

# Μηχανική Συμπεριφορά Εδαφών σε (υπο)κατηγορίες φορτίσεων

**Συνεχίζουμε με:**

**Διατμητική καταπόνηση**

Εισαγωγή: σύνδεση με προηγούμενα

Μέρος Α: κυρίως πειραματικές διατάξεις

Μέρος Β: συμπεριφορά εδάφους

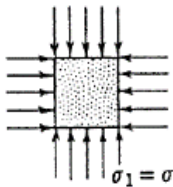
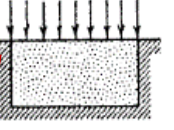
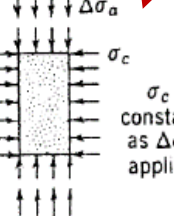
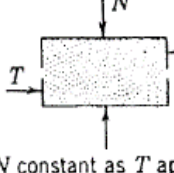
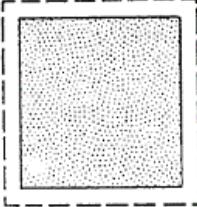
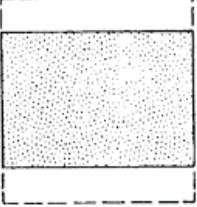
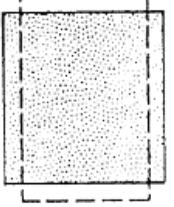

# Πώς ξεκινάμε τη μελέτη της Εδαφομηχανικής

(είδαμε στις 5-4-2022)

- Όπως και στη Μηχανική, στην αρχή εστιάζουμε σε επιλεγμένα επί μέρους επιλύσιμα προβλήματα (πχ, στη Μηχανική: κάμψη, στρέψη)
- Όπως είπαμε, το έδαφος συμπεριφέρεται ελαστικά για μικρό μόνο εύρος παραμορφώσεων, άρα δεν μπορούμε να δουλέψουμε με τις γνωστές ελαστικές παραμέτρους
- Ρωτάμε, λοιπόν, **ποιες** είναι οι **παράμετροι** που περιγράφουν τη συμπεριφορά του εδάφους στα επιλεγμένα προβλήματα και με **ποιες εξειδικευμένες πειραματικές δοκιμές** μπορώ να προσδιορίσω αυτές τις παραμέτρους;

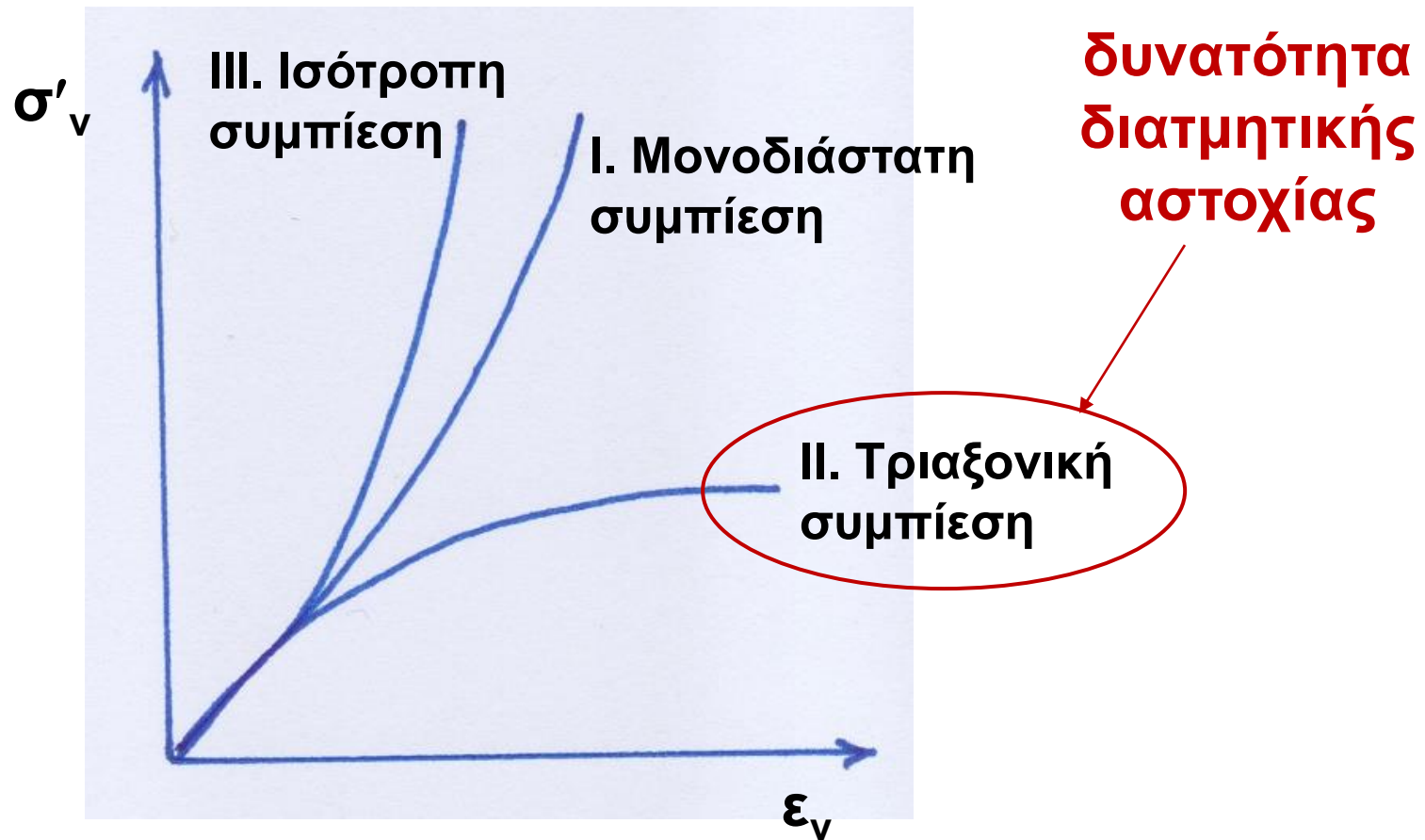
# Συνήθεις εργαστηριακές δοκιμές της Γεωτεχνικής Μηχανικής: τάσεις & παραμορφώσεις

Ισότροπη συμπίεση  
 1D συμπίεση (μηδενική πλευρική παραμόρφωση\*)  
 Τριαξονική συμπίεση  
 Απ' ευθείας διάτμηση

Test	Isotropic compression	Confined compression (oedometer)	Triaxial compression	Direct shear
Basic conditions	 <p><math>\sigma_1 = \sigma_3</math></p>	 <p>No horizontal movement</p>	 <p><math>\Delta\sigma_a</math> <math>\sigma_c</math> <math>\sigma_c</math> constant as <math>\Delta\sigma_a</math> applied</p>	 <p><math>N</math> <math>T</math> <math>N</math> constant as <math>T</math> applied</p>
Type of deformation	Volumetric 	Primarily volumetric but some distortion 	Distortion and volumetric 	Primarily distortion, but some volumetric 

\*μηδενική πλευρική ώθηση γαιών  
= πλήρης πλευρική υποστήριξη

# Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης στο έδαφος για διαφορετικές φορτίσεις



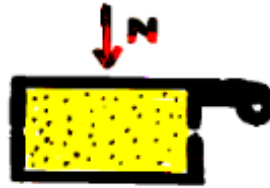
## Πλάνο για το υπόλοιπο εξάμηνο

- Θα ασχοληθούμε με τη συμπεριφορά του εδάφους σε διατμητική καταπόνηση έως τα όρια της αντοχής του (διατμητική αντοχή)
- Στόχοι μας είναι (α) να καταλαβαίνουμε **ποιοτικά** τη συμπεριφορά του εδάφους και τους παράγοντες που την επηρεάζουν και (β) να χρησιμοποιούμε ένα **ποσοτικό κριτήριο** για να αποφαινόμαστε πότε το έδαφος είναι εντάξει, πότε πλησιάζει στην αστοχία και πότε έφτασε στην **αστοχία** (ή, ισοδύναμα, πόση αντοχή έχει).
- Για να ορίσουμε την **αστοχία** πρέπει να εξοικειωθούμε με τα αποτελέσματα που μας δίνουν οι **πειραματικές διατάξεις**, δηλ. τι κάνουν οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που προσομοιώνουν τη **διατμητική καταπόνηση** στο πεδίο. Μέρος Α
- Ένας τρόπος να περιγράψω τι εννοώ με **διατμητική καταπόνηση**: να μεγαλώνει η διαφορά μεταξύ  $\sigma_1$  και  $\sigma_3$ , δηλ. να μεγαλώνει συνέχεια η ακτίνα του κύκλου Mohr (κάτι που είδαμε ότι δεν μπορεί να γίνει στη μονοδιάστατη συμπίεση).
  - Ιδιαίτερη προσοχή: διατμητική καταπόνηση αργίλων υπό αστράγγιστες συνθήκες (στο τέλος του εξαμήνου)

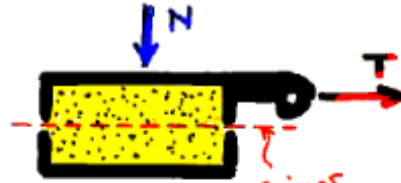
# Πειραματικές διατάξεις για τη μελέτη της διατμητικής καταπόνησης – Δύο βήματα φόρτισης: I και II

απ' ευθείας διάτμηση

απλή η εφαρμογή της, κάπως παρωχημένη



I

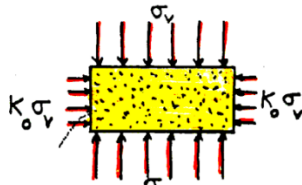


II

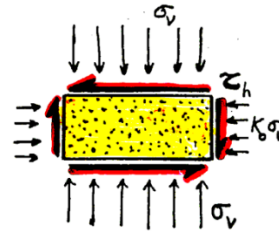
I Επιβολή N  
II Επιβολή T με σταθερή N & αύξηση T έως την αστοχία

απλή διάτμηση

όχι τόσο συχνή, πλέον εποπτική



I



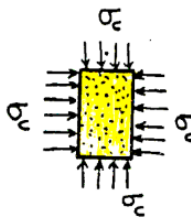
II

επιβολή οριζόντιας τ<sub>h</sub> υπό σταθερή σ<sub>v</sub>

I Επιβολή σ<sub>v</sub>, σ<sub>h</sub> = K<sub>0</sub> σ<sub>v</sub>  
II Επιβολή τ<sub>h</sub> με σταθερές σ<sub>v</sub>, σ<sub>h</sub> & αύξηση τ<sub>h</sub> έως την αστοχία

