

Εμπειρικές Συσχετίσεις Χαρακτηριστικών Αντοχής και Παραμορφωσιμότητας Διεπιφανειών Εδάφους – Κατασκευής με τον Αριθμό των Κρούσεων σε Ξηρές Άμμους

Empirical Correlation of the Strength and Deformability Characteristics of Soil–Structure Interfaces and SPT Results in Dry Sands

ΠΛΥΤΑΣ, Κ. Πολιτικός Μηχανικός, Dr. Ing., O.T.M. T.E.P.E.
ΧΛΙΜΙΝΤΖΑΣ Γ. Πολιτικός Μηχανικός, PhD, DIC, O.T.M. A.T.E.
ΓΚΙΤΖΕΝΗ, Ι. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, O.T.M. A.T.E.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Συναξιολογώντας βιβλιογραφικές αναφορές και εργαστηριακές δοκιμές προτείνονται εμπειρικές συσχετίσεις των βασικών μηχανικών χαρακτηριστικών αντοχής και παραμορφωσιμότητας διεπιφανειών κατασκευής-εδάφους συναρτήσεως του αριθμού των κρούσεων της δοκιμής πρότυπης διείδυσης σε ξηρές άμμους.

ABSTRACT : A correlation is proposed between the strength and deformability characteristics of soil-structure interfaces in dry sands and the respective number of blows exhibited in standard penetration tests. The presented correlation is based on the co-evaluation of related bibliography and the available results of laboratory tests.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δοκιμή Πρότυπης Διείδυσης αποτελεί μία πολύ διαδεδομένη επιτόπου δοκιμή για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών καθαρών αμμοδών σχηματισμών, δεδομένου ότι στα υλικά αυτά δεν είναι δυνατή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων λόγω έλλειψης συνοχής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση εμπειρικών συσχετίσεων μεταξύ της γωνιάς εσωτερικής αντίστασης και του «μέτρου παραμορφωσιμότητας» σε διάτμηση, διεπιφανειών κατασκευής-εδάφους σε κανονικά στερεοποιημένες ξηρές άμμους συναρτήσεως του αριθμού των κρούσεων της δοκιμής Πρότυπης Διείδυσης. Για το σκοπό αυτό ελήφθησαν υπόψη:

α) Εμπειρικές συσχετίσεις του αριθμού των κρούσεων, συναρτήσεως της κατακόρυφης τάσης σ_v και της σχετικής πυκνότητας D_r για λεπτές έως χονδρές άμμους που προτάθηκαν από τους Gibbs και Holtz (1957).

β) Εμπειρικές σχέσεις της γωνιάς εσωτερικής αντίστασης και του «μέτρου διάτμησης», συναρτήσεως του αρχικού πεδίου τάσεων και της

πυκνότητας, που προέκυψαν από δοκιμές απευθείας διάτμησης σε διεπιφάνειες κατασκευής – ξηρών άμμων (Plytas, 1985 και Plytas, 1994).

Τέλος έγινε συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη σύνθεση των (1) και (2) με βιβλιογραφικές αναφορές.

2. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΡΟΥΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Ελήφθησαν υπόψη τα εμπειρικά διαγράμματα των Gibbs και Holtz (1957) που δίδουν τη σχέση μεταξύ του αριθμού κρούσεων N και της σχετικής πυκνότητας D_r για διάφορες τάσεις σ_v , για χονδρές-μέσες έως λεπτές άμμους.

2.1 Χονδρές – Μέσες Άμμοι

Στο Σχήμα 1α φαίνεται το εμπειρικό διάγραμμα για χονδρές άμμους. Το υλικό που εξετάστηκε

ήταν χονδρή άμμος με $d_{50} \approx 1,8 \text{ mm}$ με $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 5$.

Οι Marcuson & Bieganousky (1977b) έκαναν δοκιμές SPT σε άμμους με:

α) $d_{50} \approx 0,4 \text{ mm}$, $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 3$ (Standard Concrete Sand), και

β) $d_{50} \approx 2 \text{ mm}$, $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 5$

επισημαίνοντας κάποιες διαφορές σχετικά με τους Gibbs και Holtz (1957).

Από τη συγκριτική όμως αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων από τους Holtz και Gibbs (1979) προκύπτει ότι οι σημειωθείσες διαφορές δεν είναι σημαντικές και οι προταθείσες από αυτούς συσχετίσεις περιγράφουν ικανοποιητικά, για συνήθεις εφαρμογές, τη συμπεριφορά μέσων έως χονδρών άμμων.

Στη συνέχεια, το διάγραμμα των Gibbs και Holtz (1957) λαμβάνεται ως αντιπροσωπευτικό

για μέσες έως χονδρές άμμους ($d_{50} \approx 0,42 \text{ mm} \div 2 \text{ mm}$).

