

Μηχανική Συμπεριφορά Εδαφών σε (υπο)κατηγορίες φορτίσεων

Συνεχίζουμε με:

Διατμητική καταπόνηση

Εισαγωγή: σύνδεση με προηγούμενα

Μέρος Α: κυρίως πειραματικές διατάξεις

Μέρος Β: συμπεριφορά εδάφους

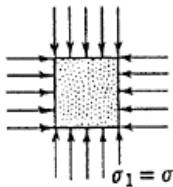
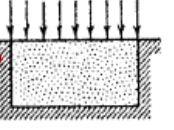
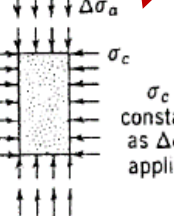
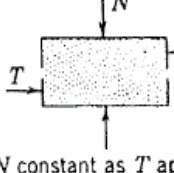
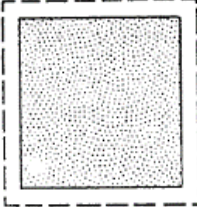
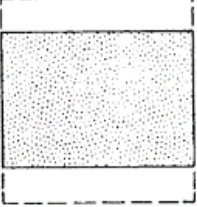
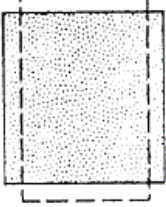

Πώς ξεκινάμε τη μελέτη της Εδαφομηχανικής

(είδαμε στις 28-3-2023)

- 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;

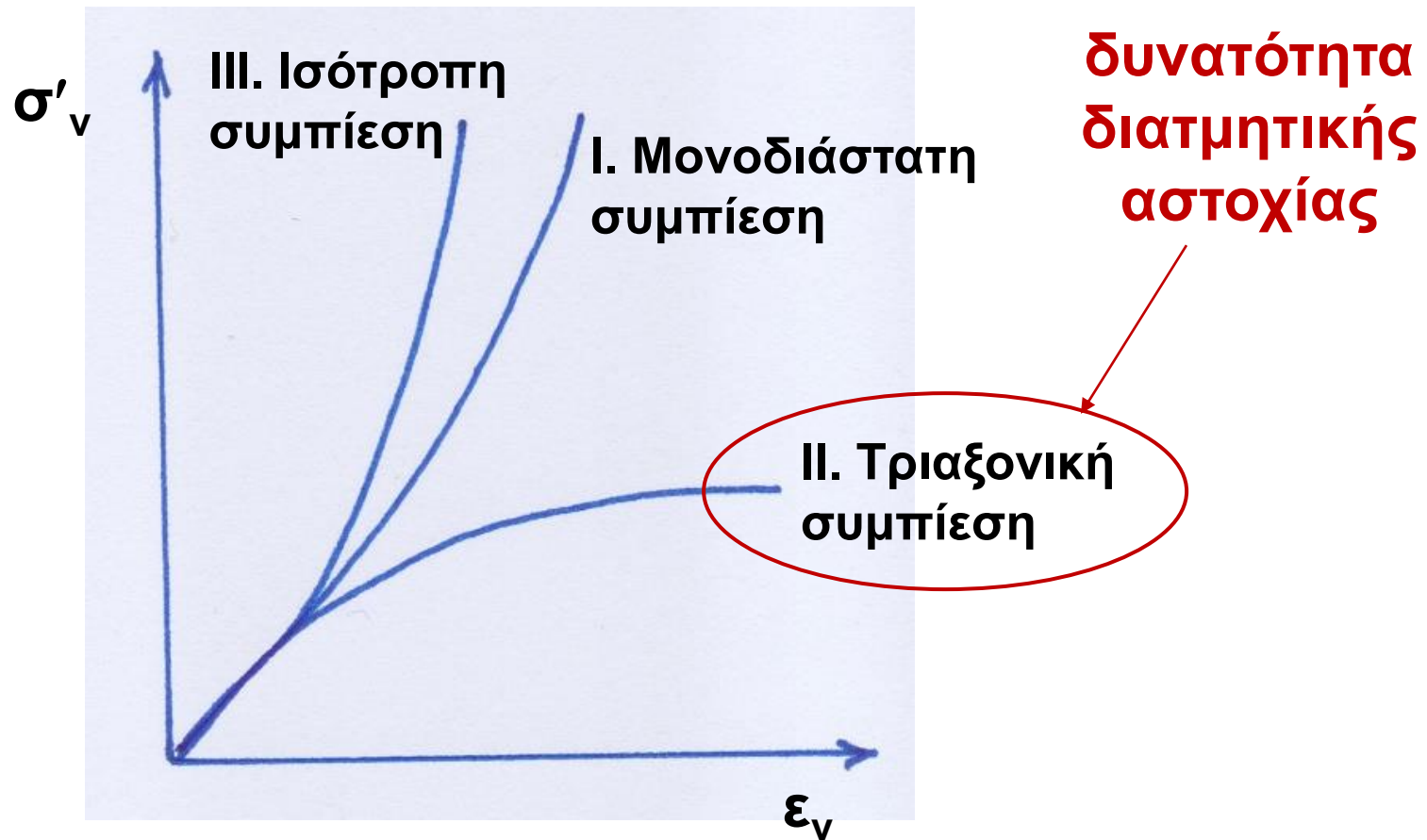
Συνήθεις εργαστηριακές δοκιμές της Γεωτεχνικής Μηχανικής: τάσεις & παραμορφώσεις

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>$\sigma_1 = \sigma_3$</p>	 <p>No horizontal movement</p>	 <p>$\Delta\sigma_a$ σ_c σ_c constant as $\Delta\sigma_a$ applied</p>	 <p>N T N constant as T 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



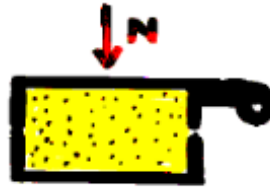
Πλάνο για το υπόλοιπο εξάμηνο

- 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 σ_1 και σ_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)

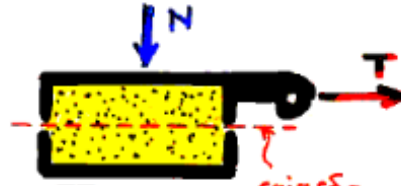
Πειραματικές διατάξεις για τη μελέτη της διατμητικής καταπόνησης – Δύο βήματα φόρτισης: I και II

απ' ευθείας
διάτμηση

απλή η εφαρμογή της,
κάπως παρωχημένη



I

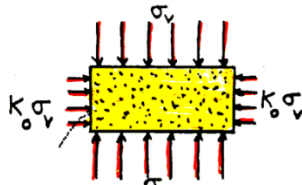


II

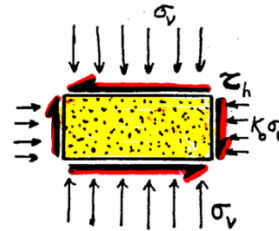
I Επιβολή N
II Επιβολή T με
σταθερή N & αύξηση
T έως την αστοχία

απλή
διάτμηση

όχι τόσο συχνή,
πλέον εποπτική



I



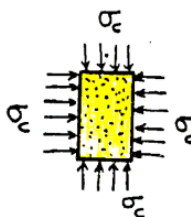
II

επιβολή οριζόντιας
τ_h υπό σταθερή σ_v

I Επιβολή σ_v, σ_h = K₀ σ_v
II Επιβολή τ_h με σταθερές
σ_v, σ_h & αύξηση τ_h έως
την αστοχία

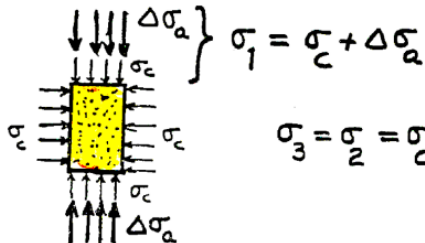
τριαξονική
διάτμηση

η στάνταρντ
δοκιμή της πράξης



I

ισότροπη
(υδροστατική)
συμπίεση



II

επιβολή κατακόρυφης
Δσ_a υπό σταθερή σ_c.

