

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI:

ΑΣΤΟΧΙΑ & ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΔΑΦΩΝ

1. Αστοχία εδαφών στην φύση & στο εργαστήριο
2. Ορισμός αστοχίας [$\tau \rightarrow \max$ ή $(\tau/\sigma') \rightarrow \max$?]
3. Κριτήριο αστοχίας Mohr
4. Κριτήριο αστοχίας Mohr - Coulomb
 - Παράμετροι διατμητικής αντοχής c & φ
 - Συνήθεις τιμές για άμμους και αργίλους
5. Πρακτικές σχέσεις & συνέπειες του κριτηρίου M-C
6. Παράγοντες που επιδρούν στην διατμητική αντοχή των ΑΜΜΩΝ
7. Παράγοντες που επιδρούν στην διατμητική αντοχή των ΑΡΓΙΛΩΝ

1. Αστοχία εδαφών στην φύση & στο εργαστήριο

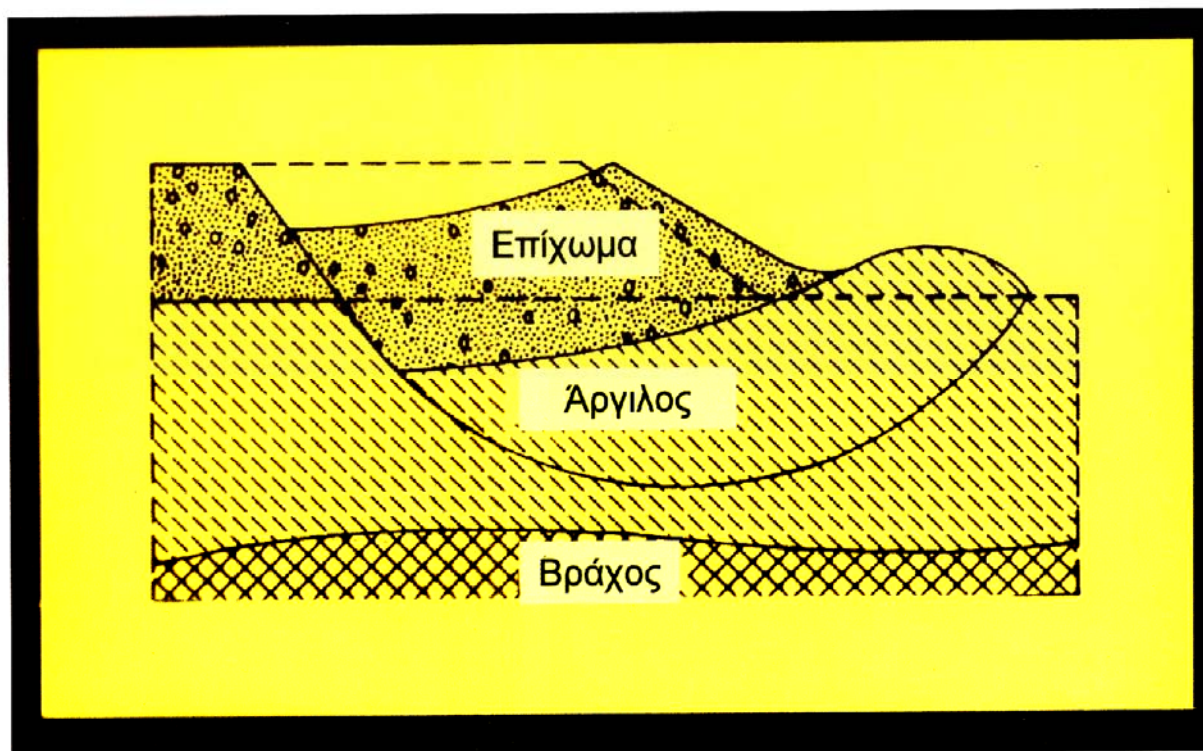
αστοχία πρανούς



κατολίσθηση Νεμέας 2002

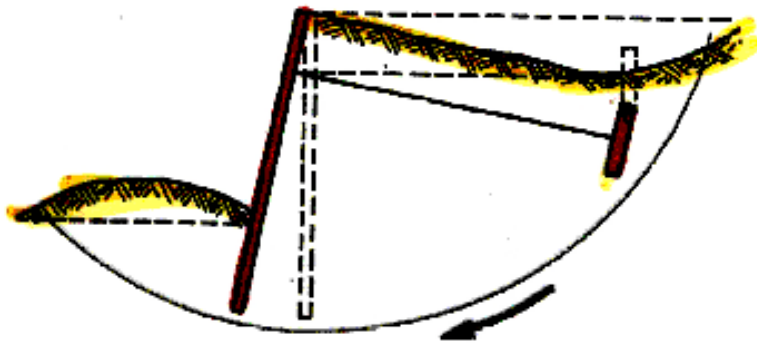


μηχανισμός αστοχίας



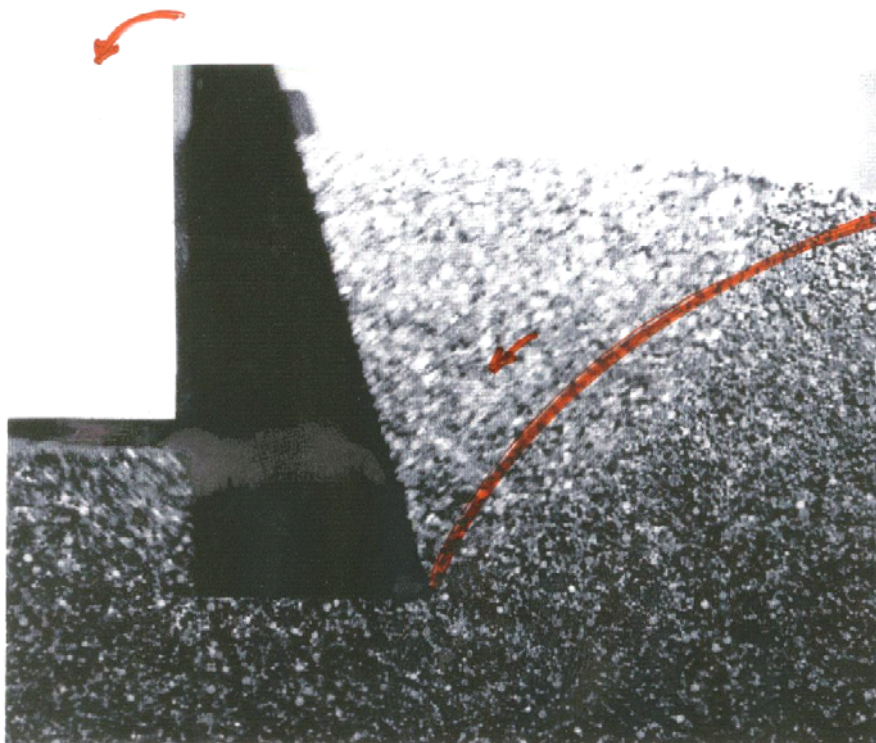
Αστοχία (κατάρρευση) τοίχου αντιστήριξης



