

Ν. Σαμπατακάκης, Ι. Βασιλείου

Γεωλόγοι, Τμήμα Γεωτεχνικής Μηχανικής, ΚΕΔΕ, ΥΠΕΧΩΔΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται μετρήσεις της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων και του δυναμικού μέτρου διάτμησης διακεκριμένων εδαφικών στρώσεων με την τεχνική Cross-Hole. Οι μετρήσεις αυτές συσχετίζονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διείδυσης (S.P.T.) και της αντοχής σε ανεμπόδιτη θλίψη, με σκοπό την ποσοτική έκφρασή τους με μορφή εμπειρικών συσχετίσεων για τους διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς του Ελληνικού χώρου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία βασική παράμετρος για τον καθορισμό της σεισμικής απόκρισης ενός εδαφικού σχηματισμού είναι το μέτρο διατμητικής παραμόρφωσης (G_0) σε πολύ μικρές παραμορφώσεις ή εναλλακτικά η ταχύτητα διάδοσης του διατμητικού κύματος (V_S) μέσα στον εδαφικό σχηματισμό. Οι δύο αυτές παράμετροι συνδέονται όπως είναι γνωστό με την σχέση:

$$G_0 = \rho \cdot V_S^2$$

όπου ρ : η πυκνότητα του εδαφικού σχηματισμού.

Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης του διατμητικού κύματος (V_S) η πιο αξιόπιστη επί τόπου δοκιμή θεωρείται η τεχνική Cross-Hole, (B. Auld, 1977). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1950 και έχει γίνει βαθμιαία φανερό ότι παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα στην εκτίμηση των δυναμικών παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων.

Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου, έχουν κατά καιρούς προταθεί έμμεσοι τρόποι εκτίμησης του μέτρου διατμητικής παραμόρφωσης (G_0), με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων και συσχετίσεων με άλλες ιδιότητες των εδαφικών υλικών, που υπολογίζονται κυρίως από τις κλασικές εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής ή και από επί τόπου δοκιμές. Οι σχέσεις αυτές αναφέρονται βέβαια στη διεθνή εμπειρία αλλά η εφαρμοσιμότητά τους στον Ελληνικό χώρο, για τα Ελληνικά εδάφη, δεν έχει διερευνηθεί καθόλου. Για το λόγο αυτό, στα πλαίσια ενός ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος που ήδη εκτελείται από τη Διεύθυνση Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. σε διαφορετικούς

εδαφικούς σχηματισμούς, γίνεται προσπάθεια να αποδοθεί στους διάφορους συσχετισμούς και ταξινομήσεις η "Ελληνικότητα" τους που θα συντελέσει καθοριστικά στη μεγαλύτερη αξιοπιστία τους, αφού θα είναι αποτέλεσμα εντόπιας εμπειρίας και αξιολόγησης.

Στο άρθρο αυτό γίνεται μία μερική παρουσίαση και αξιολόγηση των πρώτων αποτελεσμάτων της παραπάνω έρευνας και δίνονται μερικές εμπειρικές σχέσεις που η αξιοπιστία τους αναμένεται να βελτιωθεί σημαντικά κατά την προχώρηση της έρευνας.

2. ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Κατά την εφαρμογή της τεχνικής Cross-Hole, χρησιμοποιήθηκε γραμμική διάταξη τριών γεωτρήσεων, με σκοπό την εξασφάλιση της ακριβέστερης εκτίμησης των ταχυτήτων V_D και κυρίως V_S σε διακεκριμένους εδαφικούς ορίζοντες (Mc Lamore et al, 1978).

