

Επίδραση της Μικροδομής στην Αντοχή και στο Μέτρο Παραμόρφωσης, E_s , των Μαργών της Β. Πελοποννήσου

Influence of the Microstructure on the Unconfined Compressive Strength and Deformation Modulus, E_s , of the N. Peloponnese Marls

ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΠΟΥΛΟΥ, Τ.Α. Δρ. Τεχνικός Γεωλόγος, Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε./Γ.Γ.Δ.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία ερευνάται ο ρόλος των μικροδομικών ιδιομορφιών των μαργών της Β. Πελοποννήσου στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ξηρών και υγρών δειγμάτων και στο μέτρο παραμόρφωσης, E_{s50} . Από τους τρεις τύπους της μικροδομής, που διακρίθηκαν με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης, η μεγαλύτερη διασπορά των τιμών της αντοχής και του E_{s50} παρατηρείται στις μικροδομές «μικτού τύπου», εξαιτίας της ετερογένειας του δικτύου των επαφών μεταξύ των δομικών συστατικών που οφείλεται κυρίως στον τρόπο εμφάνισης του ανθρακικού ασβεστίου. Χαμηλές τιμές αντιστοιχούν στις μικροδομές τύπου «σύμπηξης» (επικράτηση ασθενών δομικών δεσμών μεταξύ των αργιλικών τεμαχιδίων) και υψηλές στις «κρυσταλλικές-συγκολλημένες» μικροδομές.

ABSTRACT: The role which microstructural characteristics plays on the unconfined compressive strength, UCS, and deformation modulus, E_{s50} , of dry and wet marly samples from Northern Peloponnese, is studied. Amongst the three types of microstructure, which were determined by the use of scanning electron microscope (SEM), the most serious scattering of the UCS and E_{s50} values is noticed in "mixed-type" microstructures, because of the heterogeneity of the structural bonds pattern due primarily to the kind of occurrence of calcium carbonate. Low values of the UC Strength and E_{s50} correspond to "coagulative" microstructures (in which weak structural bonds between clayey particles predominate) and high to "crystallized-cementated" microstructures.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μάργες αποτελούν μία ιδιαίτερη κατηγορία ιζημάτων λόγω του μικτού τους χαρακτήρα τόσο από ιζηματολογική (μίγμα κλαστικού αργιλικού υλικού και βιοχημικής-χημικής προέλευσης ασβεστιτικού υλικού) όσο και από τεχνική άποψη (ανήκουν στην κατηγορία σκληρών εδαφών-μαλακών βράχων). Για το λόγο αυτό, η αντοχή και η παραμορφωσιμότητά τους ελέγχεται από πολλούς παράγοντες (είδος και ποσοστό αργιλικών ορυκτών, βαθμός συγκόλλησης που είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο και της γεωλογικής ιστορίας του σχηματισμού, σχήμα και κατανομή των κόκκων-τεμαχιδίων και των πόρων στη δομή, συσσωμάτωση ή διασπορά

των αργιλικών ορυκτών, βαθμός προσανατολισμού των αργιλικών τεμαχιδίων, κ.ά.) που δεν μπορούν να υπεισέλθουν στα διάφορα φαινομενολογικά πρότυπα ώστε να αποδοθεί με μαθηματικό τρόπο η καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης και να καθορισθεί ο βραχύωδης ή γαιώδης χαρακτήρας τους. Τα τελευταία χρόνια (Seo et al. 2002, Li et al. 1998, Tang et al. 1998) γίνεται προσπάθεια της περιγραφής ή της προσομοίωσης του μηχανισμού της παραμόρφωσης λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα του υλικού (ρωγμάτωση, δομή) που παρατηρείται τόσο στην ύπαιθρο όσο και στο εργαστήριο έτσι ώστε να ερμηνευτεί, αν όχι να προβλεφθεί, η μηχανική συμπεριφορά των μαργών.

Μία απλή προσέγγιση του θέματος αυτού γίνεται και στην παρούσα εργασία, στην οποία ερευνάται ο ρόλος των μικροδομικών ιδιοτεροτήτων των μαργών της Βορείου Πελοποννήσου στην αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (UCS) ξηρών και υγρών δειγμάτων και στο μέτρο παραμόρφωσης, E_{s50} , που μετρήθηκε στο 50% της αντοχής αυτής. Η αντοχή σε

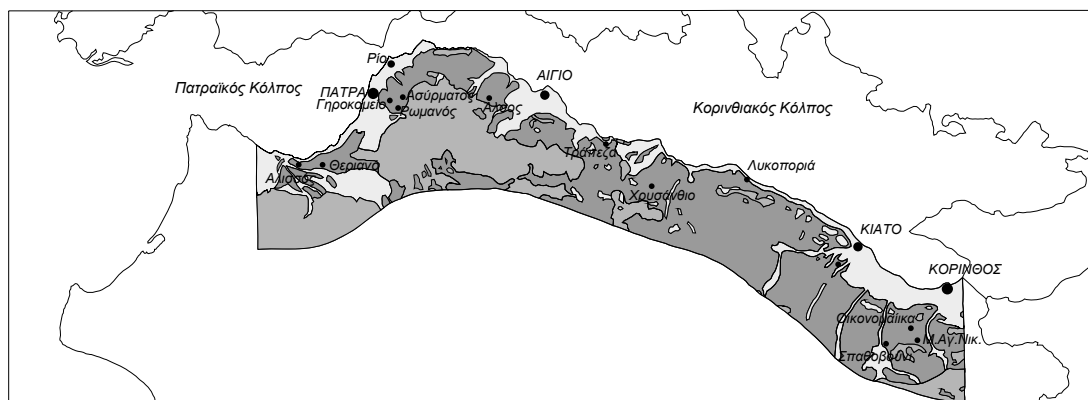
ανεμπόδιση θλίψη αναφέρεται στη μέγιστη θλιπτική τάση αστοχίας ($\sigma_{1(max)}$, αφού $\sigma_3 = 0$) και αποδίδει με έμμεσο αλλά ποσοτικό τρόπο τη συνεκτικότητα του υλικού σε ξηρή ή σε υγρή κατάσταση.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ





