



Μάθημα: Εδαφομηχανική Ι, 5^ο εξάμηνο.

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

Θεματική περιοχή: Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφών.

Ημερομηνία: Δευτέρα 18 Οκτωβρίου 2010.

ΑΣΚΗΣΗ 1: Σχεδιάστε τις κοκκομετρικές καμπύλες των παρακάτω δειγμάτων από εδαφικό υλικό. Υπολογίστε το συντελεστή ομοιομορφίας C_u και καμπυλότητα C_c για κάθε ένα από τα εδαφικά δείγματα. Υπολογίστε επίσης τα ποσοστά χαλίκων, άμμου, ιλύος και αργίλου κατά τα πρότυπα ASTM, AASHTO, USCS και British Standard. Εν συνεχεία, εκτιμήστε τους δείκτες πλαστιμότητας PI και υδαρότητας LI καθώς και χαρακτηρίστε τα ως προς την ενεργητικότητά τους (activity A). Κατηγοριοποιήστε τα εδάφη σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (USCS).

Κόσκινο κατά ASTM ή διάσταση κόκκου	% κατά βάρος διερχόμενο					
	Δείγμα A	Δείγμα B	Δείγμα C	Δείγμα D	Δείγμα E	Δείγμα F
3"	100	-	100	-	-	-
1 1/2"	70	-	-	-	-	-
3/4"	49	100	91	-	-	-
3/8"	36	-	87	-	-	-
No.4	27	88	81	-	100	-
No.10	20	82	70	100	89	-
No.20	-	80	-	99	-	-
No.40	8	78	49	91	63	-
No.60	-	74	-	37	-	-
No.100	5	-	-	9	-	-
No.140	-	65	35	4	60	-
No.200	4	55	32	-	57	100
No.400	3	31	27	-	41	99
No.635	2	19	22	-	35	92
10μm	1	13	18	-	20	82
5μm	<1	10	14	-	8	71
2μm	-	-	11	-	-	52
1μm	-	2	10	-	-	39
	Δείγμα A	Δείγμα B	Δείγμα C	Δείγμα D	Δείγμα E	Δείγμα F
w_n [%]	27	14	14	11	8	72
LL	13	35	35	-	28	60
PL	8	29	18	NP	NP	28

(Με παύλα σημειώνονται οι τιμές που λείπουν, NP: μη πλαστικό)

Υπόδειξη: Ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u ορίζεται ως

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$



Ο συντελεστής καμπυλότητας C_c , αντίστοιχα ως

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα όρια των τιμών των διαμέτρων σε mm των κόκκων, ως προς το χαρακτηρισμό τους κατά ASTM, AASHTO, USCS και British Standard.

Εδαφικό υλικό/Πρότυπο	ASTM	AASHTO	USCS	British Standard
Χάλικας (χονδρόκοκκος)	4.75-75	2.0-75	19-75	20-60
Χάλικες (μεσόκοκκος)				6-20
Χάλικες (λεπτόκοκκος)			4.75-19	2.0-6
Άμμος (χονδρόκοκκος)	2.0-4.75	0.425-2.0	2.0-4.75	0.6-2.0
Άμμος (μεσόκοκκος)	0.425-2.0		0.425-2.0	0.2-0.6
Άμμος (λεπτόκοκκος)	0.075-0.425	0.075-0.425	0.075-0.425	0.06-0.2
Ιλύς (χονδρόκοκκος)	0.005-0.075	0.005-0.075	<0.075	0.02-0.06
Ιλύς (μεσόκοκκος)				0.006-0.02
Ιλύς (λεπτόκοκκος)				0.002-0.006
Αργίλος	0.001-0.005	0.001-0.005		<0.002

Ακολουθως, ο επόμενος πίνακας δίνει τις διαστάσεις των τετραγωνικών οπών της πλήρους σειράς των κοσκίνων κατά το πρότυπο ASTM (E11-01).

