

5. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΕΘΟΔΩΝ

Βελτίωσης - Ενίσχυσης εδαφών

Γιώργος Μπουκοβάλας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.1 Γενικά

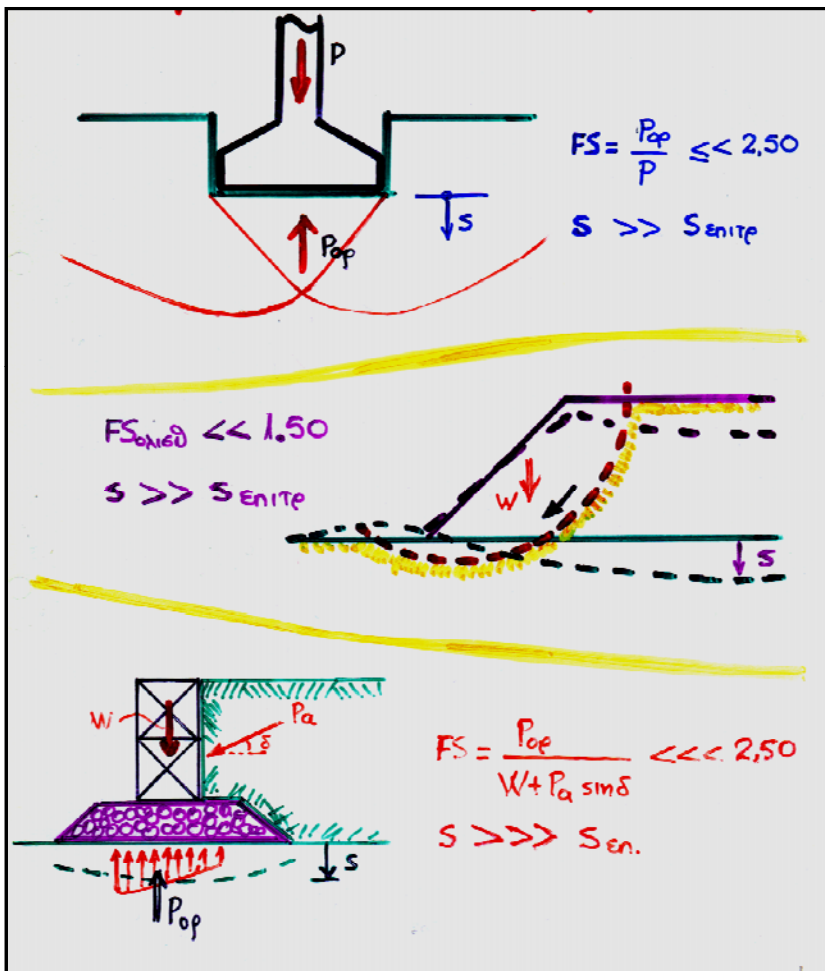
5.2 Μέθοδοι μείωσης του φορτίου

5.3 Μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους

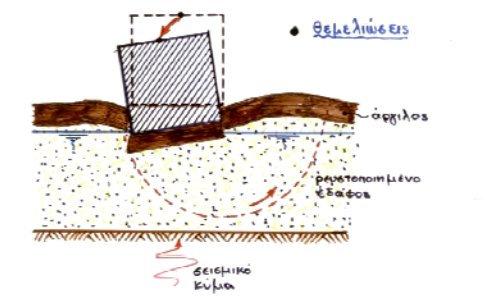
5.4 Μέθοδοι ενίσχυσης του εδάφους

5.5 Σύνοψη

5.1 ΓΕΝΙΚΑ



➡ βελτίωση
εδάφους



Kocaeli (Izmit), Τουρκία (1999)



Ενίσχυσης ή /και βελτίωσης είναι επιδεκτικά τα “**μαλακά**” ή τα “**χαλαρά**” εδάφη, δηλαδή:

✚ χαλαρές **άμμοι**, ιδιαίτερα όταν είναι κορεσμένες:

$$D_r < 40\% , N_{SPT} < 10$$

✚ χαλαρές και μέσης πυκνότητας κορεσμένες **άμμοι** και **αμμοχάλικα** υπό σεισμική φόρτιση:

$$D_r < 70\% , N_{SPT} < 30, M_s > 5.0$$

✚ απροφόρτιστες ή υπο-στερεοποιημένες **άργιλοι** και **ιλύες**:

$$W \approx W_L , C_u \leq 30 \text{ kPa} , N_{SPT} \leq 10$$

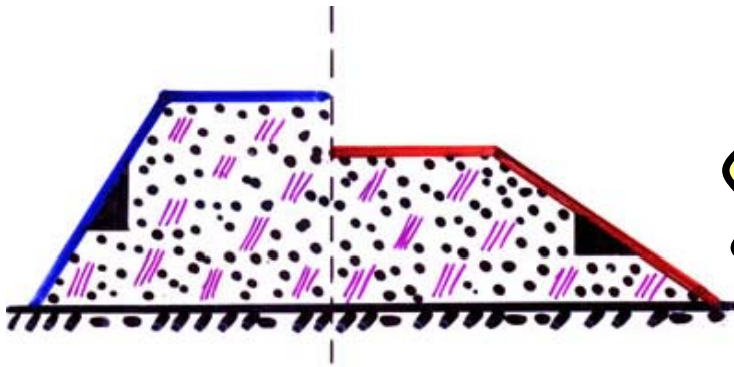
Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τρεις ομάδες μεθόδων:

✚ Τεχνητή **ΜΕΙΩΣΗ** του επιβαλλόμενου **ΦΟΡΤΙΟΥ**
(χωρίς περιορισμό της λειτουργικότητας)

✚ **ΒΕΛΤΙΩΣΗ** του φυσικού εδάφους

✚ **ΕΝΙΣΧΥΣΗ** του φυσικού εδάφους

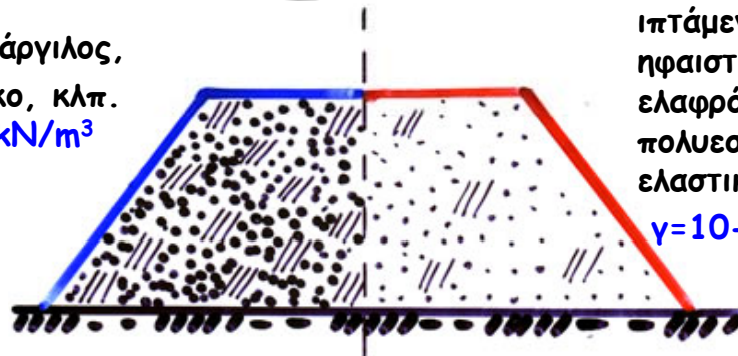
5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ



- Μείωση ύψους επιχώματος
- Αύξηση κλίσης πρανών

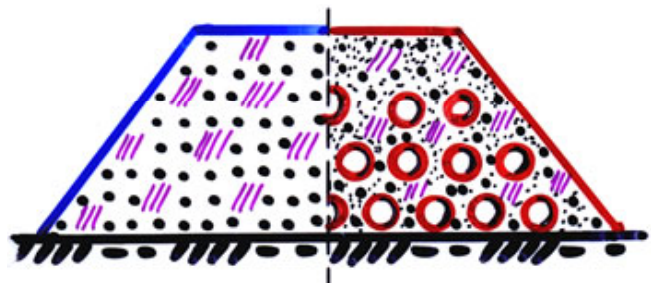
- Χρήση "ελαφρών" υλικών επίχωσης

αμμώδης άργιλος,
αμμοχάλικο, κλπ.
 $\gamma = 18-20 \text{ kN/m}^3$

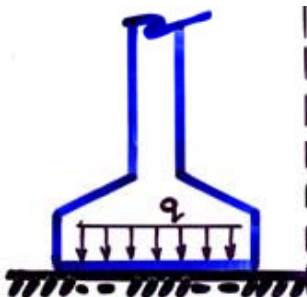


ιπτάμενη τέφρα,
ηφαιστειακή τόφος,
ελαφρόπετρα,
πολυεστέρες,
ελαστικά...
 $\gamma = 10-14 \text{ kN/m}^3$