Σαράντα δύο (42) ξηρά και δεκαοκτώ (18) υγρά (με φυσική υγρασία κάτω από το όριο κορεσμού) δείγματα μαργών των νομών Αχαΐας και Κορινθίας συλλέχθηκαν σε ξηρή και υγρή περίοδο (από τους ίδιους μαργαϊκούς ορίζοντες) από περιοχές που φαίνονται στο Σχήμα 1. Αδιατάραχτα δοκίμια κανονικού κυλινδρικού σχήματος, που διαμορφώθηκαν με το χέρι από τα δείγματα αυτά, δοκιμάστηκαν σε ανεμπόδιση θλίψη. Τα δείγματα υπεβλήθησαν, επίσης, σε μία σειρά αναλύσεων για τον προσδιορισμό: της κοκκομετρικής διαβάθμισης, των ορίων Atterberg (I_p , LL, PL), του συνολικού πορώδους ($n\%$), του λόγου κενών (e) και του ξηρού φαινομένου βάρους (γ_d), του ποσοστού (%) του ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) στο ολικό δείγμα και στο αργιλικό κλάσμα (με τη μέθοδο Bernard), της ορυκτολογικής σύστασης του αργιλικού κλάσματος με περιθλαση ακτίνων X (XRD) και με θερμικές μεθόδους (DTA, TG) για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των αργιλικών ορυκτών. Η μικροδομή των ιζημάτων εξετάστηκε σε αδιατάρακτα, αεροξηραμένα δείγματα (αντιπροσωπευτικά όλης της κλίμακας ανθρακικής σύστασης) με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Η

ταξινόμηση των ιζημάτων σε λιθολογικές ενότητες έγινε με βάση το % ισοδύναμο ανθρακικό ασβέστιο στο ολικό δείγμα.

Κατά τις δοκιμές σε ανεμπόδιση θλίψη το θλιπτικό αξονικό φορτίο εφαρμόσθηκε κάθετα στην «ψευδοστρώση» των δοκιμίων και με ρυθμό παραμόρφωσης της τάξης του 0,5 – 1,0% ανά λεπτό, χωρίς να λάβουν χώρα κύκλοι αποφόρτισης. Τα δοκίμια παρουσίασαν ψαθυρή θραύση. Το μέτρο παραμόρφωσης, E_{s50} , μετρήθηκε ως ο λόγος της αξονικής τάσης (σ_1) που αντιστοιχεί στο 50% της μέγιστης, προς την αντίστοιχη αξονική παραμόρφωση (ϵ_1), από τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης. Το E_s που υπολογίζεται με αυτό τον τρόπο (δηλ. όχι από καμπύλη αποφόρτισης) είναι επηρεασμένο από το κλείσιμο των μικρορωγμών και ιδιαίτερα κατά τη φόρτιση ξηρών δοκιμίων, όπου η μάργα συμπεριφέρεται ως βράχος και οι μικρορωγμές παίζουν αρκετά σπουδαίο ρόλο. Το σφάλμα αυτό όμως περιλαμβάνεται σε όλες τις δοκιμές και δεν εμποδίζει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων και την αξιολόγησή τους με βάση σημαντικές μικροδομικές παρατηρήσεις που σχετίζονται με την ενεργειακή ετερογένεια των επαφών μεταξύ των δομικών συστατικών, η οποία ελέγχει πρωταρχικά τον τρόπο παραμόρφωσης.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- | | |
|---|---|
|  Ολοκαινικές-Διλουβιακές αποθέσεις |  Αλπικό υπόβαθρο |
|  Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα: Μάργες, αργιλομάργες, αμμούχες άργιλοι, αργιλοίλυες, ψηφιδοπαγή, κροκαλοπαγή |  Θέσεις δειγματοληψίας |

Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας με τις θέσεις δειγματοληψίας.
Figure 1. Geological map of the studied area along with the sampling sites.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά

Στον πίνακα 1 δίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν στα φυσικά χαρακτηριστικά, στην αντοχή και στο μέτρο παραμόρφωσης των ξηρών και υγρών δειγμάτων που εξετάστηκαν.

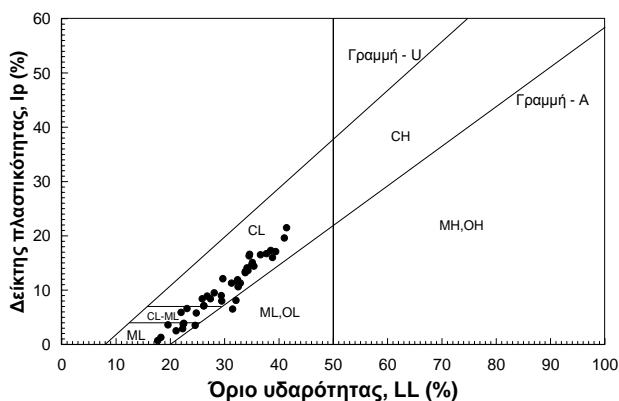
Με βάση τα όρια Atterberg και την κοκκομετρία τα δείγματα ταξινομούνται στο διάγραμμα Casagrande όπως δείχνει το Σχήμα 2 (εκτός από δύο μη πλαστικά: NP, που ταξινομούνται ως ιλυώδεις άμμοι). Η ταξινόμηση των ιζημάτων σε λιθολογικές ενότητες, με βάση το % ισοδύναμο CaCO₃ στο ολικό δείγμα (λαμβάνοντας υπόψη και το ποσοστό της άμμου που περιέχουν) έχει ως εξής: αργιλομάργες=δείγματα 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

και 13, αργιλικές μάργες=δείγματα 8, 9, 10, 12, 15 και 31, μαργαϊκές αμμούχες ιλύες=δείγματα 17, α και β, μαργαϊκές άργιλοι=δείγματα 18, 19, 20 και 21, μάργες=δείγματα 11, 22, 23, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 38 και 42, ψαμμιτομάργες=δείγματα 28, 29 και γ, αμμούχες μάργες=δείγματα 14 και 16, ασβεστολιθικές μάργες=δείγματα 24, 25, 26, 36, 37, 39 και 40, ασβεστόμαργα=δείγμα 41.

Η αντοχή των ξηρών δειγμάτων (UCS_d) κυμάνθηκε μεταξύ 1458 και 11225 kPa, ενώ αντίστοιχα το E_{s50d} μεταξύ 143 και 2340 MPa. Στα υγρά δείγματα, με περιεχόμενη υγρασία (w%) από 5,9 έως 20%, η αντοχή (UCS_w) κυμάνθηκε από 327 έως 2671 kPa, ενώ το E_{s50w} από 15 έως 204 MPa.

Πίνακας 1. Αντοχή, UCS, και μέτρο παραμόρφωσης ξηρών και υγρών δειγμάτων - φυσικά χαρακτηριστικά.
Table 1. UC Strength and deformation modulus of dry and wet samples - physical characteristics.

