

7. ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΙ

Γιώργος Μπουκοβάλας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

7.1 Μέθοδοι Κατασκευής

7.2 Παράμετροι Σχεδιασμού - Ορισμοί

7.3 Εμπειρικές Μέθοδοι Σχεδιασμού

**7.4 Αναλυτικές Μέθοδοι Σχεδιασμού
ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΥ**

**7.5 Αναλυτικές Μέθοδοι Σχεδιασμού
ΟΜΑΔΑΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ**

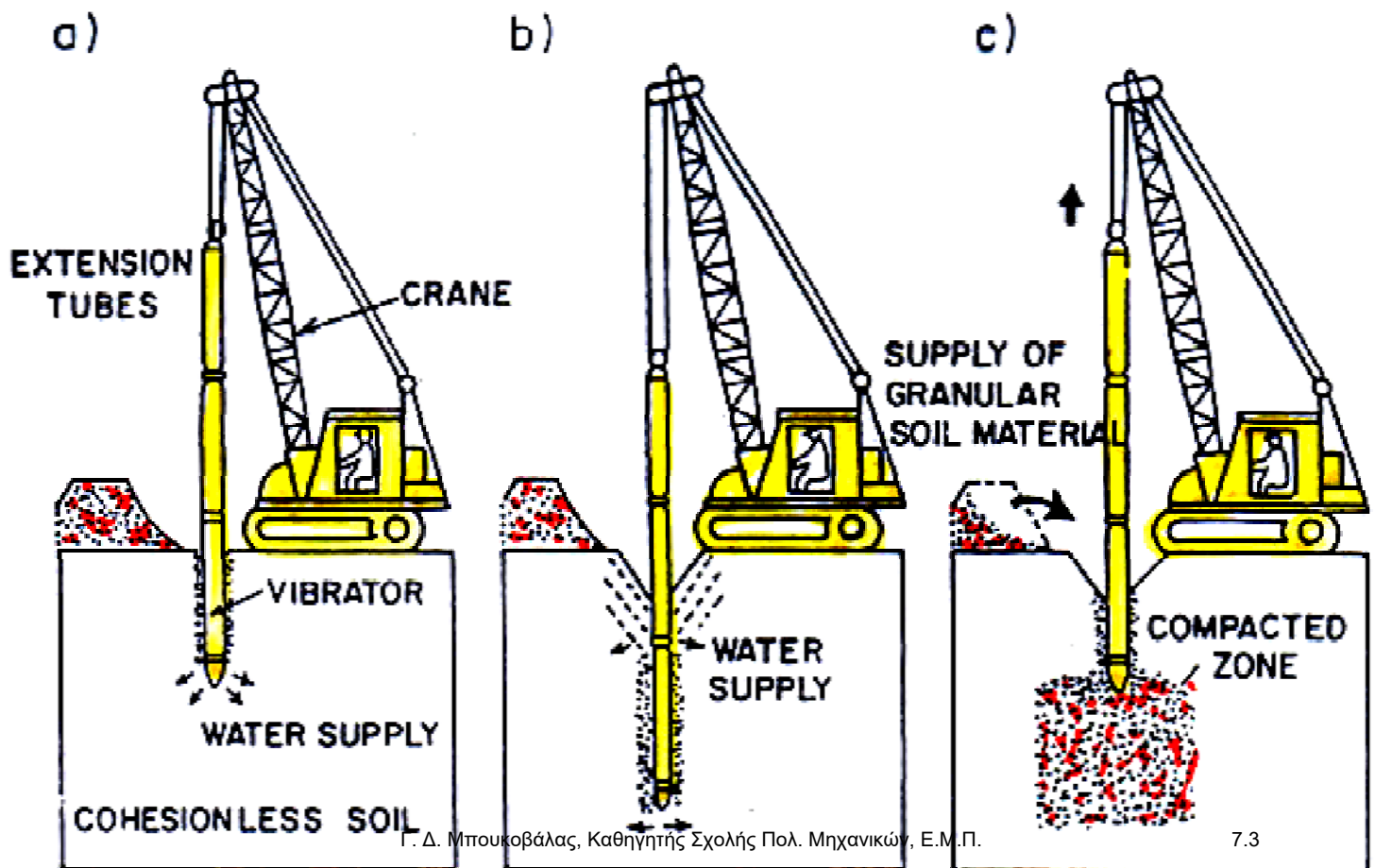
7.1 Μέθοδοι Κατασκευής

Οι μέθοδοι κατασκευής χαλικοπασσάλων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, με:

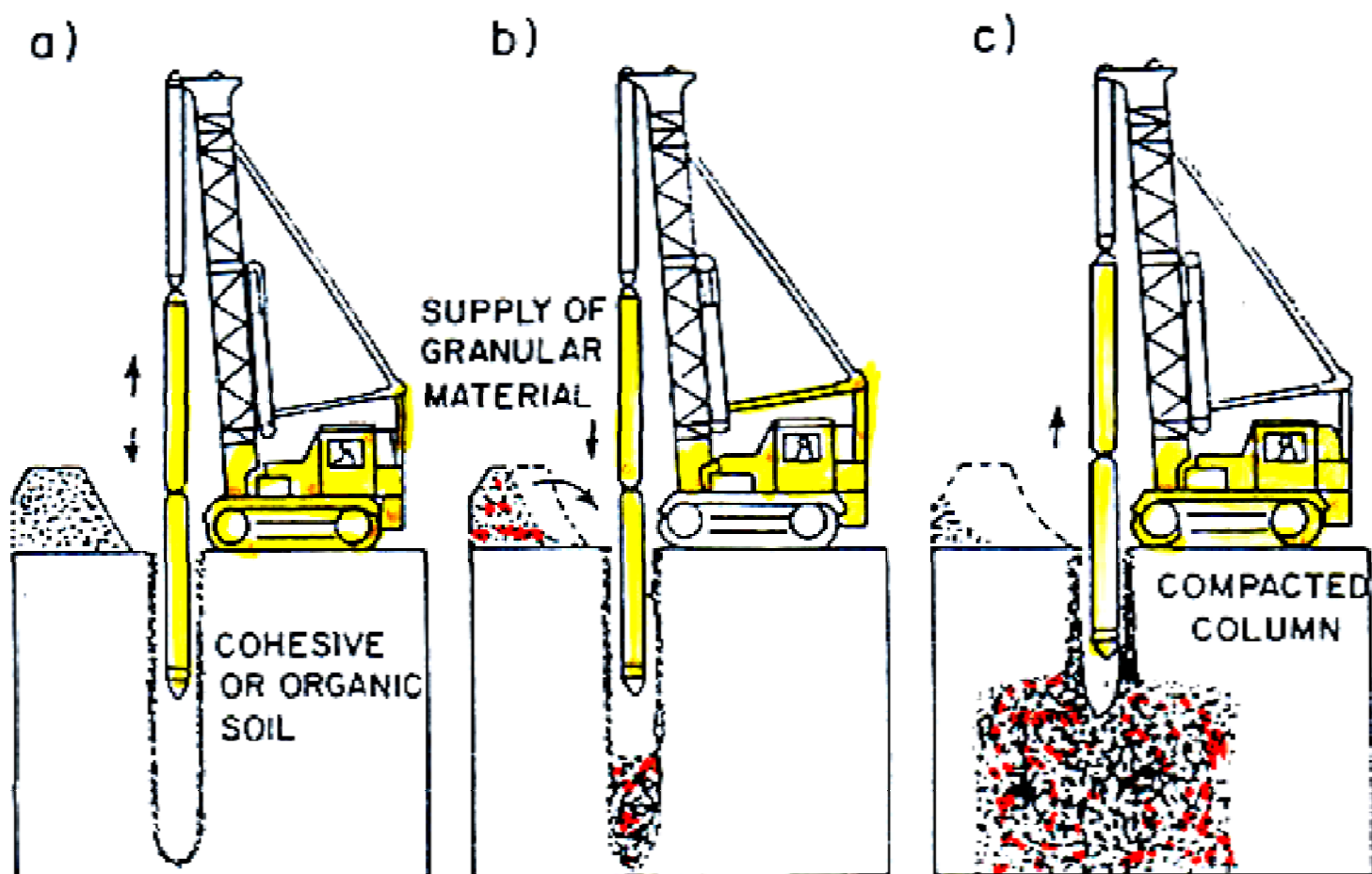
- ✚ «εκ των άνω» τροφοδοσία χαλίκων ή **Top Feed Method**
- ✚ «εκ των κάτω» τροφοδοσία χαλίκων ή **Bottom Feed Method**

Για κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες, υπάρχουν πολλές παραλλαγές κατασκευής ανάλογα με τον τύπο του εδάφους που θα βελτιωθεί, τον διαθέσιμο εξοπλισμό και την εταιρία κατασκευής.....

Top Feed Method σε μη συνεκτικά εδάφη (άμμοι, κλπ.) . . .



Top Feed Method σε συνεκτικά εδάφη (άργιλοι, κλπ.)



Top Feed Method

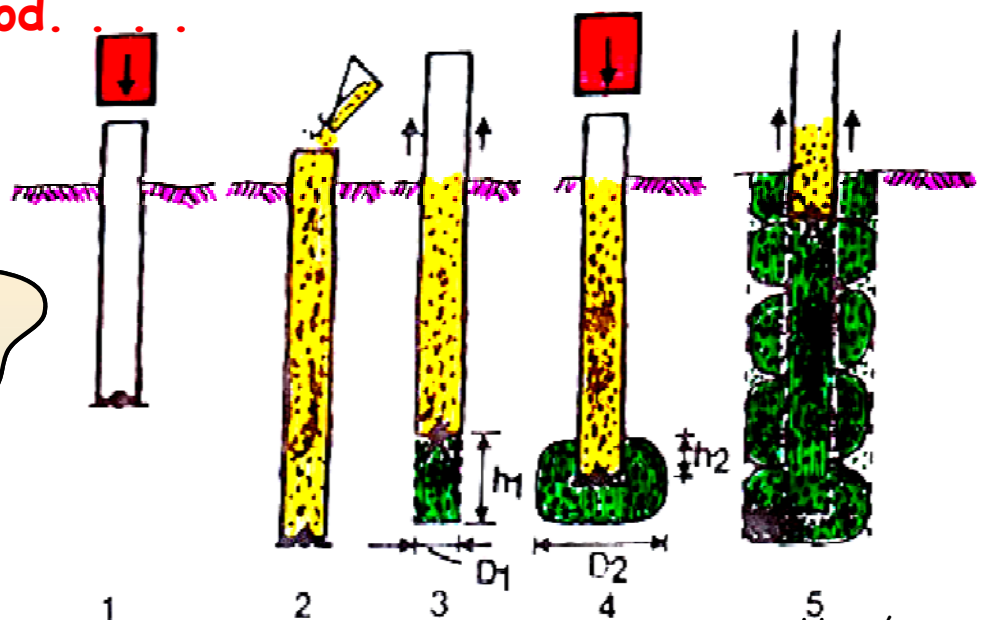


και κάτι πιο
ρεαλιστικό.....



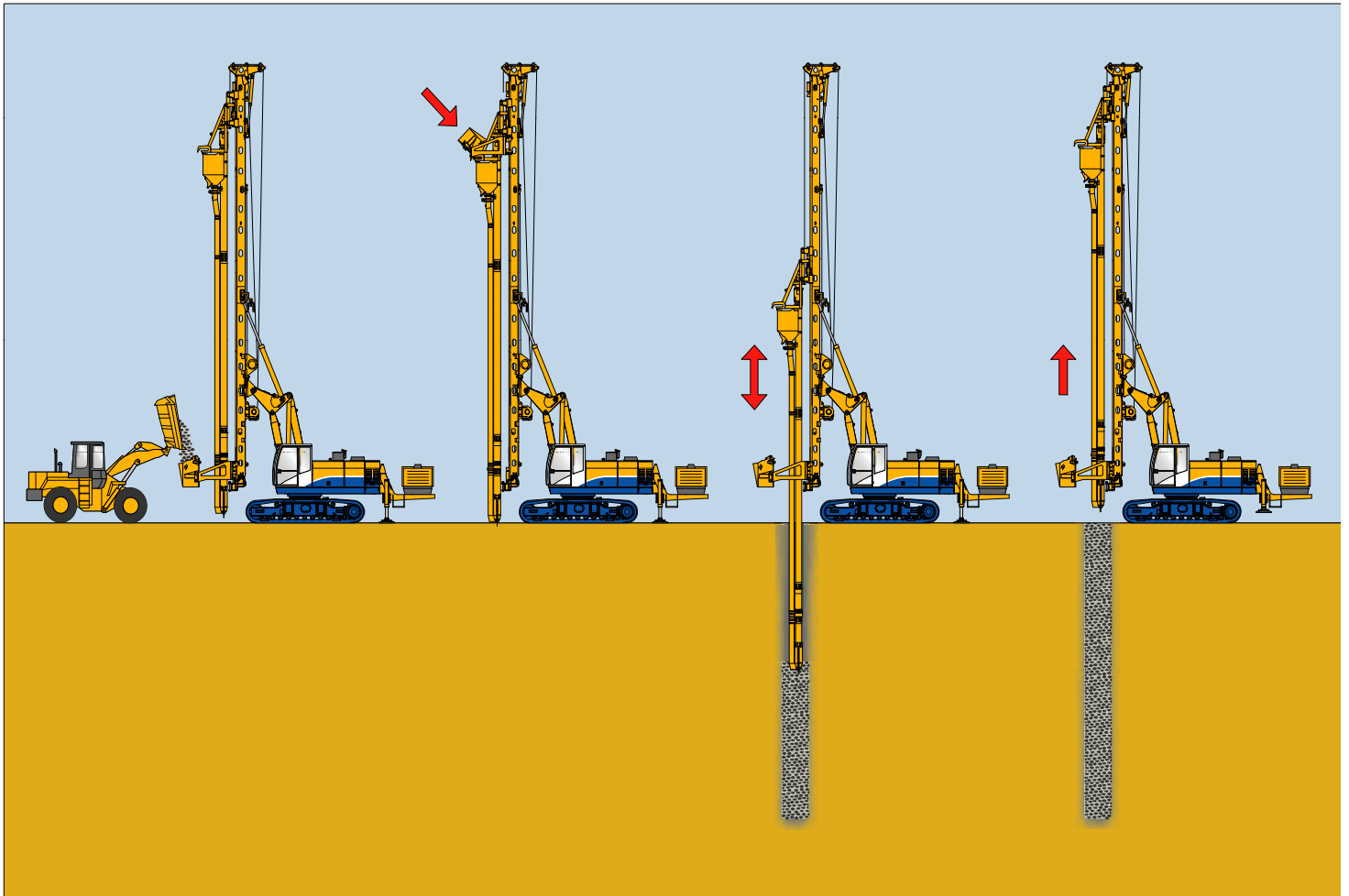
Bottom Feed Method.