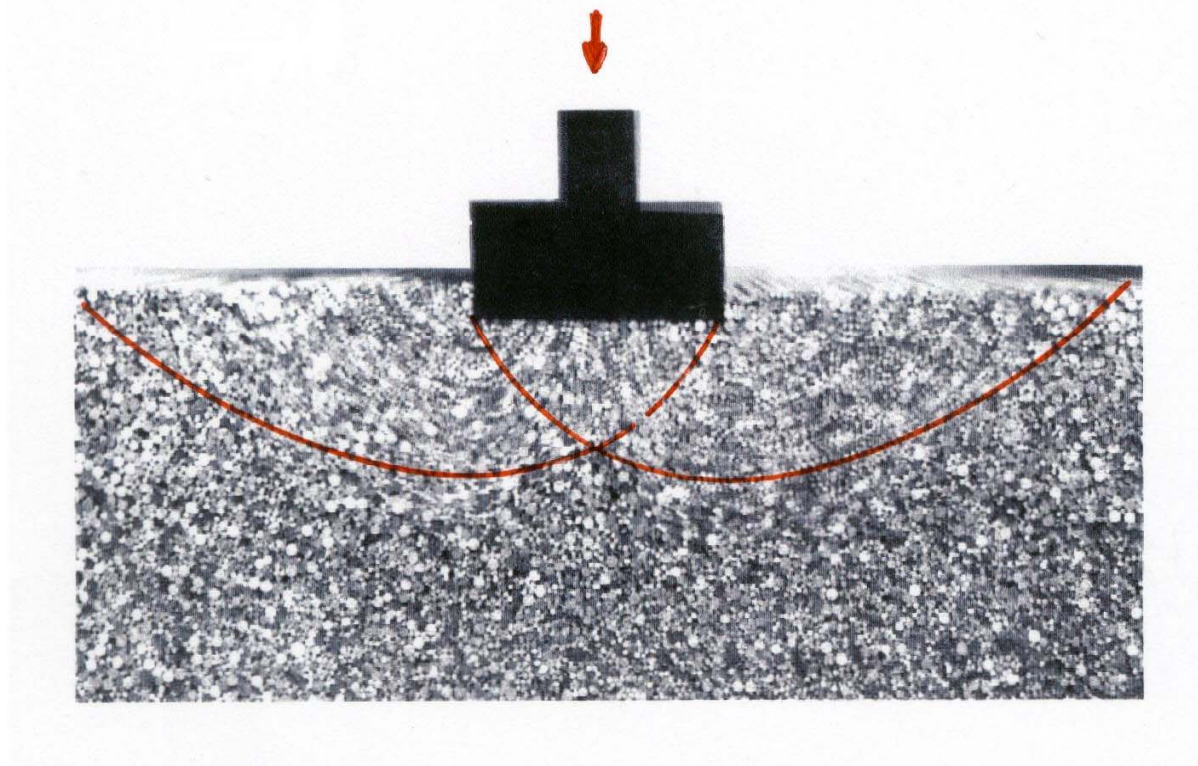


μηχανισμός αστοχίας

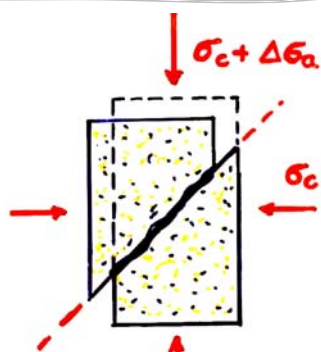
αστοχία τοίχου αντιστήριξης



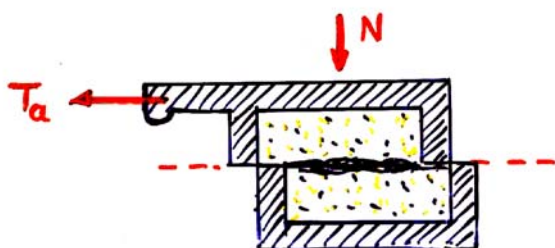
αστοχία θεμελίου



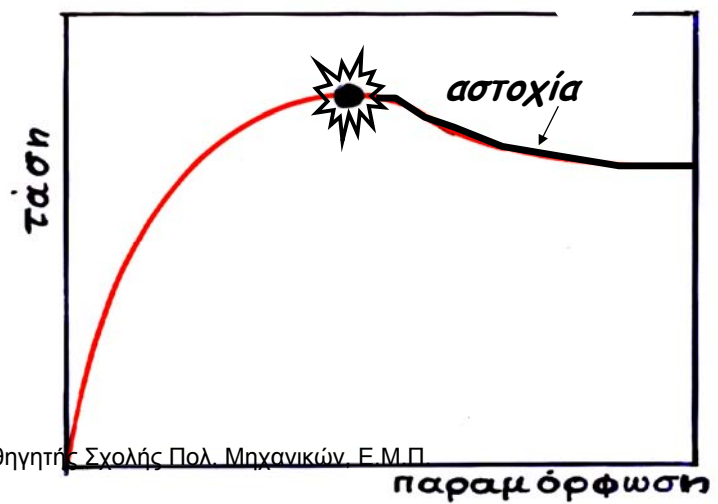
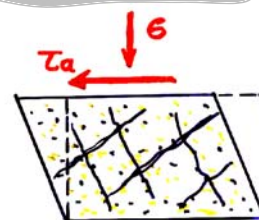
τριαξονική φόρτιση



απ'ευθείας διάτμηση



απλή διάτμηση



Όλα τα παραπάνω παραδείγματα αστοχίας εδαφών στην φύση και στο εργαστήριο, έχουν τα εξής βασικά κοινά χαρακτηριστικά:

- δημιουργείται μία **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**,
- επί της οποίας έχουμε **ΟΛΙΣΘΗΣΗ**, όταν αυτό είναι κινηματικά δυνατόν, ή
- με άλλα λόγια, υπέρβαση της οριακής αντίστασης **ΤΡΙΒΗΣ**.

✚ **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

✚ **ΟΛΙΣΘΗΣΗ**

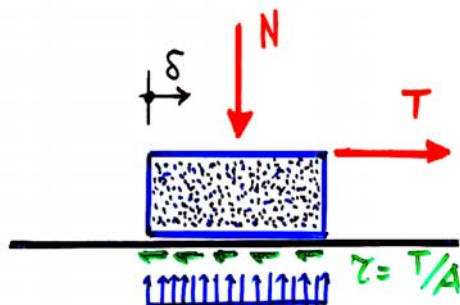
✚ **ΤΡΙΒΗ**



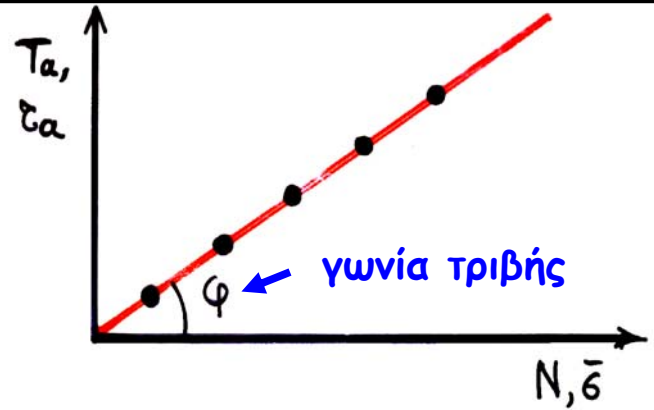
**ΝΟΜΟΣ ΤΡΙΒΗΣ
COULOMB**

2. Ορισμός Αστοχίας (τι προκαλεί την αστοχία :)

