Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

Μάθημα: Εδαφομηχανική Ι, 5$^{\text{ο}}$ εξάμηνο.

Διδάσκων: Ιωάννης-Ορέστης Σ. Γεωργόπουλος, Π.Δ.407/80, Δρ Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Θεματική περιοχή: Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων στο έδαφος.

Ημερομηνία: Δευτέρα 25 Οκτωβρίου 2010.

ΑΣΚΗΣΗ 1: Υπολογίστε το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης D θεωρώντας ότι το υλικό είναι γραμμικώς ελαστικό και ισότροπο. Συγκρίνετε το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης με το μέτρο ελαστικότητας Ε και σχολιάστε τις τιμές τους. Βρείτε τον συντελεστή οριζόντιας ώθησης K_0, για την ανωτέρω περίπτωση.

Υπόδειξη: Στην ισότροπη γραμμική ελαστικότητα, οι τάσεις με τις αντίστοιχες παραμορφώσεις συνδέονται μέσω των κάτωθι σχέσεων:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E}\left[\sigma_{xx} - \nu\left(\sigma_{yy} + \sigma_{zz}\right)\right]$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{1}{E}\left[\sigma_{yy} - \nu\left(\sigma_{xx} + \sigma_{zz}\right)\right]$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{1}{E}\left[\sigma_{zz} - \nu\left(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}\right)\right]$$

Ο συντελεστής οριζόντιας ώθησης για πλευρική παρεμπόδιση (συνθήκες K_0) ισούται με

$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$$

όπου σ'_h και σ'_v είναι η ενεργός οριζόντια και κατακόρυφη τάση.

ΑΣΚΗΣΗ 2: Κάτω από τον πυθμένα μιας λίμνης βρίσκεται οριζόντιο εδαφικό στρώμα αργίλου πάχους 10m. Υπολογίστε την ολική κατακόρυφη σ_v και οριζόντια σ_h τάση, την πίεση των πόρων u, και την ενεργό κατακόρυφη σ'_v και οριζόντια σ'_h τάση σε εδαφικό στοιχείο που βρίσκεται 5m κάτω από τον πυθμένα της λίμνης, για τις εξής κάτωθι τέσσερεις περιπτώσεις:

(α) Το αρχικό ύψος του ύδατος της λίμνης ανέρχεται σε 15m.

(β) Η στάθμη της λίμνης καταβιβάζεται κατά 10m από την αρχική στάθμη (α).

(γ) Η λίμνη αποξηραίνεται (η στάθμη του ύδατος της λίμνης ταυτίζεται με τον πυθμένα της)

(δ) Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας καταβιβάζεται λόγω άντλησης υδάτων 3m κάτω από τον πυθμένα της λίμνης.

Δεχθείτε ότι το ειδικό βάρος της αργίλου σε πλήρως κορεσμένη κατάσταση είναι $\gamma_s = 21\, {}^{kN}/_{m^3}$, εν ξηρώ $\gamma_d = 18\, {}^{kN}/_{m^3}$ και αυτό του ύδατος $\gamma_w = 10\, {}^{kN}/_{m^3}$. Υποθέστε τιμή του συντελεστή