Κόσκινο	Άνοιγμα οπής σε mm	Κόσκινο	Άνοιγμα οπής σε mm
5,00"	127.000	No.8	2.380
4,24"	107.696	No.10	1.999
4"	101.600	No.12	1.679
3 ½"	88.900	No.14	1.410
3"	76.200	No.16	1.191
2½"	63.500	No.18	1.001
2.12"	53.848	No.20	0.841
2"	50.800	No.25	0.706
1¾"	44.450	No.30	0.594
1½"	38.100	No.35	0.500
1¼"	31.750	No.40	0.419
1.06"	26.924	No.45	0.353
1"	25.400	No.50	0.297
7/8"	22.225	No.60	0.249
¾"	19.050	No.70	0.211
5/8"	15.875	No.80	0.178
0.530"	13.462	No.100	0.150
½"	12.700	No.120	0.124
7/16"	11.125	No.140	0.104
3/8"	9.525	No.170	0.089
5/16"	7.925	No.200	0.074
0.265"	6.731	No.230	0.064



¼"	6.350	No.270	0.053
No.3½	5.664	No.325	0.043
No.4	4.750	No.400	0.038
No.5	3.988	No.450	0.030
No.6	3.353	No.500	0.025
No.7	2.794	No.635	0.020

Ενεργητικότητα (activity) Α ενός λεπτοκόκκου υλικού ορίζεται η ποσότητα

$$A = \frac{PI}{c_f}$$

όπου PI είναι ο δείκτης πλαστιμότητας και c_f είναι το ποσοστό κατά βάρος του εδάφους το οποίο έχει διάμετρο μικρότερο του 0.002mm. Ο παρακάτω πίνακας χαρακτηρίζει τα αργιλικά εδαφικά υλικά ως προς την ενεργητικότητά τους.

Αργιλικά εδαφικά υλικά	Τιμές παραμέτρου ενεργητικότητας Α
Κανονικά (normal)	0.75 < A < 1.25
Ανενεργά (inactive)	A < 0.75
Ενεργά (active)	A > 1.25

Για την κατάταξη των εδαφών χρησιμοποιείστε τον Πίνακα του Ενιαίου Συστήματος Ταξινόμησης Εδαφών (USCS), το οποίο βρίσκεται στο τέλος των ασκήσεων.

ΑΣΚΗΣΗ 2: Τα κάτωθι αποτελέσματα προέκυψαν από πειράματα προσδιορισμού ορίου υδαρότητας LI σε εδαφικό δοκίμιο ιλυώδους αργίλου στη συσκευή Casagrande.

Αριθμός κτύπων	Ποσοστό υγρασίας %
35	41.1
29	41.8
21	43.5
15	44.9

Οι αντίστοιχες δοκιμές για τον προσδιορισμό του ορίου πλαστιμότητας PL έδωσαν τιμές περιεκτικότητας σε ύδωρ 23.1% και 23.6%. Προσδιορίστε το όριο υδαρότητας LL, το δείκτη πλαστιμότητας PI, το δείκτη ρευστότητας (flow index) και τον δείκτη σκληρότητας (toughness index).

Υπόδειξη: Ο δείκτης ρευστότητας (flow index) ορίζεται ως η κλίση της καμπύλης του διαγράμματος περιεκτικότητας ύδατος w και αριθμό κρούσεων (σε λογαριθμική κλίμακα) στην δοκιμή προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL. Ο δείκτης σκληρότητας (toughness index) είναι ο λόγος του δείκτη πλαστιμότητας προς το δείκτη ρευστότητας.



ΑΣΚΗΣΗ 3: Σχολιάστε την ορθότητα ή μη των παρακάτω πειραματικών αποτελεσμάτων, τα οποία προέκυψαν από δοκιμές στη συσκευή Casagrande, για δύο διαφορετικά εδαφικά υλικά.