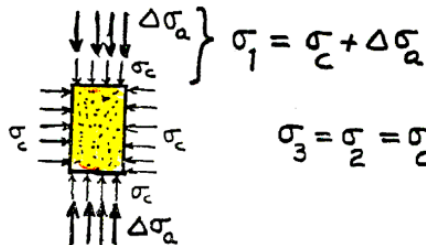
τριαξονική διάτμηση

η στάνταρντ δοκιμή της πράξης



I

ισότροπη (υδροστατική) συμπίεση



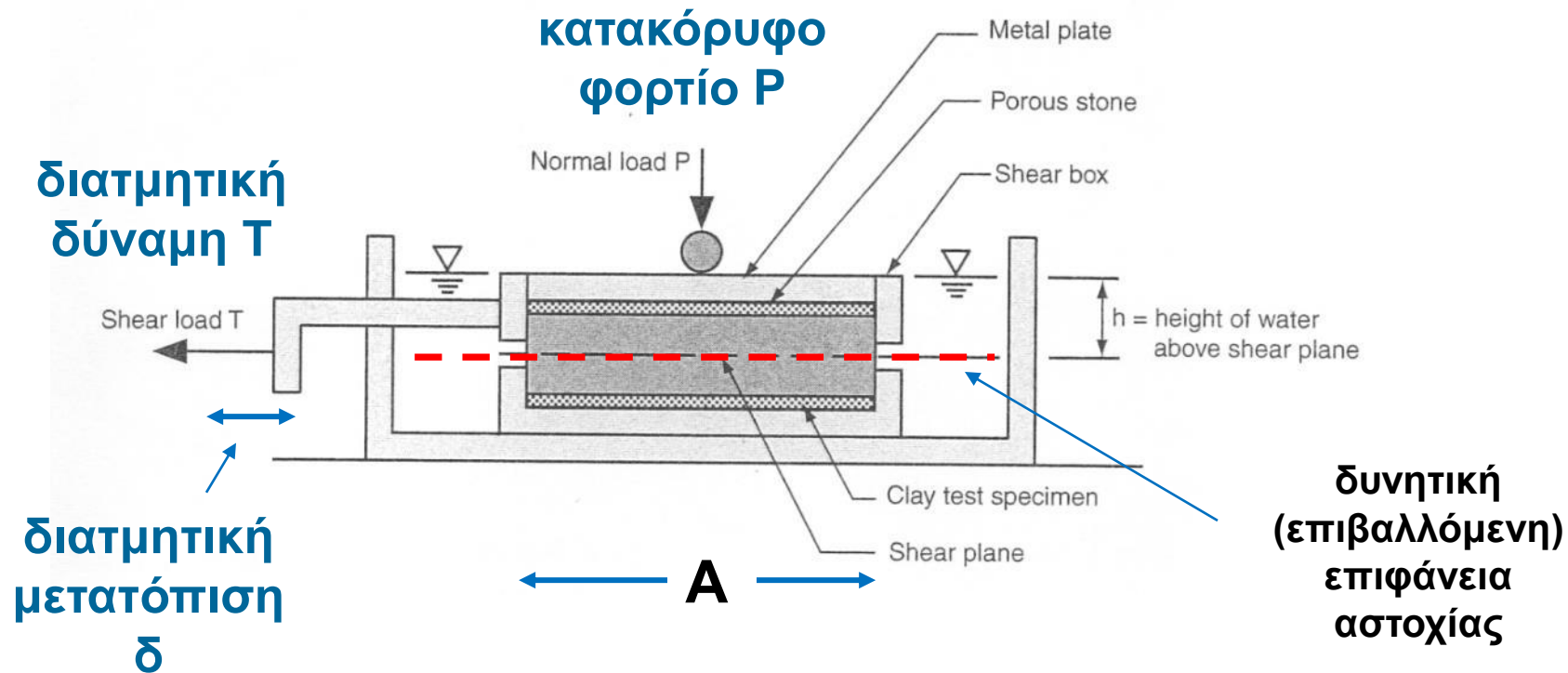
II

επιβολή κατακόρυφης Δσ<sub>a</sub> υπό σταθερή σ<sub>c</sub>.

I Επιβολή ολόπλευρης σ<sub>c</sub>  
II Επιβολή Δσ<sub>a</sub> με σταθερή σ<sub>c</sub> & αύξηση Δσ<sub>a</sub> έως την αστοχία

Σημείωση: στο βήμα II αυξάνουμε είτε την τάση είτε την παραμόρφωση 6

# Δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης



$$\tau = T/A, \sigma = (P+W)/A,$$

όπου W = βάρος άνω τμήματος συσκευής



# Μπορούμε να παρακολουθήσουμε\* ένα πείραμα απ' ευθείας διάτμησης στο εργαστήριο του καθηγητή Jaksa στην Αυστραλία

Mark Jaksa  
Professor

Direct Shear Test - Pre-laboratory Interactive Learning Module (03:23 / 15:30) Resources

## Direct Shear Test

1. Direct Shear Test  
2. Learning Objectives  
3. Background  
4. Introduction  
▶ 5. Quiz No. 1  
6. Objective  
▶ 7. Coulomb's Failure Criterion  
8. Direct Shear Test  
9. Shear and Failure Surfaces  
10. Direct Shear Test  
▶ 11. Quiz No. 2  
12. Sample Preparation  
13. Test Setup  
14. Testing and Monitoring  
15. Example  
16. Calculations – Part 1  
17. Calculations – Part 2  
18. Shear Stress for Dense Sand  
19. Volume Change for Dense S...  
20. Shear Stress for Loose Sand  
21. Volume Change for Loose S...  
22. Internal Angle of Friction  
▶ 23. Quiz No. 3  
24. Limitations  
25. Report

▶ 23. Quiz No. 3  
24. Limitations  
25. Report

◀ PREV NEXT ▶

δοκίμιο  
άμμου στο  
κουτί απ'  
ευθείας  
διάτμησης,  
διαστάσεων:  
6x6x2 cm

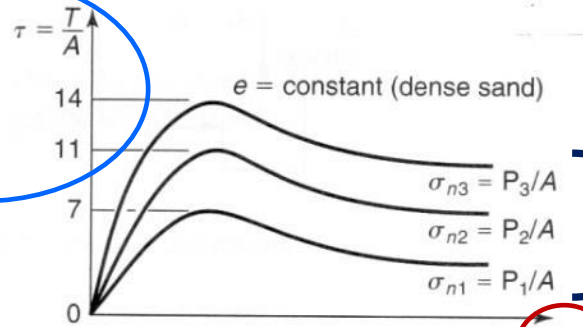
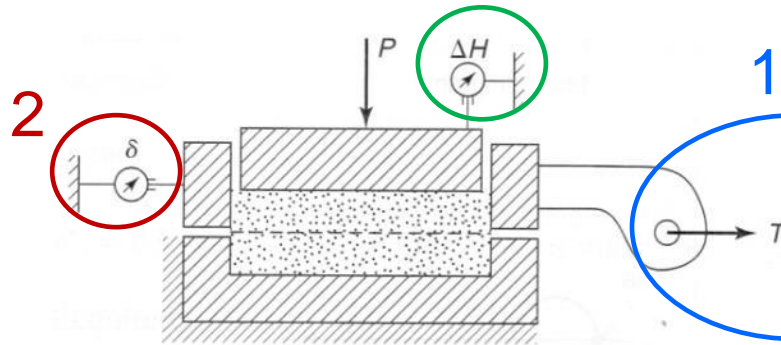
δοκίμιο  
αργίλου  
μετά το  
τέλος της  
δοκιμής απ'  
ευθείας  
διάτμησης



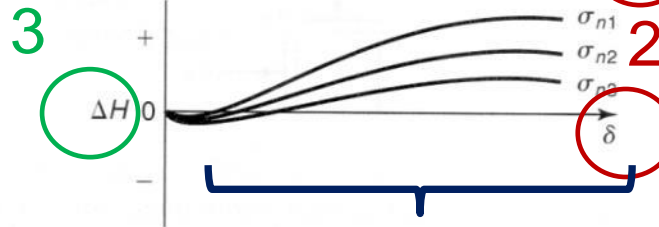
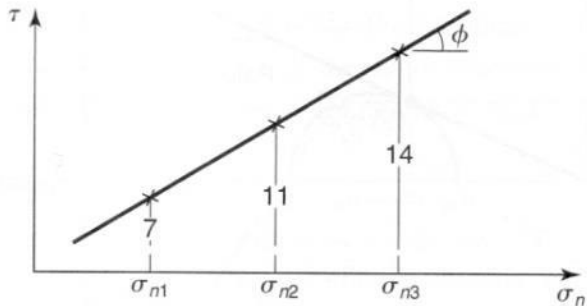
# Τι καταγράφουμε σε ένα πείραμα απ' ευθείας διάτμησης

Για σταθερή ορθή τάση  $\sigma_n$

1. διατμητική τάση,  $\tau$
2. διατμητική μετατόπιση,  $\delta$
3. αλλαγή ύψους δοκιμίου,  $\Delta H$



τρεις δοκιμές  
στην ίδια  
πυκνή άμμο  
με διαφορετική  
ορθή τάση  
 $\sigma_{n3} > \sigma_{n2} > \sigma_{n1}$

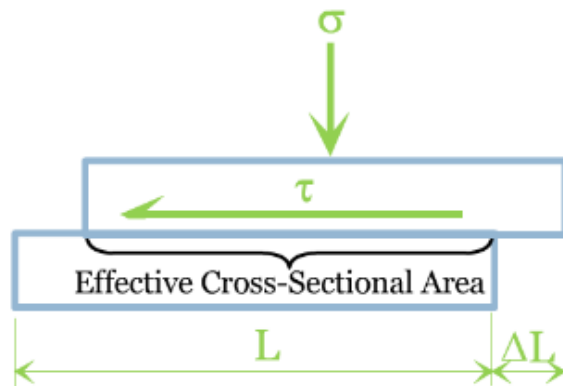


Αύξηση όγκου!