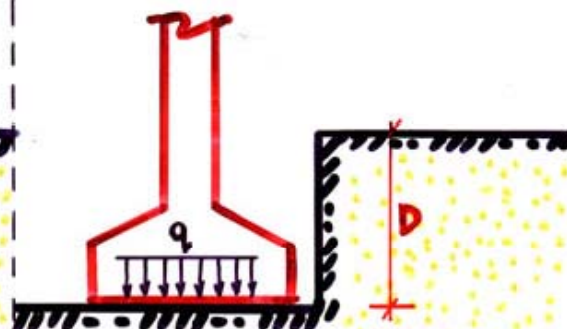
- Τοποθέτηση "σωλήνων"
εντός του επιχώματος



- Αύξηση του βάθους θεμελίωσης
("επιπλέουσα" θεμελίωση)



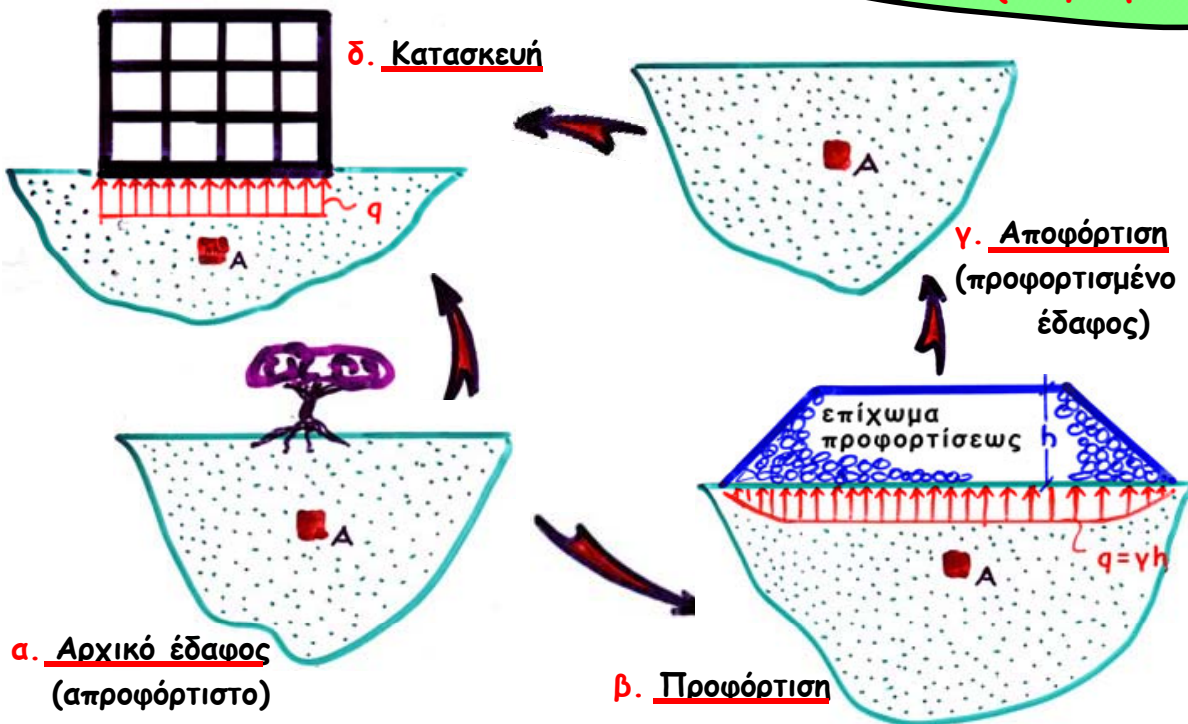
$$\Delta \sigma'_{\epsilon\delta} = q$$



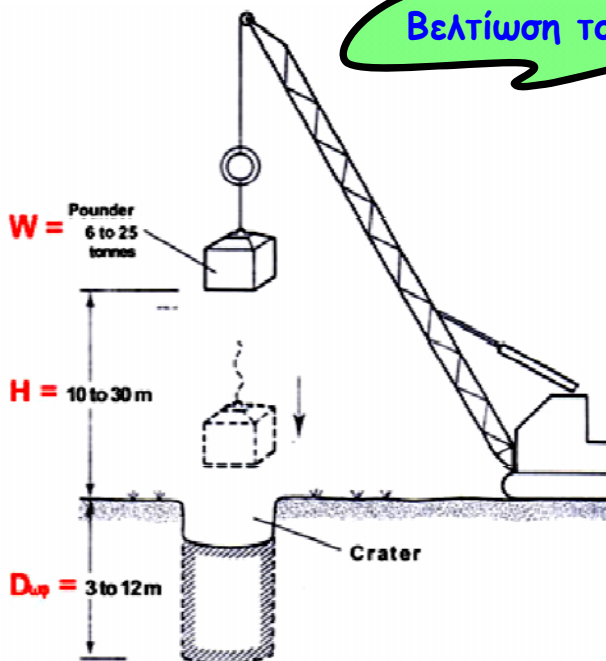
$$\Delta \sigma'_{\epsilon\delta} = q - \gamma_{\epsilon\delta} \cdot D$$

5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Βελτίωση "μαλακού" εδάφους με προφόρτιση
(α→β→γ→δ)



Βελτίωση του εδάφους με επιφανειακή συμπίκνωση



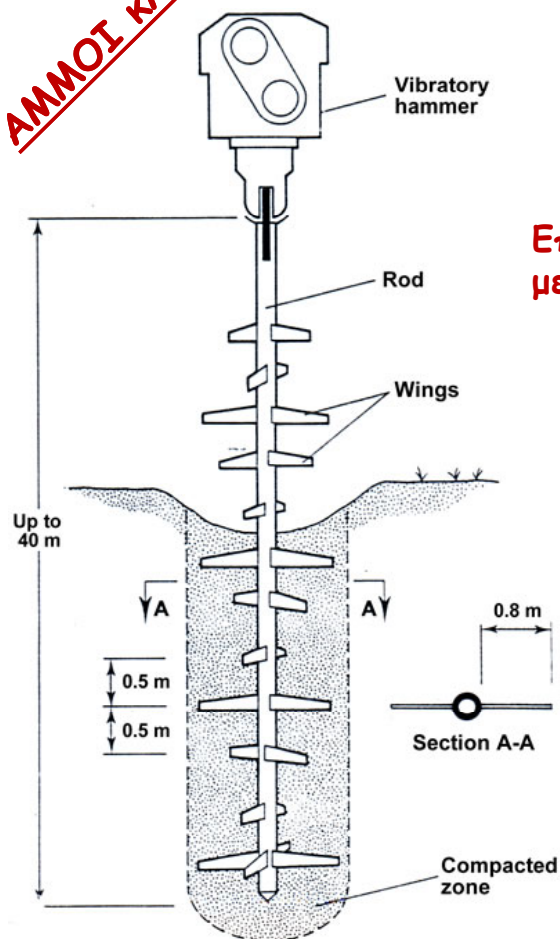
Βάθος επιρροής: $D_{\omega\phi} \approx \frac{1}{2} \sqrt{WH}$

W : πίπτον βάρος (t)

H : ύψος πτώσεως (m)



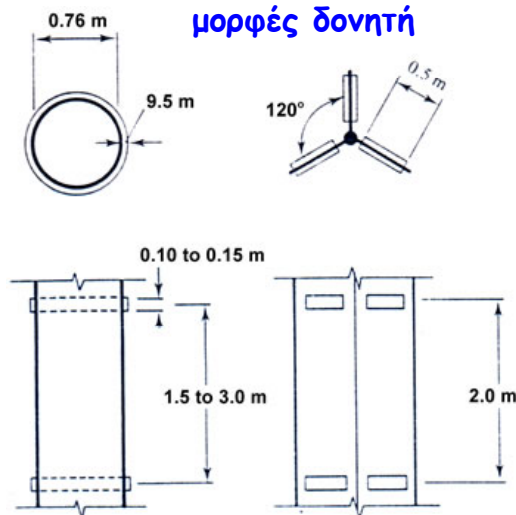
ΑΜΜΟΙ ΚΑΠ.