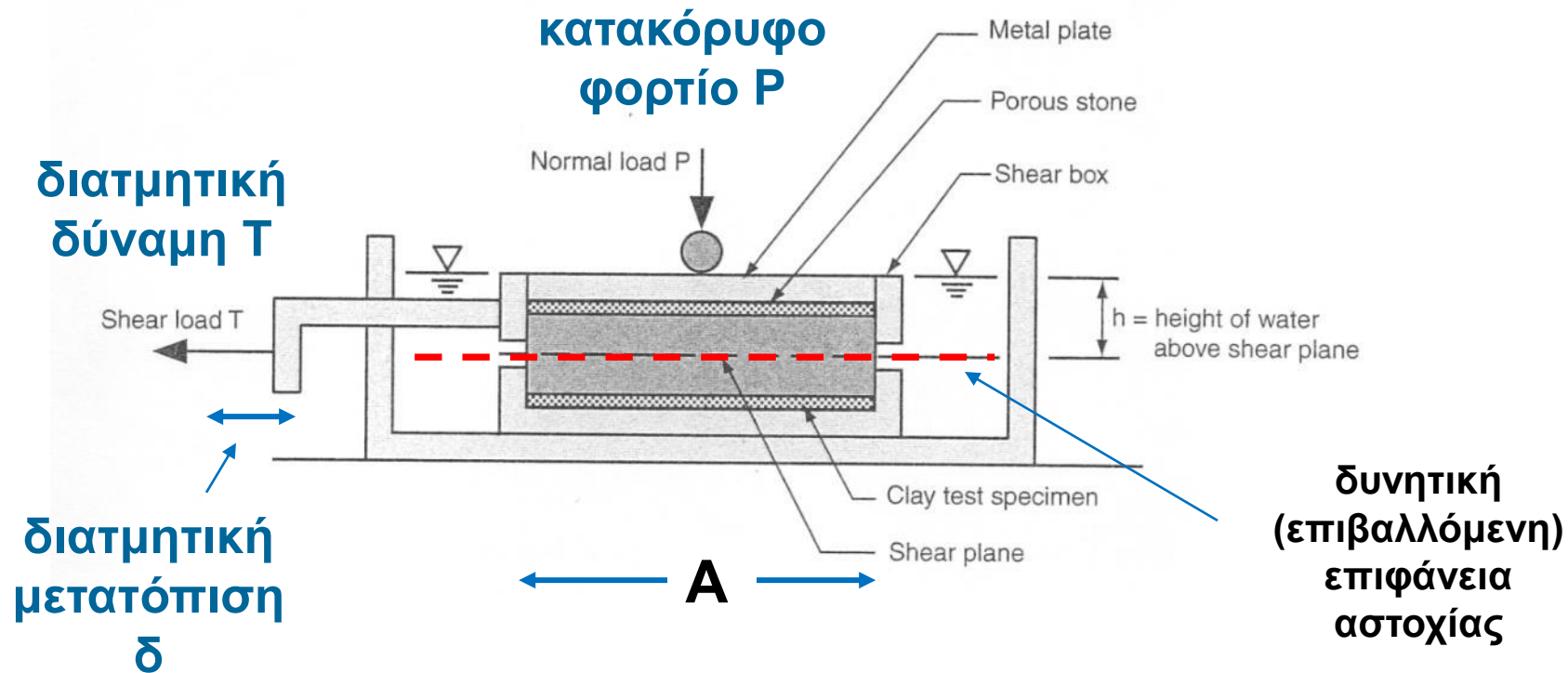
$$\sigma_1 = \sigma_c + \Delta\sigma_a$$

$$\sigma_3 = \sigma_2 = \sigma_c$$

I Επιβολή ολόπλευρης σ_c
II Επιβολή Δσ_a με
σταθερή σ_c & αύξηση Δσ_a
έως την αστοχία

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

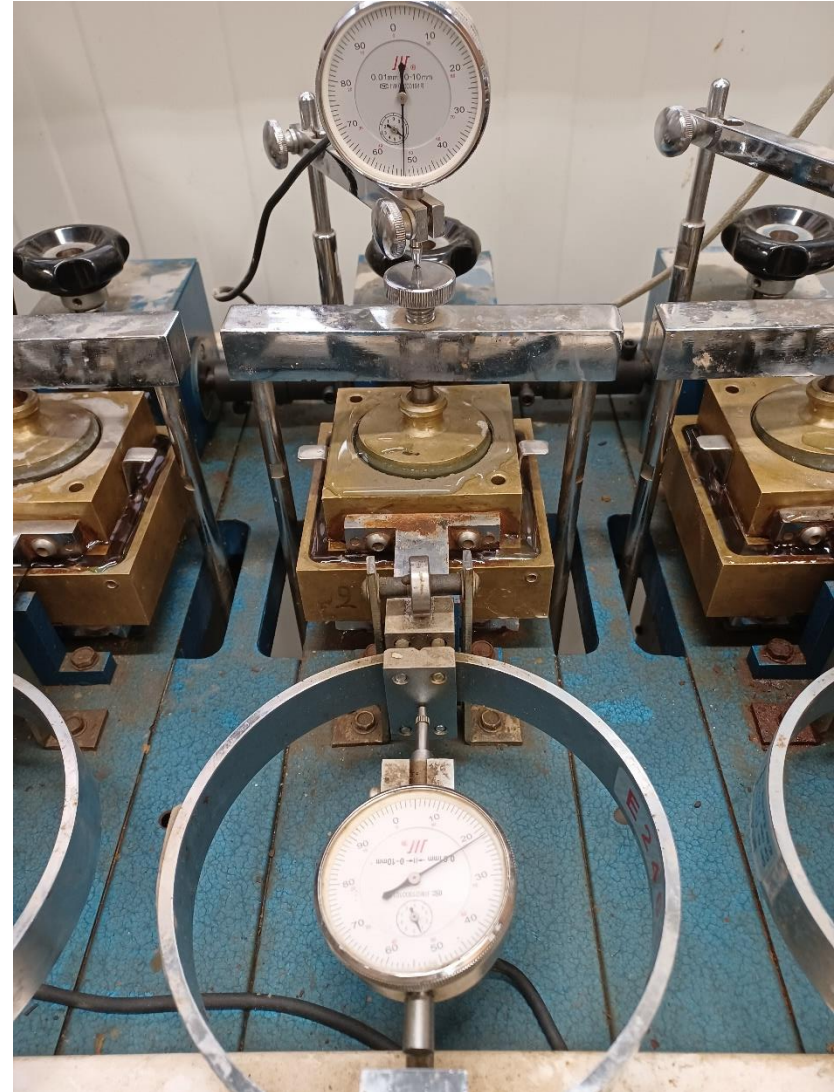
Δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης



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

όπου $W = \text{βάρος άνω τμήματος συσκευής}$

Συσκευές απ' ευθείας διάτμησης σε εργαστήριο γεωτεχνικής εταιρείας στην Αθήνα (σύνδεσμος)



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

▶ 5. Quiz No. 1

▶ 7. Coulomb's Failure Criterion

8. Direct Shear Test

▶ 11. Quiz No. 2

▶ 23. Quiz No. 3

◀ PREV NEXT ▶

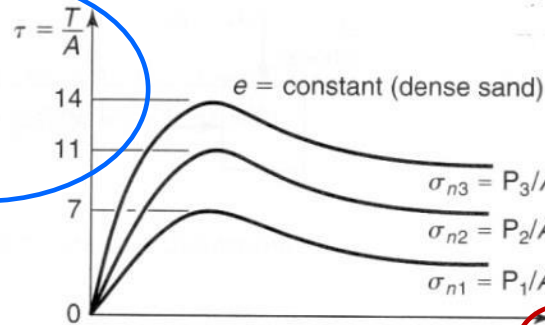
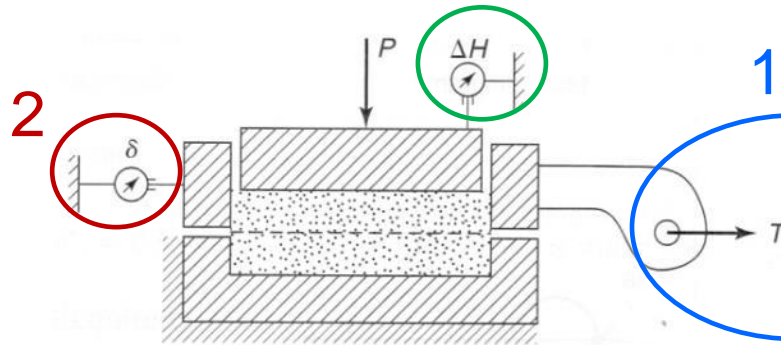
δοκίμιο
άμμου στο
κουτί απ'
ευθείας
διάτμησης,
διαστάσεων:
6x6x2 cm

δοκίμιο
αργίλου
μετά το
τέλος της
δοκιμής απ'
ευθείας
διάτμησης

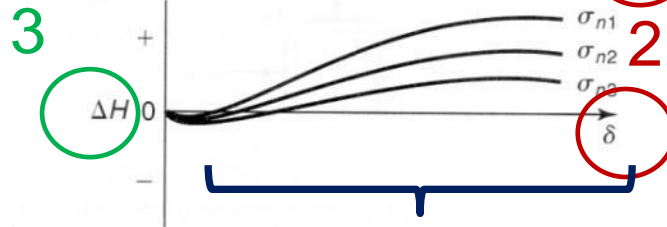
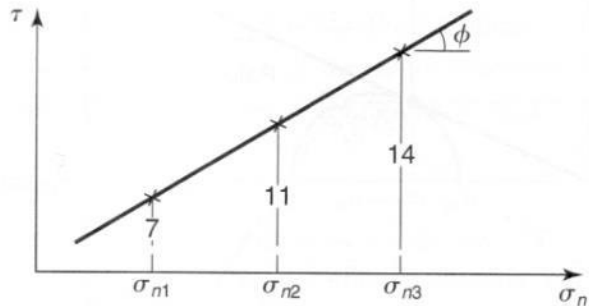
Τι καταγράφουμε σε ένα πείραμα απ' ευθείας διάτμησης

Για σταθερή ορθή τάση σ_n

1. διατμητική τάση, τ
2. διατμητική μετατόπιση, δ
3. αλλαγή ύψους δοκιμίου, ΔH



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

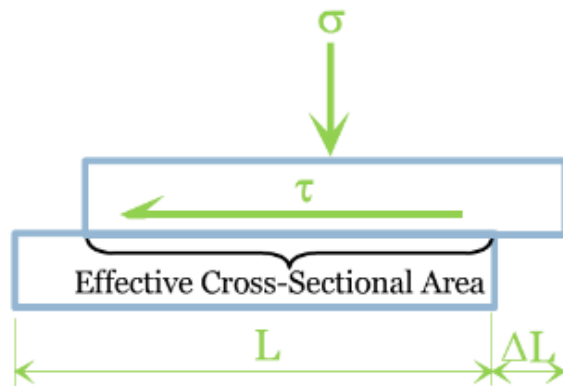


Αύξηση όγκου!

