



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αριθμητική προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφα βελτιωμένων εδαφών

Αναστάσιος Λώλης

Περίληψη Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συστηματική μελέτη της επίδρασης της βελτίωσης στη σεισμική απόκριση ενός εύτημου εδάφους χωρίς απομείωση αντοχής (π.χ. μαλακή άργιλος) στο οποίο γίνεται προσθήκη πιο δύσμητων γεωυλικών (π.χ. χαλικοπάσσαλοι). Η βιβλιογραφική έρευνα υπέδειξε λίγες σχετικές δημοσιεύσεις, ενώ δεν βρέθηκε κάποιο καλά τεκμηριωμένο ιστορικό περιστατικό με σεισμικές καταγραφές σε κοντινές θέσεις με και χωρίς βελτίωση. Συγκεκριμένα, ως επί το πλείστον, η σχετική βιβλιογραφία αφορά τη συμπεριφορά μη συνεκτικών στρώσεων, είτε με δοκιμές φυγοκεντριστή ή με αριθμητικές αναλύσεις που υποδεικνύουν δυνητικά σημαντική διαφοροποίηση της σεισμικής απόκρισης, ειδικά σε χαμηλές περιόδους.

Πιο συγκεκριμένα, για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας έγιναν 2Δ αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφα βελτιωμένου εδάφους για πενήντα οκτώ (58) συνδυασμούς εδάφους-βελτίωσης-διέγερσης, και στη συνέχεια, διερευνήθηκε η δυνατότητα ενός σύνθετου βελτιωμένου εδάφους να προσομοιωθεί ως ένα «ισοδύναμο-ομοιογενές» βελτιωμένο έδαφος με «ισοδύναμες» δυναμικές ιδιότητες. Όλες οι αναλύσεις ήταν γραμμικές ιξωδο-ελαστικές (με σταθερές τιμές μέτρων διάτμησης G και λόγου απόσβεσης ξ για το έδαφος και τον πάσσαλο) και εκτελέστηκαν με τον κώδικα πεπερασμένων διαφορών FLAC, επιβάλλοντας ως διέγερση κατακόρυφα κύματα SV στη μορφή ενός παλμού Ricker.

Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι το αν η βελτίωση προκαλεί ενίσχυση ή απομείωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του βελτιωμένου εδάφους (σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος), εξαρτάται από την ιδιοπερίοδο του φυσικού εδάφους T_{soil} , την δεσπόζουσα περίοδο T_e της σεισμικής διέγερσης, το λόγο δυσμησιών $K_o = G_{i,o}/G_{s,o}$ (όπου $G_{i,o}$ το μέτρο διάτμησης του χαλικοπασσάλου και $G_{s,o}$ το μέτρο διάτμησης του φυσικού εδάφους) και το πραγματοποιούμενο ποσοστό αντικατάστασης $a_r(\%)$. Πιο συγκεκριμένα, απομείωση προκύπτει, εν γένει, όταν ο λόγος $T_{soil}/T_e < 1$ (χαμηλόσυχνες διεγέρσεις) και ενίσχυση όταν ο λόγος $T_{soil}/T_e > 1$ (υψίσυχνες διεγέρσεις). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ιδιοπερίοδος του βελτιωμένου εδάφους είναι πάντα μικρότερη από αυτή του φυσικού εδάφους (δηλ. $T_{imp} < T_{soil}$), και συνεπώς, για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις η βελτίωση «απομακρύνει» το έδαφος από τις συνθήκες συντονισμού, ενώ για τις υψίσυχνες η βελτίωση «φέρνει» το έδαφος εγγύτερα σε αυτές.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Από εκεί και πέρα, βρέθηκε ότι στην επιφάνεια του βελτιωμένου εδάφους η σεισμική κίνηση είναι πρακτικώς ομοιόμορφη, και συνεπώς, η 2Δ σεισμική απόκριση ενός απειρομήκους βελτιωμένου εδάφους μπορεί να προσομοιωθεί από 1Δ ανάλυση σεισμικής απόκρισης ενός "ισοδύναμα-ομοιογενούς" (βελτιωμένου) εδάφους. Η δυσμησία $G_{eq,o}$ του ισοδύναμου ομοιογενούς βελτιωμένου εδάφους προσομοιώνεται με επαρκή ακρίβεια θεωρώντας ισοδυναμία διατμητικών τάσεων τ στο φυσικό έδαφος και τον πάσσαλο βελτίωσης, επιβεβαιώνοντας παλαιότερη ενδεικτική πρόταση των Bouckovalas et al (2006). Αντιθέτως, η θεώρηση ισοδυναμίας διατμητικών παραμορφώσεων γ στο φυσικό έδαφος και τον πάσσαλο βελτίωσης (σύμφωνα με τους Baez & Martin (1993) που είναι η κρατούσα άποψη στη βιβλιογραφία) οδηγεί σε υπερεκτίμηση της δυσμησίας $G_{eq,o}$. Με βάση την ανωτέρω θεώρηση προκύπτει ότι η σχέση υπολογισμού της $G_{eq,o}$ είναι συνάρτηση του μέτρου δυσμησίας $G_{s,o}$ του φυσικού εδάφους, του λόγου δυσμησιών $K_o = G_{i,o}/G_{s,o}$ και του ποσοστού αντικατάστασης $a_r(\%)$, ενώ προκύπτει ανεξάρτητη της δεσπόζουσας περιόδου T_e της σεισμικής διέγερσης και του πάχους H_{imp} της βελτίωσης σε σχέση με το πάχος H της στρώσης του φυσικού εδάφους.

Έχοντας εκτιμήσει το ισοδύναμο μέτρο δυσμησίας $G_{eq,o}$, η σεισμική απόκριση απειρομήκους βελτιωμένου εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί με βάση 1Δ αναλύσεις σεισμικής απόκρισης. Ειδικότερα, και μόνο αν η βελτίωση φθάνει μέχρι το σεισμικό υπόβαθρο ($H_{imp}=H$), τότε η εκτίμηση της ενίσχυσης ή απομείωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης λόγω βελτίωσης μπορεί να εκτιμηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια και με βάση την κυματική θεωρία για ομοιόμορφη οριζόντια στρώση εδάφους επί ελαστικού βραχώδους υποβάθρου.

Επισημαίνεται ότι η αναλυτική σχέση εκτίμησης της δυσμησίας $G_{eq,o}$ επιβεβαιώθηκε από ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις, και συνεπώς η χρήση της περιορίζεται για μικρής έντασης σεισμικές διεγέρσεις για τις οποίες ισχύουν με ακρίβεια οι ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις. Από εκεί και πέρα, η χρήση 1Δ αναλύσεων σεισμικής απόκρισης "ισοδύναμα-ομοιόμορφου" (βελτιωμένου) εδάφους είναι κατάλληλη μόνο για απειρομήκειες γεωμετρίες βελτίωσης, καθώς για περιπτώσεις (οριζοντίως) τοπικής βελτίωσης οι 2Δ αναλύσεις σεισμικής απόκρισης είναι μονόδρομος.

Επιβλέπων: Αχιλλέας Παπαδημητρίου, Λέκτορας
Ιούλιος 2009