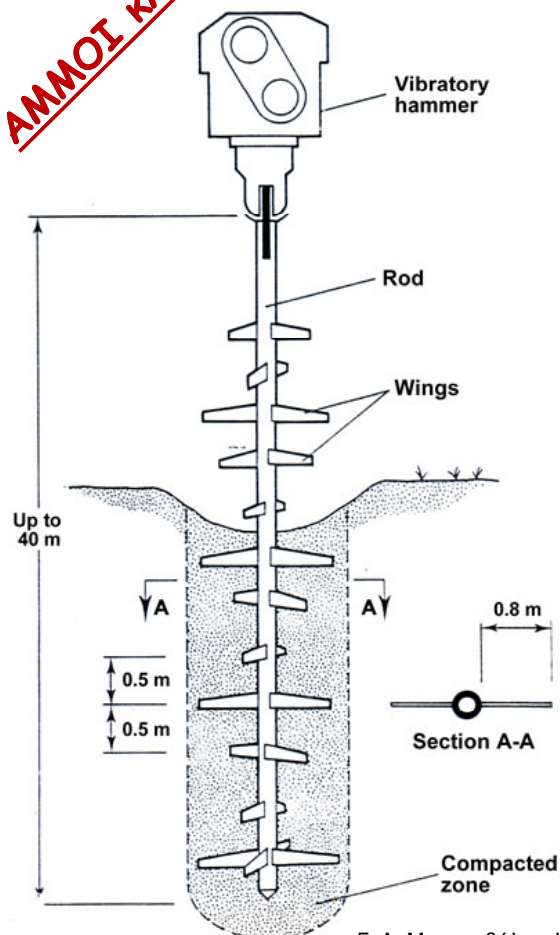
**Βελτίωση του εδάφους με
Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση:
VIBROCOMPACTION**

**Επιβολή κατακόρυφης ταλάντωσης στο έδαφος
με εύρος $\pm 10-25\text{mm}$, και συχνότητα $\sim 25\text{Hz}$**

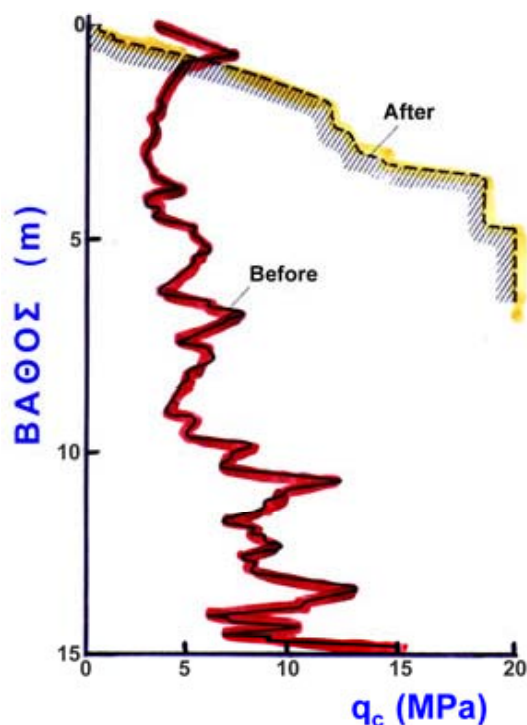
**εναλλακτικές
μορφές δονητή**



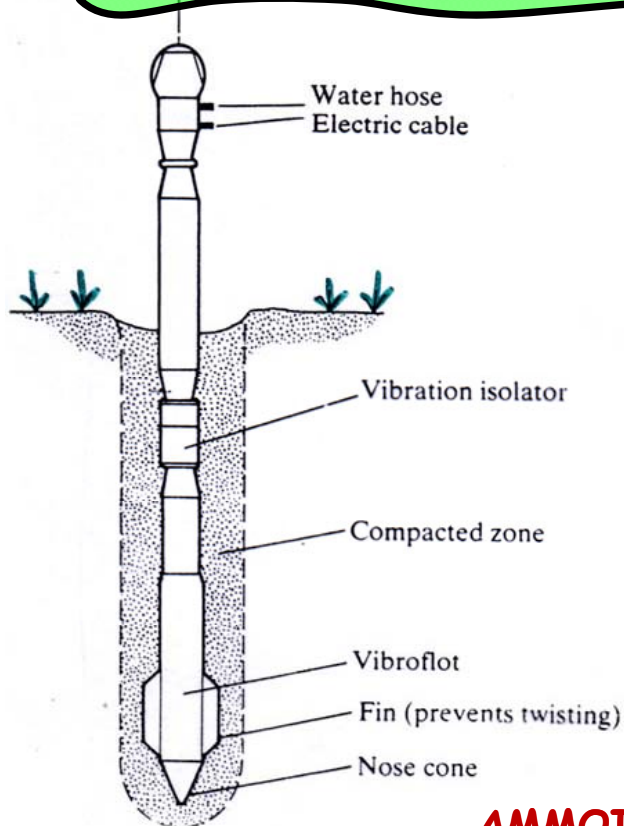
ΑΜΜΟΙ ΚΑΠ.



**Βελτίωση του εδάφους με
Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση:
VIBROCOMPACTION**



Βελτίωση του εδάφους με Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση: *VIBRO - FLOTATION*



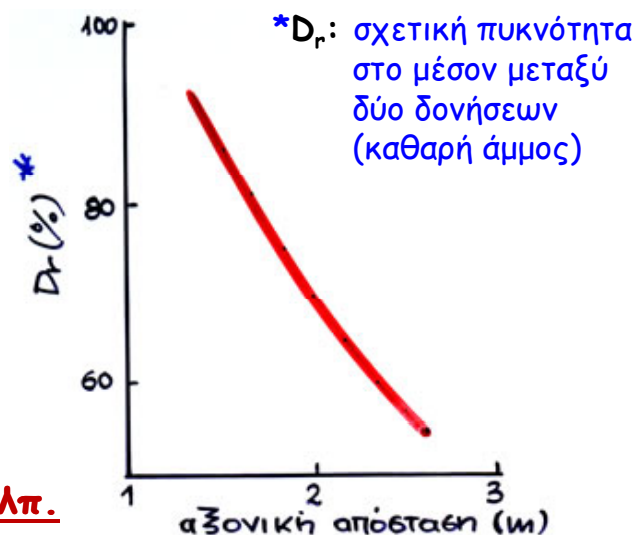
Οριζόντια ταλάντωση στο έδαφος λόγω έκκεντρης περιστροφής της torpilis.

