

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ - ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ και μέτρα ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

1. Σχεδιασμός έναντι Ρευστοποίησης

- + Καθιζήσεις
- + Οριζόντια εξάπλωση (lateral spreading)
- + Απομένουσα διατμητική αντοχή

2. Βελτίωση του Εδάφους έναντι Ρευστοποίησης

- + Βαθιά εδαφική ανάμιξη
- + Επιφανειακή συμπύκνωση
- + Βαθεία δονητική συμπύκνωση
- + Χαλικοπάσσαλοι - Στραγγιστήρια

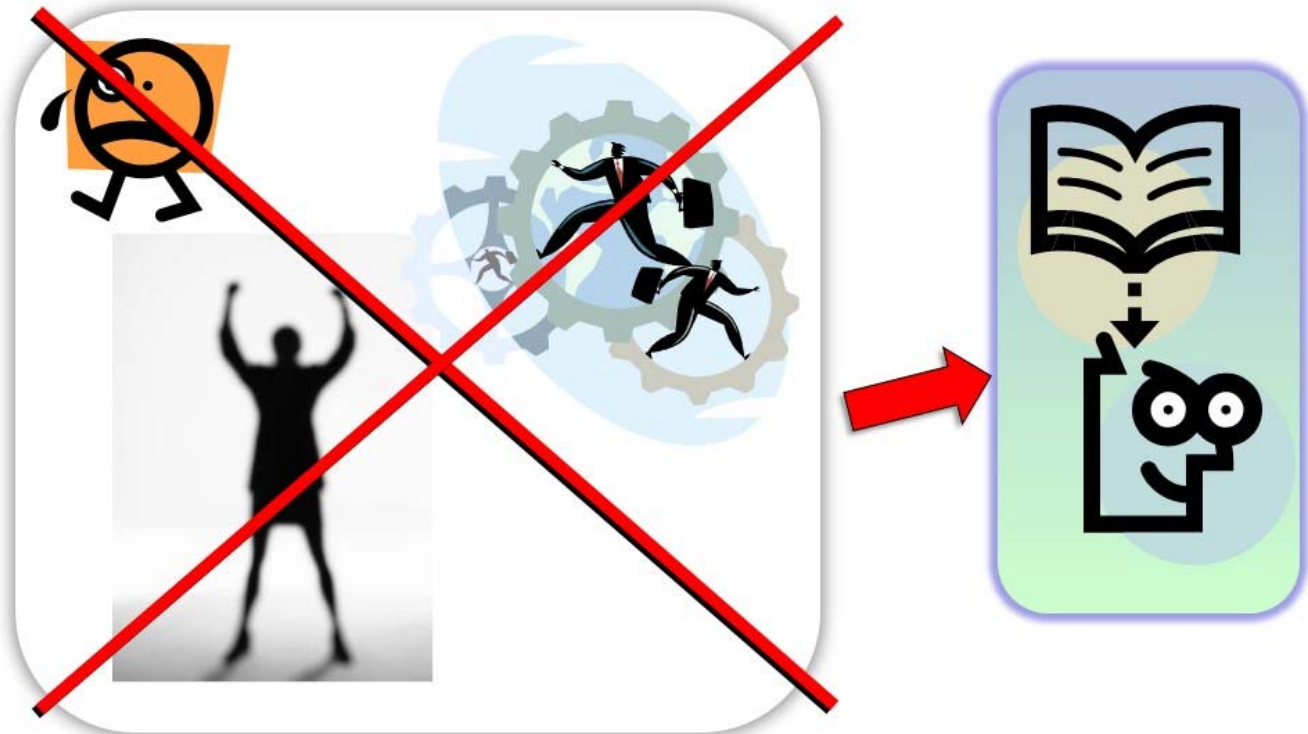
3. Παράδειγμα: Βελτίωση Εδάφους με Χαλικοπασσάλους -Στραγγιστήρια

4. Ασκήσεις

Πρόσθετη βιβλιογραφία:

- + Steven Kramer: Κεφάλαιο 9 [9.3, 9.4 (εκτός 9.4.3), 9.5.3.1, 9.6]
- + Γιώργος Γκαζέτας: Κεφάλαιο 3 (β' Μέρος)

Ρευστοποίηση ! Και τώρα τι κάνουμε:

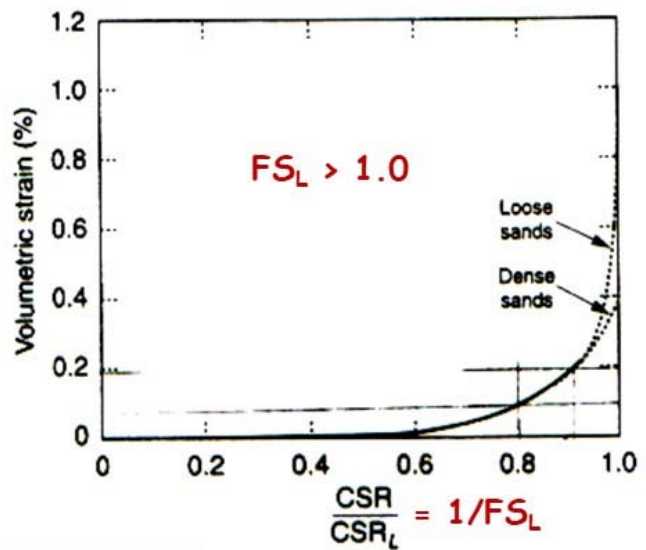
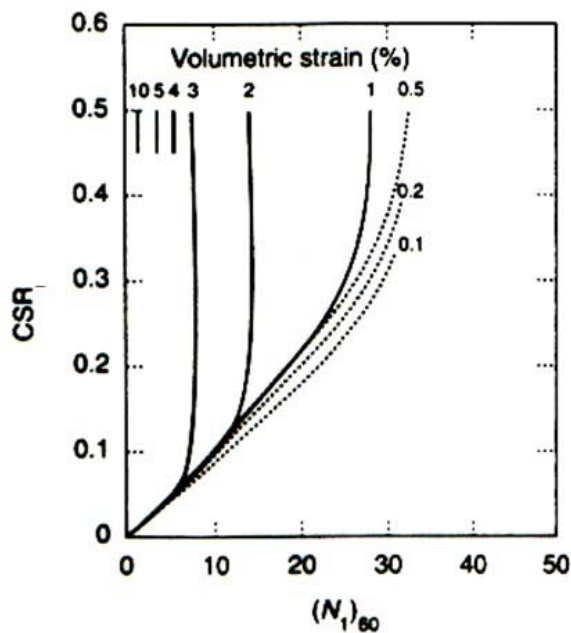


Πορεία αντισεισμικού σχεδιασμού

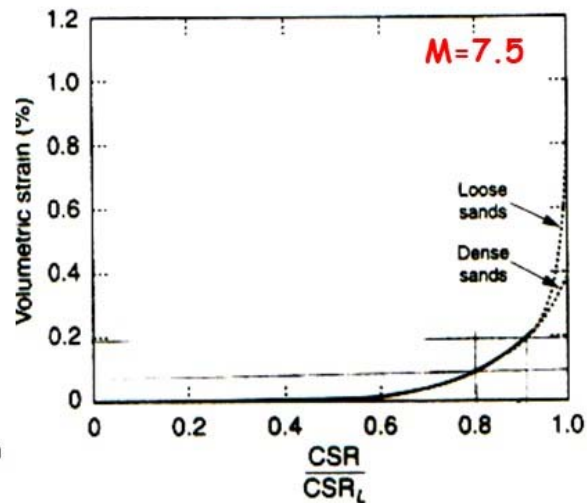
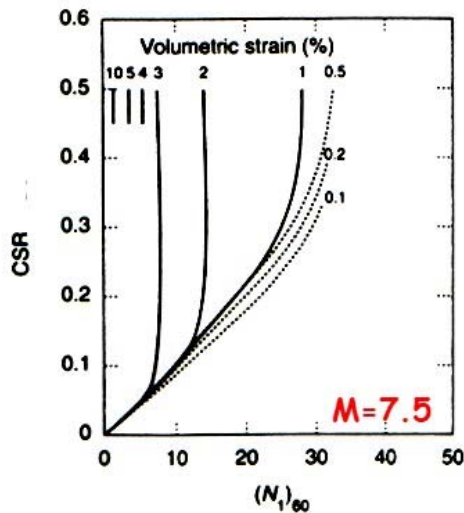
- ✚ Οι συνέπειες της ρευστοποίησης μπορεί να είναι από απλά ενοχλητικές (καθίζηση εδάφους) έως καταστροφικές (lateral spreading, αστοχία πρανών, μείωση της Φ .Ι. Θεμελιώσεων, αστοχία τοίχων αντιστήριξης, ..).
- ✚ Αφού βεβαιωθούμε για τον κίνδυνο ρευστοποίησης, θα πρέπει να εκτιμήσουμε ποσοτικά τις συνέπειες της ρευστοποίησης στα τεχνικά έργα, και συγκεκριμένα να προβούμε (κατά περίπτωση) σε εκτίμηση
 - των καθιζήσεων & των οριζόντιων μετακινήσεων,
 - της παραμένουσας διατμητικής αντοχής του ρευστοποιημένου εδάφους,
 - της μειωμένης Φ .Ι. Θεμελιώσεων,
 - της ευστάθειας πρανών.
- ✚ Στην περίπτωση (και **μόνον**) που οι ανωτέρω έλεγχοι αποβούν αρνητικοί, θα πρέπει επιπλέον να λάβουμε μέτρα αποτροπής της ρευστοποίησης (π.χ. συμπύκνωση εδάφους ή επιτάχυνση της στράγγισης) ή αποτροπής των συνεπειών της ρευστοποίησης (π.χ. θεμελίωση με πασσάλους, αντιστήριξη πρανών).

8.1.1 Υπολογισμός ΚΑΘΙΣΗΣΕΩΝ μετά από ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Tokimatsu & Seed (1987)

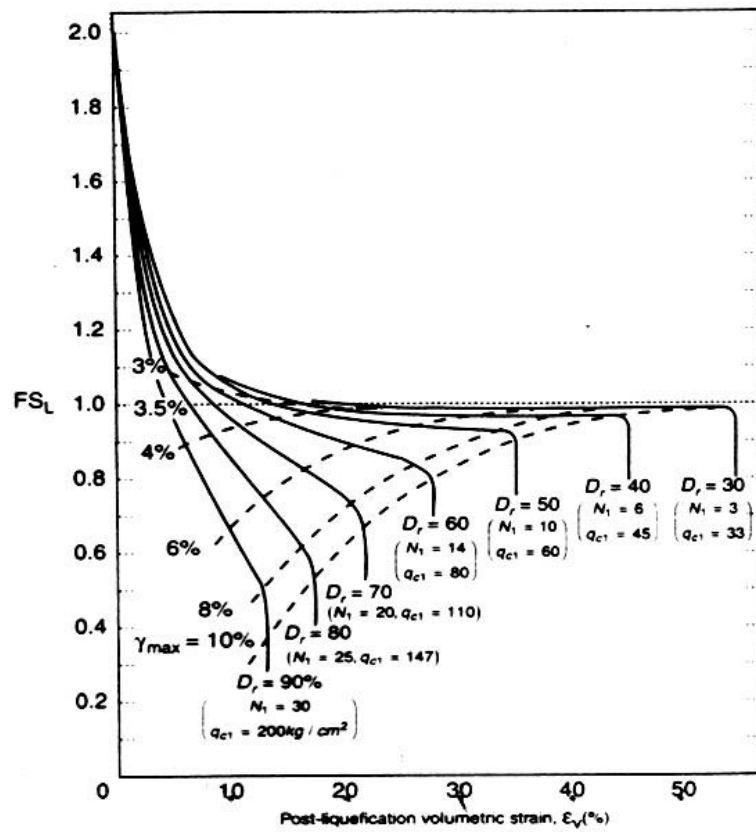


M = 7.5



Διόρθωση για
μέγεθος σεισμού
 $M \neq 7 \frac{1}{2}$

M	Αριθμός κύκλων	CSR_M/CSR
5 $\frac{1}{4}$	2~3	1.50
6	5~6	1.32
6 $\frac{3}{4}$	10	1.13
7 $\frac{1}{2}$	15	1.00
8 $\frac{1}{2}$	26	0.89



$$N_1 = (N_1)_{60} / (ER_m/60)$$

8.1.2 Υπολογισμός οριζόντιων μετακινήσεων λόγω ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ...

