



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τμήμα Α-Λ

4. Οριακό φορτίου θεμελίου

μέχρι τώρα υπολογίζουμε **καθιζήσεις θεμελίων**... όχι αστοχία τους
Μεγάλες καθιζήσεις...



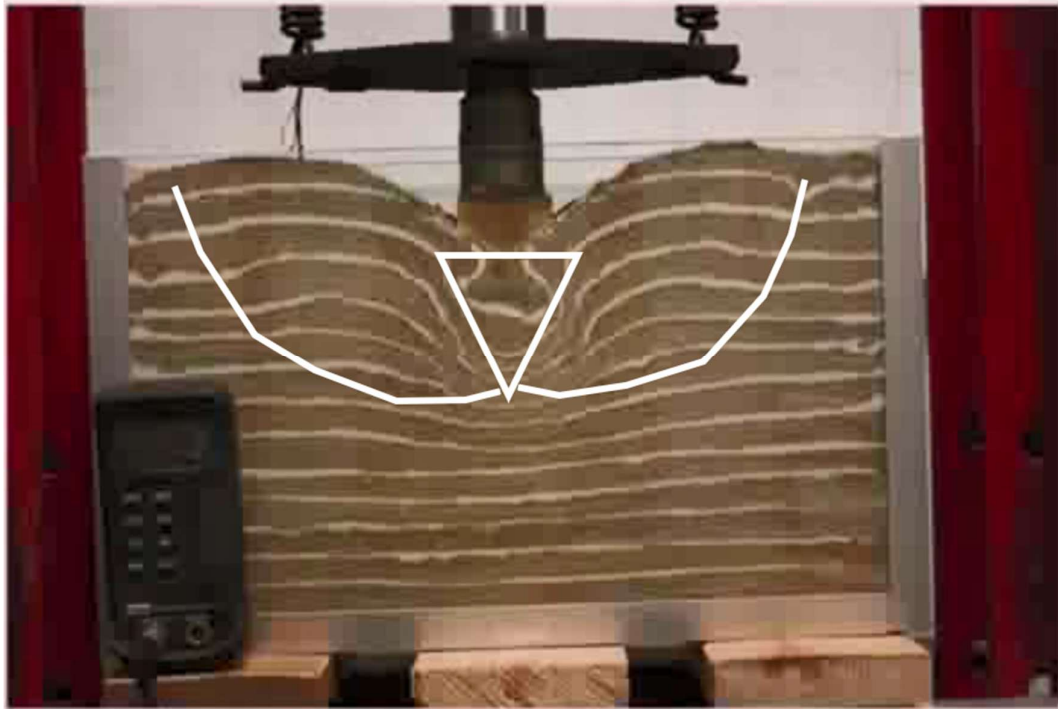
... έως την αστοχία!



Τι συμβαίνει στο έδαφος κάτω από ένα θεμέλιο;

Με την αύξηση του φορτίου... αυξάνει η καθίζηση

Επηρεάζεται το έδαφος μέχρι “κάποιο” βάθος & μέχρι “κάποια” απόσταση

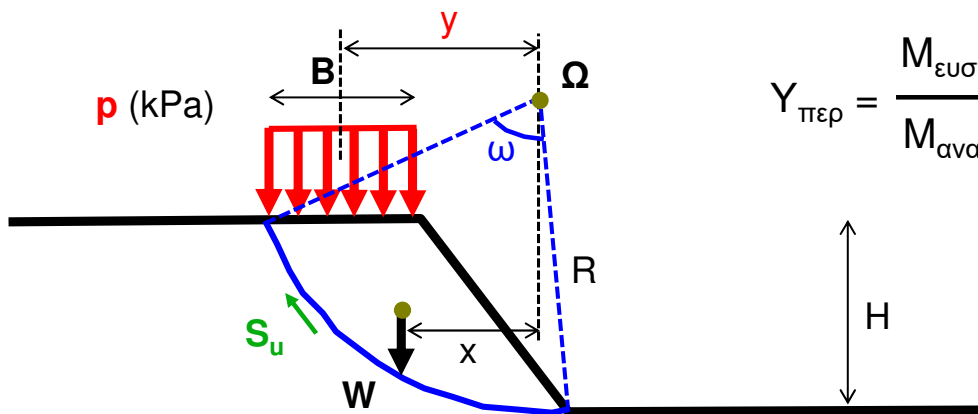


Φωτογραφία από πείραμα:

βλέπε παραμορφωμένη εδάφους όταν το θεμέλιο έχει... αστοχήσει

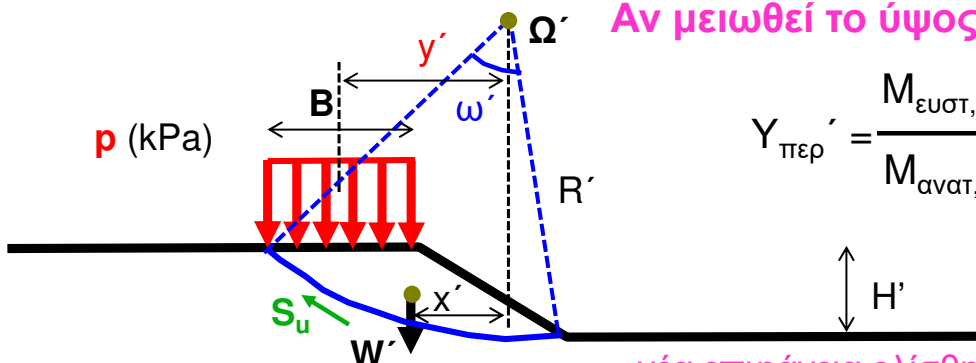
Έστω φορτισμένο πρανές ύψους $H...$

κορεσμένης ομοιογενούς αργίλου σε αστράγγιστες συνθήκες, με αντοχή S_u με λωριδωτό φορτίο p , πλάτους B , στην άκρη του



$$Y_{\pi\epsilon\rho} = \frac{M_{\epsilon\text{U}\sigma\tau,\Omega}}{M_{\alpha\text{v}\alpha\tau,\Omega}} = \frac{R \text{ } \mathbf{S_u} (\omega R)}{\mathbf{Wx} + \mathbf{pBy}}$$

Αν μειωθεί το ύψος πρανούς σε $H' < H$



$$Y_{\pi\epsilon\rho}' = \frac{M_{\epsilon\text{уст},\Omega}}{M_{\text{анат},\Omega}} = \frac{R' \text{ **S**_{\text{u}} (\text{w}'R')}{\text{W}'\text{x}' + \text{pBy}'}$$

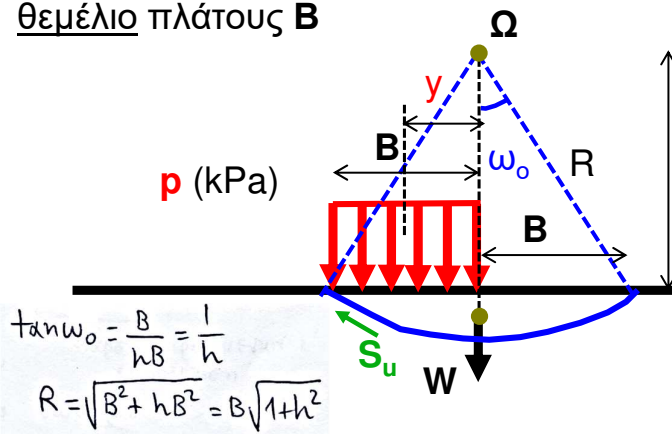
$$Y_{\text{περ}}' > Y_{\text{περ}}, \text{ λόγω μείωσης της } M_{\text{ανατ},\Omega}$$

→ νέα επιφάνεια ολίσθησης, πιο ρηχή

→ νέο Ω (Ω'), οριζόντια πιο κοντά στο φορτίο

Έστω **p** αντιστοιχεί σε
θεμέλιο πλάτους **B**

→ Ω, οριζόντια πολύ κοντά στο φορτίο...

$$Y_{\pi\epsilon\rho} = \frac{M_{\epsilon\text{UST},\Omega}}{M_{\alpha\text{vAT},\Omega}} = \frac{R \text{ S}_u (2\omega_o R)}{\text{Wx} + \text{pBy}}$$


$$\rightarrow Y_{\pi\epsilon\rho} = \frac{R \text{ } \mathbf{S_u} (2\omega_o R)}{\mathbf{pB(B/2)}}$$

$$\mathbf{p_{ult}} B^2/2 = 2R^2 S_u \omega_o \quad \rightarrow \quad \mathbf{p_{ult}} = 4(R/B)^2 S_u \omega_o \quad \rightarrow \quad \boxed{\mathbf{p_{ult}} = 4(1+h^2) S_u \omega_o}$$