Όρια Atterberg	Εδαφικό υλικό Α	Εδαφικό υλικό Β
LL	50	38
PL	20	42
SL	25	-

ΑΣΚΗΣΗ 4: Αποδείξτε τις παρακάτω σχέσεις

$$\rho = \rho_s \left(\frac{1+w}{1+e} \right) = \frac{\rho_s + \rho_w S e}{1+e}$$

$$\rho = \rho_d (1+w)$$

$$S e \rho_w = \rho_s w$$

$$e = \frac{n}{1-n}$$

$$n = \frac{e}{1+e}$$

και γράψτε τις εκφράσεις που συνδέουν τη ξηρά πυκνότητα ρ_d , το δείκτη πόρων e και το βαθμό κορεσμού S συναρτήσει των ποσοτήτων ρ , ρ_s , ρ_w και w .

ΑΣΚΗΣΗ 5: Υπολογίστε τη μέγιστη (χαλαρή διάστρωση) και ελάχιστη (πυκνή διάστρωση) τιμή που μπορεί να πάρει το πορώδες n και ο δείκτης πόρων e για μία συσκευασία από μπάλες ring ring ακτίνας 15mm καθώς και για μία συσκευασία από σφαιρίδια ακτίνας 0.15mm.

Υπόδειξη: Υπολογίστε τον αριθμό των σφαιρών που είναι σε επαφή στην πιο χαλαρή και πιο πυκνή συσκευασία, έπειτα τον όγκο στο χώρο που καταλαμβάνουν και τέλος τον όγκο στο χώρο των κενών που δημιουργούνται μεταξύ των σφαιρών.

ΑΣΚΗΣΗ 6: Σχεδιάστε την κοκκομετρική καμπύλη ενός λεπτοκόκκου υλικού από τα κάτωθι αποτελέσματα από την δοκιμή του αραιομέτρου (hydrometer). Το ειδικό βάρος της στερεάς φάσης είναι 2.70 gr/cm^3 . Θερμοκρασία αιωρήματος 21.7°C . Όγκος βολβού αραιομέτρου 28.8 cm^3 . Θερμοκρασία βαθμονόμησης αραιομέτρου 20°C . Για το αραιομέτρου δεχθείτε:

$$z_r = 22.10 \text{ cm}, \rightarrow r = 0$$

$$z_r = 9.40 \text{ cm}, \rightarrow r = 30$$

Εμβαδόν ογκομετρικού σωλήνα 28.8 cm^2 , όγκος αιωρήματος 1000 cm^3 , μάζα ξηρού δείγματος 99.1 gr .



Χρόνος t [min]	Μετρήσεις αερομέτρου	
	Εν αιωρήσει	Εν ύδωρ
1/4	24.0	
1/2	20.6	
1	17.1	
2	13.3	-0.4
5	9.3	
10	6.7	
20	4.8	
48	3.1	
90	2.2	-0.4
180	1.5	
332	0.9	-0.4
1332	0.4	-0.5

Θεωρητικό υπόβαθρο: Κατά την δοκιμή του αραιομέτρου, μία ποσότητα εδάφους διαλύεται σε ύδωρ και ανακατεύεται μέχρι το μείγμα να γίνει ομοιόμορφο. Στην αρχή της διαδικασίας εναπόθεσης το μείγμα έχει την ίδια περιεκτικότητα αιωρούμενου εδάφους σε οποιοδήποτε σημείο του. Το ειδικό βάρος του μείγματος γ_i δίνεται από την σχέση

$$\gamma_i = \gamma_w + \frac{\gamma_s - 1}{\gamma_s} \frac{W}{V}$$

όπου γ_w είναι το ειδικό βάρος του ύδατος, γ_s είναι το ειδικό βάρος της στερεάς φάσης και W/V είναι το βάρος της στερεάς φάσης.

Ας θεωρήσουμε τώρα ένα σημείο σε ένα βάθος z από την ελεύθερη επιφάνεια και έστω t είναι ο χρόνος από την έναρξη της εναπόθεσης (καθίζησης). Η διάμετρος του κόκκου D , ο οποίος θα έχει μόλις περάσει από το βάθος z σε χρόνο t , μπορεί να υπολογιστεί από το Νόμο του Stokes,

$$u = \frac{z}{t} = CD^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{z}{Ct}}, C = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu}$$

Στο βάθος z δεν υπάρχουν κόκκοι με διάμετρο μεγαλύτερη από D , καθώς όλοι οι κόκκοι με μεγαλύτερες διαμέτρους θα έχουν διανύσει απόσταση μεγαλύτερη από z . Η διάμετρος D ονομάζεται και *οριακή διάμετρος*.

