

6. Εσωτερικά Λιμενικά Έργα

6.1 Γενικά

Ως εσωτερικά λιμενικά έργα εννοούμε κάθε είδους κρηπιδώματα παραβολής των σκαφών στην προστατευόμενη λιμενολεκάνη.

→ Δεν δέχονται σημαντικές δράσεις από τους κυματισμούς

Χρησιμεύουν για την πρόσδεση των σκαφών ώστε να είναι δυνατή

- Φορτοεκφόρτωση εμπορευμάτων
 - Αποεπιβίβαση επιβατών
- } ⇒

⇒ Κατακόρυφο μέτωπο που

- Πλευρίζει
- Πρυμνοδετεί
- Προσδένει

το σκάφος για να ακινητοποιηθεί κατά το δυνατόν

- Οριοθετεί λιμενολεκάνη
- Συγκρατεί γαίες

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος κατασκευής

→ Ογκόλιθοι ο ένας πάνω στον άλλον → Κρηπιδότοιχος

Δες σχήμα σελ.178 βιβλίου για βασική ονοματολογία

Βάθος: Το μέγιστο βάθος νερού μπροστά στο κατακόρυφο μέτωπο εξαρτάται από το μέγιστο βύθισμα του τυπικού σκάφους σχεδιασμού + ένα ποσοστό ασφαλείας (πόδι πιλότου) για κατακόρυφες κινήσεις σκάφους.

Πολύ σημαντικό γιατί αύξηση βάθους κρηπιδωμάτων εκ των υστέρων πολύ δαπανηρό και δύσκολο έργο.

Πόδι πιλότου ~ 1m

- Αν πυθμένας σκληρός
 - Αν μεγάλη απόθεση ιζημάτων
 - Αν το απαιτεί το σκάφος σχεδιασμού
- } Πόδι πιλότου ~ 1.5-2m

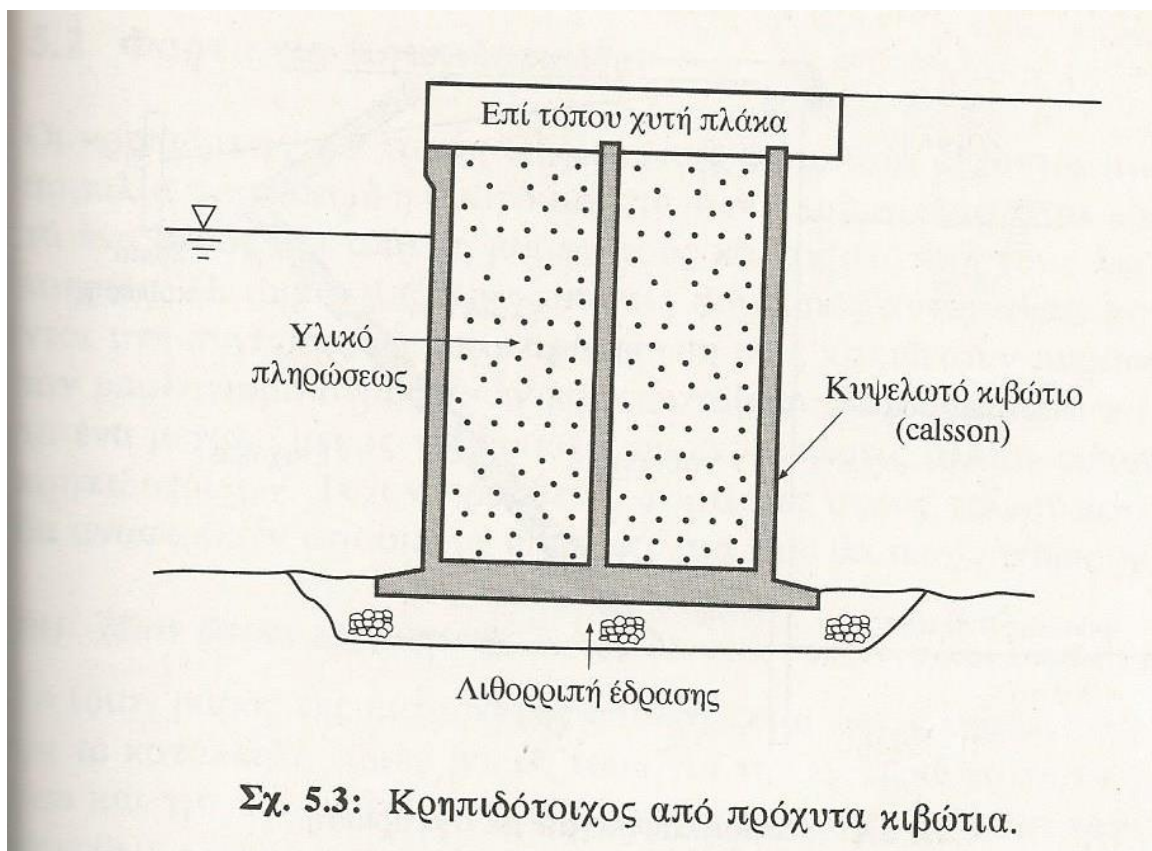
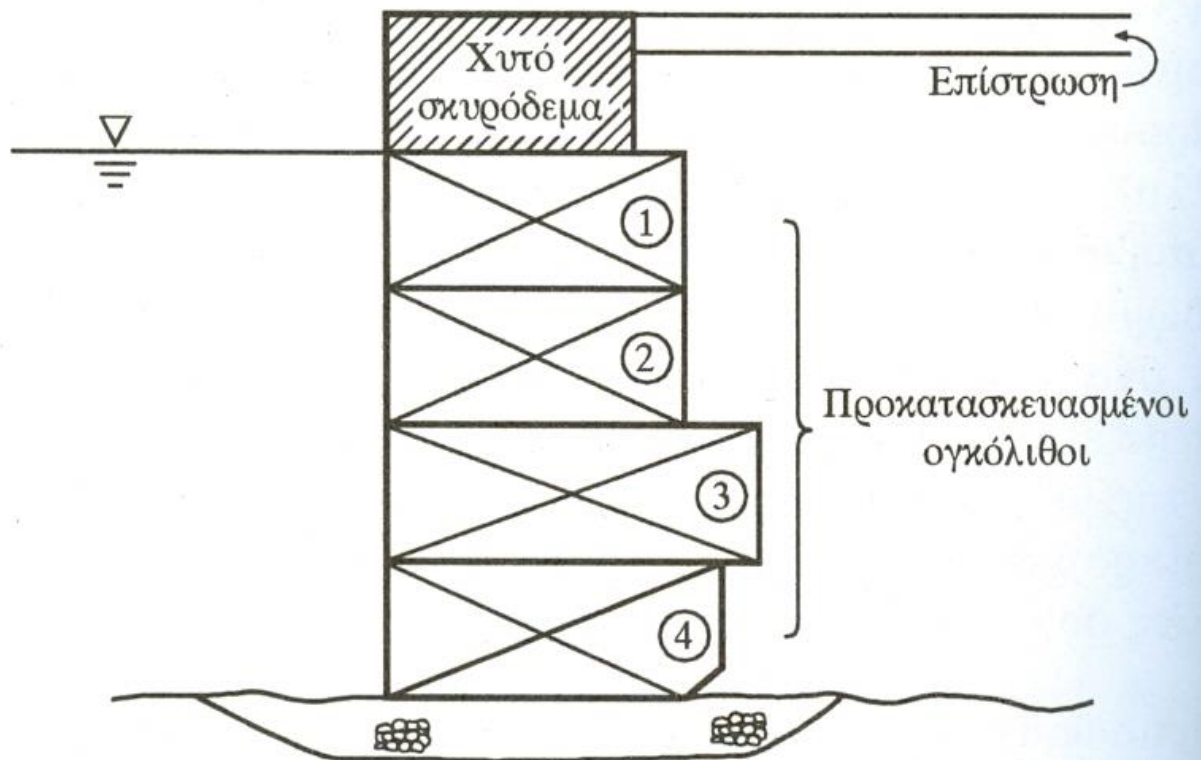
Υψόμετρο Στέψης: Εξαρτάται από το είδος σκαφών και την παλίρροια (Μεσόγειο αμελητέα) που επικρατεί στην λιμενολεκάνη. Γενικά ~2m. Καλό είναι για μακροχρόνια έργα να λαμβάνουμε υπόψη την ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας με το χρόνο.