Α/Α - ΔΕΙΓΜΑ (θέση δειγματοληψίας, βάθος από την επιφάνεια του εδάφους)	UCS _d (kPa)	E _{s50d} (MPa)	UCS _w (kPa)	E _{s50w} (MPa)	W (%)	Άμ- μος (%)	Αργι- λικό κλά- σμα (%)	Δείκτης πλαστι- κό- τητας I _p (%)	Όριο υδα- ρόρη- τας LL (%)	Λό- γος κεν- ών e	Πο- ρώ- δες n (%)	Ξηρό φαινό- μενο βάρος γ _d (kN/m ³)	%ισοδύ- ναμο CaCO ₃ στο ολικό δείγμα
1/ΑΛΙΣ., 5.2 m	2619,2	523,8				1,2	15	8,0	32,2	0,572	36,4	17,1	20,21
2/ΑΛΙΣ., 5.5 m	2459,3	683,1				0,5	13	6,4	31,6	0,495	33,1	18,0	21,56
3/ΑΛΙΣ., 5.8 m	4590,8	765,1	1668,3	173,8	12,26	1,3	25	13,1	33,9	0,475	32,2	18,3	21,48
4/ΑΛΙΣ., 6.2 m	2213,0	212,8				1,0	28	16,6	37,8	0,497	33,2	18,1	21,72
5/ΑΛΙΣ., 6.8 m	5107,0	945,7				0,6	35	19,5	41,1	0,524	34,4	17,7	20,73
6/ΑΛΙΣ., 7.7 m	6334,6	736,6				0,3	32	17,0	39,5	0,534	34,8	17,8	22,63
7/ΑΛΙΣ., 8.5 m	4483,8	224,2	968,6	53,8	15,83	0,4	25	13,3	33,9	0,488	32,8	18,2	19,59
8/ΘΕΡ., 7 m	3799,8	372,5	326,8	14,8	20,00	1,0	22	7,9	29,6	0,634	38,8	16,4	27,95
9/ΘΕΡ., 13 m	2321,9	152,8				4,0	20	11,2	33,0	0,639	39,0	16,1	28,94
10/ΘΕΡ., 15 m	2076,5	179,0	372,9	23,6	16,14	2,0	32	11,8	32,5	0,560	35,9	17,3	33,35
11/ΘΕΡ., 17.5 m	3735,0	373,5				0,0	29	11,2	31,4	0,543	35,2	17,3	36,52
12/ΘΕΡ., 22 m	4694,8	289,8	930,3	78,8	9,35	1,0	41	17,2	38,6	0,508	33,7	17,7	26,93
13/ΘΕΡ., 31 m	4251,2	386,5				3,0	22	8,3	27,5	0,455	31,3	18,2	22,60
14/ΓΗΡ., 3 m	3282,6	373,0				24,0	14	8,9	29,5	0,455	31,3	18,9	33,50
15/ΡΩΜ.Θ1,3.5	3329,7	1109,9				7,0	15	5,7	24,9	0,432	30,2	18,5	26,90
16/ΡΩΜ.Θ1,4 m	1526,0	363,3				63,0	6	NP		0,457	31,4	18,3	38,56
17/ΡΩΜ.Θ1,5 m	1458,3	143,0				35,0	9	3,4	24,7	0,543	35,2	17,3	10,69
18/ΡΩΜ.Θ2,4.8	4891,1	1528,5	999,0	45,4	13,14	1,0	38	15,9	38,9	0,383	27,7	19,3	8,23
19/ΡΩΜ.Θ2,7 m	2351,3	559,8	869,5	83,6	6,17	6,0	11	7,0	26,3	0,377	27,4	19,3	10,26
20/ΡΩΜ.Θ2,7.9	6484,8	540,4				6,0	25	12,0	29,8	0,412	29,2	18,9	12,11
21/ΑΛΣΟΣ, 2 m	4495,6	561,9	1489,7	106,4	11,64	0,5	34	13,5	34,4	0,483	32,6	18,2	11,99
22/ΤΡΑΠ., 35 m	4638,9	682,2	1910,7	51,4	13,84	10,0	23	6,5	23,2	0,357	26,3	20,2	58,19
23/ΤΡΑΠ., 40 m	6333,7	597,5	2036,3	203,6	11,69	9,0	21	5,8	22,1	0,372	27,1	19,9	57,78
24/ΤΡΑΠ., 45 m	5264,0	674,9	1581,9	113,0	8,02	24,0	11	1,2	18,4	0,312	23,8	20,8	68,80
25/ΤΡΑΠ., 55 m	1650,6	393,0				62,0	8	NP		0,353	26,1	20,1	67,54
26/ΤΡΑΠ., 60 m	1520,1	380,0				30,0	9	0,6	17,8	0,337	25,2	20,5	70,79
27/ΧΡΥΣ., 5 m	6083,4	2339,8				3,0	21	7,0	26,3	0,342	25,5	20,2	35,63
28/ΧΡΥΣ., 9 m	7633,0	1272,2	1207,1	67,0	14,03	20,0	13	2,4	21,2	0,338	25,3	20,1	31,30
29/ΧΡΥΣ., 11 m	6218,8	545,5				21,0	15	3,8	22,6	0,307	23,5	20,8	32,11
30/ΧΡΥΣ., 23 m	7518,2	1708,7	2671,2	123,7	11,72	4,0	23	8,3	26,0	0,326	24,6	20,2	38,30
31/ΧΡΥΣ., 31 m	7338,6	1310,5				2,5	28	8,8	26,9	0,309	23,6	20,7	33,83
32/ΛΥΚ., 2.1 m	4295,4	376,8				6,0	26	9,4	28,2	0,372	27,1	20,2	53,15
33/ΛΥΚ., 4.6 m	11224,7	779,5				1,0	44	21,4	41,5	0,383	27,7	20,1	43,51
34/ΚΙΑΤ.Θ1,5 m	6257,1	1840,3				1,0	36	16,2	34,6	0,524	34,4	17,9	52,99
35/ΚΙΑΤ.Θ1,7.7	6413,2	1603,3	1209,0	71,1	16,35	1,0	37	16,5	34,7	0,495	33,1	18,2	52,60
36/ΚΙΑΤ.Θ2,0.8	4750,7	879,8				1,0	40	11,5	32,5	0,701	41,2	16,0	70,00
37/ΟΙΚ., 6.5 m	6960,7	1933,5				0,0	32	14,0	34,2	0,445	30,8	18,6	68,43
38/ΟΙΚ., 8.3 m	5506,4	1019,7	2650,6	165,7	15,93	0,0	38	16,4	36,7	0,402	28,7	18,9	64,86
39/ΟΙΚ., 10.7 m	6720,3	1400,0				0,0	34	14,6	35,1	0,422	29,7	18,7	68,94
40/ΟΙΚ., 11.7 m	7912,7	1978,2				0,0	38	15,0	35,2	0,424	29,8	18,6	66,24
41/Μ.ΑΓ.Ν., 2.8	7940,1	1726,1				0,0	32	10,5	32,6	0,431	30,1	18,6	77,00
42/ΣΠΑΘ., 45 m	7062,8	1412,6				1,0	42	14,3	35,5	0,309	23,6	20,7	39,66
α/ΡΩΜ.Θ2,9 m			733,1	42,6	6,43	32,0	7	3,6	22,5	0,451	31,1	18,2	9,24
β/ΡΩΜ.Θ2,10 m			665,4	73,9	5,89	32,0	7	2,8	22,4	0,414	29,3	18,6	8,62
γ/ΣΠΑΘ., 60 m			1704,6	99,1	8,38	29,0	20	3,5	19,7	0,244	19,6	21,7	48,13