$$f = 30\div 50\text{Hz} \quad , \quad \delta = \pm 5\text{-}23\text{mm}$$

μήκος torpilis: 2-4.5m

βάρος torpilis: 4-8t

διάμετρος: 30-45cm

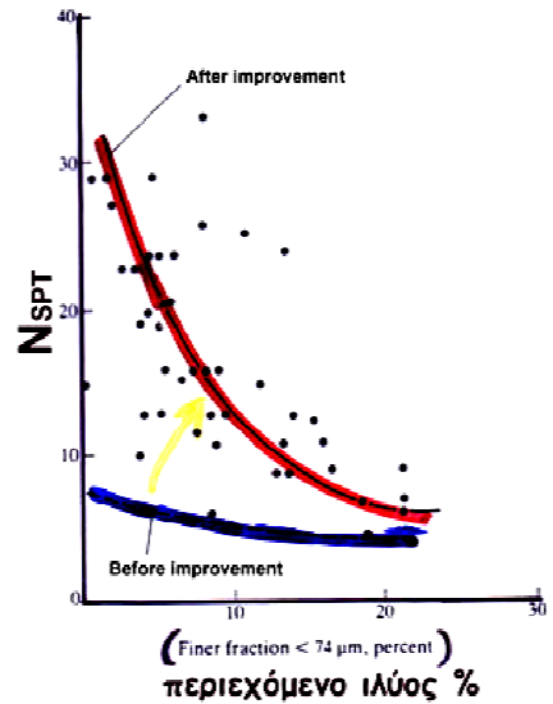
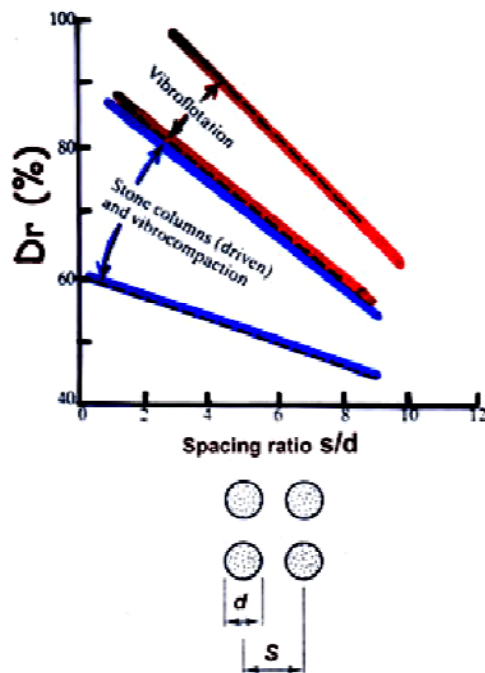


ΑΜΜΟΙ ΚΛΠ.

και κάτι πιο ρεαλιστικό.....



εμπειρικά διαγράμματα σχεδιασμού

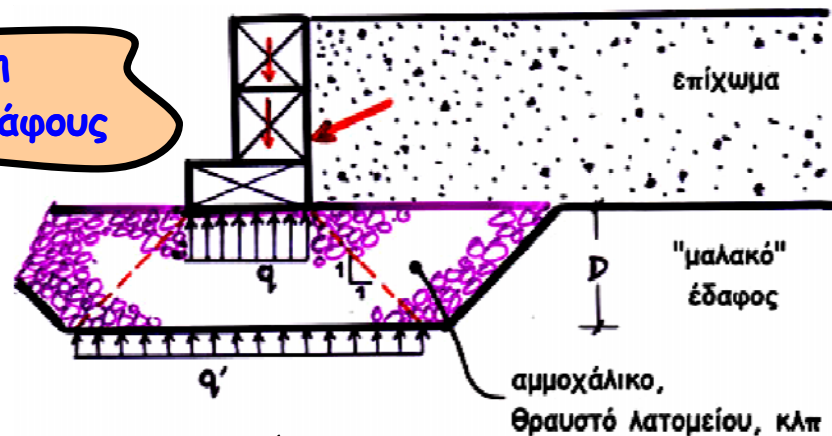


Συμπεράσμα:

Και οι δύο μέθοδοι βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης είναι αποτελεσματικές για (καθαρές) άμμους με ποσοστό ιλύος $\leq 10-15\%$. Η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό ιλύος και αργίλου.

5.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Αντικατάσταση
"μαλακού" εδάφους



απειρομήκης λωρίδα πλάτους B:

π.χ. για κατανομή 1:1, $q' = q \frac{B}{B + 2D}$

επιπλέον, για $D = \frac{B}{2}$, $q' = \frac{1}{2} q$

τετράγωνο διάστασης B:

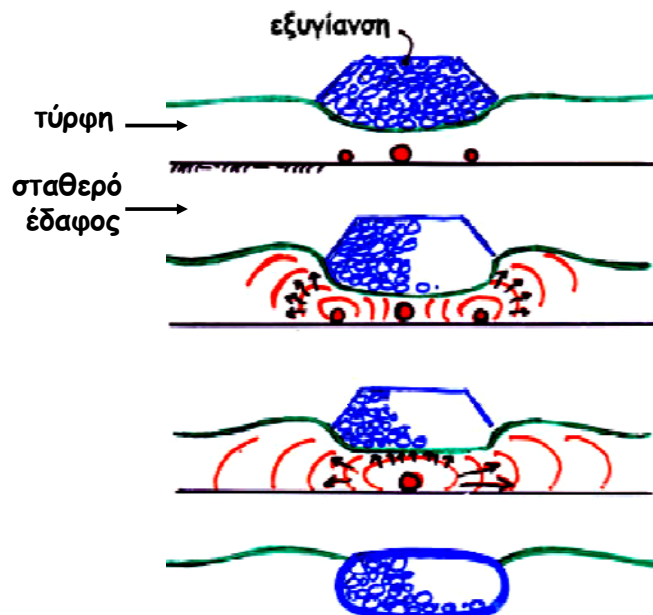
π.χ. για κατανομή 1:1, $q' = q \frac{B^2}{(B + 2D)^2}$

επιπλέον, για $D = \frac{B}{2}$, $q' = \frac{1}{4} q$

Μεθοδολογία:

Η αντικατάσταση του "μαλακού" εδάφους μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους:

- + εκσκαφή & επίχωση
- + εκτόπιση υπό το ίδιο βάρος της εξυγίανσης
- + εκτόπιση με την βοήθεια εκρηκτικών...



