ρευστοποίηση των δοκιμίων.