Hamada (1999)

✚ **Επικλινές έδαφος**

$$D_H = \frac{0.0125 \cdot H^{0.5} \cdot \vartheta}{\bar{N}^{0.88}} \cdot \sum \alpha_i^{0.48} t_i$$

D_H (m)	Οριζόντια εδαφική μετατόπιση
H (m)	Πάχος ρευστοποιημένου στρώματος
ϑ (%)	Κλίση της εδαφικής επιφάνειας
$\bar{N}$	Μέση τιμή διορθωμένου αριθμού κρούσεων $(N_1)_{60}$
α_i (m/s ²)	Μέση επιτάχυνση στο i τμήμα της χρονο-ιστορίας των επιταχύνσεων (στην βάση της άμμου)
t_i (s)	Διάρκεια του i τμήματος της χρονο-ιστορίας των επιταχύνσεων (μετά την ρευστοποίηση)

Youd et al (2002)

✚ *Επικλινές έδαφος*

$$\log D_H = -16.213 + 1.532 M_W - 1.406 \log R^* - 0.012 R + 0.338 \log S \\ + 0.54 \log T_{15} + 3.413 \log (100 - F_{15}) - 0.795 \log [(D_{50})_{15} + 0.10 \text{mm}]$$

✚ *Οριζόντιο έδαφος με αναβαθμό*

$$\log D_H = -16.713 + 1.532 M_W - 1.406 \log R^* - 0.012 R + 0.592 \log W \\ + 0.54 \log T_{15} + 3.413 \log (100 - F_{15}) - 0.795 \log [(D_{50})_{15} + 0.10 \text{mm}]$$

✚ *Ορισμός Μεγεθών*

	Μονάδες	Ορισμός
D_H	m	Πλευρική μετατόπιση του εδάφους
M_W	-	Μέγεθος του σεισμού στην κλίμακα Richter (δεδομένα για $M \geq 6.4$)
R	km	(Οριζόντια) επικεντρική απόσταση
T_{15}	m	Συνολικό πάχος μη συνεκτικών εδαφικών στρώσεων με $(N_l)_{60} < 15$
F_{15}	%	Μέση τιμή του ποσοστού ιλύος στις ανωτέρω εδαφικές στρώσεις
$(D_{50})_{15}$	mm	Μέση τιμή της κοκκομετρικής διαμέτρου D_{50} στις ανωτέρω εδαφικές στρώσεις
S	%	Μέση κλίση της επιφάνειας του εδάφους
W	%	$(H/L) \times 100$, όπου H το ύψος του αναβαθμού και L είναι η απόσταση του σημείου ελέγχου από τον αναβαθμό

και $R^* = R + 10^{[0.89M - 5.64]}$

✚ **Επικλινές έδαφος**

$$D_H = 2.1 \left(\frac{a_{mean}}{g} \right)^{0.5} \underbrace{\left[T(N_{cyc} - N_L) \right]^{0.8} \left[(N_{1,60})_{CS} \right]^{-1.0}}_{t_{eq}} [H_{tot}] [\tan(i)]^{0.5} (1 - FC)^{3.0}$$

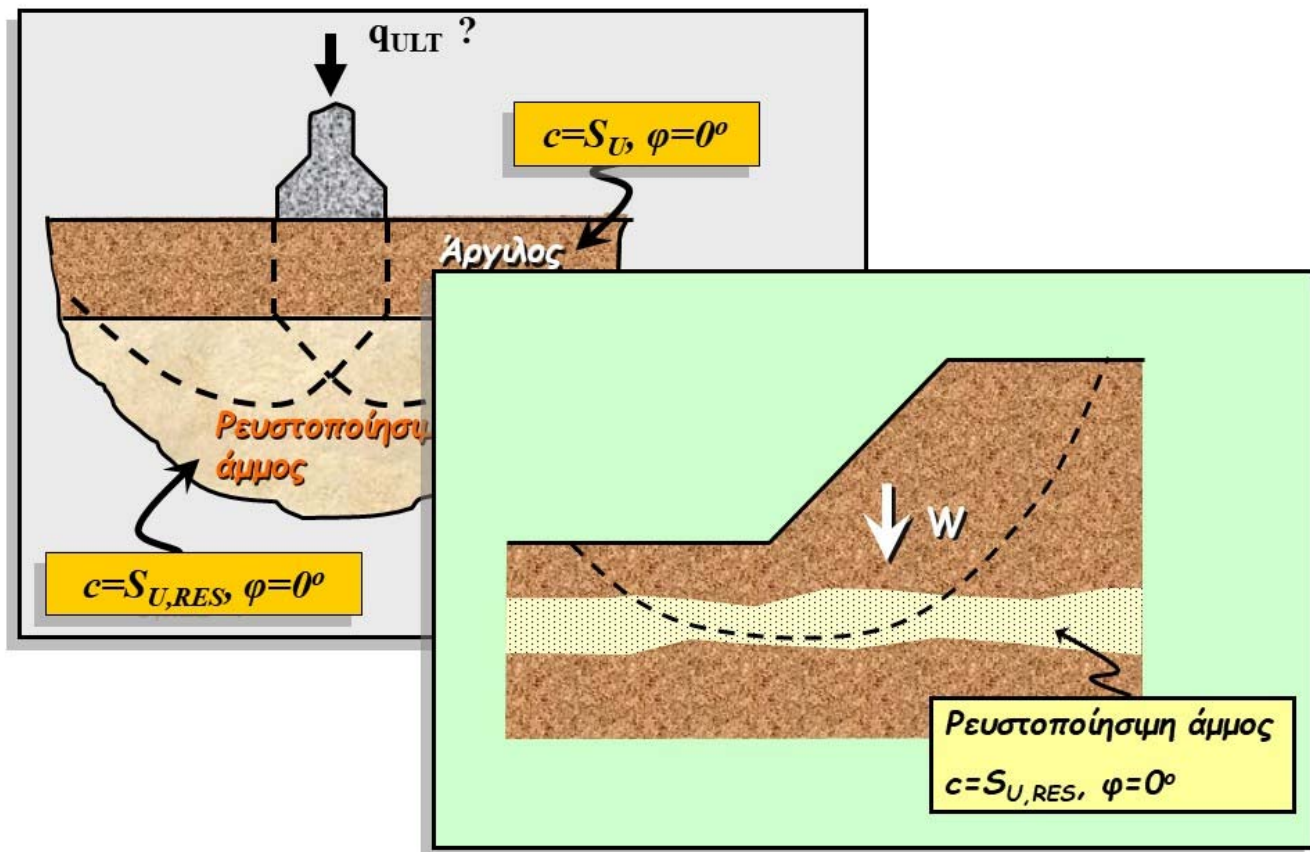
✚ **Οριζόντιο έδαφος με αναβαθμό**

$$D_H = 0.035 \left(\frac{a_{mean}}{g} \right)^{0.44} \underbrace{\left[T(N_{cyc} - N_L) \right]^{1.15} \left[(N_{1,60})_{CS} \right]^{-0.54}}_{t_{eq}} [H_{tot}]^{0.64} W^{0.33} H_{face}^{0.60} (1 - FC)^{9.0}$$

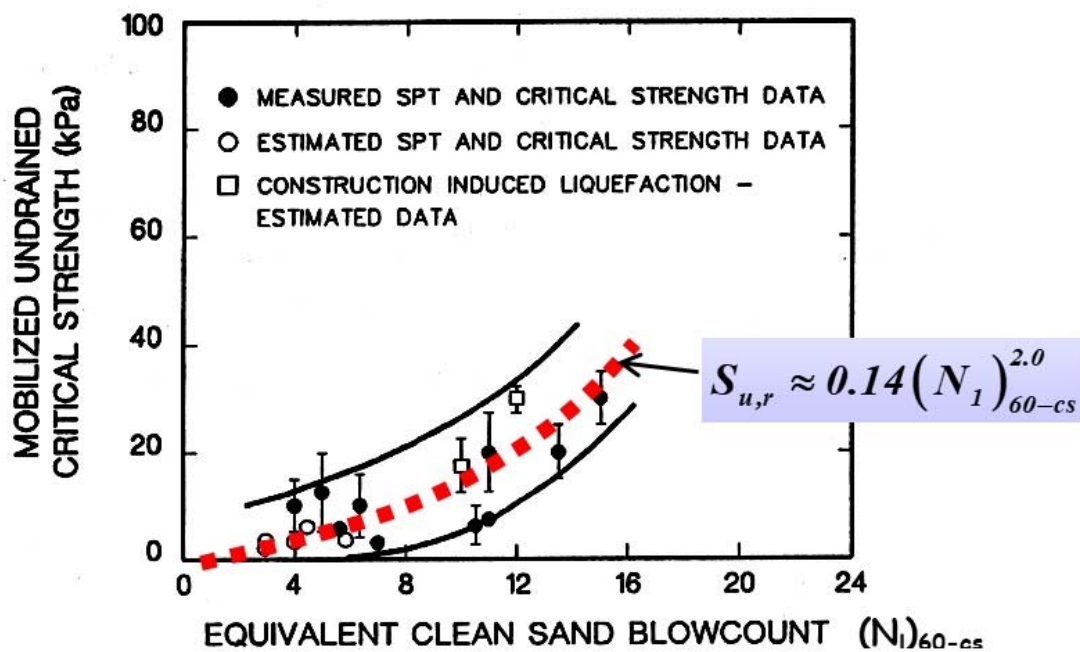
✚ **Ορισμός Μεγεθών**

	Μονάδες	Ορισμός
D_H	m	Πλευρική μετατόπιση του εδάφους
a_{mean}	m/s ²	Μέση επιτάχυνση του σεισμού
T	sec	Ιδιοπερίοδος της σεισμικής δόνησης
N_{cyc}	-	Αριθμός σημαντικών κύκλων δόνησης
N_L	-	Αριθμός κύκλων δόνησης μετά τη ρευστοποίηση
$(N_{1,60})_{CS}$	-	Διορθωμένος αριθμός κρούσεων SPT
H_{tot}	m	Το συνολικό βάθος των στρώσεων που ολισθαίνουν
i	deg	Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους
FC	-	Ποσοστό λεπτόκοκκων
W	-	Ο λόγος του ύψους του αναβαθμού H_{face} προς την απόσταση L του σημείου ελέγχου από τον «πόδα» του αναβαθμού
H_{face}	m	Ύψος αναβαθμού

