

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ  
ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΣΕ  
ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ  
ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

**Περίληψη**

Προς τον

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ  
(ΟΑΣΠ)

Γ.Α. ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ  
Ε.Α. ΛΕΩΝΙΔΟΥ

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2003

Η παρούσα Τεχνική Έκθεση παρουσιάζει τα αποτελέσματα της διερεύνησης της διάδοσης της διάρρηξης σεισμικών ρηγμάτων κλίσης (κανονικών και ανάστροφων) του βραχώδους υποβάθρου σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς. Ο κύριος στόχος της διερεύνησης αυτής ήταν η καθιέρωση μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό του εύρους,  $B$ , και της θέσης (απόσταση  $C$  του μέσου της ζώνης από συγκεκριμένο σημείο αναφοράς  $O$ ) της επικίνδυνης ζώνης στην επιφάνεια του εδάφους στην οποία αναμένεται η εκδήλωση βλαβών σε οικοδομές ή άλλα τεχνικά έργα, λόγω των “στατικών” εδαφικών παραμορφώσεων οφειλομένων στη διάδοση της διάρρηξης σεισμικού ρήγματος του υποβάθρου.

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογή της Μεθόδου Πεπερασμένων Στοιχείων (σε συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης) σε εξιδανικευμένο προσομοίωμα του φυσικού προβλήματος που περιλαμβάνει οριζόντια στρώση ανομοιογενούς εδάφους εδραζόμενη σε οριζόντια επιφάνεια βραχώδους υποβάθρου. Η σεισμική διάρρηξη του ρήγματος υποβάθρου προσομοιώθηκε με την επιβολή εξαναγκασμένης μετακίνησης σε τμήμα της βάσης του εδαφικού στρώματος. Ως δείκτης της επικινδυνότητας των παραμορφώσεων στην επιφάνεια του εδάφους χρησιμοποιήθηκε η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης (angular distortion)  $\beta$  και της οριζόντιας ορθής παραμόρφωσης  $\epsilon_{xx}$  του εδαφικού υλικού. Στη παρούσα Τεχνική Έκθεση προτείνονται επιτρεπόμενες τιμές  $\beta_{cr}$  και  $\epsilon_{xx,cr}$  τόσο για την περίπτωση του ελευθέρου πεδίου όσο και θεμελιώσεων από σκυρόδεμα. Οι αναλύσεις διεξήχθησαν με χρήση του κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS ver. 7.2 και υιοθέτηση του κριτηρίου αστοχίας Mohr-Coulomb σε εδαφικό σχηματισμό με γραμμικά αυξανόμενες με το βάθος τιμές της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας. Το μέγεθος των χρησιμοποιηθέντων δικτύων και το είδος και η πυκνότητα των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις επιλέγησαν μετά από παραμετρικές διερευνήσεις ευαισθησίας των αποτελεσμάτων των αναλύσεων.

Τα επι-μέρους αντικείμενα της διερεύνησης ήταν η διεξαγωγή εκτεταμένων παραμετρικών αναλύσεων για την αναγνώριση των σημαντικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στο πρόβλημα και η σύνταξη νομογραφημάτων-διαγραμμάτων για την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της έρευνας στην πράξη. Για τη μελέτη της επίδρασης του εδάφους διεξήχθησαν αναλύσεις για συνεκτικά εδάφη ( $c \neq 0$ ,  $\varphi = 0$ ) και μη-συνεκτικά εδάφη ( $\varphi \neq 0$ ,  $c = 0$ ). Ως κύρια παράμετρος για την περιγραφή της μηχανικής συμπεριφοράς και των δύο ειδών των εδαφών χρησιμοποιήθηκε η ορθή παραμόρφωση του υλικού κατά τη στιγμή της αστοχίας,  $\epsilon_f$ . Μικρές τιμές της παραμόρφωσης αυτής υποδηλώνουν ψαθυρή συμπεριφορά ενώ για μεγαλύτερες τιμές η συμπεριφορά μετατρέπεται σε πλάστιμη. Οι διερευνηθείσες παράμετροι ήταν: το πάχος  $H$  του εδαφικού σχηματισμού, το είδος του ρήγματος κλίσης (κανονικό ή ανάστροφο), η κλίση  $\alpha$  του ρήγματος υποβάθρου, το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης του ρήγματος,  $S$ , και το είδος και τα χαρακτηριστικά του υπερκειμένου εδάφους (συνεκτικό έδαφος, μη-συνεκτικό έδαφος). Στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών διερευνήθηκε επίσης και η επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας  $\psi$  του εδαφικού υλικού. Για την ποσοτική περιγραφή των αποτελεσμάτων της διάδοσης της διάρρηξης στο υπερκείμενο εδαφικό στρώμα χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα μεγέθη: 1) η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης,  $\beta_{max}$ , στην επιφάνεια του εδάφους, 2) το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα,  $h_f$ , 3) η μέση γωνία διάδοσης της διάρρηξης,  $\varphi_\delta$ , στο εδαφικό στρώμα, 4) το εύρος της επικίνδυνης ζώνης,  $B_{βcr}$ , για συγκεκριμένη τιμή της κρίσιμης (ή επιτρεπόμενης) γωνιακής παραμόρφωσης και 5) η αντίστοιχη απόσταση του μέσου της επικίνδυνης ζώνης  $C_{βcr}$ , από το σημείο αναφοράς  $O$  (σημείο κατακόρυφης προβολής της κορυφής του ρήγματος υποβάθρου στην επιφάνεια του εδάφους).