Οι αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων ήταν ίδιες για κάθε θέση έρευνας και γενικά κυμαίνονταν από 2.5 μέχρι 5 μέτρα, ανάλογα με τις στρωματογραφικές συνθήκες και το είδος των εδαφικών σχηματισμών που διατρήθηκαν. Για την εκτέλεση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν δύο δέκτες κυμάτων, ένας σε κάθε γεώτρηση, που έकाστος περιλαμβάνει τριαξονικό σύστημα γεωφώνων. Σαν πηγή παραγωγής κυμάτων στην τρίτη γεώτρηση και σε ευθυγραμμία βάθους με τους δέκτες, χρησιμοποιήθηκε η δσκιμή πρότυπης διείδσδυσης (S.P.T.). Η χρησιμοποίηση του δειγματολήπτη Terzaghi σαν πηγή για την παραγωγή κυρίως κατακόρυφα πολωμένων εγκαρσίων κυμάτων, παρουσιάζεται ιδιαίτερα ευνοϊκή για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων (Tromcoso, 1982).

Στις περιπτώσεις εκτέλεσης της δοκιμής σε μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς, χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή παραγωγής κυμάτων ειδικά σχεδιασμένο σφυρί, περίπου πέντε φορές μεγαλύτερο σε διάμετρο από το δειγματολήπτη Terzaghi, ώστε να περιορίζεται σημαντικά η διείδσδυσή του κατά την επιβολή των κρούσεων.

Κατά την εκτέλεση των δύο πρώτων γεωτρήσεων, ανά 1.5 - 2.5 μέτρα προχώρησης εκτελείτο κανονικά δοκιμή πρότυπης διείδσδυσης (S.P.T.), ενώ σε μία από αυτές γίνονταν κανονική δειγματοληψία και λήψη αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων, όπου βέβαια το επέτρεπε η φύση του εδάφους, με τη χρήση δειγματολήπτη λεπτού τοιχώματος (shelby). Τα διαταραγμένα και αδιατάρακτα δείγματα από τις διάφορες εδαφικές στρώσεις, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση δοκιμών κατατάξεως (κοκκομέτρηση κονδρόκοκκου και λεπτόκοκκου κλάσματος) και πλαστικότητα. Στα αδιατάρακτα δείγματα έγιναν επιπλέον οι κλασσικές εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των μηχανικών παραμέτρων του εδάφους (ανεμπόδιστη θλίψη, τριαξονικές δοκιμές κ.λ.π.).

3. ΣΧΕΣΗ $N_{SPT} - V_S$

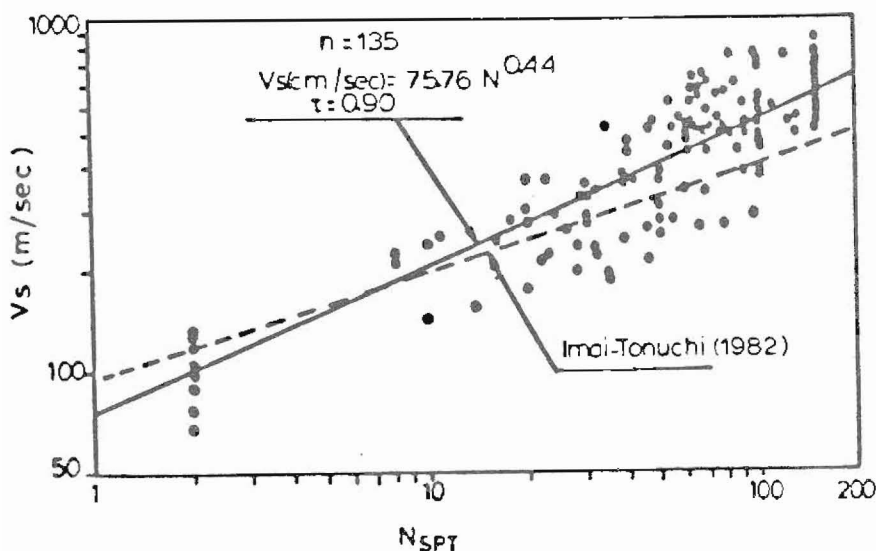
Για την προκαταρκτική εκτίμηση των τιμών των G_0 και V_S από αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών Πρότυπης Διείδσδυσης (N_{SPT}) έχουν προταθεί από την διεθνή βιβλιογραφία διάφορες εμπειρικές συσχετίσεις π.χ. Imai (1975), Imai-Tonuchi (1982) κ.ά. Οι σχέσεις αυτές διαφέρουν μεταξύ τους καθόσον επηρεάζονται από την τεχνική των μετρήσεων και κυρίως από το είδος των εδαφικών

σχηματισμών.