Σε οποιοδήποτε στοιχειώδες όγκο σε βάθος z , το βάρος των κόκκων με διάμετρο μικρότερη του D θα παραμένει αμετάβλητο, καθώς στο αρχικό ομοιογενές μείγμα οι κόκκοι αυτοί θα καθιζάνουν με σταθερή ταχύτητα, επομένως όσοι κόκκοι εισέρχονται στο στοιχειώδες όγκο, τόσοι άλλοι θα εξέρχονται από αυτόν. Μέσα στο στοιχειώδες όγκο, κόκκοι με διάμετρο μεγαλύτερη του D δεν θα υπάρχουν ενώ η περιεκτικότητα σε κόκκους μικρότερης διαμέτρου θα παραμένει αμετάβλητη. Ας θεωρήσουμε ότι N είναι ο λόγος του βάρους των κόκκων που έχουν διάμετρο μικρότερη του D προς το βάρος των κόκκων στο αρχικό μείγμα. Το βάρος των στερεών ανά μονάδα όγκου σε βάθος z και σε χρόνο t ισούται με NW/V και το ειδικό βάρος του μείγματος ισούται με



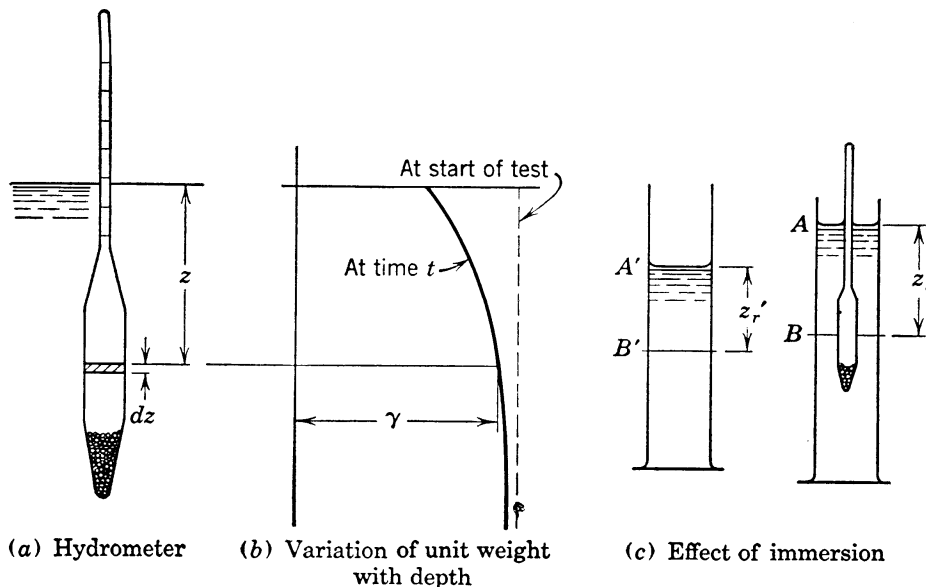
$$\gamma = \gamma_w + \frac{\gamma_s - 1}{\gamma_s} \frac{NW}{V}$$

επομένως

$$N = \frac{\gamma_s - 1}{\gamma_s} \frac{V}{W} (\gamma - \gamma_w)$$

Ο λόγος N αντιπροσωπεύει το κλάσμα του εδαφικού υλικού που είναι λεπτότερο από την διάμετρο D. Συνεπώς, ο υπολογισμός του ειδικού βάρους σε οποιοδήποτε βάθος και σε οποιοδήποτε χρόνο επιτρέπει τον υπολογισμό ενός σημείου στην κοκκομετρική καμπύλη του εδαφικού υλικού.

Διαβαθμισμένα αραιόμετρα, όπως στο κάτωθι σχήμα, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους ρευστών.