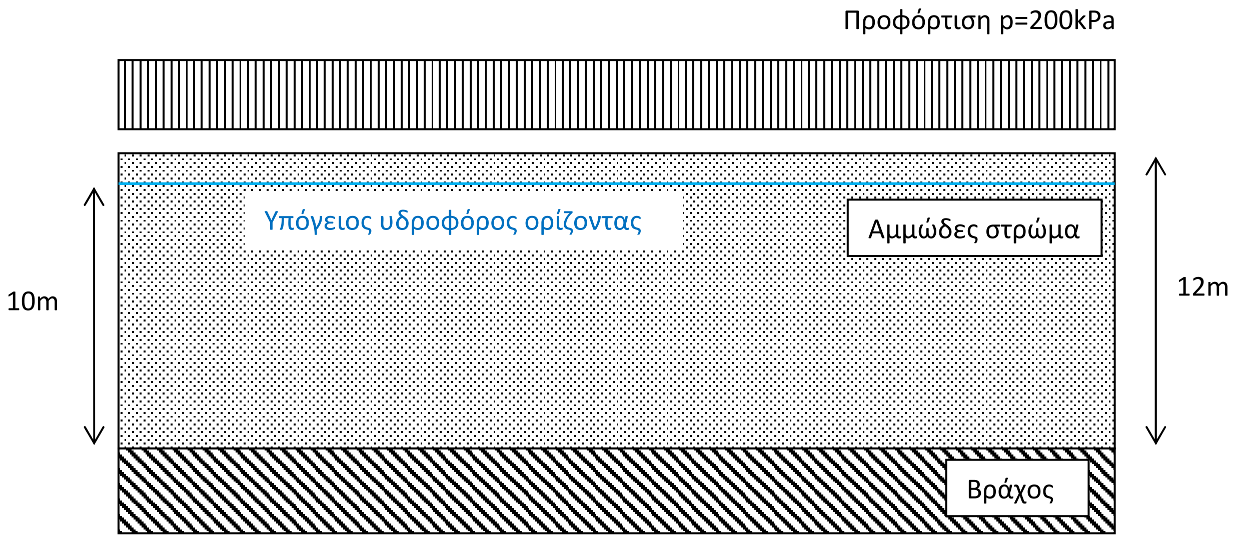
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

πλευρικής ωθήσεως $K_0 = 0.35$. Σχολιάστε τα αποτελέσματα και εκτιμήστε σε ποιά από τις ανωτέρω περιπτώσεις θα προκληθεί καθίζηση στο αργιλικό στρώμα. Δώστε μία εκτίμηση της καθίζησης, υποθέτοντας ότι η άργιλος είναι γραμμικώς ελαστικό και ισότροπο υλικό, με μέτρο ελαστικότητας $E = 25MPa$.

ΑΣΚΗΣΗ 3: Οριζόντιο εδαφικό στρώμα άμμου σε χαλαρή απόθεση πάχους 12m υπέρκειται σταθερού σκληρού σχηματισμού (βράχου). Στο έργο πρόκειται να κατασκευαστεί δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμου. Για τον περιορισμό των καθιζήσεων και βελτίωση του εδάφους, η γεωτεχνική μελέτη προβλέπει την προφόρτιση του αμμώδους εδαφικού στρώματος με ομοιόμορφο φορτίο $p = 200kPa$. Αντιπροσωπευτικά δείγματα από το αμμώδες στρώμα ελέχθηκαν στη συσκευή μονοδιάστατης συμπίεσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα μπορούν να εκφραστούν μέσω της σχέσεως,

$$\varepsilon_v = \frac{C_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}\right)$$

όπου ε_v είναι η ογκομετρική τροπή, $C_c = 0.118$ ο συντελεστής συμπιεστότητας, $e_0 = 0.96$ ο δείκτης πόρων ο οποίος αντιστοιχεί στην αρχική ενεργό τάση $\sigma'_{v0} = 10kPa$ και σ'_v η εκάστοτε ενεργός τάση. Υπολογίστε την καθίζηση του εδαφικού στρώματος μετά την εφαρμογή της προφόρτισης, δεχόμενοι ότι το φορτίο $p = 200kPa$ εκτείνεται απείρως και η τιμή του με το βάθος δεν αλλάζει. Δεχθείτε επίσης ότι ο υδροφόρος ορίζοντας παραμένει σταθερός σε βάθος 2m από την επιφάνεια του αμμώδους στρώματος ενώ η πυκνότητα του εδαφικού υλικού πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα είναι $\rho_d = 1.7\frac{tn}{m^3}$ και κάτω από αυτόν είναι $\rho_s = 2.0\frac{tn}{m^3}$. Για τον υπολογισμό των καθιζήσεων χωρίστε το αμμώδες στρώμα σε τρία υποστρώματα και θεωρείστε ως αντιπροσωπευτικό εδαφικό στοιχείο το μέσο κάθε υποστρώματος.