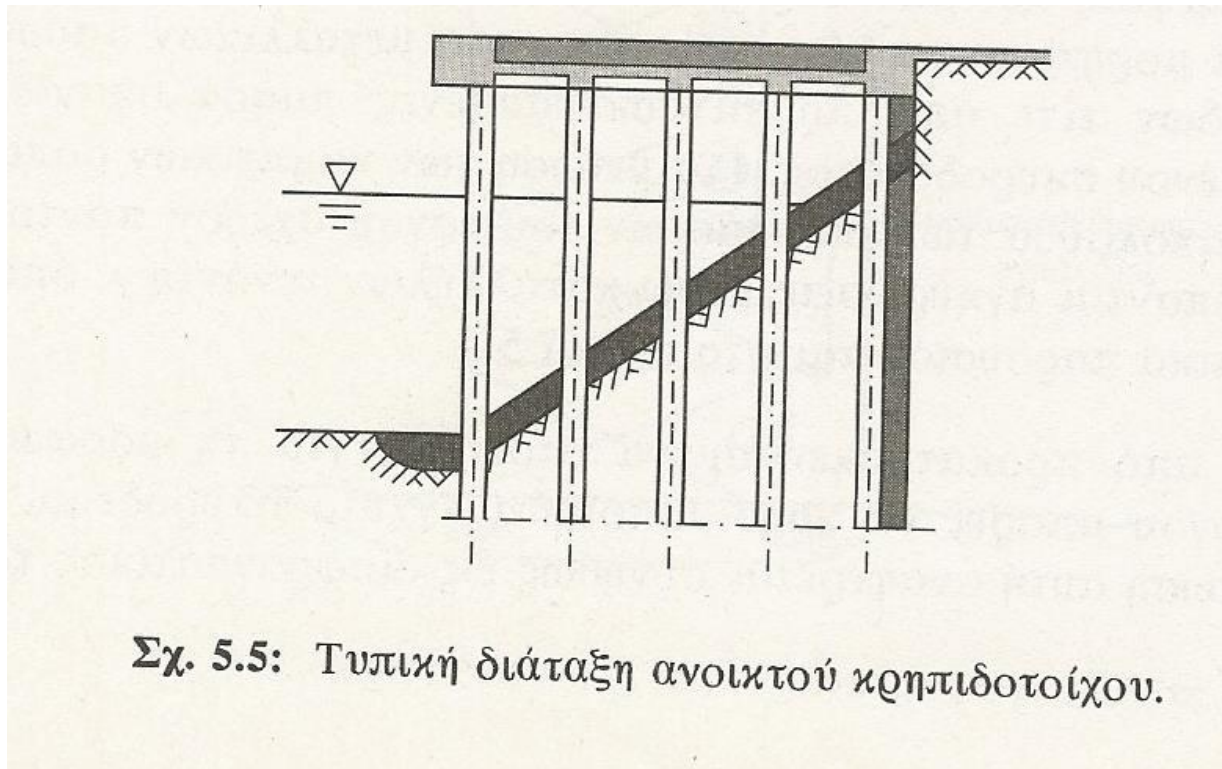
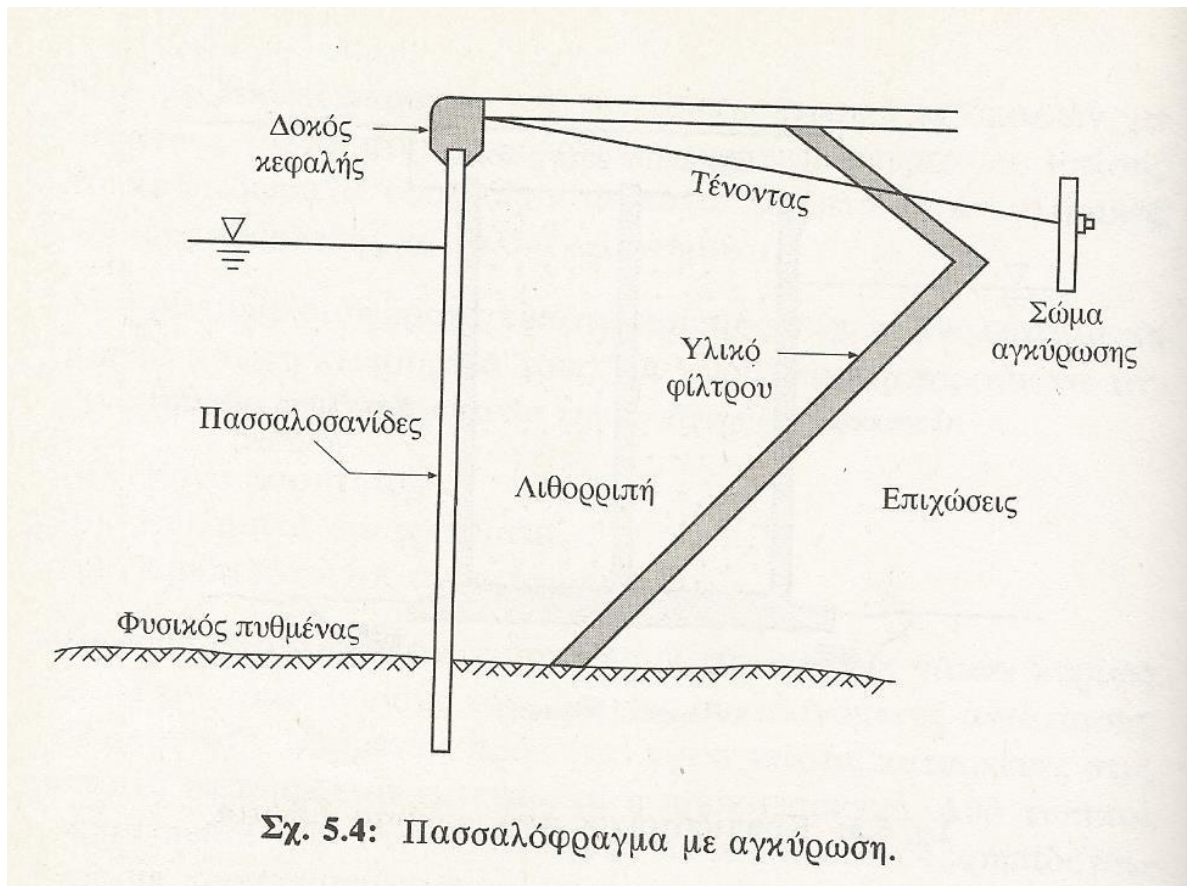


Τα κρηπιδώματα εξοπλίζονται με **προσκρουστήρες** για απορρόφηση της κρουστικής ενέργειας κατά την παραβολή των σκαφών, με **δέστρες** για την ακινητοποίησή τους μέσω κάβων, με **κλίμακες**, με **κρίκους πρόσδεσης**, με **γερανοί** κλπ.

Είδη κρηπιδότοιχων:

- Έργα βαρύτητας
- Εύκαμπτα διαγράμματα
- Κρηπιδότοιχοι ανοιχτού τύπου





6.2 Φορτίσεις κρηπιδοτείχων βαρύτητας

6.2.1 Ίδιον βάρος κατασκευής

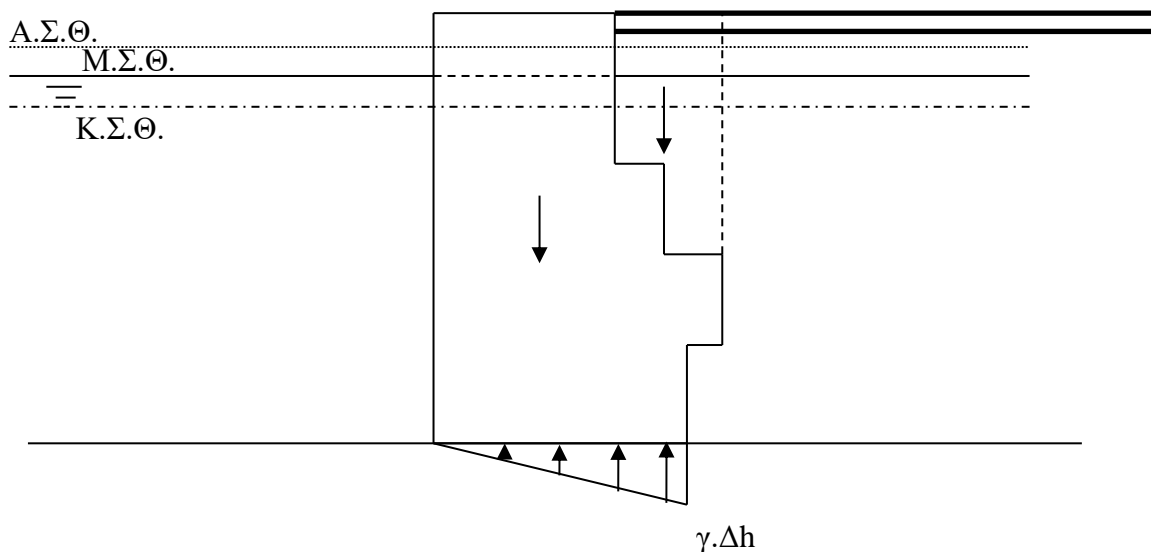
Υπολογίζεται όπως στους κυματοθραύστες αφού ληφθεί υπόψη το κατάλληλο ειδικό βάρος τόσο για την εν ξηρώ όσο και για την υπό άνωση.