Κάνοντας δοκιμές για διάφορα $h \rightarrow$ ελάχιστο $\mathbf{p}_{\text{ult}} = 5.5 S_y$ (... για $h=0.43$)

p_{ult} = φέρουσα ικανότητα του θεμελίου
ανεξάρτητη του B, για ομοιογενή άργιλο

$$FS = \frac{p_{ult}}{p \text{ (λειτουργίας)}} \geq 2 \text{ ή } 3$$

The diagram illustrates a rigid foundation of width B on soil. A vertical load W is applied at the center. A horizontal load W_D is applied at a height h from the base. The soil reaction is represented by a triangular distribution with a peak value p (kPa) at the center. The soil shear strength is S_u . The foundation is subjected to a horizontal load q at the top. The diagram also shows the dimensions D (depth), R (radius), and ω (angle).

... σταθεροποιητικό φορτίο q_B

$$Y_{\pi\epsilon\rho} = \frac{R S_u (2\omega_o R) + (S_u D)B}{pB(B/2) - \gamma BD(B/2) - qB(B/2)}$$

ψάχνουμε τη μέγιστη
επιτρεπόμενη τιμή του $p=p_{ult}$
που αντιστοιχεί σε $Y_{\pi\pi\sigma}=1.0$

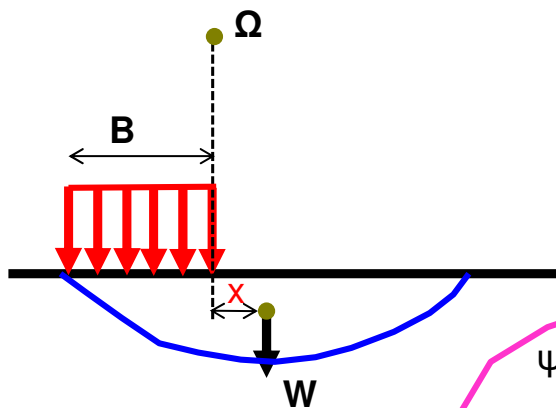
$$\rightarrow \mathbf{p_{ult}} = 4(1+h^2)S_u\omega_o + 2S_u(D/B) + (\gamma D + q)$$

αντοχή υποκειμένου
(βάρος υποκειμένου δεν
επηρεάζει)

αντοχή
υπερκλειμένου

βάρος υπερκειμένου
+ επιφόρτιση

Πιο ρεαλιστικά...



Η επιφάνεια ολίσθησης ΔΕΝ είναι τόξο κύκλου

... το υποκείμενο έδαφος βάρους W αντιστέκεται στην ολίσθηση

Θεμέλια:

ψάχνουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του $p = p_{ult}$ που αντιστοιχεί σε $Y_{περ} = 1.0$

$$Y_{περ} = \frac{M_{ευστ,Ω}}{pB(B/2) - Wx}$$

δηλαδή **μεγαλύτερη** φέρουσα ικανότητα σε σχέση με ό,τι προβλέπεται με τόξο κύκλου

$$p_{ult} = \underbrace{(2/B^2)M_{ευστ,Ω}}_{\text{αντοχή υποκειμένου}} + \underbrace{Wx(2/B^2)}_{\text{βάρος υποκειμένου}}$$

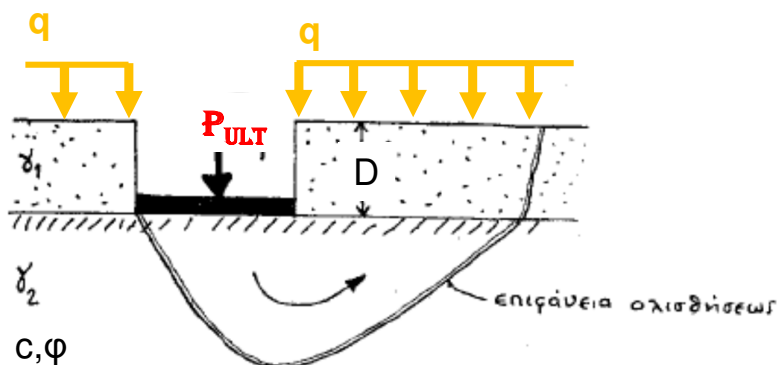
... όπως λέμε και στις ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ (6^{ου} εξαμήνου)...