Τα αποτελέσματα πολλών δοκιμών δείχνουν ότι η μέγιστη διατμητική τάση αυξάνεται με την αύξηση της ορθής τάσης: αν  $\phi$  η κλίση της ευθείας,  $\tau = \sigma \tan \phi$  (ΣΧΟΛΙΟ: και τα τρία σημεία ακριβώς στην ευθεία = εξιδανίκευση για διδακτικούς σκοπούς)

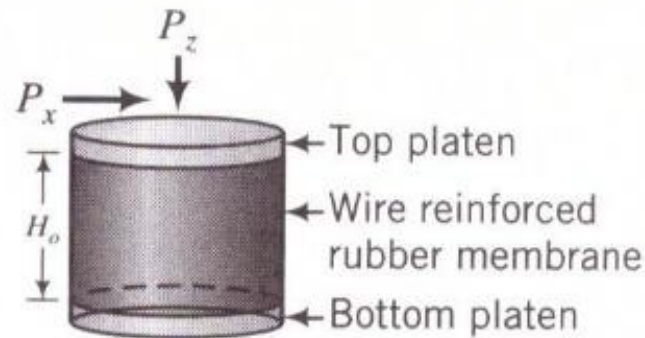
# Σχόλια για τη δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης

- Ανομοιογενής κατανομή τάσεων στο εσωτερικό του δοκιμίου
- Δύσκολος ο έλεγχος συνθηκών στράγγισης (δεν ενδιαφέρει για άμμους)
- Γνωρίζοντας τάσεις  $\tau$ ,  $\sigma$  μόνο στο επίπεδο αστοχίας, δεν μπορούμε να κατασκευάσουμε κύκλο Mohr
- Όσο μεγαλώνει η μετατόπιση, τόσο μειώνεται η επιφάνεια αστοχίας και οι τάσεις  $\tau$ ,  $\sigma$  υπολογίζονται από τις αντίστοιχες δυνάμεις με βάση τη διορθωμένη επιφάνεια  $A'$

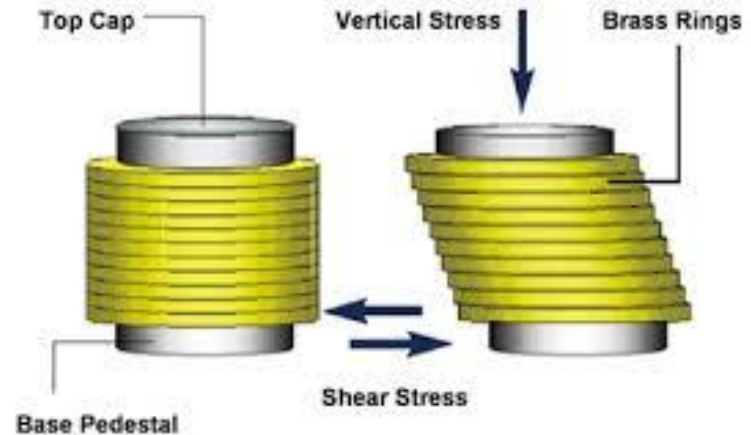


Για αρχική επιφάνεια δοκιμίου  $A = L \times L$ :  
 $A' = L \times (L - \Delta L)$

# Δοκιμή απλής διάτμησης, κυλινδρικό δοκίμιο



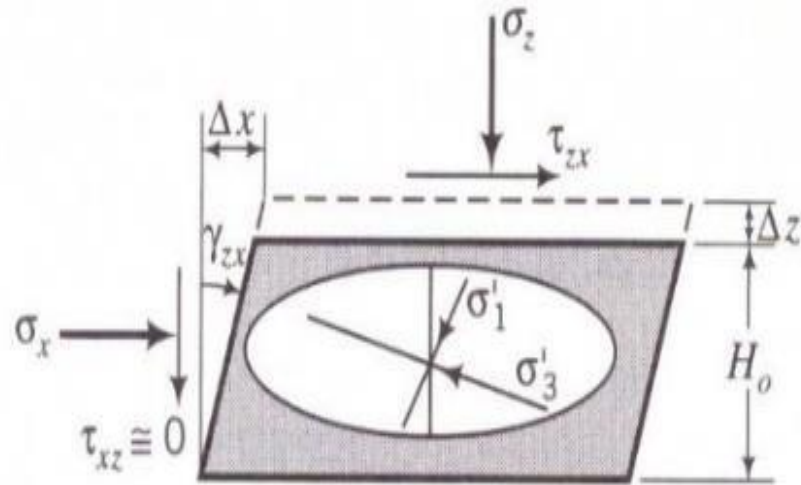
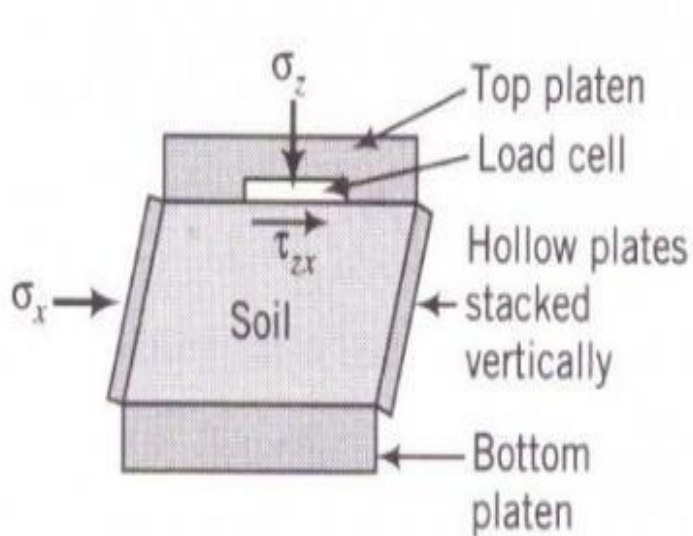
Πλευρική υποστήριξη ( $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$ ):  
μεμβράνη από καουτσούκ  
ενισχυμένο με σύρμα



Πλευρική υποστήριξη ( $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$ ): λεπτοί δακτύλιοι από  
ορείχαλκο

Σχόλιο: ομοιογενής κατανομή των τάσεων στην  
κεντρική περιοχή του δοκιμίου (βελτίωση σε σχέση  
με τη δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης)

# Δοκιμή απλής διάτμησης, κυβικό δοκίμιο: το ΠΙΟ ΕΠΟΠΤΙΚΟ

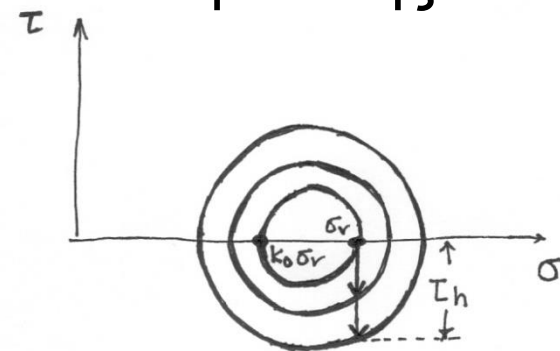


Σχέσεις από ελαστικότητα:

$$\epsilon_x = \epsilon_y = 0 \quad \epsilon_z = \Delta_z / H_0 \quad \epsilon_{vol} = \epsilon_z$$

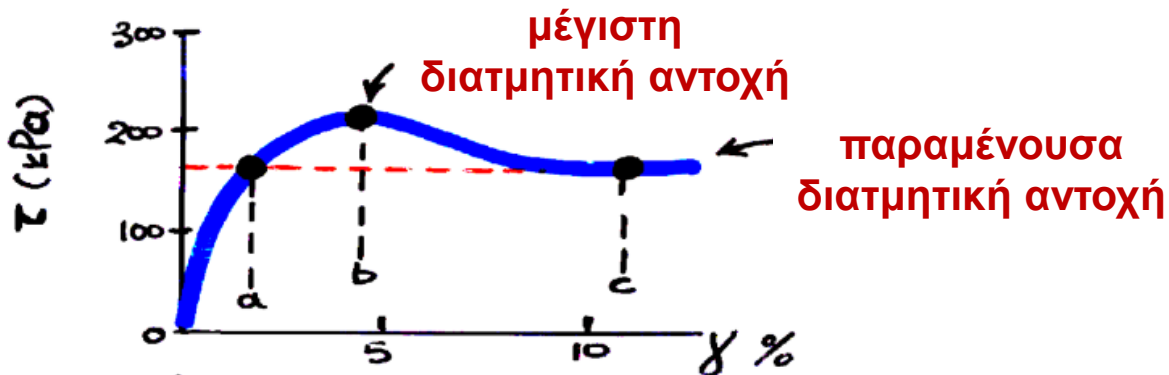
$$\gamma_{zx} = \Delta_x / H_0 \quad \Delta \gamma_{zx} = \Delta \tau_{zx} / G$$

Κύκλοι Mohr στην πορεία της δοκιμής

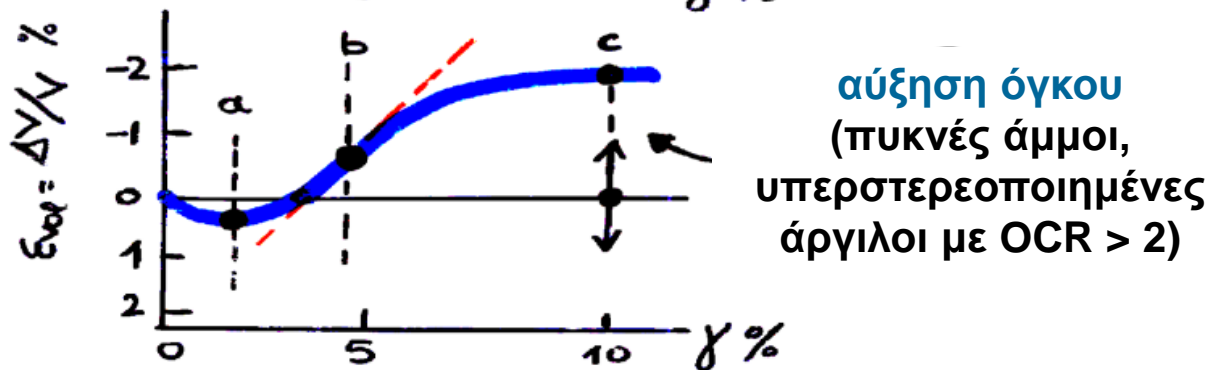


# Τι καταγράφουμε σε ένα πείραμα απλής διάτμησης

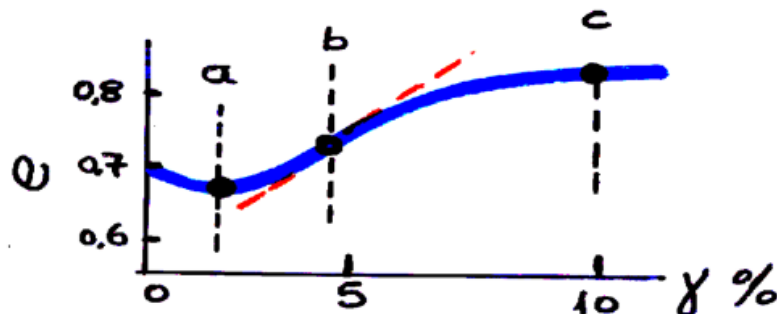
διατμητική τάση  $\tau$   
– διατμητική  
παραμόρφωση  $\gamma$