6.2.2 Βάρος επίχωσης και επιστρώσεων

Οι γαίες που στηρίζονται από τον κρηπιδότοιχο από τη μεριά της ξηράς επιφορτίζουν κατακόρυφα τον κρηπιδότοιχο με το ίδιο βάρος τους. Το ίδιο συμβαίνει με τις επιστρώσεις των κρηπιδωμάτων.

6.2.3 Υδροστατική πίεση

Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στα έργα βαρύτητας λόγω εξαιρετικής διαπερατότητας των υλικών και λόγω επιφανειακής θεμελίωσης είναι ίδια με τη στάθμη ηρεμίας της θάλασσας. Έτσι η υδροστατική πίεση δεν λαμβάνεται υπόψη. Παράλληλα όμως, η διαφορά της στάθμης που μπορεί να συμβεί κάποια στιγμή στη ζωή του έργου λόγω κυματισμών πρέπει να ληφθεί υπόψη γιατί προκαλεί μία επιπλέον ανωστική δύναμη που ευνοεί την ανατροπή.



Σχήμα 6.1

6.2.4 Ενεργητικές ωθήσεις γαιών

Οι κρηπιδότοιχοι δέχονται τις ωθήσεις γαιών όπως και οι συμβατικοί τοίχοι αντιστήριξης. Ενεργητικές ωθήσεις αναπτύσσονται σε καταστάσεις όπου υπάρχει η δυνατότητα μικρής περιστροφής της κατασκευής (της τάξης mm) το οποίο συμβαίνει στους κλασσικούς κρηπιδότοιχους βαρύτητας.

Για γωνία εσωτερικής τριβής του γαιώδους υλικού ϕ και γωνία τριβής μεταξύ τοίχου και εδάφους δ (λαμβάνεται συνήθως ίσο με $\phi/2$), η θεωρία Coulomb δίνει τις πιέσεις $p(y)$ και τη συνολική ενεργητική ώθηση P , όπως παρακάτω

$$p(y) = \gamma y K_{AE} \quad \text{Εξ. (6.1)}$$

$$P = \gamma h^2 K_{AE} / 2 \quad \text{Εξ. (6.2)}$$

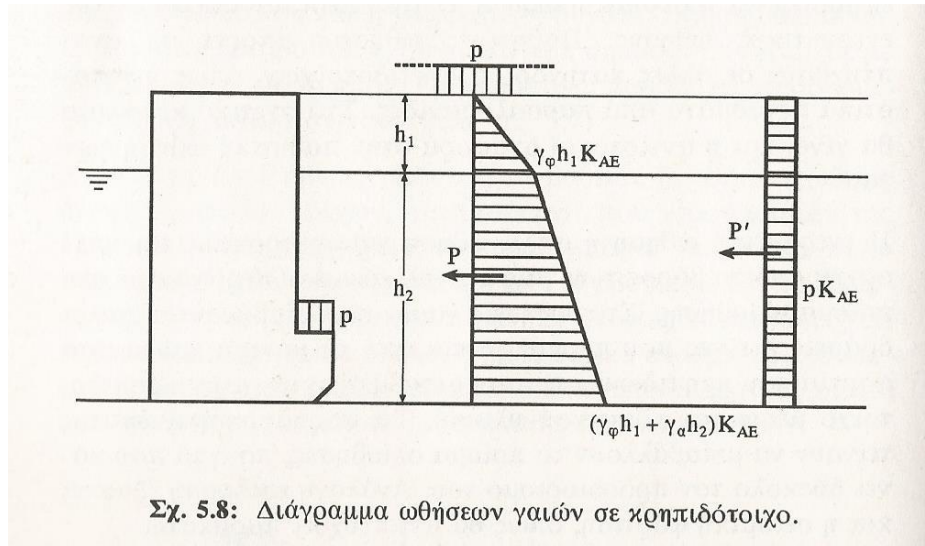
και ο συντελεστής ωθήσεων

$$K_{AE} = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin \phi}{\cos \delta}} \right)^2} \quad \text{Εξ. (6.3)}$$

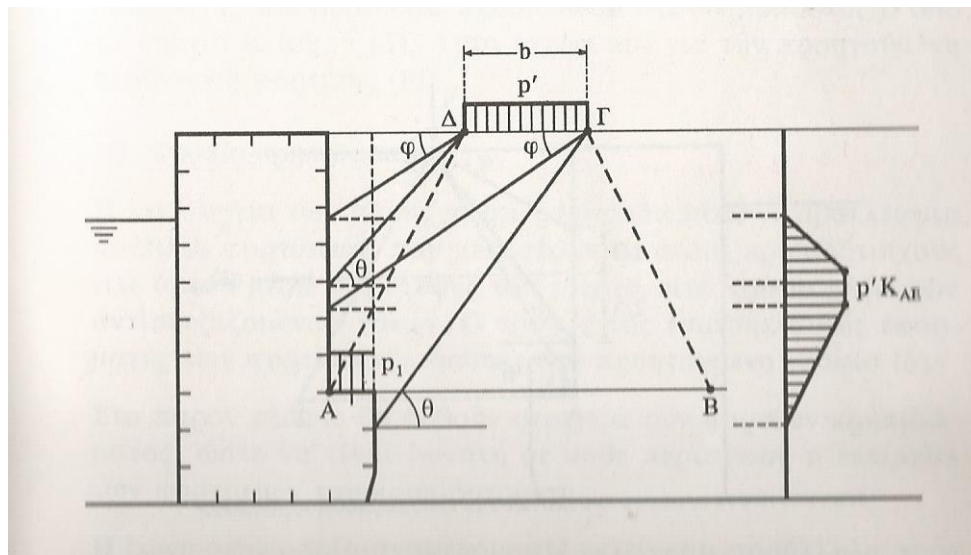
Όπου γ : το ειδικό βάρος των γαιών (φαινόμενο ξηρό ή υπό άνωση)

h : το ύψος του κρηπιδότοιχου

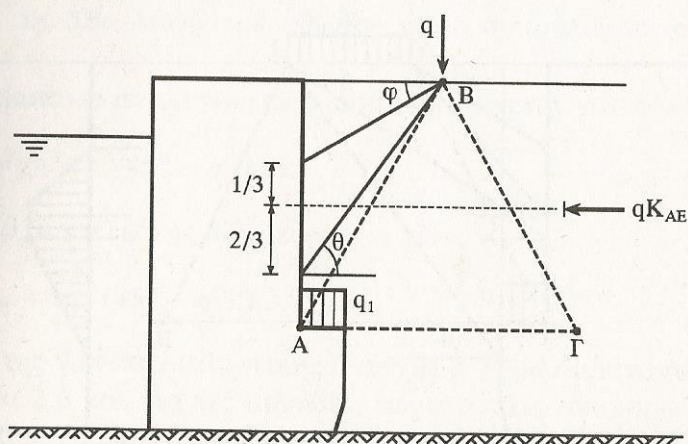
Στις ωθήσεις γαιών συμπεριλαμβάνονται και οι δράσεις που προκαλούνται από τα μόνιμα ή τα κινητά φορτία του κρηπιδώματος που μεταβιβάζονται μέσω του εδαφικού υλικού στον κρηπιδότοιχο. Η επιφόρτιση του οριζοντίου δαπέδου κρηπιδώματος με κινητά φορτία επιφέρει αύξηση των ωθήσεων γαιών.