$$p_{ult} = \underbrace{\text{ΑΝΤΟΧΗ ΕΔΑΦΟΥΣ}}_{\text{υποκειμένου (και υπερκείμενου)}} + \underbrace{\text{ΒΑΡΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ}}_{\text{+ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ}} + \underbrace{\text{ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΥ}}$$

ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ (6^{ου} εξαμήνου): «τριώνυμο» φέρουσας ικανότητας θεμελίου

$$p_{ult} = \underbrace{\text{ΑΝΤΟΧΗ ΕΔΑΦΟΥΣ}}_{\text{υποκειμένου (και υπερκείμενου)}} + \underbrace{\text{ΒΑΡΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ}}_{\text{+ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ}} + \underbrace{\text{ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΥ}}$$

$$p_{ult} \text{ (kPa)} = \frac{P_{ULT}}{B} = c N_c + (\gamma_1 D + q) N_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma$$



ϕ°	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1	0
10	8.3	2.5	1.2
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.9
30	30.1	18.4	22.4
35	46.1	33.3	48.0
40	75.6	64.2	109.4
45	133.9	134.9	271.8

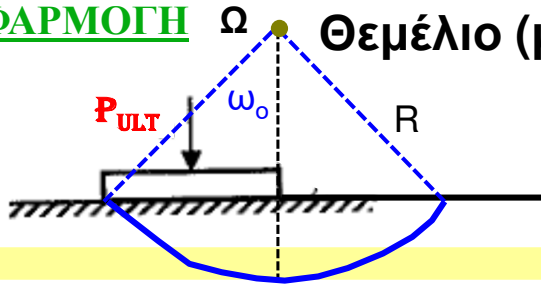
αργίλοι
ιλύες
αμμες
χαλίκες

↑ συνήθεις τιμές ϕ

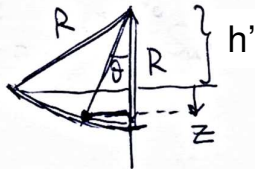
Οι αδιάστατοι συντελεστές N_c , N_q και N_γ δίδονται στον Πίνακα συναρτήσει της ϕ .

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Θεμέλιο (με $B = 12\text{m}$) σε ανομοιογενή άργιλο



$$\tan \omega_0 = \frac{B}{h'} = \frac{12}{9} \Rightarrow \omega_0 = 53.1^\circ (\hat{\omega}_0 = 0.927 \text{ rad})$$



Γεωμετρία επιφάνειας ολίσθησης

βάθος z από επιφάνεια:

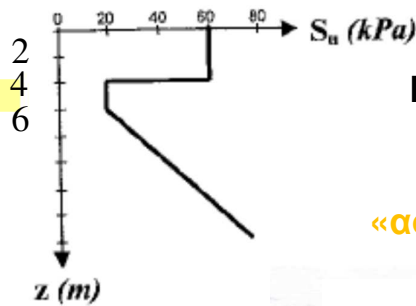
$$z = R \cos \theta - h' \rightarrow \theta = 0 \rightarrow z = R - h' = 15 - 9 = 6 \text{ m}$$

$$\theta = \omega_0 \rightarrow z = R \cos \omega_0 - h' = 15 \cos \omega_0 - 9 = 0$$

ποια η τιμή του $\theta = \theta_0$ για $z = 4 \text{ m}$? $4 = 15 \cos \theta_0 - 9 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \cos \theta_0 = \frac{13}{15} \Rightarrow \theta_0 = 29.93^\circ (= 0.522 \text{ rad})$$

«Ασθενής» στρώση πάχους 2m (-4 έως -6m)



Εύλογη επιφάνεια

ολίσθησης, κατά

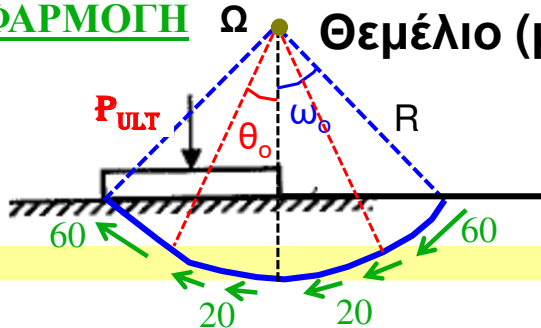
μέγιστον εντός

«ασθενούς» στρώσης

$$R^2 = B^2 + h'^2 \Rightarrow R^2 = B^2 + (R-6)^2 = B^2 + R^2 + 36 - 12R \Rightarrow 12R = 36 + B^2 \xrightarrow{B=12\text{m}} \Rightarrow R = 15 \text{ m} \text{ \& } h' = 9 \text{ m}$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Θεμέλιο (με $B = 12\text{m}$) σε ανομοιογενή άργιλο