Σχήμα 2. Διάγραμμα πλαστικότητας Casagrande.
Figure 2. Casagrande plasticity chart.

Πίνακας 2. Ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) των εξετασθέντων δειγμάτων.

Table 2. Mineralogical composition (% by weight) of the analysed samples.

Α/Α - ΔΕΙΓΜΑ	Αργιλική ορυκτολογική σύσταση						Σύνολο αργιλικών ορυκτών (%)	Χαλαζίας + άστριοι + μαρμαρυγίας (%)
	K (%)	I (%)	Ch (%)	S (%)	Ch/S (%)	Ch/V (%)		
4/ΑΛΙΣ., 6.2 m	3,9	10,0	-	9,9	-	-	23,52	54,76
7/ΑΛΙΣ., 8.5 m	1,3	10,1	-	5,7	4,4	-	21,35	59,06
10/ΘΕΡ., 15 m	2,9	10,8	3,9	-	6,4	-	24,00	42,65
11/ΘΕΡ., 17.5 m	2,6	6,8	3,2	3,4	5,3	-	21,29	42,19
12/ΘΕΡ., 22 m	3,2	15,1	4,5	-	10,0	-	32,80	40,27
14/ΓΗΡ., 3 m	1,6	5,5	-	7,1	-	-	13,72	52,78
15/ΡΩΜ.Θ1, 3.5 m	1,7	4,4	-	5,6	2,0	-	13,80	59,30
17/ΡΩΜ.Θ1, 5 m	1,0	2,6	-	5,3	ίχνη	-	8,91	80,40
18/ΡΩΜ.Θ2, 4.8 m	6,0	17,2	6,4	-	7,8	-	37,43	54,34
19/ΡΩΜ.Θ2, 7 m	2,1	4,5	1,0	-	3,2	-	10,86	78,88
21/ΑΛΣΟΣ, 2 m	3,6	13,2	9,4	ίχνη	5,6	-	31,76	56,25
22/ΤΡΑΠ., 35 m	4,5	7,2	3,3	1,1	-	-	16,10	25,71
26/ΤΡΑΠ., 60 m	1,6	3,1	1,1	-	1,1	-	6,84	22,37
27/ΧΡΥΣ., 5 m	2,6	6,7	1,7	-	4,3	-	15,33	49,04
28/ΧΡΥΣ., 9 m	1,3	5,6	1,3	-	3,7	-	11,96	56,74
32/ΛΥΚ., 2.1 m	1,0	4,8	2,5	4,7	ίχνη	-	13,00	33,85
33/ΛΥΚ., 4.6 m	ίχνη	9,4	7,6	12,1	ίχνη	-	29,04	27,45
35/ΚΙΑΤ.Θ1, 7.7 m	5,8	9,9	-	10,7	-	6,1	31,60	15,80
36/ΚΙΑΤ.Θ2, 0.8 m	3,3	9,1	ίχνη	13,1	5,2	-	30,00	0,00
38/ΟΙΚ., 8.3 m	3,0	8,9	ίχνη	17,2	5,5	-	32,95	2,19
41/Μ.ΑΓ.Ν., 2.8 m	6,3	8,9	ίχνη	14,7	ίχνη	-	23,00	0,00
42/ΣΠΑΘ., 45 m	7,5	14,4	-	6,8	-	6,6	35,28	25,06

[K=καολινίτης (προσδιορισμένος από TG), I=ιλλίτης, Ch=χλωρίτης, S=σμεκτίτης, Ch/S=χλωρίτης-σμεκτίτης (μικτή φάση), (Ch/V)=χλωρίτης-βερμικουλίτης (μικτή φάση)].

χαρακτηριστικών του υλικού, διακρίθηκαν: α) μικροδομές τύπου «σύμπηξης», που βασικά χαρακτηρίζονται από έλλειψη συγκολλητικής ύλης (CaCO_3) - συγκολλητικών δεσμών και αφθονία σε αργιλικά ορυκτά, β) μικροδομές «μικτού τύπου», με όλα τα είδη των δομικών δεσμών (δεσμοί σύμπηξης, αλληλοεμπλοκής, συγκολλητικοί, σημειακοί δεσμοί μεταβατικού τύπου), και γ) «κρυσταλλικές-συγκολλημένες» μικροδομές, που βασικά χαρακτηρίζονται από αφθονία συγκολλητικών δεσμών.

Από τα δείγματα που εξετάστηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), τα: 4, 10, 11, 12 και 21 χαρακτηρίζονται από μικροδομή «σύμπηξης», τα: 7, 14, 15, 17, 19, 22, 27, 28 και 32 από μικροδομή «μικτού τύπου» και τα δείγματα: 24, 33, 35, 36, 38, 41 και 42 από «κρυσταλλική-συγκολλημένη» μικροδομή.