α. Ολισθαίνον Στερεό



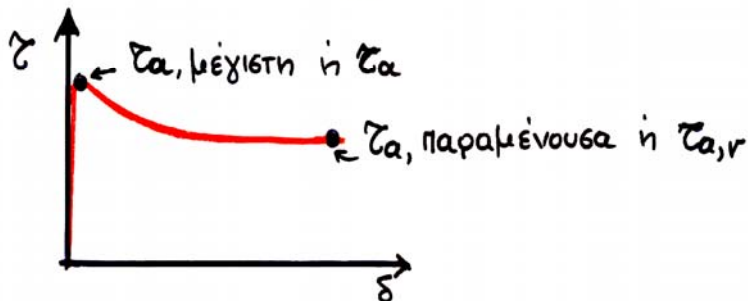
$$\bar{\sigma} = \frac{N}{A}, \quad A = \text{επιφάνεια επαφής}$$



$$T \leq T_{\alpha} = N \cdot \mu$$

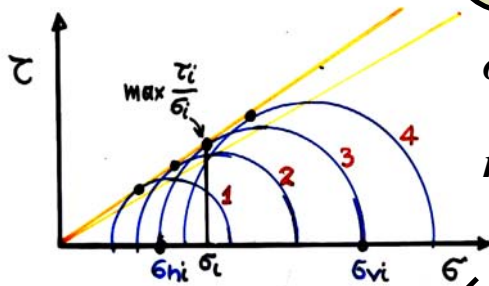
$$\Rightarrow \tau \leq \tau_{\alpha} = \bar{\sigma} \cdot \mu$$

$$\Rightarrow \frac{\tau}{\sigma} \leq \mu = \tan \phi$$



Νόμος τριβής COULOMB

β. Εδαφος

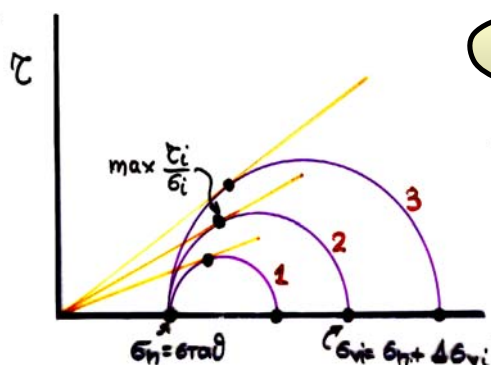
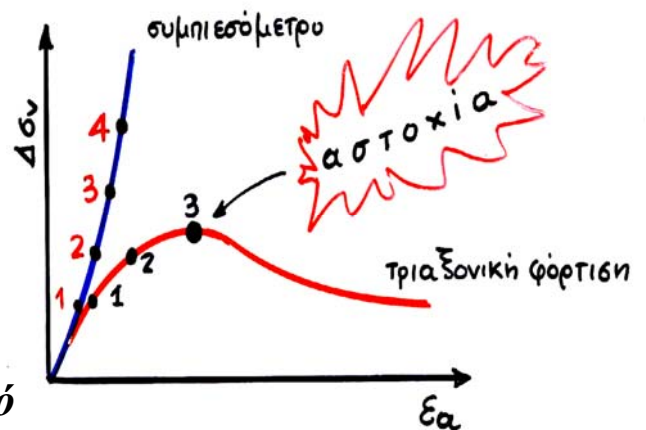


συμπιεσόμετρο

$$\sigma_h = K_o \cdot \sigma_v$$

$$\max \frac{\tau_i}{\sigma_i} = \text{σταθερό}$$

= ; ; ;



τριαξονική φόρτιση σε θλίψη

$$\sigma_h = \text{σταθερό}$$

$$\sigma_v = \sigma_h + \Delta \sigma_v$$

$$\max \frac{\tau_i}{\sigma_i} \quad \text{αυξάνει έως την αστοχία}$$

ΆΡΑ

σε **διατμητική φόρτιση** υπάρχει μία
μέγιστη τιμή του λόγου διατμητικής τάσης **(τ/σ')** _{max}
[ΟΧΙ της διατμητικής τάσης]
πέραν της οποίας έχω **αστοχία**,
ήτοι θραύση με πολύ μεγάλες παραμορφώσεις.....

3. Κριτήριο Αστοχίας MOHR

Πρακτικό Πρόβλημα:

Σε δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης αμμώδους δοκιμίου μετρήθηκαν οι παρακάτω τάσεις αστοχίας:

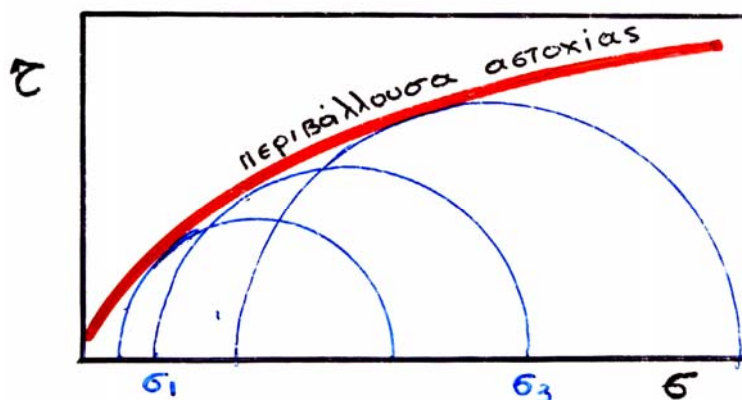
$$\tau_a = 200 \text{ kPa}, \quad \sigma'_v = 300 \text{ kPa}$$

- (α) Στην ίδια δοκιμή, $\tau_a = ?$ όταν $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$
- (β) Σε δοκιμή απλής διάτμησης $\tau_a = ?$ όταν $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$ και $\sigma'_h = 100 \text{ kPa}$
- (γ) Σε δοκιμή τριαξονικής φόρτισης $\Delta\sigma_{va} = ?$ όταν $\sigma'_{vo} = \sigma'_{ho} = 150 \text{ kPa}$

Για να απαντήσω στα παραπάνω ερωτήματα, χρειάζομαι ένα. . . .

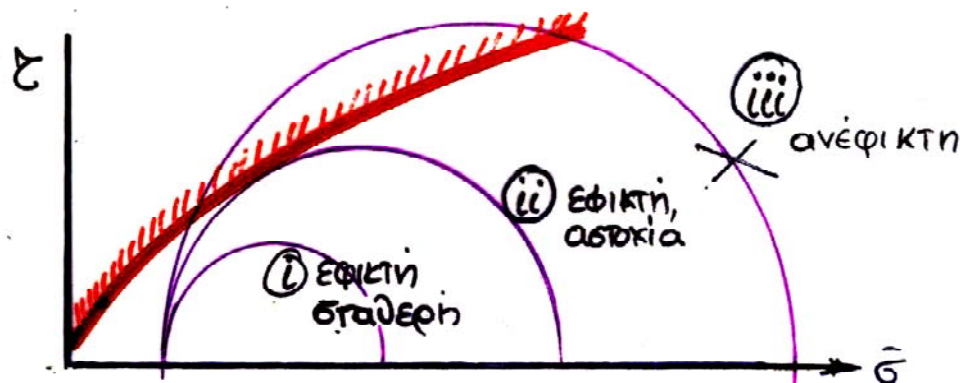
ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ → μία σχέση δηλαδή μεταξύ των διαφόρων τάσεων στην κατάσταση αστοχίας

- Για ένα δεδομένο εδαφικό σημείο, όλοι οι κύκλοι MOHR των ενεργών τάσεων αστοχίας εφάπτονται μίας κοινής **περιβάλλουσας αστοχίας**.



