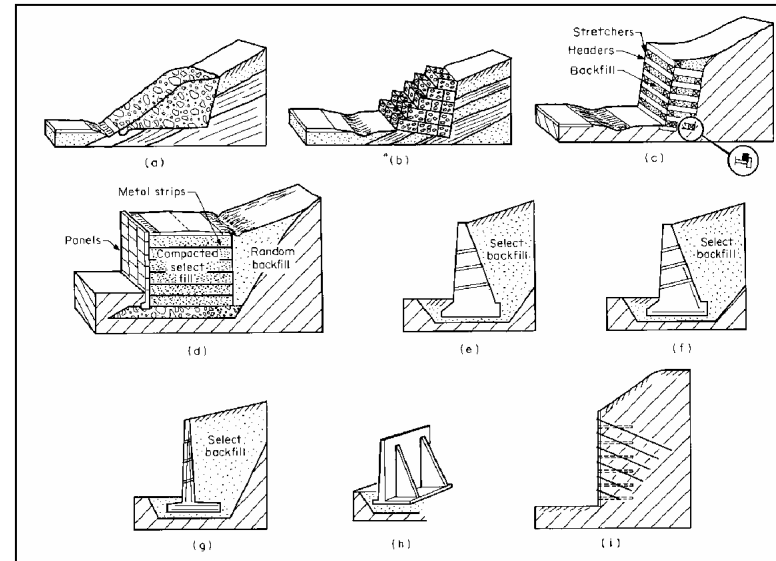


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ

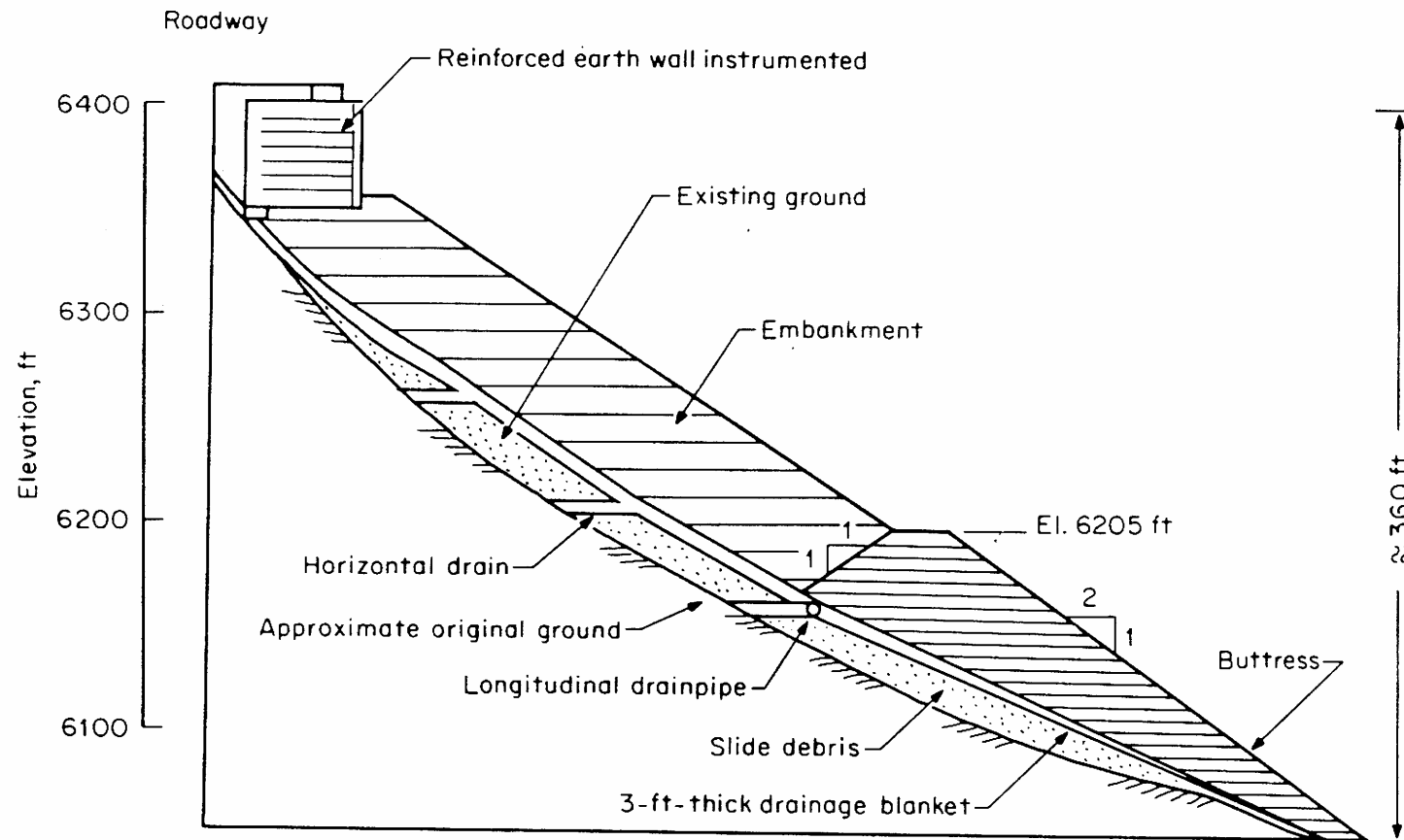
Various types of retaining walls

- Rock-filled butress
- Gabion wall
- Crib wall
- Reinforced earth wall
- Concrete gravity wall
- Concrete reinforced semigravity wall



- Counterfort wall
- Anchored curtain wall

Los Angeles - California County. Τμήμα του αυτοκινητόδρομου 39. Η κατολίσθηση και η αντιμετώπιση της άρχισαν το 1966. (Hunt, 1984).



Αστοχίες σε τοίχους αντιστήριξης

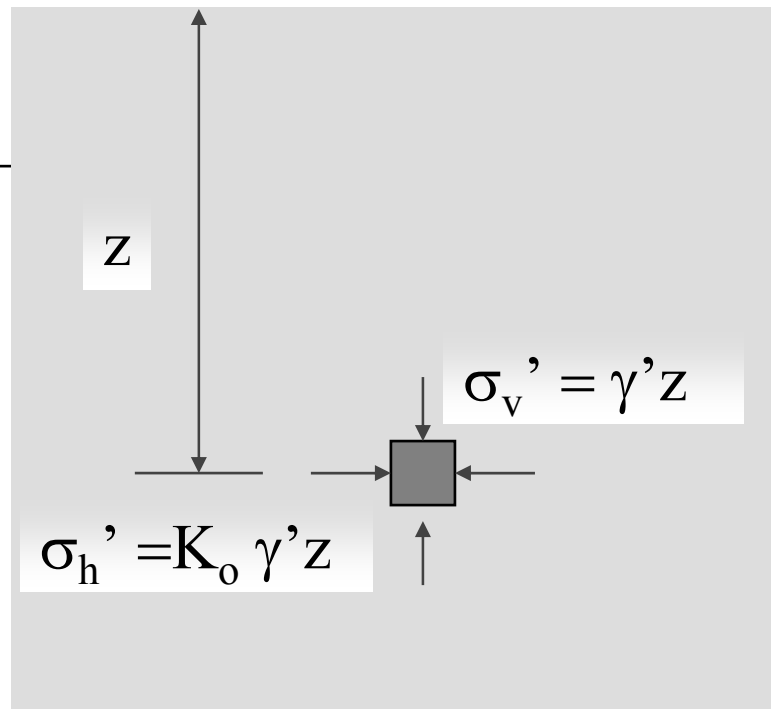


Αρχαιολογικός χώρος Ολυμπίας
Ο αρχαίος τοίχος αντιστήριξης βρίσκεται σε κατάσταση ανατροπής λόγω ενεργητικών ωθήσεων.



Υφιστάμενος εθνικός δρόμος
Μετσόβου - Ιωάννινα στη
θέση Περιστέρι

Πλευρικές τάσεις ασκούμενες εντός του εδάφους, σε βάθος z



$$\overline{\sigma}_h = K_o \overline{\sigma}_v$$

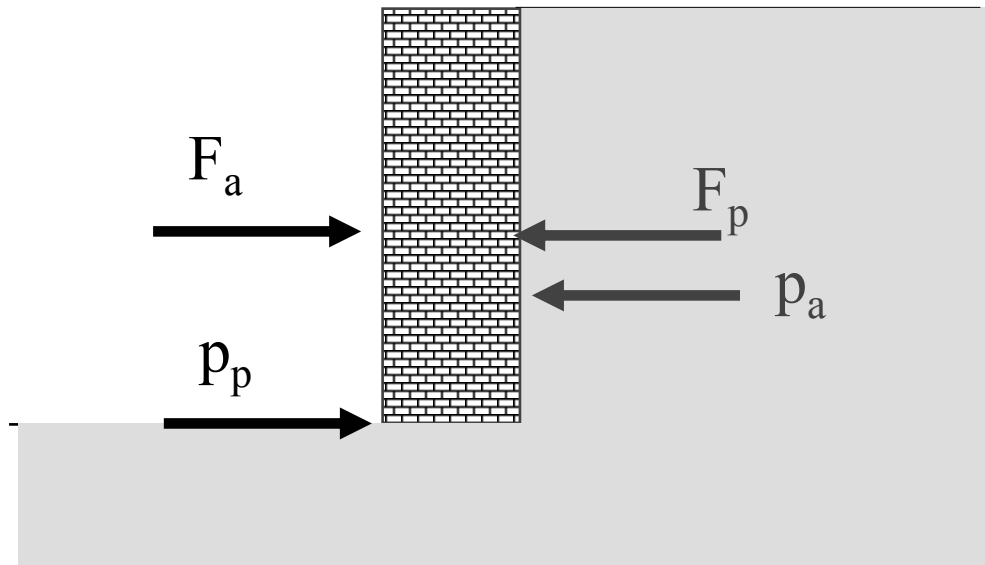
$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$K_o = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_o = 0.19 + 0.233 \log PI$$