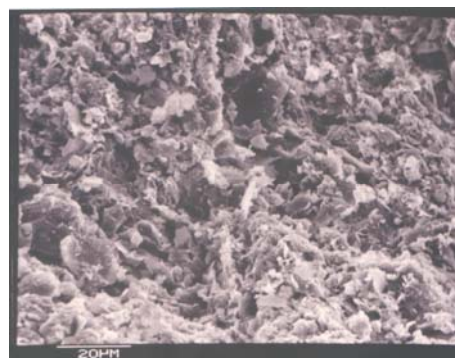
Αντιπροσωπευτικές μικροφωτογραφίες από το SEM που δείχνουν τους παραπάνω τύπους

3.2 Ορυκτολογία - Μικροδομή

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων. Παρατηρείται ότι εκτός από τα αργιλικά ορυκτά και το ανθρακικό ασβέστιο, στη σύσταση των μαργαϊκών ιζημάτων συμμετέχει σημαντικό ποσοστό χαλαζία και αστρίων, καθώς και μαρμαρυγίας.

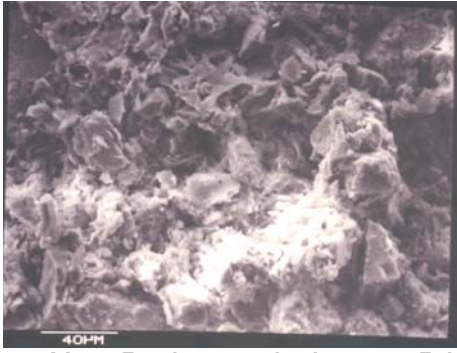
Αποδίδοντας τη μικροδομή ως συνάρτηση των ενεργειακών (είδος και κατανομή των δομικών δεσμών), των μορφομετρικών (μέγεθος και κατανομή κόκκων-τεμαχιδίων και μικροπόρων) και των γεωμετρικών (βαθμός προσανατολισμού)

μικροδομών παρουσιάζονται στα Σχήματα 3, 4, και 5, ενώ στο Σχήμα 6 δίνονται αντίστοιχες καμπύλες αξονικής τάσης - αξονικής παραμόρφωσης (σ_1 - ϵ_1).

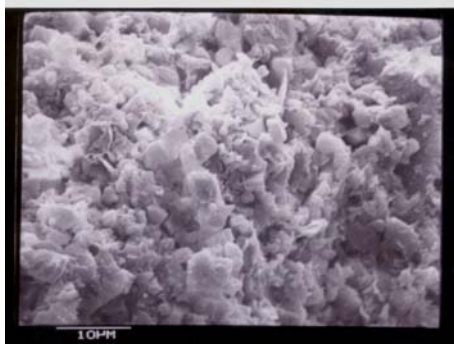


Σχήμα 3. Μικροδομή τύπου «σύμπηξης» - δείγμα 10 (x1000).

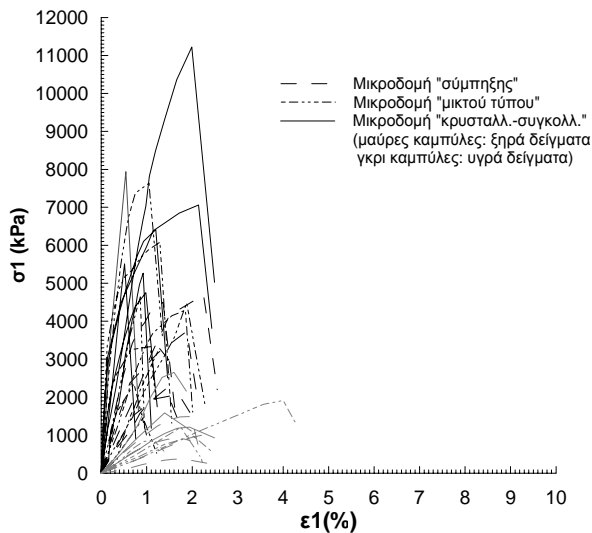
Figure 3. Coagulative microstructure – sample 10 (x1000).



Σχήμα 4. Μικροδομή «μικτού τύπου» - δείγμα 19 (x500).
Figure 4. Mixed-type microstructure – sample 19 (x500).



Σχήμα 5. «Κρυσταλλική-συγκολλημένη» μικροδομή - δείγμα 35 (x2000).
Figure 5. Crystallized-cementated microstructure – sample 35 (x2000).



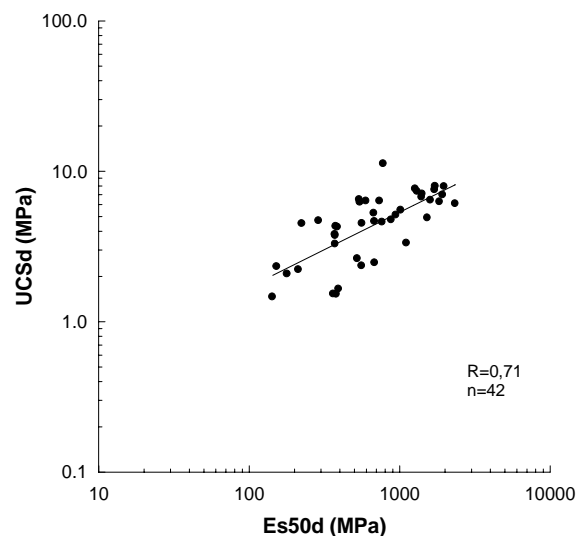
Σχήμα 6. Καμπύλες αξονικής τάσης (σ_1)-αξονικής παραμόρφωσης (ϵ_1) για τις διάφορες μικροδομές.
Figure 6. Axial stress (σ_1)-axial strain (ϵ_1) curves for the various types of microstructure.

4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΙ. ΕΡΜΗΝΕΙΕΣ

Είναι γνωστό ότι η φυσική υγρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που ελέγχουν τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών και ιδιαίτερα αυτών που περιέχουν

αργιλικά ορυκτά. Δεδομένου ότι η φυσική υγρασία στα εξεταζόμενα υλικά κυμάνθηκε χαμηλότερα από την υγρασία κορεσμού, παρατηρήθηκε σημαντική διασπορά κατά τη συσχέτισή της με την αντοχή.