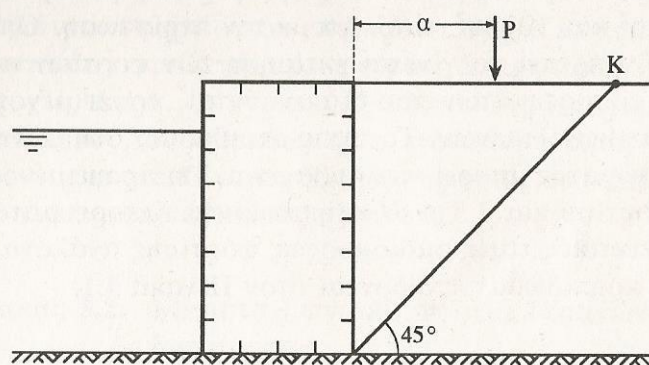
$$P = (\gamma + p/h)h^2 K_{AE}$$



$$p_1 = p' * b / AB$$



Σχ. 5.10: Φορτίσεις λόγω συγκεντρωμένου γραμμικού φορτίου.



Σχ. 5.11: Δράση μεμονωμένου φορτίου.

$$q_1 = q/A\Gamma$$

$$q' = P/2a$$

6.2.5 Σεισμικές φορτίσεις

Η σεισμική δράση τροποποιεί τις στατικές φορτίσεις με την εισαγωγή της δυναμικής συνιστώσας που προκαλείται από τη σεισμική επιτάχυνση. Η σεισμική διέγερση αναλύεται σε οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα, όπου η δεύτερη συνήθως θεωρείται μικρότερης σημασίας από την πρώτη, ως προς το εύρος της κίνησης που προκαλεί.

Η απαίτηση που τίθεται σαν κριτήριο σχεδιασμού των έργων παραβολής είναι γενικά να μη διακόπτεται η λειτουργία των κρηπιδωμάτων ζωτικής σημασίας του λιμένα μετά από σεισμό.

Απλουστευμένος υπολογισμός:

Σεισμός → επιπλέον οριζόντια φόρτιση ανάλογα με τη μάζα του δονούμενου στοιχείου.

$$\Delta E = \pm k_h W$$

όπου W το αντίστοιχο βάρος της δονούμενης μάζας

$k_h = a_h/g$ ο σεισμικός συντελεστής που εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού

a_h η οριζόντια επιτάχυνση του σεισμού

Ο συντελεστής k_h ανάλογα με την κατασκευή υπόκειται σε μειώσεις ως εξής:

- Τοίχος με ανεκτή/δυνατή ολίσθηση 300 α (σε mm): $q_w=2.0$
- Τοίχος με ανεκτή/δυνατή ολίσθηση 200 α (σε mm): $q_w=1.5$
- Τοίχος με αγκυρώσεις/αντιρήδες ή στηριζόμενος σε πασσάλους ή εδρασμένος ακλόνητα σε βράχο : $q_w=1.0$

Ο συντελεστής ωθήσεων στην περίπτωση σεισμού τροποποιείται ως εξής:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos\theta \cos(\delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right)^2} \quad \text{Εξ. (6.4)}$$

όπου $\theta = \arctan(a_h/(1 - a_v))$

και a_v η κατακόρυφη επιτάχυνση του σεισμού.

Η συνολική ώθηση λόγω σεισμού και λόγω ομοιόμορφης φόρτισης θα είναι

$$P = 0.5(\gamma + p/h)h^2 K_{AE} \quad \text{Εξ. (6.5)}$$

όπου γ μια μέση τιμή του ειδικού βάρους για 2 στρώσεις εδαφικού υλικού μπορεί να τεθεί ως:

$$\gamma = \gamma_1[1 - (h_2/h)^2] + \gamma_2(h_2/h)^2 \quad \text{Εξ. (6.6)}$$

Η ώθηση αυτή ασκείται σε απόσταση 0.4-0.5h από τη βάση του τοίχου.

Ο σεισμός τροποποιεί και την δυναμική πίεση που οφείλεται στην υποπίεση του νερού που δίνεται πλέον από τη σχέση

$$P_w = 7k_h \gamma_w d^2 / 12 \quad \text{Εξ. (6.7)}$$

Η ώθηση αυτή ασκείται σε απόσταση 0.4d από τον πυθμένα.

6.3 Συνδυασμοί Φορτίσεων

Οι κρηπιδότοιχοι βαρύτητας ελέγχονται σε τέσσερις βασικές μορφές αστοχίας:

1. Ανατροπή
2. Ολίσθηση
3. Υπέρβαση τάσεων έδρασης
4. Γενική θραύση εδάφους

Ανάλογα με τη φύση των φορτίσεων που λαμβάνονται υπόψη σε κάθε έλεγχο εφαρμόζονται και οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας. Γενικά

Σπάνιες Φορτίσεις → Μειώνουμε συντελεστές ασφαλείας

Οι περιπτώσεις φορτίσεων μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

Φόρτιση I

Κανονικές συνθήκες λειτουργίας κατασκευής + Έλξη Δέστρας

Φόρτιση II

Φόρτιση I

– Έλξη Δέστρας

+ Τυχαίες αλλά συχνές φορτίσεις μικρής διάρκειας

Π.χ. Φόρτιση λόγω πρόσκρουσης σκάφους ή ιδιαίτερα βαρεία φορτία κρηπιδώματος

Φόρτιση III

Σπάνιες καταστάσεις φορτίσεων

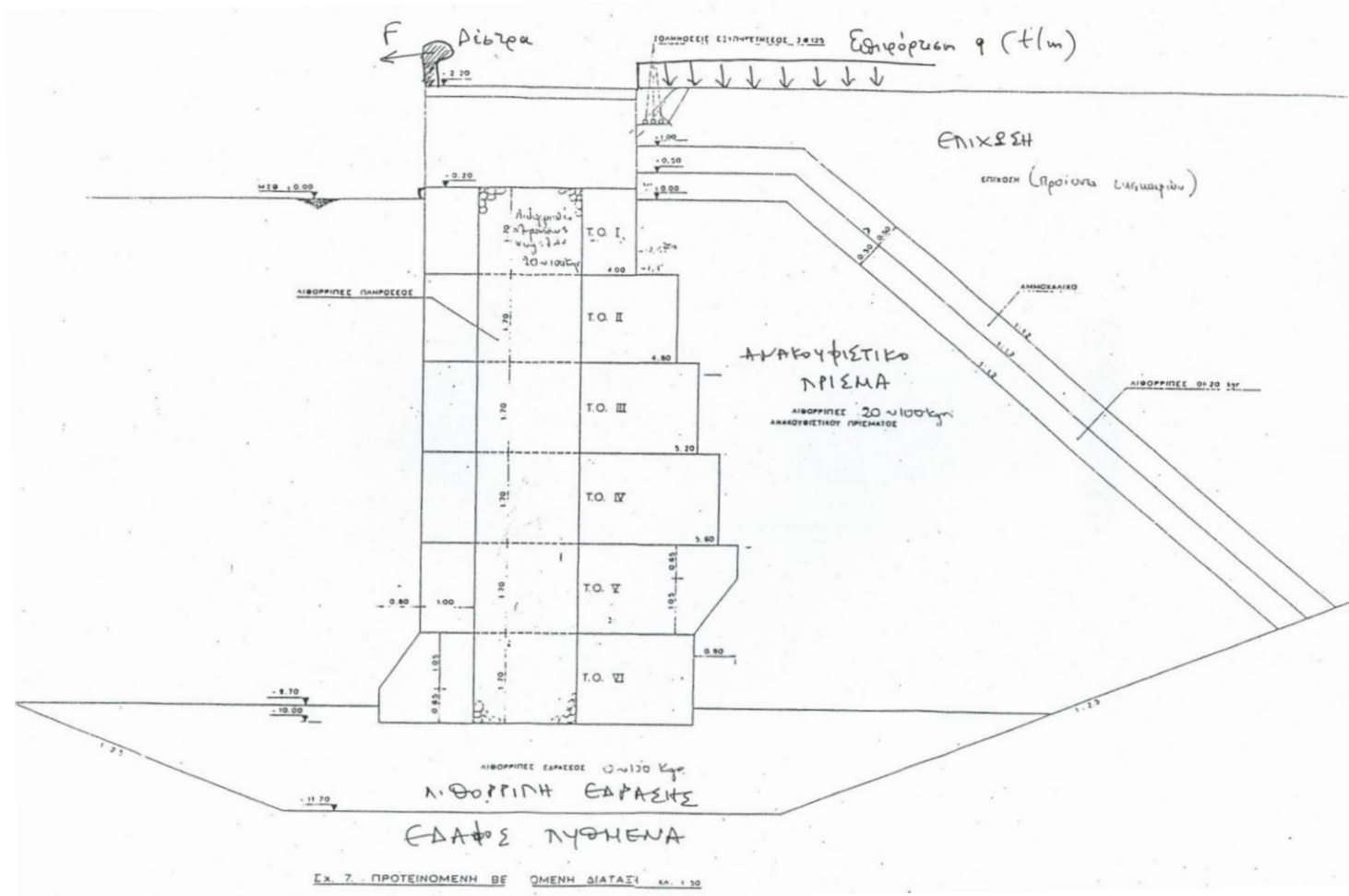
Π.χ. Σεισμική φόρτιση, ατυχήματα κλπ.

