

Σεισμική απόκριση και φάσματα σχεδιασμού για ρευστοποιήσιμα εδάφη (κατηγορίας X κατά ΕΑΚ και S2 κατά EC-8)

Γεώργιος Μπουκοβάλας^{1*}, Γιάννης Τσιάπας²

¹Καθηγητής
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
ΕΜΠ
gbouck@central.ntua.gr

²Μεταδιδακτορικός Ερευνητής
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
ΕΜΠ
ioannis.tsiapas@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι ευρέως γνωστό ότι εδαφικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από κορεσμένες, χαλαρές και μη-συνεκτικές εδαφικές στρώσεις (άμμοι, αμμοχάλικα, ιλυώδεις άμμοι, αμμόδεις ιλύες) είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην ανάπτυξη υδατικών υπερπλίσεων υπό σεισμική διέγερση και τελικώς σε ρευστοποίηση με συνέπεια την μερική ή πλήρη απώλεια της διατμητικής τους αντοχής. Οι σύγχρονοι Κανονισμοί Αντισεισμικού Σχεδιασμού (ΕΑΚ 2003, EC-8, κλπ) χαρακτηρίζουν τα ρευστοποιήσιμα εδάφη ως ειδικές περιοχές, όπου η δόμηση απαγορεύεται εκτός και εάν προηγηθούν ειδικές έρευνες και μελέτες, ενώ η συνήθης φιλοσοφία σχεδιασμού των θεμελιώσεων απαιτεί τη χρήση πασσάλων, προκειμένου να παρακαμφθούν οι ρευστοποιήσιμες στρώσεις. Παράλληλα, απαιτείται βελτίωση του ρευστοποιήσιμου εδάφους μεταξύ των πασσάλων (π.χ. βαθιά δονητική συμπύκνωση, χρήση χαλικοπασσάλων / στραγγιστηριών) για εξασφάλιση ικανής πλευρικής τριβής και απομείωση των καμπτικών ροπών και των τεμνουσών δυνάμεων στους πασσάλους.

Υπάρχουν όμως αποτελέσματα πειραματικών ερευνών και παρατηρήσεις πεδίου έπειτα από ισχυρούς σεισμούς τα οποία υποδεικνύουν ότι η χρήση πασσάλων δεν είναι πάντοτε απαραίτητη, αλλά μπορεί να αντικατασταθεί από επιφανειακή θεμελίωση, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης μιας βελτιωμένης επιφανειακής στρώσης για την αποφυγή υπερβολικών μετασεισμικών καθιζήσεων ή/και αστοχία της θεμελίωσης. Οι Bouckovalas et al [1] παρουσίασαν μάλιστα μια ολοκληρωμένη μέθοδο σχεδιασμού επιφανειακών θεμελιώσεων με βάση τις αρχές της επιτελεστικότητας σε ρευστοποιήσιμο έδαφος με βελτιωμένη επιφανειακή εδαφική στρώση. Ο σχεδιασμός βασίζεται στην ιδέα μιας φυσικής ή τεχνητής κρούστας, η οποία δεν επεκτείνεται σε όλο το βάθος της ρευστοποιήσιμης άμμου, έτσι ώστε η κατασκευή να επωφεληθεί από τη μείωση των καθιζήσεων και την εξασθένιση της σεισμικής κίνησης (φυσική σεισμική μόνωση) λόγω ρευστοποίησης του εδάφους κάτω από την επιφανειακή στρώση.

Βασική προϋπόθεση για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών με βάση την ανωτέρω μέθοδο είναι η δυνατότητα εκτίμησης των καθιζήσεων των θεμελιών σε ρευστοποιημένο έδαφος [2-6], αλλά και της απομειωμένης σεισμικής κίνησης στην ελεύθερη επιφάνεια του ρευστοποιημένου εδαφικού σχηματισμού [7-9]. Όπως φανερώνει ο τίτλος, η παρούσα διάλεξη επικεντρώνεται στο δεύτερο από τα ανωτέρω θέματα σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, στον προσεγγιστικό υπολογισμό των ελαστικών φασμάτων απόκρισης στην επιφάνεια ρευστοποιήσιμων περιοχών με δύο εναλλακτικές μεθόδους, (α) της φασματικής περιβάλλουσας (spectral envelope), και (β) της φασματικής παρεμβολής (spectral interpolation). Και με τις δύο μεθόδους, η σεισμική εδαφική απόκριση υπολογίζεται δύο φορές, για συνθήκες ρευστοποίησης και για τις αρχικές συνθήκες πριν τη ρευστοποίηση, και τα αποτελέσματα συνδυάζονται έτσι ώστε να προσδιοριστεί η τελική σεισμική εδαφική απόκριση. Οι απαιτούμενες

αναλύσεις σεισμικής απόκρισης πραγματοποιούνται με χρήση συνηθισμένων στην πράξη μονοδιάστατων μη-γραμμικών ή ισοδύναμων γραμμικών αναλύσεων και τα αποτελέσματά τους ερμηνεύονται με βάση το συντελεστή ασφαλείας σε ρευστοποίηση (FSL), ο οποίος προσδιορίζεται βάσει επι-τόπου δοκιμών και μετρήσεων. Η εισαγωγή του συντελεστή ασφαλείας FSL εξασφαλίζει την ισότιμη συμμετοχή στον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης του εδάφους τόσο του αρχικού τμήματος της διέγερσης, πριν από την εκδήλωση της ρευστοποίησης, όσο και του τμήματος που ακολουθεί την εκδήλωση ρευστοποίησης.

References

- [1] Bouckovalas G, Psycharis I, Gantes C, Sextos A, Kappos A, Mylonakis G. (2017). “Performance-based design of bridge piers in liquefiable sites with shallow foundation and limited ground improvement”, 3rd International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Vancouver, Canada, July 16-19 (invited lecture).
- [2] Karamitros D, Bouckovalas G, Chaloulos Y. (2013). “Insight to the Seismic Liquefaction Performance of Shallow Foundations”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(4), 599-607.
- [3] Karamitros D, Bouckovalas G, Chaloulos Y, Andrianopoulos K. (2013). “Numerical analysis of liquefaction-induced bearing capacity degradation of shallow foundations on a two-layered soil profile”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 44, 99-101.
- [4] Karamitros D, Bouckovalas G, Chaloulos Y. (2013). “Seismic settlements of shallow foundations on liquefied soil with a clay crust”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 46, 61-76.
- [5] Dimitriadi V, Bouckovalas G, Papadimitriou A. (2017). “Seismic performance of strip foundations on liquefiable soils with a permeable crust”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100, 396-409.
- [6] Dimitriadi V, Bouckovalas G, Chaloulos Y, Aggelis A. (2018). “Seismic liquefaction performance of strip foundations: Effect of ground improvement dimensions”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 106, 298-307.
- [7] Dimitriadi V, Bouckovalas G, Chaloulos Y, Aggelis A. (2018). “Seismic liquefaction performance of strip foundations: Effect of ground improvement dimensions”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 106, 298-307.
- [8] Tsiapas Y, Bouckovalas G. (2019). “Equivalent linear computation of response spectra for liquefiable sites: The spectral interpolation method”. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 541-551.
- [9] Bouckovalas G, Tsiapas Y, Theocharis A, Chaloulos Y. (2016). “Liquefied ground response: Seismic isolation or amplification?”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Special Issue: 6th International Conference on Earthquake Engineering, 91, 329-339.