Η ένδειξη του αραιόμετρου διαβάζεται στην επιφάνεια του ρευστού στην κλίμακα του στελέχους του, και όταν το αραιόμετρο βυθίζεται στο ρευστό η ένδειξη του ισούται με το ειδικό βάρος του ρευστού. Το αραιόμετρο συνήθως βαθμονομείται έτσι ώστε να δείχνει μονάδα σε καθαρό ύδωρ, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, ενώ σε άλλα ρευστά,

$$r = \frac{\gamma}{\gamma_c} \rightarrow \gamma = r\gamma_c$$

όπου γ το ειδικό βάρος του ρευστού και γ_c το ειδικό βάρος του ύδατος σε θερμοκρασία βαθμονόμησης.

Στην περίπτωση που το αραιόμετρο επιπλέει στο ρευστό, το βάρος του αραιόμετρου W_H εξισορροπείται από την άνωση η οποία ισούται με το βάρος του εκτοπιζομένου ρευστού. Εάν το ρευστό έχει σταθερό ειδικό βάρος,

$$\gamma \int A dz = W_H$$



όπου A είναι το εμβαδόν σε βάθος z και η ολοκλήρωση περιλαμβάνει ολόκληρο το ύψος του αραιομέτρου που έχει βυθιστεί.

Με την πάροδο του χρόνου και καθώς η διαδικασία της καθίζησης προχωρά, το ειδικό βάρος μεταβάλλεται με το βάθος (βλ. ανωτέρω σχήμα, περίπτωση β). Σε αυτήν την περίπτωση η άνωση γράφεται ως,

$$\int \gamma A dz = W_H$$

Η μετρούμενη τιμή του r στην περίπτωση του αιωρήματος μεταβαλλόμενης πυκνότητας αποτελεί μία μέση τιμή του ειδικού βάρους. Στο εν λόγω σχήμα φαίνεται ότι το ειδικό βάρος είναι μικρότερο από r στο άνω μέρος του αραιομέτρου, μεγαλύτερο στο κάτω μέρος και κοντά στον βολβό του αραιομέτρου περίπου ίσο με r .

Ο Arthur Casagrande, μαθητής του Karl von Terzaghi, έδειξε ότι εφόσον το ειδικό βάρος μεταβάλλεται γραμμικά με το βάθος, οι ασάφειες οι οποίες εισάγονται είναι εν γένει μικρές και δεν υπερβαίνουν το 3%. Η έκφραση για την γραμμική μεταβολή του ειδικού βάρους μπορεί να γραφεί ως,

$$\gamma = C_1 + C_2 z$$

Στο βάθος κοντά στο μέσο του βολβού του αραιομέτρου, όπου το ειδικό βάρος γ ισούται με γ_c , η τιμή του z θα δίνεται ως z_r , και

$$r\gamma_c = C_1 + C_2 z_r$$

Εξισώνοντας τις ανωτέρω δύο εξισώσεις της άνωσης, προκύπτει ότι

$$z_r = \frac{\int z A dz}{\int A dz}$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει την απόσταση από το κέντρο βάρους. Επίσης δηλώνει ότι το βάθος εκείνο στο οποίο το ειδικό βάρος του ρευστού ισούται με την μέτρηση r από το αραιόμετρο είναι το βάθος από το κέντρο του βυθισμένου όγκου, συχνά ονομαζόμενο κέντρο βύθισης. Συνεπώς, οι μετρήσεις από το αραιόμετρο δηλώνουν το ειδικό βάρος στο βάθος του κέντρου βύθισης.