2.2 Λεπτές Άμμοι

Στο Σχήμα 1β φαίνεται το εμπειρικό διάγραμμα για λεπτές άμμους.

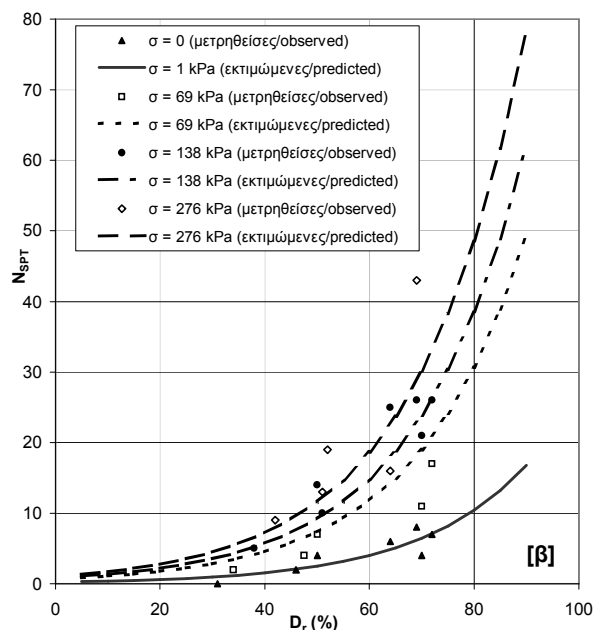
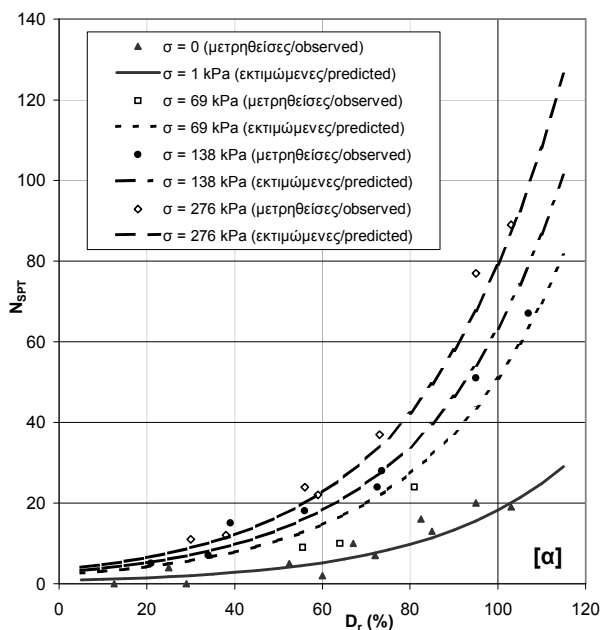
Το υλικό που εξετάστηκε ήταν λεπτή άμμος με 14% διερχόμενο από το κόσκινο No. 200.

Ανάλογα αποτελέσματα βρέθηκαν από τους Marcuson & Bieganousky (1977a) για λεπτή άμμο με $d_{50} = 0,25 \text{ mm}$, $d_{50} \approx 0,4 \text{ mm}$,

$\frac{d_{60}}{d_{10}} = 1,6$ (Reid-Bedford Model Sand).

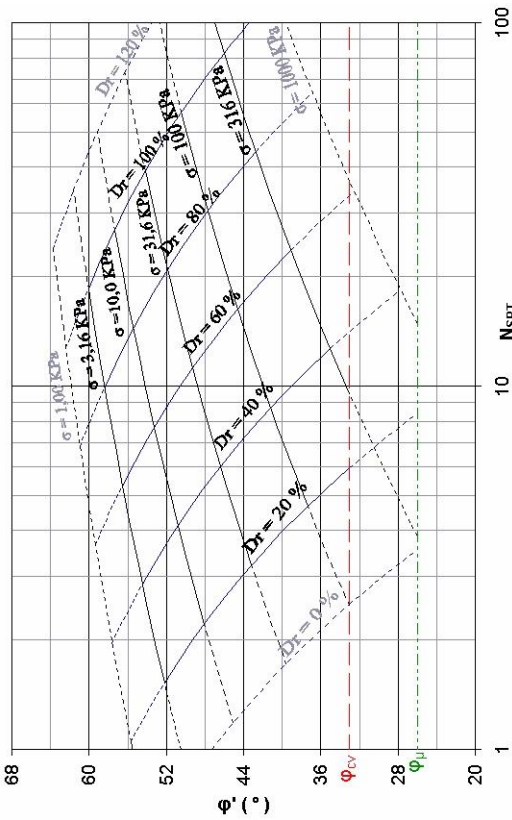
Παρόλο που οι διαφορές είναι μεγαλύτερες από ότι στην περίπτωση των μέσων έως χονδρών άμμων, εντούτοις κρίνονται μάλλον αμελητέες για τις συνήθεις εφαρμογές.