$$\sigma_h = \overline{\sigma}_h + u$$

Συνθήκες αστοχίας - ισορροπίας



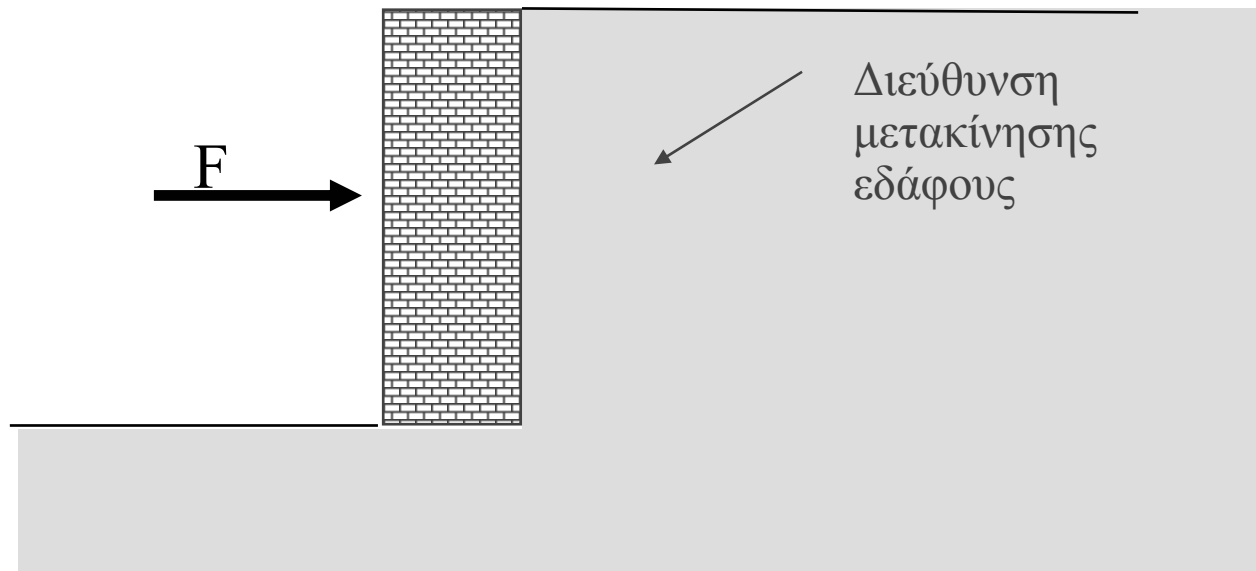
Ισορροπία του τοίχου:
 $F_p = F_a.$

Η ισορροπία του τοίχου επιτυγχάνεται με:

- αύξηση της τριβής στη βάση του τοίχου (τείχος βαρύτητας)
- θεμελίωση του τοίχου μέσα στο έδαφος
- αγκύρωση του τοίχου
- εφαρμογή εξωτερικού φορτίου

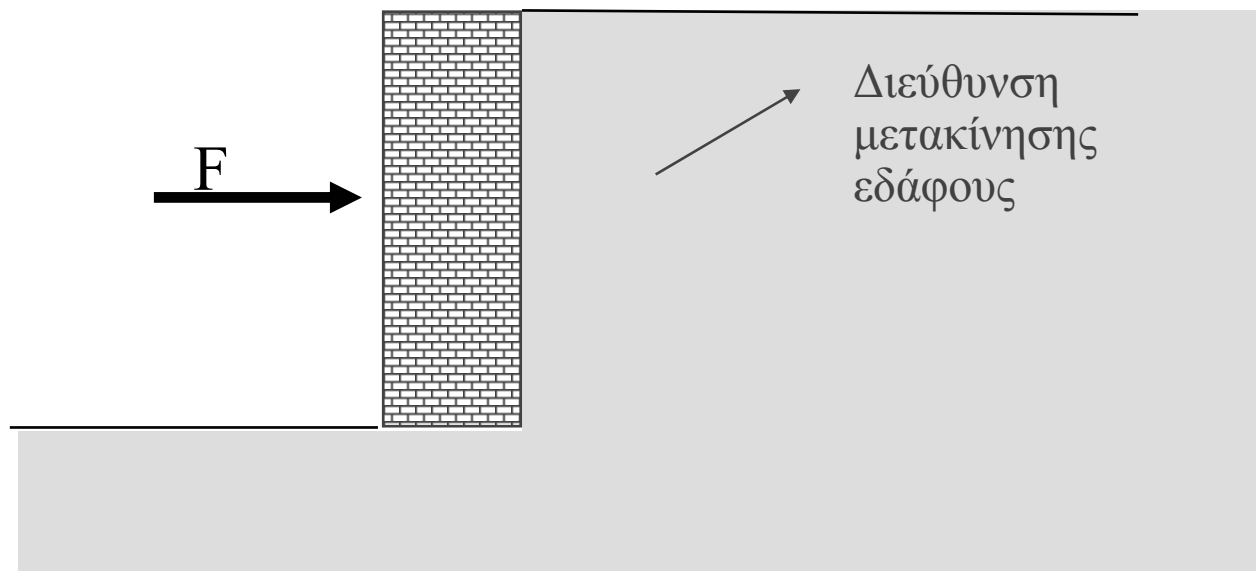
Ενεργητική τάση - ώθηση

Αν η δύναμη F είναι πολύ μικρή, τότε προκαλείται μετακίνηση ή αστοχία του τοίχου λόγω πίεσης (ενεργητικής ώθησης) του εδάφους επί του τοίχου αντιστήριξης.



Παθητική τάση - ώθηση

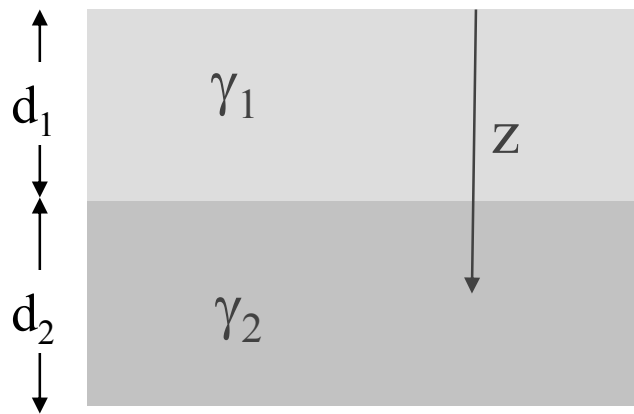
Αν η δύναμη F είναι πολύ μεγάλη, τότε η μετακίνηση ή η αστοχία του τοίχου προκαλείται με (οριζόντια) πίεση του τοίχου μέσα στο έδαφος



Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως με εφαρμογή εξωτερικού φορτίου

Θεωρία του Rankine

- Θεωρούμε ότι οι επιφάνειες του τοίχου αντιστήριξης δεν έχουν τριβή
- Η κάθετη τάση που εφαρμόζεται στον τοίχο αντιστήριξης, αντιστοιχεί, επομένως, σε κύρια τάση
- Εάν ο τοίχος αντιστήριξης είναι κατακόρυφος και η επιφάνεια του εδάφους οριζόντια, τότε οι κατακόρυφες και οριζόντιες τάσεις που ασκούνται εντός της αντιστηριζόμενης εδαφόμαζας, αντιστοιχούν σε κύριες τάσεις.
- Επομένως, η κατακόρυφη τάση υπολογίζεται με το συνήθη τρόπο:



Η κατακόρυφη ολική τάση υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_v = \gamma_1 d_1 + \gamma_2 (z - d_1)$$

