



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τμήμα Α-Λ

Διδάσκοντες: Αχιλλέας Παπαδημητρίου & Μαρίνα Πανταζίδου
(θέματα 0 έως 4) (θέματα 5, 6)
apapad@civil.ntua.gr, 210-7723436 mpanta@central.ntua.gr, 210-7723745

Τετάρτη & Πέμπτη 9:45 - 11:30 - **Αιθ. 12**

Ιστοσελίδα Μαθήματος στο [helios...](#)

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Το μάθημα συνδέει τη φύση και τη συμπεριφορά του εδαφικού στοιχείου που μελετάται στην **ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ I** με την απόκριση της εδαφικής μάζας σε διάφορες κατασκευές έργων Πολιτικού Μηχανικού:

- τοίχοι αντιστήριξης,
- πρανή,
- θεμέλια.

Επιπλέον, εκτιμά:

- τις συνθήκες υδατικής ροής διαμέσου του εδάφους, και
- το χρόνο εξέλιξης των καθιζήσεων

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

1. Εμβάθυνση σε επιφορτικές τάσεις
2. Σχεδιασμός τοίχων αντιστήριξης (βαρύτητας)
3. Ευστάθεια πρανών
4. Φέρουσα ικανότητα αβαθών θεμελίων
5. Υδατική ροή μέσω του εδάφους
6. Χρονική εξέλιξη καθιζήσεων στερεοποίησης

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

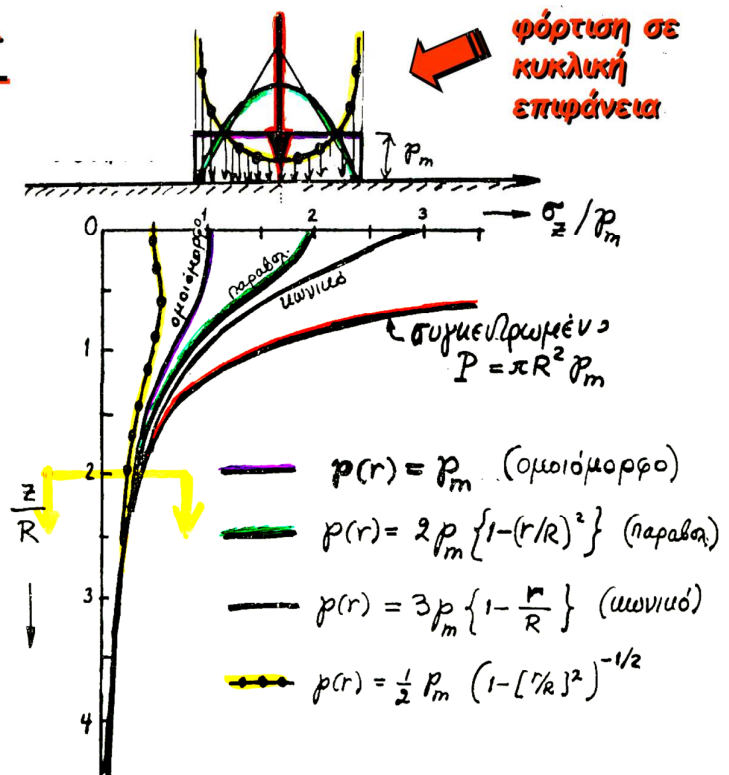
Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

1. Εμβάθυνση σε επιφορτικές τάσεις

ΑΡΧΗ SAINT VENANT

Σε απόσταση μεγαλύτερη από μία περίπου διάμετρο της φορτιζόμενης επιφάνειας, οι τάσεις είναι συνάρτηση της συνισταμένης της φόρτισης και όχι της κατανομής της.

Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι, για τα βάθη αυτά μπορούμε να χρησιμοποιούμε τις σχέσεις από την Θ . Ελαστικότητας ακόμη και εάν δεν αντιστοιχούν στη κατανομή της επιβαλλόμενης φόρτισης. Αρκεί βέβαια η «πραγματική» και η «ισοδύναμη» φόρτιση να έχουν την ίδια συνισταμένη

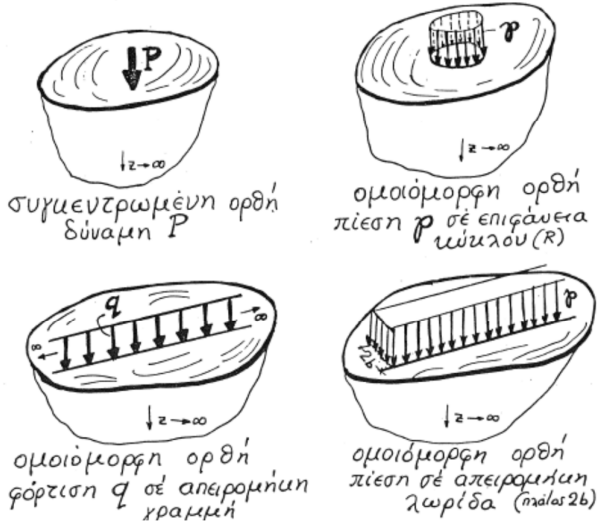


ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

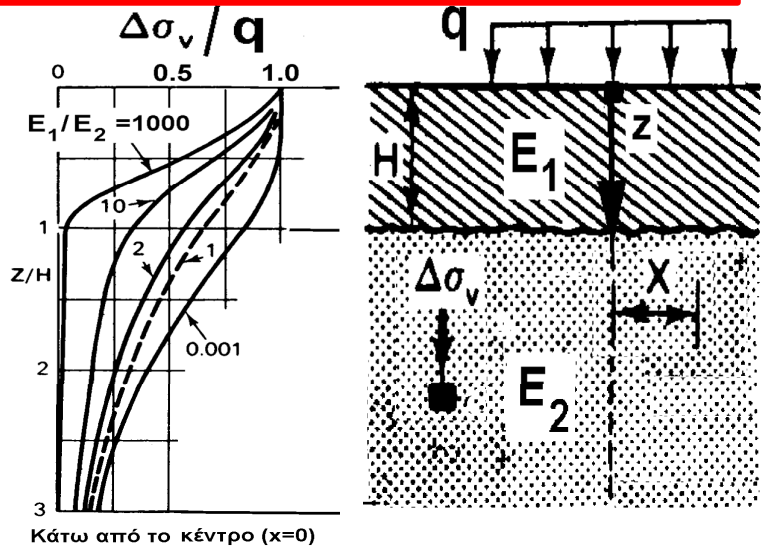
1. Εμβάθυνση σε επιφορτικές τάσεις

(α) ΟΜΟΙΟΓΕΝΗΣ ΗΜΙΧΩΡΟΣ με $z \rightarrow \infty$ αυόλουδες φορτίσεις



(β) ΔΙΣΤΡΩΤΟΣ ΗΜΙΧΩΡΟΣ με ομοιόμορφη ορθή πίεση p σε επιφάνεια κύκλου ακτίνας R , και λωρίδας πλάτους $2b$

(γ) ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΗΣ ΗΜΙΧΩΡΟΣ με $E = mz$.

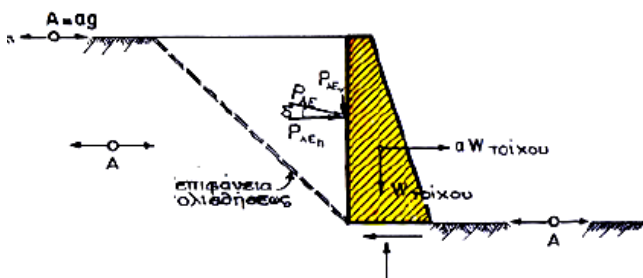


ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

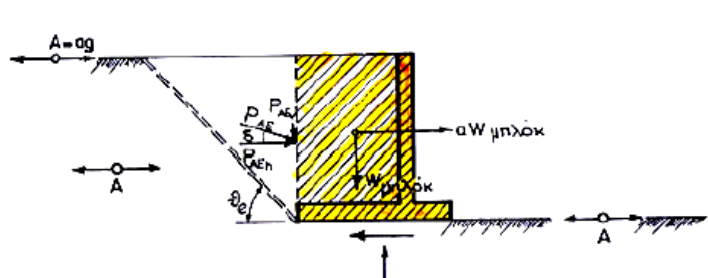
Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

2. Σχεδιασμός Τοίχων Αντιστήριξης (Βαρύτητας)

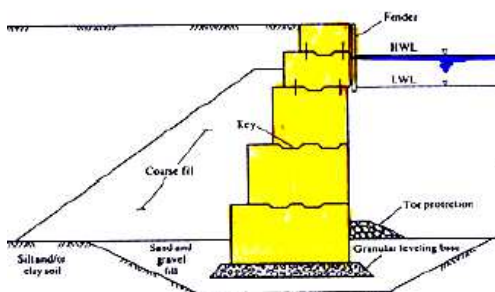
τοίχος από άοπλο σκυρ.



τοίχος οπλισμένου σκυροδέματος



κρηπιδότοιχος



Αντίσταση τοίχου από το βάρος (μάζα) του τοίχου...

- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΩΘΗΣΕΩΝ ΓΑΙΩΝ
- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΟΥ

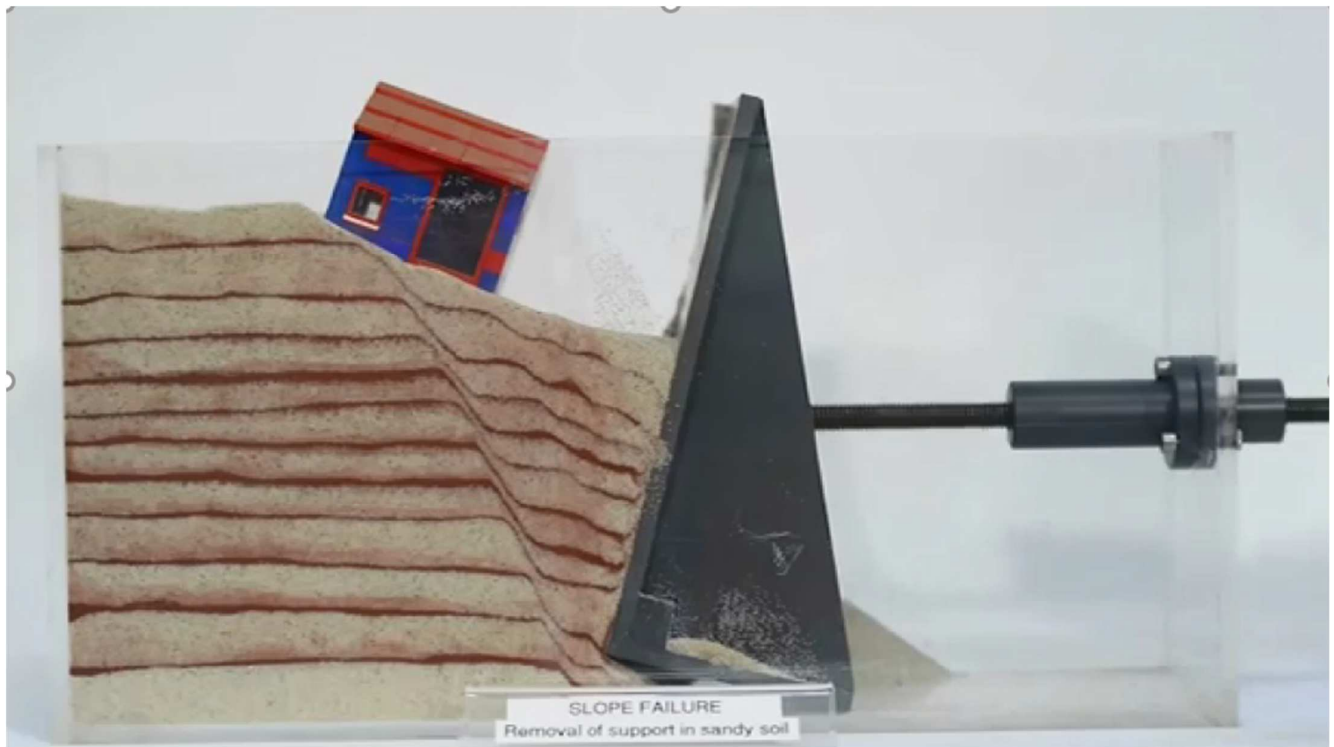


ολίσθηση

sliding

ανατροπή

overturning



retaining wall failure = αστοχία τοίχου αντιστήριξης

Αντιστηρίξεις



Βαθιά
εκσκαφή

και

αντιστήριξη
με πέτασμα
(τοίχο)