Κατά συνέπεια, το εμπειρικό διάγραμμα του Σχήματος 1β θεωρείται αντιπροσωπευτικό για λεπτές άμμους ($d_{50} \approx 0,10 \text{ mm} \div 0,42 \text{ mm}$).

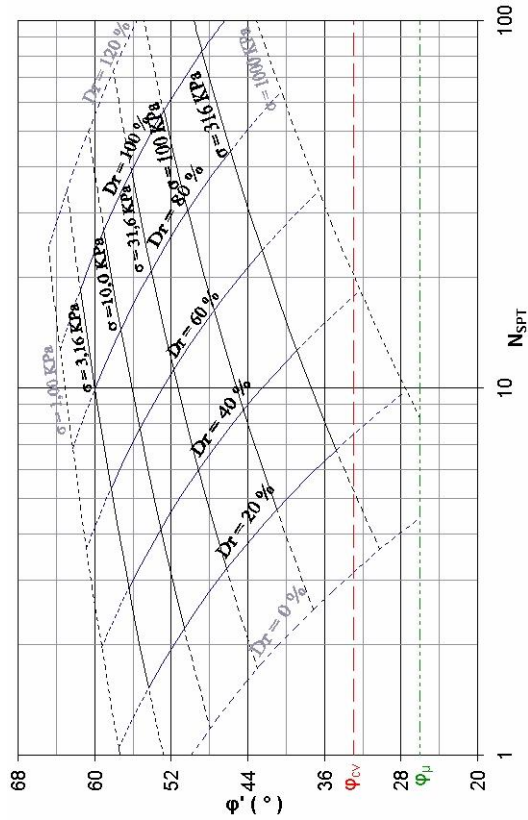


Σχήμα 1. Συσχέτιση σχετικής πυκνότητας (D_r) – αριθμού κρούσεων (N_{SPT}) σε χονδρές (Σχήμα 1α) και λεπτές (Σχήμα 1β) άμμους (κατά Gibbs & Holtz, 1957).

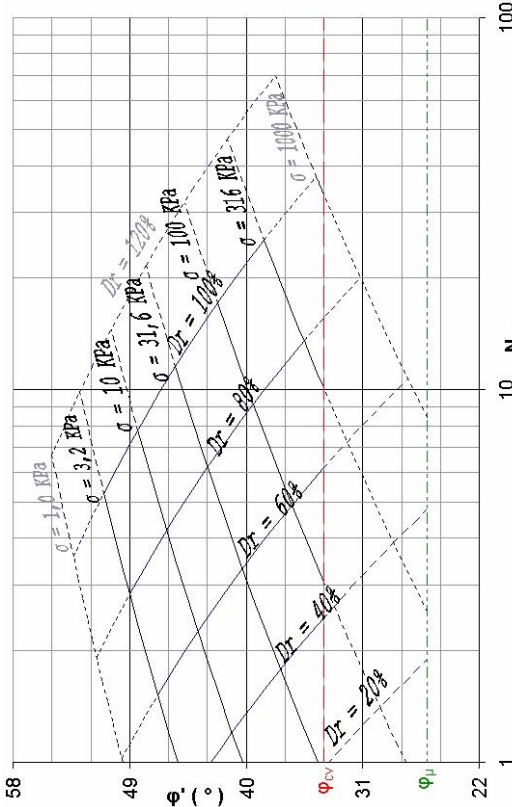
Figure 1: Correlation between relative density (D_r) and number of blows (N_{SPT}) in coarse sands (Figure 1a) and fine sands (Figure 1b) after Gibbs & Holtz (1957).



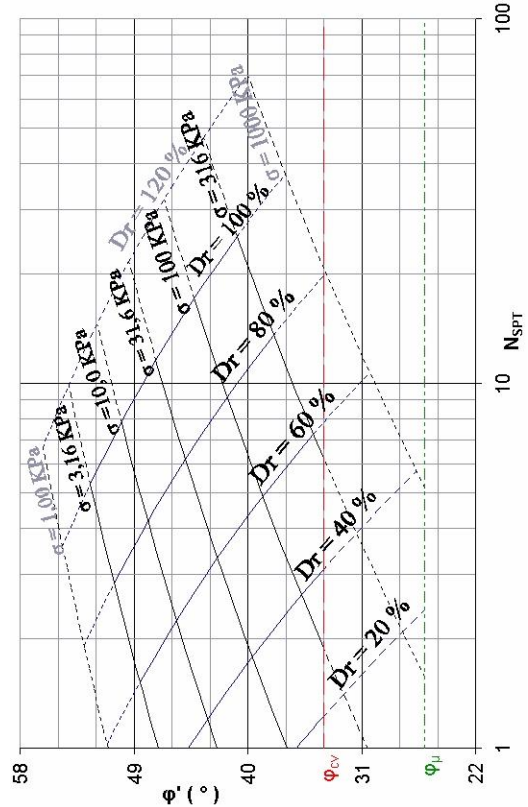
(α) χονδρή άμμος, οριζόντια διεπιφάνεια, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_o = 1$
coarse sand, horizontal interface, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_o = 1$