8.1.3 Υπολογισμός ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ



Seed & Harder (1990)

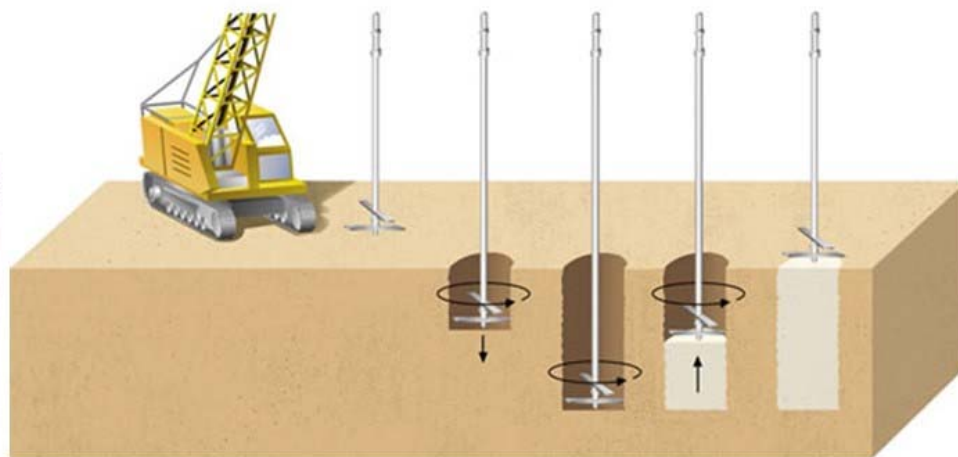


αλλά και
Stark & Mesri, (1992)

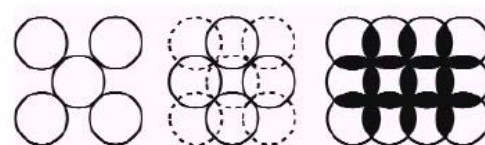
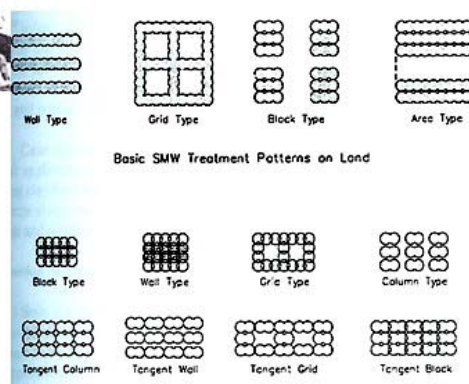
$$S_{u,r} > 0.0055 \sigma'_{vo} (N_1)_{60-CS}$$

8.2.1 Βαθιά εδαφική ανάμιξη με υλικά «σταθεροποίησης» (π.χ. τσιμέντο ή μπεντονίτη)

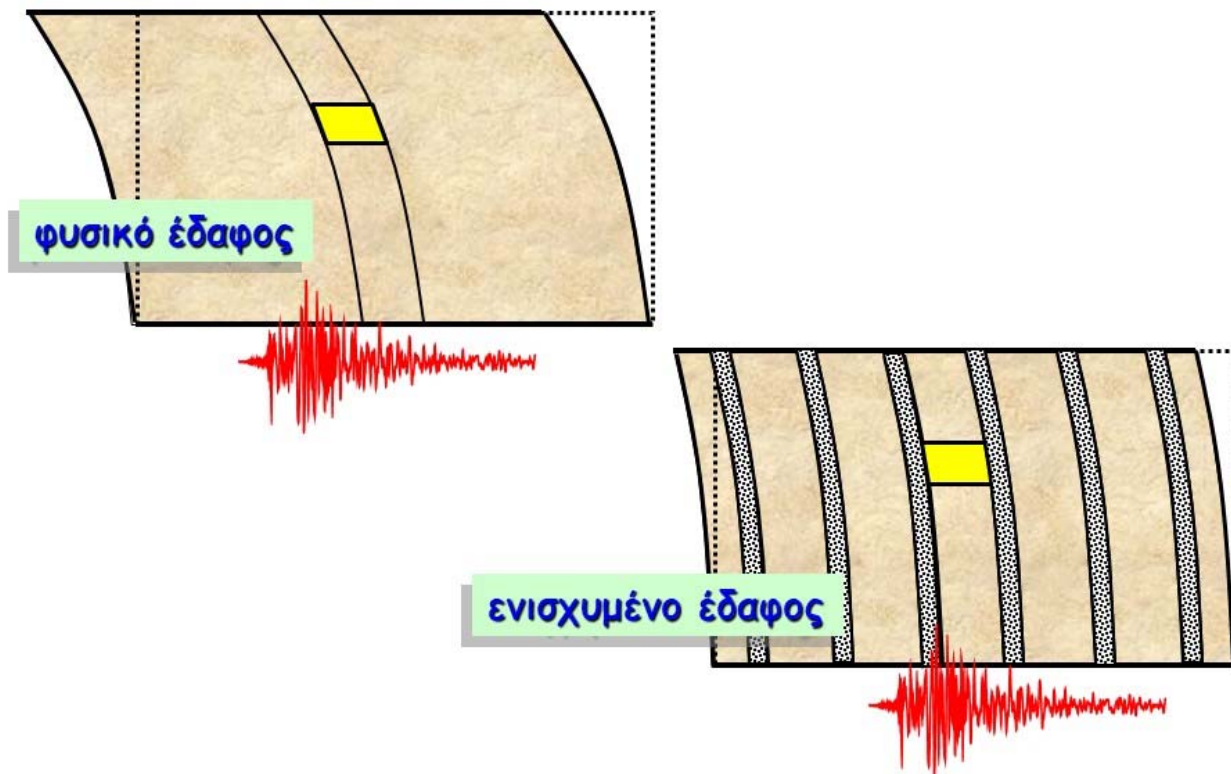
Μηχανισμός	Συνήθεις Μέθοδοι Ενίσχυσης-Βελτίωσης
Μείωση της διατμητικής παραμόρφωσης που επιβάλλει ο σεισμός	✚ Διαφραγματικοί τοίχοι ✚ Βαθιά Εδαφική Ανάμιξη  ✚ κλπ
Αύξηση της πυκνότητας του εδάφους	✚ Επιφανειακή συμπίκνωση ✚ Βαθιά δονητική συμπίκνωση ✚ Βαθιά δονητική αντικατάσταση
Διευκόλυνση της ταχείας αποτόνωσης των υδατικών υπερ-πιέσεων ...	✚ Χαλικοπάσσαλοι - στραγγιστήρια



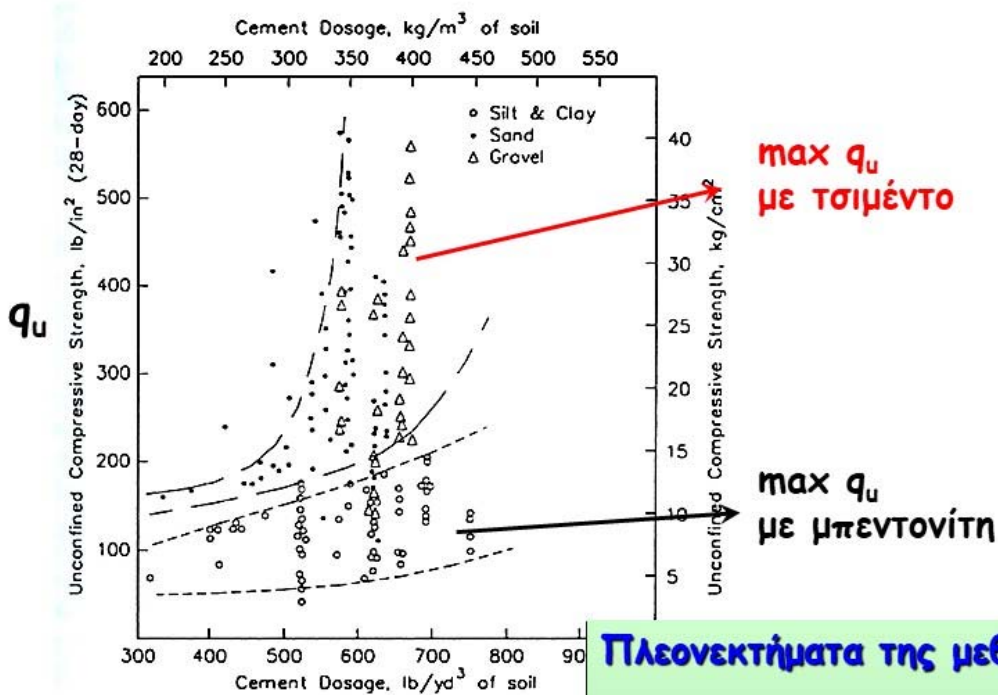
Τρυπάνι ↑
Πιθανές διατάξεις →



Μείωση της διατμητικής παραμόρφωσης που επιβάλλει ο σεισμός



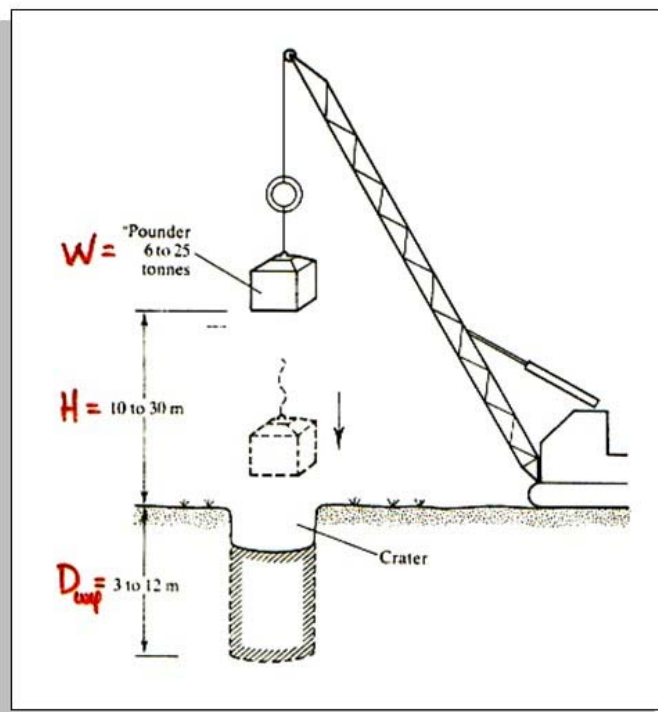
Εμπειρικά Διαγράμματα Σχεδιασμού

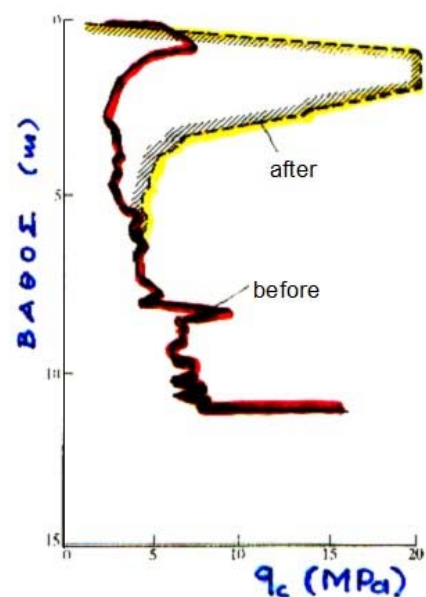
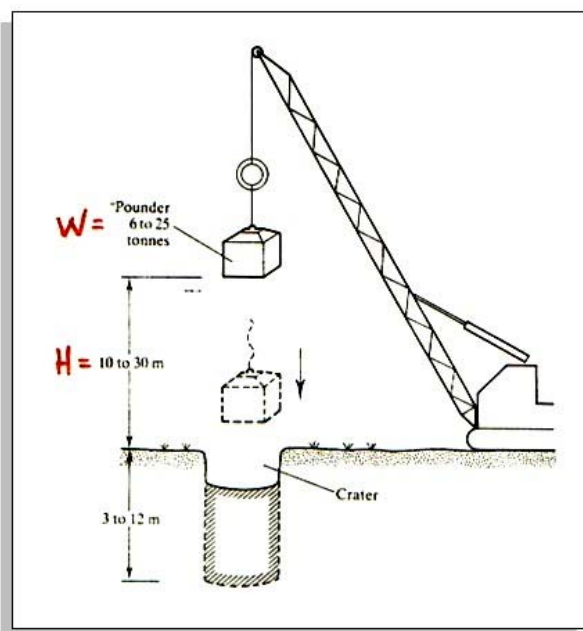