ογκομετρική  
παραμόρφωση  $\epsilon_{vol}$   
– διατμητική  
παραμόρφωση  $\gamma$



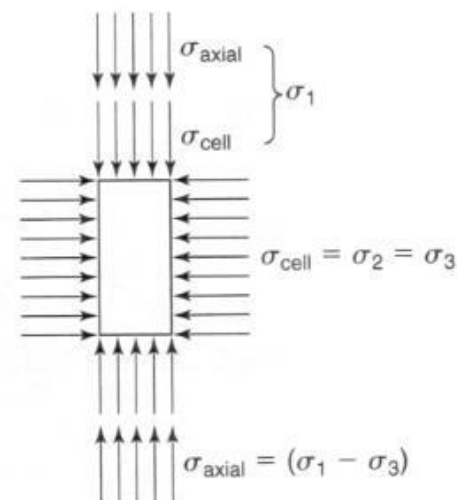
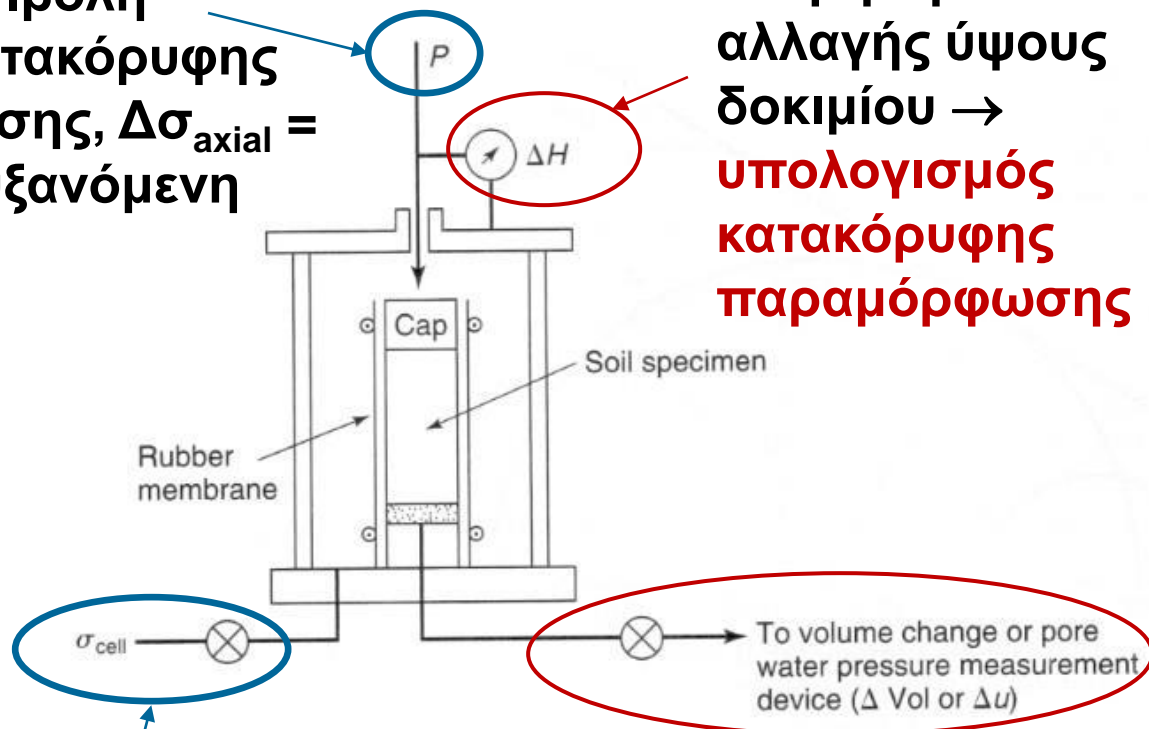
δείκτης πόρων  $e$  –  
διατμητική  
παραμόρφωση  $\gamma$



# Τριαξονική δοκιμή: τι επιβάλλουμε, τι μετράμε

Βήμα II:  
επιβολή  
κατακόρυφης  
τάσης,  $\Delta\sigma_{axial} =$   
αυξανόμενη

Μέτρηση  
αλλαγής ύψους  
δοκιμίου  $\rightarrow$   
υπολογισμός  
κατακόρυφης  
παραμόρφωσης

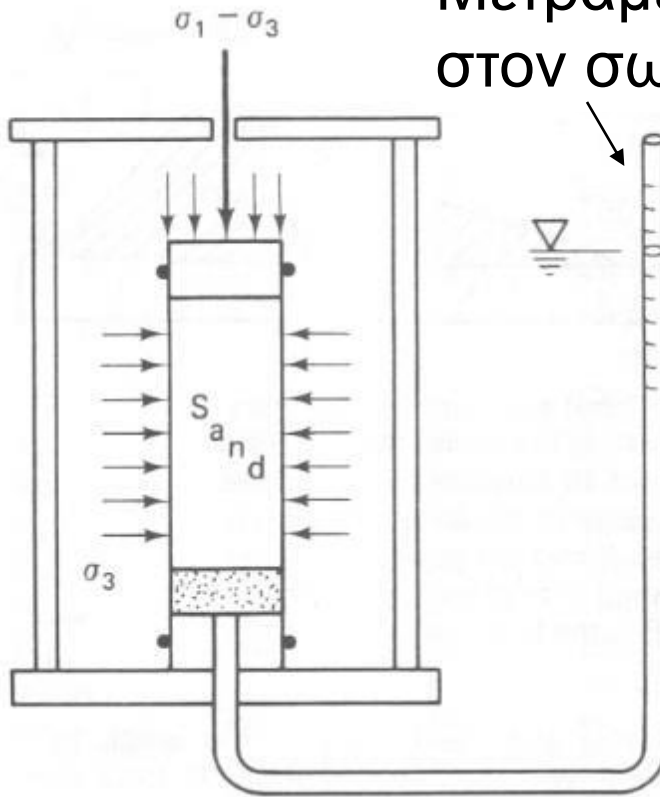


Βήμα I:  
επιβολή  
ολόπλευρης τάσης,  
 $\sigma_{cell} =$  σταθερή

Μέτρηση αλλαγής  
όγκου δοκιμίου  $\rightarrow$   
υπολογισμός  
ογκομετρικής  
παραμόρφωσης

# Πώς μετράμε αλλαγή όγκου;

Μετράμε αλλαγή στάθμης νερού στον σωλήνα



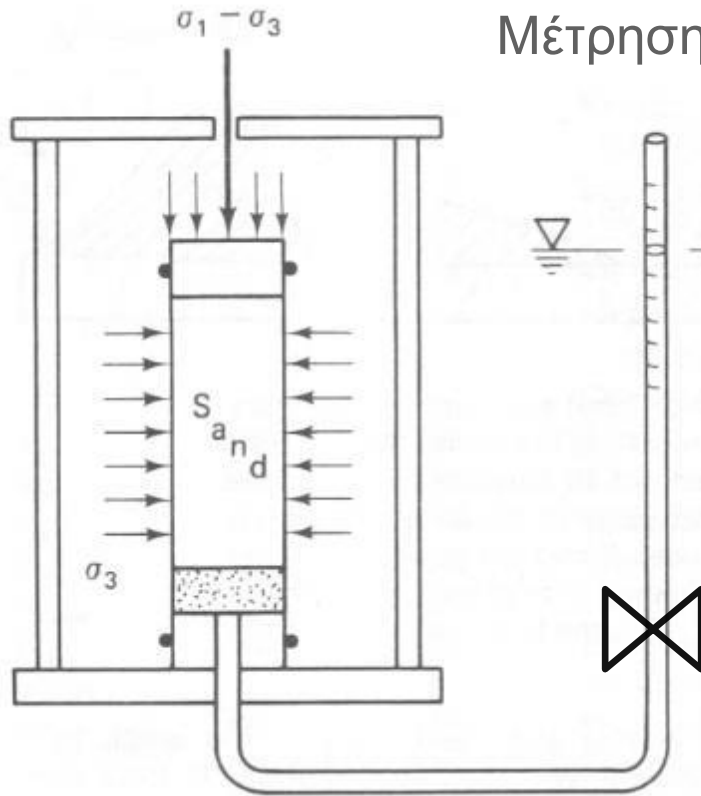
**Δοκίμιο διώχνει νερό  
⇒ μείωση όγκου**

**Δοκίμιο τραβάει νερό  
⇒ αύξηση όγκου**

Θυμόμαστε ότι για να αλλάξει ο όγκος κορεσμένου εδάφους πρέπει να αλλάξει ο όγκος του νερού.



# Τι άλλο μπορούμε να μετρήσουμε;



Μέτρηση αλλαγής στάθμης νερού

Δοκίμιο διώχνει νερό  $\Rightarrow$   
μείωση όγκου

Δοκίμιο τραβάει νερό  $\Rightarrow$   
αύξηση όγκου

ή

**Αν κλείσω τη βάνα και  
χρησιμοποιήσω κατάλληλο  
μορφοτροπέα πίεσης  $\Rightarrow$   
μετρώ αλλαγή πίεσης του  
νερού των πόρων.**

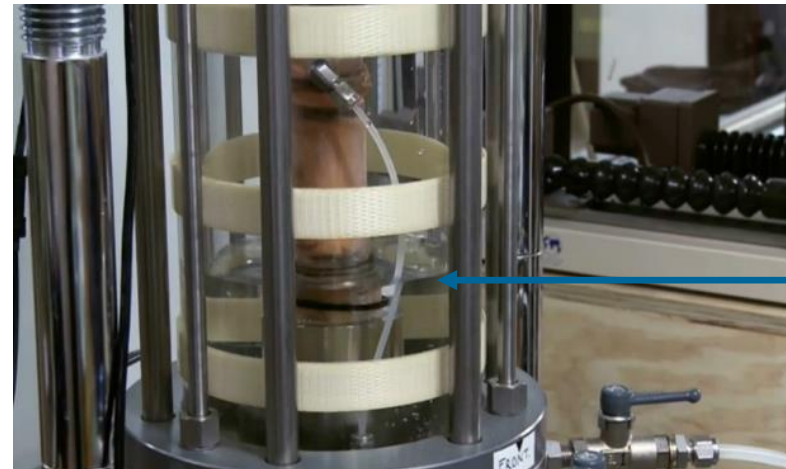
Πού έχουμε ξαναδεί ότι όταν δεν μπορεί να φύγει το νερό από κορεσμένο έδαφος αλλάζει η πίεση του νερού των πόρων;