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

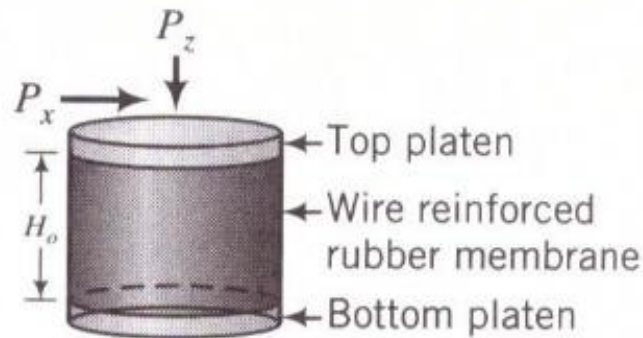
Σχόλια για τη δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης

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

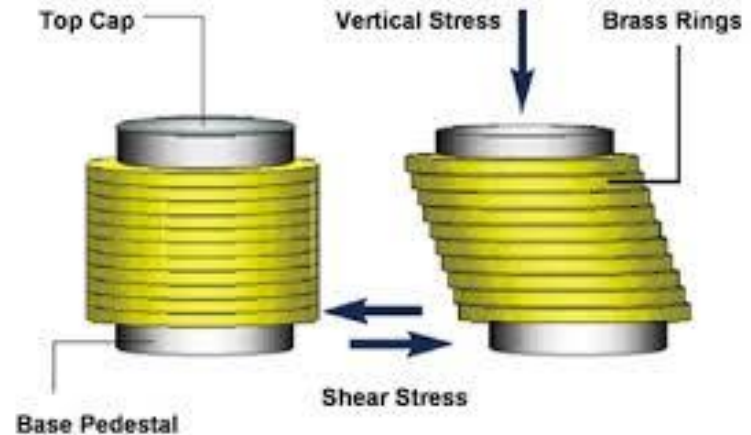


Για αρχική επιφάνεια δοκιμίου $A = L \times L$:
 $A' = L \times (L - \Delta L)$

Δοκιμή απλής διάτμησης, κυλινδρικό δοκίμιο



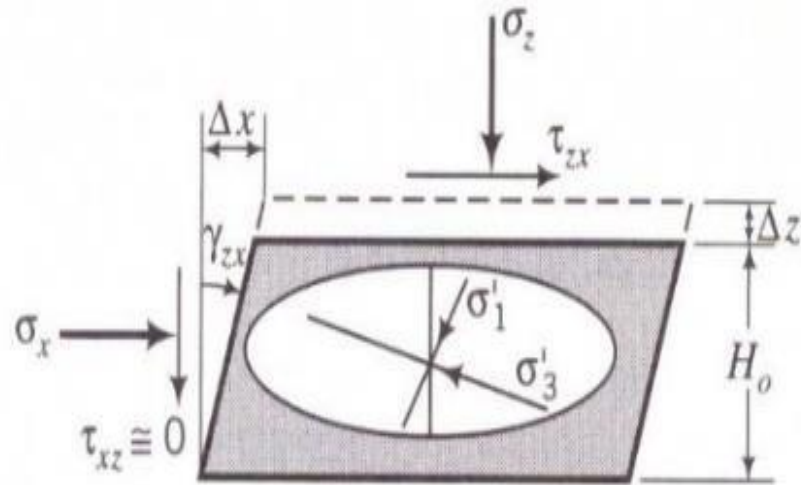
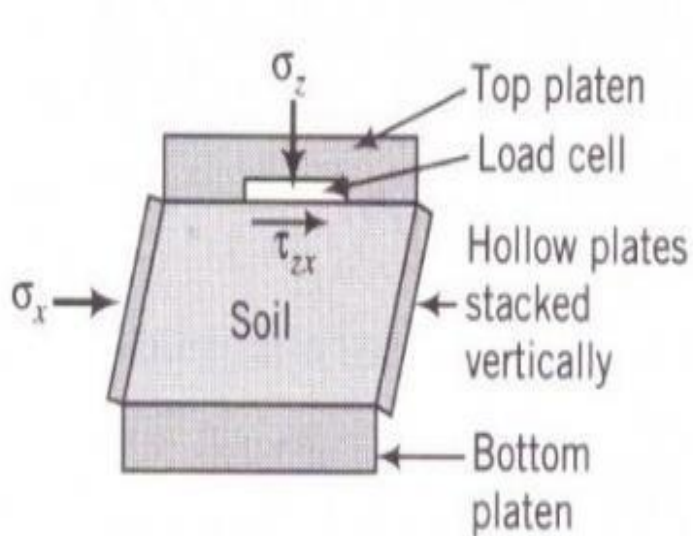
Πλευρική υποστήριξη ($\epsilon_x = \epsilon_y = 0$):
μεμβράνη από καουτσούκ
ενισχυμένο με σύρμα



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

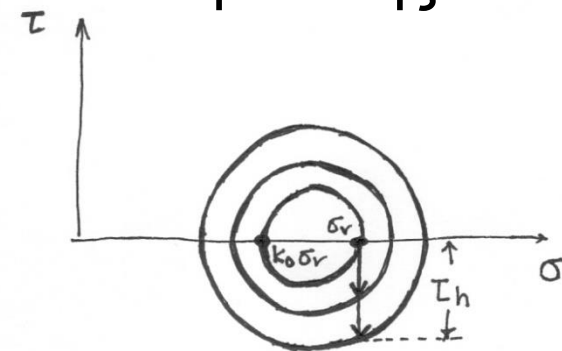


Σχέσεις από ελαστικότητα:

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

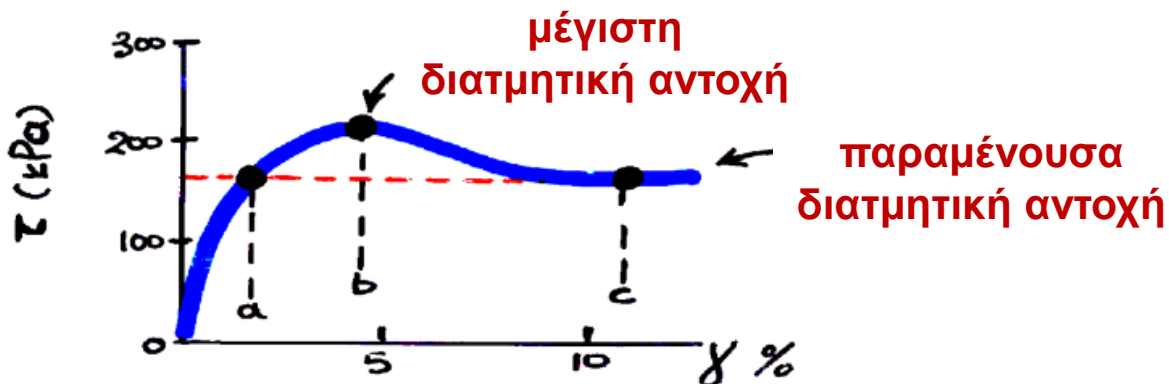
$$\gamma_{zx} = \Delta_x / H_0 \quad \Delta \gamma_{zx} = \Delta \tau_{zx} / G$$

Κύκλοι Mohr στην πορεία της δοκιμής

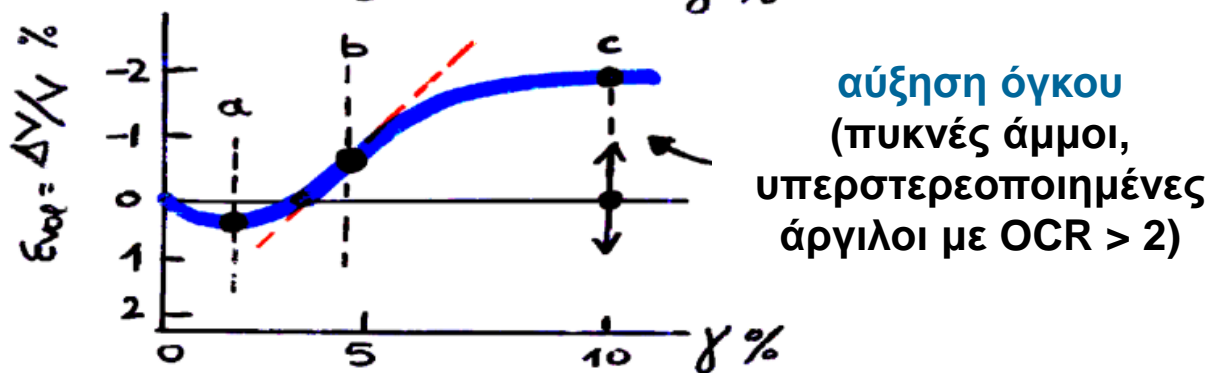


Τι καταγράφουμε σε ένα πείραμα απλής διάτμησης

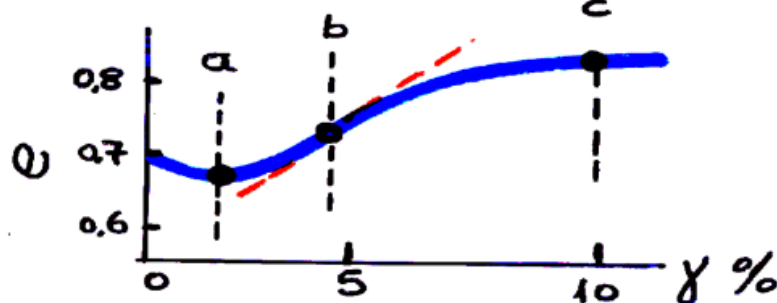
διατμητική τάση τ
– διατμητική
παραμόρφωση γ