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

ΑΣΚΗΣΗ 4: Σχεδιάστε τις διαδρομές των τάσεων (τασικές οδεύσεις) σε διάγραμμα με οριζόντιο άξονα την μέση ορθή τάση p και κατακόρυφο την αποκλίνουσα τάση q για τις δοκιμές ισότροπης συμπίεσης και μονοδιάστατης συμπίεσης, θεωρώντας ότι το υλικό είναι γραμμικώς ελαστικό και ισότροπο (E,ν).

Υπόδειξη: Η αποκλίνουσα τάση q και η μέση ορθή ενεργός τάση p' ισούνται με,

$$q = \sigma'_1 - \sigma'_3$$

$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3}$$

όπου σ'_1 είναι η μέγιστη κύρια ενεργός τάση, σ'_3 η ελάχιστη κύρια ενεργός τάση και σ'_2 η ενδιάμεση κύρια ενεργός τάση.

ΑΣΚΗΣΗ 5: Εργαστηριακή δοκιμή ισότροπης συμπίεσης σε ξηρή πυκνή άμμο, με αρχικό δείκτη πόρων $e_0 = 0.609$ από τον ποταμό Sacramento έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα,

Πίεση p [kPa]	Ογκομετρική τροπή ε_v [%]	Πίεση p [kPa]	Ογκομετρική τροπή ε_v [%]
78	0.06	11925	6.40
196	0.31	9081	6.22
392	0.56	7708	6.09
588	0.81	5531	5.97
1069	1.18	4119	5.66
2167	1.74	3285	5.47
3285	2.30	2157	5.28
4021	2.67	1079	5.10
2216	2.30	588	4.72
981	1.99	392	4.47
392	1.55	98	3.85
78	1.12	392	4.23
392	1.55	588	4.41
981	1.93	1079	4.79
2216	2.30	2157	5.28
4021	2.86	3285	5.47
5492	3.29	4119	5.66
7708	4.29	5531	5.97
9081	4.79	7708	6.28
10395	5.34	9081	6.40
11925	5.84	11964	6.84
13729	6.59	13729	7.21

Σχεδιάστε τις καμπύλες του δείκτη πόρων e και της ογκομετρικής τροπής ε_v με τη μέση ορθή ενεργό τάση p'. Σχεδιάστε τη μεταβολή του εφαπτομενικού μέτρου ισότροπης συμπίεσης K_{sec} συναρτήσει της μέσης ορθής ενεργού τάσης p'. Υπολογίστε το ελαστικό μέτρο ισότροπης συμπίεσης K_{el}.

Υπόδειξη: Η επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων πραγματοποιείται πολλές φορές με την βοήθεια μαθηματικών συναρτήσεων. Η παραγώγιση αριθμητικών δεδομένων οδηγεί σε μεγάλα σφάλματα ως προς την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών, ιδίως όταν τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν διασπορά. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται μία συνάρτηση (τα πολυώνυμα δεν είναι πάντα οι καλύτερες συναρτήσεις) η οποία "προσαρμόζεται" στα πειραματικά αποτελέσματα και με βάσει αυτή υπολογίζονται τα ζητούμενα του προβλήματος.

Στην περίπτωση της ισότροπης συμπίεσης, μία συνάρτηση η οποία προσομοιώνει καλώς τα πειραματικά αποτελέσματα είναι η λογαριθμική,

$$\varepsilon_v^{fit} = c_1 ln\left(\frac{p'}{p'_0}\right) + c_2(p' - p'_0) + c_3$$

όπου ε_v είναι η ογκομετρική τροπή, p' η μέση ενεργός τάση και c_1, c_2, c_3, p'_0 σταθερές. Οι σταθερές αυτές, ή αλλιώς συντελεστές βαθμονόμησης, προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση του σφάλματος $\sum_{i=1}^{n}\left|\varepsilon_v - \varepsilon_v^{fit}\right|$, όπου ε_v είναι τα πειραματικά αποτελέσματα και $\varepsilon_v^{fit} = f(p', c_1, c_2, c_3, p'_0)$ είναι η συνάρτηση με την οποία τα προσομοιώσουμε τα πειραματικά αποτελέσματα. Με τη βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίζουμε τις τιμές των παραμέτρων c_1, c_2, c_3, p'_0.