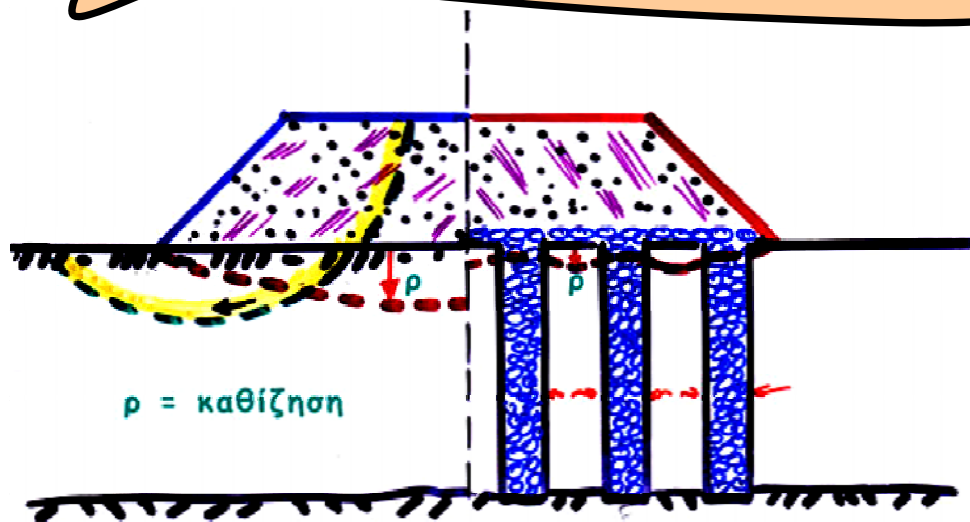
a. αρχική
κατάσταση

b₁. βοηθητικές
εκρήξεις

b₂. κύρια
έκρηξη

c. τελική
κατάσταση

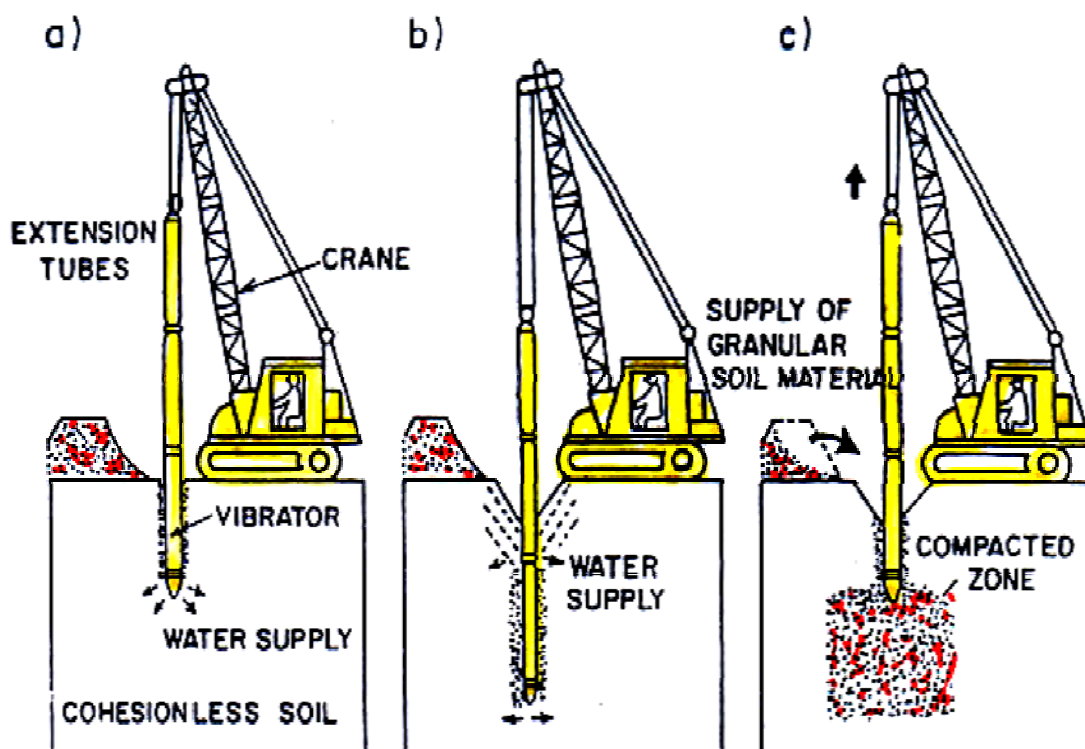
**Βελτίωση - ενίσχυση "μαλακού" εδάφους
με χαλικοπασσάλους**



Σύνθετη δράση χαλικοπασσάλων:

- + Ανάληψη φορτίου
- + Αύξηση της ισοδύναμης διατμητικής αντοχής
- + Επιτάχυνση καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης (άργιοι)
- + Συμπύκνωση εδάφους (άμμοι)

Κατασκευή «εκ των ΑΝΩ» (TOP FEED)

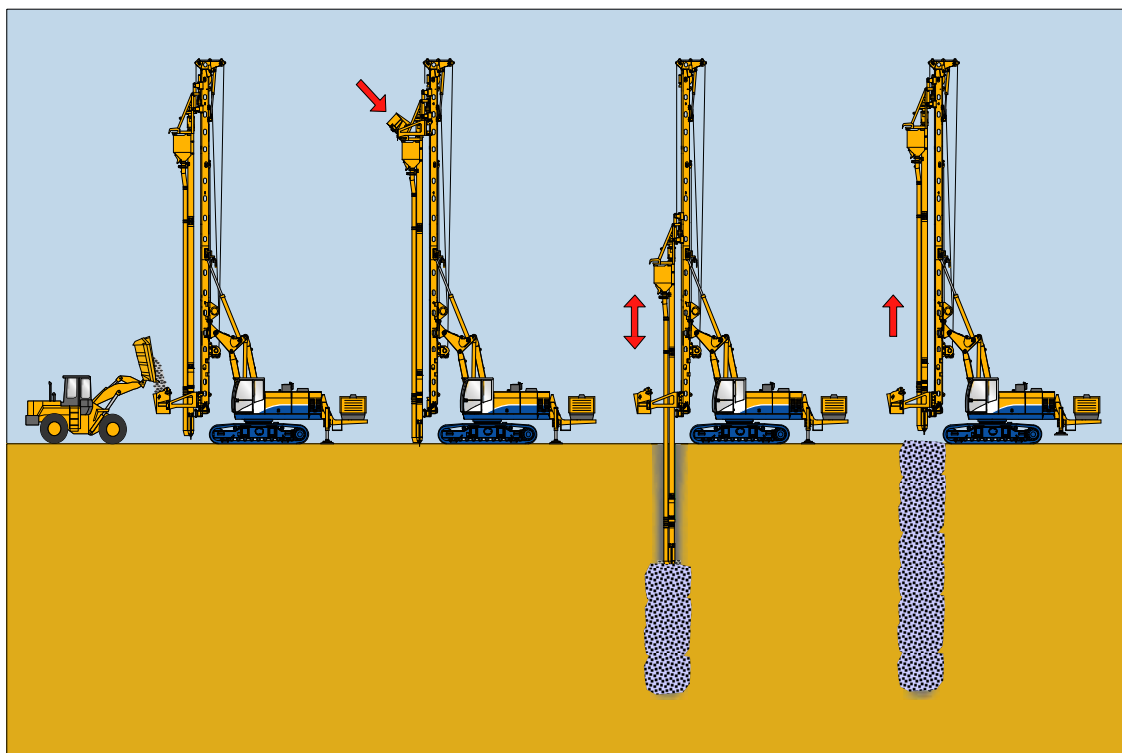


Κατασκευή «εκ των ΑΝΩ» (TOP FEED)

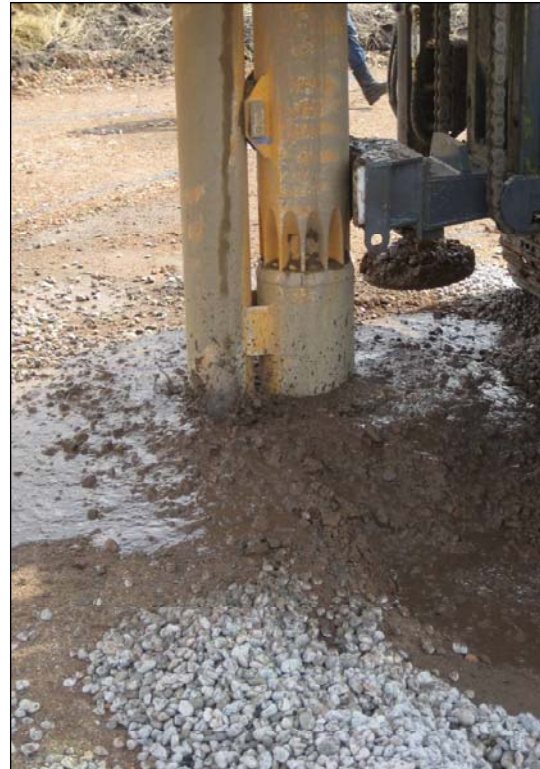


Βίντεο 1

Κατασκευή «εκ των ΚΑΤΩ» (BOTTOM FEED)