Κάπως έτσι άρχισε:
η «ελληνική μέθοδος»
Bottom Feed



1. Έμπηξη μέσα στο έδαφος σωλήνα πωματισμένου προσωρινά στο κάτω άκρο, με ειδικό πώμα.
2. Ολοκλήρωση της έμπηξης και γέμισμα του εσωτερικού σωλήνα με κοκκώδες υλικό.
3. Τμηματική εξόλκευση του σωλήνα σε προκαθορισμένο τμήμα h_1 .
4. Επανέμπηξη του σωλήνα σε προκαθορισμένο τμήμα h_2 , κλείσιμο του ειδικού πώματος και συμπύκνωση του κοκκώδους υλικού. Διεύρυνση της αρχικής διαμέτρου D_1 σε μεγαλύτερη D_2 .
5. Συνεχείς πολλαπλές εξολκεύσεις και επανεμπιέξεις μέχρι την πλήρη ολοκλήρωση του συμπυκνωμένου χαλικοπασσάλου.

Bottom Feed Method. . . .

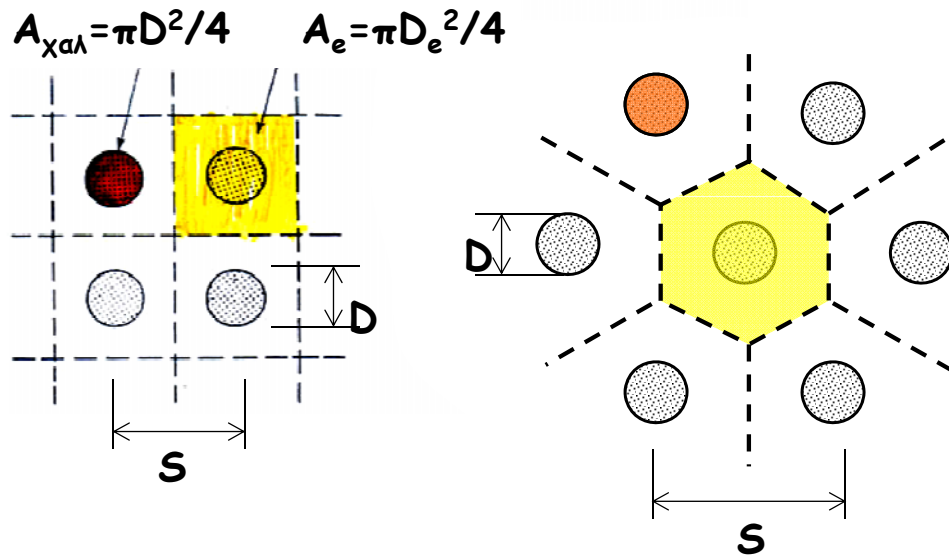


Bottom Feed Method. . . .



7.2 Παράμετροι Σχεδιασμού - Ορισμοί

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



- Λόγος (συντελεστής) αντικατάστασης

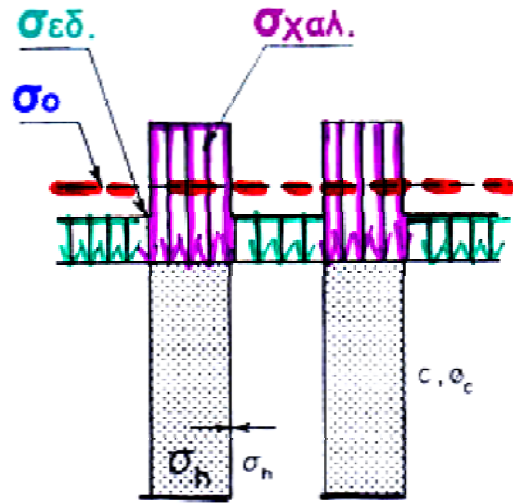
$$\alpha_s = \frac{A_{χαλ.}}{A_e} = \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 \quad (0 \div 1.00)$$

$$\alpha_s = \begin{cases} 0.91 \cdot (D/S)^2 & \text{3-γωνικός κάνναβος} \\ 0.78 \cdot (D/S)^2 & \text{4-γωνικός κάνναβος} \end{cases}$$

The diagram shows a hexagonal grid with spacing S . A central bar is shown in yellow, and a hexagonal area A_e is highlighted in yellow, containing one bar. The bar diameter is D . The area of one bar is $A_{χαλ} \sim \pi D_e^2 / 4$.

**Λόγος (συντελεστής)
συγκέντρωσης τάσεων**

$$n = \frac{\sigma_{\text{χαλ.}}}{\sigma_{\text{εδ.}}}$$



1η Ερώτηση: Γιατί άραγε να έχουμε «συγκέντρωση τάσεων»; Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το n ;

2η Ερώτηση: Μπορείτε να υπολογίσετε τους λόγους

$$\frac{\sigma_{\text{εδ.}}}{\sigma_o} = ? \quad \frac{\sigma_{\text{χαλ.}}}{\sigma_o} = ?$$

συναρτήσει του n και του a_s ;

ισορροπία δυνάμεων

σε ένα κελί επιρροής του χαλικοπασσάλου:

$$\sigma_o \left(\frac{\pi D_e^2}{4} \right) = \sigma_{\text{χαλ.}} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) + \sigma_{\text{εδ.}} \frac{\pi (D_e^2 - D^2)}{4}$$

$$\sigma_o = \sigma_{\text{χαλ.}} \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 + \sigma_{\text{εδ.}} \left[1 - \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 \right]$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_o &= \sigma_{\text{χαλ.}} a_s + \sigma_{\text{εδ.}} (1 - a_s) \\ \sigma_{\text{χαλ.}} &= n \sigma_{\text{εδ.}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_o = [n a_s + (1 - a_s)] \sigma_{\text{εδ.}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{\sigma_{\text{εδ.}}}{\sigma_o} &= \frac{1}{n a_s + (1 - a_s)} \\ \frac{\sigma_{\text{χαλ.}}}{\sigma_o} &= \frac{n}{n a_s + (1 - a_s)} \end{aligned} \right\}$$

αυτές τις σχέσεις να
τις θυμάστε γιατί θα
χρησιμεύσουν
παρακάτω

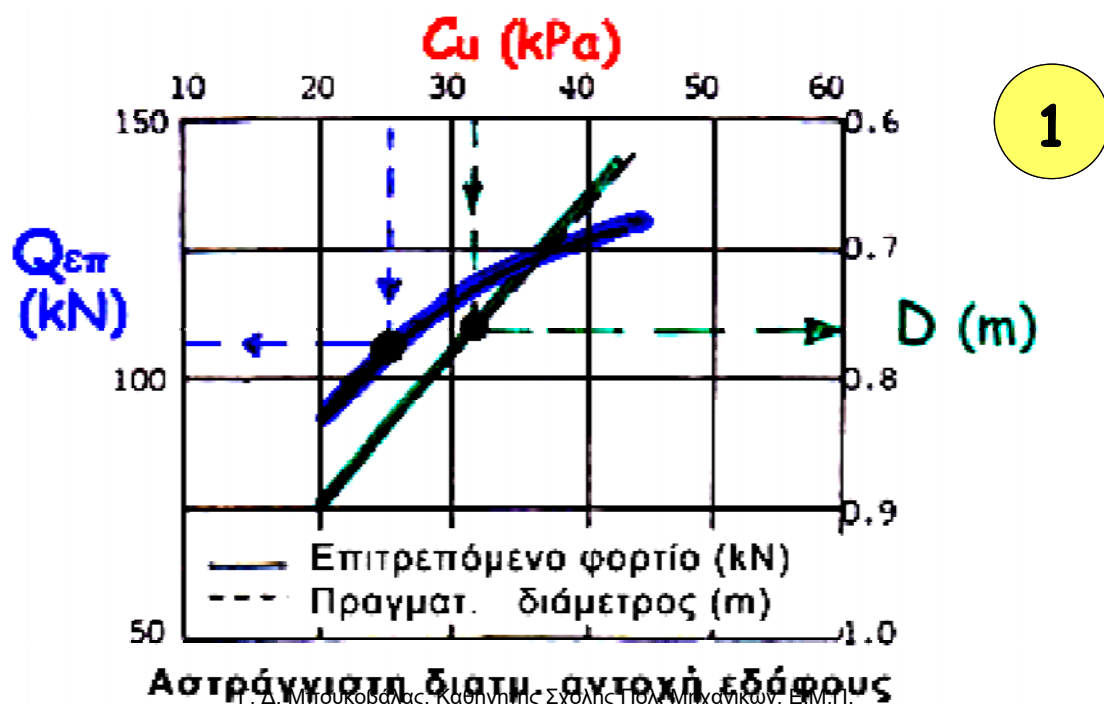
7.3 Εμπειρικές Μέθοδοι Σχεδιασμού

Οι εμπειρικές μέθοδοι σχεδιασμού έχουν προέλθει από στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων από δοκιμαστικές φορτίσεις χαλικοπασσάλων ή από παραμετρικές αριθμητικές αναλύσεις (πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών). Μας παρέχουν ένα απλό και άμεσο τρόπο υπολογισμού (του φορτίου θραύσης, των καθιζήσεων, κ.λ.π.) και για τον λόγο αυτό είναι δημοφιλείς.

Υπάρχει όμως και ..."αλλά": Πολλές φορές η συσχέτιση των παραμέτρων σχεδιασμού του χαλικο-πασσάλου γίνεται με κάποιες μόνον από τις σημαντικές μεταβλητές του προβλήματος και όχι πάντοτε με τις πιο σημαντικές. Επιπλέον, οι περισσότερες εμπειρικές μέθοδοι στερούνται θεωρητικού υποβάθρου.

Έτσι, τις χρησιμοποιούμε μόνον για πρόχειρο (ούτε καν για προκαταρκτικό) σχεδιασμό ή για έλεγχο των αποτελεσμάτων αναλυτικών και αριθμητικών μεθόδων υπολογισμού.