Τα κινητά φορτία λαμβάνονται ως στατικά και με τιμή 50% της τιμής στη φόρτιση I.

Παράδειγμα: Να υπολογιστεί η ευστάθεια και αντοχή του εικονιζόμενου κρηπιδότοιχου βαρύτητας (Πόρτο Λάγος).

Δίνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ζώνη σεισμικότητας I με επιταχύνσεις 0.12g οριζόντια και 0.04g κάθετη.
- Χαρ/κά επίχωσης: πορώδες 30%, γωνία τριβής $\phi=32^\circ$.
- Χαρ/κά ανακουφιστικού πρίσματος: πορώδες 38%, γωνία τριβής $\phi=40^\circ$.



- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους 25t/m²

- Επιτρεπόμενη τάση σκυροδέματος 50t/m^2
- Επιτρεπόμενη τάση λιθορριπής έδρασης 30t/m^2
- Συντελεστής τριβής σκυροδέματος-σκυροδέματος 0.75
- Συντελεστής τριβής σκυροδέματος-λίθων 0.55
- Δύναμη δέστρας 3t/m
- Επιφόρτιση (ομοιόμορφο φορτίο) $p=3\text{t/m}^2$

Οι ογκόλιθοι να θεωρηθούν πλήρεις και να αγνοηθούν οι ενδιάμεσες στρώσεις – φίλτρα μεταξύ ανακουφιστικού πρίσματος και επίχωσης.

Ελέγχεται η έδραση του κάθε ογκόλιθου χωριστά σε

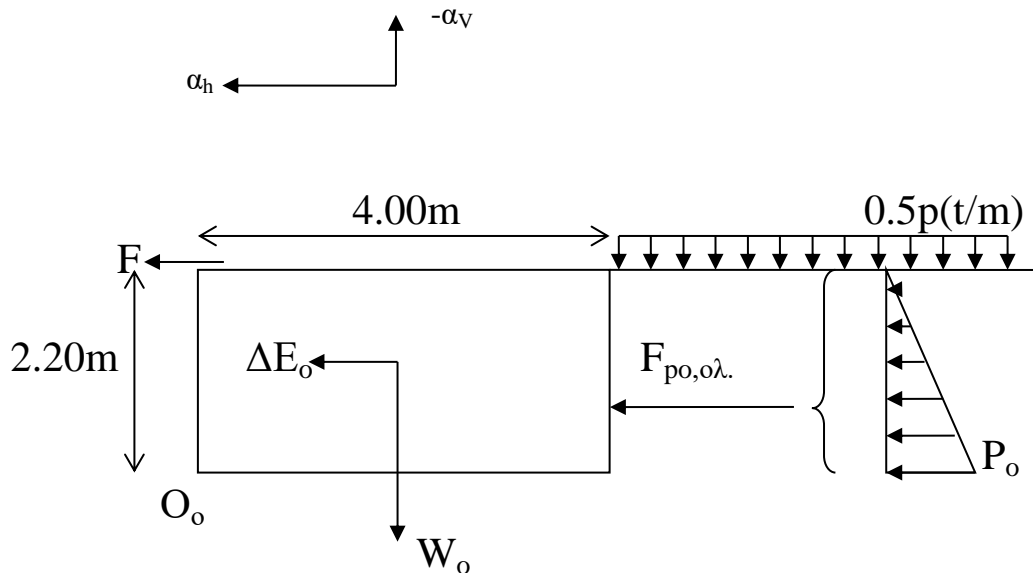
(α) Ολισθηση

(β) Ανατροπή

(γ) Τάσεων έδρασης ή βαθειά θραύση εδάφους όταν αναφερόμαστε στο τελευταίο επίπεδο έδρασης

i. Έλεγχος στη στάθμη ηρεμίας

Έστω ότι η κατακόρυφη επιτάχυνση σεισμού είναι προς τα πάνω:



a. Φορτία

Βάρος ογκόλιθου:

$$W_o = \gamma_s \cdot (\text{Εμβαδόν ογκόλιθου})(1-\alpha_v) \\ = 2.4(2.20 \cdot 4.00)(1-0.04)=20.275t$$

Σεισμός:

$$k_h = a_h/g$$

a_h η οριζόντια επιτάχυνση του σεισμού

$$\text{Επιλέγεται } q_w=2 \rightarrow k_h = a_h/g/ q_w \Leftrightarrow k_h = 0.12g/g/2=0.06$$

$$\Delta E_o = \pm k_h W_o = 0.06 \cdot 20.275 = 1.217t$$

Ωθήσεις γαιών:

Ο συντελεστής ωθήσεων στην περίπτωση σεισμού τροποποιείται ως εξής:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos\theta \cos(\delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right)^2} \quad \text{Εξ. (6.4)}$$

όπου $\vartheta = \arctan(a_h/(1 - \alpha_v))$

και α_v η κατακόρυφη επιτάχυνση του σεισμού.

Στη στάθμη ηρεμίας

$$\phi = \phi_{\text{επιχώσης}} = 32^\circ$$

$$\delta = \phi/2 = 16^\circ$$

$$\theta = \arctan(a_h/(1 - \alpha_v)) = \arctan(0.12/0.96) = 7.125^\circ$$

$$\text{Άρα } K_{AE} = 0.36$$

Η συνολική ώθηση λόγω σεισμού και λόγω ομοιόμορφης φόρτισης θα είναι

$$P_o = 0.5(\gamma + p/h)h^2 K_{AE} \quad \text{Εξ. (6.5)}$$

όπου $\gamma = \gamma_d =$ ειδικό βάρος επίχωσης (από προϊόντα εκσκαφής)

$$\gamma_d = \gamma_s (1-n)(1-\alpha_v) = 2.65(1-0.3)(1-0.04) = 1.78t/m^3$$

πορώδες

πραιτέρω μεταβολή λόγω αρνητικής κατακόρυφης (ανηγμένης) σεισμικής επιτάχυνσης α_v

Σε περίπτωση που η α_v ήταν προς τα κάτω τότε ο πολ/κός συντελεστής θα ήταν $(1+\alpha_v)$

h το εξεταζόμενο ύψος του κάθε ογκόλιθου, $h=2.20\text{m}$.

Άρα:

Άνω τιμή του διαγράμματος ωθήσεων = 0

Κάτω τιμή του διαγράμματος ωθήσεων = $P_o=0.5(\gamma_d+p/h)h^2K_{AE}$
 $=0.5(1.78+0.5\cdot 3/2.20)2.20^2\cdot 0.36=2.145\text{t/m}^2$

Επομένως η δύναμη των ωθήσεων γαιών θα δίνεται από το εμβαδόν του τριγωνικού φορτίου.

$F_{\rho,ολ.} = 2.145\cdot 2.20/2=2.359\text{t}$

και εφαρμόζεται σε ύψος 1/3 από τη βάση του ογκόλιθου.