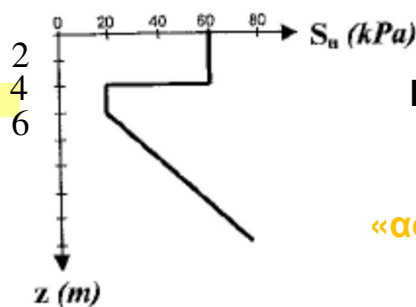


Γεωμετρία επιφάνειας ολίσθησης:

$$R = 15\text{m}, \omega_0 = 53.1^\circ, \theta_0 = 29.9^\circ$$

λόγω συμμετρίας επιφ. αστοχίας ως προς ω

«Ασθενής» στρώση πάχους 2m (-4 έως -6m)



Εύλογη επιφάνεια

ολίσθησης, κατά

μέγιστον εντός

«ασθενούς» στρώσης

$$P_{ult} \left(\frac{B}{2} \right) = 2 \left[\int_0^{\theta_0} R (20 R d\theta) + \int_{\theta_0}^{\omega_0} R (60 R d\theta) \right] = 2R^2 [20\theta_0 + 60(\omega_0 - \theta_0)]$$

$$\Rightarrow P_{ult} \times 6 = 2 \times 15^2 [20 \times 0.522 + 60(0.927 - 0.522)] \Rightarrow P_{ULT} = 2605.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ με ομοιογενή άργιλο,

για ίδια επιφ. αστοχίας ($h = h'/B = 9/12 = 3/4$)

Αν $S_u = 60 \text{ kPa}$ (μη συντηρητική)

$$P_{ULT} = 4173 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Αν $S_u = 20 \text{ kPa}$ (υπερσυντηρητική)

$$P_{ULT} = 1391 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_{ULT} = p_{ult} B = 4B(1 + h^2) S_u \omega_0$$

αν $S_u = (20 + 60)/2 = 40 \text{ kPa}$ (εύλογα)

$$\rightarrow P_{ULT} = 2782 \text{ kN/m}$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Θεμέλιο σε γραμμικώς ανομοιογενή άργιλο

π.χ. για $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
 $S_u = 0.25\sigma'_v = 2.5z$

$S_u = m - z$

(α) $\hat{\omega}_0 = \frac{B}{hB} = \frac{1}{h}$

(β) $R = B\sqrt{1+h^2}$

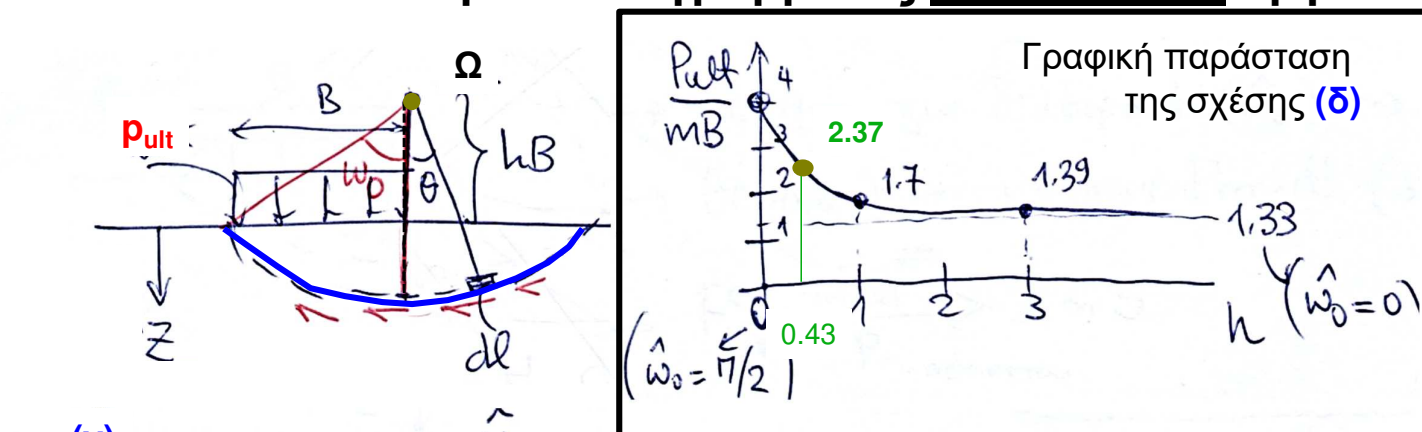
(γ) Έκφραση $S_u = f(\theta)$
 $z = R \cos \theta - hB$
 $\Rightarrow z = B(\sqrt{1+h^2} \cos \theta - h)$
 $\Downarrow$