# Συσκευή τριαξονικής δοκιμής: πάλι στο εργαστήριο του καθηγητή Jaksa



δοκίμιο καολινίτη πριν το πείραμα

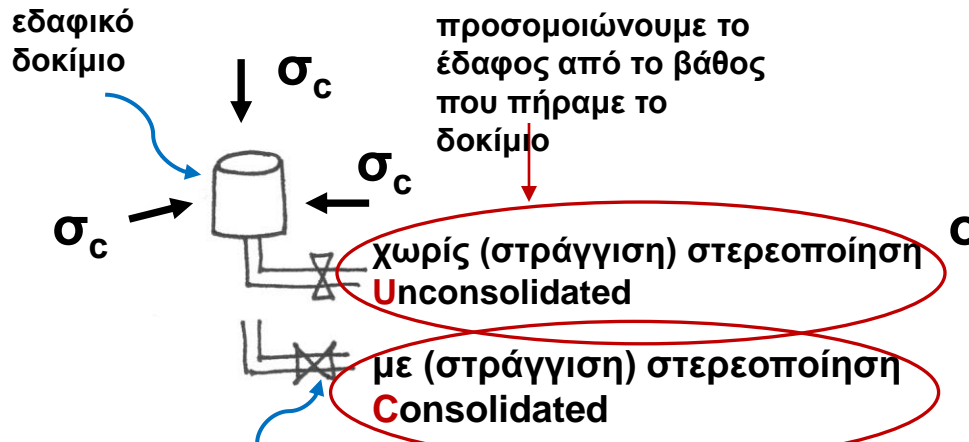
Η κυψέλη (cell) ενώ γεμίζει με νερό για να επιβληθεί η ολόπλευρη τάση  $\sigma_c = \sigma_3$



# Τριαξονική δοκιμή: περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας στις πειραματικές συνθήκες & επιπλέον: γνωστές $\sigma_1, \sigma_3 \rightarrow$ γνωστός κύκλος Mohr

## Βήμα I

προσομοιώνουμε αρχική  
εντατική κατάσταση στο  
πεδίο:  $\sigma_{\text{cell}} = \sigma_c = \sigma_3$

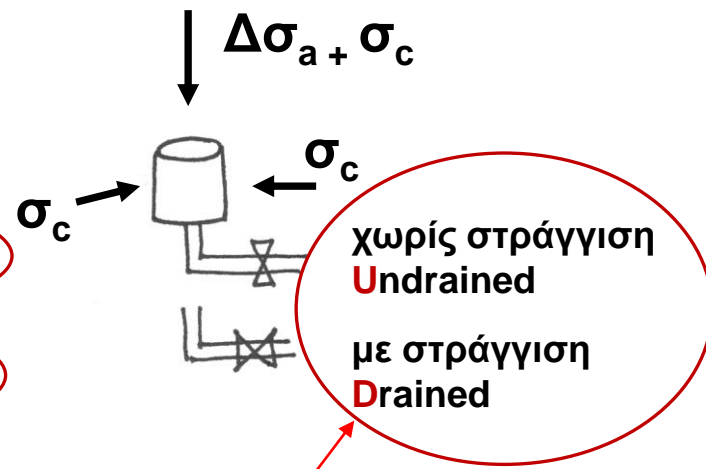


βάνα που ρυθμίζει στράγγιση (εδώ ανοικτή)

με δοκίμια από την ίδια δειγματοληψία μπορούμε να προσομοιώσουμε έδαφος σε μεγαλύτερο βάθος

## Βήμα II

προσομοιώνουμε την  
αλλαγή φόρτισης:  $\Delta\sigma_{\text{axial}} =$   
 $\Delta\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3$



Επιλέγουμε ανάλογα με τον ρυθμό επιβολής φορτίου σε σχέση με διαπερατότητα εδάφους

# Τα τρία είδη δοκιμών τριαξονικής συμπίεσης

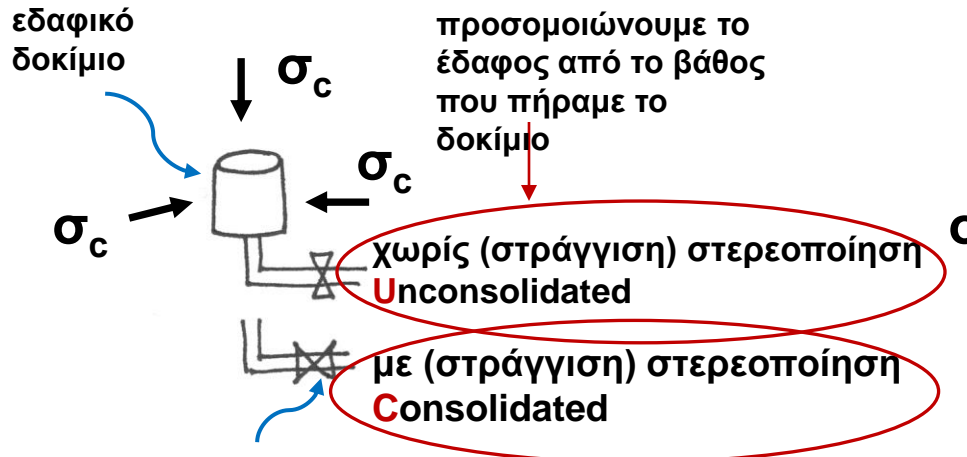
**UU:** γρήγορη δοκιμή περιορισμένης χρησιμότητας που δίνει αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες (αμέσως μετά την επιβολή φορτίου) στο βάθος που πήραμε το δοκίμιο

**CU:** δοκιμή που δίνει αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες (αμέσως μετά την επιβολή φορτίου) στο βάθος που αντιστοιχεί στη  $\sigma_c$  στερεοποίησης

**CD:** αργή δοκιμή που δίνει αντοχή υπό στραγγισμένες συνθήκες (αφού ξαναγουρίσει η πίεση πόρων στην αρχική τιμή της) στο βάθος που αντιστοιχεί στη  $\sigma_c$  στερεοποίησης

## Βήμα I

προσομοιώνουμε αρχική εντατική κατάσταση στο πεδίο:  $\sigma_{\text{cell}} = \sigma_c = \sigma_3$

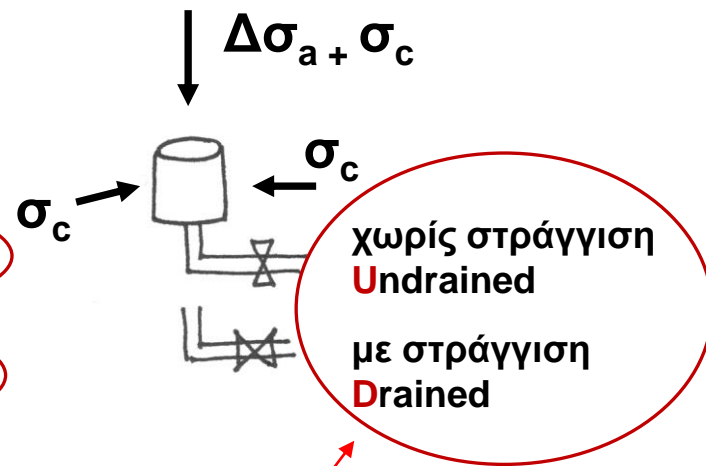


βάνια που ρυθμίζει στράγγιση (εδώ ανοικτή)

με δοκίμια από την ίδια δειγματοληψία μπορούμε να προσομοιώσουμε έδαφος σε μεγαλύτερο βάθος

## Βήμα II

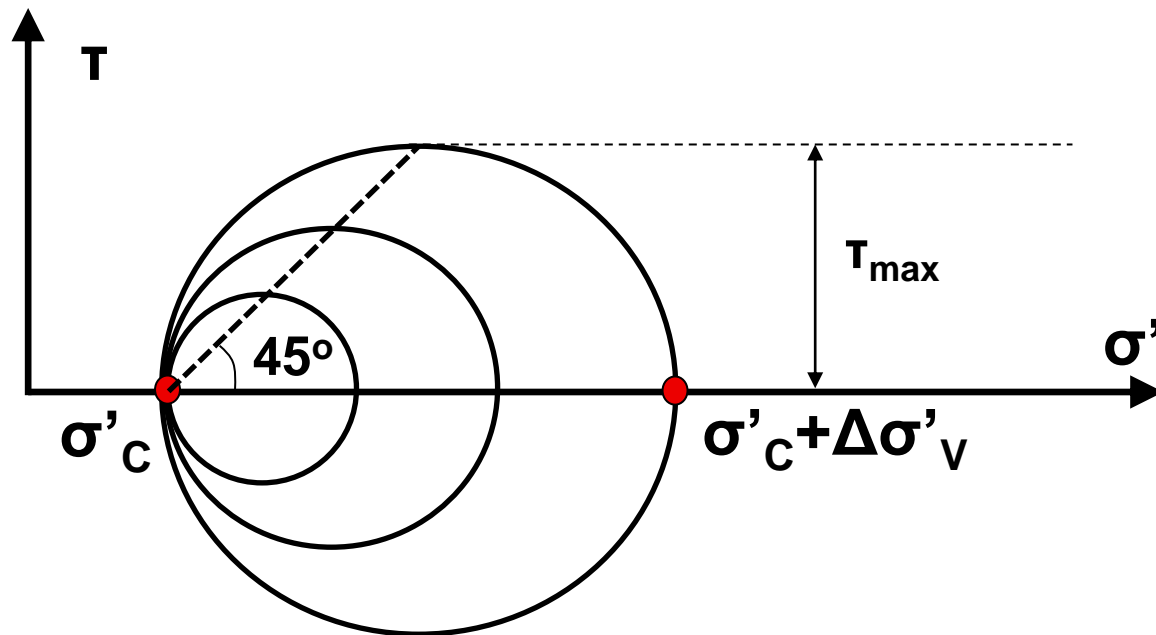
προσομοιώνουμε την αλλαγή φόρτισης:  $\Delta\sigma_{\text{axial}} = \Delta\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3$



Επιλέγουμε ανάλογα με τον ρυθμό επιβολής φορτίου σε σχέση με διαπερατότητα εδάφους

# Κύκλοι Mohr από τριαξονική δοκιμή CD

- Για σταθερή ολόπλευρη τάση  $\sigma'_c = \sigma'_3$ , αυξανόμενη  $\Delta\sigma'_a = \sigma'_1 - \sigma'_3$