Υδροστατική πίεση:

Σε αυτή τη στάθμη δεν υπάρχει υδάτινος ορίζοντας $\rightarrow P_w=0$

Δύναμη Δέστρας: $F=3\text{t}$

b. Έλεγχος σε ολίσθηση

Οριζόντια δύναμη $F_{Hο}=\Delta E_o + F_{\rho,ολ.} + F=2.145+2.359+3=6.576\text{t}$

Κάθετη δύναμη $F_V=W_o=20.275\text{t}$

Ο συντελεστής ασφαλείας v_o ορίζεται ως εξής

$$v_o = \frac{\mu F_V}{F_H} \quad \text{Εξ. (6.10)}$$

όπου F_V το άθροισμα των κατακόρυφων δυνάμεων

F_H το άθροισμα των οριζοντίων δυνάμεων

και μ ο συντελεστής τριβής στην υπό έλεγχο στάθμη:

$\mu=0.5-0.6$ για επιφάνειες σκυροδέματος-λιθορριπής

$\mu=0.7-1.0$ για επιφάνειες σκυροδέματος-σκυροδέματος

Οι προτεινόμενοι συντελεστές ασφαλείας για τις 3 καταστάσεις φορτίσεων είναι 1.75, 1.35 και 1.1.

Άρα για κατάσταση φόρτισης III

$$v_o = \frac{0.75 \cdot 20.275}{6.576} = 2.31 > 1.1$$

γ. Έλεγχος σε ανατροπή

Ο συντελεστής ασφαλείας v_a ορίζεται ως εξής

$$v_a = \frac{M_\varepsilon}{M_\alpha} \quad \text{Εξ. (6.11)}$$

όπου M_ε το άθροισμα των ροπών ευσταθείας ως προς Ο

M_α το άθροισμα των ροπών ανατροπής ως προς Ο

Ροπές ανατροπής:

Από δυνάμεις ΔE_o , $F_{ρo,ολ}$, F

$$M_\alpha = \Delta E_o \cdot (h/2) + F_{ρo,ολ} \cdot (h/3) + F \cdot h = 9.67 \text{tm}$$

Ροπές αντίστασης:

Από δύναμη βάρους W

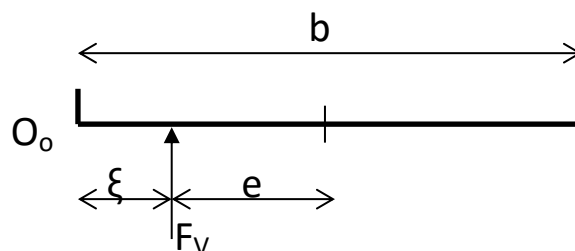
$$M_\varepsilon = W_o \cdot (b/2) = 40.55 \text{tm}$$

Οι προτεινόμενοι συντελεστές ασφαλείας για τις 3 καταστάσεις φορτίσεων είναι 1.5-2.0, 1.35-1.5 και 1.1-1.2.

Άρα για κατάσταση φόρτισης III

$$v_a = \frac{40.55}{9.67} = 4.19 > 1.2$$

δ. Έλεγχος τάσεων έδρασης



Η συνισταμένη $F_v = W_o = 20.275 \text{t}$ εφαρμόζεται σε απόσταση ξ από το σημείο O_o . Άρα θα πρέπει:

$$F_v \cdot \xi = M_\varepsilon - M_\alpha = 40.55 - 9.67 \Rightarrow \xi = 1.52 \text{m}$$
$$e = (b/2) - \xi = 2.00 - 1.52 = 0.48 \text{m} < b/6 = 0.67 \text{m}$$

Οι αναπτυσσόμενες τάσεις στην επιφάνεια του επόμενου ογκόλιθου ή της λιθορριπής λόγω των μεταβιβαζόμενων φορτίων είναι:

$$\sigma = \frac{F_V}{b} \left[1 \pm \frac{6e}{b} \right] \quad \text{Εξ. (6.12)}$$

όπου b = πλάτος έδρασης

e = εκκεντρότητα (δηλ. απόσταση του σημείου εφαρμογής από το κέντρο συμμετρίας της διατομής K).

Διακρίνουμε 2 περιπτώσεις:

(I) $e < b/6$ τότε

$$\sigma_A = \frac{F_V}{b} \left[1 - \frac{6e}{b} \right]$$

$$\sigma_B = \frac{F_V}{b} \left[1 + \frac{6e}{b} \right]$$

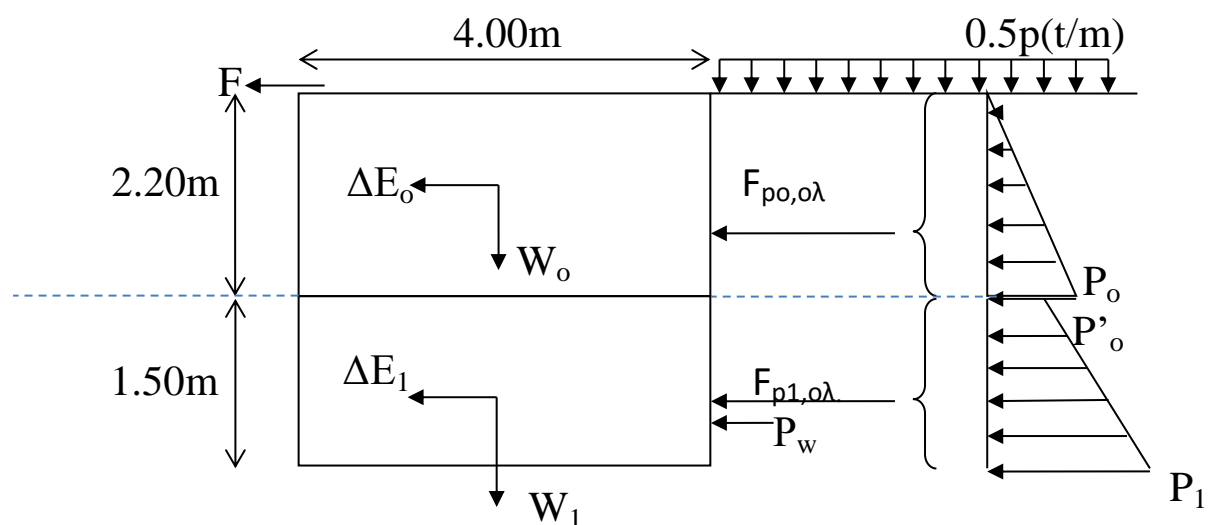
(II) $e > b/6$ τότε

$$\sigma_A = 0$$

$$\sigma_B = \frac{2F_V}{3\xi}$$

Άρα $\sigma_{\max} = \frac{F_V}{b} \left[1 + \frac{6e}{b} \right] = 8.694t/m^2 \ll 50t/m^2$

ii. Έλεγχος στη στάθμη 1 (επίπεδο -1.50m)



α. Φορτία

Βάρος ογκόλιθου:

$$W_1 = \gamma_s \cdot (\text{Εμβαδόν ογκόλιθου})(1-\alpha_v) \\ = 2.4(1.50 \cdot 4.00)(1-0.04) = 13.824t$$

Υπό άνωση:

$$W_{1A} = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (\text{Εμβαδόν ογκόλιθου})(1-\alpha_v) \\ = (2.4 - 1.026)(1.50 \cdot 4.00)(1-0.04) = 7.914t$$

Σεισμός:

$$k_h = 0.06$$

$$\Delta E_1 = k_h W_1 = 0.06 \cdot 13.824 = 0.829t$$

Ωθήσεις γαιών:

Ο συντελεστής ωθήσεων στην περίπτωση σεισμού τροποποιείται ως εξής:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos\theta \cos(\delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right)^2} \quad \text{Εξ. (6.4)}$$

όπου $\theta = \arctan(a_h / (1 - a_v))$

και a_v η κατακόρυφη επιτάχυνση του σεισμού.

Στη στάθμη 1:

$$\phi = \phi_{\text{πρισματος}} = 40^\circ$$

$$\delta = \phi / 2 = 20^\circ$$

$$\theta = \arctan(a_h / (1 - a_v)) = 7.125^\circ$$

$$\text{Άρα } K_{AE} = 0.268$$

Η συνολική ώθηση λόγω σεισμού και λόγω ομοιόμορφης φόρτισης θα είναι

$$P = 0.5(\gamma + p/h)h^2 K_{AE} \quad \text{Εξ. (7.5)}$$

όπου $\gamma = \gamma_d$ = ειδικό βάρος ανακουφιστικού πρίσματος

$$\gamma_{d\pi\rho A} = (\gamma_s - \gamma_w)(1-n)(1-\alpha_v) = (2.8 - 1.026)(1-0.38)(1-0.04) = 1.056t/m^3$$

h το εξεταζόμενο ύψος του κάθε ογκόλιθου, $h = 1.50m$.