για $\theta = 0$: $z = B(\sqrt{1+h^2} - h)$ $\rightarrow$ max z ύψους
 $\theta = \hat{\omega}_0$: $z = 0$
 οπότε $S_u = mB(\sqrt{1+h^2} \cos \theta - h)$

(β) $P_{ult} B \left(\frac{B}{2}\right) = 2 \int_0^{\hat{\omega}_0} R (S_u R d\theta)$
 $\Rightarrow P_{ult} \frac{B^2}{2} = 2R^2 \int_0^{\hat{\omega}_0} S_u d\theta$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Θεμέλιο σε γραμμικώς ανομοιογενή άργιλο



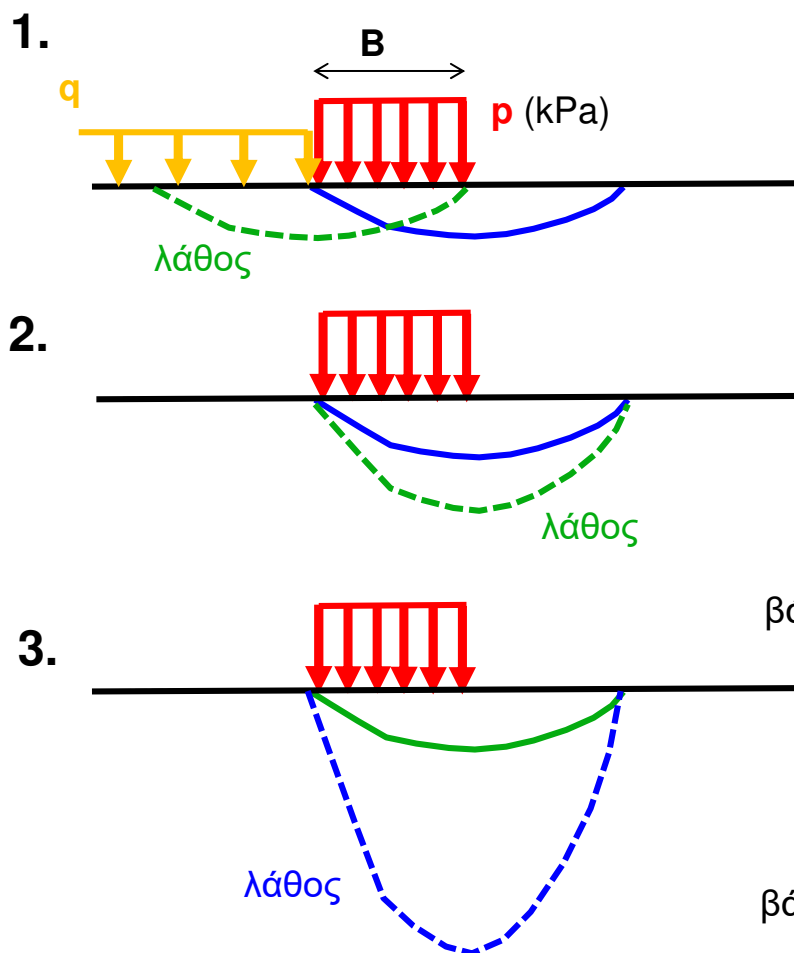
(β) $\Rightarrow P_{ult} \frac{B^2}{2} = 2R^2 \int_0^{\hat{\omega}_0} mB(\sqrt{1+h^2} \cos \theta - h) d\theta \Rightarrow$
 $\Rightarrow P_{ult} = 4\left(\frac{R}{B}\right)^2 mB [\sqrt{1+h^2} (\sin \hat{\omega}_0 - 0) - h(\hat{\omega}_0 - 0)] \Rightarrow$
 $\Rightarrow \boxed{P_{ult} = 4(1+h^2)mB(\sqrt{1+h^2} \sin \hat{\omega}_0 - h\omega_0)} \quad (δ)$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ με ομοιογενή άργιλο,
 για ίδια επιφ. αστοχίας, και ίδιο B
 (π.χ. για $h=0.43$ που δίνει min P_{ult} ομοιογ.)