με πολλαπλές
αγκυρώσεις

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

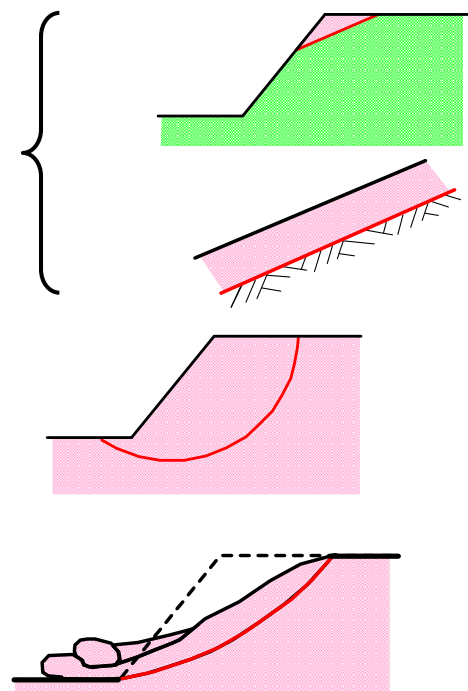
3. Ευστάθεια Πρανών

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ολίσθηση
(συνήθως) επί επίπεδης επιφάνειας

ΒΑΘΙΑ ολίσθηση
(συνήθως) επί καμπύλης επιφάνειας

ΡΟΗ μάζας εδάφους-νερού (debris flow)
σχετικά γρήγορη κίνηση,
η μάζα ρέει ως παχύρρευστο υγρό

Ερπυσμός
σχετικά αργή κίνηση, επιφανειακή ή βαθιά



κατολίσθηση Αμύνταιου 2017

Βαθιά ολίσθηση επί «κυκλικής» επιφάνειας



80.000.000 m³ εδάφους !!!!

Επιφανειακή ολίσθηση επί «επίπεδης» επιφάνειας



Κατολίσθηση στην Ιαπωνία



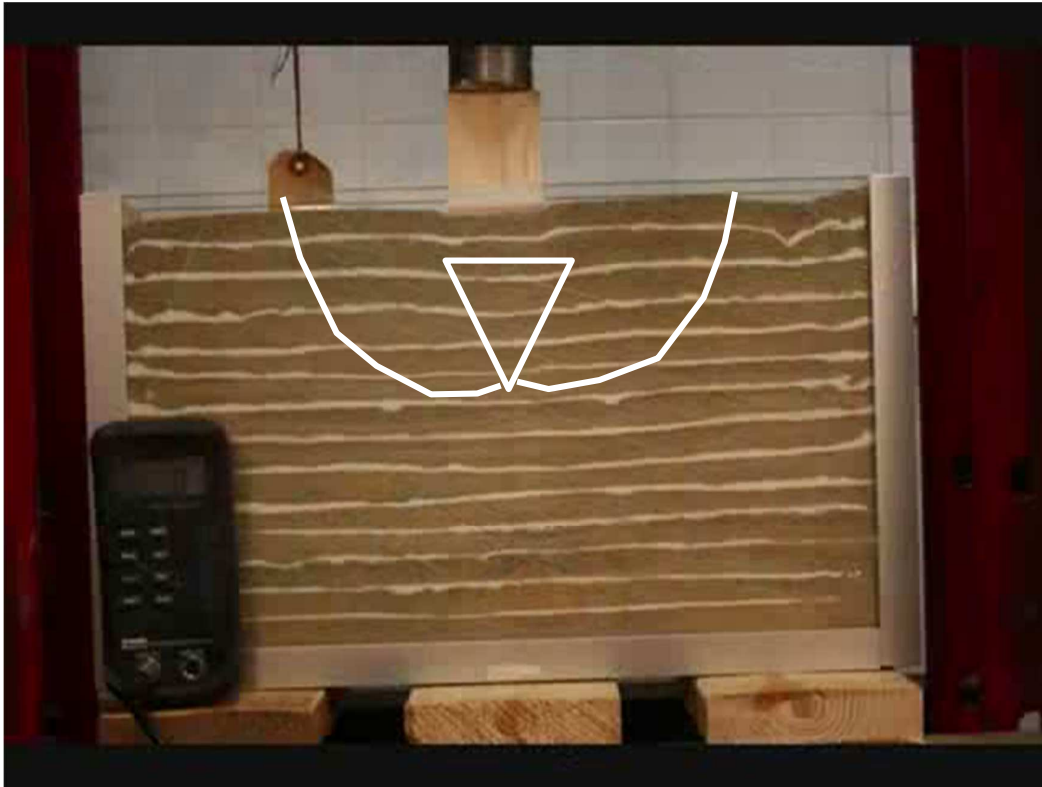
μέχρι τώρα υπολογίζαμε καθιζήσεις θεμελίων... όχι αστοχία τους
Μεγάλες καθιζήσεις... ... έως την αστοχία!



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

4. Φέρουσα Ικανότητα (Αβαθών) Θεμελίων

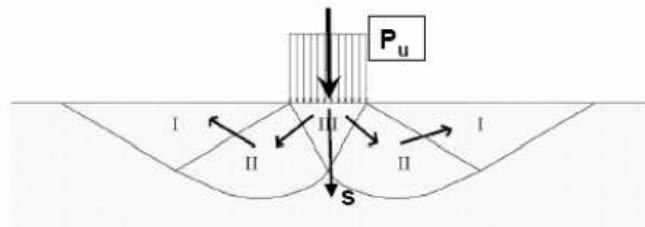
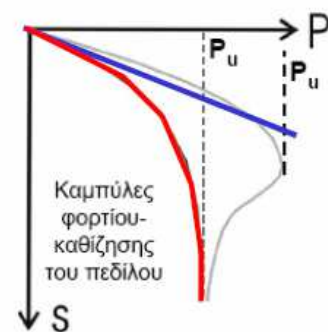
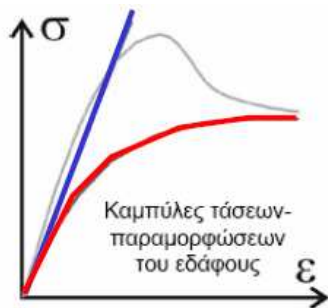


ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

4. Φέρουσα Ικανότητα (Αβαθών) Θεμελίων

μέχρι τώρα υπολογίζαμε καθιζήσεις θεμελίων... όχι αστοχία τους



- Γραμμική συμπεριφορά σ-ε του εδάφους (ιδεατή)
- Κρατυνόμενη συμπεριφορά σ-ε (χαλαρές άμμοι, μαλακές NC άργιλοι)
- Χαλαρούμενη συμπεριφορά σ-ε (πυκνές άμμοι, σκληρές OC άργιλοι)

Η μέγιστη τιμή P_u του φορτίου του πεδίου, ή η αντίστοιχη μέγιστη τιμή της πίεσης :

$$p_u = P_u / A$$

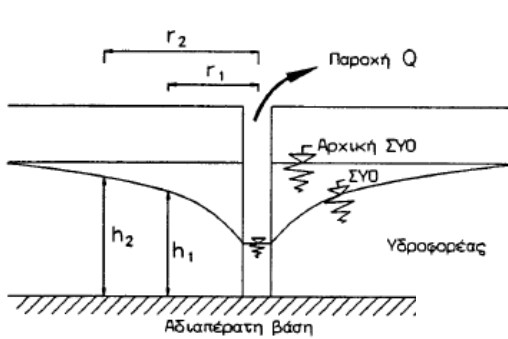
ονομάζεται «φέρουσα ικανότητα»

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

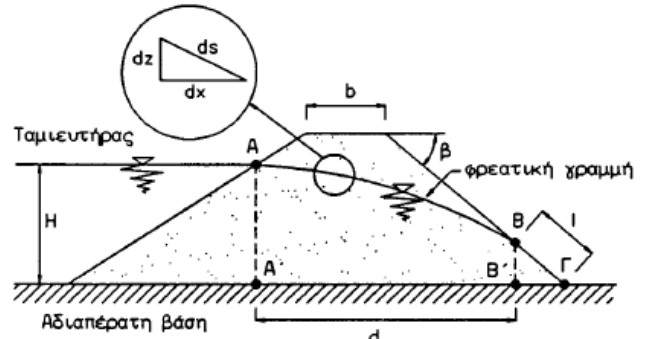
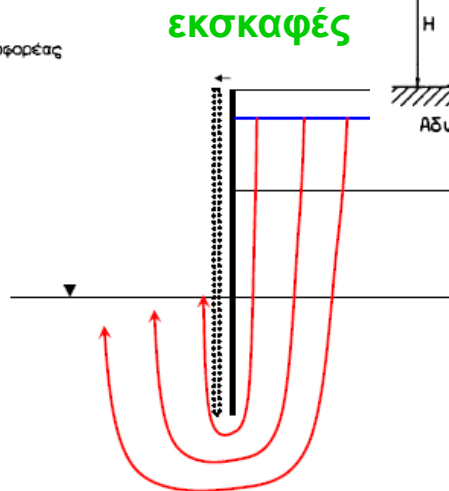
Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

5. Υδατική ροή μέσω του εδάφους

μέχρι τώρα το νερό ήταν ακίνητο... και οι πιέσεις πόρων υδροστατικές



αντλήσεις



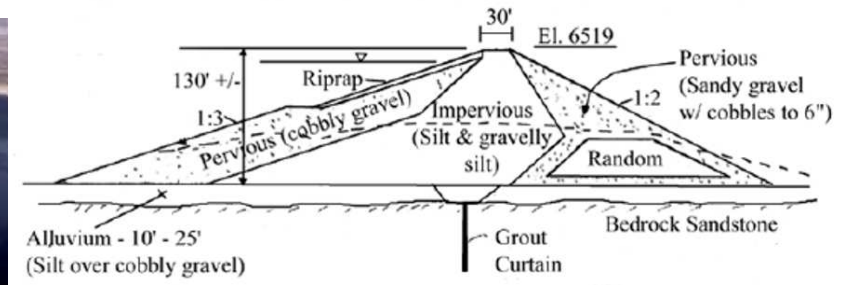
διήθηση
(μέσω φράγματος)

Έντονη προς τα άνω υδατική ροή



Αστοχία λόγω μηδενισμού ενεργής τάσης (υδραυλική υποσκαφή)

«Αστοχία» φράγματος Fontenelle (1965)



Αστοχία λόγω διάβρωσης (διασωλήνωση)

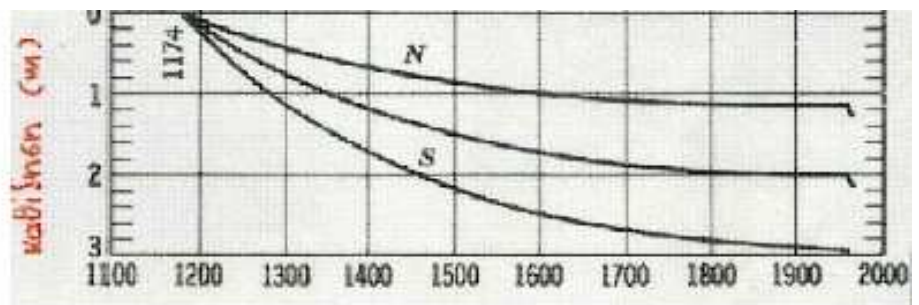
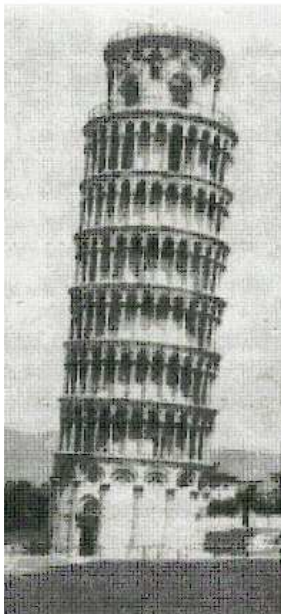
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

6. Χρονική εξέλιξη καθιζήσεων στερεοποίησης

μέχρι τώρα εκτιμούσαμε τις ολικές καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης...
αυτές που συμβαίνουν σε «άπειρο» χρόνο

... όμως ο χρόνος παίζει σημαντικό ρόλο !