- Εφαρμόζεται ευρέως (στο εξωτερικό)
- Ταχεία και μικρού σχετικά κόστους
- Δεν προκαλεί θόρυβο & δονήσεις

8.2.2 Επιφανειακή συμπύκνωση

Μηχανισμός	Συνήθειες Μέθοδοι Ενίσχυσης-Βελτίωσης
Μείωση της διατμητικής παραμόρφωσης που επιβάλλει ο σεισμός	✚ Διαφραγματικοί τοίχοι ✚ Βαθιά Εδαφική Ανάμιξη
Αύξηση της πυκνότητας του εδάφους	✚ Επιφανειακή συμπύκνωση  ✚ Βαθιά δονητική συμπύκνωση ✚ Βαθιά δονητική αντικατάσταση
Διευκόλυνση της ταχείας αποτόνωσης των υδατικών υπερ-πιέσεων ...	✚ Χαλικοπάσσαλοι - σταργγιστήρια



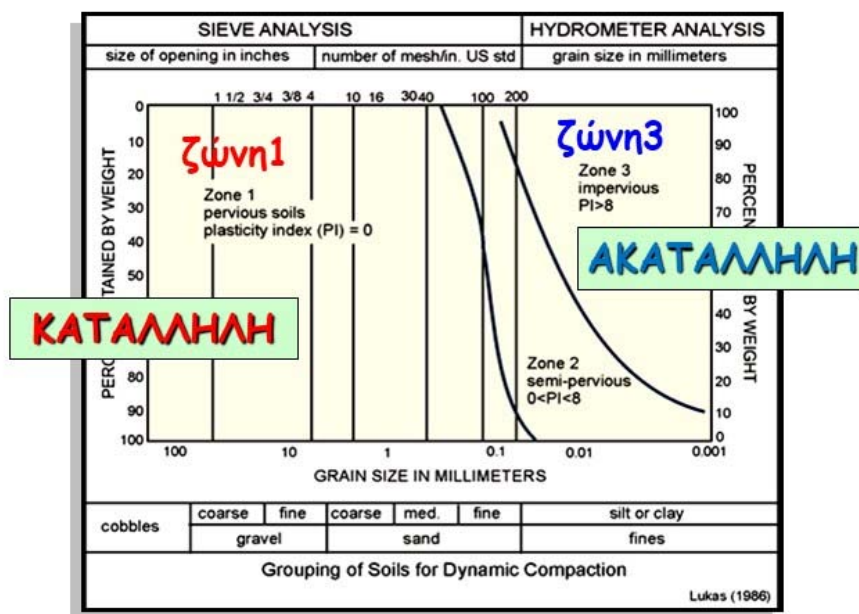


Βάθος επιρροής: $D_{βελτ.}(m) \approx 0.5 \sqrt{W \cdot H}$

Όπου W : πίπτον βάρος (t)

H : ύψος πτώσεως (m)

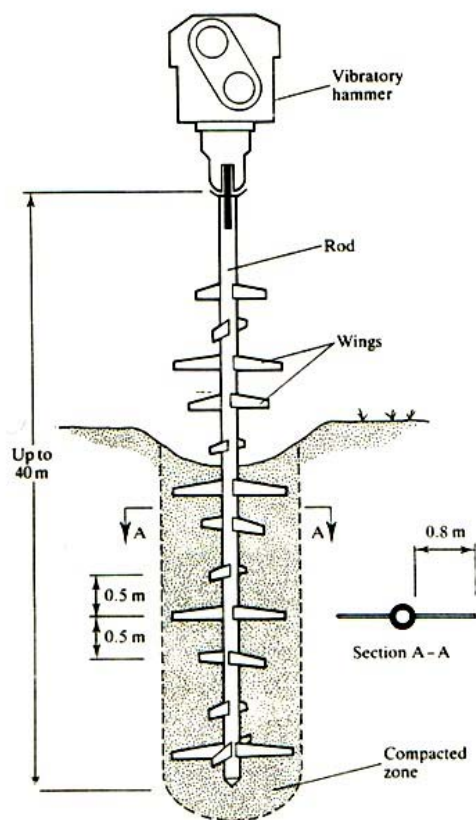
περιοχή εφαρμογής . . .



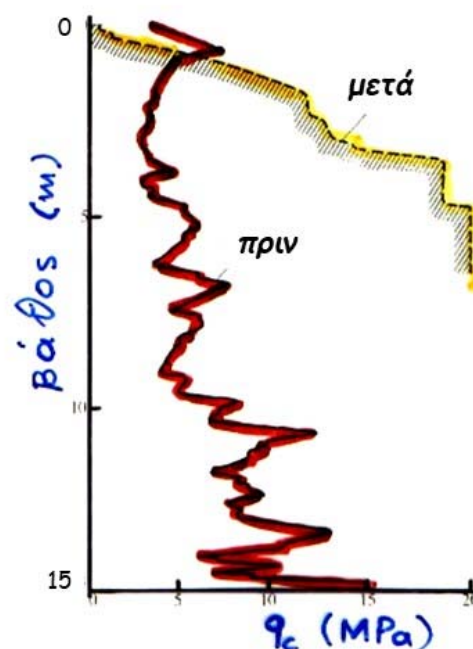
8.2.3 Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση

Μηχανισμός	Συνήθειες Μέθοδοι Ενίσχυσης-Βελτίωσης
Μείωση της διατμητικής παραμόρφωσης που επιβάλλει ο σεισμός	✚ Διαφραγματικοί τοίχοι ✚ Βαθιά Εδαφική Ανάμιξη
Αύξηση της πυκνότητας του εδάφους	✚ Επιφανειακή συμπύκνωση ✚ Βαθιά δονητική συμπύκνωση ✚ Βαθιά δονητική αντικατάσταση
Διευκόλυνση της ταχείας αποτόνωσης των υδατικών υπερ-πιέσεων ...	✚ Χαλικοπάσσαλοι - σταργγιστήρια

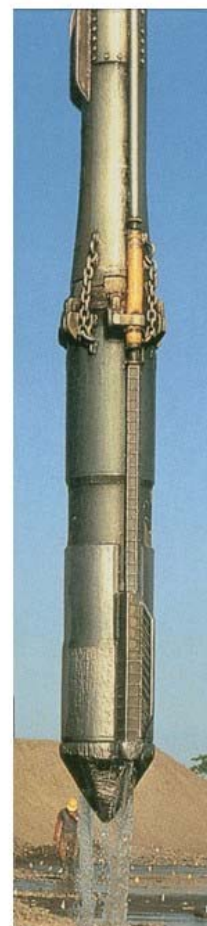
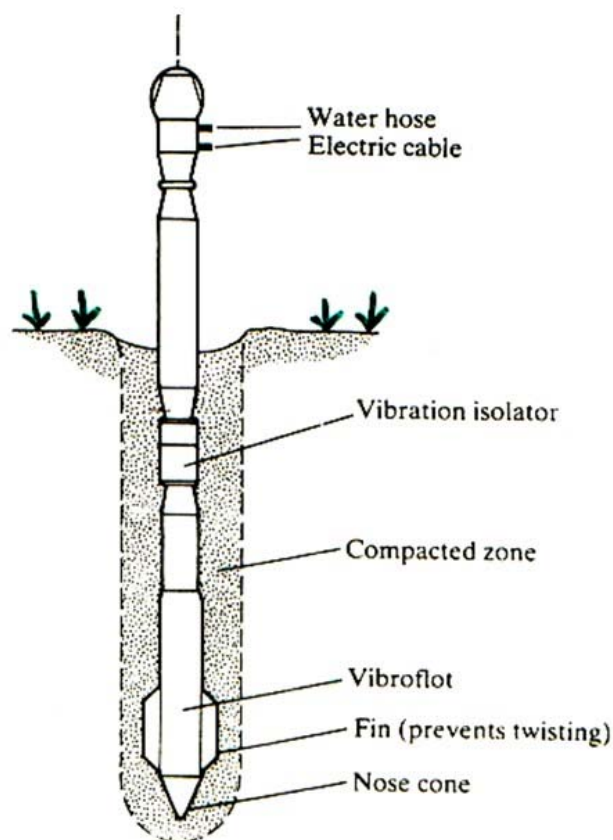
..... με VIBRO ROD



Επιβολή κατακόρυφης ταλάντωσης με εύρος $\pm 10 \sim 25 \text{mm}$ και συχνότητα $\sim 20 \text{Hz}$



..... με VIBRO FLOTATION



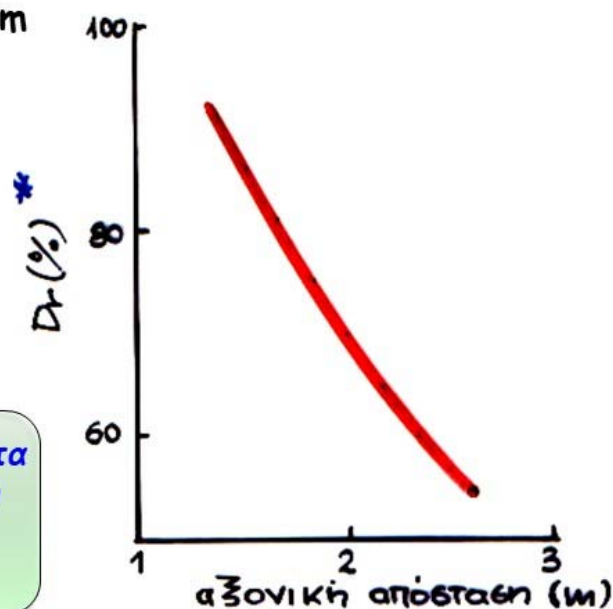
Οριζόντια ταλάντωση στο έδαφος
λόγω έκκεντρης περιστροφής της
τορπίλης.