ογκομετρική
παραμόρφωση ϵ_{vol}
– διατμητική
παραμόρφωση γ



δείκτης πόρων e –
διατμητική
παραμόρφωση γ

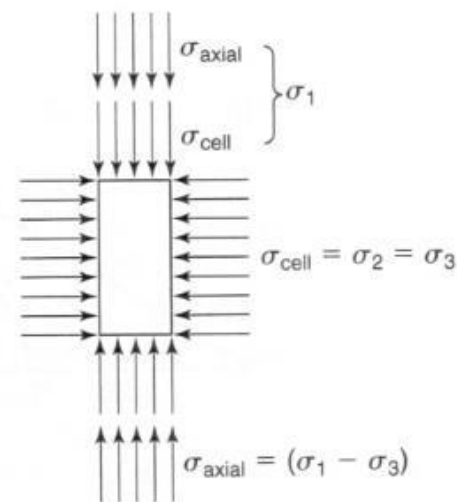
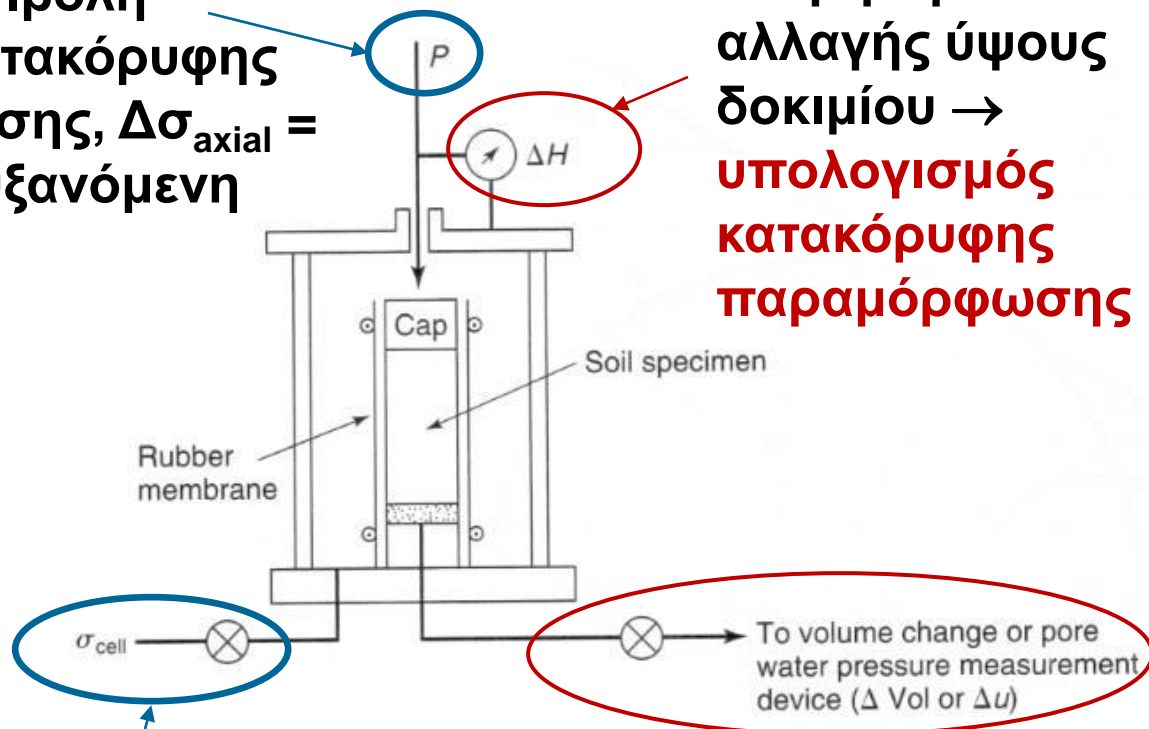


Διαφορετικές πειραματικές διατάξεις, συγκρίσιμα διαγράμματα!

Τριαξονική δοκιμή: τι επιβάλλουμε, τι μετράμε

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

Μέτρηση
αλλαγής ύψους
δοκιμίου \rightarrow
υπολογισμός
κατακόρυφης
παραμόρφωσης

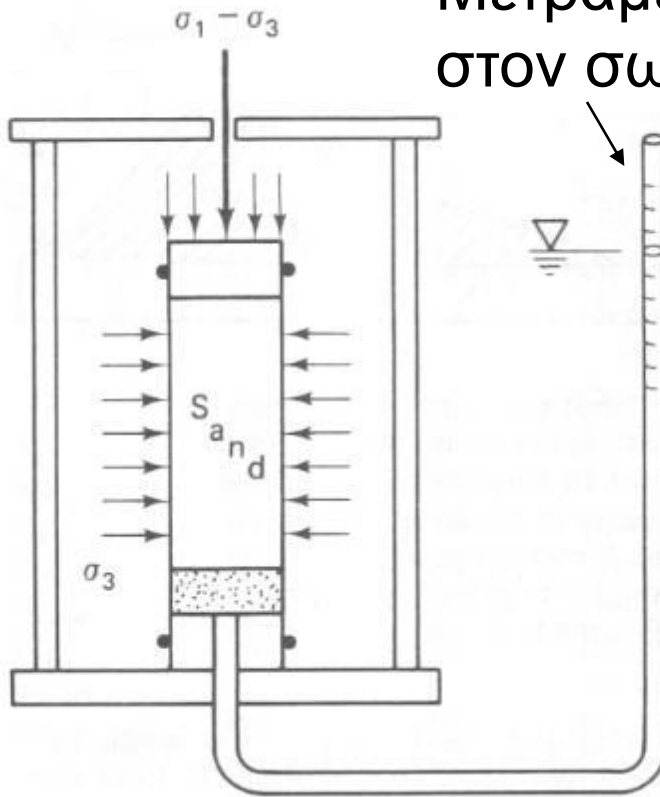


Βήμα I:
επιβολή
ολόπλευρης τάσης,
 $\sigma_{cell} =$ σταθερή

Μέτρηση αλλαγής
όγκου δοκιμίου \rightarrow
υπολογισμός
ογκομετρικής
παραμόρφωσης

Πώς μετράμε αλλαγή όγκου;

Μετράμε αλλαγή στάθμης νερού στον σωλήνα

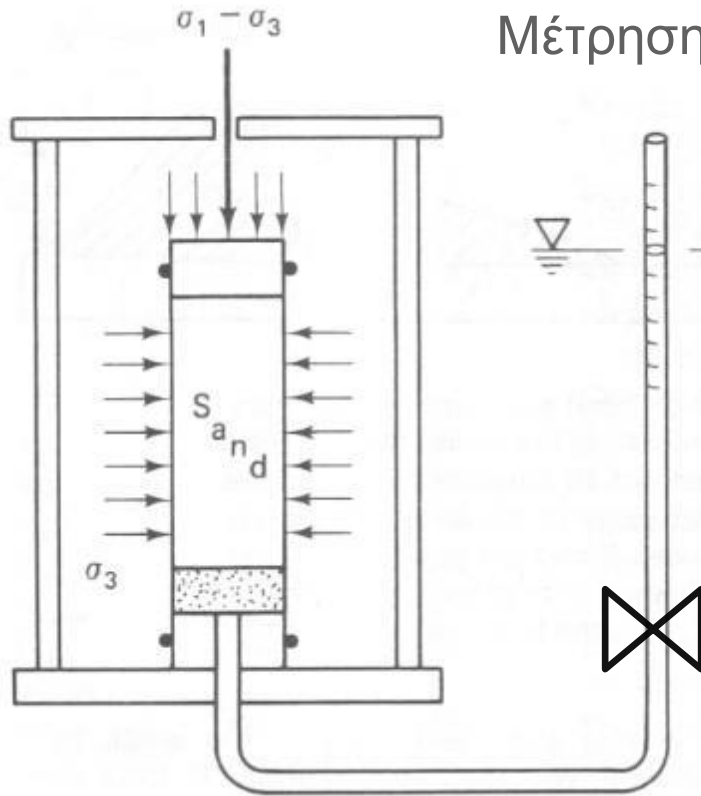


**Δοκίμιο διώχνει νερό
⇒ μείωση όγκου**

**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.**

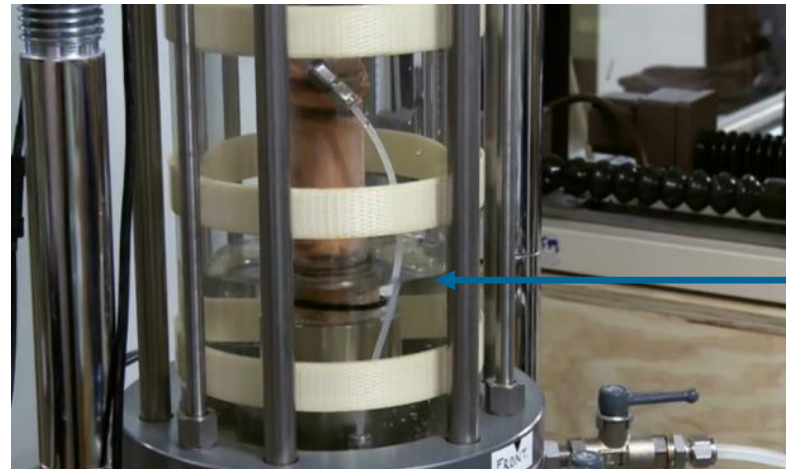
Πού έχουμε ξαναδεί ότι όταν δεν μπορεί να φύγει το νερό από κορεσμένο έδαφος αλλάζει η πίεση του νερού των πόρων;