Το εφαπτομενικό μέτρο ισότροπης συμπίεσης K_{sec} ορίζεται ως,

$$K_{sec} = \frac{dp'}{d\varepsilon_v}$$

ενώ το εφαπτομενικό μέτρο ισότροπης συμπιεστότητας C_{sec} ως,

$$C_{sec} = \frac{d\varepsilon_v}{dp'} = \frac{1}{K_{sec}}$$

Το ελαστικό μέτρο ισότροπης συμπίεσης K_{el} υπολογίζεται από την κλίση του διαγράμματος (p', ε_v) κατά την αποφόρτιση.

ΑΣΚΗΣΗ 6: Εργαστηριακή δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης σε ιλυώδη άργιλο με αρχικό δείκτη πόρων $e_0 = 0.950, \sigma'_{v0} = 1kPa$ από τον ποταμό San Francisco, έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα,

Αξονική τάση σ'_v [kPa]	Αξονική τροπή ε_1 [%]
1	1.1
3	2.2
4	4.4
10	14.3
21	23.7
41	31.3
82	38.2
22	37.0
6	34.2

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

Σχεδιάστε την καμπύλη της ογκομετρικής τροπής ε_v με την κατακόρυφη ενεργό τάση σ'_v και σχεδιάστε τη μεταβολή του εφαπτομενικού μέτρου μονοδιάστατης συμπίεσης D_{sec} συναρτήσει της κατακόρυφης ενεργού τάσης σ'_v . Υπολογίστε το ελαστικό μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης D_{el}.

Υπόδειξη: Όμοια με την Άσκηση 5, η συνάρτηση με την οποία προσομοιώνουμε καλύτερα τα πειραματικά αποτελέσματα είναι,

$$\varepsilon_v = \frac{C_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}\right)$$

Το εφαπτομενικό μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης D_{sec} ορίζεται ως,

$$D_{sec} = \frac{d\sigma'_v}{d\varepsilon_v}$$

ενώ το εφαπτομενικό μέτρο μονοδιάστατης συμπιεστότητας C_{sec} ως,

$$C_{sec} = \frac{d\varepsilon_v}{d\sigma'_v} = \frac{1}{D_{sec}}$$

Το ελαστικό μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης D_{el} υπολογίζεται από την κλίση του διαγράμματος $(\sigma'_v, \varepsilon_v)$ κατά την αποφόρτιση.

ΑΣΚΗΣΗ 7: Εργαστηριακή δοκιμή τριαξονικής συμπίεσης σε ξηρό αμμώδες δοκίμιο με αρχικό δείκτη πόρων $e_0 = 0.596$ και πλευρική πίεση $\sigma_c = 588kPa$, έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα,

Λόγος κυρίων ενεργών τάσεων η [-]	Διαφορά κυρίων ενεργών τάσεων q [kPa]	Αξονική τροπή ε_1 [%]	Ογκομετρική τροπή ε_v [%]
1.00	0.0	0.00	0.00
1.39	229.5	0.06	0.03
1.78	459.0	0.15	0.09
2.08	635.5	0.30	0.15
2.82	1070.9	0.58	0.24
3.25	1323.9	0.88	0.27
3.87	1688.7	1.46	0.22
4.24	1906.4	2.19	0.03
4.42	2012.3	2.92	-0.24
4.56	2094.7	4.38	-0.91
4.55	2088.8	5.85	-1.61
4.45	2030.0	8.77	-2.85
4.26	1918.2	11.70	-3.80
4.18	1871.1	14.60	-4.46
3.94	1729.9	17.55	-4.91
3.72	1600.5	20.00	-5.05