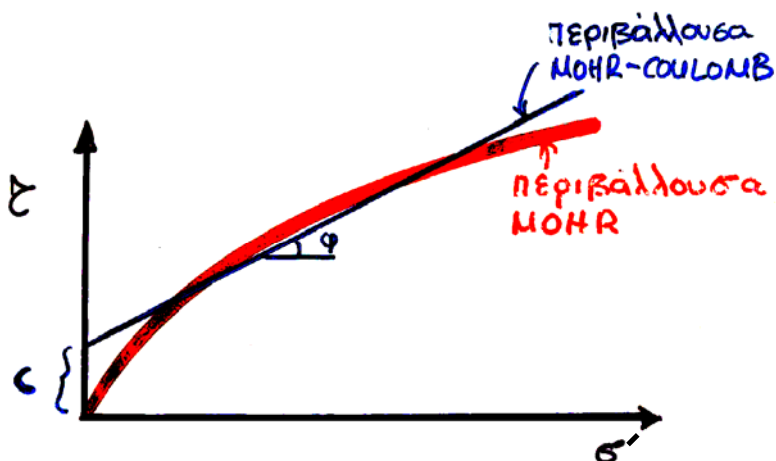
- Η περιβάλλουσα αστοχίας είναι ανεξάρτητη από τον τρόπο φόρτισης, τις συνοριακές συνθήκες, την ύπαρξη νερού, κ.λ.π.
- Αποτελεί δηλαδή μηχανική ιδιότητα του εδαφικού σκελετού (και μόνον)

- Η περιβάλλουσα αστοχίας ορίζει τρεις “περιοχές τάσεων”:
- εφικτή - σταθερή
 - εφικτή - αστοχία
 - ανέφικτη



4. Κριτήριο Αστοχίας MOHR - COULOMB

Για αναλυτικούς υπολογισμούς, είναι πρακτική η έκφραση του κριτηρίου αστοχίας με μία απλή, γραμμική σχέση. Έτσι



$$\tau_a = c + \sigma_a' \tan \phi$$

c = “συνοχή” (σε kPa)

ϕ = γωνία (εσωτερικής) τριβής

ΑΜΜΟΙ: $c = 0$, $\phi = 30 \div 45^\circ$

ΑΡΓΙΛΟΙ - OCR=1.0 : $c = 0$, $\phi = 20 \div 35^\circ$

ΑΡΓΙΛΟΙ - OCR>1.0 : $c[OCR, (\bar{\sigma}_v)]$, $\phi[PI, OCR, (\bar{\sigma}_v)]$

5. Πρακτικές σχέσεις και συνέπειες κριτηρίου αστοχίας MOHR-COULOMB

- α. Σχέσεις μεταξύ των κυρίων τάσεων κατά την αστοχία
(να αποδειχθούν)

$$\sin \varphi = \frac{\bar{\sigma}_{1,a} - \bar{\sigma}_{3,a}}{\bar{\sigma}_{1,a} + \bar{\sigma}_{3,a} + 2c / \tan \varphi}$$



$$\sigma_{3,a} = \sigma_{1,a} \cdot K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$



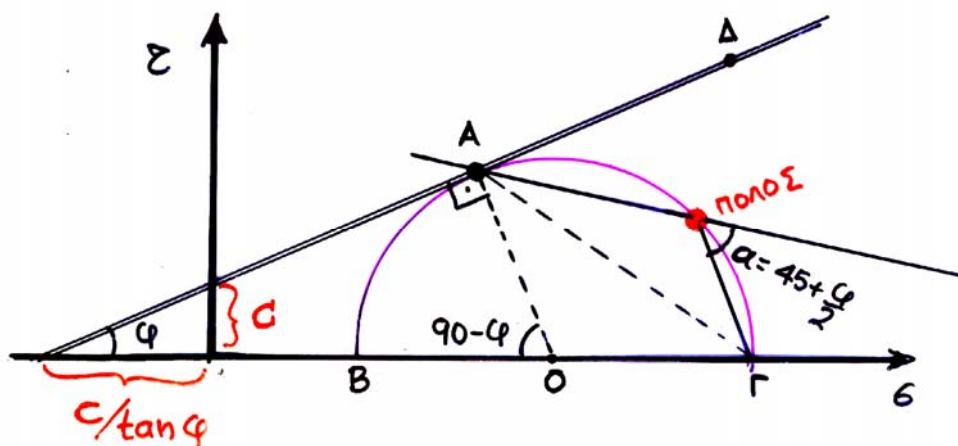
για $c = 0$:

$$\frac{\bar{\sigma}_{1,a} - \bar{\sigma}_{3,a}}{\bar{\sigma}_{1,a} + \bar{\sigma}_{3,a}} = \sin \varphi \quad \text{ή} \quad \sigma_{3,a} = \sigma_{1,a} \cdot K_a$$



και λίγα είναι...

- β. Το επίπεδο αστοχίας σχηματίζει γωνία $\pm (45 + \varphi/2)$ με το επίπεδο της μέγιστης κύριας τάσης



Το συμπέρασμα αυτό έχει μικρή πρακτική χρησιμότητα, αλλά αρκετό ενδιαφέρον ως προς την απόδειξη του.

Αξίζει να δοκιμάσετε

Πρακτικό Πρόβλημα:

Σε δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης αμμώδους δοκιμίου μετρήθηκαν οι παρακάτω τάσεις αστοχίας:

$$\tau_a = 200 \text{ kPa}, \quad \sigma'_v = 300 \text{ kPa}$$

(α) Στην ίδια δοκιμή, $\tau_a = ?$; όταν $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$