$P_{ult} = 4(1+h^2)S_u \omega_0 = 5.5 S_u$ για ομοιογενή
 ανεξάρτητη του B

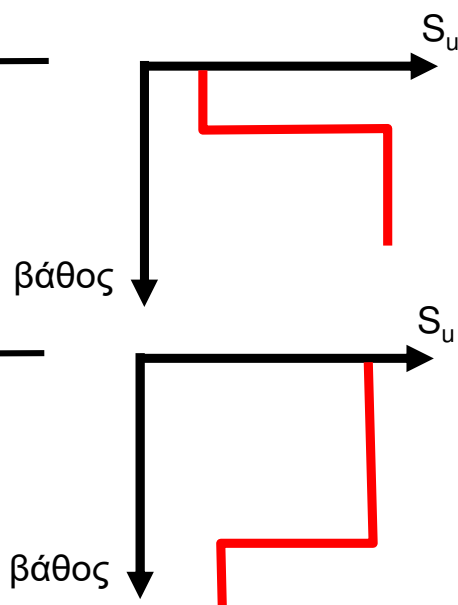
$P_{ult} = 2.37 \cdot 2.5 B = 5.9 B$ συνάρτηση του B
 (π.χ. για $S_u = 2.5z$) για γραμμ. ανομοιογ.

Το εύλογον της επιφάνειας ολίσθησης...

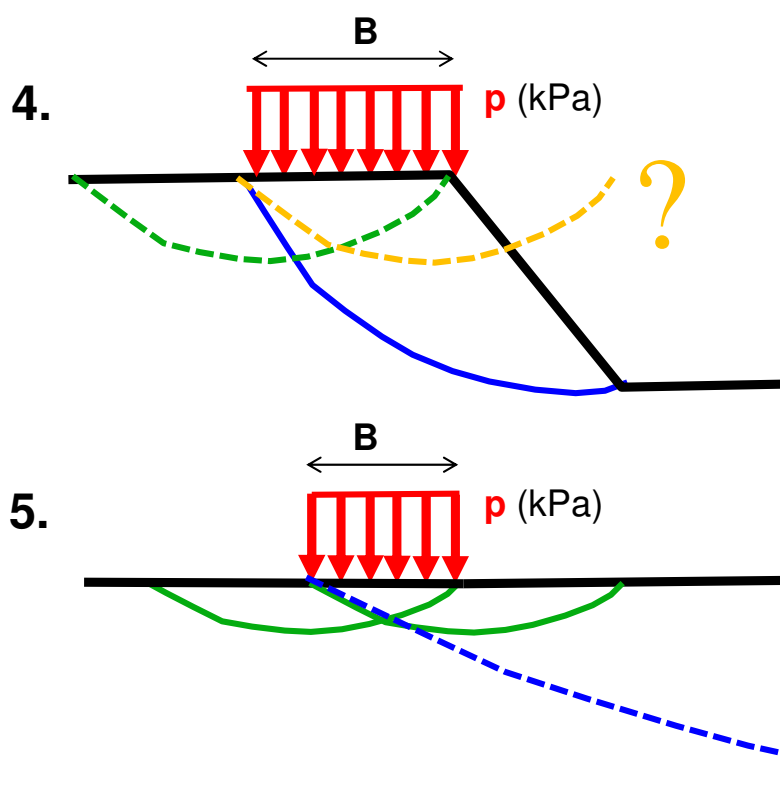


Η ολίσθηση προκύπτει...
με τον «ευκολότερο»
τρόπο

.... αρκεί η επιφάνεια
ολίσθησης να είναι
κινηματικά δυνατή!



Το εύλογον της επιφάνειας ολίσθησης...



Η ολίσθηση προκύπτει...
με τον «ευκολότερο»
τρόπο

Όλες οι διακεκομμένες
επιφάνειες αστοχίας δεν
είναι εύλογες

.... Η αλληλεπίδραση θεμελίου-πρανούς υπάρχει
μόνο όταν το θεμέλιο είναι... «κοντά» στο πρανές!