✚ Υπολογισμός επιτρεπόμενου φορτίου ($Q_{επ}$) και διαμέτρου (D) χαλικοπασσάλου

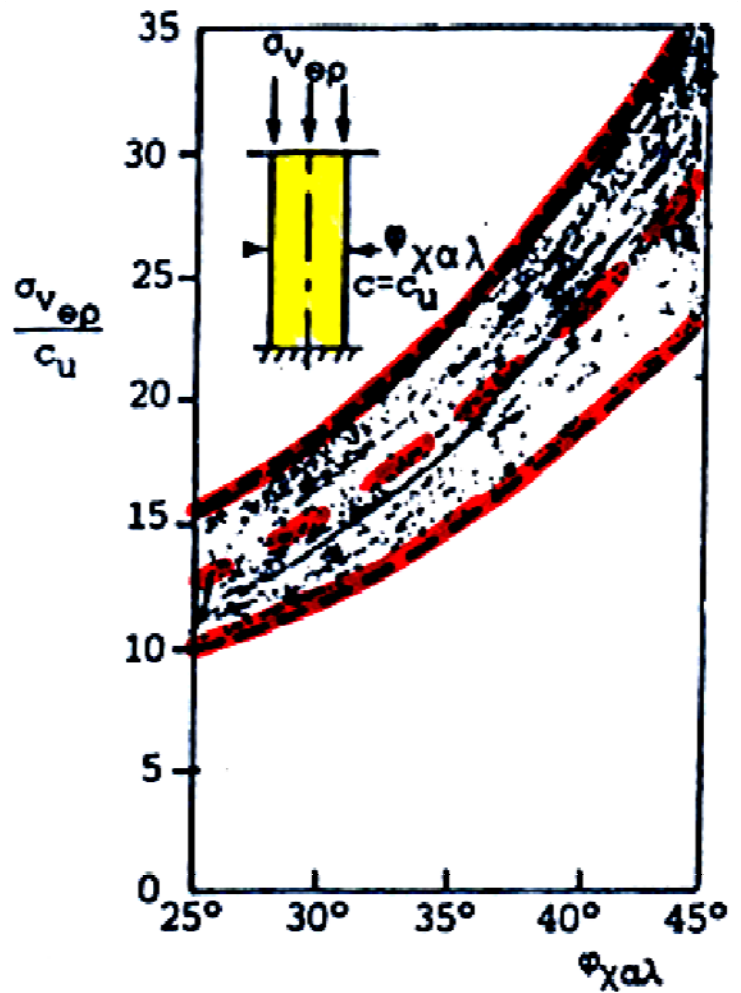


✚ Υπολογισμός οριακού φορτίου

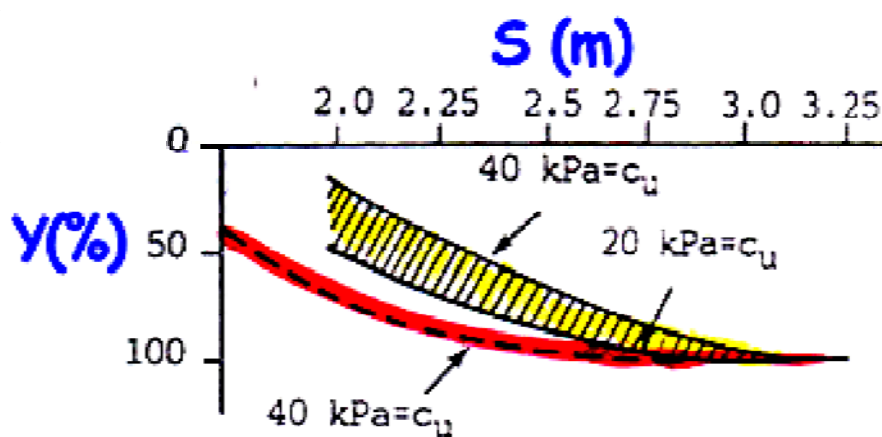
Θραύσης χαλικοπασσάλου

(Vesic 1972)

2



✚ Υπολογισμός καθίζησης ενισχυμένου εδάφους



3

S = απόσταση μεταξύ των χαλικοπασσάλων

γ = $\frac{\text{καθίζηση "ενισχυμένου" εδάφους}}{\text{καθίζηση αρχικού εδάφους}}$

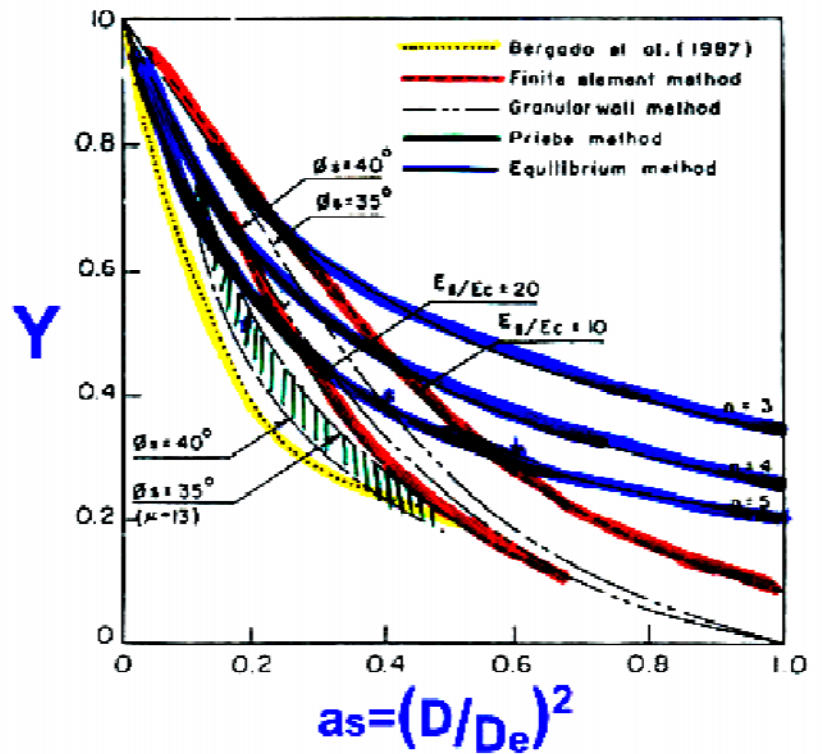
— Μέθοδος δονητικής αντικατάστασης

--- Μέθοδος δονητικής εκτόπισης

Υπολογισμός καθίζησης ενισχυμένου εδάφους

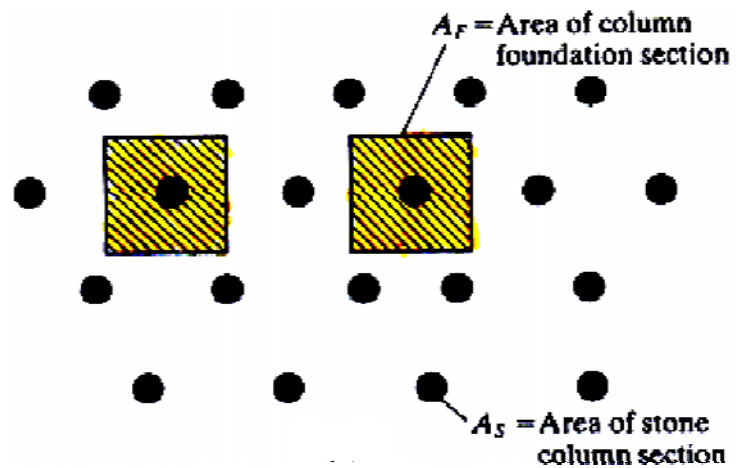
4

$\gamma =$ καθίζηση "ενισχυμένου" εδάφους
καθίζηση αρχικού εδάφους



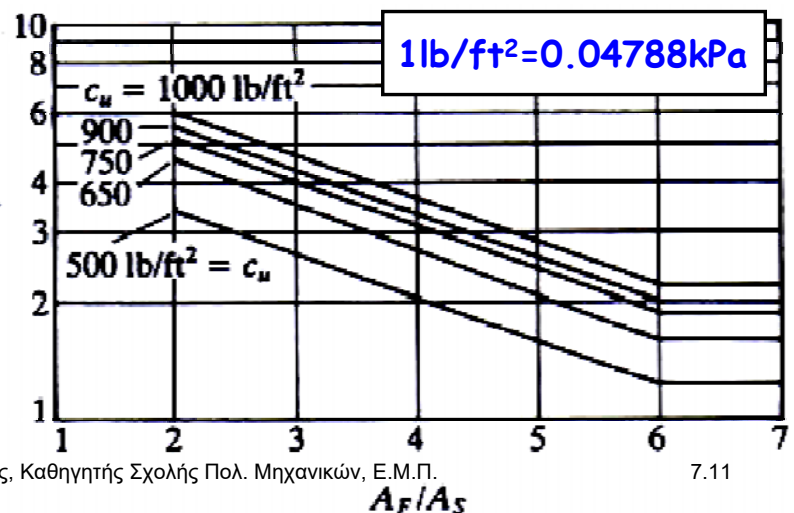
Υπολογισμός καθίζησης μεμονωμένου θεμελίου (Greenwood & Thompson 1984, Dass 1999)

5



$S_F =$ καθίζηση σε φυσικό έδαφος
 $S_S =$ καθίζηση σε βελτιωμένο έδαφος

$$1/\gamma = \frac{S_F}{S_S}$$



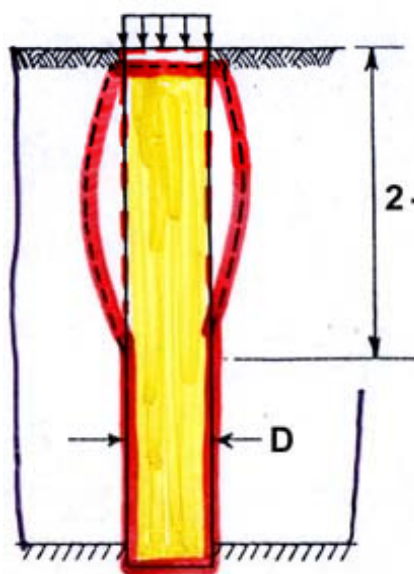
7.4 Αναλυτικές Μέθοδοι Σχεδιασμού ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΧΑΛΙΚΟΤΑΣΣΑΛΟΥ

Όταν έχουμε κάποιο σύνθετο πρόβλημα να επιλύσουμε αναλυτικά, όπως εν προκειμένω, αναζητούμε κάποιο απλουστευμένο προσομοίωμα συμπεριφοράς (κοινώς ... μοντέλο), το οποίο επιδέχεται αναλυτική λύση, ή κάποιο «ανάλογο» πρόβλημα για το οποίο υπάρχει ήδη αναλυτική λύση.

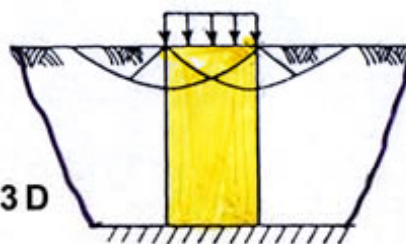
Με την λογική αυτή λοιπόν, χρησιμοποιούμε τα τρία διαφορετικά ... πρότυπα συμπεριφοράς ενός μεμονωμένου χαλικοπασσάλου που ακολουθούν (και επιλέγουμε συντηρητικά το δυσμενέστερο):

7.4 Αναλυτικές Μέθοδοι Σχεδιασμού ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΧΑΛΙΚΟΤΑΣΣΑΛΟΥ

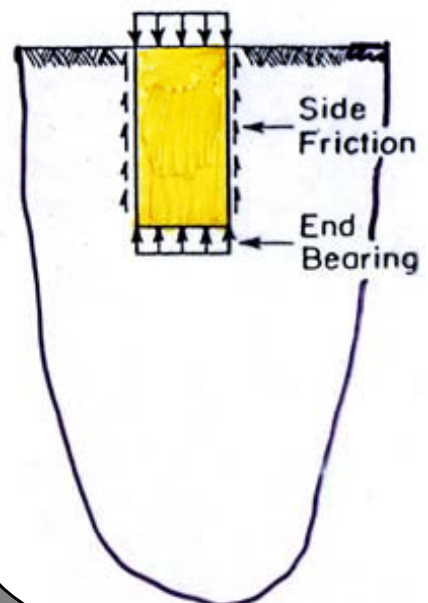
(α) ακτινική διόγκωση
(bulging)



(β) διάτμηση



(γ) διείδυση

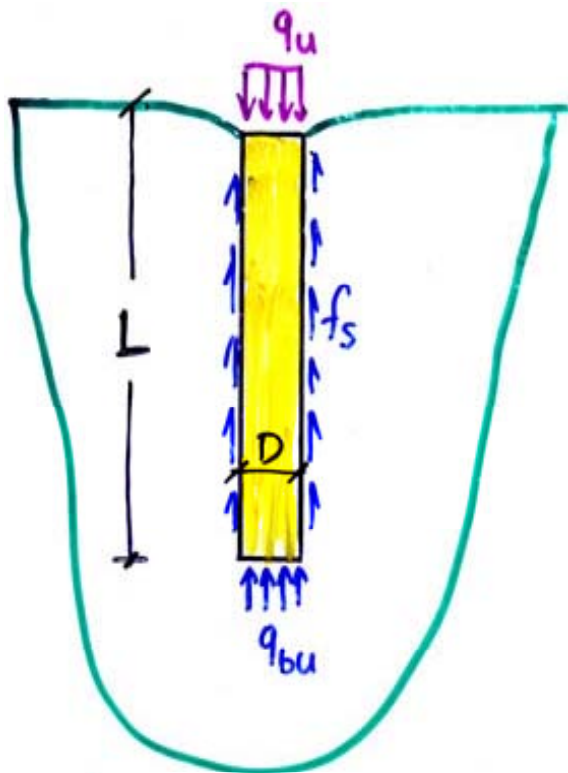


επιφανειακό θεμέλιο

Αναλογία

προς γνωστά μας
γεωτεχνικά προβλήματα

Προσομοίωμα «Διείσδυσης» πασσάλου

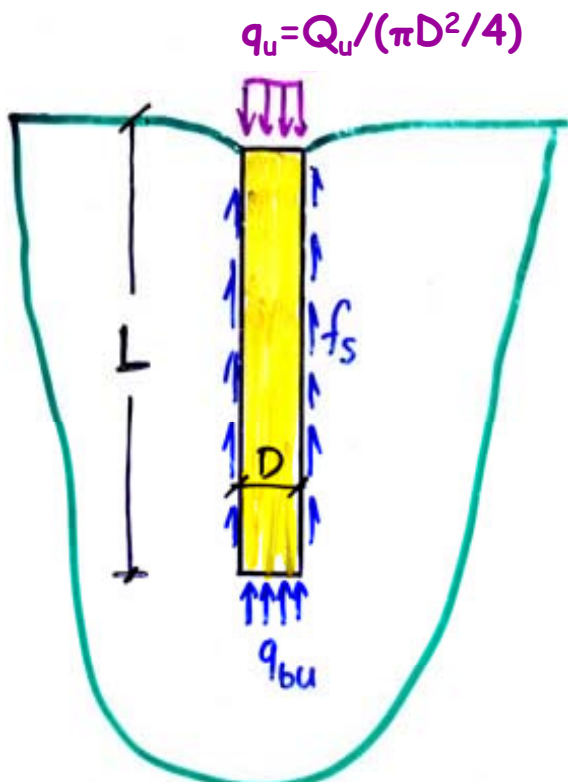


Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι ο χαλικο-πάσσαλος συμπεριφέρεται ως κοινός **πάσσαλος** και εφαρμόζουμε τα γνωστά από το μάθημα των **Θεμελιώσεων** του 7ου εξαμήνου. Απλά θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι:

✚ Η παράπλευρη επιφάνεια του χαλικοπασσάλου δεν είναι λεία, και επομένως η αστοχία συμβαίνει πάντοτε στο περιβάλλον έδαφος. Για μη συνεκτικά εδάφη (άμμους ή ιλύες), αυτό σημαίνει ότι $\delta = \varphi_{εδ}$.