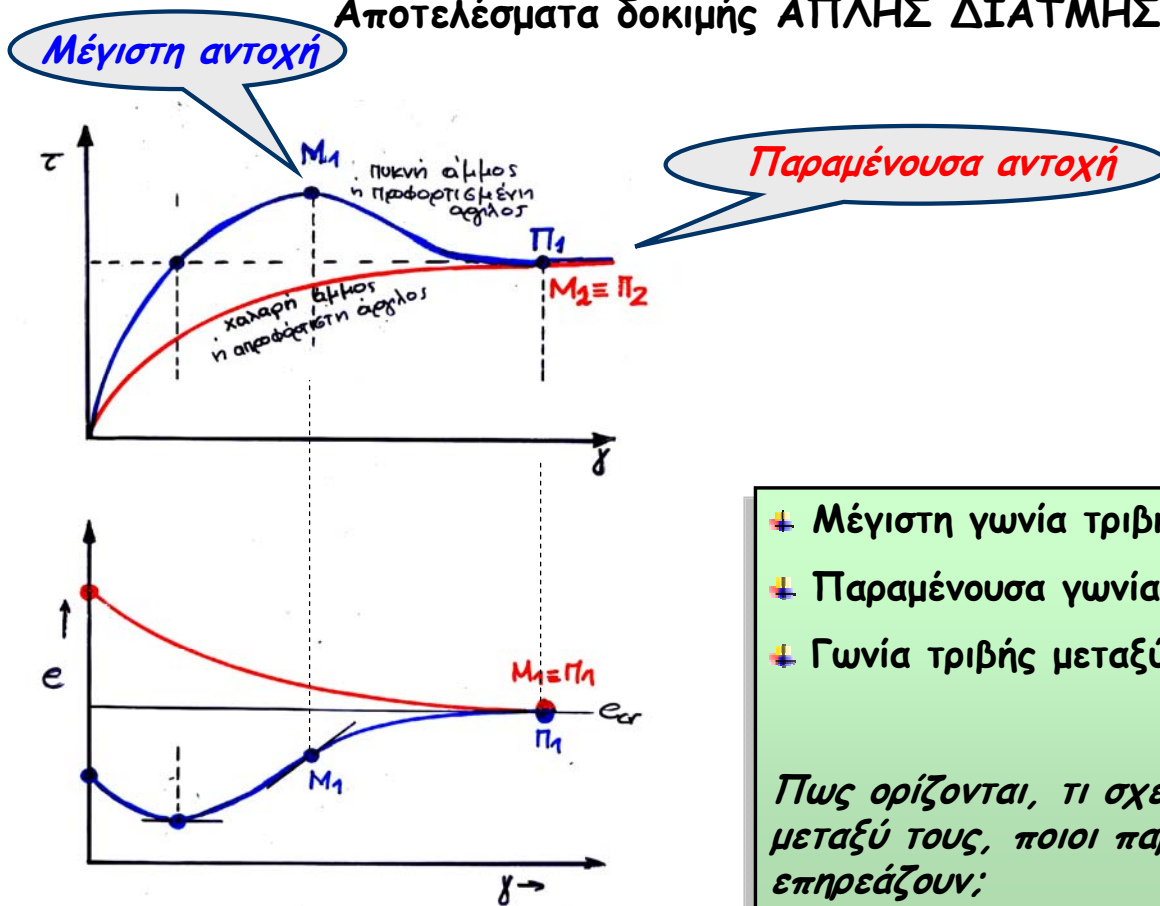
(β) Σε δοκιμή απλής διάτμησης $\tau_a = ?$; όταν $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$ και $\sigma'_h = 100 \text{ kPa}$

(γ) Σε δοκιμή τριαξονικής φόρτισης $\Delta\sigma_{va} = ?$; όταν $\sigma'_{vo} = \sigma'_{ho} = 150 \text{ kPa}$

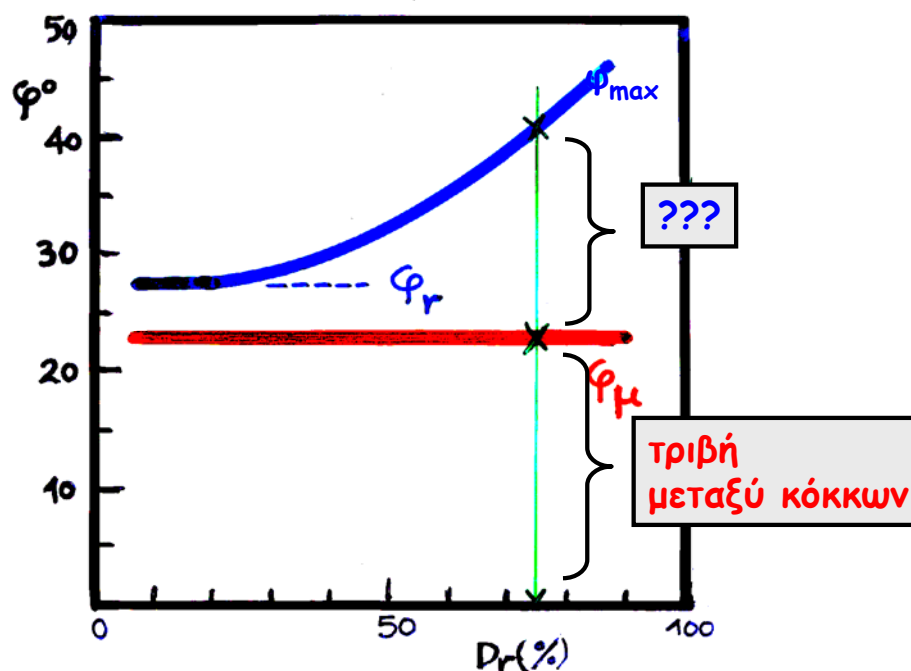
Για να δούμε, τώρα που έχουμε το **κριτήριο αστοχίας** μπορούμε να το λύσουμε;

6. Παράγοντες που επιδρούν στην διατμητική αντοχή ΑΜΜΟΥ

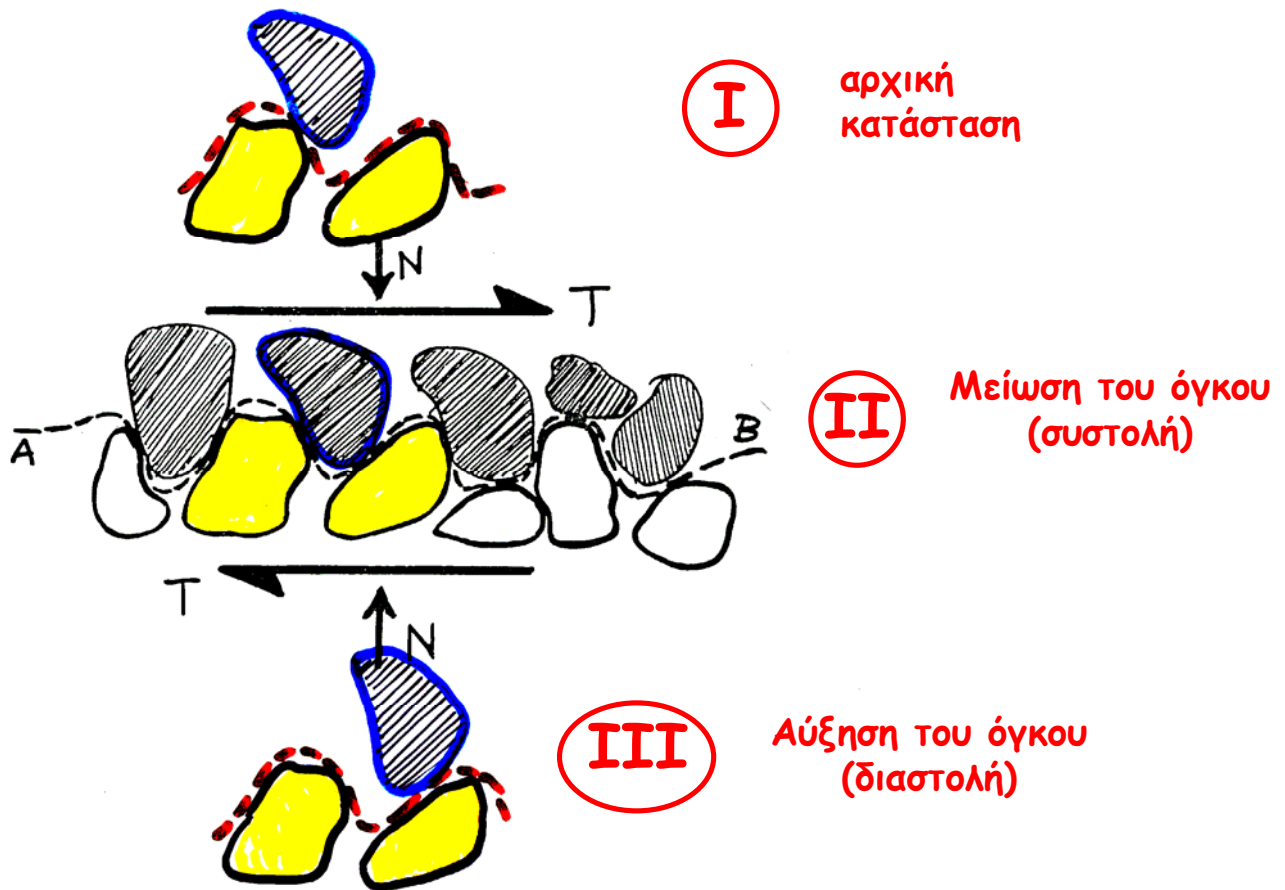
Αποτελέσματα δοκιμής ΑΠΛΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ



Επίδραση της Σχετικής Πυκνότητας στην διατμητική αντοχή των ΑΜΜΩΝ



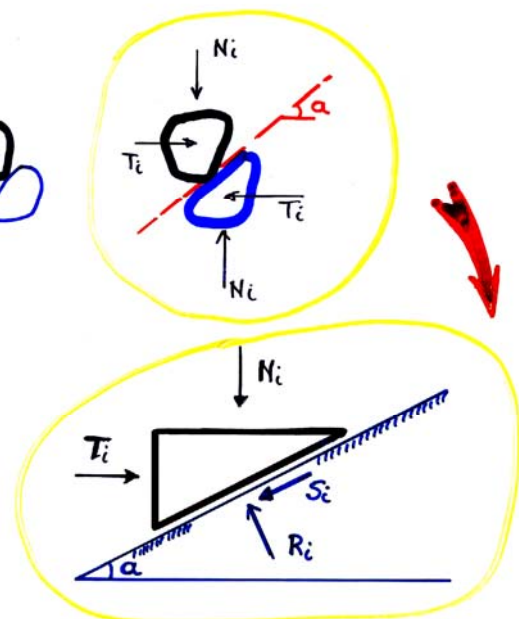
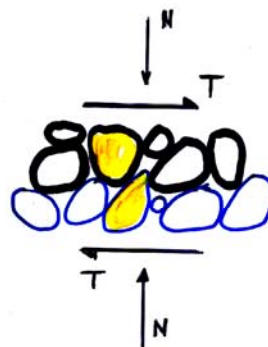
Εξήγηση: Διαστολικότητα



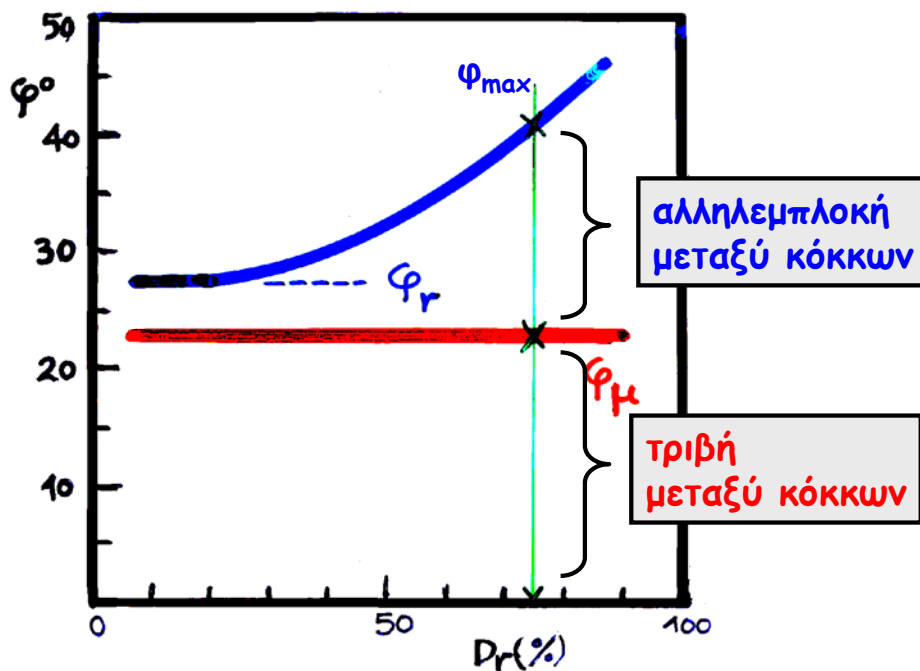
**Άρα, κατά την αστοχία,
η σχετική ολίσθηση των κόκκων
συμβαίνει επί κεκλιμένου (όχι οριζόντιου) επιπέδου**

$$\left. \begin{aligned} N_i &= R_i \cos \alpha - S_i \sin \alpha \\ T_i &= R_i \sin \alpha + S_i \cos \alpha \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{T_i}{N_i} &= \frac{\tan \alpha + \frac{S_i}{R_i}}{1 - \frac{S_i}{R_i} \tan \alpha} \\ \frac{S_i}{R_i} &= \tan \varphi_\mu \end{aligned} \right\} T_i = N_i \tan (\underbrace{\varphi_\mu}_{\text{τριβή μεταξύ κόκκων}} + \underbrace{\alpha}_{\text{αλληλεμπλοκή μεταξύ κόκκων}})$$

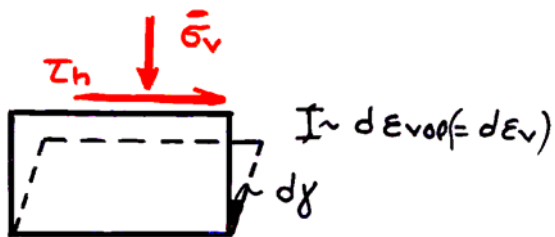


Παράγοντες που συμβάλλουν στην διατμητική αντοχή των ΑΜΜΩΝ



$$\begin{aligned}\varphi_{\max} &= 30 \div 45^\circ \\ \varphi_r &= 28 \div 30^\circ \\ \varphi_\mu &= 20 \div 25^\circ\end{aligned}$$

Εναλλακτική Θεώρηση:



$$\underbrace{\tau_h \cdot d\gamma + \bar{\sigma}_v \cdot d\varepsilon_{vol}}_{\text{έργο εξωτερικών τάσεων}} = \underbrace{(\mu \bar{\sigma}_v) \cdot d\gamma}_{\text{έργο εσωτερικών τάσεων τριβής}}$$