Συντελεστής ενεργητικής ώθησης

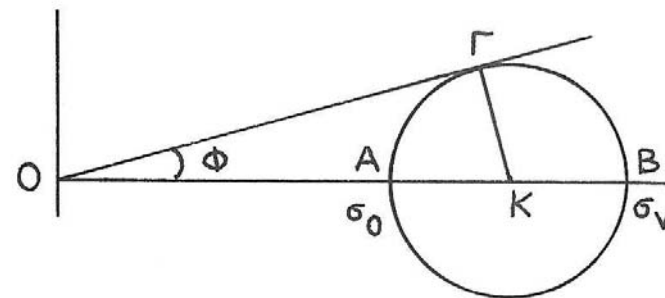
Οριζόντιες τάσεις: σ_0 ή σ_3

Κατακόρυφες τάσεις: σ_v ή σ_1

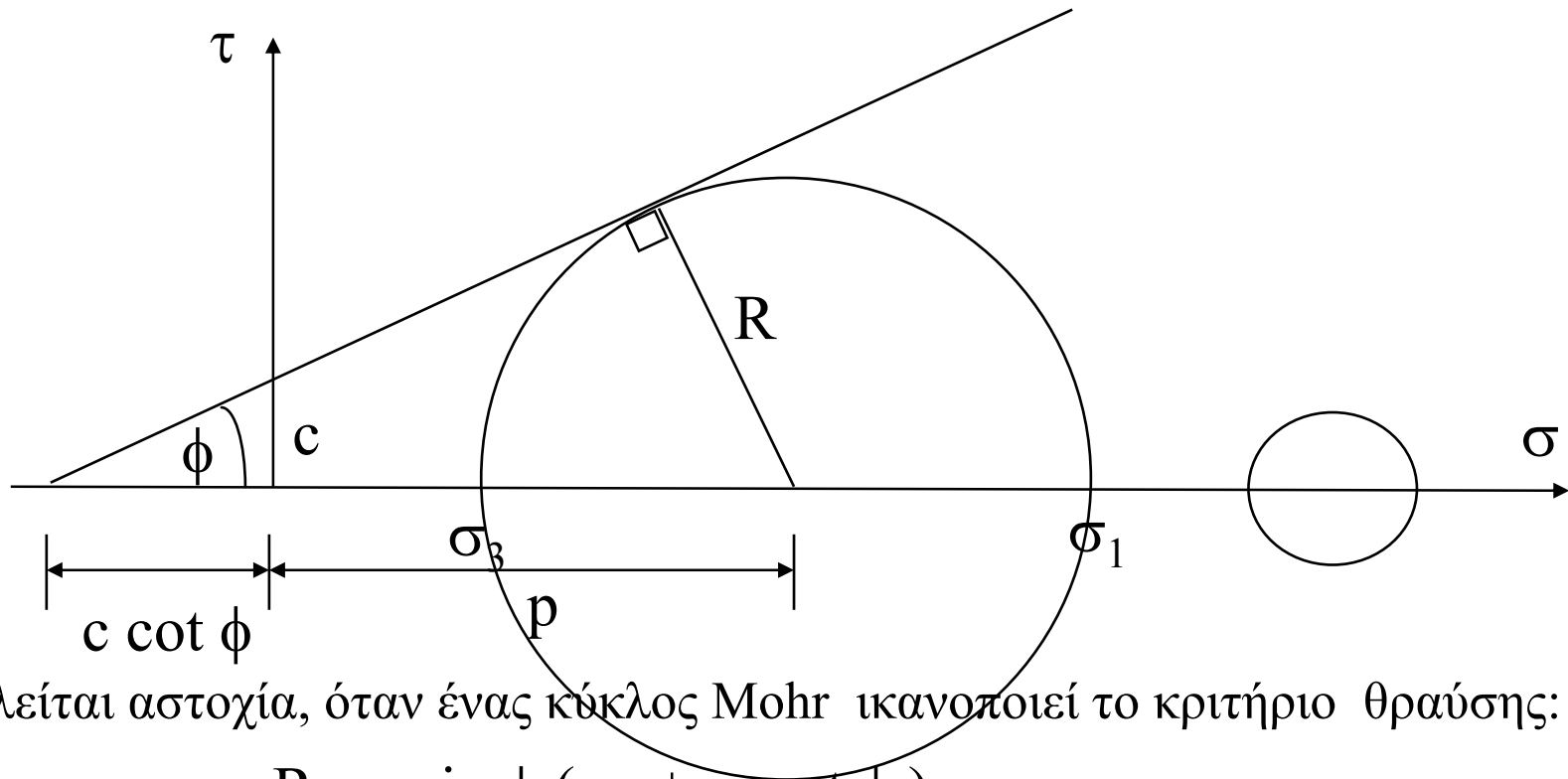
$$\begin{aligned}\sigma_0 &= OK - OA = OK - K\Gamma = \\ &= OK - OK\eta\mu\phi = \\ &= OK(1 - \eta\mu\phi)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_v &= OK + KB = OK + K\Gamma = \\ &= OK + OK\eta\mu\phi = \\ &= OK(1 + \eta\mu\phi)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\sigma_0}{\sigma_v} &= \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \eta\mu\phi}{1 + \eta\mu\phi} = \\ &= \varepsilon\phi^2 (45 - \phi/2) = K\alpha\end{aligned}$$



Κριτήριο Mohr-Coulomb (Κύριες τάσεις)



Προκαλείται αστοχία, όταν ένας κύκλος Mohr ικανοποιεί το κριτήριο θραύσης:

$$R = \sin \phi (p + c \cot \phi)$$

$$\frac{\sigma_1 + c \cot \phi}{\sigma_3 + c \cot \phi} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right] = N_\phi = K_p$$

$$\sigma_1 = N_\phi \sigma_3 + 2c \sqrt{N_\phi}$$

Θεωρία του Rankine (2)

- Θεωρούμε ότι οι οριζόντιες τάσεις μπορούν να υπολογιστούν με βάση το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb.

$$\sigma_1 = N_\phi \sigma_3 + 2c\sqrt{N_\phi}$$

- Η ενεργητική τάση αντιστοιχεί στη μικρότερη τιμή της οριζόντιας τάσης (σ_h). [$\sigma_h = \sigma_3$ και $\sigma_v = \sigma_1$]
- Η ελάχιστη (ενεργητική) οριζόντια τάση δίδεται από τη σχέση:

$$\sigma_{h \min} = \frac{\sigma_v - 2c\sqrt{N_\phi}}{N_\phi}$$

Θεωρία του Rankine (3)

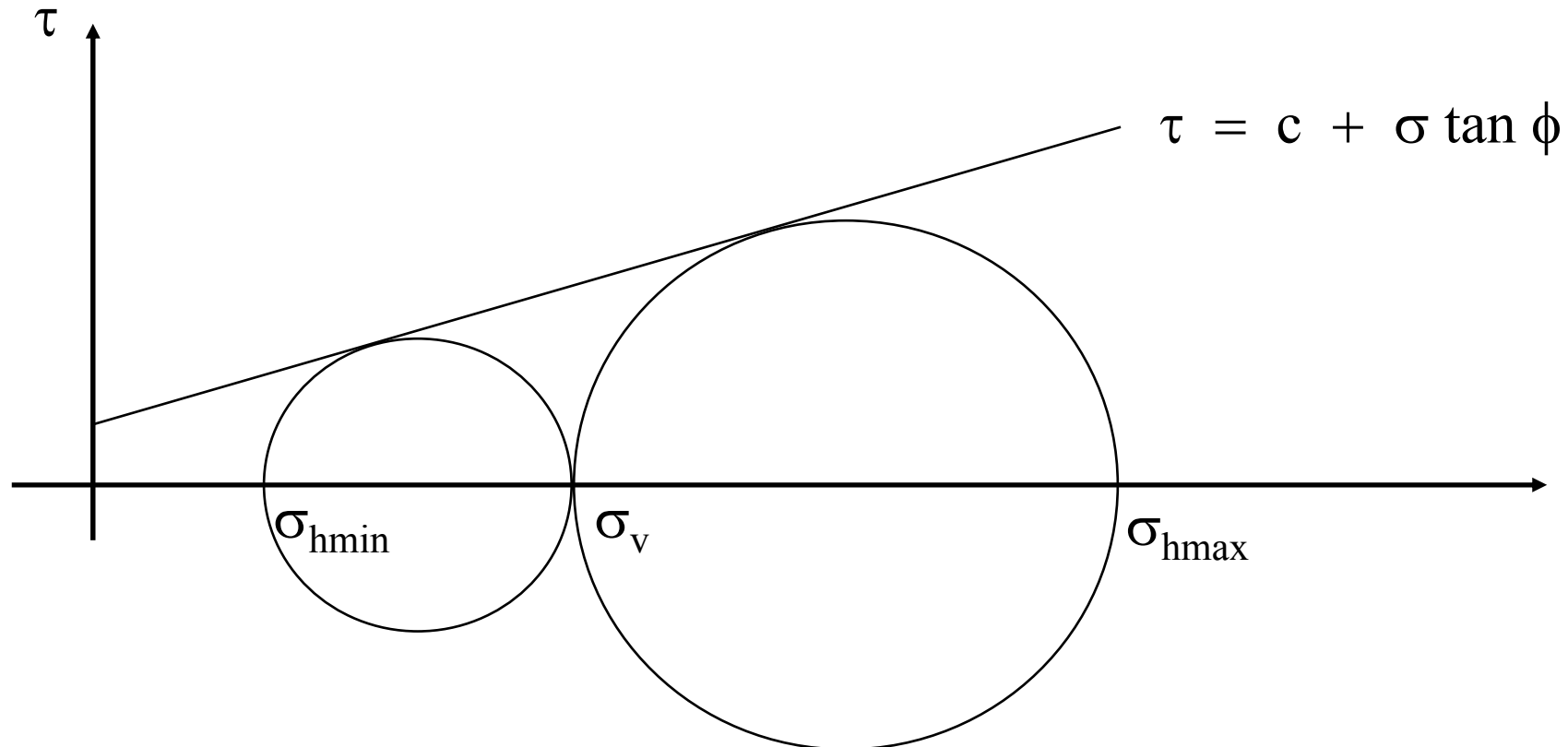
- Η παθητική οριζόντια τάση (παθητική ώθηση) λαμβάνει μέγιστη τιμή. Έτσι, η $\sigma_h = \sigma_1$ είναι η μέγιστη κύρια τάση και ή $\sigma_v = \sigma_3$
- Η μέγιστη (παθητική) οριζόντια τάση ισούται με:

$$\sigma_{h \max} = N_\phi \sigma_v + 2c \sqrt{N_\phi}$$

- Αν η κατακόρυφη τάση παραμένει σταθερή τότε η οριζόντια τάση κυμαίνεται μεταξύ των τιμών ενεργούς και της παθητικής τάσης (ώθησης).
- Στη μέθοδο του Rankine το καθεστώς των τάσεων βρίσκεται σε ισορροπία με τα εφαρμοζόμενα φορτία και το έδαφος σε κατάσταση θραύσης.