Οι παραμετρικές αναλύσεις υπέδειξαν ότι οι πλέον σημαντικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η συμπεριφορά των εδαφικών στρωμάτων κατά τη διάδοση ρηγμάτων κλίσης είναι το είδος του ρήγματος (κανονικό ή ανάστροφο), το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης,  $S$ , η γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου,  $\alpha$ , το είδος του εδάφους (συνεκτικό ή μη-συνεκτικό) και ο βαθμός της ψαθυρότητας ή πλαστιμότητας του εδαφικού υλικού (παράμετρος  $\epsilon_f$ ) ενώ το πάχος του υπερκειμένου εδαφικού στρώματος,  $H$ , δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Επειδή το πάχος του εδαφικού στρώματος,  $H$ , δεν επηρέασε τα αποτελέσματα των αναλύσεων, όλα τα μεγέθη μηκών της παρούσας έρευνας παρουσιάζονται κανονικοποιημένα σε σχέση με το  $H$ . Διαπιστώθηκε επίσης ότι η γωνία διασταλτικότητας  $\psi$  δεν αποτελεί σημαντική παράμετρο για τιμές μέχρι  $\psi = 10^\circ$ .

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης,  $\beta_{max}$ , αυξάνεται περίπου γραμμικά με το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης. Για την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων οι τιμές της μέγιστη γωνιακής παραμόρφωσης  $\beta_{max}$  είναι σχετικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των ανάστροφων στα συνεκτικά εδάφη και εξαρτώνται από την ψαθυρότητα του εδάφους.

Το σχετικό εύρος της επικίνδυνης ζώνης,  $B_{βcr}/H$ , για κανονικά και ανάστροφα ρήγματα αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης μέχρι την τιμή  $S/H \approx 1.5\%$  έως  $2.0\%$  χωρίς να εξαρτάται από την κατηγορία και την ψαθυρότητα του εδάφους καθώς και τη γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου ενώ για μεγαλύτερες τιμές της σεισμικής ολίσθησης παραμένει μόνο η εξάρτηση από την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας.

Το σχετικό ύψος ανάπτυξης  $h_r/H$  της εδαφικής διάρρηξης τόσο των κανονικών όσο και των ανάστροφων ρηγμάτων αυξάνεται με το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης  $S/H$  και την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας,  $\epsilon_f$ . Επίσης, η γωνία διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης,  $\phi_\delta$ , για την περίπτωση κανονικού ρήγματος δεν επηρεάζεται αισθητά από την κατηγορία του εδάφους και την κλίση του ρήγματος του υποβάθρου ενώ για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος η τιμή της είναι μεγαλύτερη για συνεκτικό έδαφος και αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας  $\alpha$ .

Η σύνθεση όλων των αποτελεσμάτων της έρευνας επέτρεψε την κατασκευή νομογραφημάτων τα οποία επιτρέπουν τον προσδιορισμό του ύψους ανάπτυξης και της γωνίας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης καθώς και των αναμενόμενων τιμών της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης και του εύρους και θέσης της επικίνδυνης ζώνης, για δεδομένα χαρακτηριστικά του ρήγματος και του εδάφους.

Τέλος, η αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της μεθόδου ανάλυσης της παρούσας έρευνας ελέγχθηκε διαμέσου σύγκρισης των αποτελεσμάτων της με δημοσιευμένα αποτελέσματα που αφορούσαν παρατηρήσεις πεδίου (ρήγμα Αγ. Τριάδας στην Πάτρα), διεξαγωγή πειραμάτων (φυσικό ομοίωμα μικρής κλίμακας των Cole and Lade (1984)) και αναλύσεις παρόμοιες με αυτές που παρουσιάζονται στην παρούσα Τεχνική Εκθεση (αποτελέσματα των αναλύσεων του Bray (2001)). Η πολύ ικανοποιητική συμφωνία των τριών ομάδων αποτελεσμάτων ανέδειξε τη χρησιμότητα και πρακτική σημασία της παρούσας μεθόδου ανάλυσης και τεκμηρίωσε την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της.