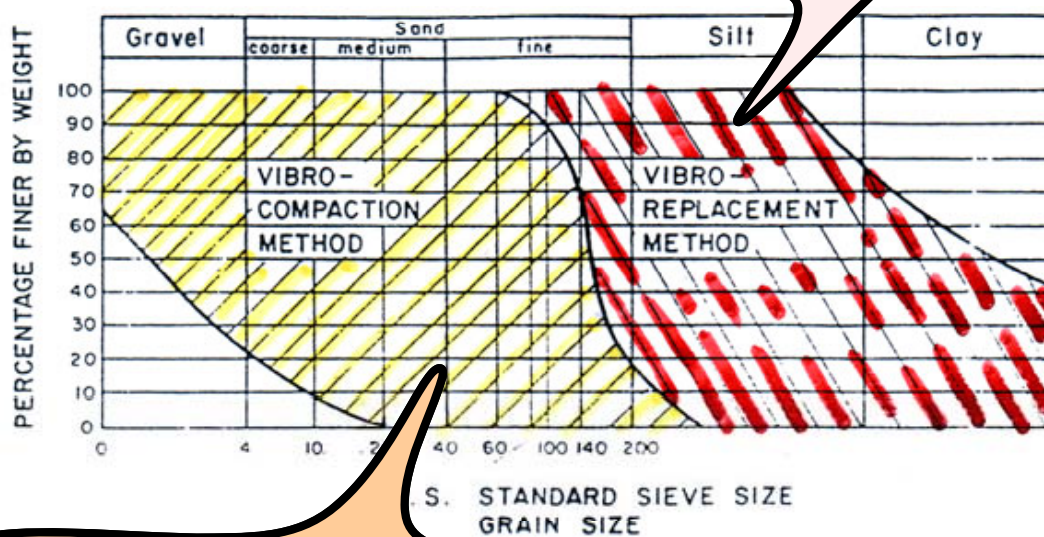
Κατασκευή «εκ των ΚΑΤΩ» (BOTTOM FEED)



Βίντεο 2

Χαλικοπάσσαλοι:

- αμμο-ιλύες (ποσοστό ιλύος >18%)
- ιλύες
- άργιλοι

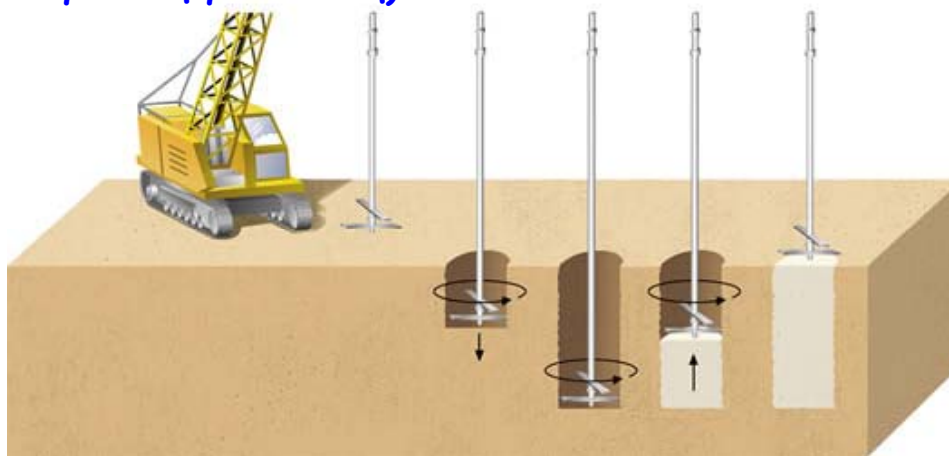


Vibro-compaction:

- άμμοι
- χάλικες
- αμμο-ιλύες (ποσοστό ιλύος <18%)

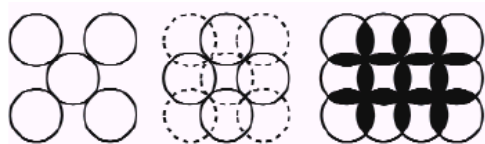
Βελτίωση του εδάφους με Βαθείά Εδαφική Ανάμιξη

Ανάμιξη του εδάφους με κάποιο υλικό «σταθεροποίησης»
(π.χ. τσιμέντο ή μπετονίτη)