Θεωρία του Rankine (4)

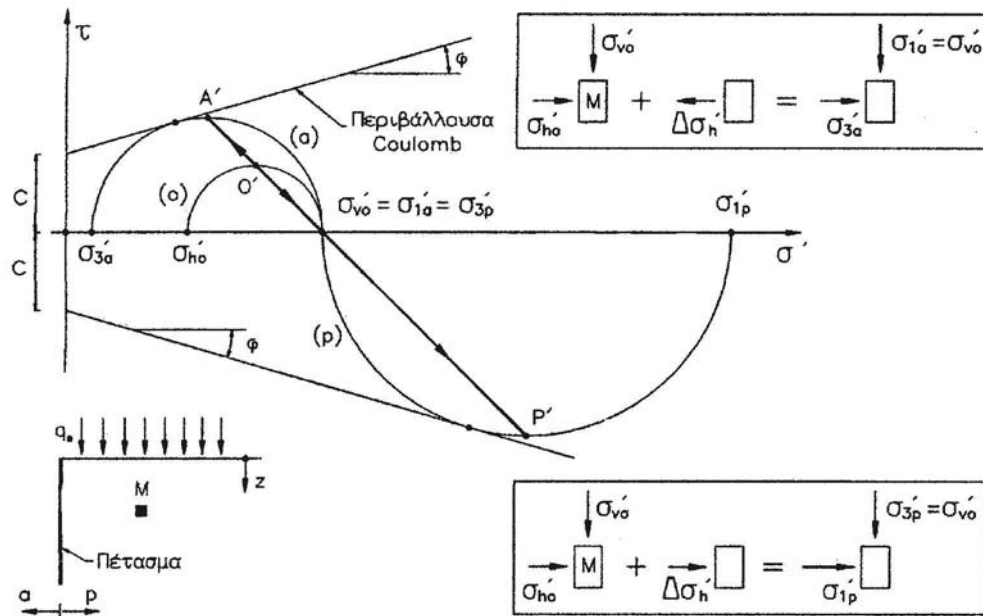
Η σχέση μεταξύ ενεργητικής και παθητικής ώθησης μπορεί να παρασταθεί γραφικά, με τους κύκλους του Mohr



Κατάσταση Rankine

Ενεργητική και παθητική κατάσταση

(Dunn et al, 1984, Καββαδάς, 2000)



Συντελεστής ενεργητικής ώθησης

$$K_a \equiv \frac{\sigma'_{ha}}{\sigma'_{vo}} = \frac{1}{N_\phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

Συντελεστής παθητικής ώθησης

$$K_p \equiv \frac{\sigma'_{hp}}{\sigma'_{vo}} = N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\sigma'_{hp} = \sigma'_{1p} = \sigma'_{vo} N_\phi + 2c \sqrt{N_\phi}$$

$$N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Ανάλυση ολικών τάσεων

Το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb αναφέρεται στην ολική τάση χρησιμοποιώντας τιμές c_u και ϕ_u σε αστράγγιστες συνθήκες (εφ' όσον το έδαφος παραμένει αστράγγιστο).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σε εδάφη μικρής διαπερατότητας

Σε αστράγγιστες εδαφικές συνθήκες αστοχίας ενός τοίχου έχουμε

$$\sigma_h = \frac{\sigma_v - 2c_u \sqrt{N_\phi}}{N_\phi}$$

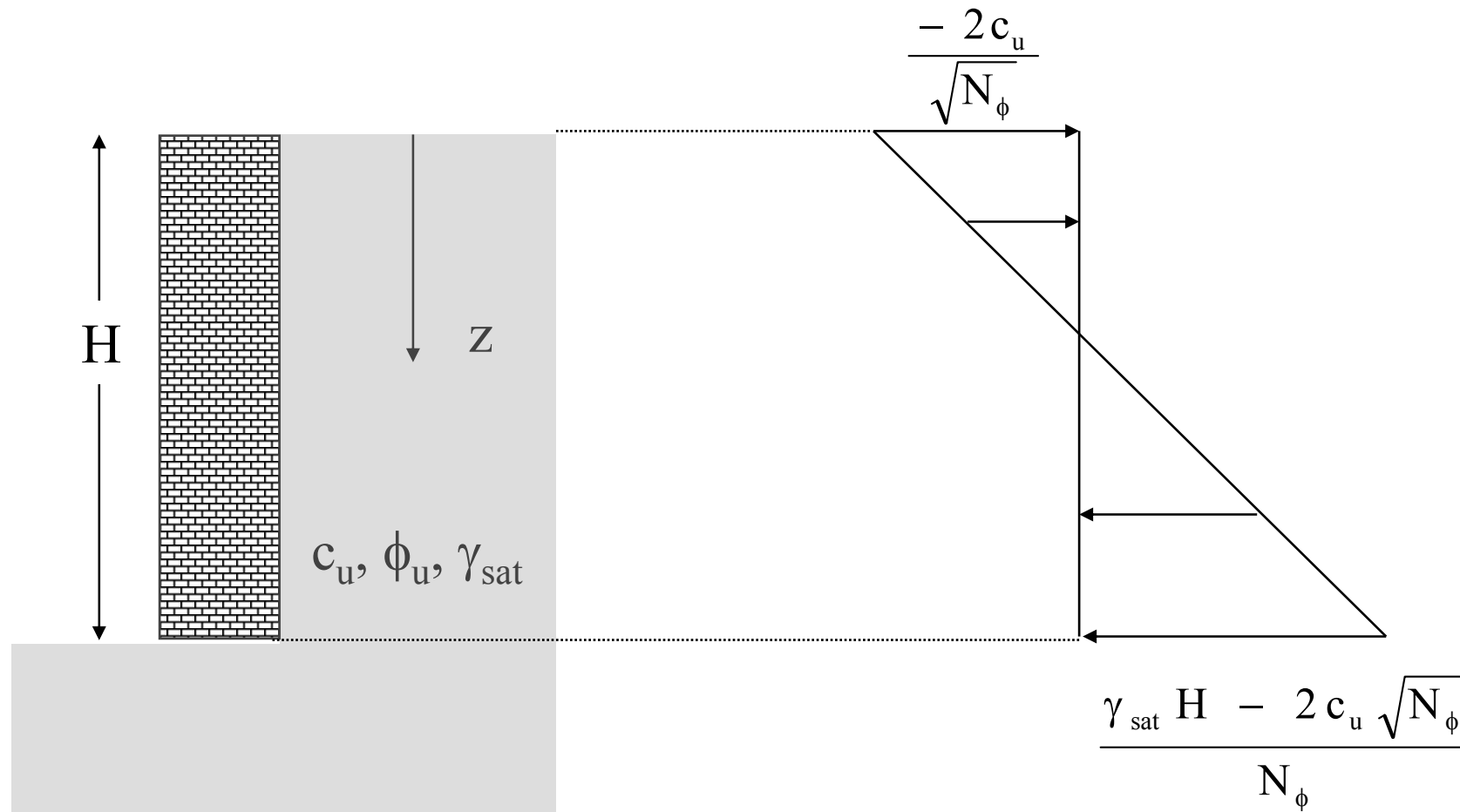
όπου

$$N_\phi = \frac{1 + \sin \phi_u}{1 - \sin \phi_u}$$

Και για ομογενές έδαφος ισχύει:

$$\sigma_v = \gamma_{\text{sat}} Z$$

Ολική οριζόντια τάση - ώθηση (Συνεκτικό έδαφος)

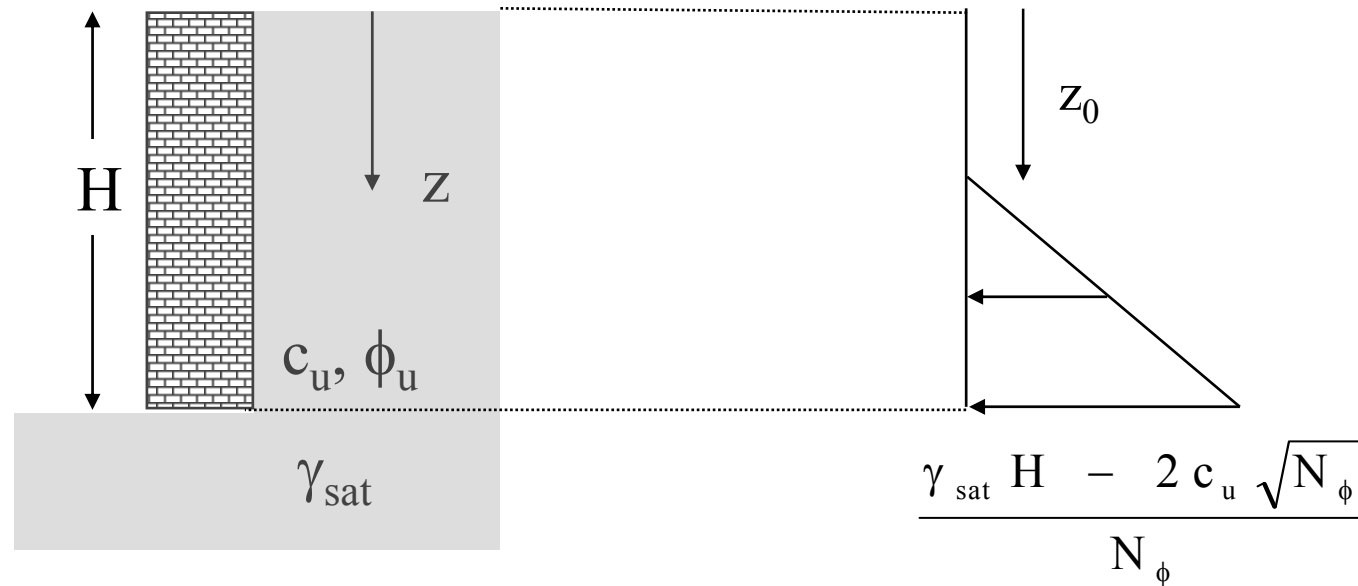


Δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής (1)

- Η ανάλυση δείχνει αρνητικές, εφελκυστικές, τάσεις στην επιφάνεια του εδάφους.
- Οι αρνητικές ενεργητικές τάσεις οφείλονται στη συνοχή του εδάφους.
- Οι εφελκυστικές δυνάμεις συνήθως δεν λαμβάνονται υπ' όψη.
- Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις εφελκυστικές τάσεις μειώνεται η απαιτούμενη δύναμη ευστάθειας του τοίχου αντιστήριξης. Αγνοώντας τις εφελκυστικές τάσεις δίδουμε περισσότερο συντηρητική λύση.