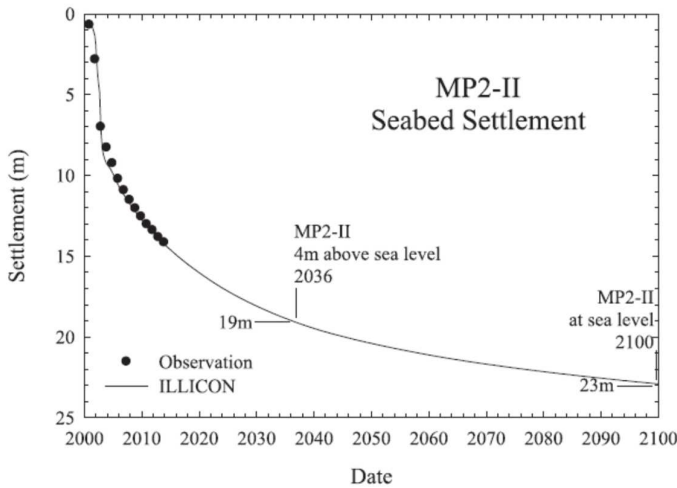
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

6. Χρονική εξέλιξη καθιζήσεων στερεοποίησης

μέχρι τώρα εκτιμούσαμε τις ολικές καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης...
αυτές που συμβαίνουν σε «άπειρο» χρόνο

...και όχι μόνο σε κατασκευές του 12^{ου} αιώνα: Kansai Airport (2000)



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

Θέμα	Ημερομηνίες	Αντικείμενο
0	5-6/10	Εισαγωγή: Επανάληψη Εδαφομηχανικής I - Περιεχόμενο και πρακτικές εφαρμογές Εδαφομηχανικής II
1	12-13/10 19-20/10	Μετάδοση τάσεων στο έδαφος: Συμπεριφορά εδαφικού στοιχείου - Απόκριση εδαφικής μάζας - Επίπεδη & Αξονοσυμμετρική παραμόρφωση. Ο διστρωτός ημιχώρος 1^η Σειρά Ασκήσεων
2	26-27/10 2-3/11	Οριζόντιες εδαφικές ωθήσεις: Απ' την ελαστική θεώρηση στην οριακή κατάσταση - μέθοδος Rankine 2^η Σειρά Ασκήσεων
	9-10/11 16-17/11	Οριζόντιες εδαφικές ωθήσεις: Ωθήσεις Coulomb - Σχεδιασμός τοίχων βαρύτητας 3^η Σειρά Ασκήσεων
3	23-24/11 30/11	Ευστάθεια πρανούς: Οριακή ισορροπία σε επίπεδη επιφάνεια
Πέμπτη 1/12		ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΣ
3	7-8/12	Ευστάθεια πρανούς: Οριακή ισορροπία σε κυκλική επιφάνεια 4^η Σειρά Ασκήσεων
4	14/12	Οριακό φορτίο θεμελίου: Κινηματική ανάλυση μηχανισμού «αστοχίας» 5^η Σειρά Ασκήσεων
5	15/12 21/12	Υδατική ροή διαμέσου του εδάφους: 1Δ ροή & νόμος Darcy 6^η Σειρά Ασκήσεων
ΧΡΙΣΤΟΥΓΕΝΝΑ		
6	22/12 11-12/1	Στερεοποίηση αργιλικού εδάφους: Χρονική εξέλιξη υδατικών υπερπίεσεων και καθιζήσεων - Θεωρία Terzaghi 7^η Σειρά Ασκήσεων

Τυχόν χαμένα μαθήματα (π.χ. αργίες) αναπληρώνονται αμέσως μετά ή και προκαταβολικά

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Καταστατικός Χάρτης Μαθήματος

Η ενδιάμεση πρόοδος έχει ως ύλη τα θέματα 1 & 2 και μετρά μόνο θετικά στον τελικό βαθμό, με ποσοστό 30%. Η θετική προσμέτρηση έχει αναγκαία συνθήκη έναν *αξιόπρη* βαθμό στο διαγώνισμα (τελικό Φεβρουαρίου ή/και επαναληπτικό Σεπτεμβρίου, αμφότερα στο σύνολο της ύλης), δηλαδή τουλάχιστον 3.5. Ο βαθμός της προόδου δεν «μεταφέρεται» σε επόμενα ακαδημαϊκά έτη.

Ανακοινώσεις, ασκήσεις και λοιπές πληροφορίες για το μάθημα θα αναρτώνται στη σελίδα του μαθήματος στο *helios* (για το τμήμα Α-Λ).

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ

- Αντίγραφα διαφανειών μαθήματος (θεωρία & ασκήσεις) στο *helios*
- Γ. Γκαζέτας : ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Ε.Μ.Π., 2012+
(Ηλεκτρονικό αντίγραφο δίνεται στο *helios*)
- Κ. Γεωργιάδης, Μ. Γεωργιάδης, ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Ζήτη, 2009
- G. Barnes: ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ: ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, Κλειδάριθμος, 2014

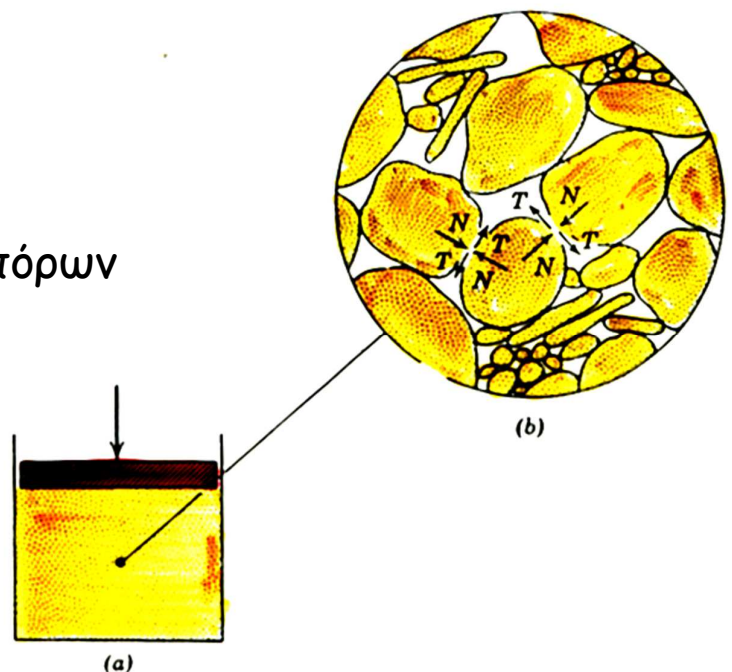
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

ένα μη-συνεχές, ανομοιόμορφο υλικό αποτελούμενο από:

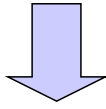
- στερεούς κόκκους
 - νερό
 - αέρα
- } κενά των πόρων



Προέλευση & Φύση του Εδάφους

(Α) Μηχανική αποσάθρωση

[άνεμος, βροχή, θαλάσσιοι
κυματισμοί, παγετός, κλπ.]

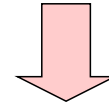


Χονδρόκοκκα εδάφη της ίδιας
σύστασης με το μητρικό
πέτρωμα:

Κροκάλες: $d > 50$ mm
Χάλικες: $d = 2 - 50$ mm
Άμμοι: $d = 0.06 - 2$ mm

(Β) Χημική αποσάθρωση

[χημική δράση νερού, οξέα,
 CO_2 , κλπ.]



Λεπτόκοκκα εδάφη
διαφορετικής σύστασης από
το μητρικό πέτρωμα:

Ιλύες: $d = 0.002 - 0.06$ mm
Άργιλοι: $d < 0.002$ mm

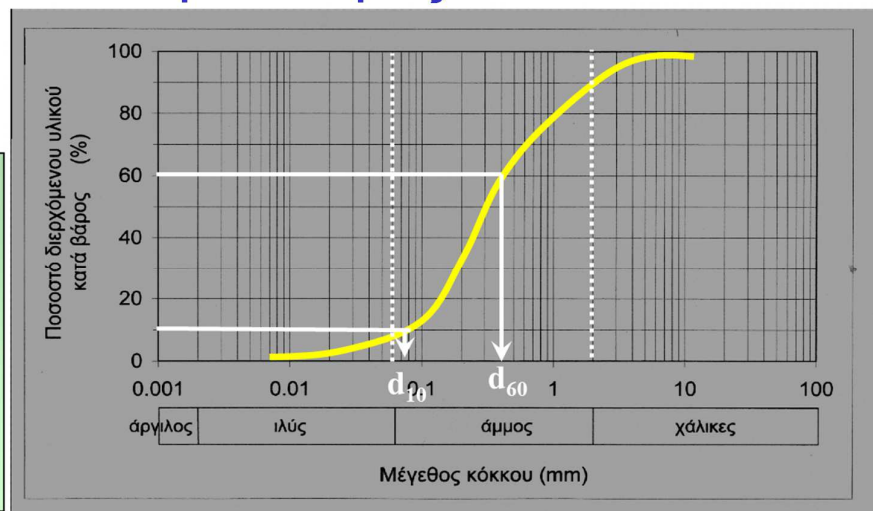
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

κοκκομετρική
ανάλυση:

- ✚ ΧΑΛΙΚΕΣ
 $d > 2$ mm
- ✚ ΑΜΜΟΙ
 $d = 0.06 - 2$ mm
- ✚ ΙΛΥΕΣ-ΑΡΓΙΛΟΙ
 $d < 0.06$ mm



ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ: $C_u = d_{60} / d_{10}$

$C_u < 5.0$ ομοιόμορφα εδάφη

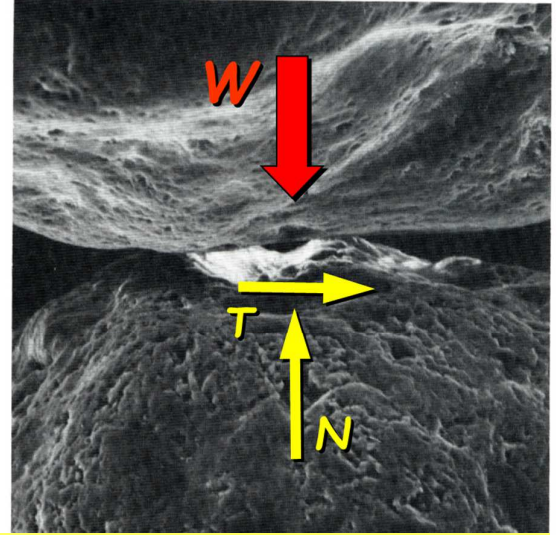
$C_u \geq 5.0$ αν-ομοιόμορφα (ή καλά διαβαθμισμένα) εδάφη

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

Μηχανική Συμπεριφορά ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΩΝ εδαφών



Υπάρχουν μόνο δυνάμεις μάζας + τριβές μεταξύ των κόκκων

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

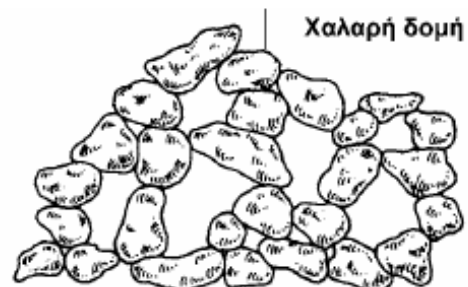
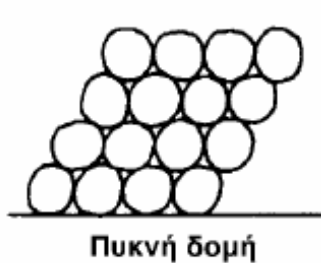
Μηχανική Συμπεριφορά ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΩΝ εδαφών

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χονδρόκοκκων εδαφών (χάλικες και άμμοι) εξαρτώνται από :

1. Την κοκκομετρική διαβάθμιση (μέγεθος των κόκκων)
2. Την σχετική πυκνότητα (δομή ή διάταξη των κόκκων)

Η δομή των χονδρόκοκκων εδαφών κυμαίνεται μεταξύ πολύ χαλαρής και πολύ πυκνής, αναλόγως του βαθμού συμπίκνωσης του υλικού

Ένα υλικό με πυκνή δομή έχει μικρότερη συμπιεστότητα και καλύτερα χαρακτηριστικά αντοχής απ' ό τι το ίδιο υλικό σε χαλαρή δομή