Η βαθμονόμηση του αραιομέτρου επιτρέπει τον υπολογισμό της απόστασης z_r για όλες της τιμές του r . Τυπικό παράδειγμα βαθμονόμησης αραιομέτρου που χρησιμοποιείται για κοκκομετρικές καμπύλες είναι:

$$z_r = 9.4cm, \rightarrow r = 1.030$$
$$z_r = 22.1cm, \rightarrow r = 1.000$$

Για τις ενδιάμεσες τιμές μία γραμμική παρεμβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Συνεπώς, για κάθε παρατηρούμενη μέτρηση r το αντίστοιχο βάθος z_r υπολογίζεται από βαθμονόμηση, το ειδικό βάρος υπολογίζεται από την σχέση



$$r = \frac{\gamma}{\gamma_c} \rightarrow \gamma = r\gamma_c$$

και ο χρόνος t καταγράφεται. Οι μετρήσεις αυτές είναι αρκετές προκειμένου να υπολογιστούν η διάμετρος του κόκκου D ,

$$D = \sqrt{\frac{z}{Ct}}$$

και του ποσοστού κατά βάρος N ,

$$N = \frac{\gamma_s - 1}{\gamma_s} \frac{V}{W} (\gamma - \gamma_w)$$

Οι μετρήσεις του αραιομέτρου γίνονται συνήθως σε διαστήματα 1/4, 1/2, 1 και 2 λεπτών με το αραιόμετρο να παραμένει εν αιωρήσει στο διάλυμα για τα δύο πρώτα λεπτά. Οι τέσσερις μετρούμενες τιμές z_r αποτελούν και τις τιμές των z στην εξίσωση

$$D = \sqrt{\frac{z}{Ct}}$$

Διαδοχικές μετρήσεις λαμβάνονται σε 5, 10, 20 και 40 λεπτά, κ.ο.κ. Πριν από αυτές τις μετρήσεις το αραιόμετρο τοποθετείται σε αιώρηση και ευθύς μετά την λήψη της μέτρησης αφαιρείται. Συνεπώς πρέπει να εισαχθεί μία διόρθωση για την βύθιση (βλ. ανωτέρων σχήμα περίπτωση c). Η απόσταση από το κέντρο της βύθισης φαίνεται στα δεξιά. Ωστόσο, οι κόκκοι με οριακή διάμετρο D , οι οποίοι βρίσκονται στο επίπεδο B, δεν έχουν διανύσει την απόσταση $z_r=(AB)$, αλλά την απόσταση $z'_r=(A'B')$. Υπάρχει μία διαφορά καθώς η εισαγωγή του αραιομέτρου αυξάνει την απόσταση (A'B') σε (AB). Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών είναι σταθερή, περίπου ίση με το μισό του όγκου του αραιομέτρου V_H προς το εμβαδόν του ογκομετρικού σωλήνα A_j . Επομένως, για τις μετρήσεις από τα 5 λεπτά και έπειτα η τιμή του z , ισούται με την διορθωμένη τιμή,

$$z = z_r - \frac{V_H}{2A_j}$$

Μία σειρά από διορθώσεις μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας έναν επιπλέον ογκομετρικό σωλήνα, ο οποίος περιέχει καθαρό ύδωρ, και ο οποίος χρησιμοποιείται για να λαμβάνεται περιστασιακά η τιμή r_w . Ο όρος $\gamma - \gamma_w$ τροποποιείται ως $\gamma_c(r - r_w)$, και περιλαμβάνει τις ακόλουθες τρεις διορθώσεις: (α) τη διόρθωση του μηνίσκου, καθώς οι μετρήσεις γίνονται μόνο στο άνω μέρος του μηνίσκου σε αδιαφανή αιώρηση, (β) τη διόρθωση για την διαστολή του βολβού του αραιομέτρου λόγω θερμοκρασίας, και (γ) τη διόρθωση εφόσον η κλίμακα στο στέλεχος του αραιομέτρου δεν είναι ακριβής. Το ποσοστό του υπολογιζόμενου κλάσματος τελικά ισούται με:

$$N = \frac{\gamma_s - 1}{\gamma_s} \frac{V}{W} \gamma_c (r - r_w)$$

Πολλές φορές λόγω αναταράξεων και μειωμένου εμβαδού εν αιωρήσει στην αρχή της βύθισης του αραιομέτρου, οι πρώτες μετρήσεις καλό είναι να ελέγχονται διεξοδικά και να αποκλείονται αν βρεθούν εσφαλμένες. Επίσης είναι επιθυμητό να λαμβάνονται οι τιμές μέχρι τα δύο πρώτα λεπτά,



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

έπειτα να αφαιρείται το αραιόμετρο και να ανακατεύεται το αιώρημα. Μετά το πέρας των δύο λεπτών μπορεί να τοποθετηθεί το αραιόμετρο για τις περεταίρω μετρήσεις. Σε κάθε περίπτωση το αραιόμετρο θα πρέπει να εισάγεται και να αφαιρείται αργά χωρίς μεγάλες αναταράξεις.