Εφελκυστικές ρωγμές (2)

Κατανομή οριζόντιων τάσεων

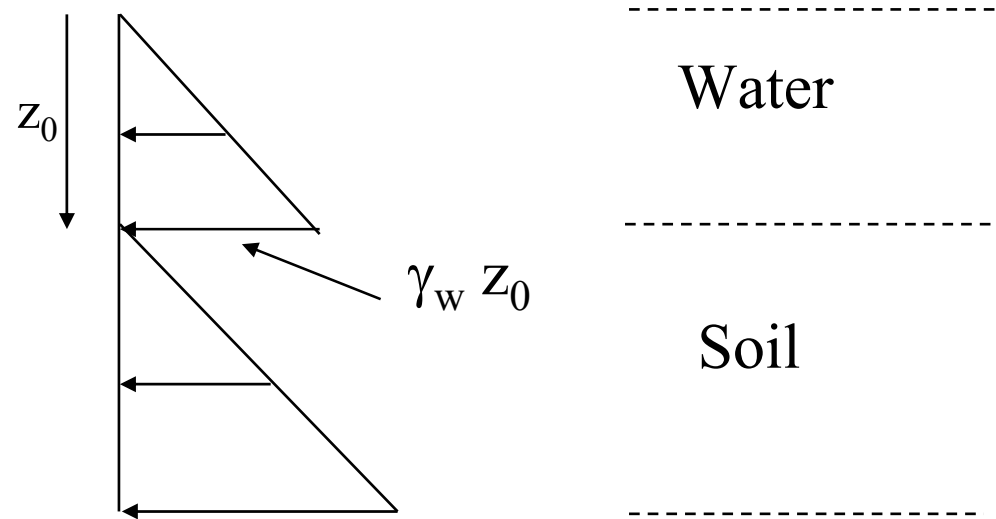


$$\sigma_v = 2 c_u \sqrt{N_\phi} = \gamma_{sat} z_0$$

$$z_0 = \frac{2 c_u \sqrt{N_\phi}}{\gamma_{sat}}$$

Εφελκυστικές ρωγμές (3)

- Εφελκυστική ρωγή μπορεί να δημιουργηθεί στην (επιφανειακή) περιοχή εφελκυσμού.
- Το υπάρχον νερό γεμίζει τις ρωγμές μειώνοντας την ευστάθεια του τοίχου. Έτσι, οι οριζόντιες τάσεις επί του τοίχου, γίνονται:



$$\frac{\gamma_{sat} H - 2c_u \sqrt{N_\phi}}{N_\phi}$$

Ανάλυση ενεργών τάσεων (1)

- Για την εφαρμογή του κριτηρίου θραύσης Mohr-Coulomb χρησιμοποιούνται οι ενεργές παράμετροι c' , ϕ' .
- Η ανάλυση των ενεργών τάσεων εφαρμόζεται σε συνθήκες αποστράγγισης.
- Σε μια τέτοια ανάλυση, η πίεση των πόρων πρέπει να είναι γνωστή.

Για ενεργητική κατάσταση αστοχίας έχουμε:

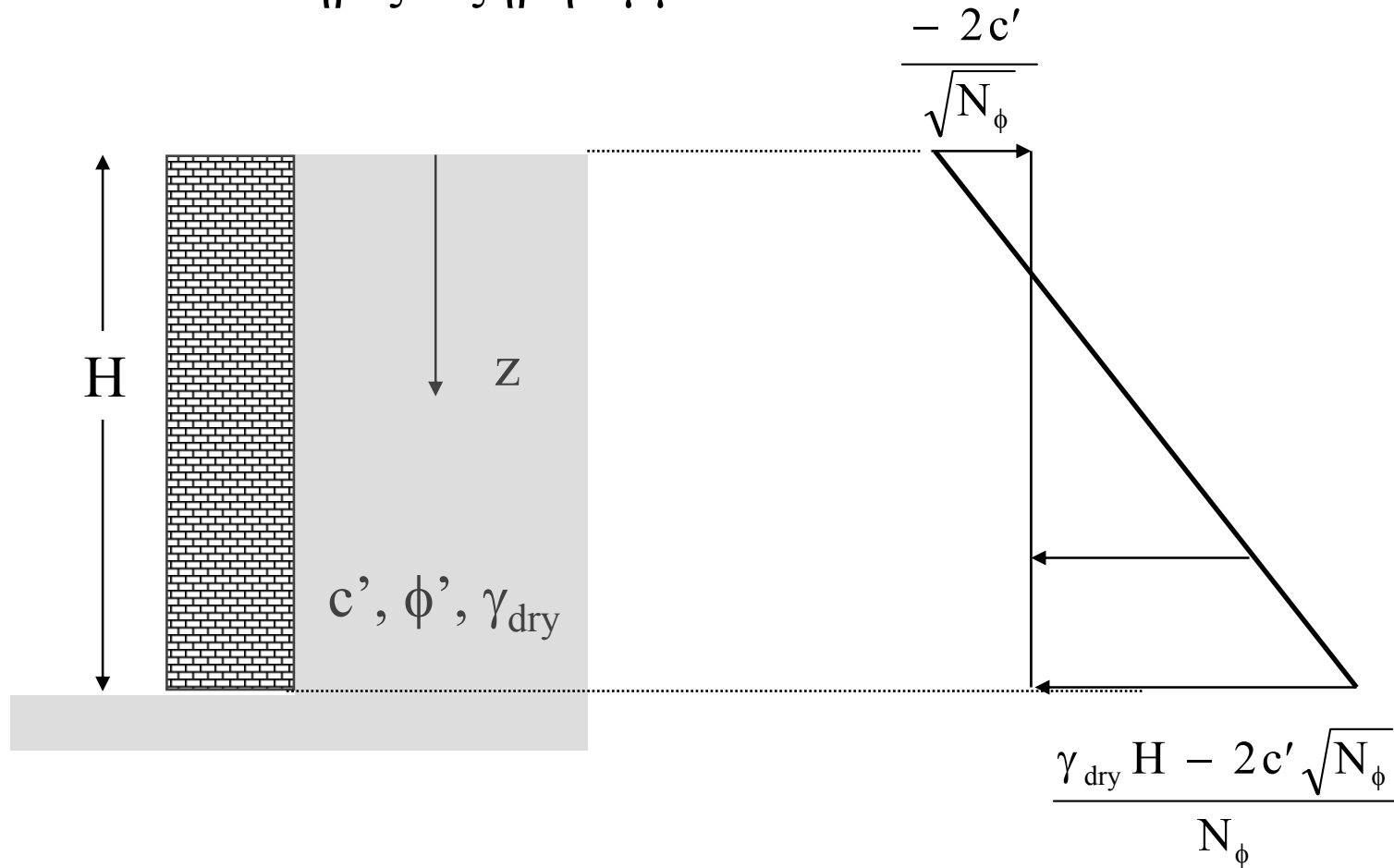
$$\sigma'_h = \frac{\sigma'_v - 2c' \sqrt{N_\phi}}{N_\phi}$$

όπου
$$N_\phi = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

και
$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

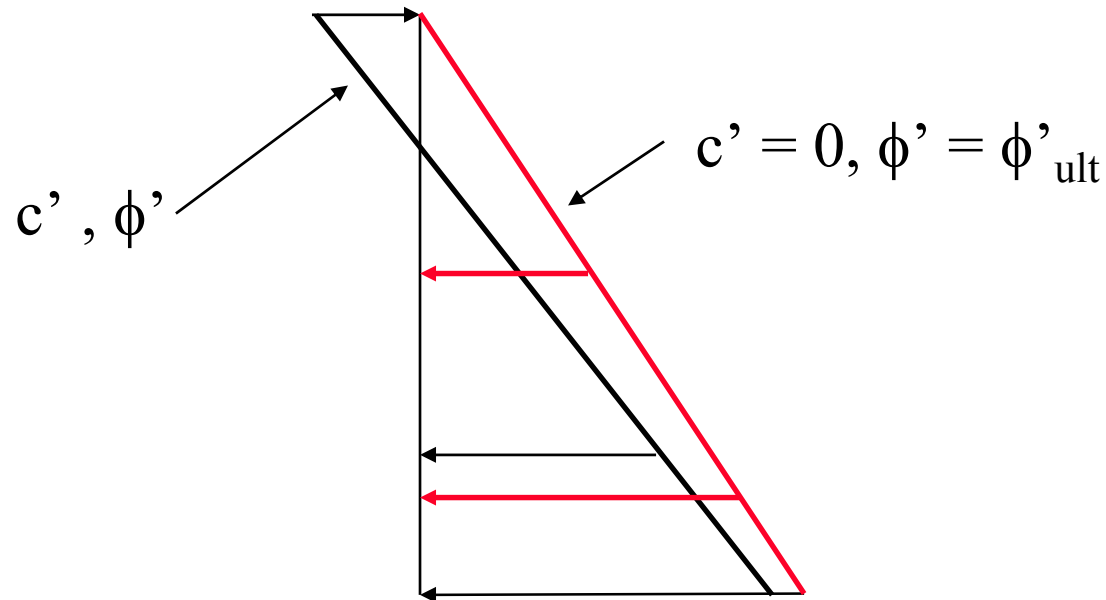
Ανάλυση ενεργών τάσεων (2)

Ενεργητική κατάσταση αστοχίας τοίχου που αντιστηρίζει ξηρή άμμο



Ανάλυση ενεργών τάσεων (3)

- Η χρήση των ενεργών παραμέτρων c' , ϕ' συνδεδεμένες με τη μέγιστη τιμή αστοχίας οδηγεί σε εκτίμηση μη ρεαλιστικών εφελκυστικών τάσεων.
- Είναι γενικά ρεαλιστικότερο και ασφαλέστερο να χρησιμοποιούνται οι παράμετροι τελικής ή οριακής κατάστασης, $c' = 0$, $\phi' = \phi'_{ult}$
- Χρησιμοποιώντας παραμέτρους οριακής κατάσταση υπολογίζεται ότι απαιτείται μεγαλύτερη ενεργός δύναμη για την ευστάθεια του τοίχου, οπότε επιτυγχάνεται ασφαλέστερη εκτίμηση.