Άρα:

Άνω τιμή του διαγράμματος ωθήσεων P'_o

$$P'_o = 2.145(K_{AE\text{πρισμ}}/K_{AE\text{πιχ}}) = 2.145(0.268/0.36) = 1.596 \text{ t/m}^2$$

Κάτω τιμή του διαγράμματος ωθήσεων =

$$P_1 = P'_o + 0.5(\gamma_d + \rho/h)h^2 K_{AE}$$

$$= 1.596 + 0.5(1.056 + 0.5 \cdot 3/1.50)1.50^2 \cdot 0.268 = 2.216 \text{ t/m}^2$$

Επομένως η δύναμη των ωθήσεων γαιών θα δίνεται από το εμβαδόν του τραπεζοειδούς φορτίου.

$$F_{p1,ολ.} = (P_1 + P'_o)h/2 = (2.216 + 1.596)1.50/2 = 2.859 \text{ t}$$

και εφαρμόζεται σε βάθος $\frac{h}{3} \frac{P'_o + 2P_1}{P'_o + P_1} = 0.791 \text{ m}$ (κέντρο βάρους

τραπεζίου από την μικρή βάση του)

Και άρα σε $1.50 - 0.791 = 0.709 \text{ m}$ από τη βάση του

Υδροστατική πίεση:

Σε αυτή τη στάθμη $P_w = 7k_h \gamma_w d^2/12$ όπου d το βάθος νερού σε κάθε στάθμη $\rightarrow P_{w,1} = 7 \cdot 0.06 \cdot 1.026 \cdot 1.5^2/12 = 0.0808 \text{ t}$

b. Έλεγχος σε ολίσθηση (Πάντα προσθέτω τα προηγούμενα)

$$\begin{aligned} \text{Οριζόντια δύναμη } F_H &= F_{H0} + \Delta E_1 + F_{p1,ολ.} + P_{w,1} \\ &= 6.576 + 0.829 + 2.859 + 0.0808 = 10.345 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\text{Κάθετη δύναμη } F_V = W_o + W_{1A} = 20.275 + 7.914 = 28.189 \text{ t}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας v_o ορίζεται ως εξής

$$v_o = \frac{\mu F_V}{F_H}$$

$$\text{Για κατάσταση φόρτισης III } v_o = \frac{0.75 \cdot 28.189}{10.345} = 2.04 > 1.1$$

c. Έλεγχος σε ανατροπή

Ο συντελεστής ασφαλείας v_a ορίζεται ως εξής

$$v_a = \frac{M_\varepsilon}{M_a}$$

Ροπές ανατροπής:

Από δυνάμεις ΔE_o , $P_{o,ολ}$, ΔE_1 , $F_{p1,ολ}$, F , $P_{w,1}$

$$M_{\alpha} = \Delta E_o \cdot (h_1 + h_o/2) + P_{o,ολ} \cdot (h_1 + h_o/3) + F \cdot (h_o + h_1) + \Delta E_1 \cdot (h_1/2) + F_{p1,ολ} \cdot (\text{Κ.Βτραπεζίου}) + P_w(0.4h_1) = 21.63 \text{tm}$$

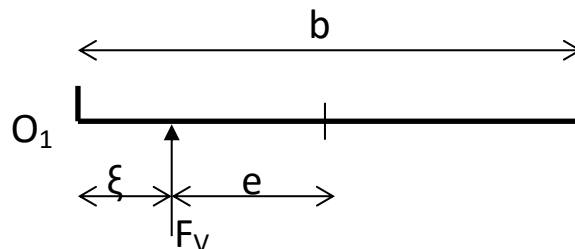
Ροπές αντίστασης:

Από δύναμη βάρους W_o και W_{1A}

$$M_{\varepsilon} = W_o \cdot (b/2) + W_{1A} \cdot (b/2) = 40.55 + 7.91 \cdot 2 = 56.38 \text{tm}$$

Για κατάσταση φόρτισης III $\nu_a = \frac{56.38}{21.63} = 2.61 > 1.2$

d. Έλεγχος τάσεων έδρασης



Η συνισταμένη $F_V = 28.189 \text{t}$ εφαρμόζεται σε απόσταση ξ από το σημείο O_1 . Άρα θα πρέπει:

$$F_V \cdot \xi = M_{\varepsilon} - M_{\alpha} = 56.38 - 21.63 \Rightarrow \xi = 1.23 \text{m}$$

$$e = (b/2) - \xi = 2.00 - 1.23 = 0.77 \text{m} > b/6 = 0.67 \text{m}$$

(Αφού $e > b/6$ πρέπει να γίνει έλεγχος αδρανούς περιοχής)

$e > b/6$ τότε

$$\sigma_A = 0$$

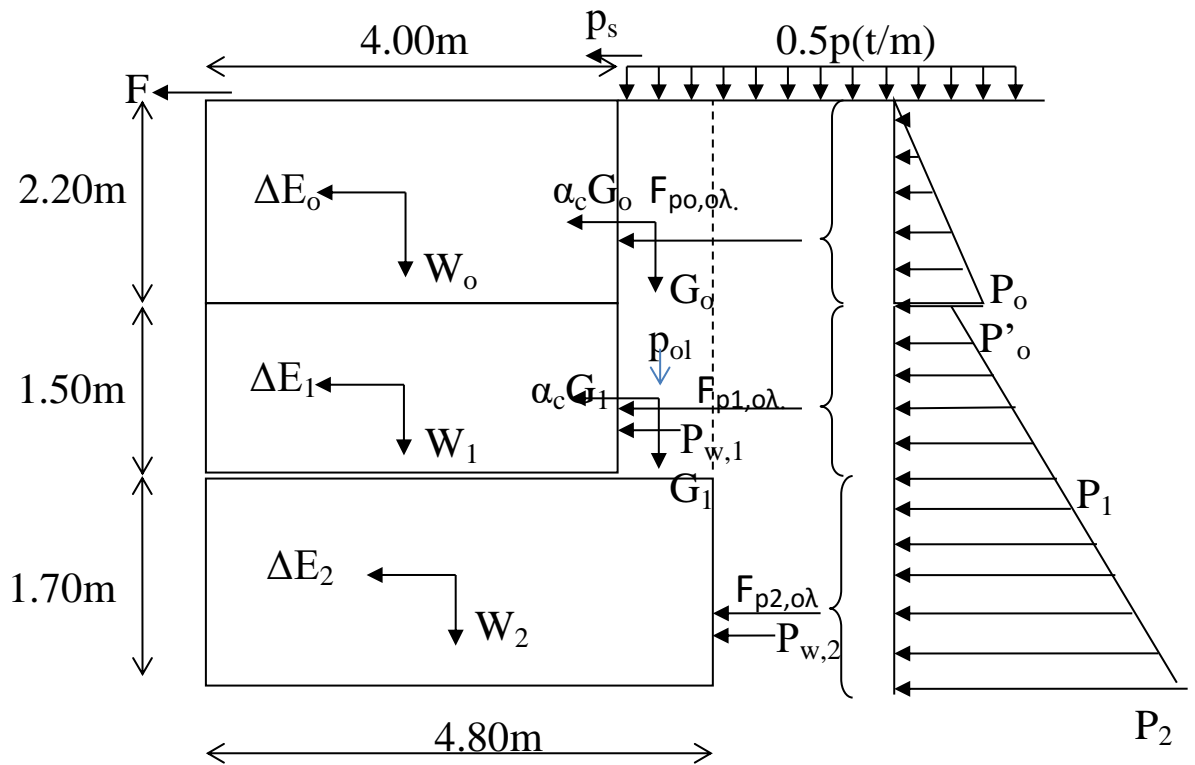
$$\sigma_B = \frac{2F_V}{3\xi}$$

$$\text{Άρα } \sigma_{\max} = \frac{2F_V}{3\xi} = \frac{2 \cdot 28.189}{3 \cdot 1.20} = 15.544 << 50 \text{t/m}^2$$

(Αφού $e > b/6$ πρέπει να γίνει έλεγχος αδρανούς περιοχής)