Για τον Ελληνικό χώρο οι Ζερβογιάννης κ.ά. (1987), έχουν δώσει εμπειρικές σχέσεις ξεχωριστά για τα συνεκτικά και τα μη συνεκτικά εδάφη της πόλης της Καλαμάτας, από ένα σχετικά περιορισμένο αριθμό δοκιμών.

Στο σχήμα 1 φαίνεται η συσχέτιση της V_s με τον αριθμό κρούσεων N_{SPT} και αφορά δοκιμές που έγιναν σε όλες τις ομάδες εδαφικών υλικών (συνεκτικά και μη συνεκτικά) χωρίς διάκριση (αριθμός δοκιμών $n = 135$). Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων προέκυψε η παρακάτω εμπειρική σχέση, με συντελεστή συσχέτισης $\tau = 0.90$:

$$V_s = 75.76 N_{SPT}^{0.44}$$



Σχ. 1. Συσχέτιση V_s με N_{SPT} (όλα τα στοιχεία)

Fig.1. V_s versus N_{SPT} correlation (total data)

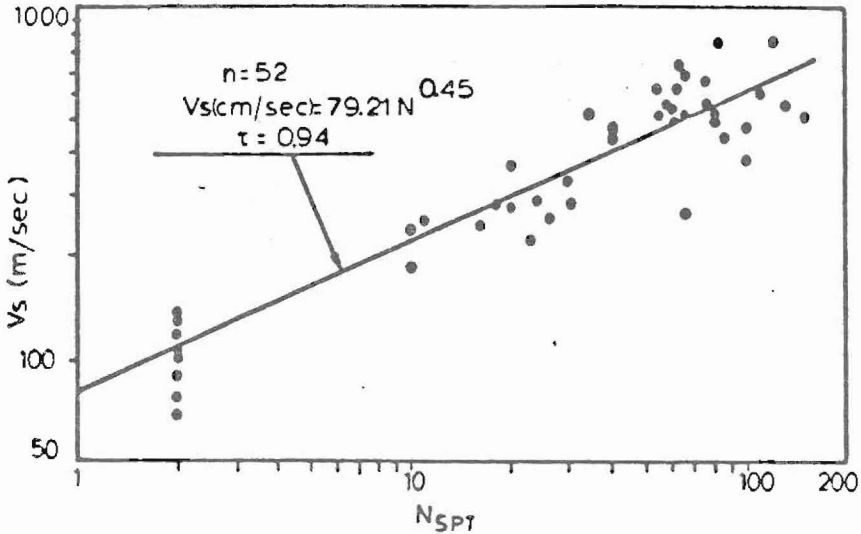
Στο σχήμα 1 έχει επίσης συμπεριληφθεί και η αντίστοιχη εμπειρική σχέση που έχει προταθεί από τους Imai και Tonuchi (1982) απ' όπου φαίνεται ότι η σχέση αυτή για τιμές N_{SPT} μεγαλύτερες του 10 περίπου, προβλέπει μικρότερες τιμές ταχύτητας V_s .