Ανάλυση ενεργών τάσεων (4)

• Σε παθητική κατάσταση αστοχίας, οι οριζόντιες τάσεις που εφαρμόζονται σε τοίχο αντιστήριξης ξηρής άμμου, δίδονται από τη σχέση:

$$\sigma'_h = \gamma_{\text{dry}} z N_\phi + 2c' \sqrt{N_\phi}$$

• Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι $c' = 0$, $\phi' = \phi'_{\text{ult}}$ που αντιστοιχούν σε οριακή κατάσταση σε οριακή κατάσταση δίδουν μικρότερες τιμές δυνάμεων. Εντούτοις, αυτή είναι μια ασφαλής και συντηρητική εκτίμηση της μέγιστης δύναμης (φορτίου) που το έδαφος μπορεί να παραλάβει.

• Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούμε ενεργές κατακόρυφες τάσεις, $\sigma'_v = \sigma_v - u$ για τον υπολογισμό ενεργών οριζόντιων τάσεων, σ'_h . Έτσι η ολική οριζόντια τάση θα ισούται με $\sigma_h = \sigma'_h - u$

• Αν το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα (ή γενικότερα η στάθμη του νερού) δεν είναι ίδιο εκατέρωθεν του τοίχου αντιστήριξης, το νερό θα εμφανίζει ροή. Η πίεση των πόρων πρέπει να υπολογιστεί με βάση το δίκτυο γραμμών ροής.

Πίνακας ωθήσεων (Rankine)

Συνισταμένη ώθηση

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2cH \sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} (+qK_a H)$$

Εκσκαφή με κατακόρυφα
τοιχώματα σε συνεκτικό έδαφος
με οριζόντια επιφάνεια
παραμένει ευσταθές χωρίς
αντιστήριξη μέχρι βάθους

$$2z_1 = \frac{4c}{\gamma} \sqrt{K_p}$$

Συνεκτικό πρανές με γωνία
κλίσης $\beta > \phi$ ισορροπεί όταν
ισχύει

$$z = \frac{c}{\gamma} \frac{1}{(\tan \beta - \tan \phi) \cos^2 \beta}$$

	Κατακόρυφη τάση	Ενεργός ώθηση	Παθητική ώθηση
	$\sigma_z = \gamma z$	$P_a = K_a \gamma z$ $K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$	$P_p = K_p \gamma z$ $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$
	$\sigma_z = \gamma z$	$p_a = K_a \gamma z - c \frac{1 - K_a}{\tan \phi}$ $p_a = K_a \gamma z - 2c \sqrt{K_a}$	$p_p = K_p \gamma z + c \frac{K_p - 1}{\tan \phi}$ $p_p = K_p \gamma z + 2c \sqrt{K_p}$
	$\sigma_z = \gamma z \cos \beta$	$p_a = K_{a(\beta)} \gamma z \cos \beta$ $K_{a(\beta)} = \frac{\sin(\omega - \beta)}{\sin(\omega + \beta)}$ $\sin \omega = \frac{\sin \beta}{\sin \phi}$	$p_p = K_{p(\beta)} \gamma z \cos \beta$ $K_{p(\beta)} = \frac{1}{K_{a(\beta)}}$
		Δεν υπολογίζεται	
	$\sigma = p$	$p_a = K_a p$	$p_p = K_p p$

Συνισταμένη ώθηση

Συνισταμένη ενεργητική ώθηση:

$$P_a = K_\alpha \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 + q_s H \right) - 2cH \frac{1}{\sqrt{N_\phi}}$$

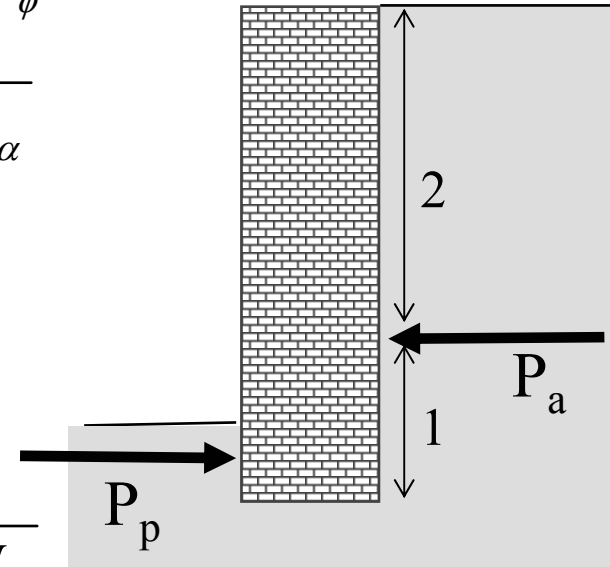
$$\text{(ή)} \quad P_a = K_\alpha \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 + q_s H \right) - 2cH \sqrt{K_\alpha}$$

Όπου $c \leq c_o$ και $c_o = \frac{q_s}{2\sqrt{N_\phi}}$

Συνισταμένη παθητική ώθηση:

$$P_p = K_p \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 + q_s H \right) + 2cH \sqrt{N_\phi}$$

$$\text{(ή)} \quad P_p = K_p \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 + q_s H \right) + 2cH \sqrt{K_p}$$



Συνισταμένη ώθηση

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2cH \sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} (+ qK_a H)$$

Εκσκαφή με κατακόρυφα τοιχώματα σε συνεκτικό έδαφος με οριζόντια επιφάνεια παραμένει ευσταθές χωρίς αντιστήριξη μέχρι βάθους

$$2z_1 = \frac{4c}{\gamma} \sqrt{K_p}$$

Συνεκτικό πρανές με γωνία κλίσης $\beta > \phi$ ισορροπεί όταν ισχύει

$$z = \frac{c}{\gamma} \frac{1}{(\tan \beta - \tan \phi) \cos^2 \beta}$$

Μέθοδος Coulomb

Σε περιπτώσεις που δεν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της κατάστασης Rankine (όχι οριζόντια επιφάνεια αντιστηριζόμενου εδάφους), ο υπολογισμός των ωθήσεων μπορεί να γίνει με την μέθοδο Coulomb, η οποία δεν είναι απόλυτα ακριβής, δίνει όμως, υπό προϋποθέσεις, παραδεκτές τιμές (ελαφρά συντηρητικές).

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K'_a$$

$$P_h = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K'_p$$

$$K'_a = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \cdot \left\{ \sqrt{\sin(\beta + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - i)}{\sin(\beta - i)}} \right\}^2}$$

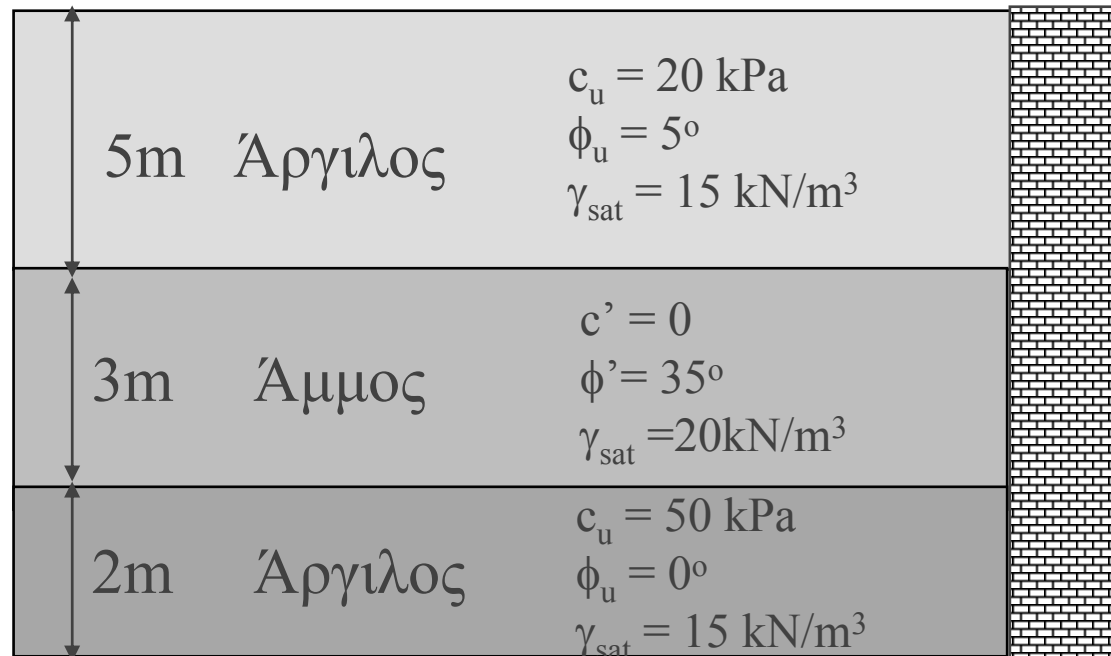
$$K'_p = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \cdot \left\{ \sqrt{\sin(\beta - \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + i)}{\sin(\beta - i)}} \right\}^2}$$

Έλεγχος επάρκειας (Καββαδάς, 2000)