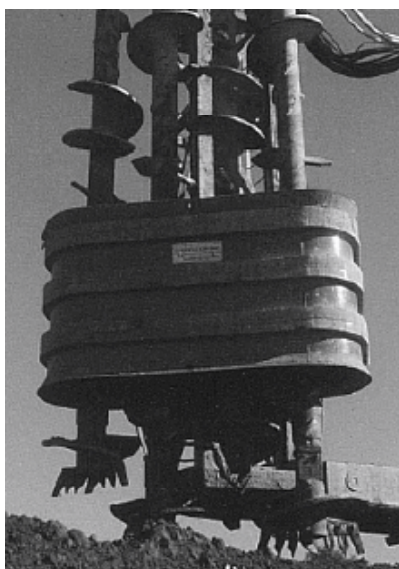


Τρυπάνι ↑

Πιθανές
διατάξεις →



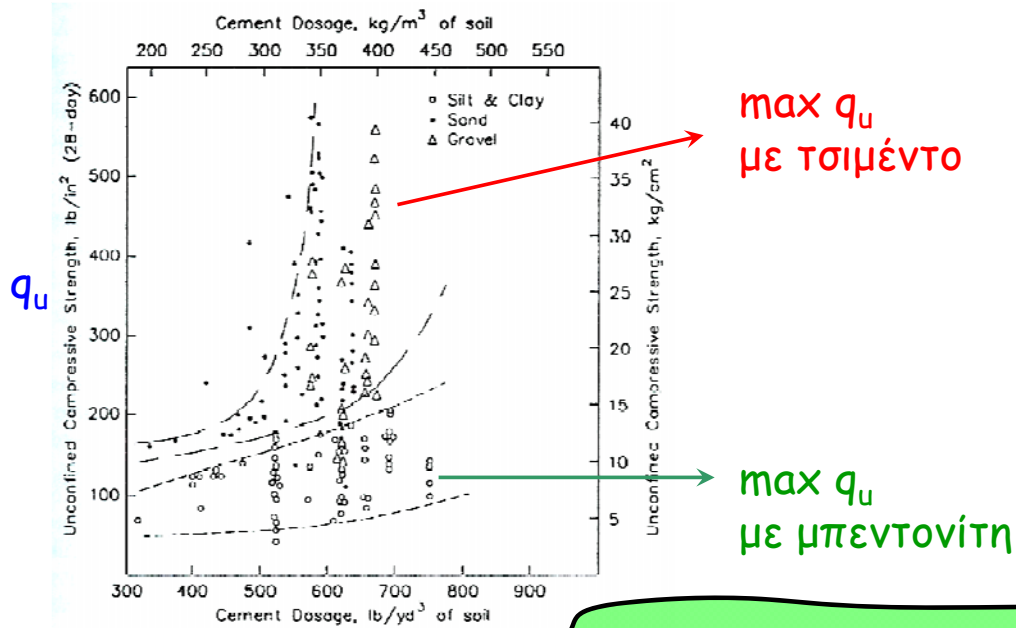
Τύποι διατρητικών
στηλών



Παραδείγματα από εδαφο-πασσάλους



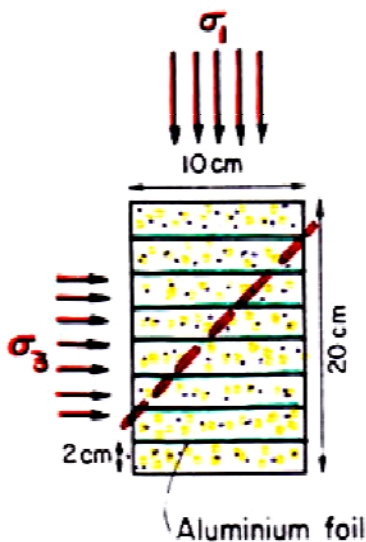
Εμπειρικά Διαγράμματα Σχεδιασμού



Περιεκτικότητα σε τσιμέντο

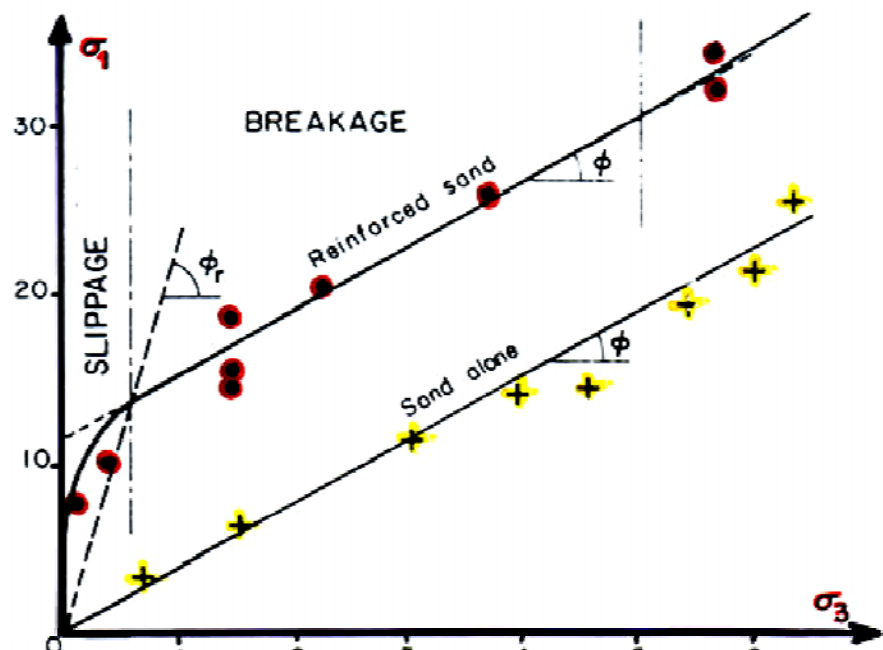
Πλεονεκτήματα της μεθόδου

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

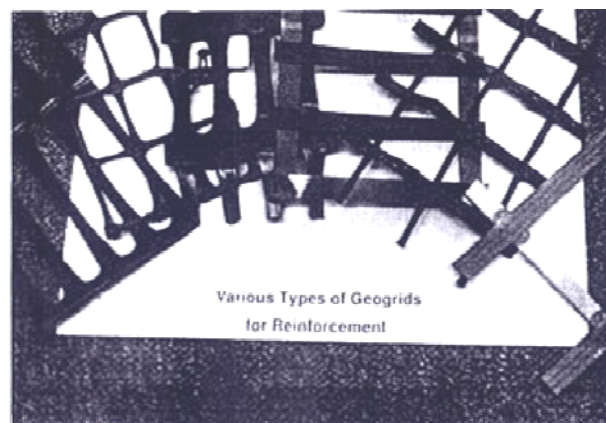


βασικές αρχές
λειτουργίας

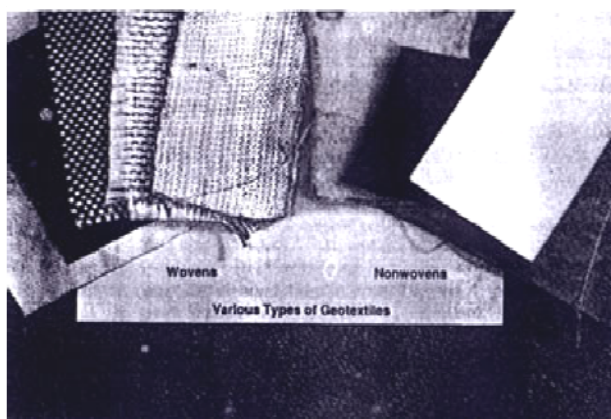
Ενίσχυση του εδάφους με οπλισμό



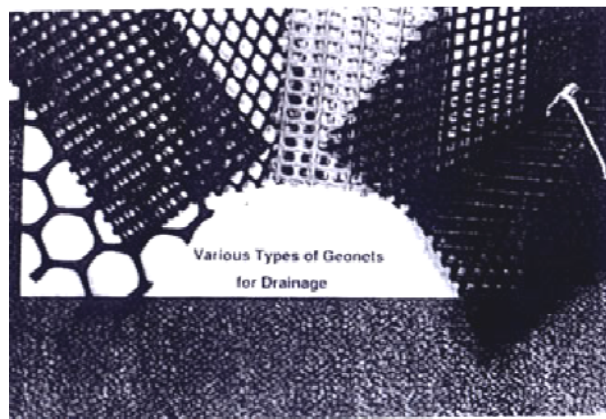
Οπλισμένη γη: οπλισμός με
γεωυφάσματα
ή γεωπλέγματα



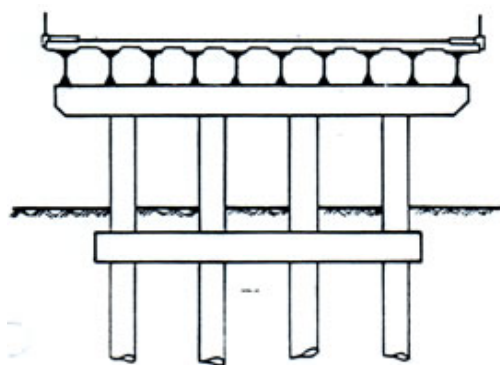
γεωυφάσματα



γεωπλέγματα

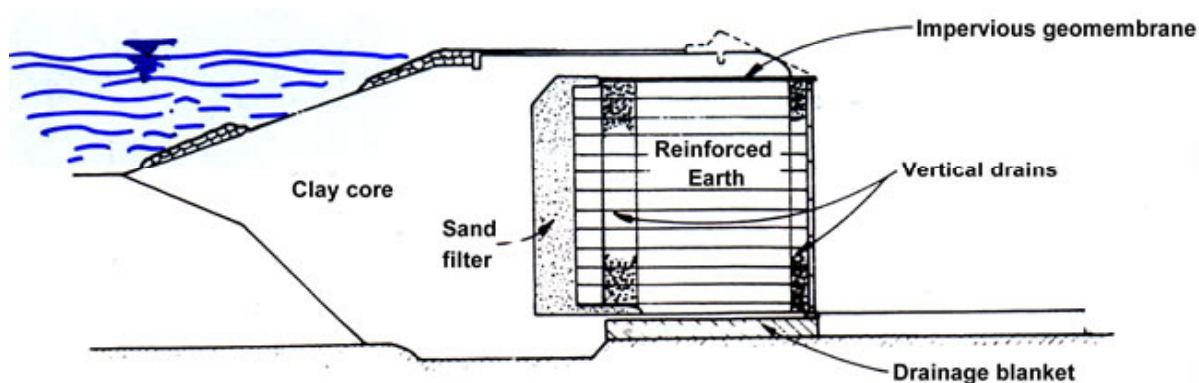


Παραδείγματα κατασκευών με “οπλισμένη γη”