$f=30\sim 50\text{Hz}$ $\delta=\pm 5\sim 23\text{mm}$

μήκος τορπίλης: 2-4.5m

βάρος τορπίλης: 4-8t

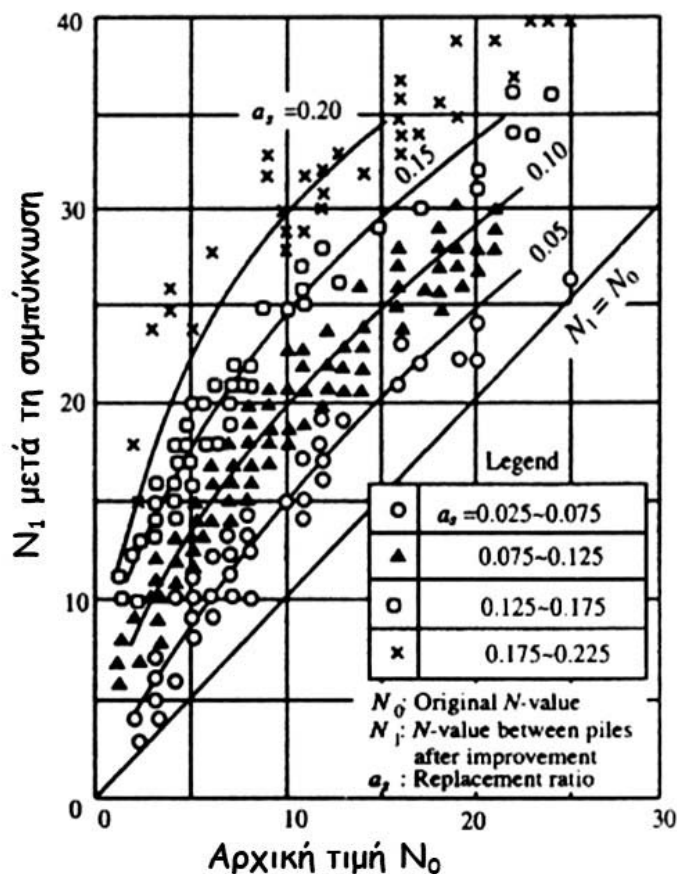
διάμετρος: 30-45cm



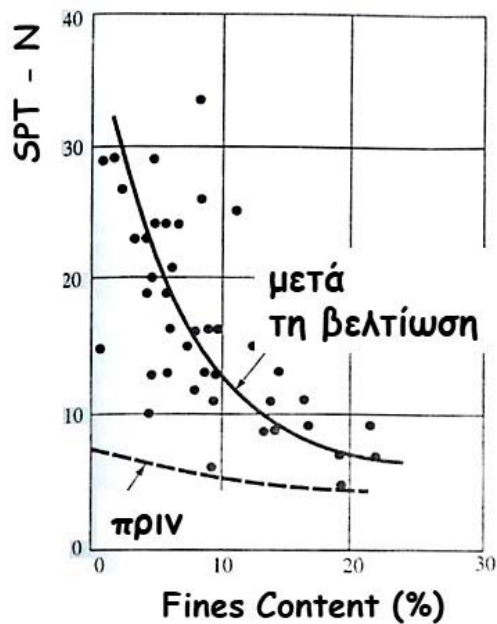
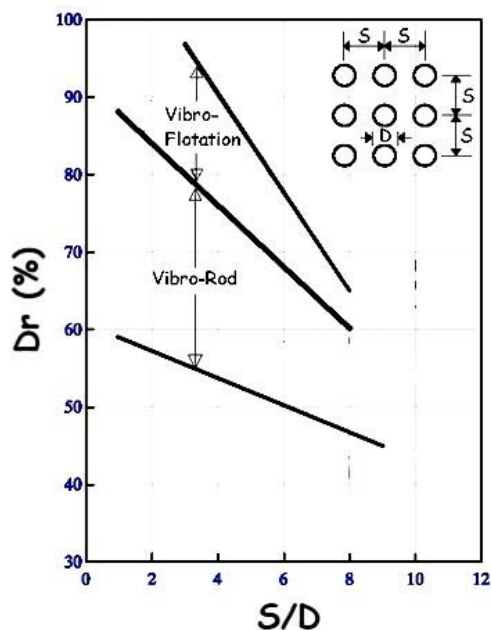
*Dr: σχετική πυκνότητα
στο μέσον μεταξύ
δύο δονήσεων
(καθαρή άμμος)



Συμπύκνωση του εδάφους

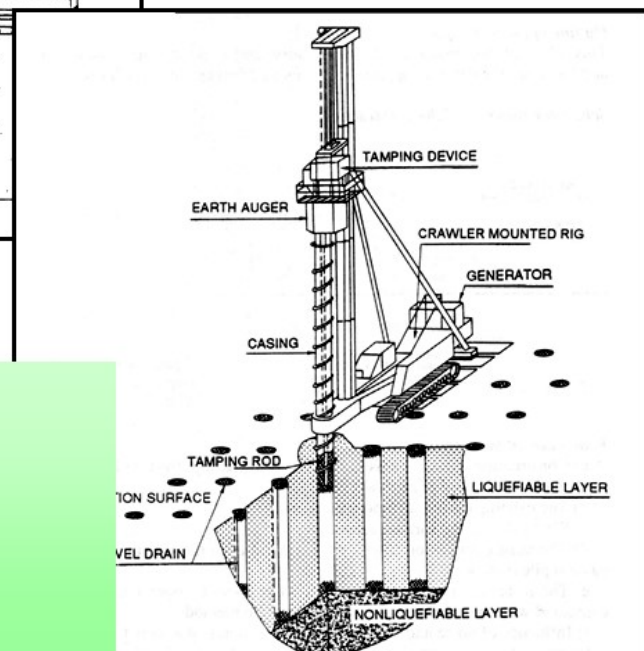
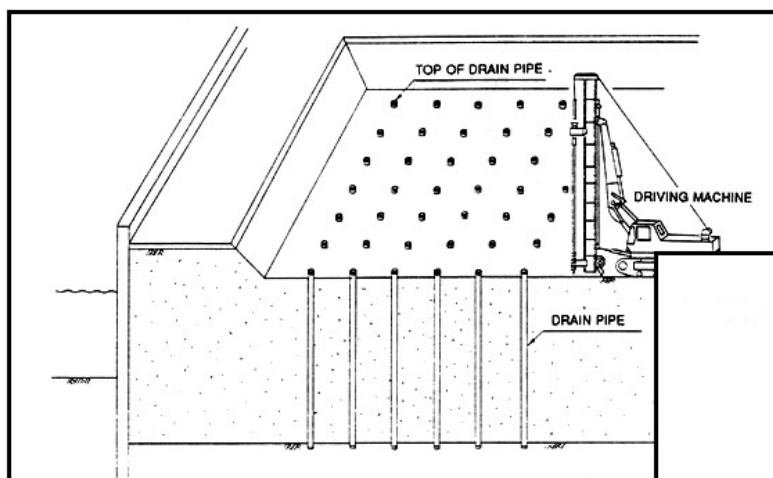


Περιοχή εφαρμογής



- (α) Και οι δύο μέθοδοι είναι αποτελεσματικές για (καθαρές) άμμους με ποσοστό ιλύος <10-15%
- (β) Περισσότερο αποτελεσματική είναι η Vibro-Flotation (αλλά και πλέον δαπανηρή)

Μηχανισμός	Συνήθεις Μέθοδοι Ενίσχυσης-Βελτίωσης
Μείωση της διατμητικής παραμόρφωσης που επιβάλλει ο σεισμός	✚ Διαφραγματικοί τοίχοι ✚ Βαθεία Εδαφική Ανάμιξη
Αύξηση της πυκνότητας του εδάφους	✚ Επιφανειακή συμπίκνωση ✚ Βαθιά δονητική συμπίκνωση ✚ Βαθιά δονητική αντικατάσταση
Διευκόλυνση της ταχείας αποτόνωσης των υδατικών υπερ-πιέσεων ...	✚ Χαλικοπάσσαλοι - στραγγιστήρια



Σύνθετη δράση

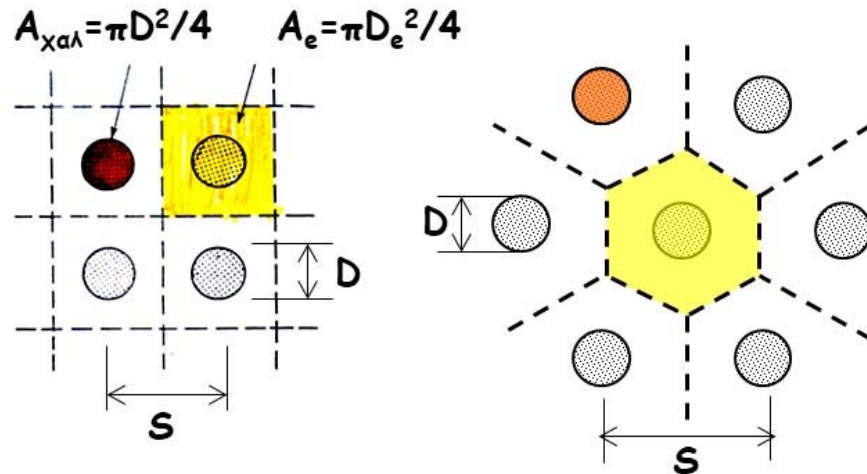
- ✚ Επιτάχυνση αποτόνωσης των υδατικών υπερ-πιέσεων
- ✚ Συμπύκνωση εδάφους (άμμοι)
- ✚ Ανάληψη φορτίου
- ✚ Αύξηση της ισοδύναμης διατμητικής αντοχής

Κατασκευή με VIBRO - FLOTATION . . .



Παράμετροι σχεδιασμού χαλικοπασσάλων

Οι χαλικοπάσσαλοι κατασκευάζονται συνήθως σε 3-γωνικό ή σε 4-γωνικό κάρναβο.....



Εάν η πλευρά του κάρναβου είναι S , τότε η "ακτίνα επιρροής" R_e του χαλικοπασσάλου υπολογίζεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} 2R_e &= D_e = 1.05 S && \text{για 3-γωνικό κάρναβο} \\ 2R_e &= D_e = 1.13 S && \text{για 4-γωνικό κάρναβο} \end{aligned}$$

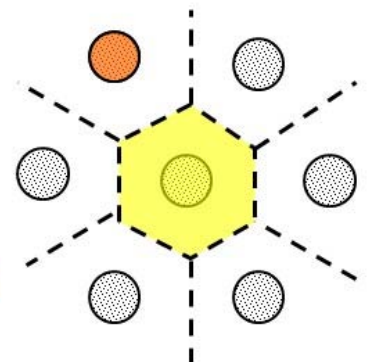
Λόγος (συντελεστής) αντικατάστασης

$$a_s = \frac{A_{chal}}{A_e} = \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 \quad (0 \div 1.00)$$

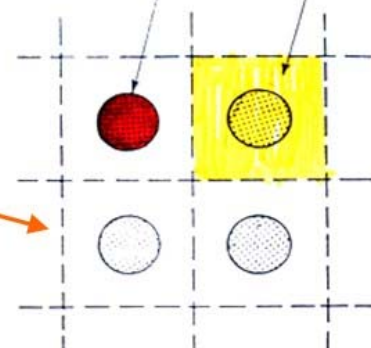
$$a_s = \begin{cases} 0.91 \left(\frac{D}{S} \right)^2 \\ 0.78 \left(\frac{D}{S} \right)^2 \end{cases}$$

3-γωνικός κάρναβος

4-γωνικός κάρναβος



$$A_{chal} \sim \pi D_e^2/4$$



και η διαδικασία διαστασιολόγησης του καννάβου έχει ως εξής:

Βήμα 1: Εκτιμάς τον ισοδύναμο αριθμό αρμονικών κύκλων φόρτισης του σεισμού N_s , με βάση δεδομένο επιταχυνσιογράφημα ή την εμπειρική συσχέτιση με το μέγεθος του σεισμού (βλ. Σημειώσεις για εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης με βάση εργαστηριακά αποτελέσματα). Με ανάλογο τρόπο εκτιμάς και την διάρκεια της ισχυρής φάσης της σεισμικής δόνησης t_d .