(γ) χονδρή άμμος, κατακόρυφη διεπιφάνεια $\sigma_n = \sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$, $k_o = 0.5$
coarse sand, vertical interface $\sigma_n = \sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$, $k_o = 0.5$

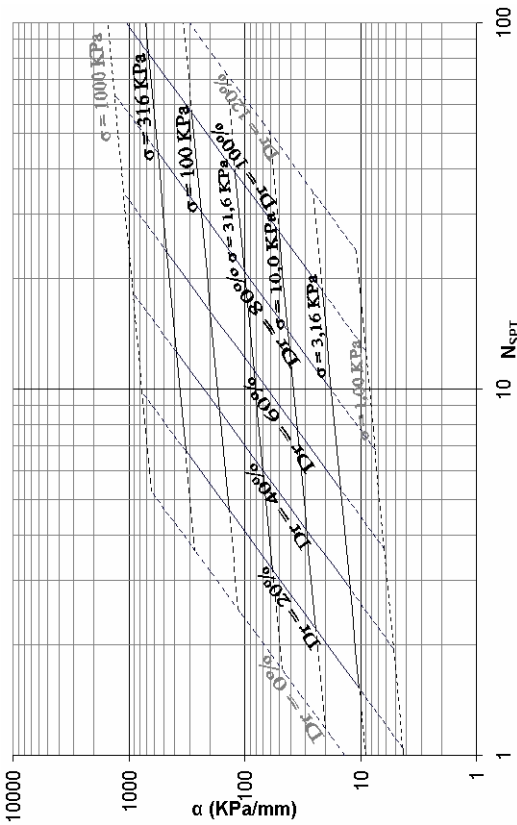


(β) λεπτή άμμος, οριζόντια διεπιφάνεια, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_o = 1$
fine sand, horizontal interface, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_o = 1$

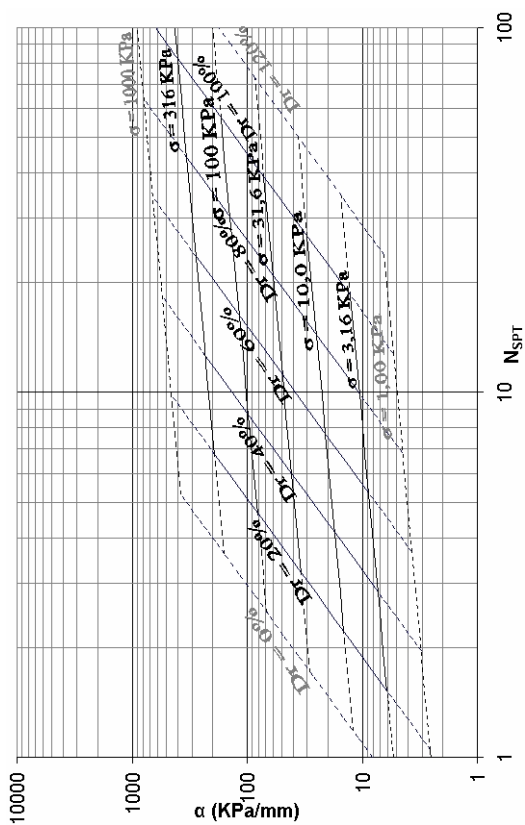


(δ) λεπτή άμμος, κατακόρυφη διεπιφάνεια $\sigma_n = \sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$, $k_o = 0.5$
fine sand, vertical interface $\sigma_n = \sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$, $k_o = 0.5$

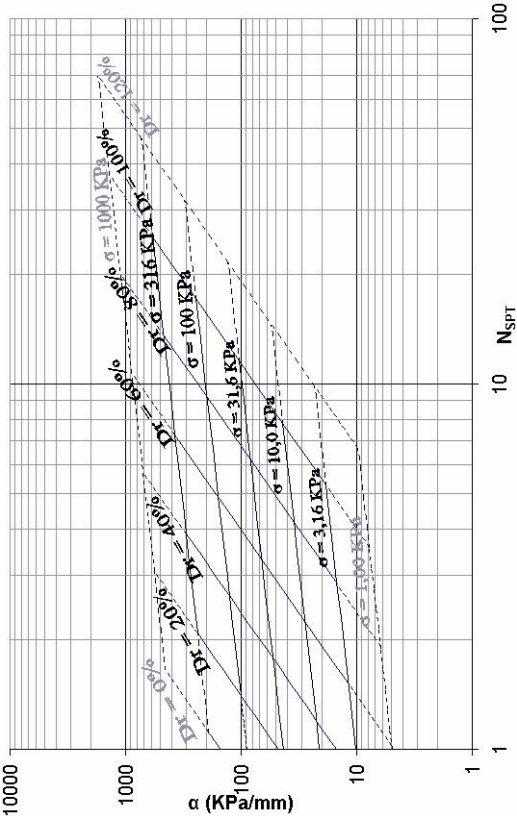
Σχήμα 2. Γωνία εσωτερικής αντίστασης ϕ' .
Figure 2. Angle of internal resistance ϕ' .