✚ Ο χαλικοπάσσαλος είναι σαφώς πιο συμπιεστός από τους κοινούς πασσάλους και ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας $K = E_{χαλ.} / E_{εδ.}$ είναι σχετικά μικρός (10÷25).

Υπό αυτές τις παραδοχές....

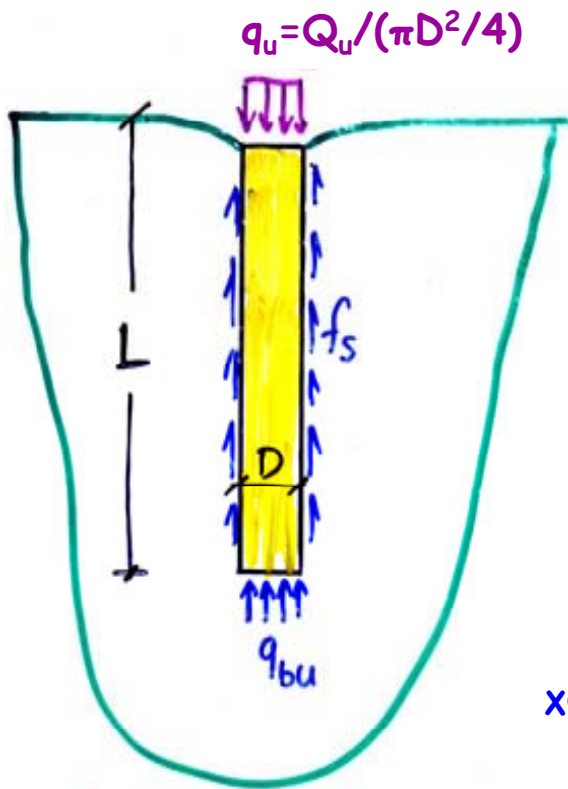


φέρουσα ικανότητα

$$Q_u = (\pi DL)f_s + \frac{\pi D^2}{4} q_{bu}$$

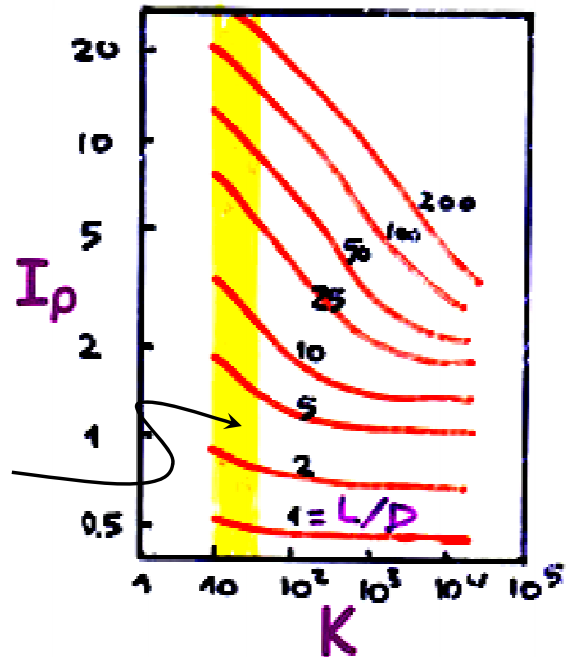
όπου η πλευρική τριβή f_s και η αντίσταση αιχμής q_{bu} υπολογίζονται κατά τα γνωστά από το μάθημα των Θεμελιώσεων..

Υπό αυτές τις παραδοχές....

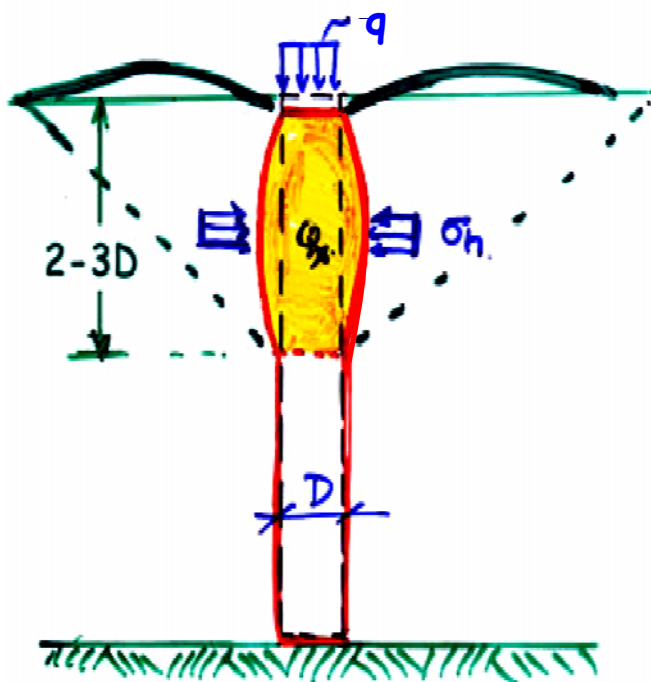


καθιζήσεις $\rho = \frac{Q}{L E_{\text{εδάφους}}} I_p(K, L/D)$

περιοχή
χαλικοπασσάλων



Προσομοίωμα «Ακτινικής Διόγκωσης»



Σύμφωνα με αυτό το προσομοίωμα,

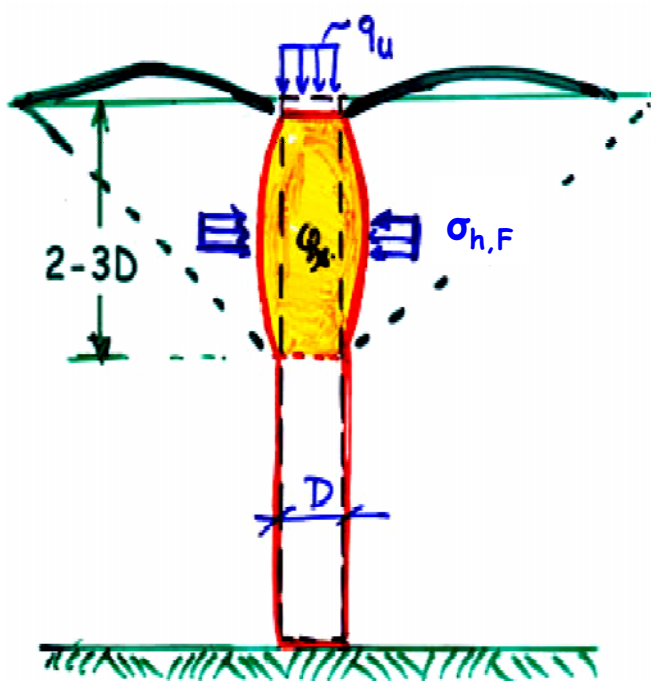
✚ το επάνω τμήμα του χαλικοπασσάλου εξομοιώνεται με ένα μεγάλων διαστάσεων κυλινδρικό δοκίμιο χαλίκων το οποίο υπόκειται σε τριαξονική φόρτιση, με κατακόρυφη αξονική τάση q και οριζόντια τάση σ_h .

✚ Το ίδιο βάρος των χαλίκων είναι πολύ μικρό σε σχέση με το αξονικά επιβαλλόμενο φορτίο και έτσι αγνοείται.

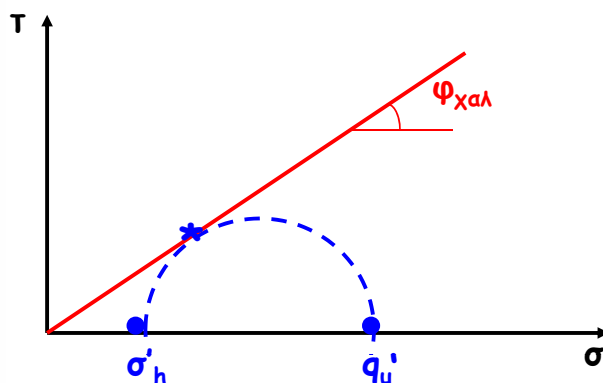
✚ Η οριζόντια τάση κυμαίνεται από σ_{h0} (οριζόντια γεωστατική) στην αρχή της φόρτισης έως $\sigma_{h,F}$ κατά την αστοχία του χαλικοπασσάλου.

✚ Η πίεση των πόρων στο μέσον του «δοκιμίου χαλίκων» παραμένει υδρο-στατική, ήτοι $u = \gamma_w (1.0 - 1.5)D$

✚ υπό αυτές τις συνθήκες



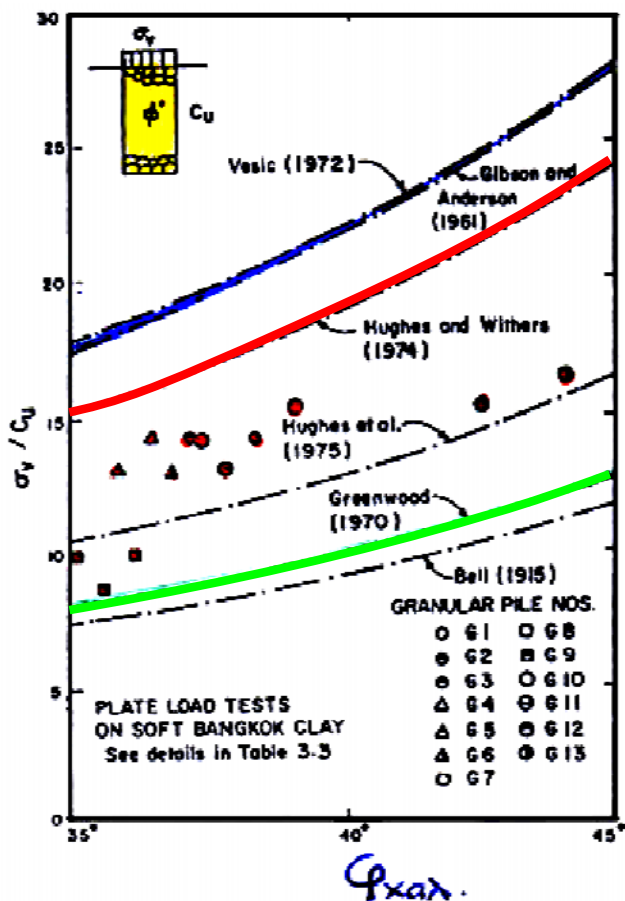
φέρουσα ικανότητα



$$(q_u - u) = (\sigma_{h,F} - u) \tan^2(45 + \phi_{\text{χαλ}}/2)$$

ή

$$q_u \approx q_u = \sigma_{h,F} \tan^2(45 + \phi_{\text{χαλ}}/2)$$



✚ Όπως καταλαβαίνετε, ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας είναι η σωστή τιμή της $\sigma_{h,F}$.