Στο σχήμα 2 φαίνεται η συσχέτιση του V_s με τον αριθμό των κρούσεων μόνο για συνεκτικά εδάφη δηλ. αργίλους και μάργες (αριθμός δοκιμών $n = 52$), απ' όπου προκύπτει η παρακάτω εμπειρική σχέση, με συντελεστή συσχέτισης $\tau = 0.94$:

$$V_s = 79.21 N_{SPT}^{0.45}$$

Τα εδαφικά υλικά του σχήματος 2 ταξινομούνται με βάση το ενοποιημένο σύστημα (USCS) σε CL και CH, δηλαδή είναι άργιλοι χαμηλής και υψηλής πλαστικότητας.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.



Σχ. 2. Συσχέτιση V_s με N_{SPT} για άργιλο και μάργα
 Fig.2. V_s versus N_{SPT} correlation for clay and marl

Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η διασπορά των αποτελεσμάτων στα σχήματα 1 και 2 θα ήταν περισσότερο εμφανής εάν τα σχήματα αυτά ήταν σχεδιασμένα σε φυσική κλίμακα.

4. ΣΧΕΣΗ G_0 - q_u

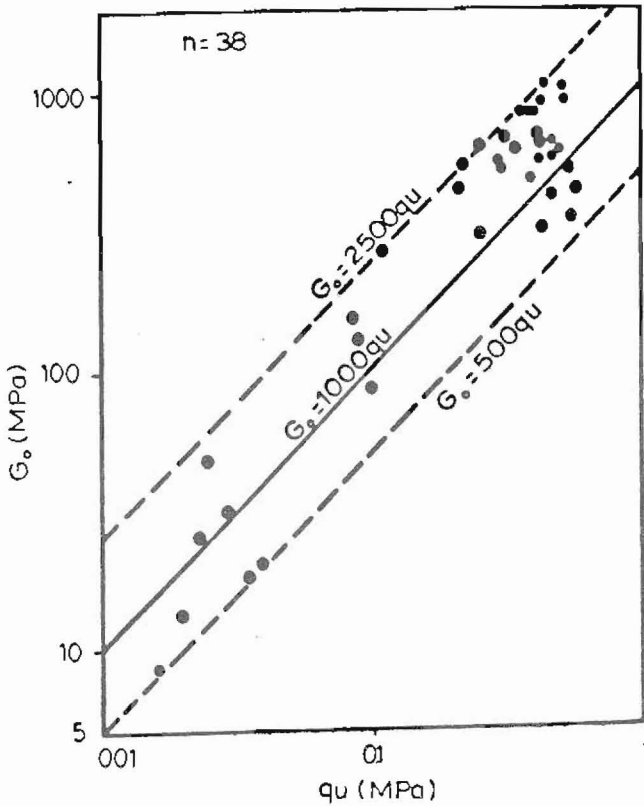
Η σχέση του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_0) με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) φαίνεται στο σχήμα 3 και αφορά κυρίως αργιλικούς και μαργαίικους σχηματισμούς, οι οποίοι κατά το ενοποιημένο σύστημα χαρακτηρίζονται σαν CL και CH (αριθμός δοκιμών $n = 38$). Με τη συνήθη παραδοχή ότι η σχέση των δύο παραπάνω παραμέτρων είναι γραμμική, είναι δυνατό να δοθεί με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα, η παρακάτω συσχέτιση :

$$G_0 = 1000 q_u$$

Τα πάνω και κάτω όρια της σχέσης είναι 2500 και 500 αντίστοιχα. Η αρκετά μεγάλη διασπορά των σημείων που παρατηρείται στο σχήμα 3, οφείλεται κυρίως στην ποικιλία των συναντώμενων εδαφικών σχηματισμών, καθώς επίσης και στον τρόπο δειγματοληψίας τους, που είχε σαν αποτέλεσμα το διαφορετικό βαθμό διαταραχής των δειγμάτων κατά θέση. Τονίζεται ότι η παραπάνω σχέση είναι ενδεικτική λόγω του μικρού σχετικά αριθμού δειγμάτων που έγινε αξιολόγηση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν μερικές εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής Cross-Hole με τις επιτόπου δοκιμές πρότυπης διείδυσης καθώς επίσης και με τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.