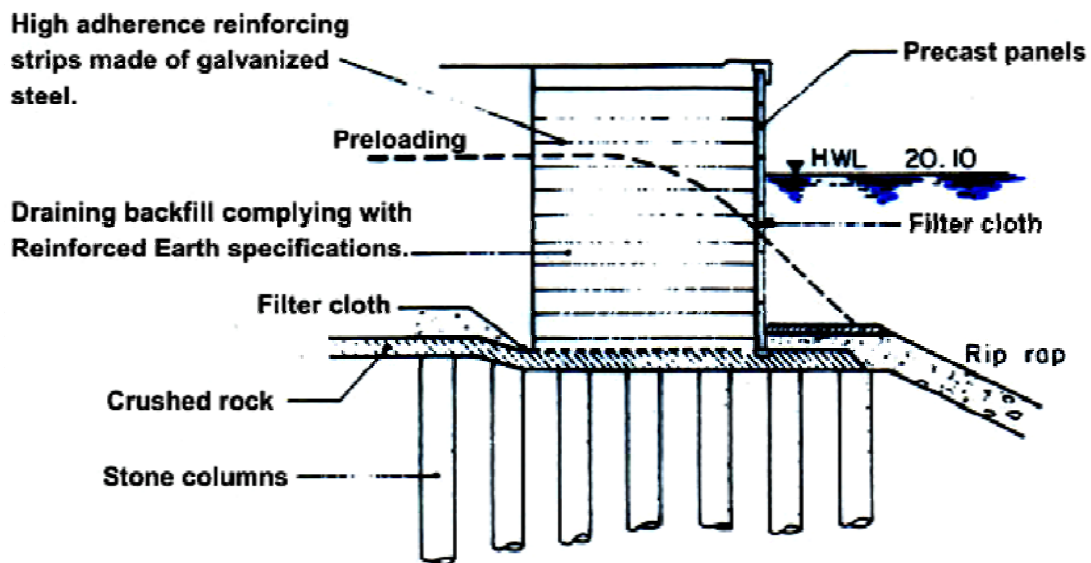
Πυλώνας Γέφυρας

(Μικρό) Φράγμα



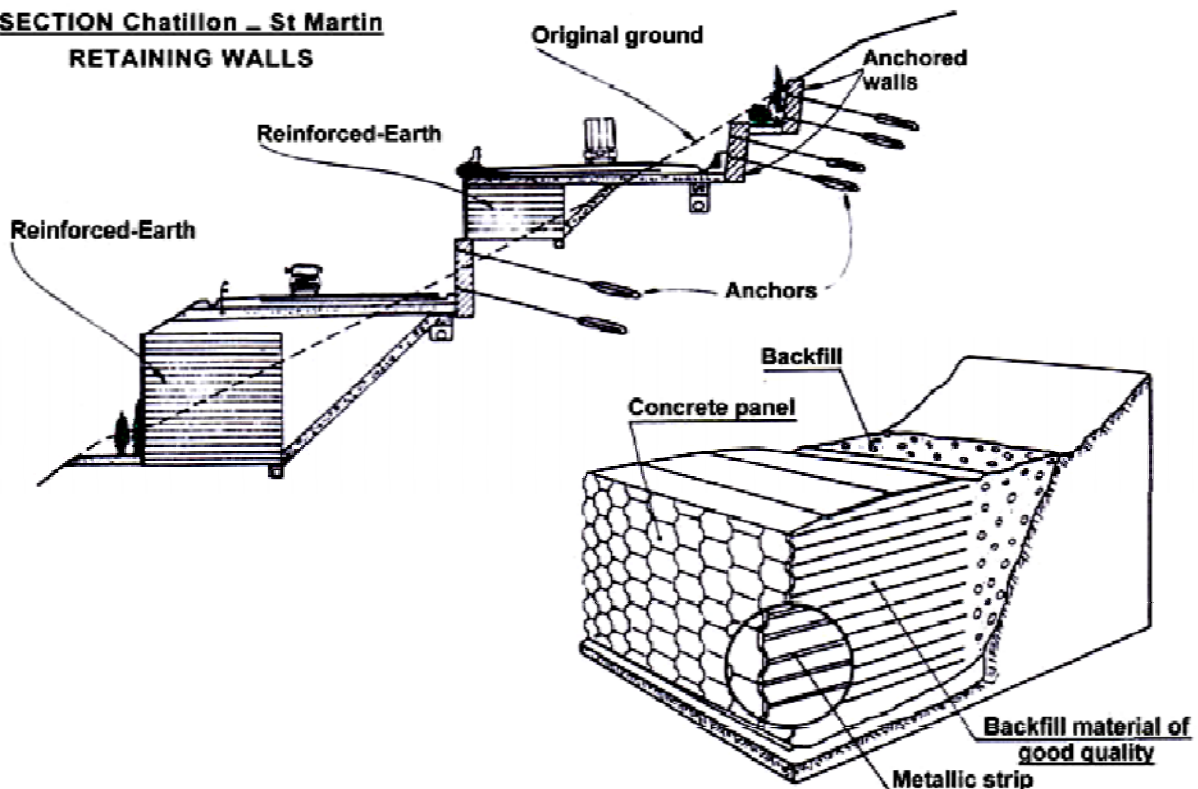
Παραδείγματα κατασκευών με "οπλισμένη γη"

Κρηπιδότοιχος

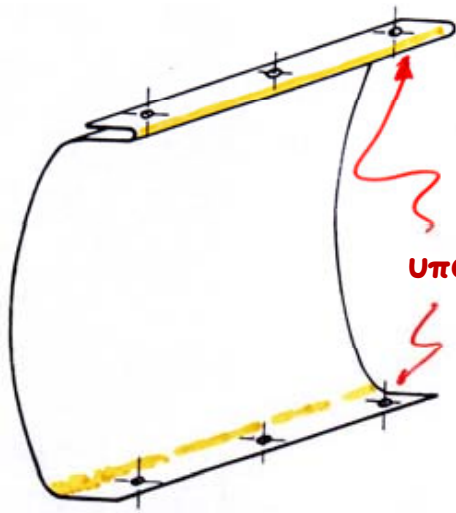


Οπλισμένη γη - Μεταλλικός οπλισμός

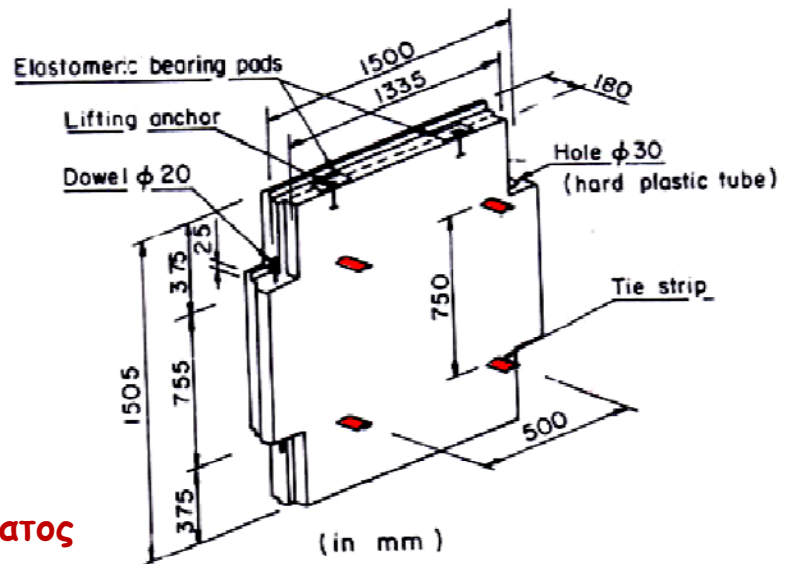
SECTION Chatillon - St Martin RETAINING WALLS



Λεπτομέρειες Μεταλλικού Οπλισμού



(α) πρόσοψη από
μεταλλικό έλασμα



(β) πρόσοψη από
πλάκες σκυροδέματος

5.5 Σύνοψη Μεθόδων Βελτίωσης - Ενίσχυσης του εδάφους

ΜΕΘΟΔΟΣ	Βελτίωση- Ενίσχυση	Έδαφος
Προφόρτιση	B	C; S
Αντικατάσταση Εδάφους	B	C (S)
Χαλικοπάσσαλοι	E (B)	C, S
Επιφανειακή Συμπύκνωση	B	(C), S
Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση	B	S
Βαθιά Εδαφική Ανάμιξη	Βελτίωση	S
Οπλισμένη γη, γεφυράσματα κλπ	Ενίσχυση	C, S
(Τσιμεντ)ενέσεις	E	S
Ηλεκτρο-όσμωση	B	C
Κατάψυξη εδάφους	B	S

κ.λ.π.

C: άργιλος

S: άμμος