Στα ξηρά (αεροξηραμένα) δείγματα, όπου η υγροσκοπική υγρασία και οι διαφορές που παρουσιάζει θεωρούνται αμελητέες, τη διασπορά των τιμών τόσο της αντοχής όσο και του μέτρου παραμόρφωσης μπορεί περισσότερο να επηρεάζει η παρουσία μικρορωγμών. Οποιαδήποτε το γεγονός αυτό έχει επιδράσει ως ένα βαθμό στη γραμμικότητα της σχέσης της αντοχής με το μέτρο παραμόρφωσης, που φαίνεται στο Σχήμα 7, αλλά κατά το μεγαλύτερο βαθμό η σχέση αυτή επηρεάζεται τόσο από την αβεβαιότητα στον ορισμό του μέτρου παραμόρφωσης όσο και από διάφορους γενετικούς παράγοντες, όπως π.χ. το ποσοστό και η κατανομή του ανθρακικού ασβεστίου, το ποσοστό των πραγματικών αργιλικών ορυκτών (που αναφέρεται στη συνέχεια), κ. ά. Εξάλλου, στα εξεταζόμενα υλικά η «σχασιμότητα» (fissility) θεωρείται περιορισμένη λόγω του ότι το ποσοστό των πραγματικών αργιλικών ορυκτών δεν είναι υψηλό (Πίνακας 2), ενώ όπου παρατηρείται αυξημένο η έντονη παρουσία μικροκρυσταλλικού χαλαζία (δείγματα νομού Αχαΐας) ή μικριτικού ασβεστίτη (δείγματα νομού Κορινθίας) δρα ανταγωνιστικά στη δημιουργία μικρορωγμών. [Είναι γνωστό ότι η αύξηση της αργιλικής ύλης κατά είδος και ποσότητα συνδέεται κατά κανόνα με μεγαλύτερη σχασιμότητα (Skempton and Hutchinson, 1969)].



Σχήμα 7. Μεταβολή της αντοχής με το μέτρο παραμόρφωσης.
Figure 7. Correlation between the UC Strength and deformation modulus.

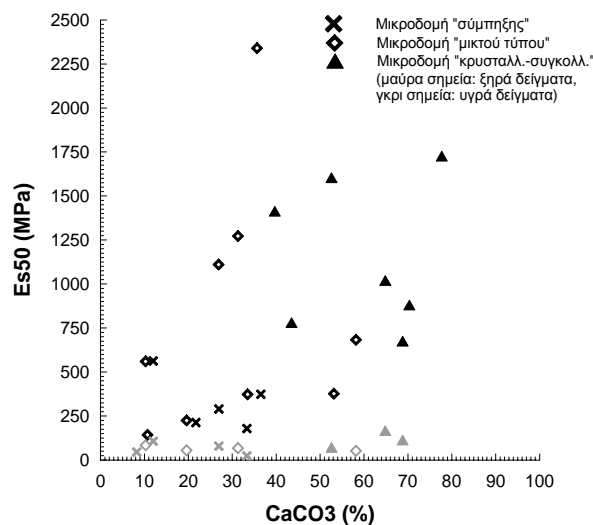
Με τη θεώρηση ότι η παρουσία των μικρορωγμών επιφέρει μικρό μόνο σφάλμα στις τιμές της αντοχής και του μέτρου παραμόρφωσης των εξεταζόμενων ιζημάτων, η διασπορά που παρατηρήθηκε στους συσχετισμούς των μηχανικών αυτών παραμέτρων με το πορώδες, το ξηρό φαινόμενο βάρος, το αργιλικό κλάσμα, το δείκτη πλαστικότητας, οφείλεται κυρίως σε γενετικούς παράγοντες που σχετίζονται με την ορυκτολογική σύσταση και τη μικροδομή, όπως: η συμμετοχή μικροκρυσταλλικού χαλαζία στο αργιλικό κλάσμα, η συσσωμάτωση και το ποσοστό των πραγματικών αργιλικών ορυκτών, ο βαθμός συγκόλλησης που είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο και της γεωλογικής ιστορίας του σχηματισμού, η κατανομή των δεσμών συγκόλλησης, η ενεργειακή ετερογένεια των επαφών μεταξύ των δομικών συστατικών, ο βαθμός λιθοποίησης.

Ο Κωστόπουλος (1988), από συσχετισμούς που διατύπωσε για τις μάργες Κορίνθου, Πειραιά, Ηπείρου, Κομοτηνής, παρατήρησε ότι η σχέση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά (π.χ. ενεργότητα, δείκτης υδαρότητας, υγρασία κορεσμού) εξαρτάται από το λόγο των μέσων όρων ποσοστιαίας αναλογίας ασβεστίτη προς αυτή των πραγματικών αργιλικών ορυκτών και συμπέρανε ότι από μία τιμή του λόγου και άνω οι συσχετισμοί δεν επηρεάζονται. Στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιείται η τιμή του λόγου αυτού για τη διατύπωση συμπερασμάτων, καθώς στη σύσταση των περισσότερων δειγμάτων (ιδιαίτερα του νομού Αχαΐας) συμμετέχει ένα σημαντικό ποσοστό χαλαζία που αλλοιώνει την τυπική συμπεριφορά των μαργών και ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την ετερογένεια του δικτύου των δομικών δεσμών.

Από το συσχετισμό του μέτρου παραμόρφωσης με το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου (Σχήμα 8) στους τρεις τύπους των μικροδομών και αναφορικά με τα ξηρά δείγματα, παρατηρούνται σαφώς μειωμένες τιμές του E_{s50} στις μικροδομές τύπου «σύμπηξης» που χαρακτηρίζονται από έλλειψη συγκολλητικής ύλης. Τα αργιλικά μικροσυσσωματώματα βρίσκονται σε αφθονία και περιβάλλουν με τρόπο συνεχή σχεδόν όλους τους κόκκους στη δομή (Σχήμα 3). Αναπτύσσεται, έτσι, ένα συνεχές δίκτυο ασθενών δομικών δεσμών τύπου «σύμπηξης» (coagulation) μεταξύ των αργιλικών τεμαχιδίων

(δυνάμεις μοριακής έλξης), με πολύ περιορισμένη την ανάπτυξη άλλων τύπων δομικών δεσμών, που παραμορφώνεται ελαστοπλαστικά-πλαστικά.

Στις «κρυσταλλικές-συγκολλημένες» μικροδομές, σε ό,τι αφορά στα ξηρά δείγματα, είναι φανερή η αύξηση των τιμών του μέτρου παραμόρφωσης (Σχήμα 8), καθώς υπερτερούν οι ισχυροί συγκολλητικοί-κρυσταλλικοί (cementation-crystallization) δεσμοί με ισότροπη ανάπτυξη (ομοιόμορφη κατανομή), λόγω της «μικριτικής» μορφής του ασβεστίτη (μικροκρύσταλλοι ισομεγέθεις και ανώμαλα στρογγυλεμένοι – Σχήμα 5) που παίζει το ρόλο της συγκολλητικής ύλης. Έτσι, η δομή αντιστέκεται στην κατάρρευση των δεσμών και αναλαμβάνει με σχετική δυσκαμψία το εξωτερικό φορτίο μέχρι να επέλθει η αστοχία. Τα αργιλικά ορυκτά, που απαντώνται σε αξιοσημείωτο ποσοστό (Πίνακας 2), βρίσκονται σε λεπτή διασπορά σε αυτού του τύπου τις δομές και αναπτύσσουν πολύ αραιούς δεσμούς σύμπηξης που δεν παίζουν ρόλο στην ανάληψη του φορτίου μέχρι το σπάσιμο της δομής.