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

Σχεδιάστε τις καμπύλες του λόγου των κυρίων ενεργών τάσεων η και της ογκομετρικής τροπής ε_v συναρτήσει της αξονικής παραμόρφωσης ε_v. Σχεδιάστε τη μεταβολή του εφαπτομενικού μέτρου ελαστικότητας E_{sec} και του λόγου Poisson ν συναρτήσει της μέσης ενεργού τάσης p'.

Υπόδειξη: Όμοια με την Άσκηση 6, η συνάρτηση η οποία προσομοιώνει καλύτερα τα πειραματικά αποτελέσματα σε δοκιμές τριαξονικής θλίψης σε στραγγιζόμενες συνθήκες είναι,

$$\sigma'_1(\varepsilon_1) = c_1 \ln(c_2\varepsilon_1 + c_3) + \frac{c_4\varepsilon_1}{c_5\varepsilon_1 + c_6}$$

$$\varepsilon_v(\varepsilon_1) = c_7 \ln(c_8\varepsilon_1 + c_9) + \frac{c_{10}\varepsilon_1}{c_{11}\varepsilon_1 + c_{12}}$$

όπου $\sigma'_1, \varepsilon_v, \varepsilon_1$ είναι η αξονική ενεργός τάση, η ογκομετρική τροπή και η αξονική τροπή αντίστοιχα.

ΑΣΚΗΣΗ 8: Γράψτε το μητρώο ελαστικότητας για την περίπτωση ενός στοιχείου το οποίο βρίσκεται σε εδαφικό σχηματισμό, ο οποίος έχει προέλθει από φυσική απόθεση ιζημάτων.

Υπόδειξη: Η περίπτωση ιζηματογένεσης αποτελεί ένα συνήθη τρόπο δημιουργίας εδαφικών στρωμάτων. Η απόθεση μέσω της βαρύτητας (άξονας z) οδηγεί σε δημιουργία σχηματισμών, οι οποίοι έχουν μία συμμετρία ως προς το οριζόντιο επίπεδό τους, έστω το (x,y). Αυτά τα υλικά μπορούν να χαρακτηρισθούν σε πρώτη προσέγγιση, ως ελαστικά, εγκαρσίως ισότροπα. Τέτοια υλικά είναι π.χ. το ξύλο και το πεντελικό μάρμαρο. Οι ελαστικές τους σταθερές είναι έξι. Το μέτρο ελαστικότητας στο οριζόντιο επίπεδο (x,y) είναι $E_{xx} = E_{yy}$, ενώ στο κατακόρυφο $E_{zz} > E_{xx} = E_{yy}$. Ο λόγος του Poisson μπορεί να οριστεί ως $\nu_{xy} = -{}^{\varepsilon_y}/_{\varepsilon_x}$, $\nu_{yx} = -{}^{\varepsilon_x}/_{\varepsilon_y}$, $\nu_{xz} = -{}^{\varepsilon_z}/_{\varepsilon_x}$ και $\nu_{yz} = -{}^{\varepsilon_z}/_{\varepsilon_y}$, όπου λόγω εγκάρσιας συμμετρίας $\nu_{xy} = \nu_{yx}$ και $\nu_{xz} = \nu_{yz}$. Το μέτρο διάτμησης στο οριζόντιο επίπεδο (x,y) θα ισούται με $G_{xy} = G_{yx} = {}^{E_{xy}}\big/_{2(1+\nu_{xy})} = {}^{E_{yx}}\big/_{2(1+\nu_{yx})}$ ενώ στο (x,z) και (y,z) θα ισούται με $G_{zy} = G_{zx} = {}^{E_{zy}}\big/_{2(1+\nu_{zy})} = {}^{E_{zx}}\big/_{2(1+\nu_{zx})}$.