- Έλεγχος επάρκειας σε ολίσθηση στη βάση του τοίχου: $FS_s = \frac{N \cdot \tan \delta}{T} > 1.5$
- Έλεγχος επάρκειας σε ανατροπή, ως προς σημείο O. Υπολογίζεται η ροπή ανατροπής της P_a και οι ροπές στήριξης των W και P_p . Ο συντελεστής ασφάλειας σε ανατροπή (λόγω ροπών στήριξης προς τις ροπές ανατροπής) πρέπει να υπερβαίνει το 2. Κατά τον έλεγχο σε ανατροπή δεν λαμβάνεται υπ' όψη η συνεισφορά της N , επειδή κατά την ανατροπή η N εφαρμόζεται στο σημείο O και συνεπώς η μοχλοβραχίονας της είναι μηδέν.
- Έλεγχος φέρουσας ικανότητας του εδάφους στη βάση του τοίχου (λωριδωτό θεμέλιο με έκκεντρη φόρτιση)
- Έλεγχος του μεγέθους των ορθών τάσεων στη βάση του τοίχου (υπολογίζεται το διάγραμμα των ορθών τάσεων στη βάση του θεμελίου, που ισοδυναμεί με τη δύναμη και τη ροπή των εξωτερικών δυνάμεων. Η μέγιστη τάση, στο σημείο O της βάσης του τοίχου δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του εδάφους).
- Υπολογισμός των υποχωρήσεων, του τοίχου λόγω επιβεβλημένων κατακόρυφων φορτίων και σύγκριση με τις ανεκτές υποχωρήσεις.
- Έλεγχος στατικής επάρκειας του φορέα του τοίχου (έλεγχος μεγίστων τάσεων σε τοίχους από άοπλο σκυρόδεμα και έλεγχος επάρκειας διατομών σε τοίχους από οπλισμένο σκυρόδεμα).

Παράδειγμα 1

Τοίχος αντιστήριξης ύψους 10 m, συγκρατεί έδαφος πάχους 10 m που αποτελείται (από πάνω προς τα κάτω) από 5 m αργίλου, 3 m άμμου και 2 m αργίλου. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Να υπολογιστεί η οριακή ενεργητική ώθηση αμέσως μετά την κατασκευή.



Παράδειγμα 1 - Επίλυση (1)

ανάλυση μικρής περιόδου

Στρώμα 1: Άργιλος, κορεσμένη. Ανάλυση ολικών τάσεων.

$$c = c_u = 20 \text{ kPa} \quad N_\phi = \frac{1 + \sin \phi_u}{1 - \sin \phi_u} = 1.19$$

Ενεργητική κατάσταση αστοχίας, έτσι $\sigma_1 = \sigma_v$ and $\sigma_3 = \sigma_h$

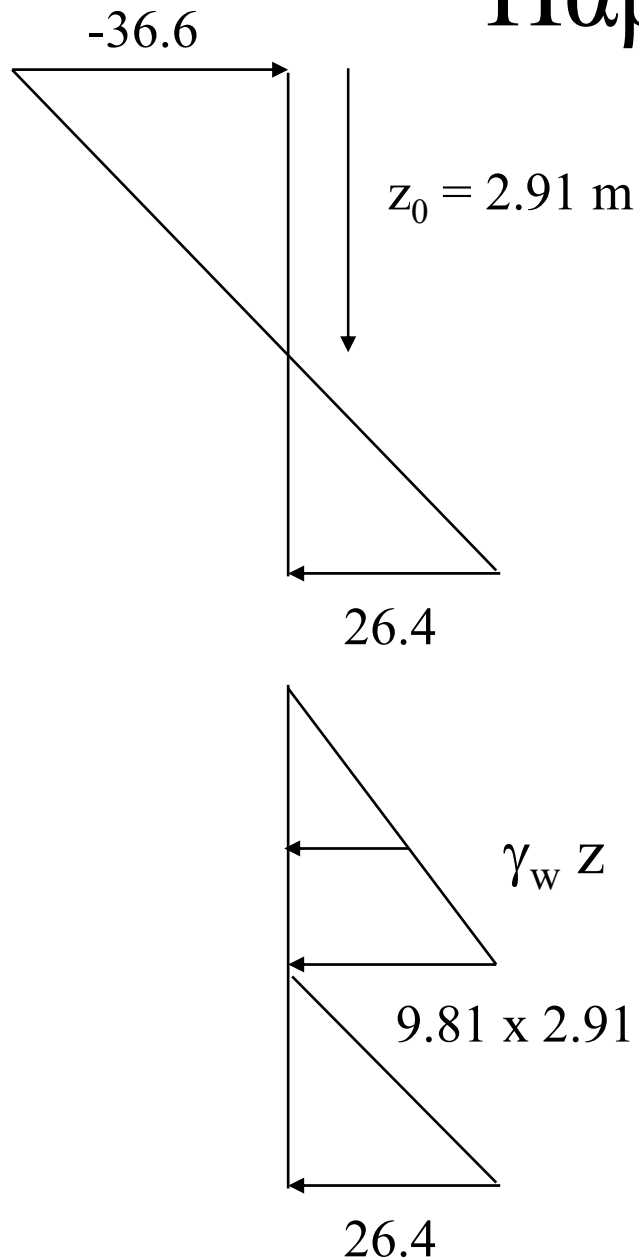
Με βάση το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb έχουμε:

$$\sigma_h = \frac{\sigma_v - 2 c_u \sqrt{N_\phi}}{N_\phi} = \frac{\sigma_v - 43.6}{1.19}$$

Στην επιφάνεια $z = 0$, $\sigma_v = 0$, $\sigma_h = -36.6 \text{ kPa}$

Στη βάση του στρώματος $z = 5 \text{ m}$, $\sigma_v = 5 \times 15$, $\sigma_h = 26.4 \text{ kPa}$

Παράδειγμα 1 - Επίλυση (2)



- Η ανάλυση προβλέπει την ύπαρξη εφελκυστικών τάσεων μεταξύ του εδάφους και του τοίχου.
- Εφελκυστική ρωγμή εκδηλώνεται.
- Επειδή ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, η ρωγμή γεμίζει με νερό και έτσι υπολογίζεται η πιο απαισιόδοξη κατανομή των ωθήσεων.

Παράδειγμα 1 - Επίλυση (3)

Στρώμα 2: Άμμος. Μεγάλη διαπερατότητα και επομένως δεν μπορεί να εφαρμοστεί ανάλυση ολικών τάσεων αλλά ενεργών τάσεων.

Άρα:

$$c = c' = 0 \quad N_{\phi} = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} = 3.69$$

Ενεργητική κατάσταση αστοχίας, άρα σύμφωνα με το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb : $\sigma'_1 = \sigma'_v$ και $\sigma'_3 = \sigma'_h$

$$\sigma'_h = \frac{\sigma'_v - 2c' \sqrt{N_{\phi}}}{N_{\phi}} = \frac{\sigma'_v}{3.69}$$

Παράδειγμα 1 - Επίλυση (4)

Στρώμα 2

z	σ_v	u	$\sigma'_v = \sigma_v - u$	$\sigma'_h = \sigma'_v / 3.69$	u	$\sigma_h = \sigma'_h + u$
5	75	49	26	7	49	56
8	135	78.4	56.6	15.3	78.4	93.7

Σημειώνεται ότι η ώθηση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο νερό

Παράδειγμα 1 - Επίλυση (5)

Στρώμα 3: Άργιλος, οπότε εφαρμόζεται ανάλυση ολικών τάσεων (αστράγγιστες συνθήκες) για ανάλυση μικρής περιόδου.

$$c = c_u = 50 \text{ kPa} \quad N_\phi = \frac{1 + \sin \phi_u}{1 - \sin \phi_u} = 1$$

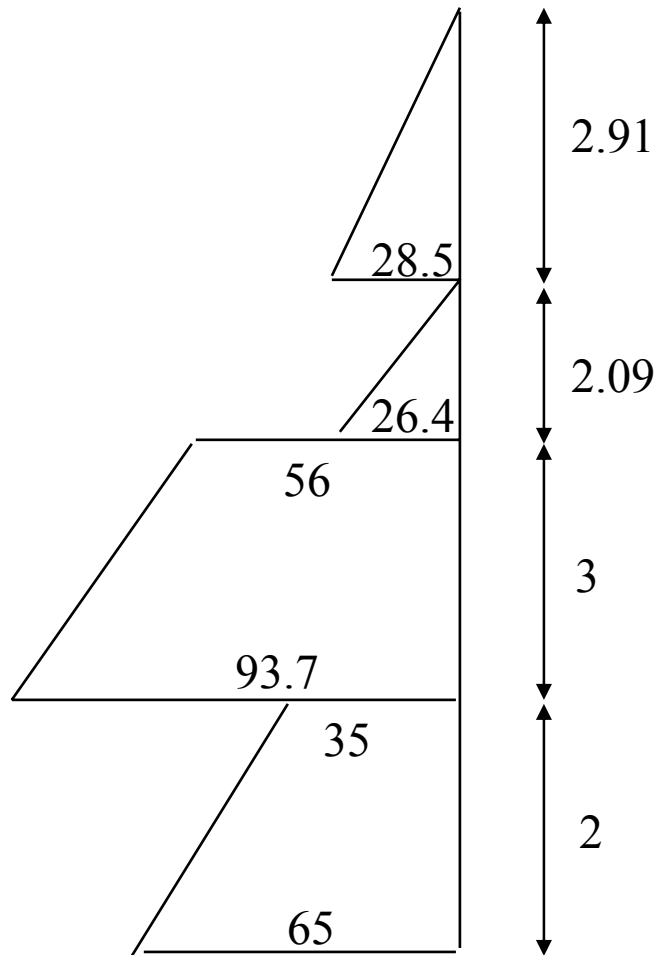
When $\phi_u = 0$ the Mohr-Coulomb criterion reduces to

$$\sigma_1 = \sigma_3 + 2 c_u$$

z	σ_v	σ_h
8	135	35
10	165	65

Παράδειγμα 1 - Επίλυση (5)