Συσκευή τριαξονικής δοκιμής: πάλι στο εργαστήριο του καθηγητή Jaksa



δοκίμιο καολινίτη πριν το πείραμα

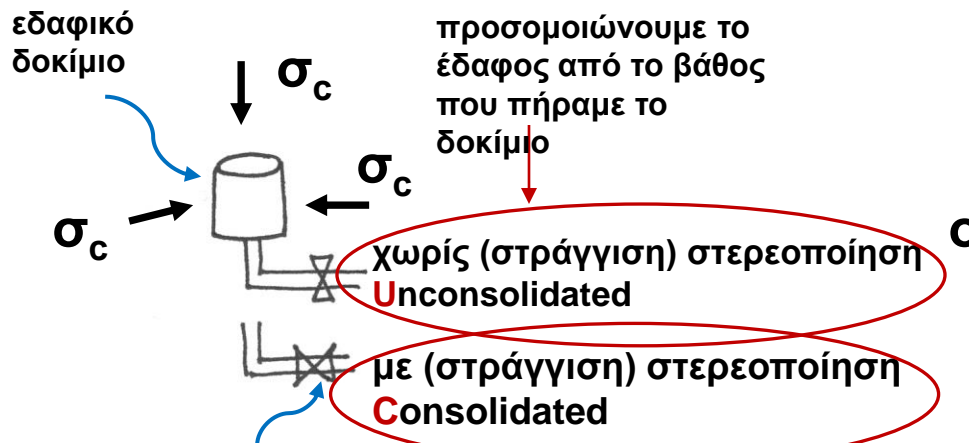
Η κυψέλη (cell) ενώ γεμίζει με νερό για να επιβληθεί ολόπλευρη τάση $\sigma_c = \sigma_3$



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

Βήμα I

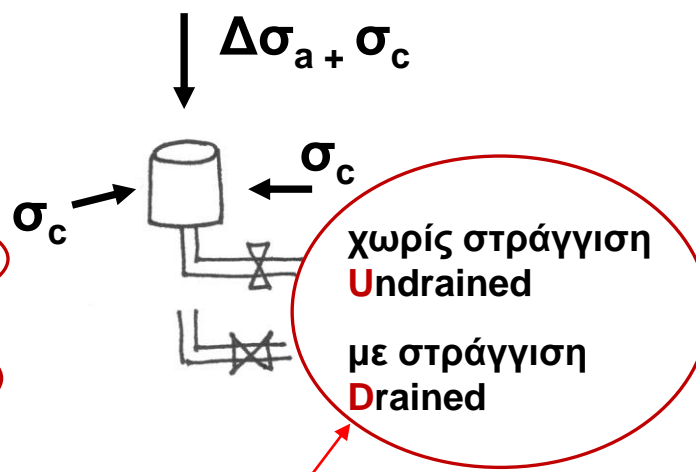
προσομοιώνουμε αρχική
εντατική κατάσταση στο
πεδίο: $\sigma_{\text{cell}} = \sigma_c = \sigma_3$



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

Βήμα II

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



Τα τρία είδη δοκιμών τριαξονικής συμπίεσης

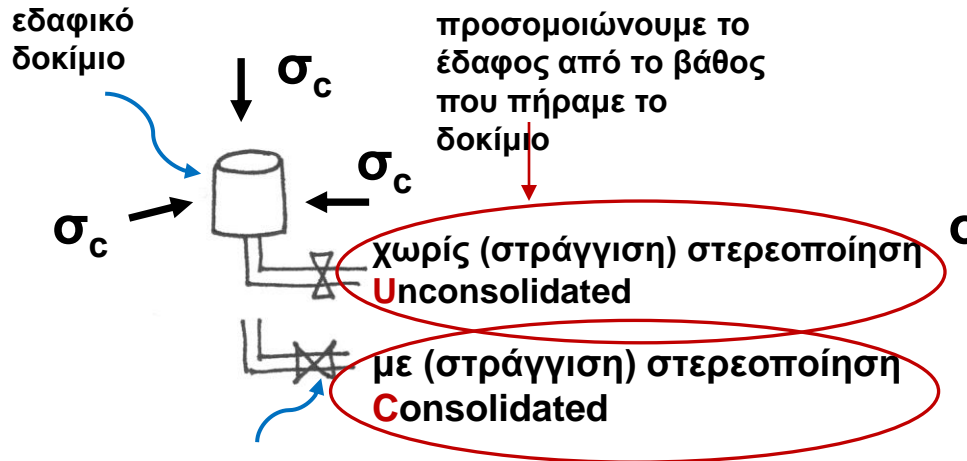
UU: γρήγορη δοκιμή περιορισμένης χρησιμότητας που δίνει αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες (αμέσως μετά την επιβολή φορτίου) στο βάθος που πήραμε το δοκίμιο

CU: δοκιμή που δίνει αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες (αμέσως μετά την επιβολή φορτίου) στο βάθος που αντιστοιχεί στη σ_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 σ_c στερεοποίησης

Βήμα I

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

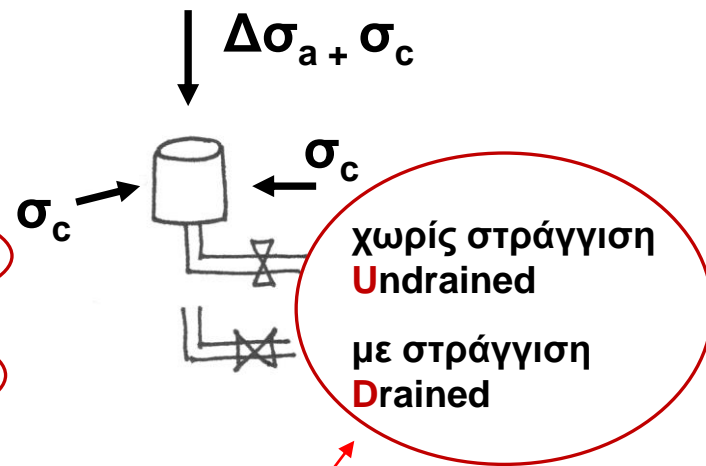


βάνια που ρυθμίζει στράγγιση (εδώ ανοικτή)

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

Βήμα II

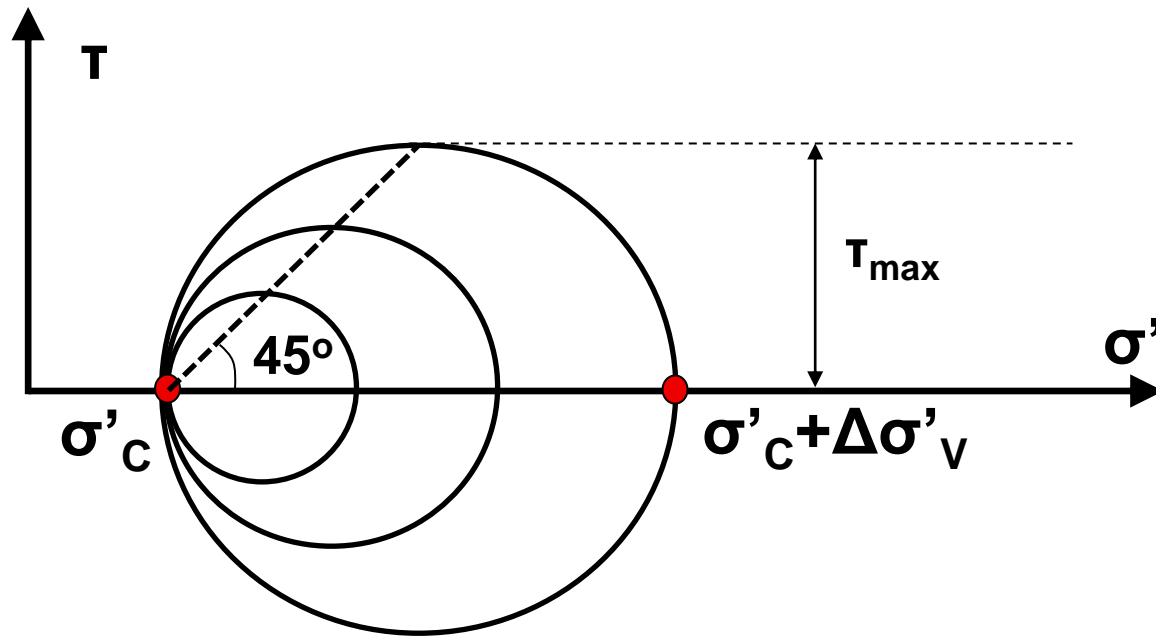
προσομοιώνουμε την αλλαγή φόρτισης: $\Delta\sigma_{\text{axial}} = \Delta\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3$