Βήμα 2: Εκτιμάς τον αριθμό αρμονικών κύκλων φόρτισης που απαιτούνται για να

Για ομοιόμορφες σχετικά άμμους με $C_u = D_{60}/D_{10} < 5$ και $D_{10} = 0.1 - 0.3$ mm, ισχύει προσεγγιστικά ότι:

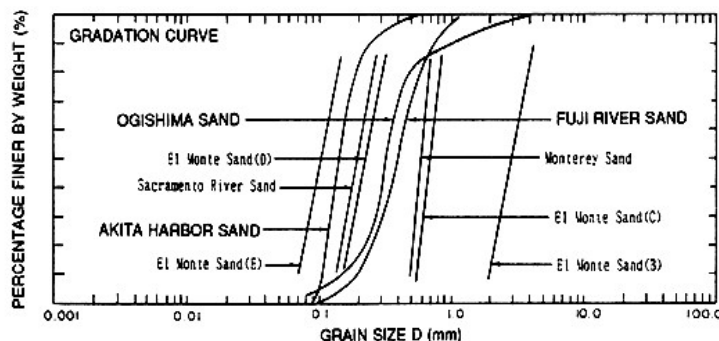
$$k_h = 100 \times D_{10}^2$$

όπου k_h σε cm/s και D_{10} σε cm

Τυπικές τιμές του συντελεστή m_{v3}

Type of sand	Coefficient of volume compressibility (cm ² /kgf)*	References (year)
Sacramento River Sand	2×10^{-3}	Lee et al. (1974) [50]
El Monte Sand (D)	2×10^{-3}	Lee et al. (1974) [50]
El Monte Sand (E)	2×10^{-3}	Lee et al. (1974) [50]
Akita Port Sand	$3 - 4 \times 10^{-3}$	Zen et al. (1984) [44]
El Monte Sand (C)	4×10^{-3}	Lee et al. (1974) [50]
Monterey Sand	4×10^{-3}	Lee et al. (1974) [50]
Fuji River Sand	6×10^{-3}	Ishihara et al. (1978) [51]
El Monte Sand (B)	8×10^{-3}	Lee et al. (1974) [50]
Ogishima Sand	10×10^{-3}	Ono et al. (1983) [52]

*Measured at $u/\sigma'_c < 0.5$, $\sigma'_c = 1$ kgf/cm².



$$m_{v3} = \frac{1}{K} \approx \frac{1.5}{E_s}$$

Βήμα 1: Εκτιμάς τον ισοδύναμο αριθμό αρμονικών κύκλων φόρτισης του σεισμού N_s , με βάση δεδομένο επιταχυνσιογράφημα ή την εμπειρική συσχέτιση με το μέγεθος του σεισμού (βλ. Σημειώσεις για εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης με βάση εργαστηριακά αποτελέσματα). Με ανάλογο τρόπο εκτιμάς και την διάρκεια της ισχυρής φάσης της σεισμικής δόνησης t_d .

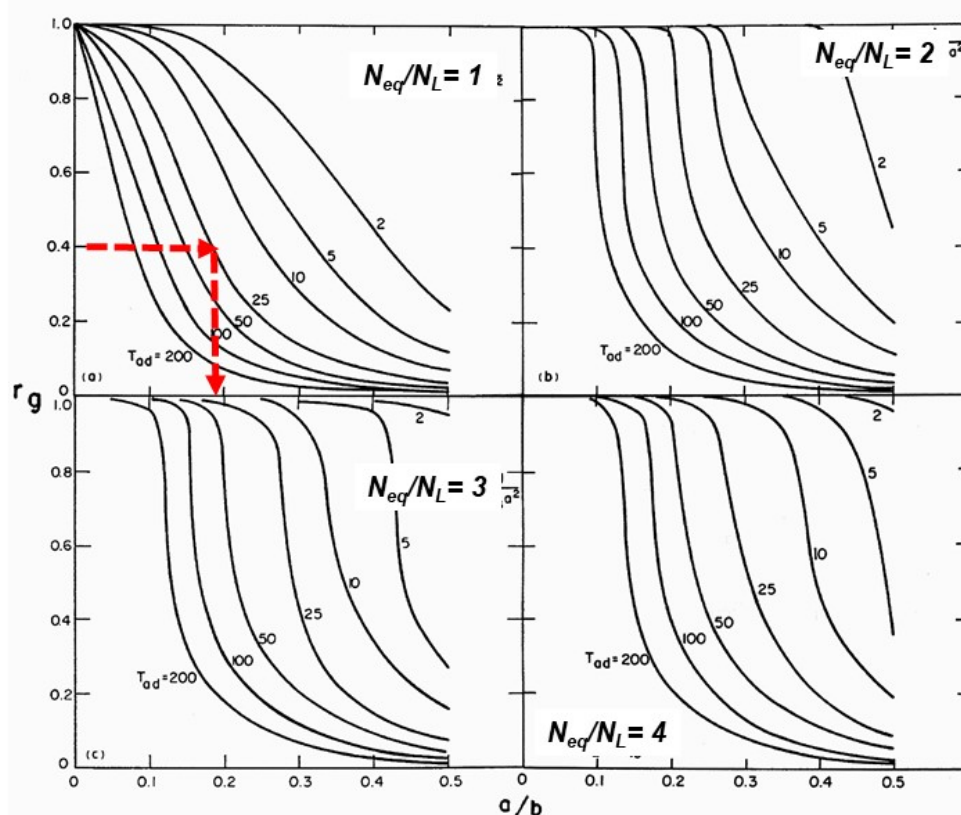
Βήμα 2: Εκτιμάς τον αριθμό αρμονικών κύκλων φόρτισης που απαιτούνται για να ρευστοποιηθεί η δεδομένη στρώση άμμου, N_l ($< N_s$).

Βήμα 3: Υποθέτεις διάμετρο χαλικο-στραγγιστηρίου ($2R_d=0.60-1.00\text{m}$) και τύπο καννάβου (3-γωνικό ή 4-γωνικό). Επίσης επιλέγεις την επιθυμητή τιμή του λόγου υδατικών υπερπίεσεων $r_g=\Delta U/\sigma'_{vo}$ ($=0.20-0.50$).

Βήμα 4: Εκτιμάς την διαπερατότητα k_h και τον συντελεστή συμπίεστότητας m_{v3} της ρευστοποιήσιμης άμμου.

Βήμα 5: Υπολογίζεις τον χρονικό παράγοντα T_{ad} και, με βάση τα διαγράμματα σχεδιασμού, την ακτίνα επιρροής του χαλικο-στραγγιστηρίου R_e .

Διαγράμματα σχεδιασμού χαλικο-στραγγιστηρίων *Seed & Booker (1977)*



$$\frac{a}{b} = \frac{R_e}{R_d}$$

$$r_g = \frac{u_{\max}}{\bar{\sigma}_{vo}}$$

$$T_{ad} = \frac{k_h}{\gamma_w} \frac{t_d}{m_{v3} R_d^2}$$

Διαγράμματα σχεδιασμού χαλικο-στραγγιστηρίων Bouckovalas, Papadimitriou et al., (2011)

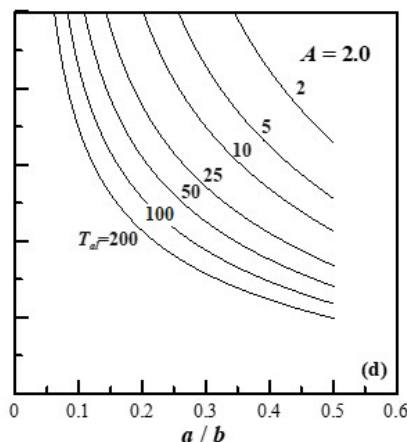
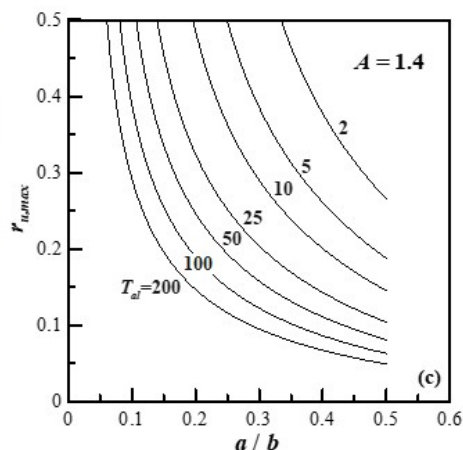
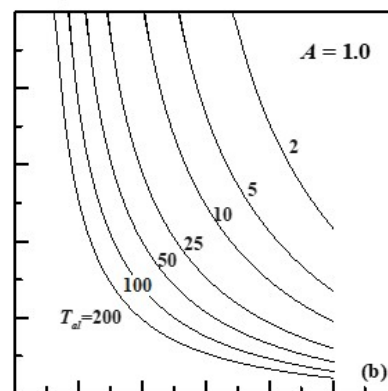
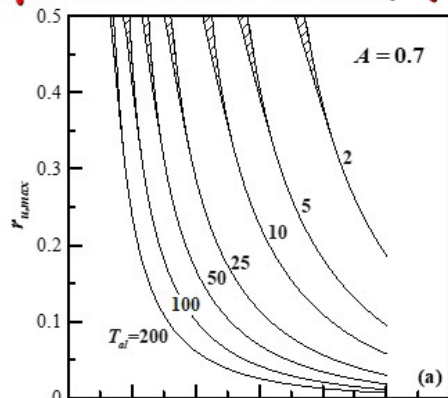
$$r_g = \frac{u_{\max}}{\bar{\sigma}_{vo}}$$

$$T_{al} = \frac{k_h}{\gamma_w} \frac{t_l}{m_{v3} R_d^2}$$

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o}$$

$$= \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2A}$$

$$a/b = R_d/R_e$$



Τιμές του εκθέτη A από πειραματικά αποτελέσματα (άμμος Nevada)