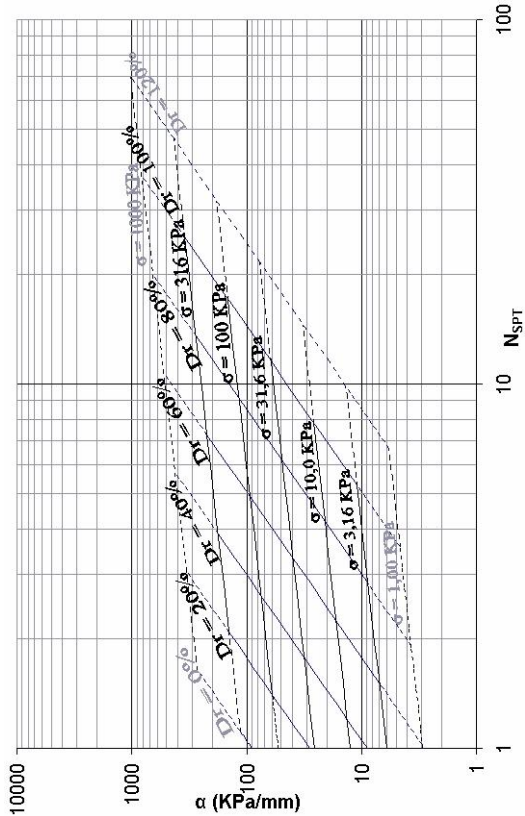
(α) χονδρή άμμος, οριζόντια διεπιφάνεια, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_0 = 1$
coarse sand, horizontal interface, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_0 = 1$



(γ) χονδρή άμμος, κατακόρυφη διεπιφάνεια $\sigma_n = \sigma_h = k_0 \cdot \sigma_v$, $k_0 = 0.5$
coarse sand, vertical interface $\sigma_n = \sigma_h = k_0 \cdot \sigma_v$, $k_0 = 0.5$



(β) λεπτή άμμος, οριζόντια διεπιφάνεια, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_0 = 1$
fine sand, horizontal interface, $\sigma_n = \sigma_v$, $k_0 = 1$



(δ) λεπτή άμμος, κατακόρυφη διεπιφάνεια $\sigma_n = \sigma_h = k_0 \cdot \sigma_v$, $k_0 = 0.5$
fine sand, vertical interface $\sigma_n = \sigma_h = k_0 \cdot \sigma_v$, $k_0 = 0.5$

Σχήμα 3. Αρχικό μέτρο διάτμησης α .
Figure 3. Initial shear modulus α .

3. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα απευθείας διάτμησης άμμων με τραχείες επιφάνειες στις οποίες ήταν κολλημένες άμμοι της ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης (Plytas, 1985). Πιο αναλυτικά, εξετάστηκαν δυο παράμετροι:

α) η γωνία εσωτερικής αντίστασης στην αιχμή (φ_{peak}), όπως βρέθηκε στα διαγράμματα διατμητικής τάσης (τ) – μετακίνησης (w), δοκιμών απευθείας διάτμησης με σταθερή κάθετη τάση (σ_n), και

β) το αρχικό «Μέτρο Διάτμησης» $\frac{d\tau}{dw}$ όπως

βρέθηκε στα διαγράμματα διατμητικής τάσης (τ) – μετακίνησης (w) δοκιμών απευθείας διάτμησης με σταθερή κάθετη τάση (σ_n).

Το μέτρο αυτό συμβολίζεται στη συνέχεια με α (Plytas, 1994) και εκφράζεται σε kPa/mm. Οι μετακινήσεις (w) προτιμήθηκαν, έναντι των παραμορφώσεων, γιατί εκφράζουν καλύτερα τα φαινόμενα (Plytas, 1985). Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ελήφθησαν υπόψη οι συσχετίσεις της φ_{peak} και του α (σε $\frac{kPa}{mm}$) με την κάθετη τάση σ_n και την αρχική πυκνότητα (μοναδιαίο ή φαινόμενο βάρος γ_0) του δείγματος, για δύο υλικά (Plytas, 1985 και Plytas, 1994).