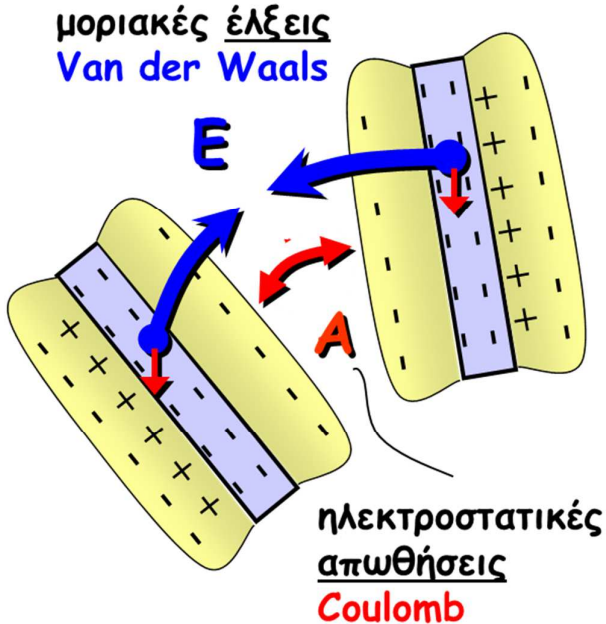


ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

Μηχανική Συμπεριφορά ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ εδαφών



Στα αργιλικά σωματίδια, το βάρος είναι αμελητέο σε σχέση με:

- ✚ ΤΙΣ **μοριακές έλξεις E** που αναπτύσσονται μεταξύ των ίδιων των σωματιδίων και
- ✚ ΤΙΣ **ηλεκτροστατικές απωθήσεις A** που αναπτύσσονται μεταξύ των εξωτερικών επιφανειών των 2-πλών στρωμάτων, που είναι βέβαια αρνητικά φορτισμένες

Η συμπεριφορά καθορίζεται από το ισοζύγιο των **A** και **E**

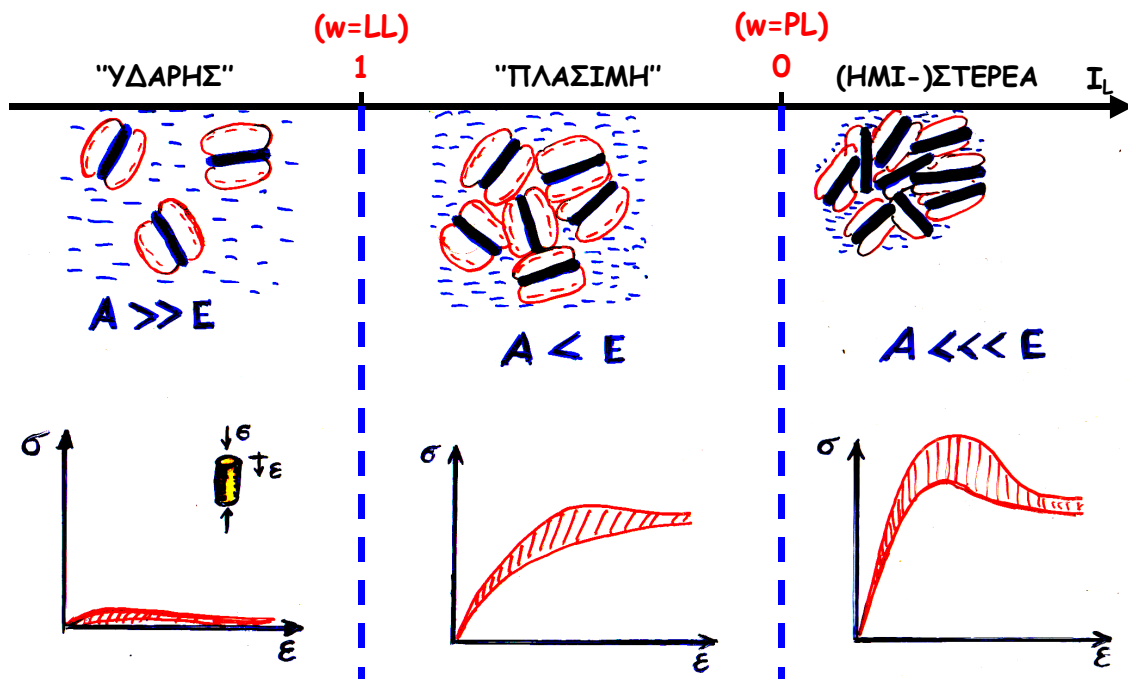
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

Μηχανική Συμπεριφορά ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ εδαφών

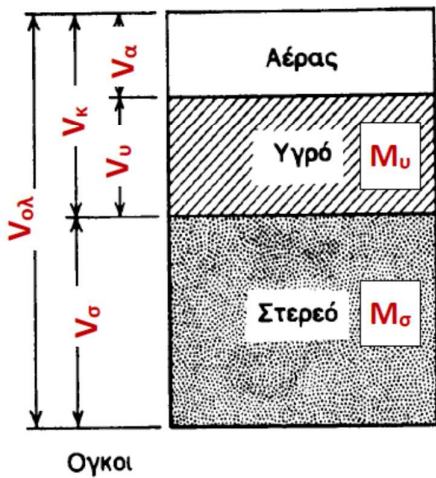
Μεγάλη η σημασία της υγρασίας...



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Εξειδικευμένο Εδαφικό Στοιχείο **Φύση του εδάφους**



Πορώδες $n = V_{\kappa} / V_{\text{ολ}}$ (< 1)

Δείκτης πόρων $e = V_{\kappa} / V_{\sigma}$ ($e > 1$ δυνατόν)

Βαθμός κορεσμού $S_r = V_{\upsilon} / V_{\kappa}$ ($\min S_r = 0$ & $\max S_r = 1$)

Ποσοστό υγρασίας $w = M_{\upsilon} / M_{\sigma}$ ($\min w = 0$, $w > 1$ δυνατόν)

Πυκνότητα του εδάφους $\rho = M_{\text{ολ}} / V_{\text{ολ}}$

Πυκνότητα των κόκκων $\rho_{\sigma} = M_{\sigma} / V_{\sigma}$

Πυκνότητα του νερού $\rho_{\upsilon} = M_{\upsilon} / V_{\upsilon} = 1 \text{ Mg/m}^3 = 1 \text{ kg/l} = 1 \text{ g/cm}^3$

Ειδική πυκνότητα κόκκων (specific density) = $\rho_{\sigma} / \rho_{\upsilon} = 2.5$ έως 2.8

Ειδικό βάρος (μοναδιαίο βάρος) του εδάφους (unit weight): $\gamma = \rho g$

Επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (αλλά $g = 10 \text{ m/s}^2$ αρκεί)

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

Δίδονται: $\rho = 1.76 \text{ Mg/m}^3$, $w = 10\%$, $\rho_{\sigma} = 2.7 \text{ Mg/m}^3$

Ζητούνται: S_r , e , ρ_{ξ} , $\rho_{\text{κορ}}$

Επίλυση για $V = 1 \text{ m}^3$

$w = M_{\upsilon} / M_{\sigma} = 0.10$ και $\rho V = M_{\upsilon} + M_{\sigma} = 1.76 \text{ Mg}$

$\Rightarrow M_{\upsilon} = 0.16 \text{ Mg}$ & $M_{\sigma} = 1.60 \text{ Mg}$ $\Rightarrow V_{\upsilon} = 0.16 \text{ Mg} / \rho_{\upsilon} = 0.16 \text{ m}^3$

$\Rightarrow V_{\sigma} = 1.60 \text{ Mg} / \rho_{\sigma} = 0.59 \text{ m}^3$

$\Rightarrow V_{\alpha} = V - V_{\upsilon} - V_{\sigma} = 0.25 \text{ m}^3$

Άρα: $S_r = V_{\upsilon} / (V_{\upsilon} + V_{\alpha}) = 0.16 / (0.16 + 0.25) = 0.39$ ή **39%**

$e = (V_{\upsilon} + V_{\alpha}) / V_{\sigma} = 0.41 / 0.59 = \mathbf{0.69}$

$\rho_{\xi} = M_{\sigma} / V = 1.60 \text{ Mg} / 1 \text{ m}^3 = \mathbf{1.60 \text{ Mg/m}^3}$

$\rho_{\text{κορ}} = [M_{\sigma} + \rho_{\upsilon}(V_{\upsilon} + V_{\alpha})] / V = (1.60 + 0.41) / 1 = \mathbf{2.01 \text{ Mg/m}^3}$

όλα τα κενά με νερό

... εναλλακτικά από τις «χρήσιμες» σχέσεις

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

Χρήσιμες σχέσεις

$$\rho = \rho_{\sigma} \left(\frac{1+w}{1+e} \right) \quad , \quad \rho_{\sigma} w = S_r e \rho_v \quad , \quad n = e/(1+e) \quad , \quad e = n/(1-n)$$

Πυκνότητα ξηρού εδάφους ($S_r = 0, w = 0$), ρ_{ξ}

$$\rho_{\xi} = \rho_{\sigma} \left(\frac{1}{1+e} \right)$$

Πυκνότητα κορεσμένου εδάφους ($S_r = 1$), $\rho_{\text{κορ}}$

$$\rho_{\text{κορ}} = \frac{\rho_{\sigma} + e \rho_v}{1+e} = \rho_{\xi} (1+w)$$

Υπενθύμιση μονάδων

Βασικές μονάδες Μήκος **m** = μέτρο, Μάζα **kg** = κιλό (και Mg = 1000 kg, g = 0.001 kg), Χρόνος **s** (και sec) = δευτερόλεπτο

Παράγωγες μονάδες Δύναμη **N** (Νιούτον) = kg m/s² (και **kN** = 1000 N, **MN**=1000 kN), Πίεση **kPa** (κιλοπασκάλ) = kN/m² (και μεγαπασκάλ MPa = 1000 kPa)

Ειδικό (μοναδιαίο) βάρος: $\gamma = \rho g$

kN/m^3 Mg/m^3 m/s^2

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Φύση του εδάφους

Δίδονται: $\rho = 1.76 \text{Mg/m}^3$, $w=10\%$, $\rho_{\sigma} = 2.7 \text{Mg/m}^3$ Ζητούνται: S_r , e , ρ_{ξ} , $\rho_{\text{κορ}}$

... εναλλακτικά από τις «χρήσιμες» σχέσεις

$$\rho = \rho_{\sigma} (1+w)/(1+e) \quad \rightarrow \quad e = (\rho_{\sigma} / \rho) (1+w) - 1 \quad \rightarrow \quad e = \mathbf{0.69}$$

$$(\rho_{\sigma} / \rho_w) w = S_r e \quad \rightarrow \quad S_r = (\rho_{\sigma} / \rho_w) (w/e) \quad \rightarrow \quad S_r = 0.39 \text{ ή } \mathbf{39\%}$$

$$\rho_{\xi} = \rho(w=0) = \rho_{\sigma} / (1+e) \quad \rightarrow \quad \rho_{\xi} = \mathbf{1.6 \text{ Mg/m}^3} \text{ (αλλάζει το } w, \text{ όχι το } e)$$

$$\rho_{\text{κορ}} = \rho(w' \neq w, \text{ αλλά ίδιο } e)$$

$$(\rho_{\sigma} / \rho_w) w' = 1.0 e \quad \rightarrow \quad w' = (\rho_w / \rho_{\sigma}) e \quad \rightarrow \quad w' = 0.255 \text{ (από } 0.10)$$

$$\rho_{\text{κορ}} = \rho_{\sigma} (1+w') / (1+e) \quad \rightarrow \quad \rho_{\text{κορ}} = \mathbf{2.01 \text{ Mg/m}^3} \text{ (αλλάζει το } w, \text{ όχι το } e)$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

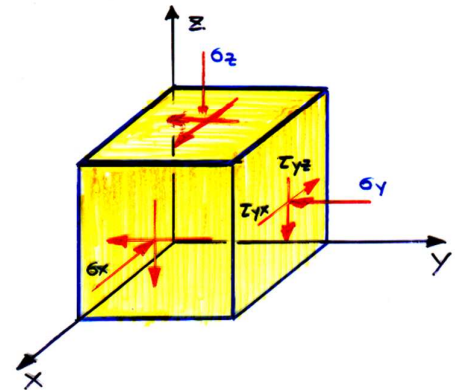
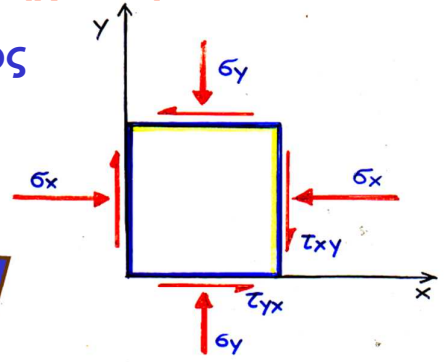
Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Τάσεις στο έδαφος