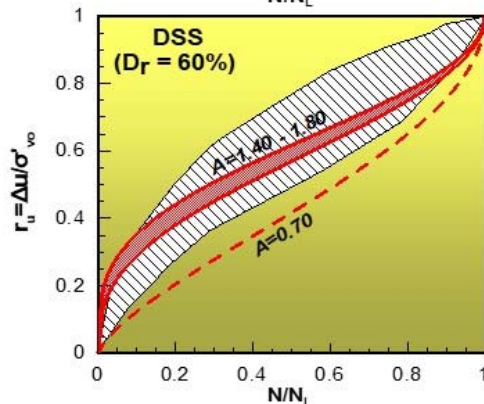
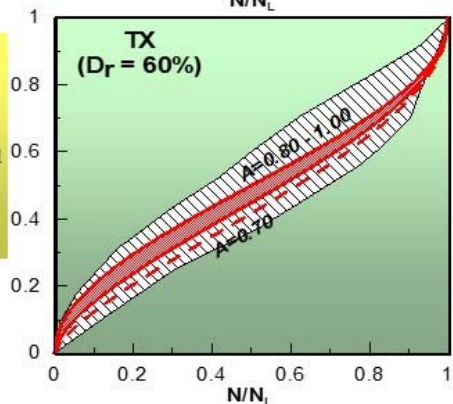
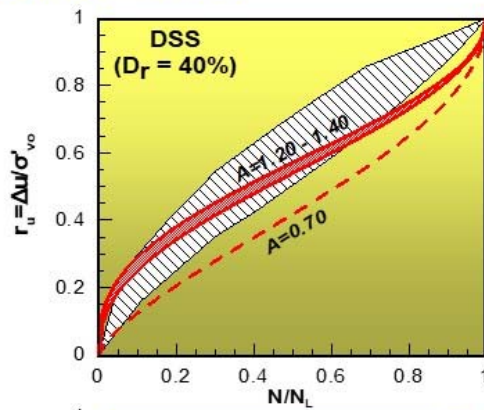
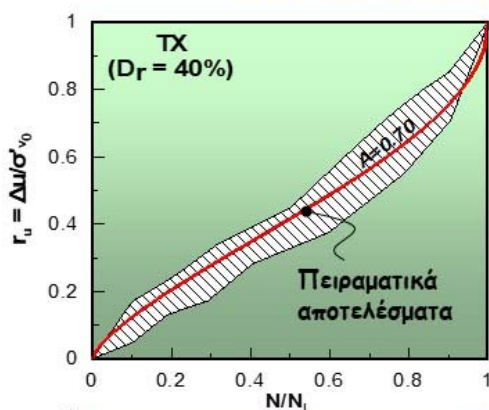
$$r_g = \frac{u_{\max}}{\bar{\sigma}_{vo}}$$

$$T_{al} = \frac{k_h}{\gamma_w} \frac{t_l}{m_{v3} R_d^2}$$

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o}$$

$$= \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2A}$$

$$a/b = R_d/R_e$$



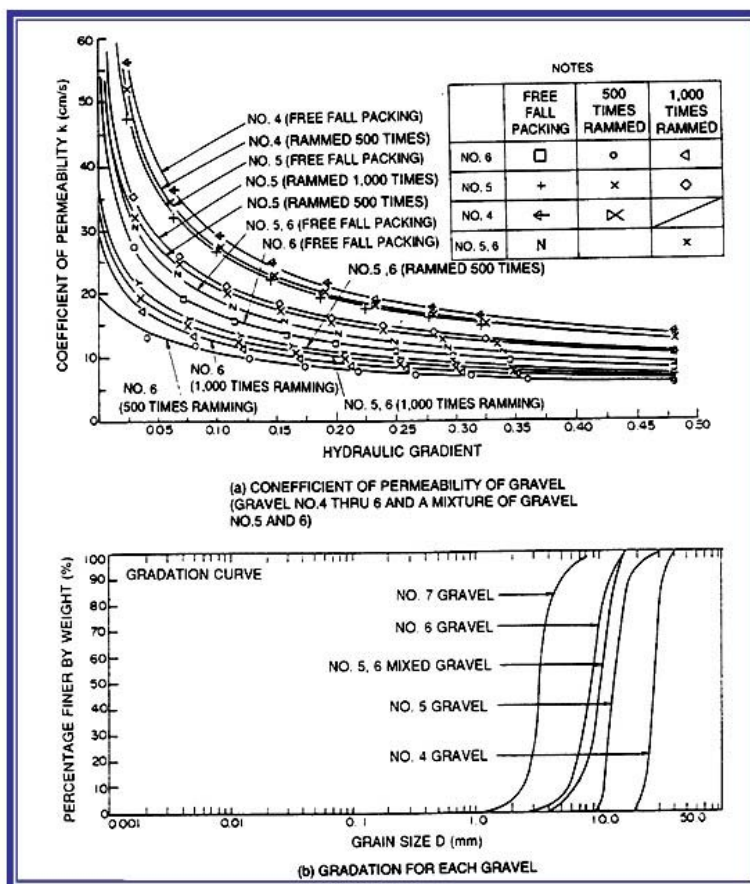
Δεν τελειώσαμε

Βήμα 6: Επιλέγεις το υλικό του χαλικοπασσάλου έτσι ώστε να μην ρευστοποιείται, και επιπλέον να έχει διαπερατότητα 50-100 φορές μεγαλύτερη από την διαπερατότητα της ρευστοποιήσιμης άμμου.

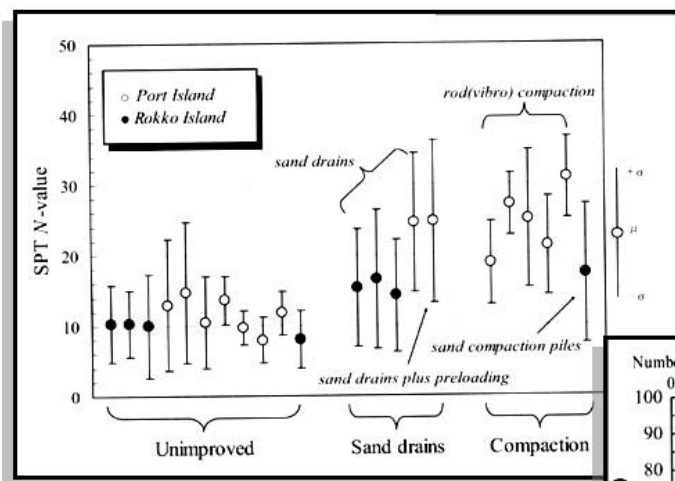
Πέραν των ανωτέρω, έχουν προταθεί διάφορα κριτήρια για να αποτραπεί η μακροχρόνια διείδυση της λεπτόκοκκης άμμου στα κενά του χαλικο-στραγγιστηρίου, όπως

$$d_{15}/D_{85} < 5/9$$

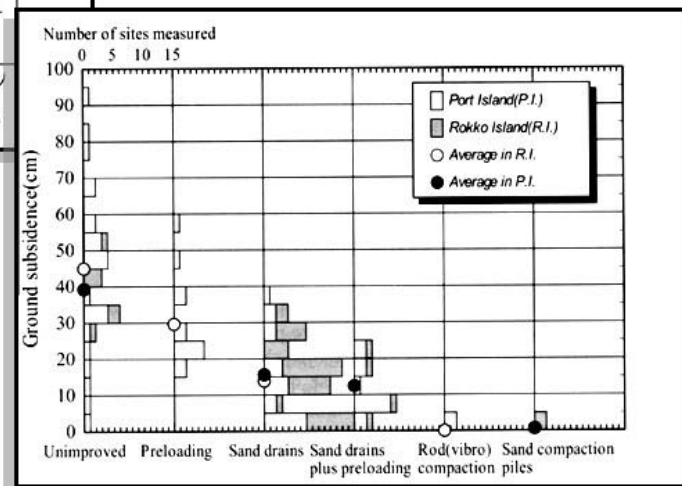
(το "d" αναφέρεται στο υλικό του στραγγιστηρίου και το "D" στην ρευστοποιήσιμη άμμο)



Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων βελτίωσης-ενίσχυσης



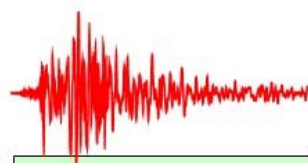
από τον σεισμό του Kobe (1995)



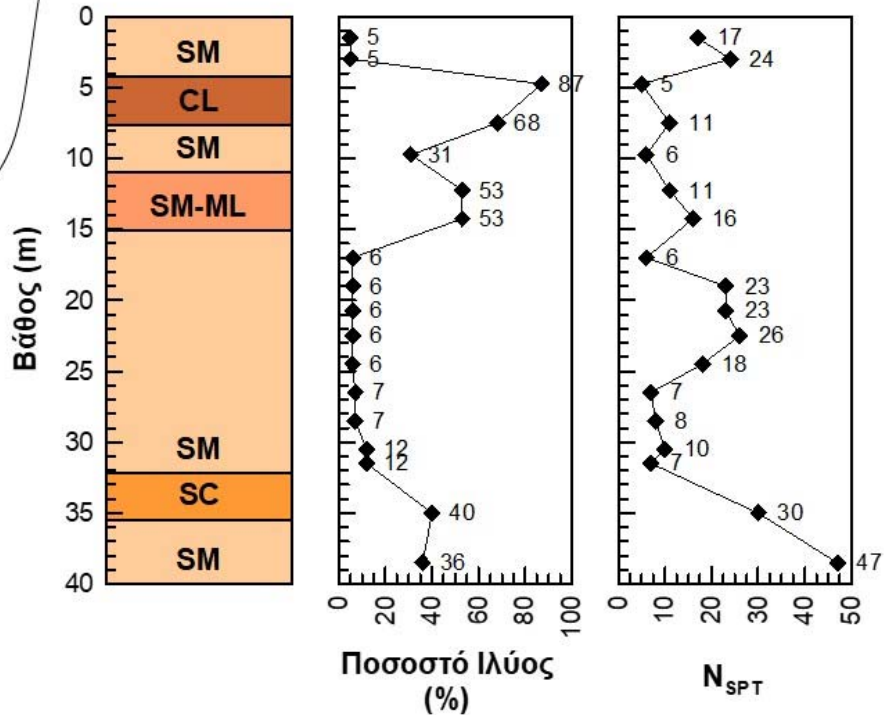
8.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Βελτίωση με Χαλικοπασσάλους-Στραγγιστήρια

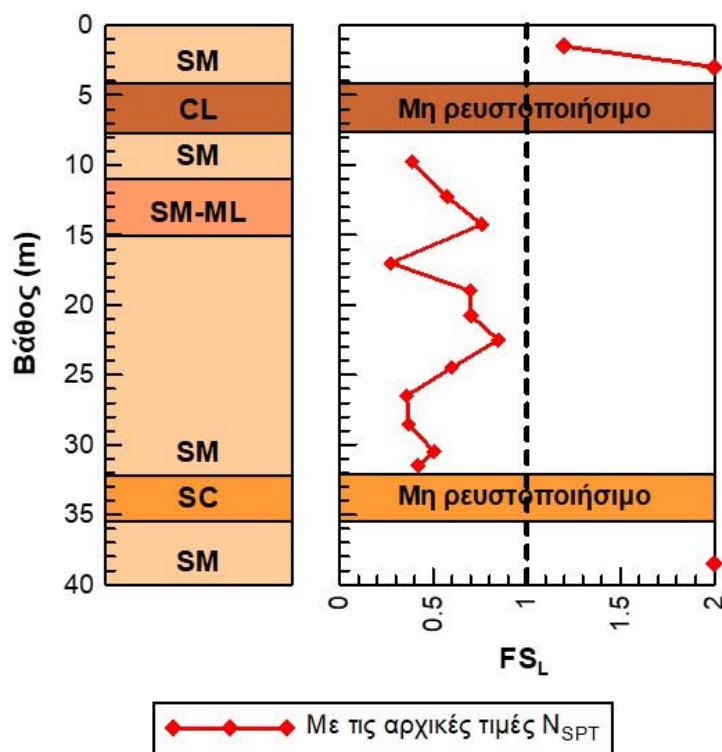
Δεδομένα
Υπολογισμού:



$M = 6.25$
 $a_{max} = 0.36g$

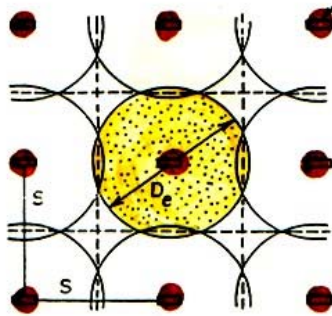


Έλεγχος ρευστοποίησης
φυσικού εδάφους. . . .



Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση

4-γωνικός κάρναβος
ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ



ΈΣΤΩ...

$$S = 2\text{m}$$

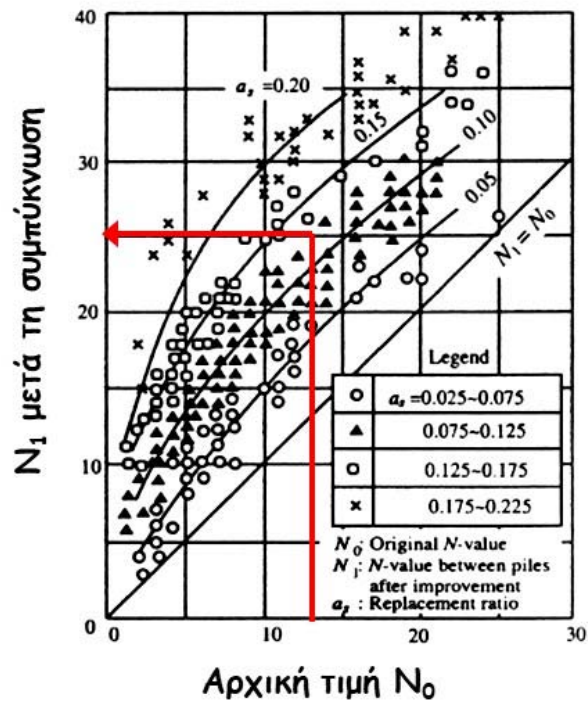
$$2R_e = 1.13 \cdot S = 2.26\text{m}$$

$$2R_d = 0.80\text{m}$$

$$R_d/R_e = 0.35$$

&

$$\text{ποσοστό αντικατάστασης: } a_s = 0,126$$



Αποτόνωση Υπερπίεσεων (Seed & Booker, 1977)

$$k_s = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

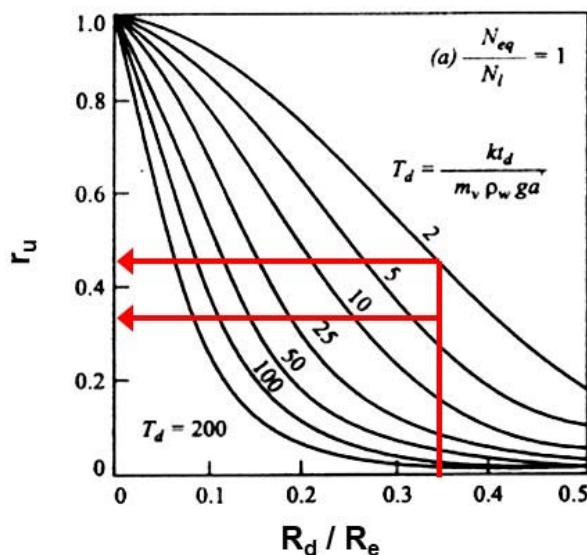
$$N_{eq} = 10$$

$$T_e = 0.50 \text{ sec}$$

$$m_v = 1/(4000 + 600 N_{SPT}) = 4.5 \times 10^{-3} \div 8.1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kgf}$$

$$R_d = 40 \text{ cm}$$

$$T_d = \frac{k_s N_{eq} T_e}{m_v \gamma_w R_d^2} = 2.0 \div 3.5$$



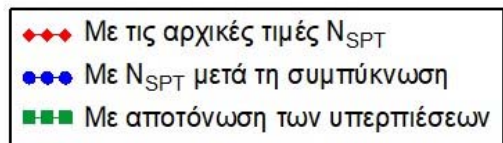
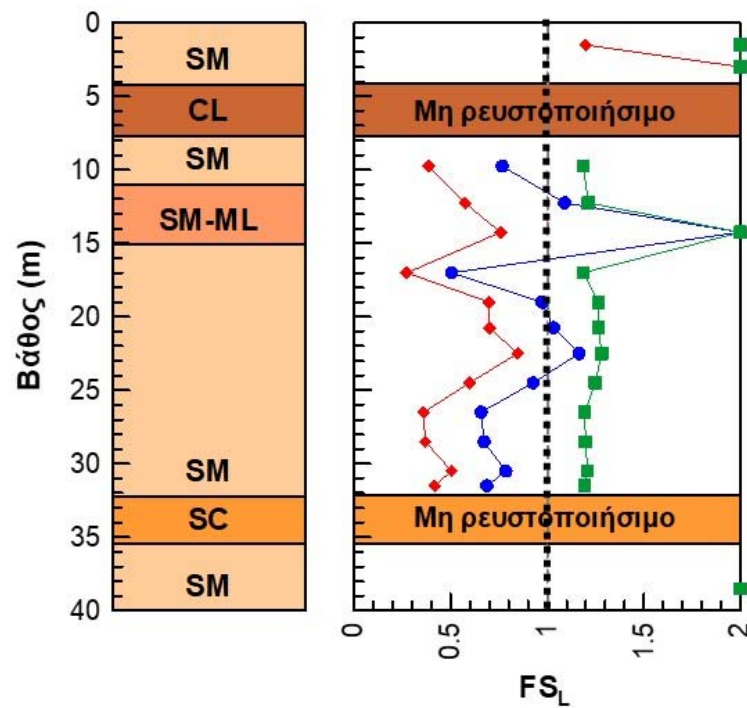
$$r_u = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left[\left(\frac{N}{N_L} \right)^{1/2A} \right]$$

$$\Rightarrow \frac{N}{N_L} = \left[\sin \left(\frac{\pi}{2} r_u \right) \right]^{2A}$$

$$FS_L \approx \left(\frac{N}{N_L} \right)^{-\beta} \approx \left[\sin \left(\frac{\pi}{2} r_u \right) \right]^{-2A\beta}$$

Για την σχέση του FS_L και τους εκθέτες A & β βλέπε Κεφ. 5.3

Αποτελέσματα (ενδεικτικά για $A=0.70$ & $\beta=0.27$)



Άσκηση 8.1

Για την περίπτωση (α) της Άσκησης 7.1 να υπολογισθούν (με όλους τους δυνατούς τρόπους):

1. Η καθίζηση της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους εάν το συνολικό πάχος της άμμου είναι 16m
2. Η οριζόντια μετατόπιση του ανωτέρω στρώματος, εάν η κλίση της επιφάνειας του εδάφους είναι $i=2\%$ (δίδονται επιπλέον $R=5$ km, $D_{50,15}=0.5\text{mm}$, $t_{eq} = 5$ & 10 sec)
3. Η οριζόντια μετατόπιση του ανωτέρω στρώματος σε απόσταση 10m από την όχθη αρδευτικού καναλιού βάθους $H=5\text{m}$ (δίδονται επιπλέον $R=5$ km, $D_{50,15}=0.5\text{mm}$, $t_{eq} = 5$ & 10 sec)
4. Η φέρουσα ικανότητα κυκλικού θεμελίου ακτίνας 5m που εδράζεται σε βάθος 2m από την επιφάνεια του εδάφους

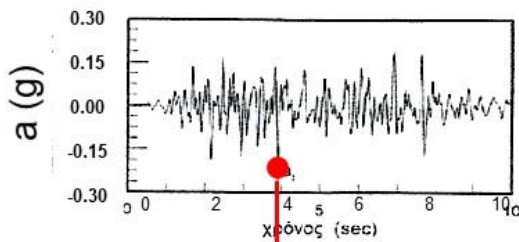
Άσκηση 8.2

Να επαναληφθεί το παράδειγμα βελτίωσης του εδάφους με χαλικοπασσάλους -στραγγιστήρια με χρήση της μεθόδου Bouckovalas et al. (2011), και να συγκρίνετε τα αποτελέσματα.

Άσκηση 8.3

Έδαφος: κορεσμένη αμμώδης απόθεση (ιλύς 10%) με
 $\gamma_{\text{κορ}}=20\text{kN/m}^3$ σε βάθος $z=5\text{m}$, αριθμός κτύπων $N_m=10$,
 $D_{10}=0.02\text{cm}$

Βελτίωση: βαθιά δονητική συμπύκνωση, σε 4-γωνικό κάνναβο
χαλικοπασσάλων, πλευράς $S=2.0\text{m}$ & διαμέτρου $2R_d=0.70\text{m}$



$a_{\text{max}} = 0.50g$
σεισμός $M_w = 6.5$

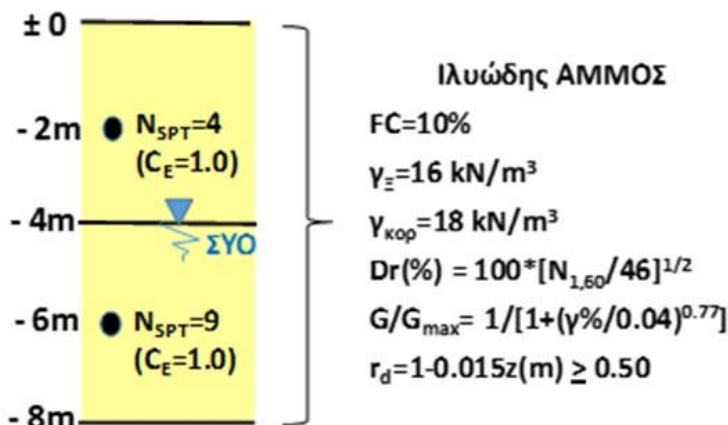
Να υπολογισθούν (κατά σειράν):

1. Ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ρευστοποίησης του φυσικού εδάφους
2. Ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ρευστοποίησης του συμπυκνωμένου εδάφους (χωρίς να ληφθεί υπόψη η δράση των χαλικοπασσάλων-στραγγιστηρίων)
3. Η μέγιστη τιμή του λόγου υπερπίεσης πόρων εάν, πέραν της συμπύκνωσης του εδάφους, ληφθεί υπόψη ακτινική στράγγιση προς τους χαλικοπασσάλους-στραγγιστήρια

Άσκηση 8.4

Για το στρώμα άμμου του Σχήματος και για σεισμική δόνηση μεγέθους $M=6.75$ και $PGA=0.45g$...

- (α) Να γίνει έλεγχος ρευστοποίησης
- (β) Να υπολογισθεί η καθίζηση της επιφάνειας του εδάφους που οφείλεται στην ρευστοποίηση
- (γ) Να υπολογισθεί η καθίζηση της επιφάνειας του εδάφους λόγω δυναμικής συμπύκνωσης της ξηρής άμμου (πάνω από την Σ.Υ.Ο).



[Φεβρουάριος 2019]