## Τι να μας μείνει από το Μέρος Α, δηλ. τη σύγκριση των τριών δοκιμών και τα αποτελέσματα που είδαμε έως τώρα

- Οι μορφές των διαγραμμάτων διατμητικής καταπόνησης στις τρεις δοκιμές είναι συγκρίσιμες (παρόλο που μετρούν διαφορετικά μεγέθη, άρα καλώς είναι επιλεγμένες)
- Οι πυκνές άμμοι (γενικότερα τα πυκνά εδάφη)
  - παρουσιάζουν σε μικρή παραμόρφωση μέγιστη διατμητική αντίσταση, η οποία στη συνέχεια μειώνεται έως ότου φτάσει μια σταθερή τιμή
  - κατά τη διατμητική καταπόνηση διογκώνονται

# Ας ξαναγυρίσουμε στα αποτελέσματα των δοκιμών\*

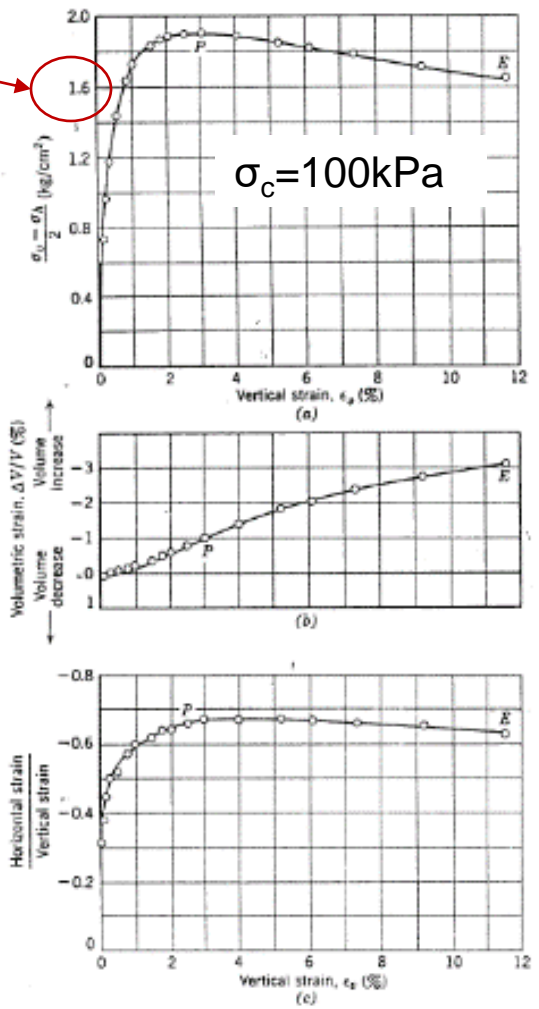
ακτίνα κύκλου Mohr  
 $\Delta\sigma_a = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$  –  
κατακόρυφη παραμόρφωση

$(\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 160\text{kPa}$

ογκομετρική παραμόρφωση –  
κατακόρυφη παραμόρφωση

↑ αύξηση όγκου

λόγος οριζόντιας προς κατακόρυφη παραμόρφωση –  
κατακόρυφη παραμόρφωση



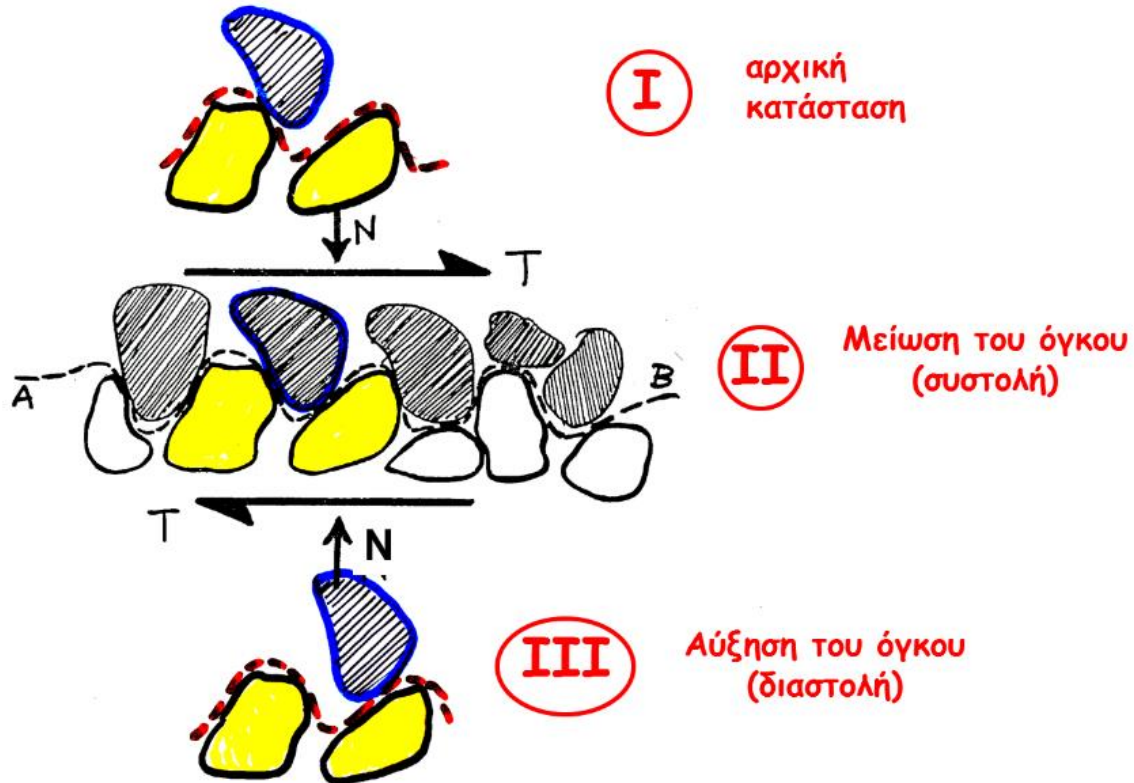
\* τριαξονική δοκιμή στην ίδια άμμο που είδαμε τη συμπεριφορά της σε 1D συμπίεση στην αντίστοιχη παρουσίαση (διαφ. 15)



# Γιατί διογκώνονται τα πυκνά εδάφη κατά τη διάτμηση;

- Έχουμε πει ότι η μετακίνηση των κόκκων είναι σημαντικός παράγοντας για τη στιβαρότητα και την αντοχή του εδάφους
  - στα πυκνά εδάφη, η αλληλεμπλοκή των κόκκων είναι σημαντική και η σχετική μετακίνησή τους είναι (πιο) δύσκολη
- Κατά τη διατμητική καταπόνηση, η σχετική μετακίνηση απαιτεί και επιφέρει χαλάρωμα της πυκνής διάταξης και αύξηση του όγκου
- Ονομάζουμε **διαστολικότητα** (ή διασταλτικότητα) την τάση των πυκνών εδαφών να διογκώνονται κατά τη διάτμηση. Η διαστολικότητα συνοδεύεται από διαφορά μέγιστης αντοχής – παραμένουσας αντοχής.
  - στην διαστολικότητα θα επανέλθουμε για να την εκφράσουμε ποσοτικά

# Διαστολικότητα στη μικροκλίμακα



# Η διαστολικότητα σε παραλία κοντά στη Βραυρώνα



πολλοί  
μικροί  
κρατήρες



κρατήρας με νερό  
στο βάθος



πιέζω με το πόδι, η άμμος διαστέλλεται, το νερό «χάνεται» στον μεγαλύτερο όγκο πόρων (όπως στον σωλήνα στη διαφ. 15)

# Πυκνή - χαλαρή άμμος: αποτελέσματα τριαξονικής δοκιμής

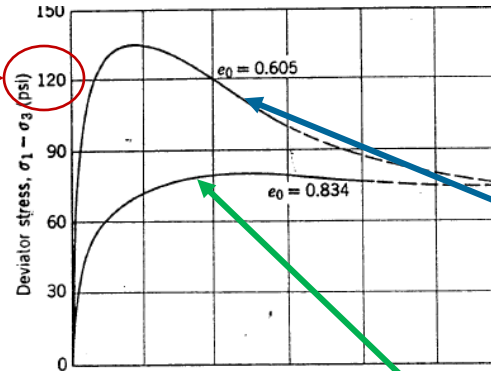
πρόσθετη  
κατακόρυφη τάση  
 $\Delta\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3$  –  
κατακόρυφη  
παραμόρφωση  $\epsilon_v$

$\sigma_1 - \sigma_3 = 800 \text{ kPa}$

$\sigma_3 = 207 \text{ kPa}$

ογκομετρική  
παραμόρφωση  $\epsilon_{vol}$   
– κατακόρυφη  
παραμόρφωση  $\epsilon_v$