Σχήμα 8. Σχέση του E_{s50} με το % $CaCO_3$ στους τρεις τύπους μικροδομής.

Figure 8. Correlation between E_{s50} and % $CaCO_3$ for the three types of microstructure.

Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη σε σχέση με το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου μεταβάλλεται κατά παρόμοιο τρόπο με το E_{s50} , στους δύο παραπάνω τύπους μικροδομών.

Η μεγαλύτερη διασπορά παρατηρείται στις μικροδομές «μικτού τύπου», όπου οι παράγοντες (πέρα από την αφθονία ή έλλειψη σε $CaCO_3$) που προκαλούν την αύξηση ή τη μείωση της αντοχής και του μέτρου

παραμόρφωσης ποικίλουν (από πλευράς μικροδομής). Στις δομές αυτές απαντώνται όλοι οι τύποι των δομικών δεσμών. Η συμμετοχή ενός σημαντικού ποσοστού χαλαζιακών κόκκων που δεν περιβάλλονται στο σύνολό τους από αργιλικά μικροσυσσωματώματα (Σχήμα 4) έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δεσμών αλληλοεμπλοκής (interlocking) και την ανάπτυξη τριβής που προσδίδει στο υλικό αρκετά μεγάλη αντοχή, όχι απαραίτητα και δυσκαμψία. Η συγκολλητική ύλη, που κατά κανόνα δεν περιέχεται σε μεγάλη αφθονία, έχει συμβάλει κυρίως στη δημιουργία συσσωματωμάτων με σημειακούς ιοντικούς δεσμούς μεταξύ των αργιλικών τεμαχιδίων, παρά στη δημιουργία ισχυρών συγκολλητικών δεσμών. Κατά τη φόρτιση, λόγω της ετερογένειας αυτής του δικτύου των επαφών μεταξύ των δομικών συστατικών, το φορτίο μεταφέρεται σταδιακά από τις ασθενέστερες στις ισχυρότερες επαφές. Η παραμόρφωση ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο ισχυροί είναι οι σημειακοί δεσμοί (transition-point contact), καθώς είναι μετασταθείς και μετά το σπάσιμό τους μεταβαίνουν σε δεσμούς τύπου «σύμπηξης» (ελαστοπλαστική-πλαστική παραμόρφωση με ξηρή τριβή στις επιφάνειες όπου οι δεσμοί έχουν σπάσει). Οι διάφορες μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το ανθρακικό ασβέστιο («μικριτικός ασβεστίτης», «σπαρριτικός ασβεστίτης - sparry calcite -», ασβεστιτικές συγκολλήσεις) στις μικροδομές «μικτού τύπου», οδηγούν επίσης σε ανομοιόμορφη κατανομή των συγκολλητικών δεσμών. Όταν το ανθρακικό ασβέστιο απαντάται με τη μορφή «μικριτών» η κατανομή των συγκολλητικών δεσμών είναι ομοιόμορφη και η δομή αντιστέκεται στην κατάρρευση των δεσμών με αποτέλεσμα και η αντοχή και το μέτρο παραμόρφωσης να πλησιάζουν αρκετά υψηλές τιμές. Αντίθετα, όταν το ανθρακικό ασβέστιο απαντάται με τη μορφή «σπαρριτών» (δηλ. ασβεστιτικό υλικό που γεμίζει τους πόρους και λειτουργεί ως «κόλλα» - όπως στο δείγμα του Σχήματος 4) ή ασβεστιτικών συγκολλήσεων, η κατανομή των ισχυρών (συγκολλητικών) δεσμών είναι ανομοιόμορφη και η δομή, κατά τη φόρτιση, εξασθενίζει σε πολλά σημεία πιο εύκολα, με αποτέλεσμα, ενώ το υλικό παρουσιάζει αρκετά υψηλή τιμή τελικής αντοχής, το μέτρο παραμόρφωσης να είναι σχετικά χαμηλό.

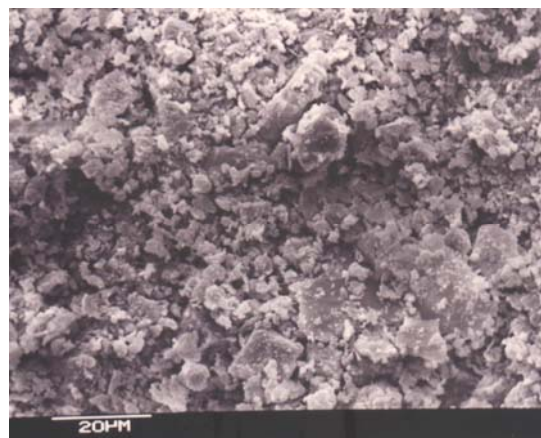
Όταν τα δείγματα είναι υγρά, κατά τη φόρτισή τους, εκτός από ελαστική, ελαστοπλαστική και πλαστική παραμόρφωση,

λαμβάνει χώρα και ιξωδοελαστική παραμόρφωση εντός της μεμβράνης του προσροφημένου νερού από τα αργιλικά τεμαχίδια (Osipov, 1990). Εξαιτίας του γρήγορου ρυθμού της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης δεν παρατηρείται ιξωδοπλαστική συμπεριφορά (ερπυστική παραμόρφωση). Όπως φαίνεται και από τις καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης (Σχήμα 6), τόσο τα ξηρά όσο και τα υγρά δοκίμια παρουσίασαν ψαθυρή θραύση. Το μέτρο παραμόρφωσης των υγρών δειγμάτων μειώνεται δραματικά και στους τρεις τύπους μικροδομής (Σχήμα 8). Είναι πολύ πιθανό ότι δεν ενεργοποιούνται σταδιακά οι μηχανισμοί παραμόρφωσης λόγω της γρήγορης δοκιμής.