Ποια (θετική) τάση είναι σχεδιασμένη λάθος;

Θετικές φορές των τάσεων που ασκούνται σε **εδαφικό ΣΗΜΕΙΟ**

! Ο ορισμός είναι συνάρτηση του συστήματος συντεταγμένων



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

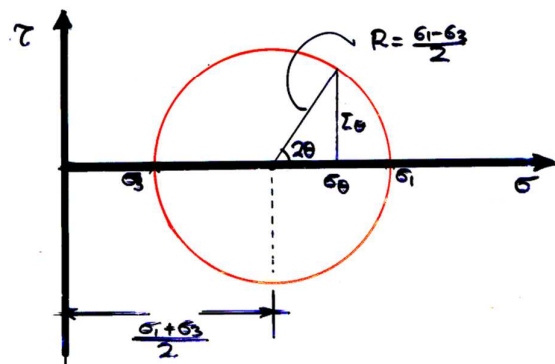
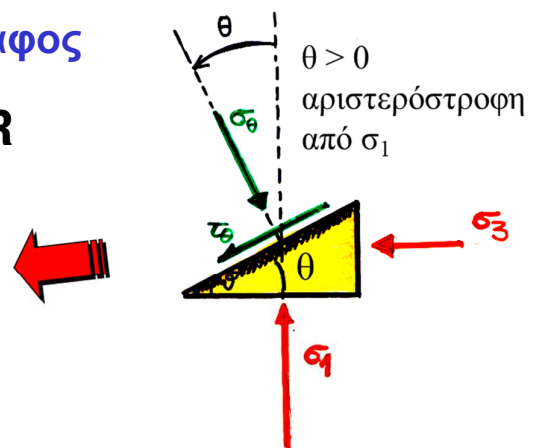
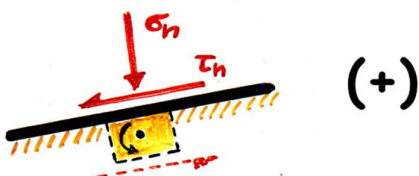
Τάσεις στο έδαφος

Τάσεις σε επίπεδο: κύκλος MOHR

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \cos 2\theta$$

$$\tau_{\theta} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \sin 2\theta$$

Θετικές φορές των τάσεων που ασκούνται σε **ΕΠΙΠΕΔΟ**



Το κέντρο Κ βρίσκεται στην τομή της μεσοκαθέτου της χορδής με τον άξονα των σ
Εδώ: χορδή = διάμετρος

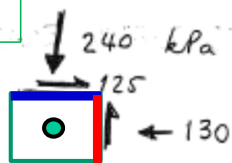
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Τάσεις στο έδαφος

(σ, τ) σε 2 επίπεδα

Δίνονται:

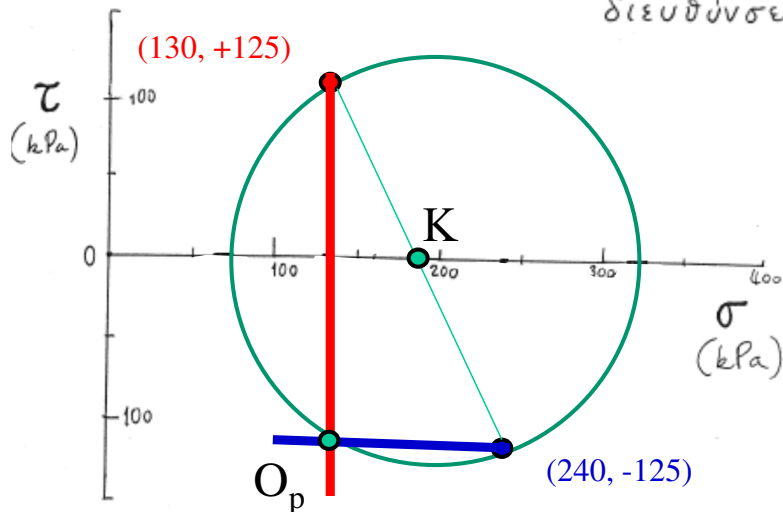


Ζητούνται:

$\sigma_1, \sigma_3, \tau_{max}$
και οι διευθύνσεις τους

Οριζόντιο: (240, -125)

Κατακόρυφο: (130, +125)



Εύρεση πόλου:

1. Από μπλε σημείο φέρνω διεύθυνση μπλε επίπεδου
2. Πόλος O_p = όπου τέμνει κύκλο Mohr

Ισοδύναμα...

1. Από κόκκινο σημείο φέρνω διεύθυνση κόκκινου επιπέδου

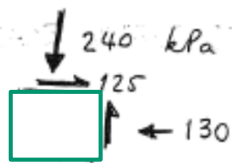
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Τάσεις στο έδαφος

Αναλυτικά:

Δίνονται:

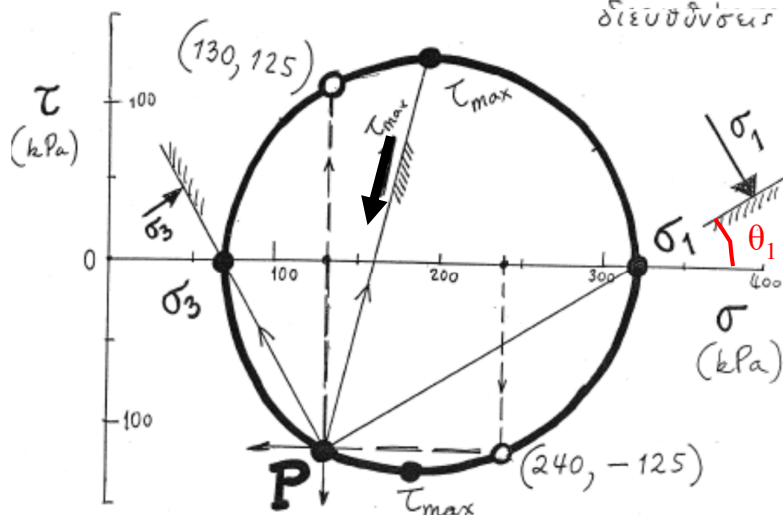


Ζητούνται:

$\sigma_1, \sigma_3, \tau_{max}$
και οι διευθύνσεις τους

$$\text{Κέντρο } K(\sigma, 0) = \frac{130+240}{2}, 0 = (185, 0)$$

$$\text{Ακτίνα } R = \frac{1}{2} \sqrt{(240-130)^2 + 125^2} = 136.6$$



$$\tan \theta_1 = \frac{125}{\sigma_1 - 130} \rightarrow \theta_1 = 33^\circ$$

$$\sigma_1 \approx 320 \text{ kPa}, \quad \sigma_3 \approx 50 \text{ kPa}$$

$$\tau_{max} \approx 135 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1 = K + R = 185 + 136.6 = 321.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma_3 = K - R = 185 - 136.6 = 48.4 \text{ kPa}$$

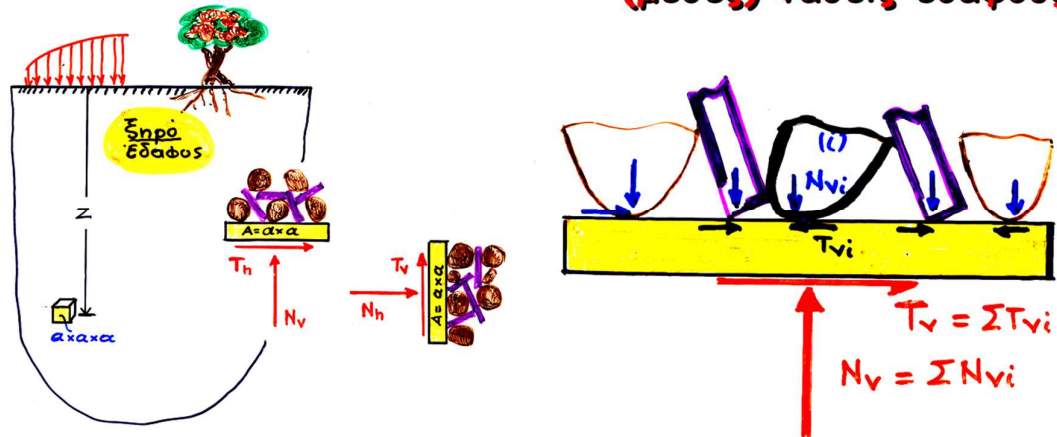
$$\tau_{max} = R = 136.6 \text{ kPa}$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Τάσεις στο έδαφος

(μέσες) τάσεις εδάφους



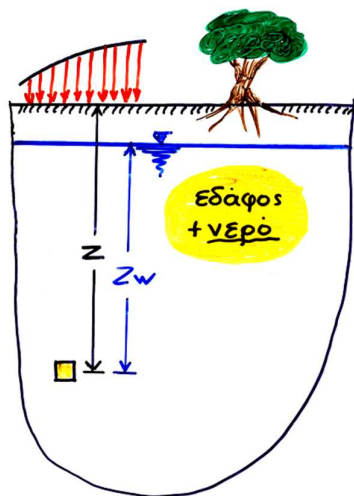
$$\sigma_v = \frac{N_v}{a^2} = \frac{\sum N_{vi}}{a^2} \quad , \quad \tau_v = \frac{T_v}{a^2} = \frac{\sum T_{vi}}{a^2}$$

$$\sigma_h = \frac{N_h}{a^2} = \frac{\sum N_{hi}}{a^2} \quad , \quad \tau_h = \frac{T_h}{a^2} = \frac{\sum T_{hi}}{a^2}$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Ενεργές Τάσεις στο έδαφος



ορθές τάσεις

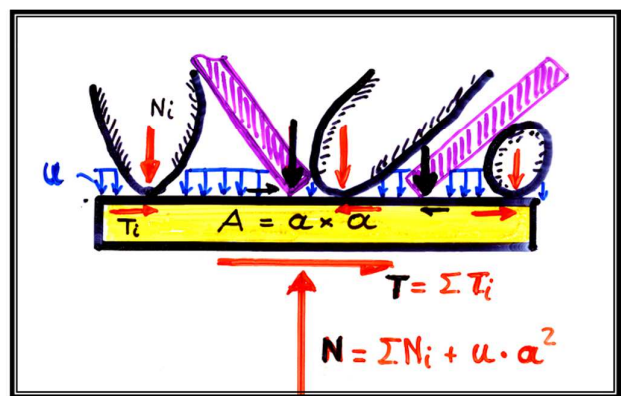
$$\sigma = \frac{N}{a^2} = \frac{\sum N_i}{a^2} + u$$

$$\sigma = \sigma' + u$$

(συν-) ολική τάση ενεργός τάση πίεση πόρων

διατμητικές τάσεις

$$\tau = \frac{\sum T_i}{a^2} (= \tau')$$



ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Αρχή της Ενεργού Τάσης

1.

$$\sigma = \sigma' + u$$
$$\tau = \tau'$$

2.

Η διατμητική αντοχή του εδάφους

εξαρτάται μόνον από τις ενεργές τάσεις σ'

$$(\tau_{αστοχίας} = c + \sigma' \tan \varphi)$$

3.