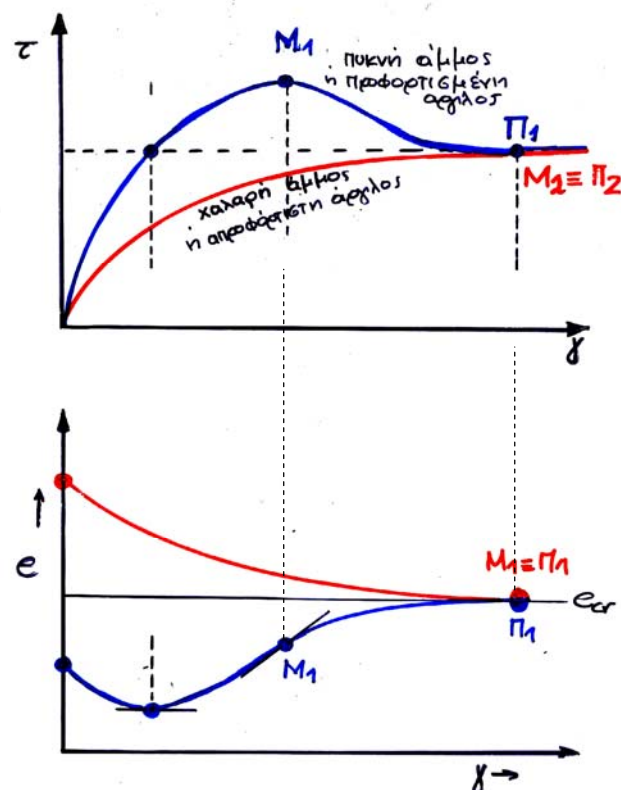
=

$$\frac{\tau_h}{\bar{\sigma}_v} = \mu - \frac{d\varepsilon_{vol}}{d\gamma} \quad (\text{απλή διάτμηση})$$

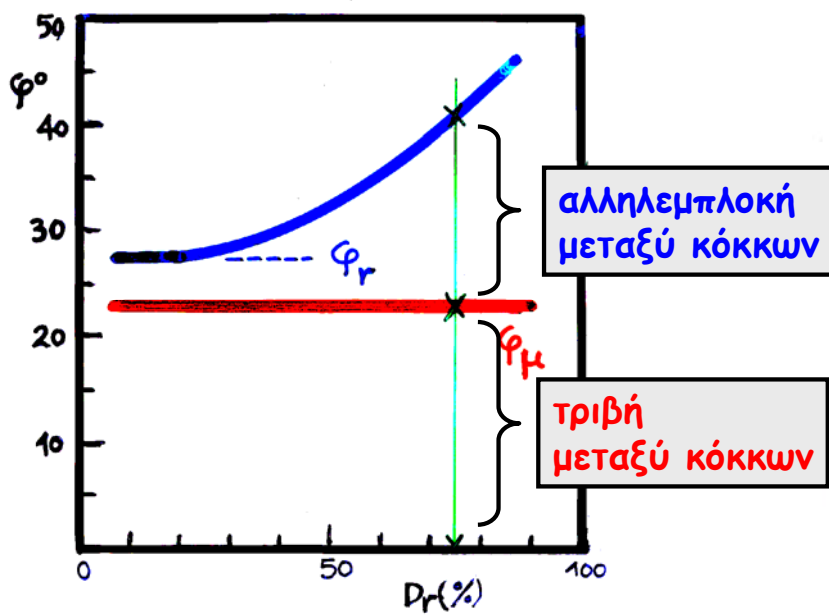
$$\tan \varphi = \tan \varphi_\mu + \tan \psi$$

$$\psi = \tan^{-1} (-d\varepsilon_{vol}/d\gamma)_{\max} = \text{γωνία διαστολικότητας}$$

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

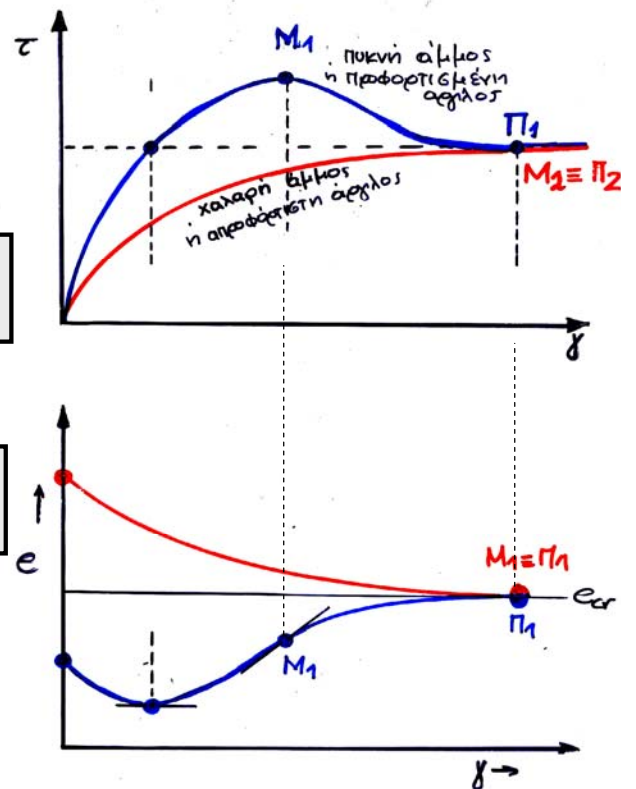


Εναλλακτική Θεώρηση:



$$\tan \phi = \tan \phi_\mu + \tan \psi$$

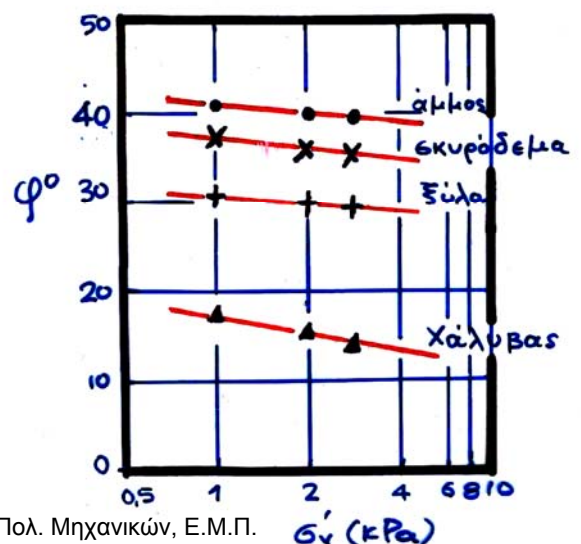
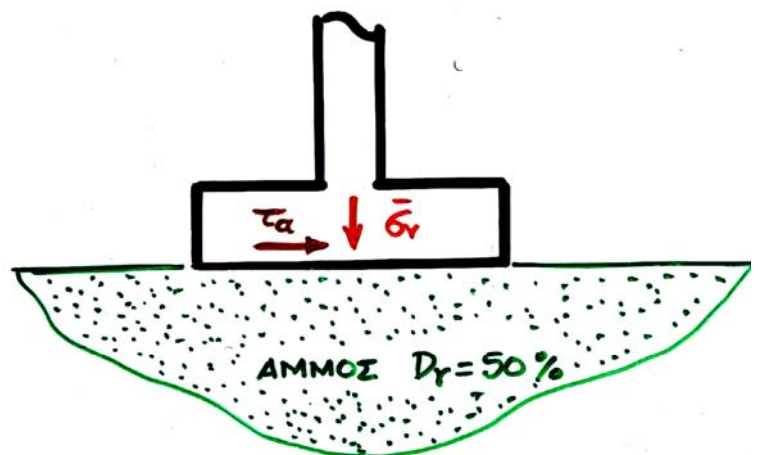
$$\psi = \tan^{-1} (-de_{vol}/d\gamma)_{MAX} = \text{γωνία διαστολικότητας}$$