Ο βαθμός προσανατολισμού των αργιλικών μικροσυσσωματωμάτων παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην αντοχή και στην παραμόρφωση τόσο των μικροδομών «μικτού τύπου» όσο και των μικροδομών «σύμπηξης», ενώ στις «κρυσταλλικές-συγκολλημένες» μικροδομές η σημασία του είναι πολύ περιορισμένη. Στις τελευταίες παρατηρείται πάντα χαμηλός βαθμός προσανατολισμού λόγω της ισχυρής συγκόλλησης που καθιστά το υλικό μη συμπιεστό κάτω από το βάρος των υπερκειμένων.

Στα Σχήματα 9 και 10 που ακολουθούν, δίνονται μικροφωτογραφίες (από το SEM) με παραδείγματα μικροδομών «μικτού τύπου». Με βάση τις μικροδομικές διαφορές που παρατηρούνται ερμηνεύεται η μηχανική συμπεριφορά των δειγμάτων.

Στο Σχήμα 9 παρατηρείται η μικροδομή μίας μάργας (από το νομό Αχαΐας) με ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 58%, το οποίο απαντάται κυρίως με τη μορφή ασβεστιτικών συγκολλήσεων (ευμεγέθεις κρύσταλλοι ακανόνιστου σχήματος με σπασμένες επιφάνειες). Τα αργιλικά ορυκτά



Σχήμα 9. Μικροδομή «μικτού τύπου» - δείγμα 22 (x1000).

Figure 9. Mixed-type microstructure – sample 22 (x1000).

περιέχονται σε μέτριο ποσοστό (16%) και σχηματίζουν διάσπαρτα μικροσυσσωματώματα που δεν περιβάλλουν με τρόπο συνεχή τους ασβεστιτικούς ή χαλαζιακούς κόκκους (ποσοστό χαλαζία=26% - Πίνακας 2). Αναπτύσσεται έτσι μία μεγάλη ετερογένεια στο δίκτυο των δομικών δεσμών (εξαιτίας κυρίως της ανομοιόμορφης κατανομής των συγκολλητικών δεσμών) που έχει σαν αποτέλεσμα, η δομή να παραμορφώνεται σχετικά εύκολα (χαμηλό E_{s50}) ανεξάρτητα από την αντοχή που διατηρεί.

Συγκριτικά με το δείγμα 19, η μικροδομή του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 4, παρατηρείται ότι παρά το χαμηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου που περιέχει το δείγμα αυτό, το μέτρο παραμόρφωσής του έχει παρόμοια τιμή με αυτή του δείγματος 22. Αυτό οφείλεται κυρίως στη σπαρρική μορφή του ασβεστίτη στο δείγμα 19, που γεμίζει τους πόρους και λειτουργεί ως «κόλλα», αναπτύσσει δηλ. ισχυρούς συγκολλητικούς δεσμούς.



Σχήμα 10. Μικροδομή «μικτού τύπου» - δείγμα 27 (x2000).

Figure 10. Mixed-type microstructure – sample 27 (x2000).

Στο Σχήμα 10 παρατηρείται ο υψηλός βαθμός προσανατολισμού των αργιλικών ορυκτών που περιέχονται στη δομή του δείγματος 27. Ο παράγοντας αυτός είναι καθοριστικός για το μέτρο παραμόρφωσης, το οποίο φθάνει πολύ υψηλή τιμή παρόλο που υπάρχει σχετική έλλειψη ισχυρών συγκολλητικών δεσμών (μέτριο ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου: 36%).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη της επίδρασης της μικροδομής στην αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη και στο μέτρο παραμόρφωσης (E_{s50}) των μαργαϊκών ιζημάτων της Β. Πελοποννήσου προέκυψε ότι:

α) Από τους τρεις τύπους της μικροδομής, που διακρίθηκαν στα εξεταζόμενα ιζήματα με τη

βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης, η μεγαλύτερη διασπορά των τιμών της αντοχής και του E_{s50} παρατηρείται στις μικροδομές «μικτού τύπου», που χαρακτηρίζονται από σημαντική ετερογένεια του δικτύου των επαφών μεταξύ των δομικών συστατικών.

β) Στις μικροδομές τύπου «σύμπληξης», όπου παρατηρείται έλλειψη συγκολλητικής ύλης (CaCO_3) - συγκολλητικών δεσμών και αφθονία σε αργιλικά ορυκτά, οι τιμές της αντοχής και του E_{s50} είναι χαμηλές, ενώ χαρακτηριστική είναι η αύξηση των τιμών στις «κρυσταλλικές-συγκολλημένες» μικροδομές όπου επικρατούν οι ισχυροί συγκολλητικοί δεσμοί (υψηλό ποσοστό CaCO_3).

γ) Οι κυριότεροι παράγοντες που ευθύνονται για τη διασπορά των τιμών στις μικροδομές «μικτού τύπου», αλλά και την έλλειψη καλών συσχετίσεων με τα φυσικά χαρακτηριστικά, είναι: η συμμετοχή μικροκρυσταλλικού χαλαζία στη σύσταση των υλικών, η συσσωμάτωση, το ποσοστό και ο βαθμός προσανατολισμού των αργιλικών ορυκτών, ο βαθμός συγκόλλησης, ο τρόπος εμφάνισης του ανθρακικού ασβεστίου (μικρίτες, σπαρρίτες, ασβεστιτικές συγκολλήσεις).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κωστόπουλος, Σ. (1988), “Γεωτεχνική Θεώρηση των Μαργών του Ελληνικού Χώρου”. Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τόμος 1, σελ. 63-68, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.

Li, C., Prikryl, R. and Nordlund, E. (1998), “The stress-strain behaviour of rock material related to fracture under compression”. Engineering Geology, Vol. 49, pp. 293-302.

Osipov, V.I. (1990), “Physico-chemical fundamentals of soil microrheology”. Proc. of 6th International IAEG Congress, pp. 713 - 724. Balkema, Rotterdam. ISBN 90 6191 1303.

Seo, Y.S., Jeong, G.C., Kim, J.S. and Ichikawa, Y. (2002), “Microscopic observation and contact stress analysis of granite under compression”. Engineering Geology, Vol. 63, pp. 259-275.

Skempton, A. W. and Hutchinson, J. N. (1969), “Stability of natural slopes and embankment foundations”. State-of-the-Art-Report, 7th ICSMFE.

Tang, C.A., Yang, W.T., Fu, Y.F. and Xu, X.H. (1998), “A new approach to numerical method of modelling geological processes and rock engineering problems-continuum to discontinuum and linearity to nonlinearity”. Engineering Geology, Vol. 49, pp. 207-214.