Παραμορφώσεις έχουμε μόνον
όταν μεταβληθούν οι ενεργές
τάσεις

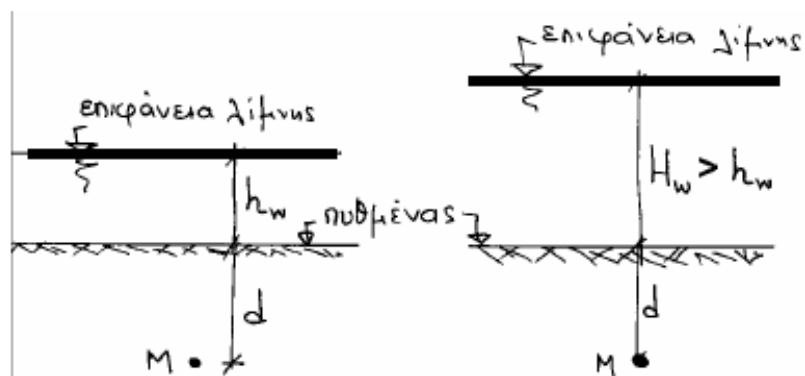
$$\sigma' \rightarrow \sigma' + \Delta \sigma'$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Αρχή της Ενεργού Τάσης

Συμπιέζεται ο πυθμένας λίμνης, εάν μεταβληθεί το βάθος του νερού ;



$$\sigma_v = h_w \gamma_w + d \gamma \quad \sigma_v = H_w \gamma_w + d \gamma$$

$$u = (h_w + d) \gamma_w \quad u = (H_w + d) \gamma_w$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = d (\gamma - \gamma_w) = d \gamma'$$

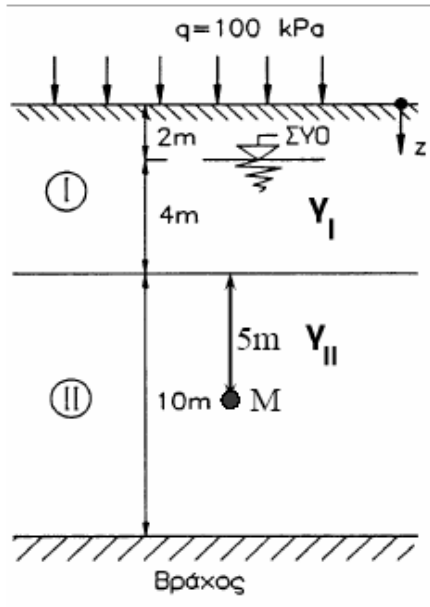
Η ενεργός τάση δεν μεταβάλλεται. Άρα ο πυθμένας δεν συμπιέζεται.

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Γεωστατικές Τάσεις στο έδαφος

Γεωστατικές τάσεις - Παράδειγμα εφαρμογής



Εδαφος I : $\gamma=18\text{kN/m}^3$, $\gamma_{\text{κορ}}=19\text{kN/m}^3$, $K_o=0.4$

Εδαφος II $\gamma_{\text{κορ}}=20\text{kN/m}^3$, $K_o=0.5$

Γεωστατικές τάσεις στο σημείο M :

$$\sigma_v = 100 + 2 \times 18 + 4 \times 19 + 5 \times 20 = 312 \text{ kPa}$$

$$u = 9 \times 10 = 90 \text{ kPa}$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u = 312 - 90 = 222 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h' = 0.5 \times 222 = 111 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = \sigma_h' + u = 111 + 90 = 201 \text{ kPa}$$

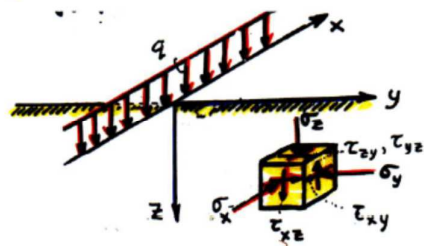
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Επίπεδη παραμόρφωση

Επιφορτικές τάσεις

1. Απειροστικές "γραμμικό" κατανεμημένο φορτίο



φορτίο q σε kN/m
z, y σε m
τάσεις σε kPa

$$\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \frac{z^3}{(y^2 + z^2)^2}$$

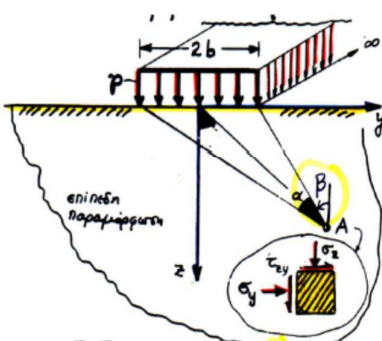
$$\sigma_y = \frac{2q}{\pi} \frac{y^2 z}{(y^2 + z^2)^2}$$

$$\tau_{zy} = \tau_{yz} = \frac{2q}{\pi} \frac{yz^2}{(y^2 + z^2)^2}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xy} = 0 \quad , \quad \epsilon_x = \nu_{xz} = \nu_{xy} = 0$$

$$\sigma_x = \nu(\sigma_y + \sigma_z)$$

2. Ομοιόμορφη πίεση σε απειροστική λωρίδα



πίεση p σε kPa
α σε ακτίνια (rad)
τάσεις σε kPa

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} [a + \sin a \cdot \cos(a + 2\beta)]$$

$$\sigma_y = \frac{p}{\pi} [a - \sin a \cdot \cos(a + 2\beta)]$$

$$\tau_{yz} = \frac{p}{\pi} \sin a \cdot \sin(a + 2\beta) \quad \sigma_x = \nu(\sigma_y + \sigma_z)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xy} = 0 \quad , \quad \epsilon_x = \nu_{xz} = \nu_{xy} = 0$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}^2} = \frac{p}{\pi} [a + \sin(a)]$$

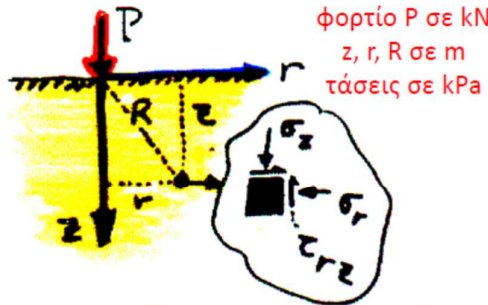
$$\sigma_3 = \frac{p}{\pi} [a - \sin(a)], \quad \tau_{max} = \frac{p}{\pi} \sin(a)$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Αξονο-συμμετρική φόρτιση

3. Συγκεντρωμένο σημειακό φορτίο



Επιφορτικές τάσεις

$$\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi R^5} = \frac{3P}{2\pi z^2} \frac{I}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left\{ \frac{3r^2z}{R^3} - \frac{(1-2\nu)R}{R+z} \right\}$$

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi R^5} rz^2, \quad \sigma_\theta = -\frac{(1-2\nu)P}{2\pi R^2} \left\{ \frac{z}{R} - \frac{R}{R+z} \right\}$$

$$R = \sqrt{r^2 + z^2}$$

$$\tau_{\theta z} = \tau_{\theta r} = 0$$

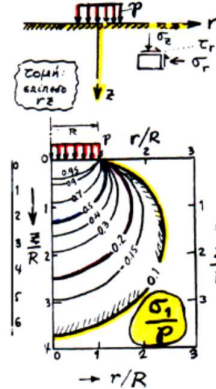
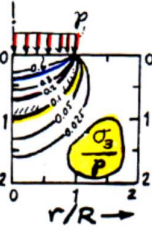
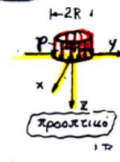
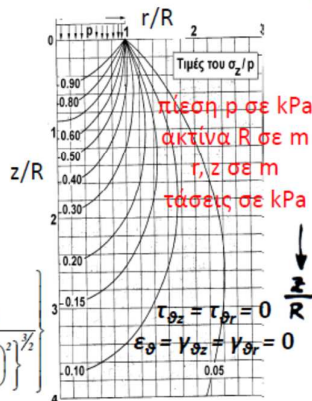
$$\epsilon_\theta = \nu_{\theta z} = \nu_{\theta r} = 0$$

4. Ομοιόμορφη πίεση σε κυκλική επιφάνεια

για r = 0 μόνο:

$$\frac{\sigma_z}{p} = 1 - \frac{I}{\left\{1 + \left(\frac{R}{z}\right)^2\right\}^{3/2}}$$

$$\frac{\sigma_r}{p} = \frac{\sigma_\theta}{p} = \frac{I}{2} \left\{ (1+2\nu) - \frac{2(1+\nu)}{\left\{\left(\frac{R}{z}\right)^2 + 1\right\}^{1/2}} + \frac{I}{\left\{1 + \left(\frac{R}{z}\right)^2\right\}^{3/2}} \right\}$$



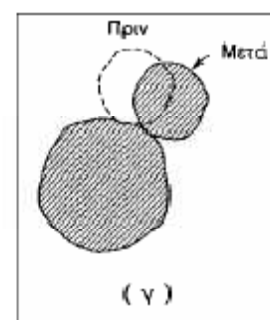
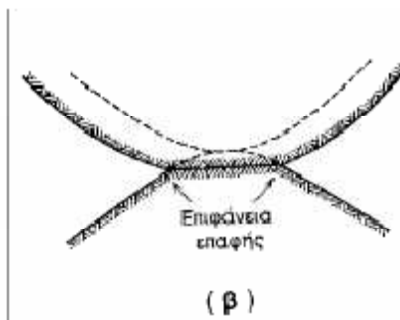
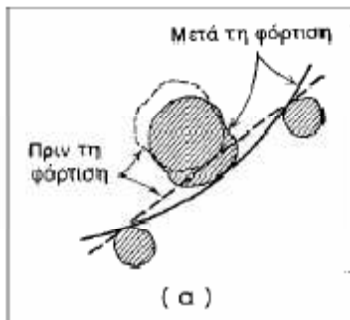
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Παραμορφώσεις στο έδαφος

Τα εδαφικά υλικά παραμορφώνονται με τους εξής μηχανισμούς :

- (α) Ελαστική παραμόρφωση των κόκκων
- (β) Θραύση των αιχμών στις επαφές μεταξύ των κόκκων, λόγω μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων
- (γ) Ολίσθηση και κύλιση μεταξύ των κόκκων



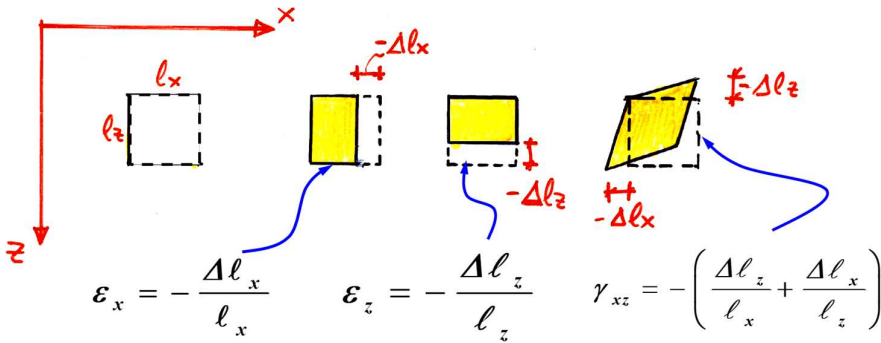
- Από τους ανωτέρω μηχανισμούς, σημαντικότερος είναι ο (γ).
- Αρα, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι κόκκοι είναι πρακτικώς απαραμόρφωτοι
- Ο μηχανισμός (α) είναι αναστρέψιμος, δηλαδή ελαστικός, ενώ οι (β) και (γ) είναι μη-αναστρέψιμοι, δηλαδή ανελαστικοί

Αρα, η παραμόρφωση των εδαφικών υλικών είναι κυρίως ανελαστική

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Τάσεις & Παραμορφώσεις στο έδαφος



Γραμμική Ισότροπη
Ελαστικότητα

$$\Delta \varepsilon_{xx} = \frac{1}{E} [\Delta \sigma'_{xx} - \nu (\Delta \sigma'_{yy} + \Delta \sigma'_{zz})]$$

$$\Delta \varepsilon_{yy} = \frac{1}{E} [\Delta \sigma'_{yy} - \nu (\Delta \sigma'_{zz} + \Delta \sigma'_{xx})]$$

$$\Delta \varepsilon_{zz} = \frac{1}{E} [\Delta \sigma'_{zz} - \nu (\Delta \sigma'_{xx} + \Delta \sigma'_{yy})]$$

$$\Delta \gamma_{xy} = \frac{1}{G} \Delta \sigma'_{xy}$$

$$\Delta \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \Delta \sigma'_{yz}$$

$$\Delta \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \Delta \sigma'_{zx}$$

Ελαστικά μέτρα παραμόρφωσης

Το μέτρο διάτμησης: $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

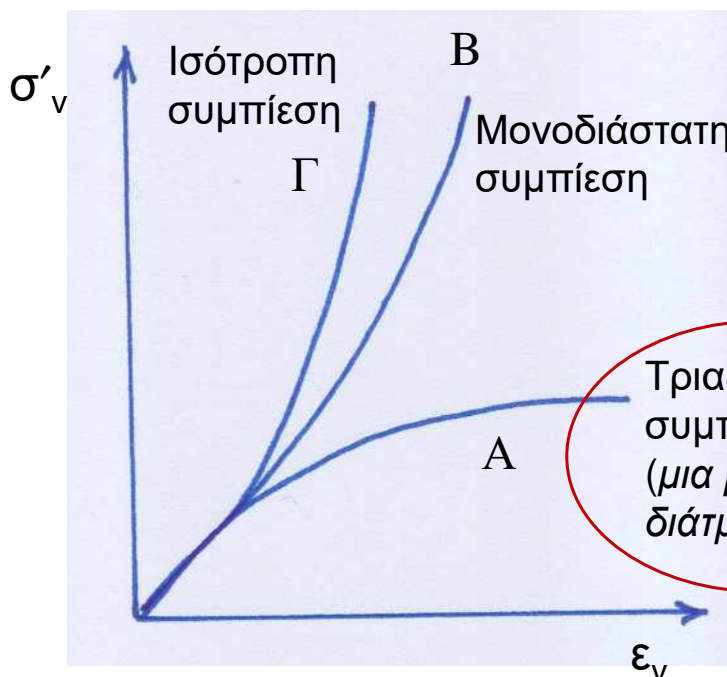
Το μέτρο ισότροπης συμπίεσης: $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$