δείκτης πόρων  $e$  –  
κατακόρυφη  
παραμόρφωση  $\epsilon_v$

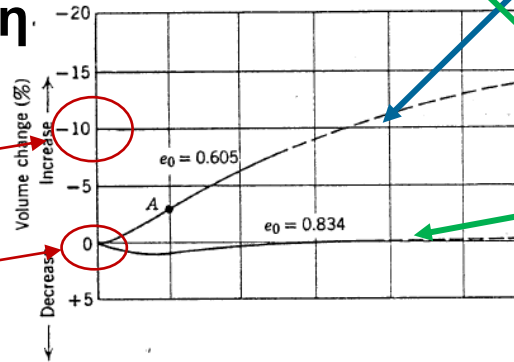


**πυκνή  
άμμος  
 $e_0 = 0.605$**

↑ αύξηση  
όγκου

10%

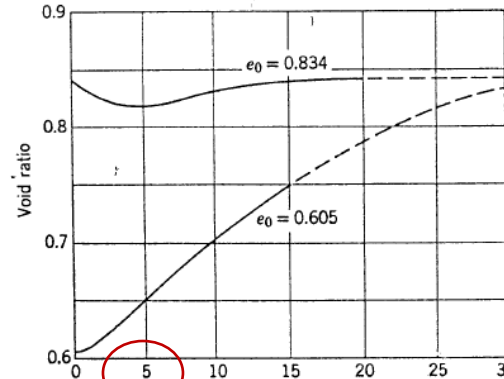
0%



**χαλαρή  
άμμος  
 $e_0 = 0.834$**

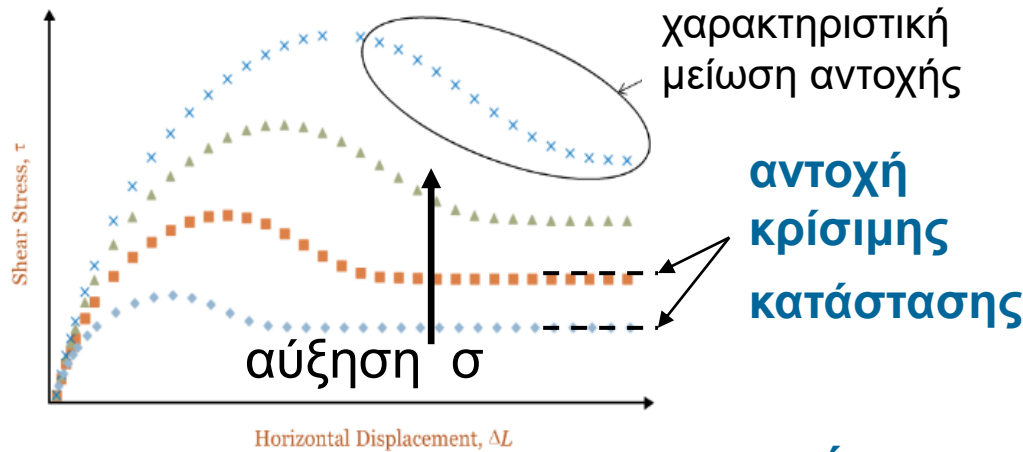
$\Delta e = 0.2$

5%

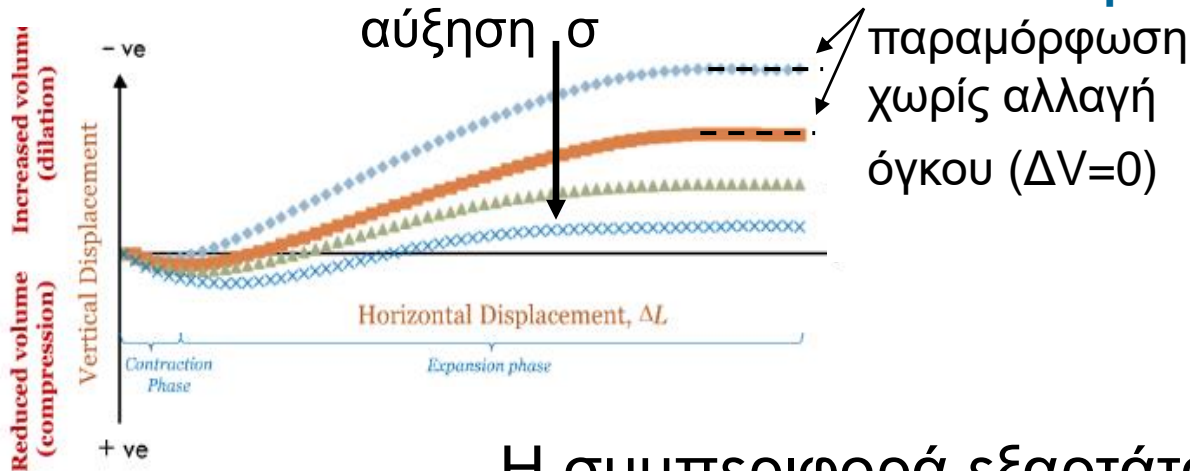




# Πυκνή άμμος: Δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης



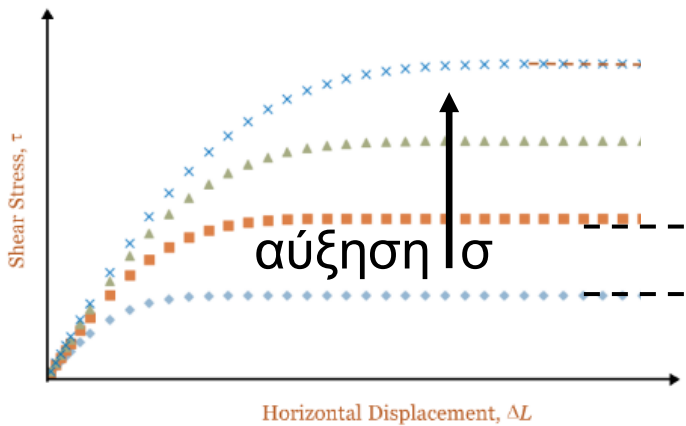
διατμητική τάση  
– διατμητική μετατόπιση



κατακόρυφη μετατόπιση – διατμητική μετατόπιση

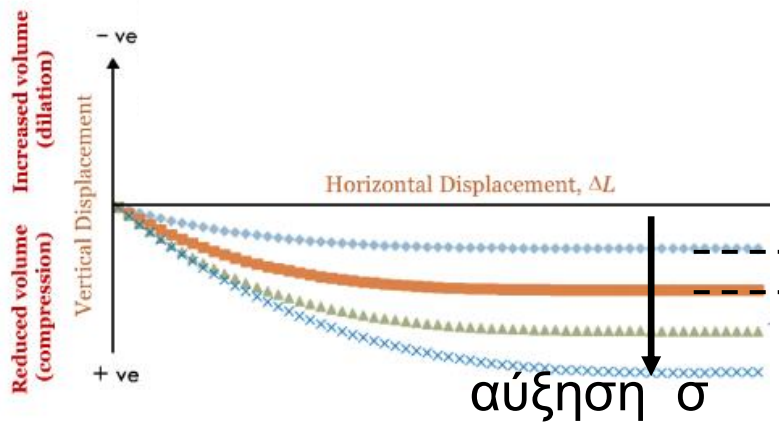
Η συμπεριφορά εξαρτάται από την πυκνότητα και την ορθή ενεργό τάση

# Χαλαρή άμμος: Δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης



αντοχή  
κρίσιμης  
κατάστασης

διατμητική τάση  
– διατμητική  
μετατόπιση

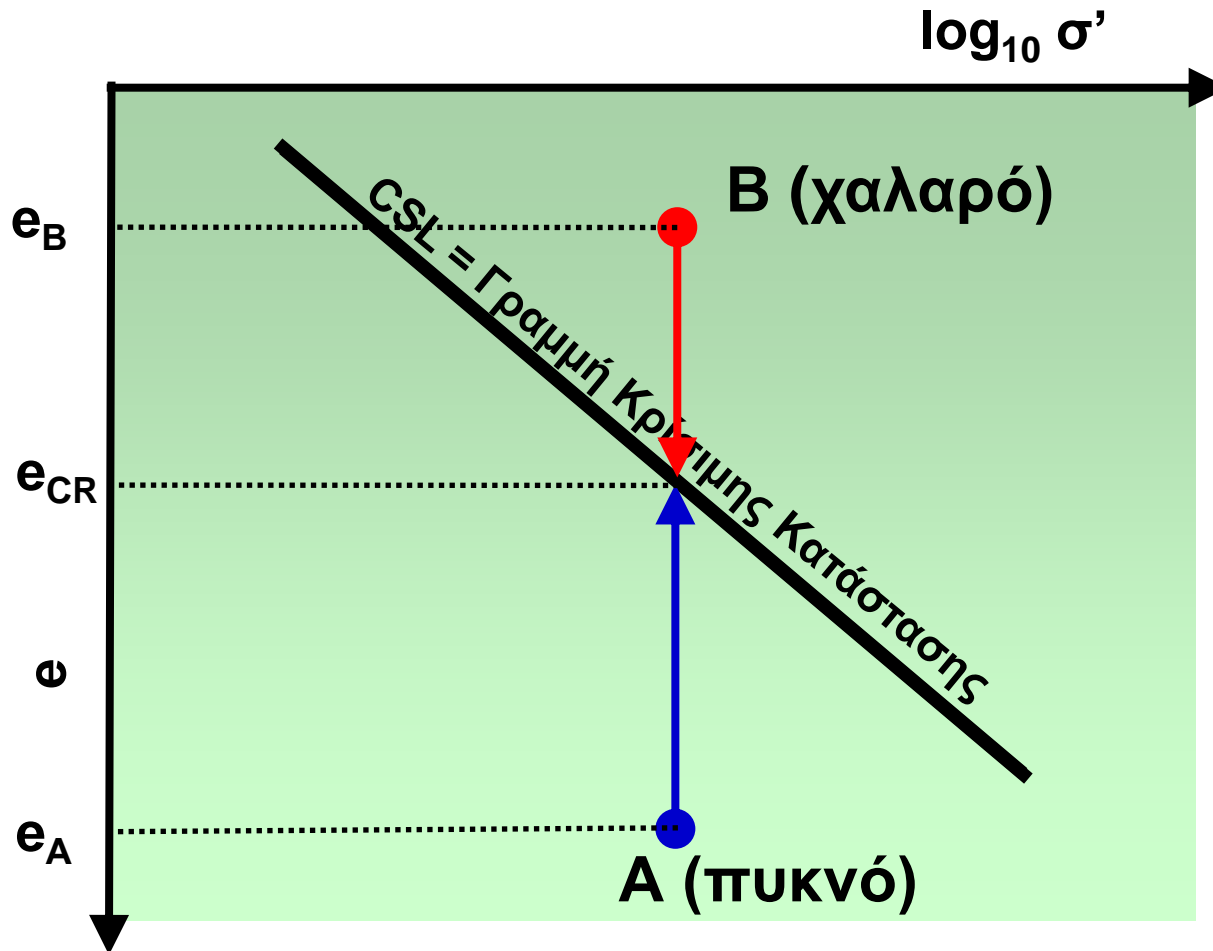


κρίσιμη  
κατάσταση =  
παραμόρφωση  
με  $\Delta V=0$

κατακόρυφη  
μετατόπιση –  
διατμητική  
μετατόπιση

Η συμπεριφορά εξαρτάται από την  
πυκνότητα και την ορθή ενεργό τάση

# Γραμμή κρίσιμης κατάστασης: χαρακτηριστικό του εδάφους





# Πυκνή - χαλαρή άμμος & τριαξονική δοκιμή (ξανά)

πρόσθετη  
κατακόρυφη τάση  
 $\Delta\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3$  –  
κατακόρυφη  
παραμόρφωση  $\epsilon_v$

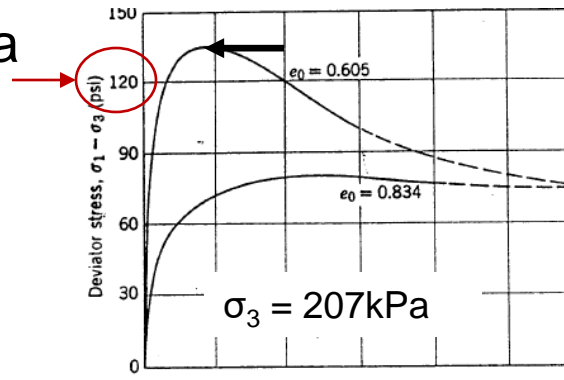
$$\sigma_1 - \sigma_3 = 800 \text{ kPa}$$

ογκομετρική  
παραμόρφωση  $\epsilon_{vol}$   
– κατακόρυφη  
παραμόρφωση  $\epsilon_v$