Εκτιμάται ότι η αρχική πυκνότητα (ή αρχική σχετική πυκνότητα) είναι καλύτερη παράμετρος, διότι σε δοκιμές όπου κυριαρχεί η διάτμηση, σε κοκκώδη μέσα, αναπτύσσονται διατμητικές ζώνες (shear bands) στη μάζα του υλικού και στην περίπτωση αυτή ο ορισμός της πυκνότητας στο τέλος της δοκιμής είναι πολύ δύσκολος.

α) Μέση Άμμος. Πρόκειται για χαλαζιακή άμμο του Hostun με $d_{50} \approx 0,7$ mm, $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 1,70$, $\gamma_{min} \approx 13,80$ kN/m³ και $\gamma_{max} \approx 17,20$ kN/m³. Στην περίπτωση αυτή για αρχική κάθετη τάση σ_{n0} και γ_0 ισχύουν:

$$\text{tg } \varphi_{peak} = 0,7 - 0,35 * \log \left(\frac{\sigma_{n0}}{\sigma_{\psi}} \right) \quad (1)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sigma_{\psi}} \right) (\text{mm}^{-1}) = 2 * \left(\frac{\sigma_{n0}}{\sigma_{\psi}} \right)^{0,78} \quad (2)$$

$$(\gamma_0 - 9,71) / 2,13 = \log \sigma_{\psi} \quad (3)$$

όπου γ_0 σε kN/m³ και σ_{ψ} σε kPa.

Από τις σχέσεις (1), (2), (3) για αρχικές συνθήκες (σ_{n0} και γ_0) προκύπτουν οι φ_{peak} και α (kPa/mm) με τη βοήθεια της «ψευδοκρίσιμης» τάσης σ_{ψ} .

β) Λεπτή άμμος. Πρόκειται για τη χαλαζιακή άμμο του Hostun με: $d_{50} \approx 0,3$ mm, $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 1,70$,

$\gamma_{min} \approx 13,20$ kN/m³ και $\gamma_{max} \approx 17,20$ kN/m³. Στην περίπτωση αυτή ισχύουν:

$$\text{tg } \varphi_{peak} = 0,645 - 0,218 * \log \left(\frac{\sigma_{n0}}{\sigma_{\psi}} \right) \quad (4)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\sigma_{\psi}} \right) (\text{mm}^{-1}) = 1,23 * \left(\frac{\sigma_{n0}}{\sigma_{\psi}} \right)^{0,75} \quad (5)$$

$$(\gamma_0 - 10,4) / 2,07 = \log \sigma_{\psi} \quad (6)$$

όπου γ_0 σε kN/m³ και σ_{ψ} σε kPa.

4. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΤΩΝ φ' , α ΜΕ ΤΙΣ ΑΡΧΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Τα πειραματικά δεδομένο που δίδονται από τους Gibbs και Holtz (1957) προσεγγίζονται ικανοποιητικά από σχέσεις της μορφής:

$$\log_{10} N = A + B \cdot \log \sigma_n + \Gamma \cdot D_r \quad (7)$$

όπου, για χονδρές έως μέσες άμμους:

$$A_1 = -0,250, B_1 = 0,014, \Gamma_1 = 0,324 (r^2=0,97)$$

ενώ για λεπτές άμμους:

$$A_1 = -0,803, B_1 = 0,021, \Gamma_1 = 0,340 (r^2=0,81)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1), (3), (4), (7) και κάνοντας χρήση των σχέσεων που συνδέουν την αρχική σχετική πυκνότητα (D_{r0}) με το αντίστοιχο μοναδιαίο (φαινόμενο) βάρος γ_0 , προκύπτουν τα διαγράμματα που συνδέουν τη γωνία εσωτερικής αντίστασης φ' με τον αριθμό των κρούσεων (Σχήματα 2α, 2β, 2γ, 2δ).

Στα διαγράμματα αυτά ελήφθη υπόψη ο προσανατολισμός της διεπιφάνειας. Τα Σχήματα 2α, 2β αντιστοιχούν σε οριζόντια διεπιφάνεια: $\sigma_n = \sigma_v$, $k_o = 1$, ενώ τα Σχήματα 2γ, 2δ σε κατακόρυφη: $\sigma_n = \sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$, $k_o = 0,5$.

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1), (2), (4), (5), (7) και κάνοντας χρήση των σχέσεων που συνδέουν την αρχική σχετική πυκνότητα (D_{r0}) με το αντίστοιχο μοναδιαίο (φαινόμενο) βάρος γ_0 , προκύπτουν τα διαγράμματα που συνδέουν το αρχικό μέτρο διάτμησης α με τον αριθμό των κρούσεων (Σχήματα 3α, 3β, 3γ, 3δ).

Στα διαγράμματα αυτά ελήφθη υπόψη ο προσανατολισμός της διεπιφάνειας όπως προηγουμένως.