✚ Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι το $\sigma_{h,F}$ αντιστοιχεί στην οριζόντια τάση που προκαλεί αστοχία του μαλακού εδάφους, κάτι σαν παθητική ώθηση δηλαδή, οπότε (Greenwood, 1970):

$$\sigma_{h,F}^I = \sigma_{vo} + 2C_u$$

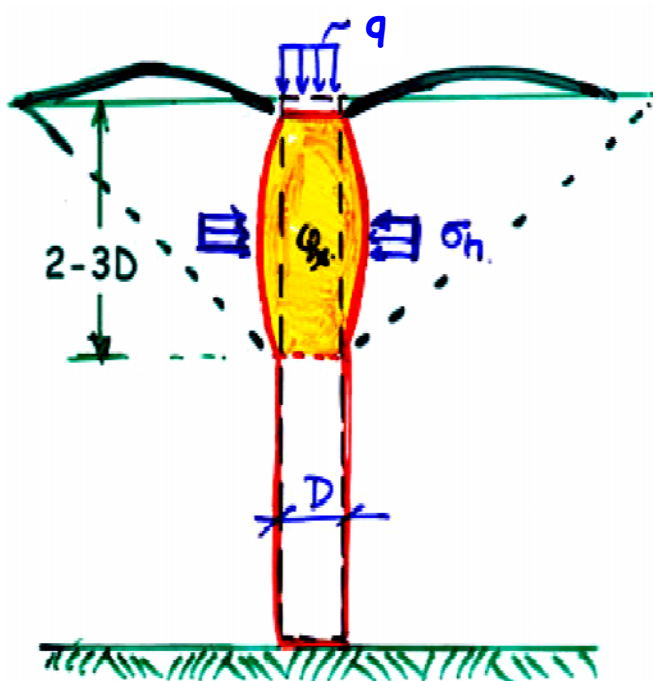
✚ Αστοχία όμως μπορεί να προέλθει και υπό την μορφή της «διαστολής κυλινδρικής κοιλότητας» (βλέπε Παράρτημα Μέρους ΙΙ των Σημειώσεων). Σε αυτή την περίπτωση (Hughes & Withers, 1974):

$$\sigma_{h,F}^{II} \approx \sigma_{ho} + 4C_u$$

✚ Τελικώς, όπως δείχνει και η σύγκριση με επιτόπου μετρήσεις του διπλανού σχήματος:

$$\sigma_{h,F}^I < \sigma_{h,F} < \sigma_{h,F}^{II}$$

✚ υπό αυτές τις συνθήκες



καθιζήσεις

$$\rho = \frac{q' - 2\nu \Delta\sigma'_h}{E_x} (2 \div 3) D$$

$$\text{όπου } E_x = (10 \div 25) E_{\infty} \text{ και } \nu_x = 1/3$$

✚ Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι οι καθιζήσεις αναφέρονται στο φορτίο λειτουργίας $q_{\text{λειτουργ}} = q_u / (2 \div 3)$ οπότε δεν έχει αρχίσει ακόμη η ακτινική διόγκωση του πασσάλου και $\sigma'_h = \sigma'_{ho}$ ή $\Delta\sigma'_h = 0$.

Επιπλέον, $u \ll q$, και έτσι η σχέση υπολογισμού της καθίζησης γίνεται τελικά:

$$\rho = \frac{q}{E_x} (2 \div 3) D$$

(β) Προσομοίωμα «Διάτμησης»

χαλικοπάσσαλος



ΚΥΚΛΙΚΟ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΘΕΜΕΛΙΟ
σε "ΣΥΝΘΕΤΟ" έδαφος

φέρουσα ικανότητα

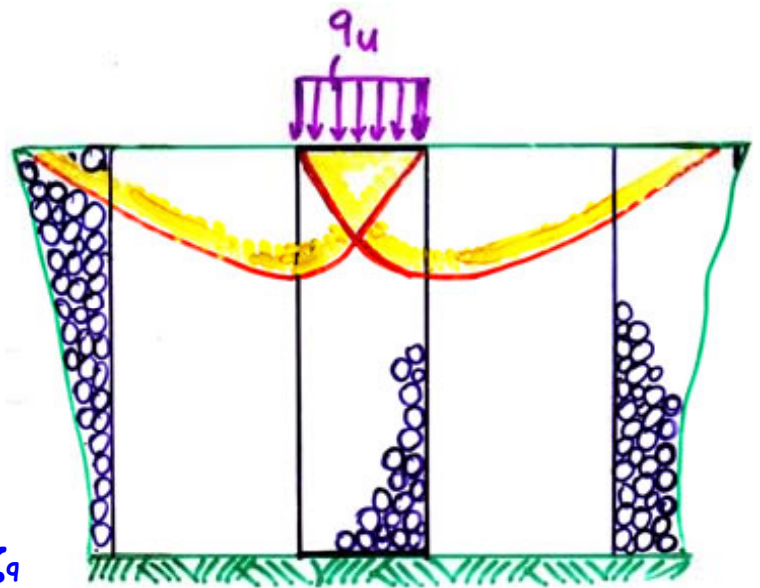
$$q_u = c * N_c \zeta_c + \frac{1}{2} \gamma * D N_\gamma \zeta_\gamma + q N_q \zeta_q$$

όπου

$$c^* = (1 - a_s) c_{\text{εδάφους}}$$

$$\gamma^* = a_s \gamma_{\text{χαλ.}} + (1 - a_s) \gamma_{\text{εδάφους}}$$

$$\tan \varphi^* = a_s \tan \varphi_{\text{χαλ.}} + (1 - a_s) \tan \varphi_{\text{εδάφους}}$$

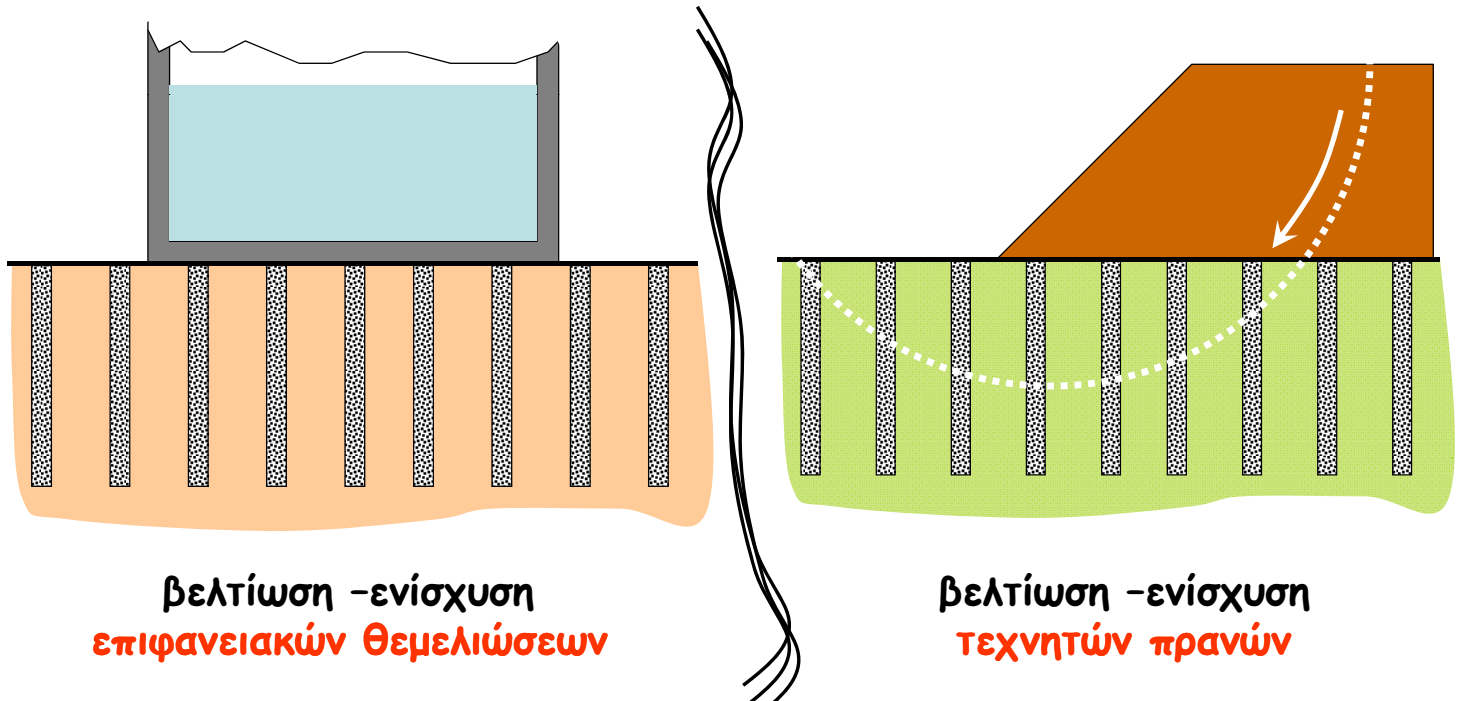


καθιζήσεις



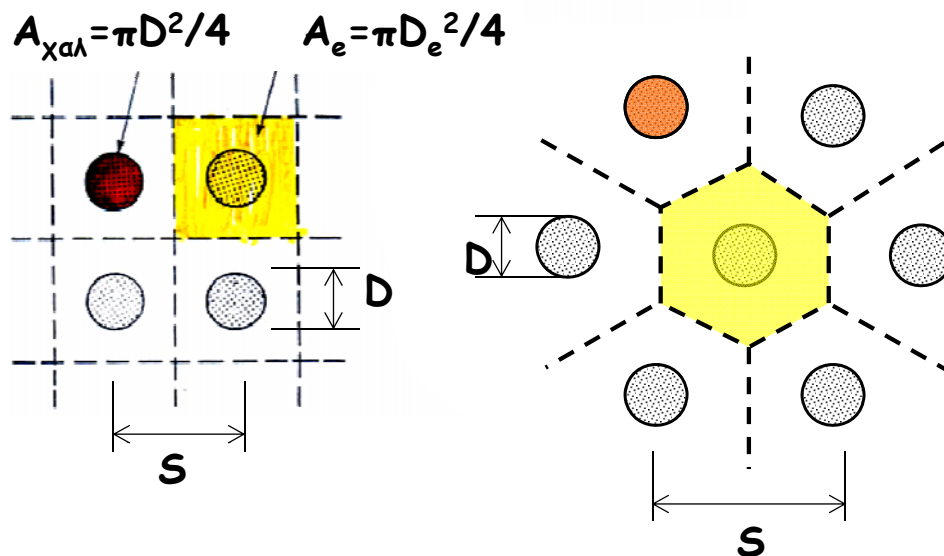
7.5 Αναλυτικές Μέθοδοι Σχεδιασμού ΟΜΑΔΑΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ

Η διαστασιολόγηση μιας ομάδας χαλικοπασσάλων εξαρτάται από τον σκοπό τον οποίο εξυπηρετεί. Ενδεικτικά, θα εξετασθούν εδώ δύο από τις πλέον συνηθισμένες πρακτικές εφαρμογές:



Παράμετροι Σχεδιασμού - Ορισμοί (επανάληψη)

Οι χαλικοπάσσαλοι κατασκευάζονται συνήθως σε **3-γωνικό** ή σε **4-γωνικό** κάνναβο.

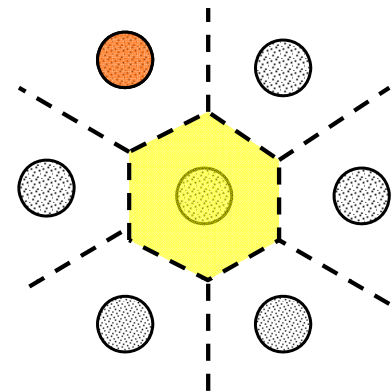


Εάν η πλευρά του καννάβου είναι S ,
τότε η «**ακτίνα επιρροής**» D_e του χαλικοπασσάλου είναι:

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

Λόγος (συντελεστής) αντικατάστασης

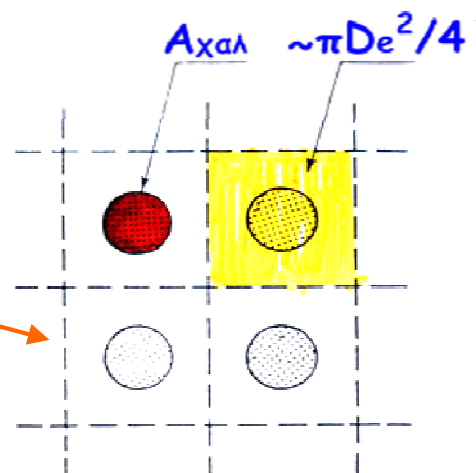
$$a_s = \frac{A_{\text{χαλ.}}}{A_e} = \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 \quad (0 \div 1.00)$$



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

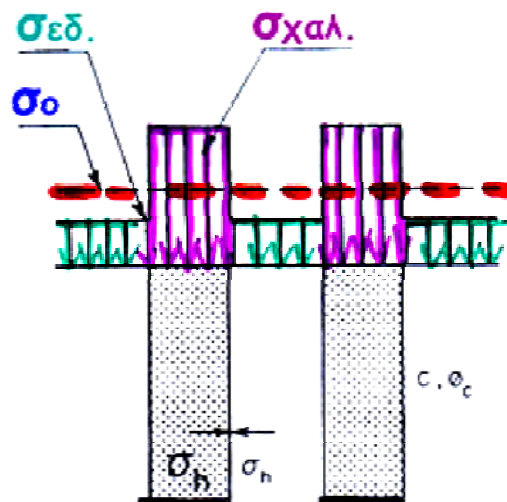
3-γωνικός κάνναβος

4-γωνικός κάνναβος



Λόγος (συντελεστής) συγκέντρωσης τάσεων

$$n = \frac{\sigma_{\text{χαλ.}}}{\sigma_{\text{εδ.}}}$$



1η Ερώτηση: Γιατί άραγε να έχουμε «συγκέντρωση τάσεων»; Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το n ;