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 $\Delta\sigma'_a = \sigma'_1 - \sigma'_3$, έως τον μέγιστο κύκλο που αντιστοιχεί στην κατάσταση αστοχίας: μέγιστη ακτίνα $R = \tau_{\max}$



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*

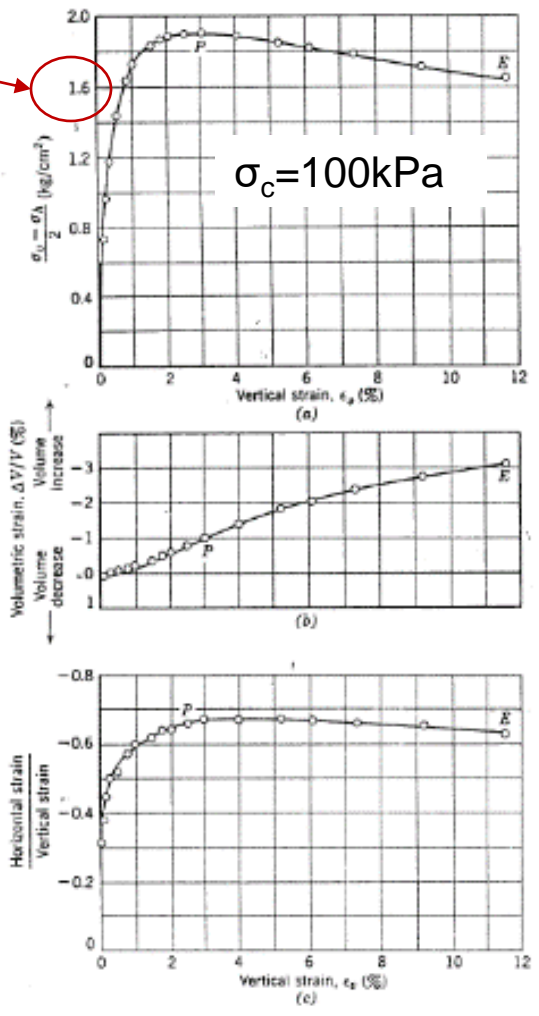
ακτίνα κύκλου Mohr
 $\Delta\sigma_a = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ –
κατακόρυφη παραμόρφωση

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

ογκομετρική παραμόρφωση –
κατακόρυφη παραμόρφωση

↑ αύξηση όγκου

λόγος οριζόντιας προς κατακόρυφη παραμόρφωση –
κατακόρυφη παραμόρφωση

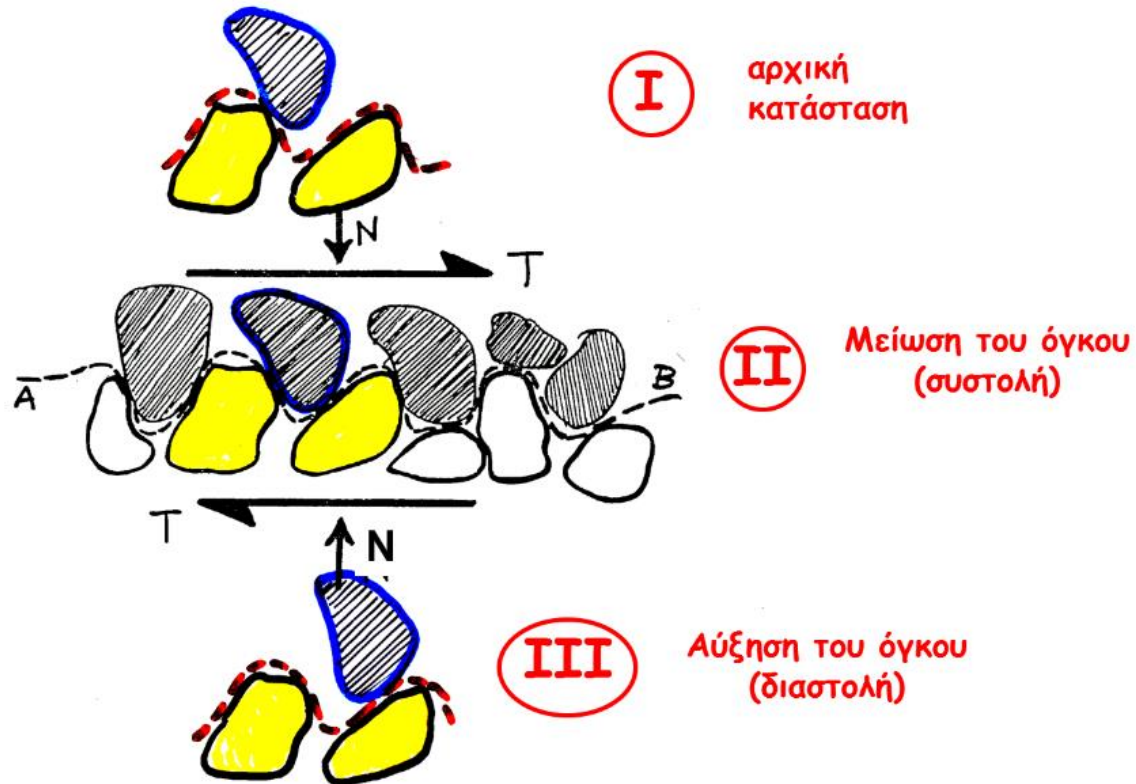


* τριαξονική δοκιμή στην ίδια άμμο που είδαμε τη συμπεριφορά της σε 1D συμπίεση στην αντίστοιχη παρουσίαση (διαφ. 16)

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. 16)

Πυκνή - χαλαρή άμμος: αποτελέσματα τριαξονικής δοκιμής

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

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

$$\sigma_3 = 207 \text{ kPa}$$

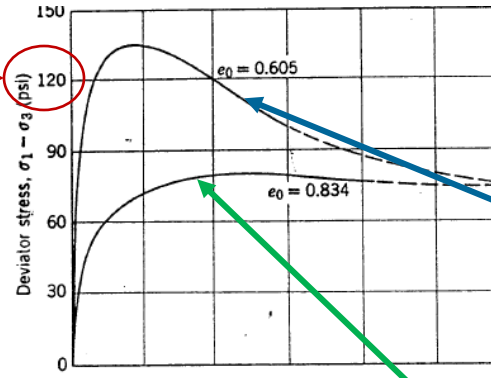
ογκομετρική
παραμόρφωση ϵ_{vol}
– κατακόρυφη
παραμόρφωση ϵ_v

↑ αύξηση
όγκου
10%
0%

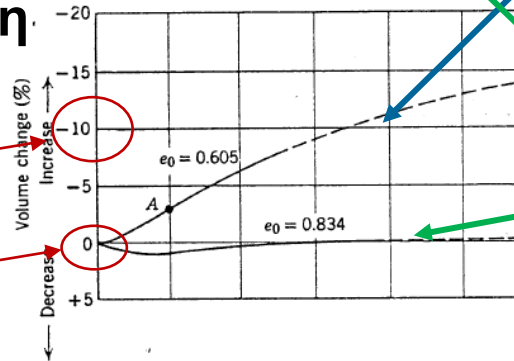
δείκτης πόρων e –
κατακόρυφη
παραμόρφωση ϵ_v