ΠΕΙΡΑΜΑ

σε ομοίωμα θεμελίου από:

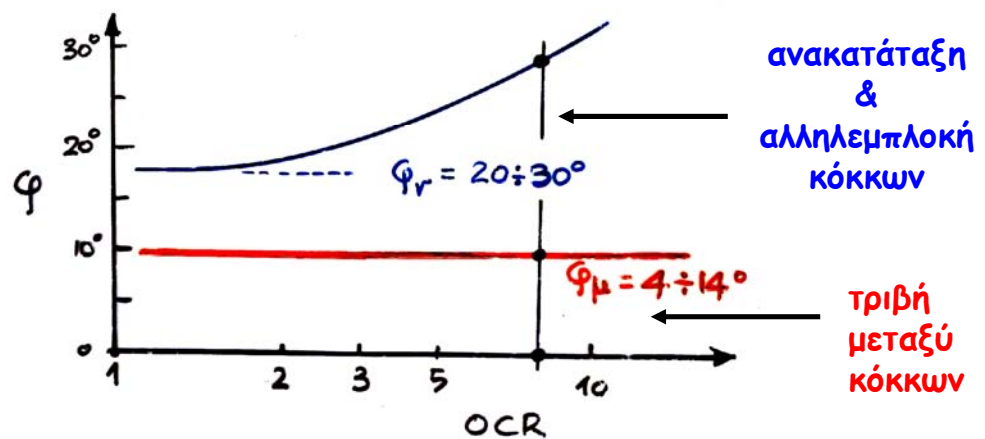
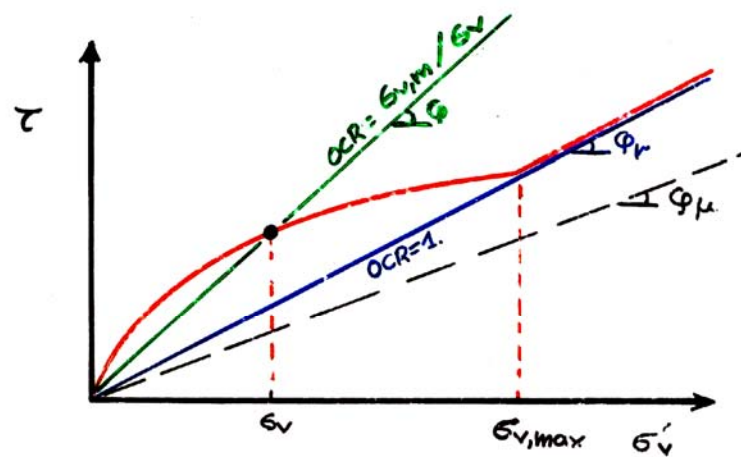
- σκυρόδεμα
- ξύλο
- χάλυβα



Ερωτήσεις :

- γιατί $\phi_{\text{χάλυβας}} < \phi_{\text{ξύλο}} < \phi_{\text{σκυρόδεμα}}$?
- γιατί η ϕ μικραίνει με την σ'_v ?

7. Παράγοντες που συμβάλλουν στην διατμητική αντοχή ΑΡΓΙΛΩΝ



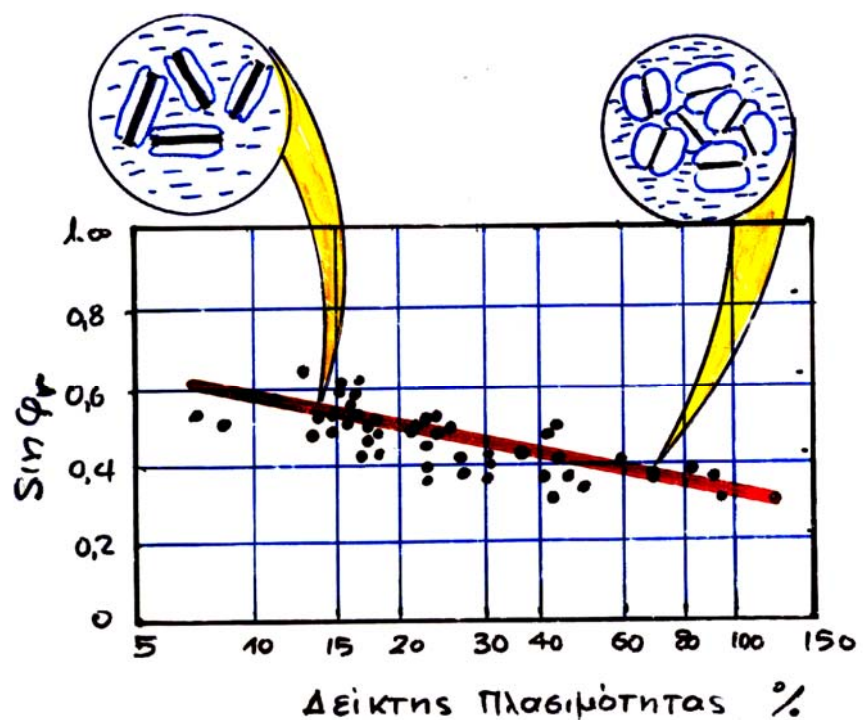
επίδραση του

δείκτη πλασιμότητας

στην

παραμένουσα

γωνία τριβής ϕ_r



- ✚ Πως εκδηλώνεται η διατμητική αστοχία του εδάφους σε τεχνικά έργα και σε εργαστηριακές δοκιμές;
- ✚ Περιβάλλουσα αστοχίας Mohr-Coulomb: συνοχή (c) και γωνία εσωτερικής τριβής (φ).
- ✚ Μέγιστη και παραμένουσα γωνία τριβής ($\varphi_{\max}$ & φ_{res}): παράγοντες που τις επηρεάζουν σε άμμους και αργίλους.
- ✚ Τι σχέση έχουν μεταξύ τους η $\varphi_{\max}$, η φ_{res} και ο συντελεστής τριβής μεταξύ των κόκκων μ ; Που οφείλονται οι διαφορές;
- ✚ Απόδειξη του ρόλου της αλληλεμπλοκής μεταξύ των κόκκων με το προσομοίωμα του ολισθαίνοντος στερεού επί κεκλιμένου εδάφους.
- ✚ Σχέση μεταξύ των τάσεων αστοχίας που ασκούνται σε επίπεδο (απ' έξω).
- ✚ Σχέσεις μεταξύ των τάσεων αστοχίας που ασκούνται σε σημείο (απ' έξω..).