Το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης: $D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Τάσεις & Παραμορφώσεις στο έδαφος



δυνατότητα
διάτμητικής
αστοχίας

Τριαξονική
συμπίεση
(μια μορφή
διάτμησης)

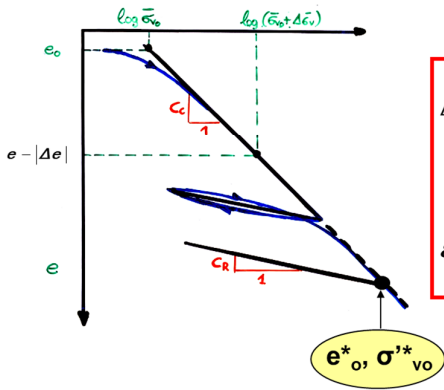
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Συμπύεση

Τάσεις & Παραμορφώσεις στο έδαφος

$$\Delta e = -C_{c,R} \log_{10} \frac{\sigma'_{V,final}}{\sigma'_{V,init}}$$



Φόρτιση:

$$\Delta e = -C_c \log \frac{\bar{\sigma}_{vo} + \Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{vo}} < 0$$

$$\varepsilon_v = -\frac{\Delta e}{1+e_o} = \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{\bar{\sigma}_{vo} + \Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{vo}} > 0 \text{ (καθίζηση)}$$

$$s = H \varepsilon_v > 0$$

Αποφόρτιση:

$$\Delta e = -C_R \log \frac{\bar{\sigma}_{vo}^* - \Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{vo}^*} > 0$$

$$\varepsilon_v = -\frac{\Delta e}{1+e_o^*} = +\frac{C_R}{1+e_o^*} \log \frac{\bar{\sigma}_{vo}^* - \Delta \bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_{vo}^*} < 0 \text{ (ανύψωση)}$$

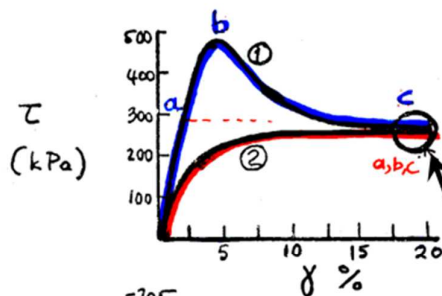
$$s = H^* \varepsilon_v < 0$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διάτμηση

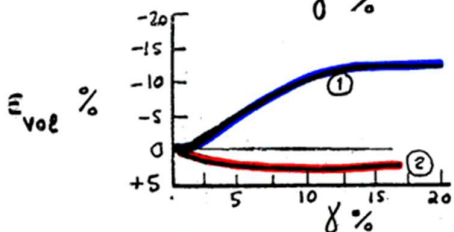
Τάσεις & Παραμορφώσεις στο έδαφος



δ. Άμμοι - επίδραση Dr

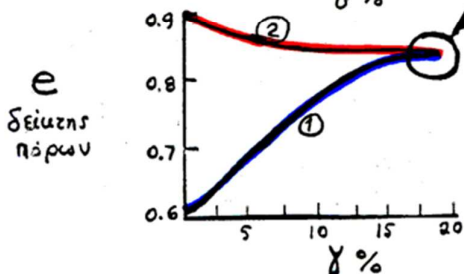
1 $e_o = 0.60, D_r = 99\%$

2 $e_o = 0.89, D_r = 14\%$



παραμένουσα διατμητική αντοχή
(ανεξάρτητη της αρχικής Dr, εξαρτάται
μόνον από την κατακόρυφη τάση σ'v)

+



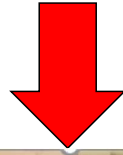
τελικός δείκτης πόρων e_{cr}
(ανεξάρτητος της αρχικής Dr, εξαρτάται
μόνον από την κατακόρυφη τάση σ'v)



**ΚΡΙΣΙΜΗ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

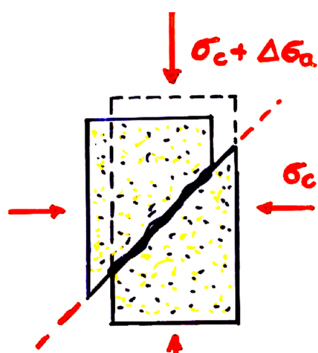
Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;



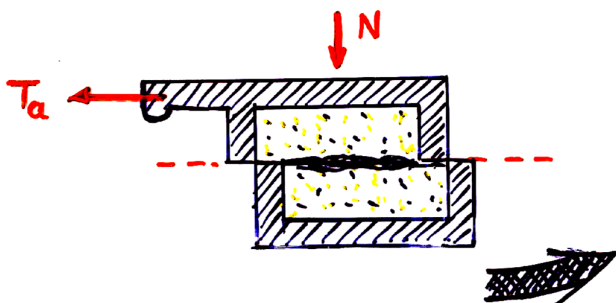
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

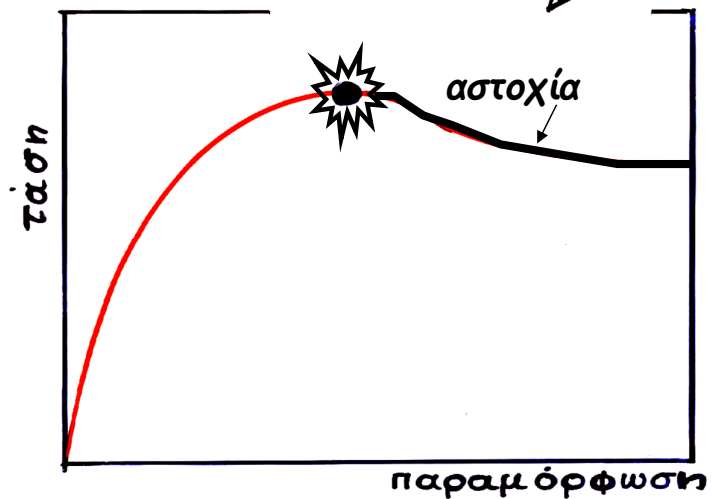
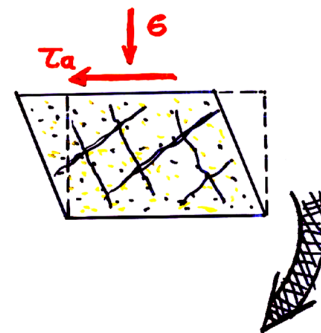
τριαξονική φόρτιση



απ'ευθείας διάτμηση



απλή διάτμηση



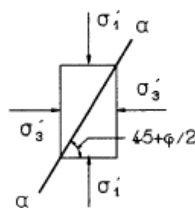
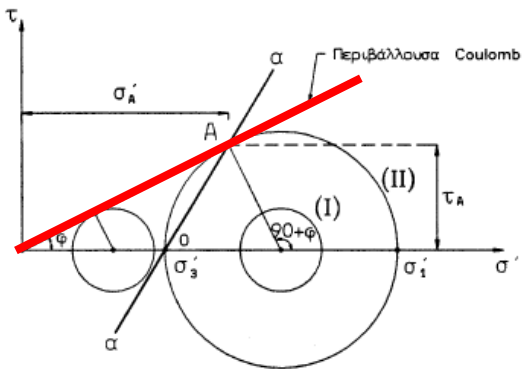
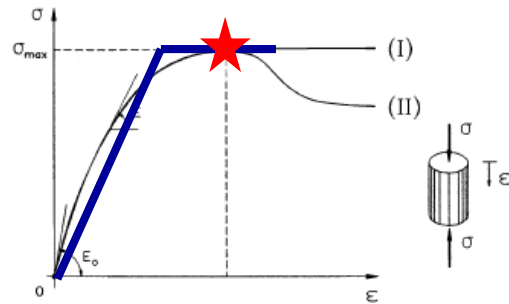
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Μη – γραμμική συμπεριφορά

Αντοχή χονδρόκοκκων εδαφών



Προσομοίωση ως...
Ελαστική – Απολύτως
πλαστική συμπεριφορά

$$\tau_\alpha = \sigma' \tan \phi'$$

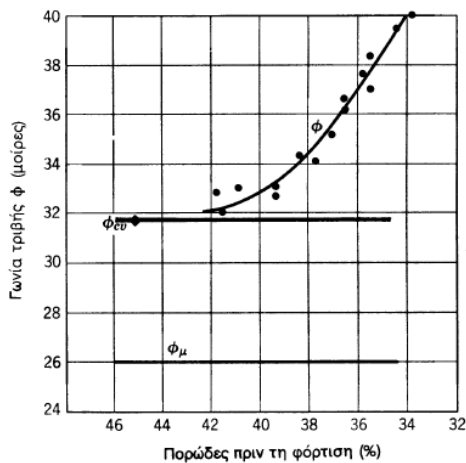
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Αντοχή χονδρόκοκκων εδαφών

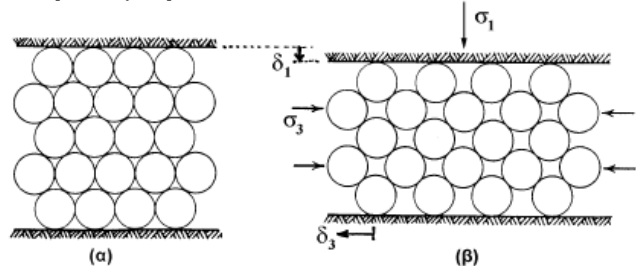
$$\tau_\alpha = \sigma' \tan \phi'$$



μέγιστη γωνία τριβής

(πυκνή δομή εδώ)

επιβολή
διάτμησης



$$\Delta V = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = -1.88 \delta_1$$

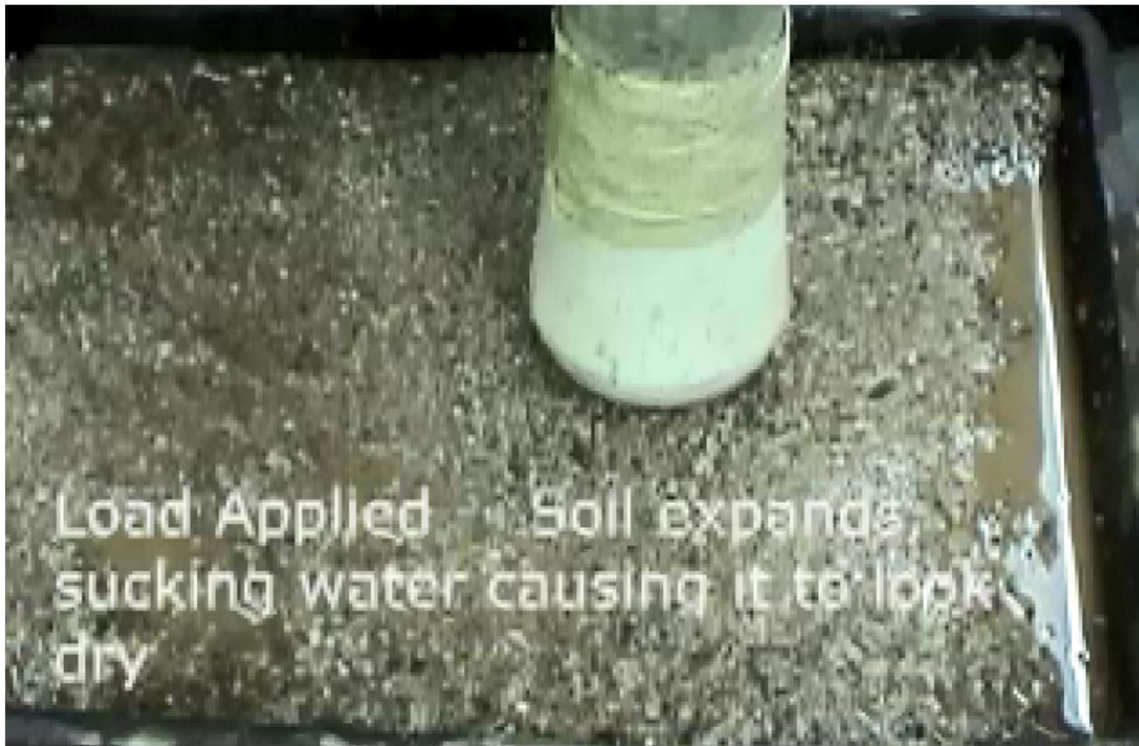
μεταβολή όγκου (αύξηση εδώ)

