



Αριθμητική προσομοίωση αστοχιών ροής υποθαλάσσιων πρανών λόγω σεισμικής ρευστοποίησης

Ευτυχία Γαντζούδη

Περίληψη Μεταπτυχιακής Εργασίας Ειδίκευσης

Στην εργασία αυτή γίνεται αρχικώς μια εκτενής βιβλιογραφική διερεύνηση σεισμολογικών, γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων, καθώς και αναλύσεων δυναμικού ρευστοποίησης, σεισμικής απόκρισης και ευστάθειας πρανών για τις θέσεις αστοχιών υποθαλάσσιων πρανών της Ερατεινής κατά το σεισμό του Αιγίου (15-6-95). Στη συνέχεια, γίνεται μια λεπτομερής μελέτη της ευστάθειας των ανωτέρω πρανών, με έμφαση σε 4 θέσης μελέτης (3 όπου υπήρξε αστοχία και 1 όπου δεν υπήρξε κατά τον εν λόγω σεισμό). Διερευνώντας δύο πιθανές διαστρωματώσεις του εδάφους εκατέρωθεν των θέσεων επιτόπου δοκιμών, προκύπτει ότι:

- Σε όλες τις θέσεις, ο στατικός συντελεστής ασφαλείας είναι σημαντικά μεγαλύτερος του 1.0 (ελάχιστες τιμές 6.3 έως 12.7 στις θέσεις), δεδομένων των χαμηλών κλίσεων των επιφανειών των πρανών. Παρά την ισχυρή δόνηση, ψευδοστατικές αναλύσεις υποδεικνύουν συντελεστές ασφαλείας που παραμένουν πάνω από 1.0 (ελάχιστες τιμές 1.07 έως 2.05 στις θέσεις).
- Εκτελώντας στατικές αναλύσεις για μετά το σεισμό υιοθετώντας τιμές παραμένουσας διατμητικής αντοχής S_r στις ρευστοποιημένες στρώσεις από τη βιβλιογραφία, προκύπτουν συντελεστές ασφαλείας μεγαλύτεροι του 1.0 (ελάχιστες τιμές 1.29 έως 2.36 στις θέσεις). Παρόλα αυτά, αν οι τιμές της παραμένουσας διατμητικής αντοχής ήταν μικρότερες κατά 50% περίπου, τότε τα πρανά αστοχούν στατικά μετά το σεισμό σε 3 θέσεις (όπως και στο σεισμό του Αιγίου), ενώ στην τέταρτη θέση (όπου δεν παρατηρήθηκε αστοχία στο σεισμό του Αιγίου), η ανάλυση υποδεικνύει πιθανότητα αστοχίας μόνο αν η διαστρωμάτωση είναι παράλληλη με την επιφάνεια.

Στη συνέχεια, η έμφαση δίνεται σε μία θέση μελέτης, για την οποία εκτιμάται μεγάλο πάχος ρευστοποιήσιμης στρώσης, και στατική αστοχία μετά το σεισμό (για απομειωμένες τιμές S_r). Για τη θέση αυτή εκτελέσθηκαν 22 πλήρως συζευγμένες 2D αναλύσεις σεισμικής απόκρισης με χρήση του FLAC, και του ελαστοπλαστικού προσομοιώματος κρίσιμης κατάστασης [NTUA-SAND](#) για την προσομοίωση της ρευστοποιήσιμης στρώσης. Για τις μη-ρευστοποιήσιμες στρώσεις του πρανούς επιλέχθηκαν είτε ιξωδο-ελαστική ή ελαστική τέλεια πλαστική προσομοίωση. Ο στόχος των αναλύσεων δεν ήταν η επακριβής προσομοίωση της αστοχίας στη θέση μελέτης κατά το σεισμό του Αιγίου, μα η διερεύνηση της σημαντικότητας επιμέρους παραμέτρων αυτού του προβλήματος συνοριακών τιμών. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα από τις αναλύσεις αυτές είναι τα κάτωθι:

- Η ρευστοποίηση της μη συνεκτικής στρώσης επιβεβαιώνεται για τις παραμέτρους αναφοράς που αφορούν στο σεισμό του Αιγίου. Η ρευστοποίηση της μη συνεκτικής στρώσης (ανάπτυξη μεγάλων υπερπιέσεων πόρων r_u έως 1.0) καθορίζει ουσιαστικά όλη την απόκριση του πρανούς, καθώς οδηγεί σε έντονη απομείωση των οριζοντίων επιταχύνσεων στην επιφάνεια (κατά 5-6 φορές), και σε συσσώρευση οριζοντίων μετατοπίσεων που είναι τουλάχιστον 8 φορές μεγαλύτερες από εκείνες αν δεν ληφθεί υπόψη η ρευστοποίηση.
- Το πάχος της ρευστοποιήσιμης στρώσης (από 4 έως 10.5m) έχει αρκετά σημαντική επίδραση, όχι τόσο στις οριζόντιες επιταχύνσεις και στις υπερπιέσεις πόρων εντός αυτής (η ρευστοποίηση, ούτως ή άλλως, προκύπτει), αλλά στο μέγεθος των οριζοντίων μετατοπίσεων το οποίο αυξάνει κατά 50% περίπου (για την ανωτέρω



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

προσαύξηση πάχους). Σε κάθε περίπτωση, οι οριζόντιες μετατοπίσεις προκύπτουν κυρίως από παραμορφώσεις της πλέον χαλαρής μεσαίας ζώνης, πάχους 4m.

- Η επίδραση του αριθμού N (αρμονικών) κύκλων διέγερσης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς παρατηρείται διπλασιασμός μετατοπίσεων για $N=3$ έναντι $N=1$. Δεδομένου ότι η ρευστοποίηση έχει επιτευχθεί ήδη από $N=1$, η αύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων οφείλεται στο ότι περισσότεροι παλμοί επιταχύνσεων υπερβαίνουν την κρίσιμη επιτάχυνση του πρανούς, που παραμένει απομειωμένη λόγω υψηλών υπερπιέσεων πόρων.
- Η επίδραση της έντασης της διέγερσης PGA στη βάση του πρανούς είναι σημαντική, καθώς παρατηρείται αύξηση κατά 60% στις μετατοπίσεις, για διπλασιασμό της PGA από 0.113g σε 0.225g. Δεδομένου ότι η ιστορία των υπερπιέσεων δεν επηρεάζεται ουσιαστικά, η αύξηση των μετατοπίσεων οφείλεται στην αύξηση των επιταχύνσεων ίδιας διάρκειας που υπερβαίνουν την (απομειωμένη) κρίσιμη επιτάχυνση του πρανούς.
- Η δυνατότητα διαρροής της επιφανειακής στρώσης (άνωθεν της ρευστοποιήσιμης) κρίνεται ως σημαντική παράμετρος του προβλήματος. Αυτό γιατί μια ελαστοπλαστική θεώρηση της επιφανειακής στρώσης, αντί για ιξωδο-ελαστική, οδηγεί σε σαφώς μεγαλύτερες μετατοπίσεις (έως και διπλασιασμός), και αυτό αποδίδεται στην ταυτόχρονη αστοχία της επιφανειακής στρώσης και στην περαιτέρω αύξηση των υπερπιέσεων πόρων στην ρευστοποιήσιμη στρώση.
- Δευτερεύουσας σημασίας παράμετροι βρέθηκαν να είναι οι λεπτομέρειες της ελαστοπλαστικής προσομοίωσης της επιφανειακής στρώσης, και το ακριβές προφίλ διαπερατότητας ειδικά αν η ρευστοποιήσιμη στρώση είναι μεγάλου πάχους. Αν η ρευστοποιήσιμη στρώση είναι λεπτή (4m), τότε οι οριζόντιες μετατοπίσεις είναι συγκριτικά μεγαλύτερες όταν η διαπερατότητα είναι μεγάλη στην ρευστοποιήσιμη ζώνη και 100 φορές μικρότερη άνωθεν και κάτωθεν αυτής.

Επιβλέπων: Αχιλλέας Παπαδημητρίου, Λέκτορας

Φεβρουάριος 2011