Αδρανής περιοχή, Πρέπει: $3\xi > 2b/3 \Rightarrow 3 \cdot 1.23 > 2 \cdot 4/3 \Rightarrow 3.698 > 2.67$ OK

iii. Έλεγχος στη στάθμη 2 (επίπεδο -3.20m)



α. Φορτία

Βάρος ογκόλιθου:

$$W_2 = \gamma_s \cdot (\text{Εμβαδόν ογκόλιθου}) \cdot (1 - \alpha_v) \\ = 2.4(1.70 \cdot 4.80)(1 - 0.04) = 18.801 \text{t}$$

Υπό άνωση:

$$W_{2A} = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot (\text{Εμβαδόν ογκόλιθου}) \cdot (1 - \alpha_v) \\ = (2.4 - 1.026)(1.70 \cdot 4.80)(1 - 0.04) = 10.763 \text{t}$$

Σεισμός:

$$\Delta E_2 = k_h W_2 = 0.06 \cdot 18.801 = 1.128 \text{t}$$

Βάρος Υπερκείμενων γαιών:

$$G_0 = \gamma_{d\epsilon\pi} \cdot E_0 \text{ γαιών} = 1.78(4.8-4.0)2.2 = 3.134t$$

$$G_{1A} = \gamma_{d\pi\rho A} \cdot E_1 \text{ γαιών} = 1.056(4.8-4.0)1.5 = 1.267t$$

$$\gamma_{d\pi\rho} = \gamma_s (1-n)(1-\alpha_v) = 2.8(1-0.38)(1-0.04) = 1.667t/m^3$$

$$G_1 = \gamma_{d\pi\rho} \cdot E_1 \text{ γαιών} = 1.667(4.8-4.0)1.5 = 2t$$

Σεισμικά φορτία των υπερκείμενων γαιών

$$k_h G_0 = 0.06 \cdot 3.134 = 0.188t$$

$$k_h G_1 = 0.06 \cdot 2 = 0.12t$$

Βάρος επιφόρτισης:

$$p_{oi} = (4.8-4.0) \cdot 0.5\rho = 0.8 \cdot 0.5 \cdot 3 = 1.2t$$

Σεισμικά φορτία της επιφόρτισης

$$p_s = k_h p_{oi} = 0.06 \cdot 1.2 = 0.072t$$

Ωθήσεις γαιών:

Στη στάθμη 2:

$$K_{AE} = 0.268$$

$$\gamma_d = 1.056t/m^3$$

$$h = 1.70m$$

Άνω τιμή του διαγράμματος ωθήσεων

$$P_1 = 2.517t/m^2$$

Κάτω τιμή του διαγράμματος ωθήσεων

$$P_2 = P_1 + 0.5(\gamma_d + \rho/h)h^2 K_{AE}$$

$$= 2.216 + 0.5(1.056 + 0.5 \cdot 3/1.70)1.70^2 \cdot 0.268 = 2,966t/m^2$$

Επομένως η δύναμη των ωθήσεων γαιών θα δίνεται από το εμβαδόν του τραπεζοειδούς φορτίου.

$$F_{p2,ολ.} = (P_2 + P_1)h/2 = (2,966 + 2.216)1.70/2 = 4.405t$$

$$\text{και εφαρμόζεται σε βάθος } \frac{h}{3} \frac{P_1 + 2P_2}{P_1 + P_2} = 0.891m$$

(κέντρο βάρους τραπεζίου από την μικρή βάση του)

Και άρα σε $1.70 - 0.891 = 0.809m$ από τη βάση του

Υδροστατική πίεση:

Σε αυτή τη στάθμη $P_w = 7k_h \gamma_w d^2 / 12$ όπου d το βάθος νερού σε κάθε στάθμη $\rightarrow P_{w,2} = 7 \cdot 0.06 \cdot 1.026 \cdot (1.5 + 1.7)^2 / 12 = 0.368t$

b. Έλεγχος σε ολίσθηση (Πάντα προσθέτω τα προηγούμενα)

Οριζόντια δύναμη

$$F_H = F_{H1} + \Delta E_2 + F_{p2,ολ.} + P_{w,2} + k_h G_o + k_h G_1 + p_s$$

$$= 10.345 + 1,128 + 4.405 + 0.368 + 0.188 + 0.12 + 0.072 = 21.843t$$

Κάθετη δύναμη

$$F_V = F_{v,1} + W_{2A} + G_o + G_1 + p_{ολ}$$

$$= 28.189 + 10.763 + 3.134 + 1.267 + 1.2 = 44.554t$$

Ο συντελεστής ασφαλείας v_o ορίζεται ως εξής

$$v_o = \frac{\mu F_V}{F_H}$$

Για κατάσταση φόρτισης III

$$v_o = \frac{0.75 \cdot 44.544}{16.626} = 2.01 > 1.1$$

c. Έλεγχος σε ανατροπή

Ο συντελεστής ασφαλείας v_a ορίζεται ως εξής

$$v_a = \frac{M_\varepsilon}{M_a}$$

Ροπές ανατροπής:

Από δυνάμεις

$\Delta E_o, P_{o,ολ.}, \Delta E_1, P_{1,ολ.}, \Delta E_2, P_{2,ολ.}, F, P_{w,2}, p_s, k_h G_o, k_h G_1$

$$M_\alpha = \Delta E_o \cdot (h_1 + h_2 + h_o/2) + F_{p_{o,ολ.}} \cdot (h_1 + h_2 + h_o/3) + F \cdot (h_o + h_1 + h_2) +$$

$$+ p_s \cdot (h_o + h_1 + h_2) + k_h G_o \cdot (h_2 + h_1 + h_o/2) +$$

$$+ \Delta E_1 \cdot (h_2 + h_1/2) + F_{p_{1,ολ.}} \cdot (h_2 + K \cdot \text{Βτραπεζίου}) + k_h G_1 \cdot (h_2 + h_1/2) +$$

$$+ \Delta E_2 \cdot (h_2/2) + F_{p_{2,ολ.}} \cdot (K \cdot \text{Βτραπεζίου}) + P_{w,2} \cdot (0.4(h_2 + h_1)) +$$

$$= 46.22tm$$

Ροπές αντίστασης:

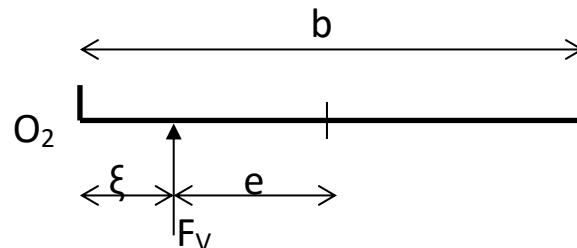
Από δύναμη βάρους W_o , W_{1A} και W_{2A} , G_o , G_{1A} , $\rho_{ολ}$

$$M_{\varepsilon} = W_o \cdot (b/2) + G_o \cdot ((4.8-4.0)/2+4) + \rho_{ολ} \cdot ((4.8-4.0)/2 + 4) + \\ + W_{1A} \cdot (b/2) + G_{1A} \cdot ((4.8-4.0)/2+4) \\ + W_{2A} \cdot (b'/2) = 105.79tm$$

Για κατάσταση φόρτισης III

$$v_a = \frac{105.79}{46.22} = 2.29 > 1.2$$

d. Έλεγχος τάσεων έδρασης



Η συνισταμένη $F_V = 43.354t$ εφαρμόζεται σε απόσταση ξ από το σημείο O_2 . Άρα θα πρέπει:

$$F_V \cdot \xi = M_{\varepsilon} - M_{\alpha} \Rightarrow \xi = 1.34m$$

$$e = (b/2) - \xi = 2.40 - 1.34 = 1.06m > b/6 = 0.8m$$

(Αφού $e > b/6$ πρέπει να γίνει έλεγχος αδρανούς περιοχής)

$e > b/6$ τότε

$$\sigma_A = 0$$

$$\sigma_B = \frac{2F_V}{3\xi}$$

$$\text{Άρα } \sigma_{\max} = \frac{2F_V}{3\xi} = \frac{2 \cdot 44.554}{3 \cdot 1.34} = 21.615 \ll 50t/m^2$$

Αδρανής περιοχή, Πρέπει: $3\xi > 2b/3 \Rightarrow 3 \cdot 1.34 > 2 \cdot 4.4/3 \Rightarrow 4.011 > 3.2$ OK