5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

5.1 Γωνία εσωτερικής αντίστασης.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετοί συσχετισμοί της γωνίας εσωτερικής αντίστασης ϕ' με τις κρούσεις σε κοκκώδη. Εντούτοις όμως δεν καθίσταται συνήθως σαφές σε ποια γωνία ϕ' αναφέρονται, δεδομένου ότι η γωνία ϕ' εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της δοκιμής (τριαξονική δοκιμή σε θλίψη ή σε εφελκυσμό, επίπεδη παραμόρφωση σε θλίψη ή σε εφελκυσμό, απευθείας διάτμηση, απλή διάτμηση κ.ο.κ, Marcuson και Bieganoushy, 1977a).

Οι συνήθεις συσχετίσεις στη βιβλιογραφία δίδουν με αναλυτικούς τύπους τη γωνία ϕ' συναρτήσεως του αριθμού των κρούσεων N , αγνοώντας συνήθως τόσο το πεδίο των τάσεων όσο και την πυκνότητα (Χριστούλας, 1990), π.χ. κατά Dunham: $\phi = \sqrt{12N} + 25$, ή κατά Osahi: $\phi = \sqrt{20N} + 15$. Επιπλέον δεν λαμβάνεται υπ' όψιν ο τύπος της άμμου.

Η πλέον διαδεδομένη συσχέτιση στη βιβλιογραφία είναι των Peck et al. (1974) στην οποία αν και λαμβάνεται υπ' όψιν η πυκνότητα, εντούτοις αγνοείται η επιρροή του τασικού πεδίου και του είδους της άμμου.

Η πλέον ολοκληρωμένη συσχέτιση είναι το διάγραμμα του Schmertman (1975) όπου δίδονται καμπύλες μεταβολής της γωνίας ϕ' (σε τριαξονική θλίψη) συναρτήσεως της κατακόρυφης τάσης σ'_{v0} και του αριθμού των κρούσεων. Ο ρόλος της πυκνότητας προκύπτει έμμεσα. Εν τούτοις όμως αγνοείται ο τύπος του υλικού (π.χ. λεπτές-χονδρές άμμοι) ενώ συνήθως χρησιμοποιείται για όλες τις άμμους.

5.2 Μέτρο παραμορφωσιμότητας.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν εμπειρικές συσχετίσεις του μέτρου «παραμορφωσιμότητας» E (που σχετίζεται μάλλον με το μέτρο ελαστικότητας) με τον αριθμό των κρούσεων. Ενδεικτι-

κά αναφέρονται οι εμπειρικές σχέσεις των Τάσιου και Αναγνωστόπουλου (1974) της μορφής $E = \alpha N + \beta$ που δίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για συνήθεις εφαρμογές, ενώ φαίνεται η επιρροή του είδους της άμμου.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται η γωνία ϕ_{peak} στην αιχμή και το αρχικό μέτρο διάτμησης α στα διαγράμματα διατμητικής τάσης τ – μετακίνησης w , σε δοκιμές απευθείας διάτμησης σε άμμους-τραχείες διεπιφάνειες. Τα αποτελέσματα είναι ποιοτικά όμοια με αυτά των δοκιμών απευθείας διάτμησης σε άμμους, ενώ εκτιμάται ότι, χονδροειδώς, είναι ποιοτικά όμοια με αυτά άλλων τύπων δοκιμών.

Στην παρούσα εργασία φαίνεται ότι οι συσχετισμοί μεταξύ ϕ_{peak} , α συναρτήσεως του αριθμού κρούσεων N επηρεάζονται από την αρχική κάθετη τάση σ_{v0} , την αρχική σχετική πυκνότητα D_r (ή αρχική πυκνότητα), το είδος της άμμου (π.χ. λεπτή, χονδρή), τον συντελεστή οριζοντίων ωθήσεων k_0 (κατακόρυφη ή οριζόντια διεπιφάνεια).

Πρόσθετες παράμετροι, όπως λόγος προστερεοποίησης OCR, συντελεστής ομοιομορφίας $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$, σχήμα και τραχύτητα κόκκων

(βλ. Kulhawg & Mayne, 1990 και Marcuson & Bieganoushy, 1977a), έχει βιβλιογραφικά αναφερθεί ότι υπεισέρχονται στη μορφή συσχέτισης μεγεθών αντίστοιχων αυτών που συσχετίζονται στην παρούσα εργασία. Εντούτοις βασικές παράμετροι του προβλήματος παραμένουν το αρχικό τασικό πεδίο και η αρχική πυκνότητα.