Τελική κατανομή των ωθήσεων



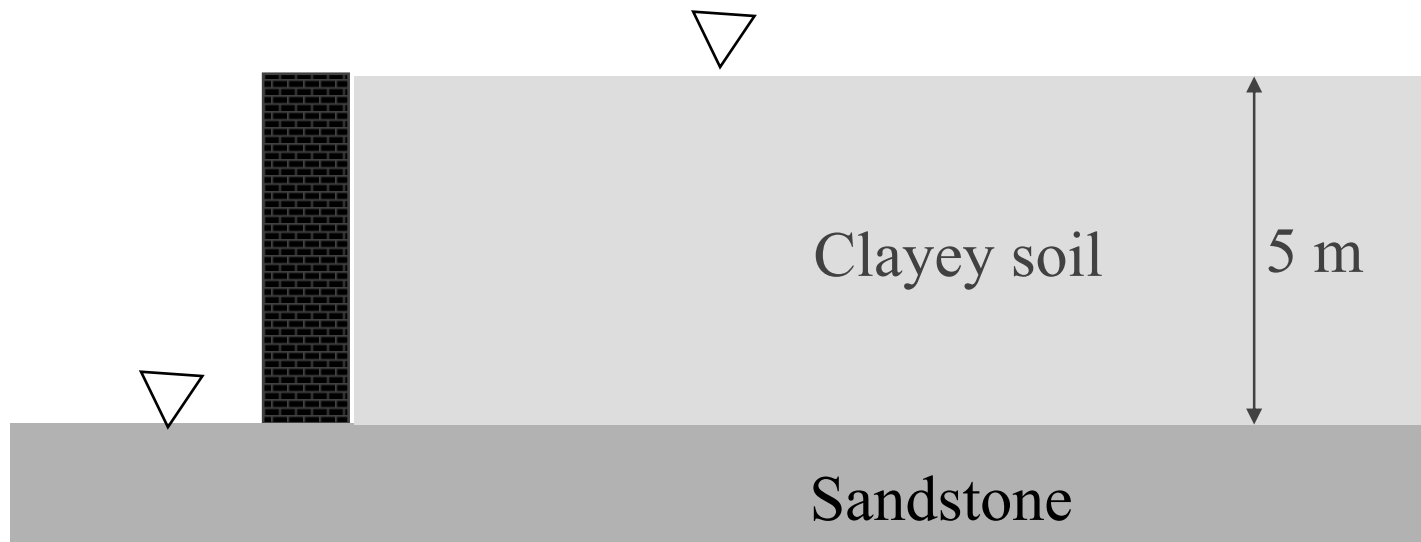
Η δύναμη που απαιτείται για να αποτρέψει την ενεργητική αστοχία εκτιμάται με βάση το διάγραμμα μεταβολής των ωθήσεων:

$$\begin{aligned} F &= 0.5 \times 28.5 \times 2.91 \\ &+ 0.5 \times 26.4 \times 2.09 \\ &+ 56 \times 3 + 0.5 \times (93.7 - 56) \times 3 \\ &+ 35 \times 2 + 0.5 \times (65 - 35) \times 2 \\ &= 393.7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Παράδειγμα 2

Τοίχος αντιστήριξης ύψους 5m, συγκρατεί αργιλώδες έδαφος, τοποθετημένου επάνω σε ψαμμίτη μεγάλης διαπερατότητας. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας παραμένει στην επιφάνεια της αργίλου στο συγκρατούμενο τμήμα αλλά βρίσκεται στη επιφάνεια του ψαμμίτη, στην άλλη πλευρά του τοίχου (βλέπε σχήμα), υπολογίστε την ελάχιστη δύναμη που απαιτείται για να διατηρηθεί ο τοίχος σε ευστάθεια για μικρή και μεγάλη περίοδο. Οι παράμετροι του εδάφους είναι:

$$c_u = 37 \text{ kPa}, \quad \phi_u = 5^\circ, \quad c' = 0, \quad \phi'_{ult} = 25^\circ, \quad \gamma_{sat} = 19 \text{ kN} / \text{m}^3$$



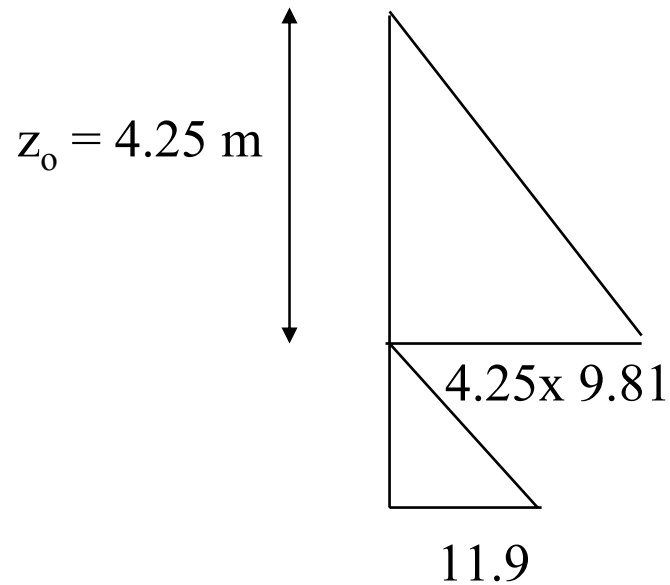
Παράδειγμα 2 - Επίλυση - μικρή περίοδο (1)

- Μικρής περιόδου αστράγγιστη ανάλυση ολικών τάσεων
- Ελάχιστη δύναμη ευστάθειας - ενεργητική κατάσταση αστοχίας (ενεργητική ώθηση)

$$\sigma_h = \frac{\sigma_v - 2c_u \sqrt{N_\phi}}{N_\phi} = \frac{\sigma_v}{1.19} - 67.8$$

Στην επιφάνεια $\sigma_h = -67.8$ kPa, at 5 m $\sigma_h = 11.9$ kPa

Νερό στη ρωγμή εφελκυσμού \Rightarrow Άρα οι ενεργητικές ωθήσεις θα είναι:

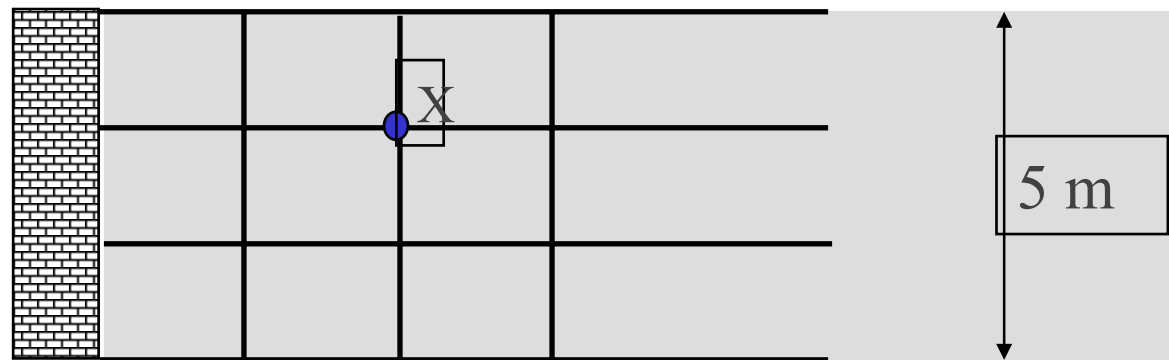


$$F = \frac{1}{2} \times 9.81 \times 4.25^2 + \frac{1}{2} \times 11.9 \times 0.75 = 93.1 \text{ kN / m}$$

Παράδειγμα 2 - Επίλυση - Μεγάλη περίοδος (3)

Μεγάλη περίοδος - Ανάλυση ενεργών τάσεων

Απαιτείται η γνώση της πίεσης των πόρων - υπολογίζεται από το δίκτυο ροής (πιεζομετρικός χάρτης)



$$u = \gamma_w (h - z)$$

$$h = h_0 - \Delta h = 5 - (5/3) \times 1 = 10/3$$

$$z = (2/3) \times 5 = 10/3$$

$$u = 0$$

Παράδειγμα 2 - Επίλυση - Μεγάλη περίοδος (3)

Ανάλυση ενεργών τάσεων με $c' = 0$, $\phi' = 25^\circ$

$$\sigma'_h = \frac{\sigma'_v - 2c' \sqrt{N_\phi}}{N_\phi} = \frac{\sigma'_v}{2.46}$$

Τώρα, $u = 0$, άρα $\sigma'_v = \sigma_v = \gamma_{\text{sat}} z$

Στη β'ση του τοίχου $\sigma_h = \sigma'_h = 38.6 \text{ kPa}$

Έτσι, $F = 0.5 \times 38.6 \times 5 = 96.4 \text{ kN/m}$

Βιβλιογραφία κεφαλαίου

- Budhu, M. (1999). Soil Mechanics and Foundations. John Wiley & Sons Inc. New York, 585 p
- Dunn, I. S., Anderson, L. R. & Kiefer, F. W. (1980). Fundamentals of geotechnical analysis. John Wiley & Sons, New York, 414 p.
- Hunt, R. (1984). *Geotechnical engineering investigation manual*. McGraw-Hill Book Co., New York, 983 p.
- Καββαδάς, Μ. (2000). Στοιχεία Εδαφομηχανικής. ΕΜΠ. 12 Κεφάλαια σε ηλεκτρονική μορφή pdf. Web site: civil.ntua.gr
- Terzaghi, K. (1943) Theoretical soil mechanics. John Wiley & Sons Publ., New York