$$\Delta e = 0.2$$

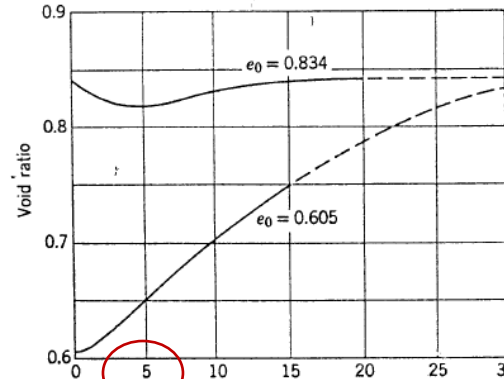
5%



**πυκνή
άμμος
 $e_0 = 0.605$**

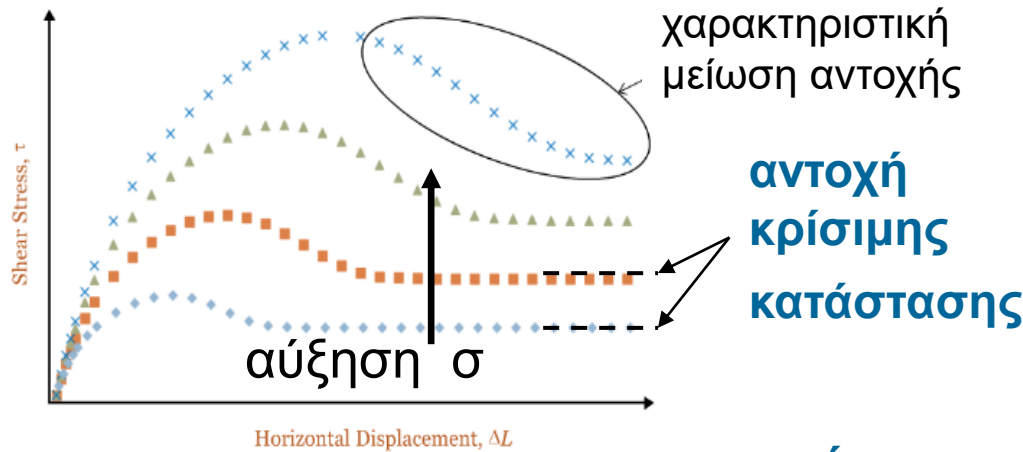


**χαλαρή
άμμος
 $e_0 = 0.834$**

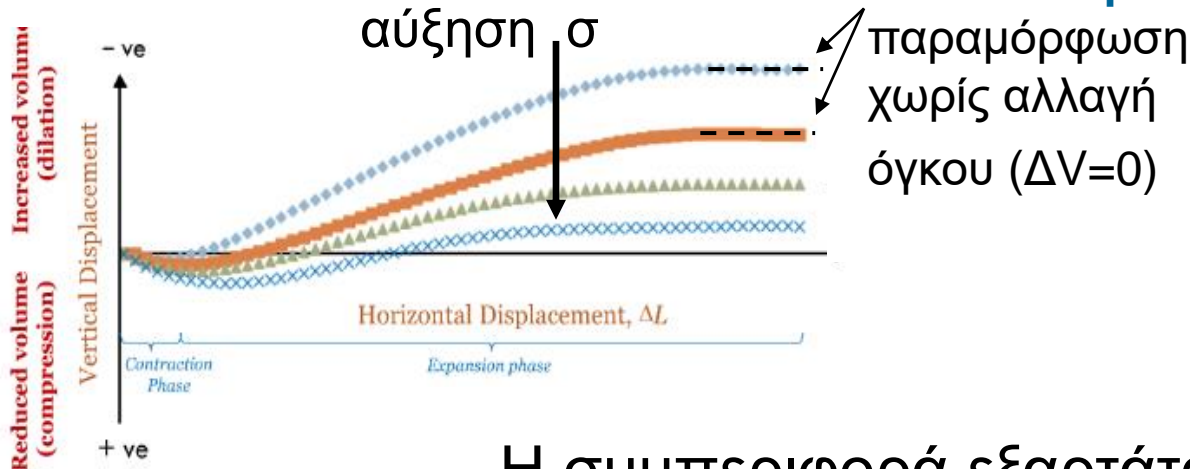


Συμπέρασμα
(διαφάνειας):
Η συμπεριφορά
εξαρτάται από
την πυκνότητα

Πυκνή άμμος: Δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης



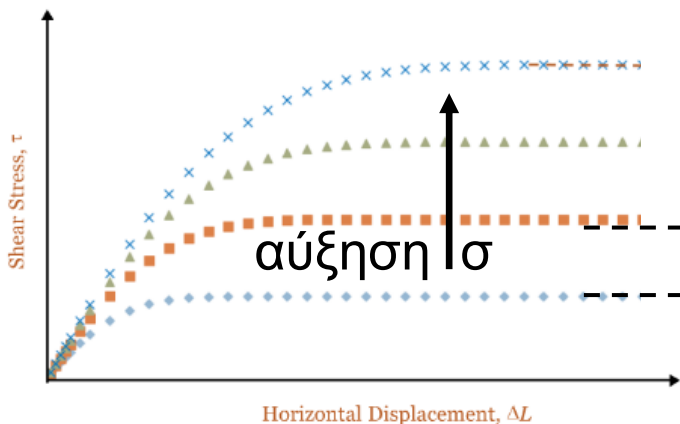
διατμητική τάση
– διατμητική μετατόπιση



κατακόρυφη μετατόπιση – διατμητική μετατόπιση

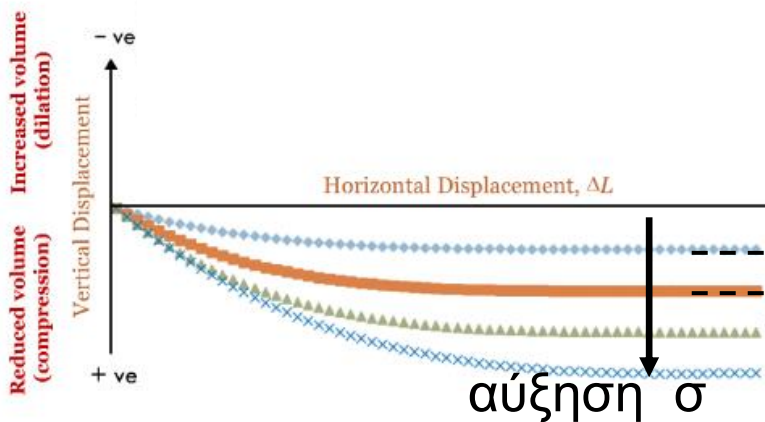
Η συμπεριφορά εξαρτάται από την πυκνότητα και την ορθή ενεργό τάση

Χαλαρή άμμος: Δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης



διατμητική τάση
– διατμητική
μετατόπιση

αντοχή
κρίσιμης
κατάστασης

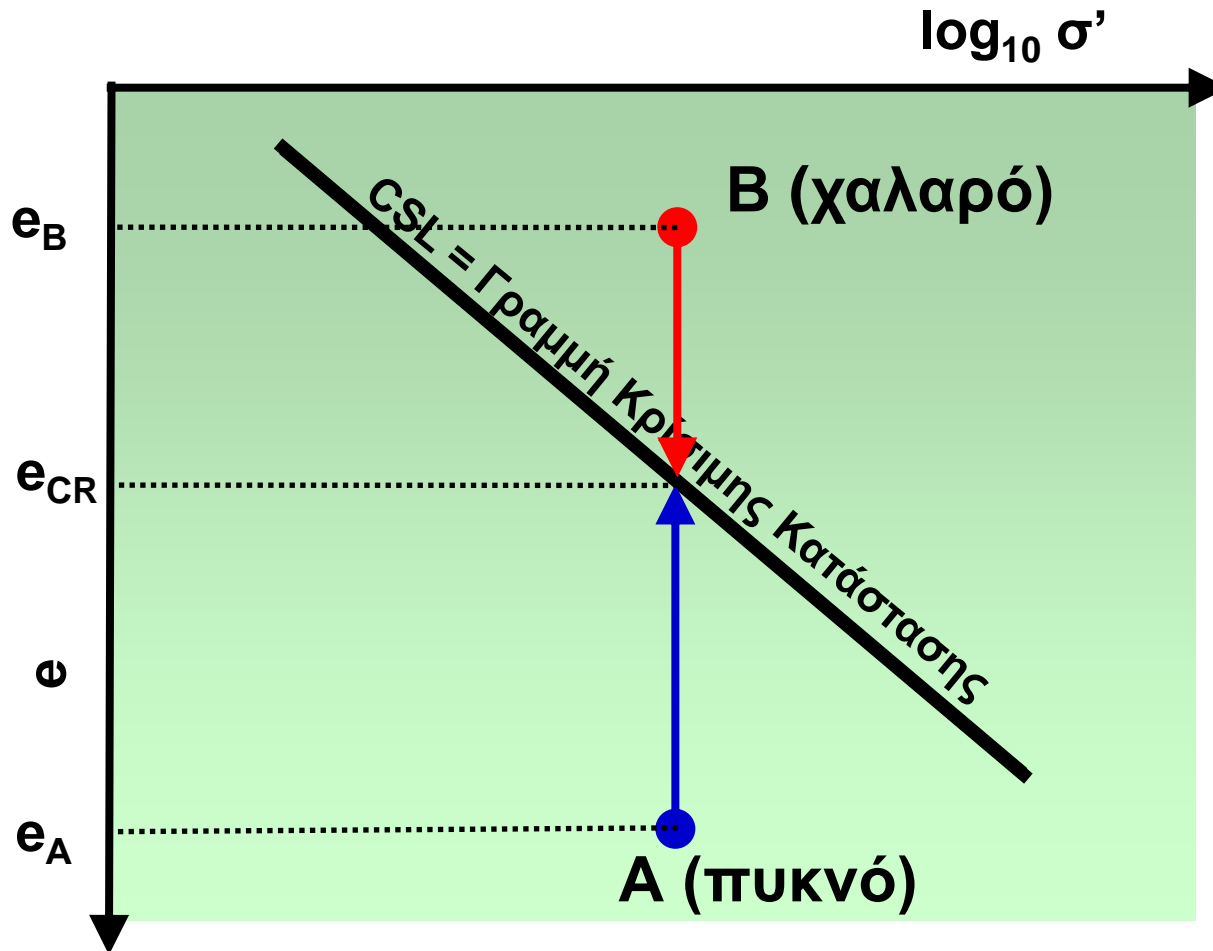


κατακόρυφη
μετατόπιση –
διατμητική
μετατόπιση

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

Η συμπεριφορά εξαρτάται από την
πυκνότητα και την ορθή ενεργό τάση

Γραμμή κρίσιμης κατάστασης: χαρακτηριστικό του εδάφους



Πυκνή - χαλαρή άμμος & τριαξονική δοκιμή (διαφ. 27 ξανά)