2η Ερώτηση: Μπορείτε να υπολογίσετε τους λόγους

$$\frac{\sigma_{\text{εδ.}}}{\sigma_0} = ? \quad \frac{\sigma_{\text{χαλ.}}}{\sigma_0} = ?$$

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
συναρτήσει του n και του a_s ;

ισορροπία δυνάμεων

σε ένα κελί επιρροής του χαλικοπασσάλου:

$$\sigma_o \left(\frac{\pi D_e^2}{4} \right) = \sigma_{\chi\alpha\lambda.} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) + \sigma_{\varepsilon\delta.} \frac{\pi(D_e^2 - D^2)}{4}$$

$$\sigma_o = \sigma_{\chi\alpha\lambda.} \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 + \sigma_{\varepsilon\delta.} \left[1 - \left(\frac{D}{D_e} \right)^2 \right]$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_o &= \sigma_{\chi\alpha\lambda.} a_s + \sigma_{\varepsilon\delta.} (1 - a_s) \\ \sigma_{\chi\alpha\lambda.} &= n \sigma_{\varepsilon\delta.} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_o = [n a_s + (1 - a_s)] \sigma_{\varepsilon\delta.} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{\sigma_{\varepsilon\delta.}}{\sigma_o} &= \frac{1}{n a_s + (1 - a_s)} \\ \frac{\sigma_{\chi\alpha\lambda.}}{\sigma_o} &= \frac{n}{n a_s + (1 - a_s)} \end{aligned} \right\}$$

αυτές τις σχέσεις να
τις θυμάστε γιατί θα
χρησιμοποιήσουν
παρακάτω

(Α) Ενίσχυση - Βελτίωση ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Οι βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού είναι:

$$\rho \leq \rho_{\varepsilon\pi.}$$

$$\frac{\sigma_{\chi\alpha\lambda.}}{\sigma_o} = \frac{n}{n a_s + (1 - a_s)} \leq \frac{q_u}{\sigma_o} \frac{1}{F.S.}$$

όπου:

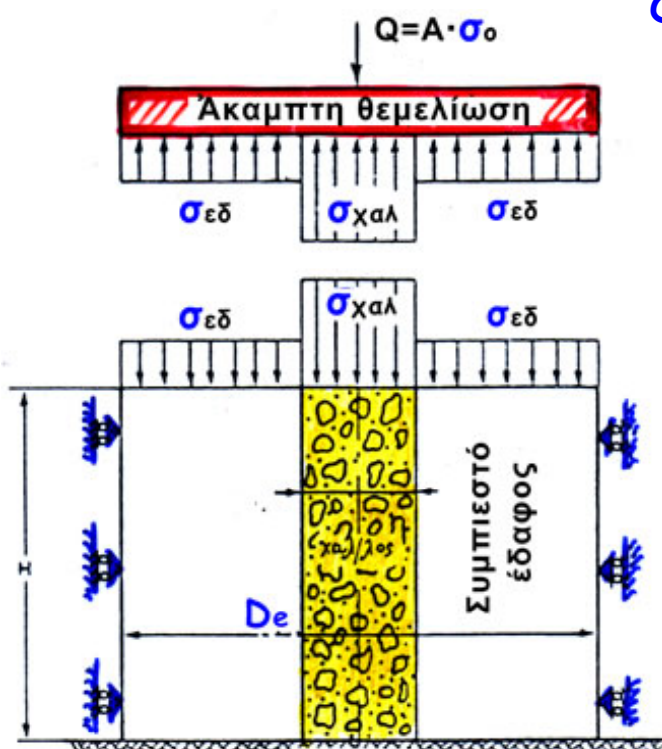
$$F.S. = 1.3 \div 2.5$$

$$q_u, \sigma_o, a_s = \left(\frac{D}{D_e} \right)^2$$

γνωστά

$$n = \frac{\sigma_{\chi\alpha\lambda.}}{\sigma_{\varepsilon\delta.}}$$

ΑΓΝΩΣΤΟ



Γενική Μέθοδος

υπολογισμού του συντελεστή συγκέντρωσης τάσεων n

➡ καθίζηση "ενισχυμένου" εδάφους λόγω $\sigma_{εδ}$:

$$\rho = \frac{\sigma_{εδ}}{E_{s, \epsilon\delta}} H$$

$$\sigma_{εδ} = \frac{1}{n a_s + (1 - a_s)} \sigma_o$$



$$\rho = \frac{\sigma_o}{E_{s, \epsilon\delta}} \frac{H}{n a_s + (1 - a_s)}$$

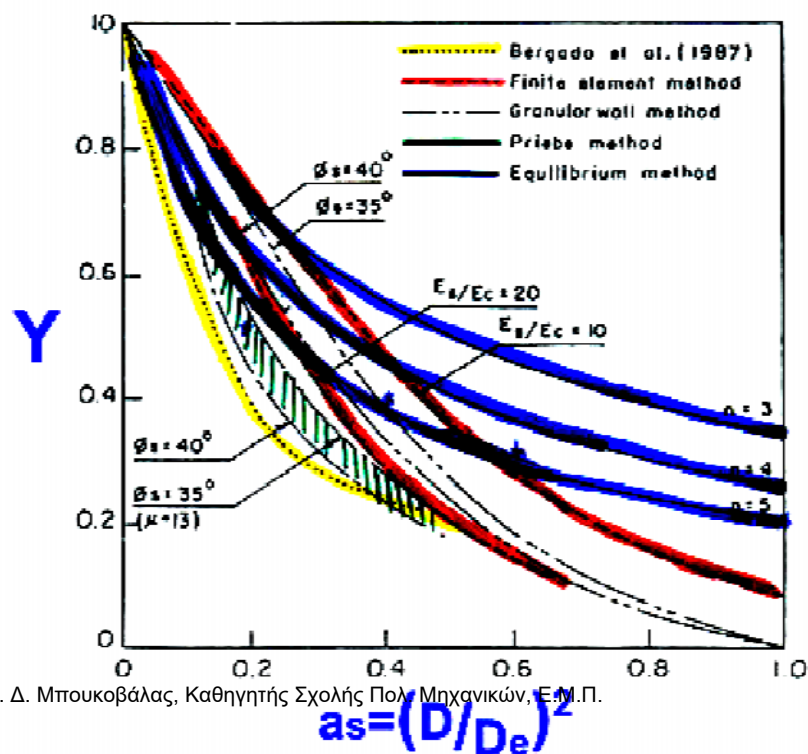
➡ καθίζηση αρχικού εδάφους λόγω σ_o : $\rho_o = \frac{\sigma_o}{E_{s, \epsilon\delta}} H$

➡ άρα, τελικώς: $\gamma = \frac{\rho}{\rho_o} = \frac{1}{n a_s + (1 - a_s)}$

και

$$n = [1/\gamma - (1 - a_s)] / a_s$$

$$n = [1/\gamma - (1 - a_s)] / a_s$$



Απλοποιημένη Μέθοδος

υπολογισμού του συντελεστή συγκέντρωσης τάσεων n

Εάν θεωρήσουμε ότι τόσο η συμπίεση του ενισχυμένου εδάφους όσο και του χαλικοπασσάλου είναι μονοδιάστατες, τότε για τις συνθήκες του παραπλεύρως σχήματος, ισχύει:

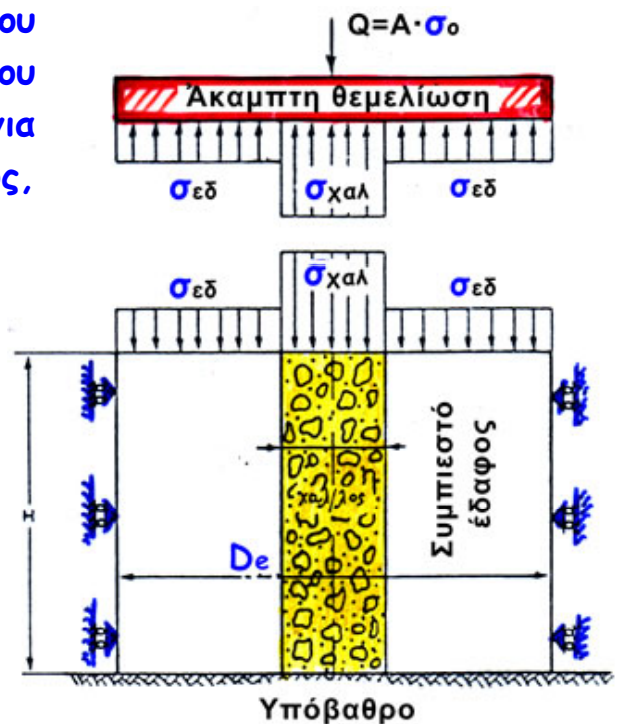
$$\rho = \frac{\sigma_{εδ}}{E_{s, εδ}} H = \frac{\sigma_{χαλ}}{E_{s, χαλ}} H$$

και επομένως:

$$n = \frac{\sigma_{χαλ}}{\sigma_{εδ}} = \frac{E_{s, χαλ}}{E_{s, εδ}}$$

και

$$\gamma = \rho / \rho_o = \sigma_{εδ} / \sigma_o$$



Εάν θεωρήσουμε ότι τόσο η συμπίεση του ενισχυμένου εδάφους όσο και του χαλικοπασσάλου είναι μονοδιάστατες, τότε για τις συνθήκες του παραπλεύρως σχήματος, ισχύει:

$$\rho = \frac{\sigma_{εδ}}{E_{s, εδ}} H = \frac{\sigma_{χαλ}}{E_{s, χαλ}} H$$

και επομένως:

$$n = \frac{\sigma_{χαλ}}{\sigma_{εδ}} = \frac{E_{s, χαλ}}{E_{s, εδ}}$$

και

$$\gamma = \rho / \rho_o = \sigma_{εδ} / \sigma_o = \frac{1}{n a_s + (1 - a_s)}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ !

Η απλοποιημένη μέθοδος

✚ υπερ-εκτιμά τις τιμές του n και υπο-εκτιμά τις καθιζήσεις ρ του βελτιωμένου εδάφους.

✚ είναι ισοδύναμη με την γενική μέθοδο εάν επιλεγούν οι μπλέ καμπύλες στο διάγραμμα $\gamma - a_s$

Πορεία Διαστασιολόγησης

ΒΗΜΑ 1: υπολογίζω καθίζηση αρχικού εδάφους ρ

ΒΗΜΑ 2: εκτιμώ τον συντελεστή $\gamma = \rho_{εδ}/\rho$ από εμπειρικά διαγράμματα και τον συντελεστή συγκέντρωσης τάσεων

$$n = [1/\gamma - (1 - a_s)] / a_s$$

ΒΗΜΑ 3: ελέγχω τις καθιζήσεις του “ενισχυμένου” εδάφους

$$\rho_{εδ} = \gamma \rho \leq \rho_{\text{επιτρ.}}$$

ΒΗΜΑ 4: υπολογίζω την $\Phi.I.$ μεμονωμένου χαλικοπασσάλου q_u (λαμβάνοντας υπόψη το $\sigma_{εδ}$.)

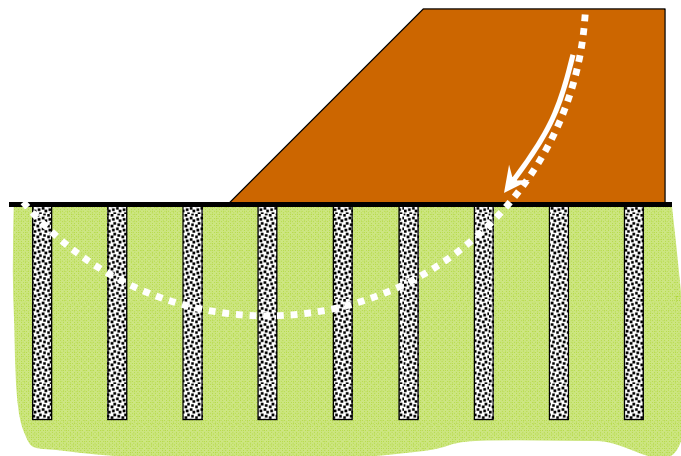
ΒΗΜΑ 5: ελέγχω την $\Phi.I.$ του μεμονωμένου χαλικοπασσάλου

$$\sigma_{\text{χαλ.}} = \frac{n}{n a_s + (1 - a_s)} \sigma_o \leq \frac{q_u}{F.S.}$$

(B) Ενίσχυση - Βελτίωση ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Η ανάλυση της ευστάθειας πρανών γίνεται στην πράξη με εξειδικευμένο λογισμικό το οποίο έχει αναπτυχθεί για έδαφος με στρώσεις ενιαίων χαρακτηριστικών γ , c , ϕ ή C_u . Η εισαγωγή στο λογισμικό αυτό ξεχωριστά του φυσικού εδάφους και των χαλικοπασσάλων είναι πρακτικά ανέφικτη . .