διαστολικότητα = μεταβολή
όγκου λόγω διάτμησης,
όχι συμπίεσης

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διαστολικότητα Εδαφών



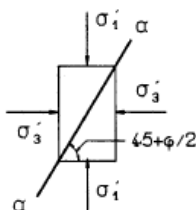
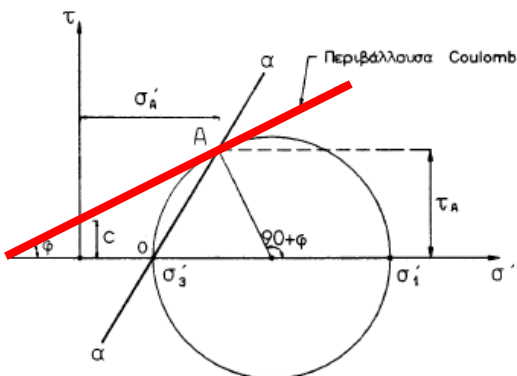
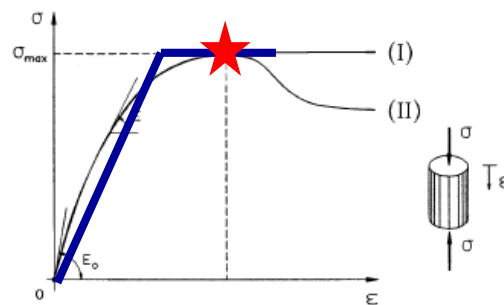
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

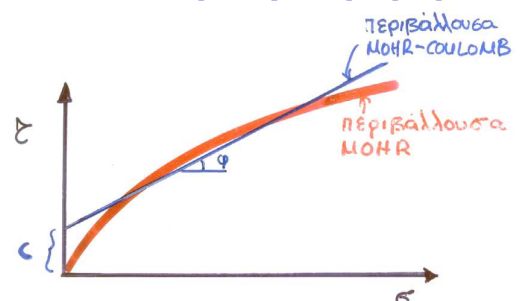
Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Μη – γραμμική συμπεριφορά

Αντοχή ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ εδαφών



Προσομοίωση ως...
Ελαστική – Απολύτως
πλαστική συμπεριφορά



$$\tau_{\alpha} = c' + \sigma' \tan \phi'$$

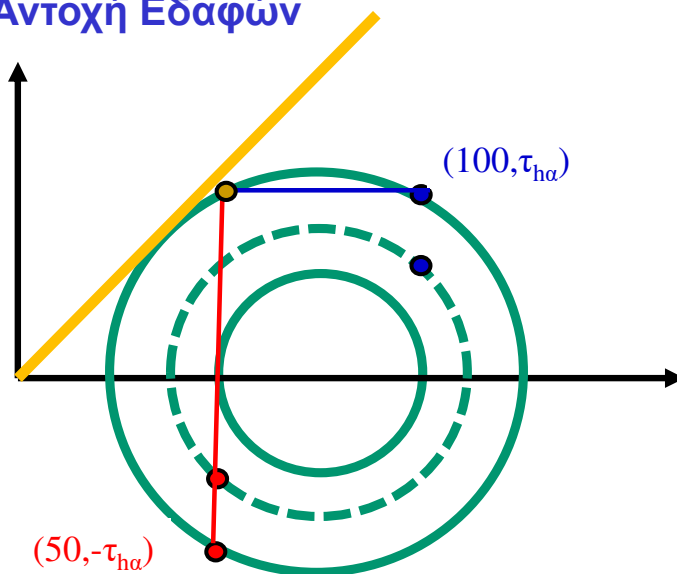
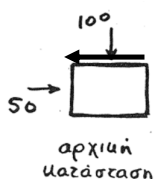
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Δοκιμή απλής διάζμησης με αμμο.
 Δίνονται: $K_o = 0.5$, $\phi = 45^\circ$, $\bar{\sigma}_v = 100 \text{ kPa}$

- Ζητούνται: (1) $\tau_{h,A}$
 (2) οι κύκλοι Mohr < αρχικός αστοχίας
 (3) τ_A και το επίπεδο της
 (4) $\bar{\sigma}_{1,A}$ και $\tau_{\max,A}$ και τα επίπεδα τους. Οι διαθέσιμες διατμητικές αντοχές στα επίπεδα αυτά.



οριζόντιο $(100, +\tau_h)$
 κατακόρυφο $(50, -\tau_h)$

Εύρεση πόλου:

- Από μπλε σημείο φέρνω διεύθυνση μπλε επίπεδου
- Πόλος O_p = όπου τέμνει κύκλο Mohr

Ισοδύναμα...

- Από κόκκινο σημείο φέρνω διεύθυνση κόκκινου επιπέδου

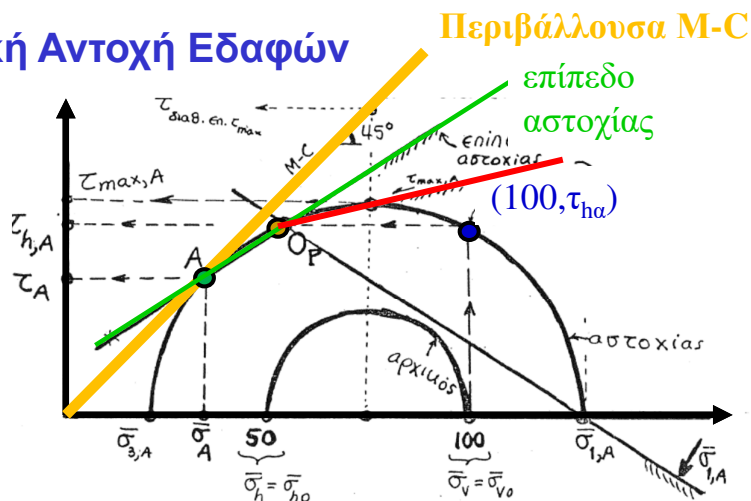
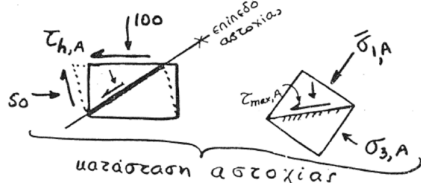
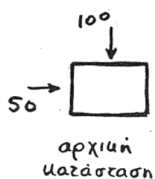
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Δοκιμή απλής διάζμησης με αμμο.
 Δίνονται: $K_o = 0.5$, $\phi = 45^\circ$, $\bar{\sigma}_v = 100 \text{ kPa}$

- Ζητούνται: (1) $\tau_{h,A}$
 (2) οι κύκλοι Mohr < αρχικός αστοχίας
 (3) τ_A και το επίπεδο της
 (4) $\bar{\sigma}_{1,A}$ και $\tau_{\max,A}$ και τα επίπεδα τους. Οι διαθέσιμες διατμητικές αντοχές στα επίπεδα αυτά.



$$\sigma'_{1A} = 128 \text{ kPa} \quad \sigma'_{3A} = 22 \text{ kPa}$$

$$\tau_{hA} = 46.8 \text{ kPa}$$

O_p : πόλος κύκλου αστοχίας

A: σημείο αστοχίας

$\tau_A = 37.5 \text{ kPa} \dots 36.6^\circ$ ως προς οριζόντια

$\tau_{\max,A} = 53 \text{ kPa} \dots 14.1^\circ$ ως προς οριζόντια

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

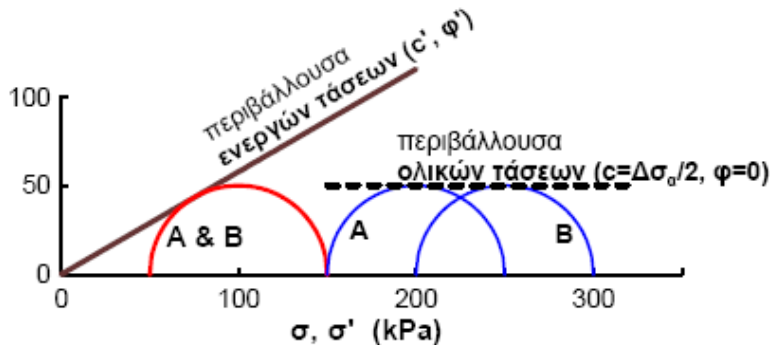
Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Αντοχή λεπτόκοκκων εδαφών

$$\tau_a = c' + \sigma' \tan \phi' \quad \text{σε όρους ενεργών τάσεων...}$$

... αλλά λόγω χαμηλής διαπερατότητας, η παραμόρφωση της αργίλου υπό **ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ** συνθήκες οδηγεί σε... **άγνωστες** υπερπίεσεις πόρων



Αντοχή λεπτόκοκκων εδαφών υπό **αστράγγιστες** συνθήκες

$$\tau_a = C_u \text{ ή } S_u \quad \text{σε όρους ολικών τάσεων...}$$

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

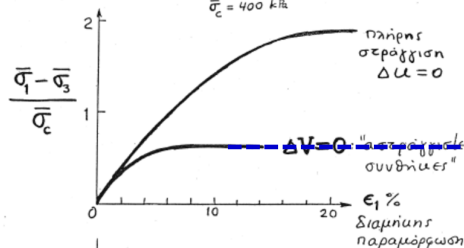
Τι μάθαμε στην Εδαφομηχανική I;

Διατμητική Αντοχή Εδαφών

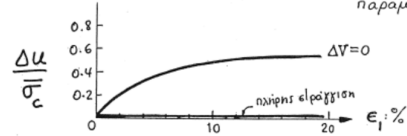
Αστράγγιστη Διατμητική Αντοχή (λεπτόκοκκων εδαφών) $\tau_a = C_u \text{ ή } S_u$

1^ο παράδειγμα: απροφόρτιστη άρχιλος

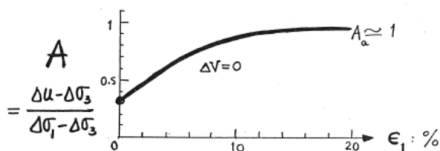
$$\bar{\sigma}_c = 400 \text{ kPa}$$



«χαμηλή» $2S_u/\sigma'_c$



$$\Delta u_a \gg 0$$

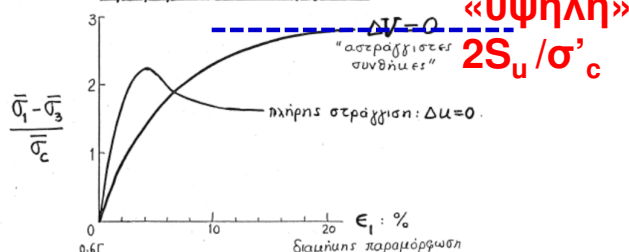


$$A_a \gg 0$$

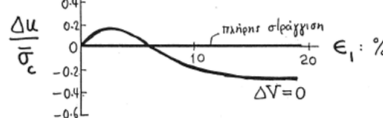
Είς μικρές ϵ_1 ($\epsilon_1 \rightarrow 0$) $A \sim \frac{1}{3} \therefore \Delta u \sim \Delta \sigma_{oct} = (\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2 + \Delta \sigma_3) \cdot \frac{1}{3}$

2^ο συγκριτικό παράδειγμα:

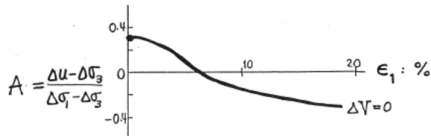
προφορτισμένη άρχιλος: OCR=6



«υψηλή» $2S_u/\sigma'_c$



$$\Delta u_a < 0$$



$$A_a < 0$$

Και πάλι $A \approx \frac{1}{3}$ για $\epsilon_1 \rightarrow 0$ (ελαστική συμπεριφορά)