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

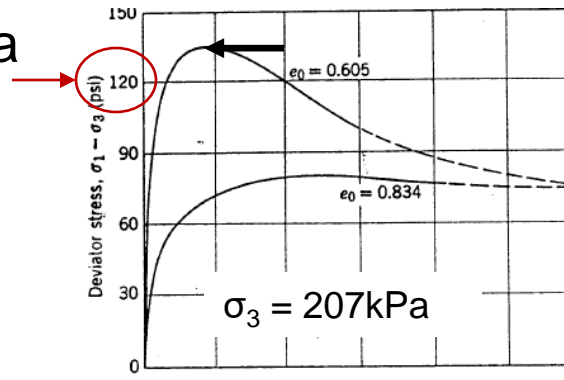
$$\sigma_1 - \sigma_3 = 800 \text{ kPa}$$

ογκομετρική
παραμόρφωση ϵ_{vol}
– κατακόρυφη
παραμόρφωση ϵ_v

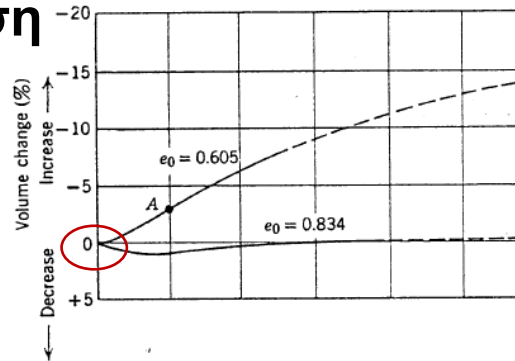
δείκτης πόρων $e -$
κατακόρυφη
παραμόρφωση ϵ_v

↑ αύξηση
όγκου

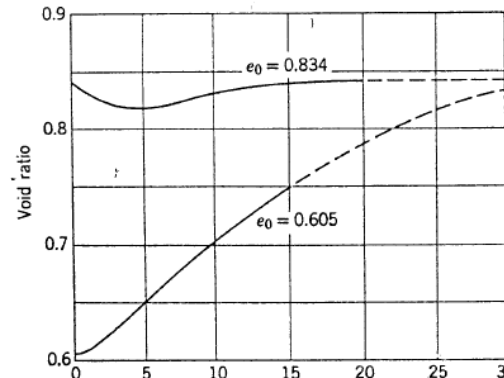
$$\Delta e = 0.2$$



τα δύο δοκίμια
τήνουν στην
ίδια αντοχή
κρίσιμης
κατάστασης

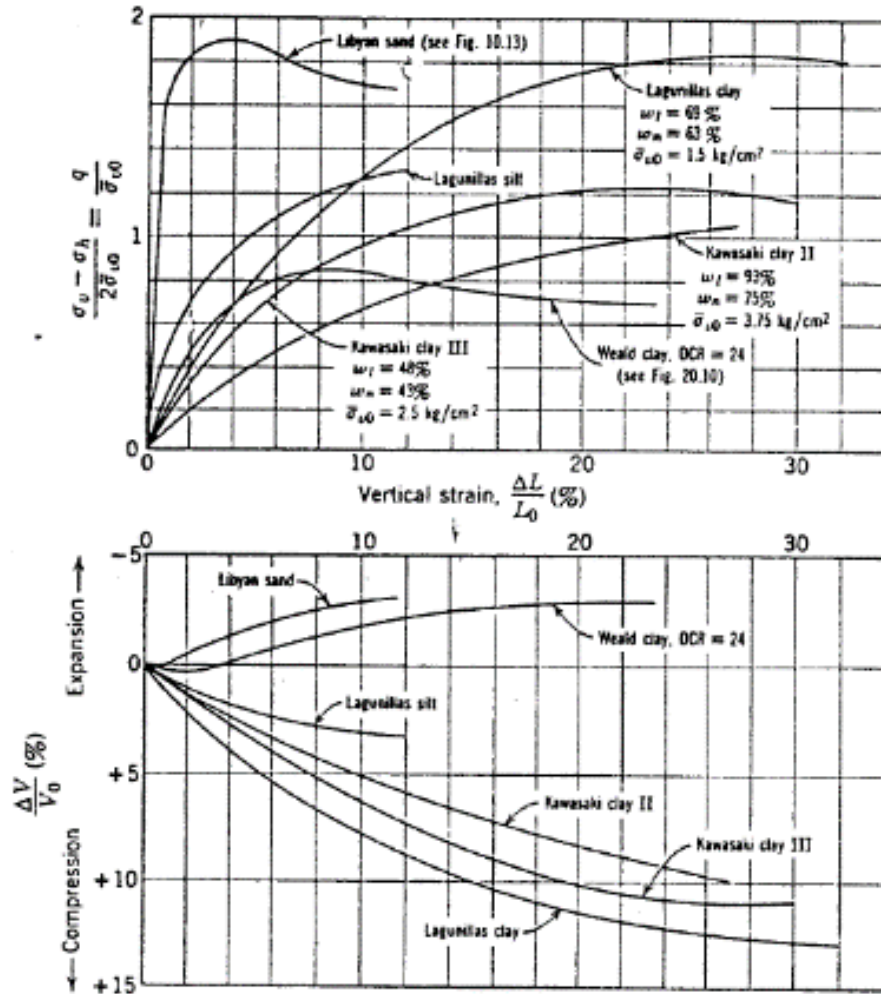


τα δύο δοκίμια
τήνουν σε μια
κατάσταση
σταθερού όγκου
= κρίσιμη
κατάσταση



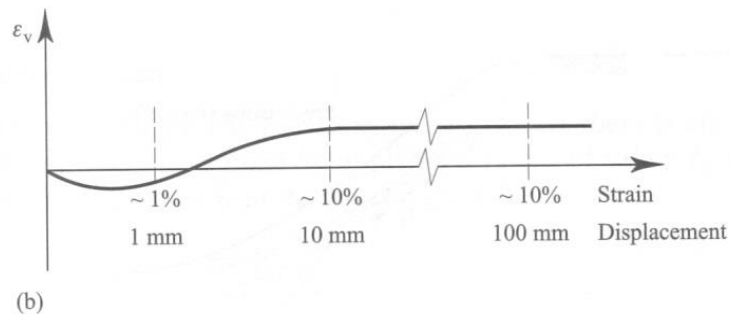
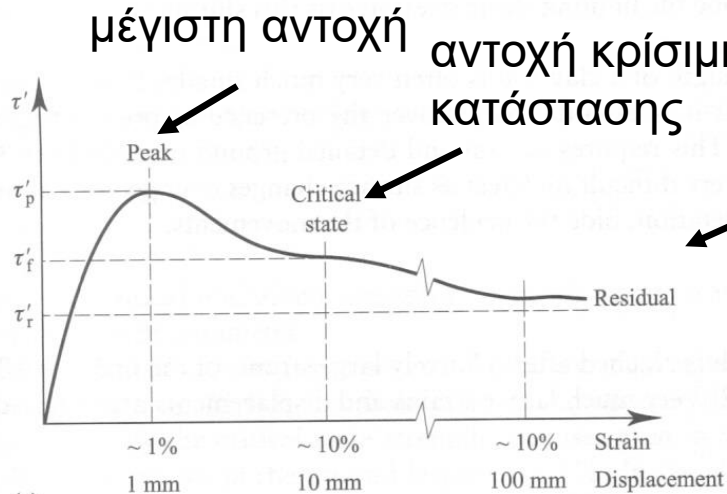
τα δύο δοκίμια
τήνουν στον
ίδιο δείκτη
πόρων

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
- Σχήμα στη διαφάνεια 3, 23, 27, 31, 32: 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 10, 15: Holtz, R.D., W.D. Kovacs and T.C. Sheahan, 2011, An Introduction to Geotechnical Engineering, 2nd Ed. (1st Ed. 1981), Pearson.
- Φωτογραφία στη διαφάνεια 12: <http://www.controls-group.com>
- Σχήματα στις διαφάνειες 12,13: Budhu, M., 2011, Soil Mechanics and Foundations, 3rd Ed. (1st Ed. 2000), Wiley.
- Σχήμα στη διαφάνεια 16, 17: Holtz, R.D. and W.D. Kovacs, 1981, An Introduction to Geotechnical Engineering.
- Σχήματα στις διαφάνειες 28, 29:
<https://ecmslin04.services.adelaide.edu.au/OLT/>
- Σχήμα στη διαφάνεια 33: Atkinson, J., 2007, The mechanics of soils and foundations, 2nd Ed. (1st Ed. 1993), Taylor and Francis, Oxon, UK.

Πηγή ορολογίας

- InterActive Terminology for Europe: iate.Europa.eu
- pressure transducer = μορφοτροπέας πίεσης

Το διαδικτυακό εργαστήριο του καθηγητή Mark Jaksa

- <https://ecmslin04.services.adelaide.edu.au/OLT/>

Περιγραφή τριαξονικής δοκιμής από διαλέξεις Εδαφομηχανικής I καθηγητή Μιχάλη Καββαδά

- Διάλεξη 9, Μέρος 3:
<https://www.youtube.com/watch?v=p05lgm5hcS0>, 27:55 → 35:00