Έτσι, το πρόβλημα που προκύπτει είναι να ορίσουμε ενιαίες παραμέτρους για το βελτιωμένο έδαφος, που να λαμβάνουν υπόψη τόσο το φυσικό έδαφος όσο και τους χαλικοπασσάλους.



Για το **ειδικό βάρος**, τα πράγματα είναι μάλλον εύκολα.....

Εάν γ^* είναι το ισοδύναμο ειδικό βάρος του βελτιωμένου εδάφους, τότε για βάθος βελτίωσης Z το συνολικό βάρος της περιοχής επιρροής ενός χαλικοπασσάλου είναι:

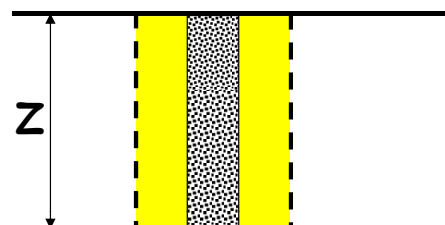
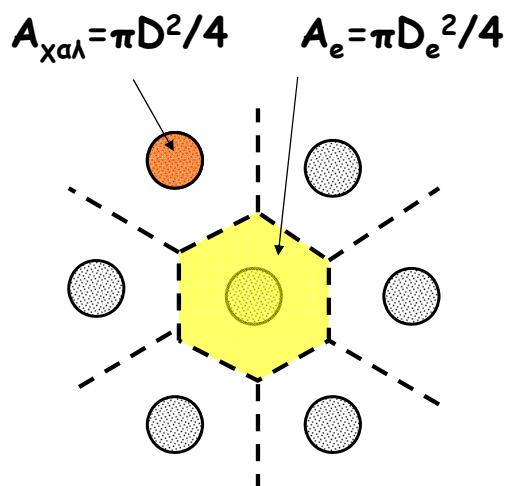
$$W = \gamma^* A_e Z = \gamma_{\text{χαλ.}} A_{\text{χαλ.}} Z + (A_e - A_{\text{χαλ.}}) \gamma_{\text{εδ.}} Z$$

και επομένως

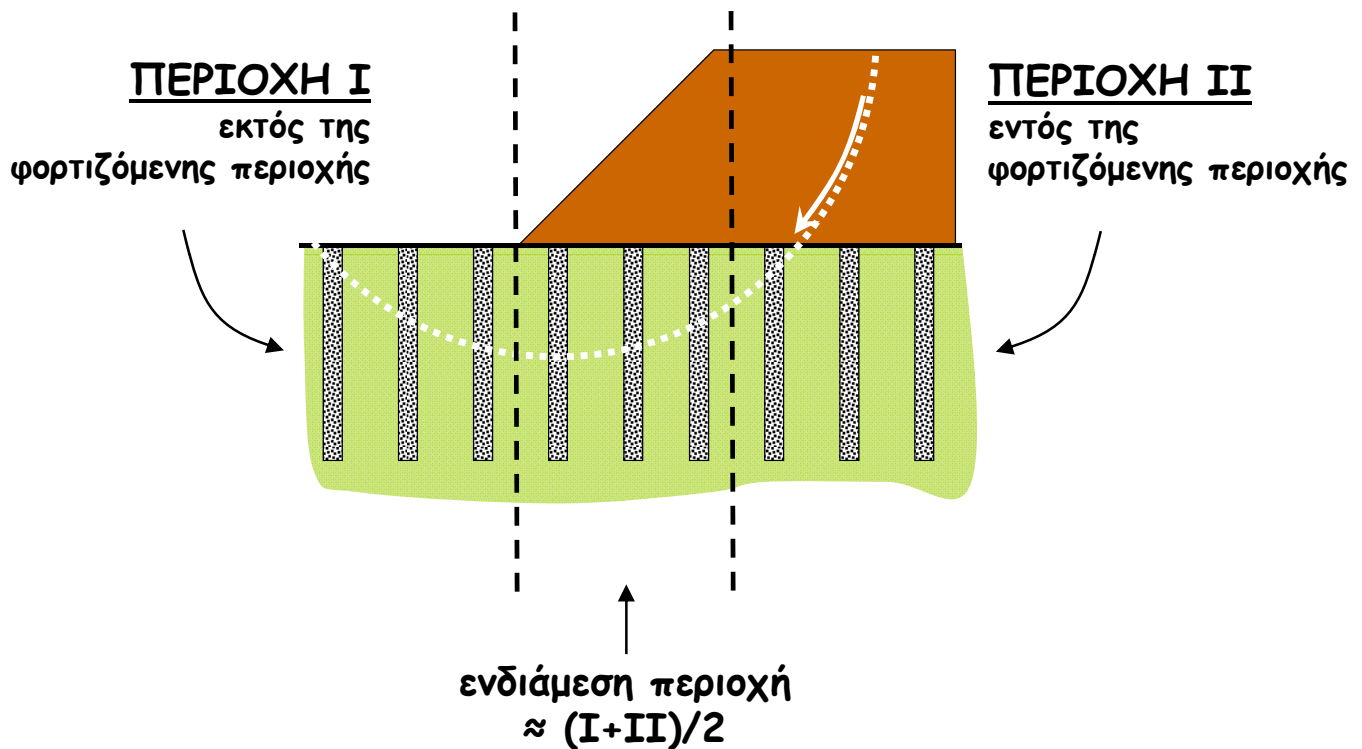
$$\gamma^* = a_s \gamma_{\text{χαλ.}} + (1 - a_s) \gamma_{\text{εδ.}}$$

όπου:

$$a_s = \frac{A_{\text{χαλ.}}}{A_e} = \left(\frac{D}{D_e} \right)^2$$



Για τις παραμέτρους **διατμητικής αντοχής**, θα πρέπει να διακρίνουμε δύο τουλάχιστον διαφορετικές περιοχές



ΠΕΡΙΟΧΗ Ι

Εάν τ^{a*} είναι η ισοδύναμη διατμητική τάση αστοχίας του βελτιωμένου εδάφους, τότε για βάθος βελτίωσης Z η συνολική διατμητική δύναμη αστοχίας στην επιφάνεια επιρροής ενός χαλικοπασσάλου είναι:

$$\tau^a = \tau^{a*} A_e = \tau_{\text{χαλ.}}^a A_{\text{χαλ.}} + (A_e - A_{\text{χαλ.}}) \tau_{\text{εδ.}}^a$$

και επομένως

$$\tau^{a*} = a_s \tau_{\text{χαλ.}}^a + (1 - a_s) \tau_{\text{εδ.}}^a$$

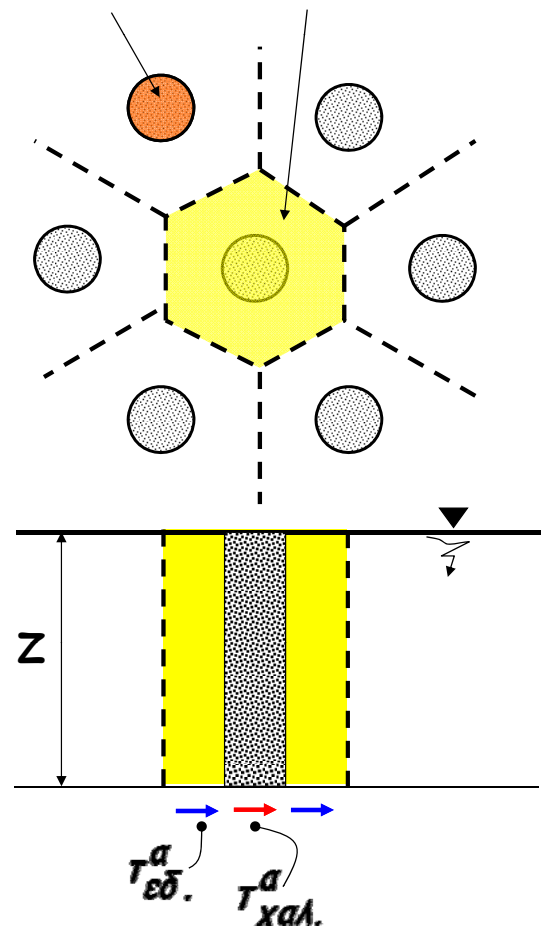
Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη ότι:

- $\tau^{a*} = c^* + \sigma'_v \tan \varphi^*$
- $\tau_{\text{εδ.}}^a = C_{u,0}$
- $\tau_{\text{χαλ.}}^a = \sigma'_v \tan \varphi_{\text{χαλ.}}$

Προκύπτει τελικώς ότι

$$c^* = (1 - a_s) C_{u,0} \text{ \& } \tan \varphi^* = a_s \tan \varphi_{\text{χαλ.}}$$

$$A_{\text{χαλ.}} = \pi D^2 / 4 \quad A_e = \pi D_e^2 / 4$$



διατμ. τάσεις αστοχίας

ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΙ

Η λογική είναι η ίδια όπως και για την ΠΕΡΙΟΧΗ Ι, με δύο βασικές διαφορές:

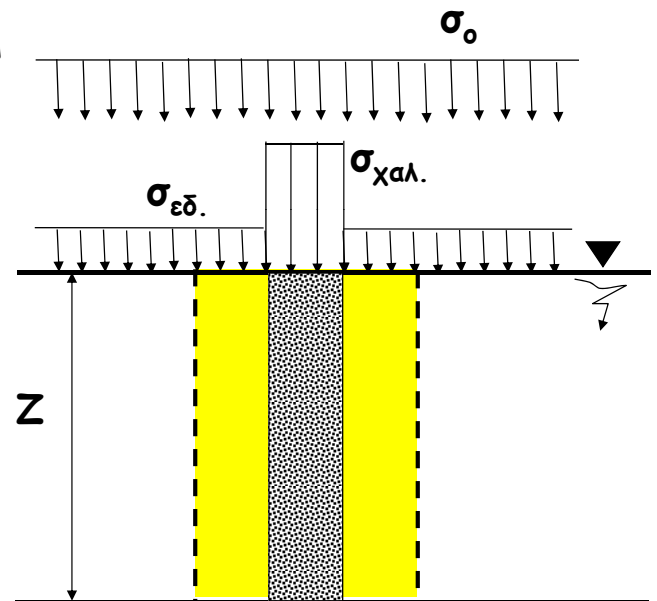
(α) Στην επιφάνεια του εδάφους επιβάλλεται ομοιόμορφη επιφόρτιση σ_o η οποία ανακατανέμεται στον χαλικοπάσσαλο:

$$\sigma_{\chi\alpha\lambda.} = \frac{n\sigma_o}{na_s + (1-a_s)} > \sigma_o$$

και στο έδαφος:

$$\sigma_{\varepsilon\delta.} = \frac{\sigma_o}{na_s + (1-a_s)} < \sigma_o$$

(β) Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή της αργίλου είναι βραχυπρόθεσμα μόνον ίση προς Cu,o , ενώ μακροπρόθεσμα αλλάζει σε Cu,∞ λόγω αύξησης της τάσης στερεοποίησης από $(\sigma'_{v,o})$ σε $(\sigma'_{v,\infty})$.