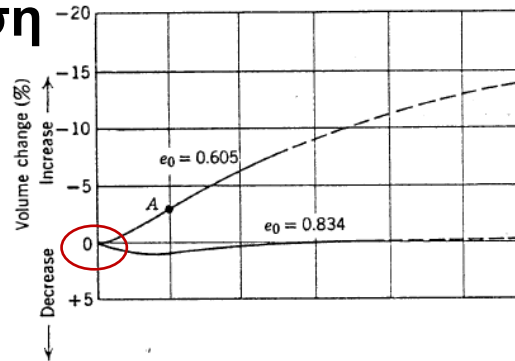
δείκτης πόρων  $e$  –  
κατακόρυφη  
παραμόρφωση  $\epsilon_v$

↑ αύξηση  
όγκου

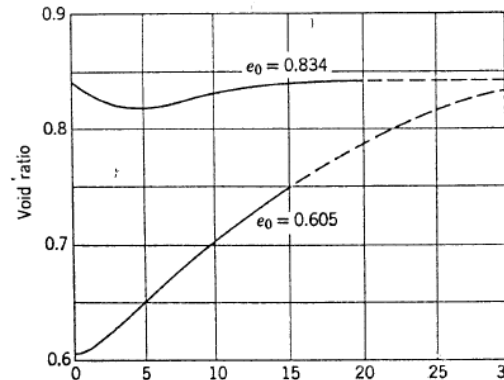
$$\Delta e = 0.2$$



τα δύο δοκίμια  
τείνουν στην  
ίδια αντοχή  
κρίσιμης  
κατάστασης

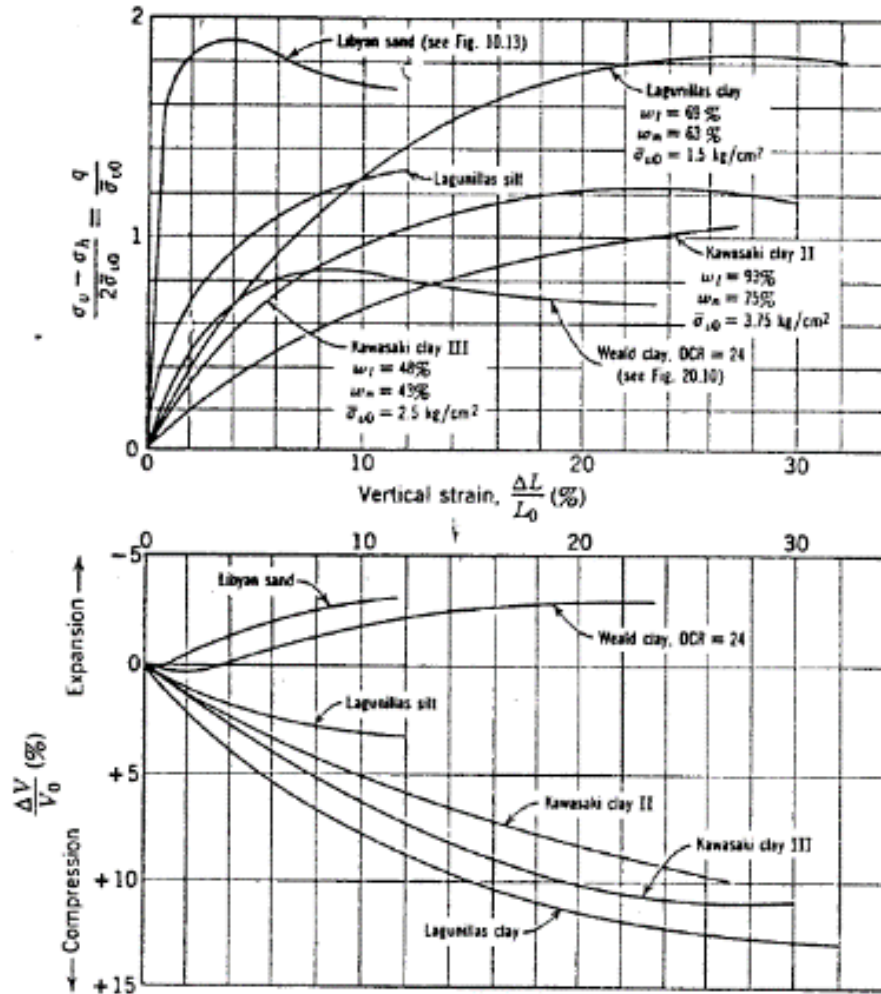


τα δύο δοκίμια  
τείνουν σε μια  
κατάσταση  
σταθερού όγκου  
= κρίσιμη  
κατάσταση



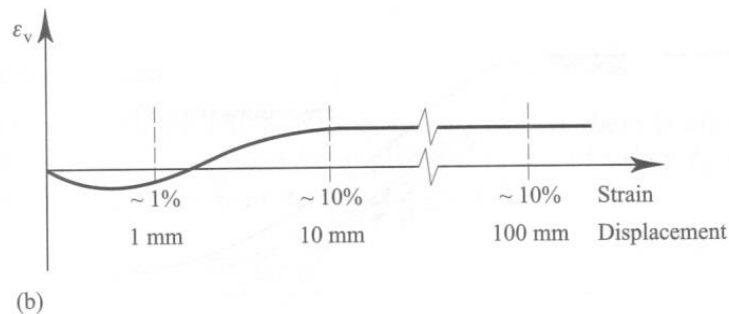
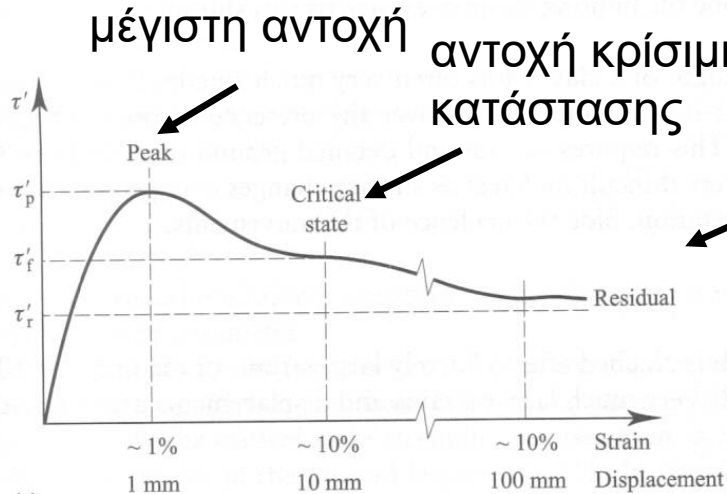
τα δύο δοκίμια  
τείνουν στον  
ίδιο δείκτη  
πόρων

# Τριαξονική συμπίεση (στραγγισμένες συνθήκες): Ομοιότητες άμμων - αργίλων



- Τυχόν διαφορές είναι ποσοτικές, όχι ποιοτικές
- Χαλαρές άμμοι και NC άργιλοι συμπιέζονται (οι άργιλοι περισσότερο) και δεν εμφανίζουν μέγιστη αντοχή
- Πυκνές άμμοι και OC άργιλοι ( $OCR > 2$ ) διογκώνονται (οι άμμοι περισσότερο) και εμφανίζουν μέγιστη αντοχή που στη συνέχεια μειώνεται

# Διατμητική καταπόνηση: Μια διαφορά άμμων – αργίλων σε μεγάλες παραμορφώσεις



- **Άργιλοι (σχήμα διαφάνειας):** 3 οριακές αντοχές: σε πολύ μεγάλες παραμορφώσεις, η αντοχή των αργίλων μειώνεται ακόμα περισσότερο (χαρακτηριστικό της σχετικής κίνησης των αργιλικών πλακιδίων) → αντοχή κρίσιμης κατάστασης > παραμένουσα αντοχή
- **Άμμοι:** αντοχή κρίσιμης κατάστασης = παραμένουσα αντοχή

## Τι να κρατήσουμε

- Οι μορφές των διαγραμμάτων διατμητικής καταπόνησης στις τρεις δοκιμές είναι συγκρίσιμες
- Οι συμπεριφορά άμμων-αργίλων στη διατμητική καταπόνηση μοιάζει στα βασικά χαρακτηριστικά (ποσοτικά διαφέρει)
  - Τα **πυκνά εδάφη** αρχικά συμπιέζονται ενώ στη συνέχεια διογκώνονται μέχρι να φτάσουν στην κρίσιμη κατάσταση ( $\Delta V=0$ ). Παρουσιάζουν σε μικρή παραμόρφωση μέγιστη διατμητική αντίσταση, η οποία στη συνέχεια μειώνεται έως ότου φτάσει στην αντοχή κρίσιμης κατάστασης.
  - Τα **χαλαρά εδάφη** συμπιέζονται και φτάνουν σταδιακά στην κρίσιμη κατάσταση ( $\Delta V=0$ ) και στην αντοχή κρίσιμης κατάστασης.

# Πηγές υλικού διαφανειών

- Παρουσιάσεις Μ. Καββαδά, Γ. Μπουκοβάλα
- Σχήματα στις διαφάνειες 3, 22, 26, 30,31: Lambe T.W. and R.V. Whitman, 1969, Soil Mechanics, Wiley.
- Σχήμα στη διαφάνεια 7: Duncan, J.M. and Wright, S.G., 2005, Soil Strength and Soil Stability, Wiley.
- Σχήματα στις διαφάνειες 9, 14: Holtz, R.D., W.D. Kovacs and T.C. Sheahan, 2011, An Introduction to Geotechnical Engineering, 2<sup>nd</sup> Ed. (1<sup>st</sup> Ed. 1981), Pearson.
- Φωτογραφία στη διαφάνεια 11: <http://www.controls-group.com>
- Σχήματα στις διαφάνειες 11,12: Budhu, M., 2011, Soil Mechanics and Foundations, 3<sup>rd</sup> Ed. (1<sup>st</sup> Ed. 2000), Wiley.
- Σχήμα στη διαφάνεια 15, 16: Holtz, R.D. and W.D. Kovacs, 1981, An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall.
- Σχήματα στις διαφάνειες 27, 28:  
<http://proxy.civeng.adelaide.edu.au/OLT/index.html>
- Σχήμα στη διαφάνεια 32: Atkinson, J., 2007, The mechanics of soils and foundations, 2<sup>nd</sup> Ed. (1<sup>st</sup> Ed. 1993), Taylor and Francis, Oxon, UK.

# Πηγή ορολογίας

- InterActive Terminology for Europe: [iate.Europa.eu](http://iate.Europa.eu)
- pressure transducer = μορφοτροπέας πίεσης

## Το διαδικτυακό εργαστήριο του καθηγητή Mark Jaksa

- <http://proxy.civeng.adelaide.edu.au/OLT/index.html>