Major Divisions		Group Symbols (†)	Typical Names	Field Identification Procedures (excluding particles larger than 75 mm and basing fractions on estimated weights)				
1	2	3	4	5				
Coarse grained Soils More than half of material is larger than No. 200 (‡) (75 µm) sieve size.	Gravels More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size. (4.75 mm) (for visual classification, 5 mm may be used as equivalent to the No. 4 sieve size)	Clean Gravels (little or no fines)	GW	Well-graded gravels, gravel sand mixtures, little or no fines.	Wide range in grain sizes and substantial amounts of all intermediate particle sizes.			
			GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines.	Predominantly one size or a range of sizes with some intermediate sizes missing.			
		Gravels with Fines (appreciable amount of fines)	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures.	Nonplastic fines or fines with low plasticity (for identification procedures see ML below).			
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures.	Plastic fines (for identification procedures see CL below).			
		Clean Sands (little or no fines)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines.	Wide range in grain sizes and substantial amounts of all intermediate particle sizes.			
			SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines.	Predominantly one size or a range of sizes with some intermediate sizes missing.			
	Sands with Fines (appreciable amount of fines)	SM	Silty sands, sand-silt mixtures.	Nonplastic fines or fines with low plasticity (for identification procedures see ML below).				
		SC	Clayey sands, sand-clay mixtures.	Plastic fines (for identification procedures see CL below).				
	Fine-grained Soils More than half of material is smaller than No. 200 (75 µm) sieve size.	Silt and Clays Liquid limit less than 50		Identification Procedures on Fraction Smaller than No. 40 Sieve Size				
					Dry Strength (crushing characteristics)	Dilatancy (reaction to shaking)	Toughness (consistency near PL)	
ML				Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity.	None to slight	Quick to slow	None	
CL				Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays.	Medium to high	None to very slow	Medium	
Silt and Clays Liquid limit greater than 50				OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity.	Slight to medium	Slow	Slight
				MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts.	Slight to medium	Slow to none	Slight to medium
				CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays.	High to very high	None	High
				OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts.	Medium to high	None to very slow	Slight to medium
Highly Organic Soils		Pt	Peat and other highly organic soils.	Readily identified by color, odor, spongy feel and frequently by fibrous texture.				

† Boundary classifications: soils possessing characteristics of two groups are designated by combinations of group symbols. For example: GW-GC well-graded gravel sand mixture with clay binder

* All sieve sizes on this chart are U.S. Standard

Laboratory Classification
Criteria

6

Use grain size curve in identifying the fractions as given under field identification.

Determine percentages of gravel and sand from grain size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size) coarse-grained soils are classified as follows:

Less than 5%: GW, GP, SW, SP
 More than 12%: GM, GC, SM, SC.
Borderline cases requiring use of dual symbols.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ greater than 4}$$

(See Sec. 2-5)

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ between 1 and 3}$$

Not meeting all gradation requirements for GW

Atterberg limits below A-line, or
PI less than 4

Above A-line with
PI between
4 and 7 are borderline
cases requiring use of
dual symbols.

Atterberg limits above A-line
with PI greater than 7

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ greater than 6}$$

(See Sec. 2-5)

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ between 1 and 3}$$

Not meeting all gradation requirements for SW

Atterberg limits below A-line, or
PI less than 4

Limits plotting in hatched
zone with PI between
4 and 7 are borderline
cases requiring use of
dual symbols.

Atterberg limits above A-line
with PI greater than 7

Plasticity Chart

For laboratory classification of fine-grained soils