Οι προτεινόμενες συσχετίσεις, αν και αποτελούν χονδροειδείς προσεγγίσεις του προβλήματος, δείχνουν ποιοτικά την επιρροή των βασικών παραμέτρων, η αγνόηση των οποίων οδηγεί συνήθως στην εισαγωγή εμπειρικών συντελεστών (π.χ. διορθώσεις λόγω βάθους).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

Από την συναξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών πρότυπης διείδυσης και των εργαστηριακών δοκιμών απευθείας διάτμησης προκύπτει ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά αντοχής και παραμορφωσιμότητας των διεπιφανειών, σε μονότονη φόρτιση, σε ξηρές άμμους εξαρτώνται κυρίως από το αρχικό πεδίο τάσεων και την αρχική σχετική πυκνότητα. Το μέγεθος των κόκκων φαίνεται ότι επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα.

Δεν υπάρχει ενιαίος νόμος για όλα τα υλικά διότι υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι (ό-

πως OCR, μορφή κοκκομετρικών καμπυλών, σχήμα και τραχύτητα κόκκων). Εντούτοις είναι δυνατή η ομαδοποίηση διαφόρων υλικών για πρακτικές εφαρμογές. Οι προτεινόμενες συσχετίσεις, αν και αποτελούν χονδροειδείς εκτιμήσεις, βοηθούν στην κριτική αξιολόγηση και ορθότερη χρήση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας αναλόγως με την περίπτωση.

7. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- N : αριθμός κρούσεων σε δοκιμή πρότυπης διείδυσης (SPT)
 σ_v : κατακόρυφη τάση
 σ_{vo} : αρχική κατακόρυφη τάση
 σ_n : κάθετη τάση
 σ_{no} : αρχική κάθετη τάση
 γ_{min} : ελάχιστη πυκνότητα υλικού
 γ_{max} : μέγιστη πυκνότητα υλικού
 τ : διατμητική τάση
 K_o : συντελεστής οριζοντίων ωθήσεων γαιών
OCR : λόγος προστερεοποίησης
 w : οριζόντια σχετική μετακίνηση
 γ : μοναδιαίο (φαινόμενο) βάρος
 γ_o : αρχικό μοναδιαίο (φαινόμενο) βάρος
 σ_ψ : «ψευδοκρίσιμη» τάση
 D_r : σχετική πυκνότητα
 D_{ro} : αρχική σχετική πυκνότητα
 ϕ' : γωνία εσωτερικής αντίστασης αιχμής (peak) ανεξαρτήτως δοκιμής
 ϕ_{peak} : γωνία εσωτερικής αντίστασης αιχμής (peak) από δοκιμές απευθείας διάτμησης
 α : αρχική κλίση $\left(\frac{d\tau}{dw}\right)$ διαγράμματος $\tau - w$ δοκιμής απευθείας διάτμησης
E : μέτρο παραμορφωσιμότητας
 ϕ_{cv} : γωνία εσωτερικής αντίστασης (υπό σταθερό όγκο)
 C_u : συντελ. ομοιομορφίας = $\frac{d_{60}}{d_{10}}$

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Gibbs, H., Holtz, W. (1957), "Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing", Proceedings, Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, England, vol. 1.
Holtz, W., Gibbs, H. (1979), Discussion of "SPT and Relative Density in Coarse Sands". Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 105, No. GT3, March, pp 439-441.

- Kulhawg, F., Mayne, P. (1990), "Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design". EPRI Research Project 1493-6, Final Report, August 1990.
Marcuson, W., Bieganoushy, W. (1977a), "Laboratory Standard Penetration Tests on Fine Sands". Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, No. GT6, June, pp. 565-588.
Marcuson, W., Bieganoushy, W. (1977b), "SPT and Relative Density in Coarse Sands". Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, No. GT11, November, pp. 1295-1309.
Peck, R., Hanson, W. and Thornburn, T. (1974), 'Foundation Engineering, 2nd Ed.', John Willey & Sons, New York.
Plytas C. (1985), "Contribution à l' Etude Experimentale et Numérique des Interfaces Sols Granulaires-Structures. Application à la Prevision du Frottement Lateral des Pieux" Thèse de Docteur Ingénieur, ENSH Grenoble.
Plytas C. (1994), "Experimental and Numerical Study of Soil-Structure Interfaces. Application to the Prediction of Skin Friction along Piles in Sands". Proceedings of the 8th European Young Geotechnical Engineers Conference, 5-9 Sept., Stará Lesná (Slovak Republic).
Schmertmann, J. (1975), "Measurement on In-Situ Shear Strength" Proceedings, ASCE. Specialty Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties, Voliz, Raleigh, pp. 57-138 (closure: pp 175-179).
Tassios, T., Anagnostopoulos, A. (1974), "Penetration Testing in Greece", State-of-the art report, Proc. 1st Europ. Symp. On Penetration Testing, Stockholm, vol. 1, pp. 65-68.
Χριστούλας, Σ. (1990), «Επιλογές Εφαρμοσμένης Γεωτεχνικής Μηχανικής», Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα, σελ. 74.