Κατ' επέκταση των ανωτέρω διαφορών, οι διατμητικές τάσεις αστοχίας που είχαμε στην Περιοχή Ι μεταβάλλονται σε:

- $\tau^{a*} = c^* + (\sigma'_v + \sigma_o) \tan \varphi^*$
- $\tau^a_{\varepsilon\delta.} = Cu,o \text{ ή } Cu,\infty$
- $\tau^a_{\chi\alpha\lambda.} = (\sigma'_v + \sigma_{\chi\alpha\lambda.}) \tan \varphi_{\chi\alpha\lambda.}$

Έτσι, από την σχέση

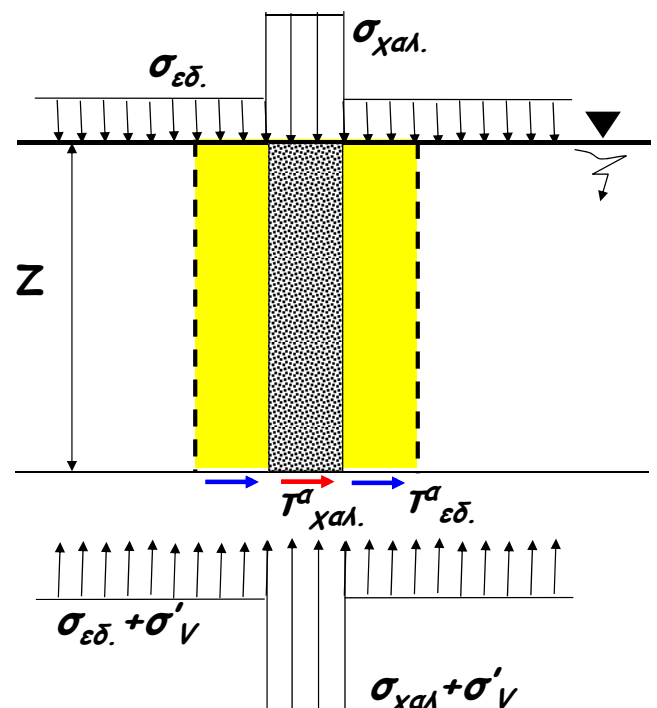
$$\tau^{a*} = a_s \tau^a_{\chi\alpha\lambda.} + (1-a_s) \tau^a_{\varepsilon\delta.}$$

προκύπτει τελικώς ότι

$$c^* = (1-a_s)Cu \quad (Cu = Cu,o \text{ ή } Cu,\infty)$$

$$\tan \varphi^* = \frac{\sigma'_v + \sigma_{\chi\alpha\lambda.}}{\sigma'_v + \sigma_o} a_s \tan \varphi_{\chi\alpha\lambda.}$$

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- 1) Συνήθως, $\gamma_{\chi\alpha\lambda.} \approx \gamma_{\varepsilon\delta.}$ και επομένως $\gamma^* \approx \gamma_{\varepsilon\delta.}$
- 2) Όπως έχουμε πει σε προηγούμενα μαθήματα, οι χαλικοπάσσαλοι δρούν και ως στραγγιστήρια, με αποτέλεσμα η στερεοποίηση του εδάφους να πραγματοποιείται σχετικά γρήγορα. Έτσι, η χρήση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του εδάφους $Cu_{\circ}$ είναι υπερβολικά συντηρητική
- 3) Όταν η γεωστατικές τάσεις είναι πολύ μικρότερες από την επιβαλλόμενη επιφόρτιση ($\sigma'V \ll \sigma_0$), όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην περίπτωση «ρηχής» επιφάνειας αστοχίας, προκύπτει ότι:
$$\tan \varphi^* = \frac{na_s}{na_s + (1 - a_s)} \tan \varphi_{\chi\alpha\lambda.}$$
- 4) Πώς υπολογίζεται η Cu_{∞} για αρχικά απροφόρτιστη μαλακή άργιλο ($OCR=1$) και για ελαφρώς προφορτισμένη άργιλο (π.χ. $OCR=1.50$);

1^η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΔΙΔΟΝΤΑΙ:

- (α) Κορεσμένο αργιλικό έδαφος με $C_u=10$ kPa, $\gamma_{\text{κορ}}=20$ kN/m³ και $E_{\text{εδ}}=150C_u$
(β) Χαλικοπάσσας μήκους $L=10$ m, διαμέτρου $D_{\text{χαλ}}=1$ m, γωνίας τριβής $\phi_{\text{χαλ}}=42^\circ$ και $E_{\text{χαλ}}=10-15 E_{\text{εδ}}$.

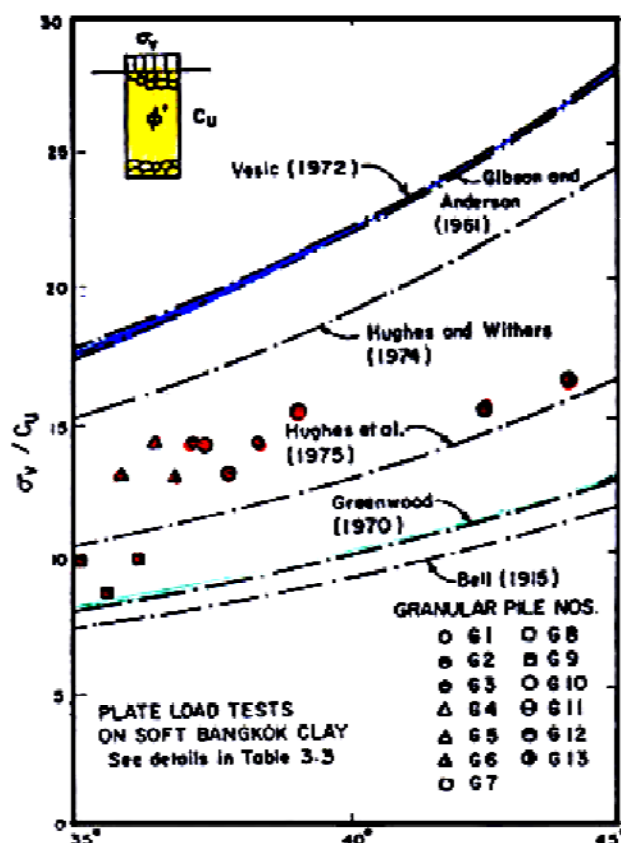
ΖΗΤΕΙΤΑΙ

- (α) Να υπολογισθεί το φορτίο θραύσης και το φορτίο λειτουργίας του χαλικοπασσάου ($FS=2.0$)
(β) Να υπολογισθεί η καθίζηση της κεφαλής του χαλικοπασσάου στην κατάσταση λειτουργίας
(γ) Να σχεδιασθεί η καμπύλη φορτίου-μετατόπισης της κεφαλής του χαλικοπασσάου

Οι υπολογισμοί να γίνουν συγκριτικά με την θεώρηση «πασσάου» και την θεώρηση «3-αξονικής θραύσης»

2^η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

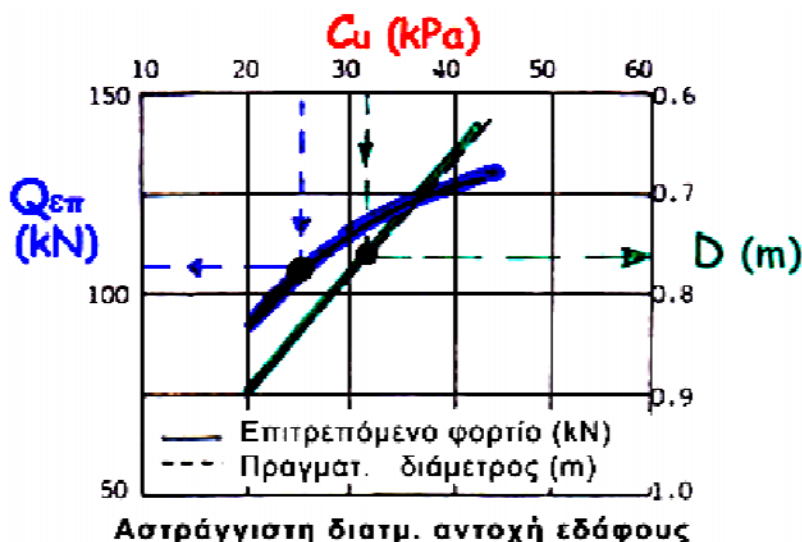
- (α) Σε τι προσομοίωμα συμπεριφοράς μεμονωμένου χαλικοπασσάου αντιστοιχεί το παράπλευρο εμπειρικό διάγραμμα υπολογισμού της τάσης θραύσης («πασσάου» ή «3-αξονική θραύση»);
(β) Πως συγκρίνεται με τις αναλυτικές σχέσεις υπολογισμού;



3^η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

(α) Σε τι προσομοίωμα συμπεριφοράς μεμονωμένου χαλικοπασσάλου αντιστοιχεί το παράπλευρο εμπειρικό διάγραμμα υπολογισμού της τάσης θράυσης («πάσσαλος» ή «3-αξονική θράυση»);

(β) Πως συγκρίνεται με τις αναλυτικές σχέσεις υπολογισμού;



4^η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΔΙΔΟΝΤΑΙ:

(α) Κορεσμένο αργιλικό έδαφος με $OCR=1$, $C_u=0.35$ σ'_v , $\gamma_{κορ}=20$ kN/m^3 και $E_{S,εδ}=150C_u$

(β) Ομάδα χαλικοπασσάλων μήκους $L=10m$, διαμέτρου $D_{χαλ}=1m$, γωνίας τριβής $\phi_{χαλ}=44^\circ$ και $E_{S,χαλ}=30$ $Μρα$, σε 3-γωνικό κάρναβο πλευράς $S=3m$.

(γ) Μέση τάση έδρασης ανωδομής $q=100$ kPa

ΖΗΤΕΙΤΑΙ

(α) Να υπολογισθούν οι πρόσθετες τάσεις που ασκούνται στον χαλικοπάσσαλο ($\sigma_{χαλ}$) και στο έδαφος ($\sigma_{εδ}$), καθώς και η μέση καθίζηση του βελτιωμένου εδάφους.

(β) Να γίνει έλεγχος θράυσης της κεφαλής των χαλικοπασσάλων

(γ) Να υπολογισθούν οι ισοδύναμες παράμετροι διατμητικής αντοχής c_{eq} και ϕ_{eq} του βελτιωμένου εδάφους

Οι υπολογισμοί να γίνουν συγκριτικά με την θεώρηση «1-Δ συμπίεσης» και με την θεώρηση «Priebe»

5^η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΔΙΔΟΝΤΑΙ:

(α) Ομοιόμορφο εδαφικό στρώμα κορεσμένης αργίλου πάχους $H=6\text{m}$ επί διαπερατού υποβάθρου, με $OCR=1$, $e_o=1$, $\gamma_{\text{κορ.}}=20\text{ kN/m}^3$, $c_{v,L}=10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$, $c_{v,U-L}=10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$, $C_c=0.25$, $C_R=0.06$, $I_p=30\%$

(β) Φόρτιση $\Delta q=100\text{ kPa}$ από κυκλικό επιφανειακό θεμέλιο ακτίνας $R=5\text{m}$

ΖΗΤΕΙΤΑΙ να υπολογισθεί κατά Priebe η ελάχιστη πλευρά (S) 3-γωνικού καννάβου χαλικοπασσάλων ($D_{\text{χαλ}}=0.80\text{m}$, $\varphi_{\text{χαλ}}=44^\circ$, $E_{S,\text{χαλ}}=30\text{MPa}$) εάν ισχύουν παράλληλα οι παρακάτω προϋποθέσεις

(α) η επιτρεπόμενη καθίζηση είναι $\rho_{\text{επ.}} = 20\text{cm}$

(β) ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης είναι $FS_{\text{min}}=2$

(γ) ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας θραύσης της κεφαλής του χαλικοπασσάλου είναι $FS_{\text{min}}=1.50$

6^η ΕΦΑΡΜΟΓΗ

ΔΙΔΟΝΤΑΙ:

(α) Ομοιόμορφο εδαφικό στρώμα κορεσμένης αργίλου πάχους $H=6\text{m}$ επί διαπερατού υποβάθρου, με $OCR=1$, $e_o=1$, $\gamma_{\text{κορ.}}=20\text{ kN/m}^3$, $c_{v,L}=10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$, $c_{v,U-L}=10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$, $C_c=0.25$, $C_R=0.06$, $I_p=30\%$, $k_r=3k_v$

(β) Φόρτιση $\Delta q=100\text{ kPa}$ από κυκλικό επιφανειακό θεμέλιο ακτίνας $R=5\text{m}$

(γ) Βελτίωση του εδάφους με τον 3-γωνικό κάνναβο χαλικοπασσάλων της προηγούμενης εφαρμογής ($S=1.70\text{m}$, $D_{\text{χαλ}}=0.80\text{m}$, $\varphi_{\text{χαλ}}=44^\circ$, $E_{S,\text{χαλ}}=30\text{MPa}$), σε συνδυασμό με προφόρτιση ($H_{\text{επ.}}=5.5\text{m}$, $\gamma_{\text{επ.}}=22\text{ kN/m}^3$).

ΖΗΤΕΙΤΑΙ να υπολογισθούν:

(α) ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των καθιζήσεων λόγω προφόρτισης (να θεωρήσετε ζώνη αναμόχλευσης με $D_S=1.5D_{\text{χαλ}}$ και $k_{rs}=0.5 k_r$).

(β) η καθίζηση λόγω προφόρτισης (Priebe)

(γ) η καθίζηση λόγω φόρτισης (Priebe)

(δ) ο συντελεστής ασφαλείας φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης

(ε) ο συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσης της κεφαλής του χαλικοπασσάλου

Προκειμένου να ελεγχθεί η διάταξη χαλικοπασσάλων βελτίωσης της αργιλικής στρώσης έδρασης πλάκας θεμελίωσης ($B \times L = 30\text{m} \times 60\text{m}$) εκτελέσθηκε δοκιμαστική φόρτιση μεμονωμένου χαλικοπασσάλου η οποία έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Φορτίο κεφαλής (kN)	50	100	150	200	225
Καθίζηση κεφαλής (mm)	7.5	15	26	42	Θραύση κεφαλής

(α) Να υπολογισθεί το Μέτρο Ελαστικότητας (Young) και η γωνία τριβής ($\varphi_{\text{χαλ}}$) του χαλικοπασσάλου

(β) Να υπολογισθεί η ελάχιστη αξονική απόσταση S των χαλικοπασσάλων, σε 4-γωνική διάταξη, ώστε η καθίζηση της πλάκας θεμελίωσης να μην υπερβεί τα 10cm

(γ) Να ελεγχθεί η επάρκεια των χαλικοπασσάλων έναντι θραύσης της κεφαλής, για την διάταξη του ερωτήματος (β) και ελάχιστο συντελεστή ασφάλειας 1.50