Σχ. 3. Συσχετισμός G_0 με q_u

Fig.3. Correlation of G_0 versus q_u

Οι συσχετίσεις αυτές αναφέρονται σε όλα τα εδαφικά υλικά που συναντώνται στις θέσεις έρευνας (συνεκτικά και μη συνεκτικά) και δίνεται μία έμφαση στα συνεκτικά εδάφη (αργίλους, μάργες). Γενικά παρατηρείται μία διαφοροποίηση των σχέσεων αυτών με εκείνες που έχουν προταθεί διεθνώς, που πιθανά να οφείλεται στην ιδιαιτερότητα των εδαφικών σχηματισμών του Ελληνικού χώρου αλλά και στο σχετικά περιορισμένο στατιστικό δείγμα που υπάρχει. Ο βαθμός απόκλισης αναμένεται να φανεί στο μέλλον με την προχώρηση της έρευνας σε όλα τα αντιπροσωπευτικά Ελληνικά εδάφη, με απώτερο σκοπό την τεκμηριωμένη και αξιόπιστη ταξινόμησή τους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, D. and Woods, R. 1975. "Comparison of Field and Laboratory Shear Moduli", Proceedings of the Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Geotechnical Engineering Division, ASCE, Raleigh, N. Carolina, June 1-4, 1975, Vol. 1, pp 69-92.

- Auld, B. 1977. "Cross-Hole and Down-Hole V_s by Mechanical Impulse", Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the ASCE, Vol. 103, No GT 12, Dec. 1977, pp. 1381-1398.
- Hoar, R. and Stokoe, K. 1978. "Generation and Measurement of Shear Waves In Situ", Dynamic Geotechnical Testing, ASTM-STP 654, 1978, pp. 3-29.
- Imai, T. 1975. "An Introduction to the Geophysical Prospectings for Civil Engineering Purposes", OYO Technical Notes, Oct. 1975.
- Imai, T. and Tonuchi, K. 1982. Correlation of N value with S Wave Velocity and Shear Modulus", Proceedings of Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, May 24-27.
- Mc Lamore, V., Anderson, D. and Espana, C. 1978. "Crosshole Testing Using Explosive and Mechanical Energy Sources", Dynamic Geotechnical Testing, ASTM STP 654, 1978, pp. 30-55.
- Stokoe, K. and Abdel - Razzak, K. 1975. "Shear Moduli of Two Compacted Fills", Proceedings of the Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Geotechnical Engineering Division, ASCE Raleigh, June 1-4, 1975, Vol. 1, pp. 422-449.
- Troncoso, J. 1982. "Wave Propagation Effects Induced by Standard Penetration Tests", Proceedings of Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, May 24-27, pp. 165-168.
- Wilson, S., Brown, F. and Schwarz, S. 1978. "In Situ Determination of Dynamic Soil Properties", Dynamic Geotechnical Testing ASTM STP 654, ASTM, 1978, pp.295-317.
- Ζερβογιάννης, Χ., Μπουκοβάλας, Γ., Χριστούλας, Στ. 1987. "Συσχετισμοί Μηχανικών Χαρακτηριστικών και Ταξινόμηση Εδαφικών Σχηματισμών", Δελτίο Κέντρου Ερευνών Δημοσίων Έργων, Νο 4, Οκτ.-Δεκ. 1987, σελ. 255-265.

EMPIRICAL CORRELATIONS BETWEEN CROSS-HOLE MEASUREMENTS AND SOIL MECHANICAL CHARACTERISTICS:

N. Sabatakakis, I. Vassiliou
Geologists, Geotechnical Engineering Section, C.L.P.W.

ABSTRACT

This paper presents measurements of shear wave velocity and dynamic shear moduli obtained by Cross-Hole method in various soil types of Greece. The measurements are compared with results from S.P.T. and unconfined compression tests, to establish empirical correlations for first order approximations.