

**ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ
ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ
ΜΕ Η ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟ**

**β) Αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό,
σε κάμψη και μέτρο ελαστικότητας**

Σ. Κόλιας, Α. Καραχάλιος

*Εργαστήριο Οδοποιίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15773
Ζωγράφου Αθήνα*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Σε αργιλικά εδαφικά υλικά σταθεροποιημένα με ασβεστόχχο ιπτάμενη τέφρα ή και με τσιμέντο διενεργούνται δοκιμές σε μονοαξονικό εφελκυσμό, σε κάμψη και σε θλίψη με ταυτόχρονη μέτρηση των παραμορφώσεων για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας. Οι δοκιμές γίνονται σε δοκίμια ηλικίας 1, 7 και 28 ημερών. Επίσης διερευνάται η επίδραση του τρόπου φόρτισης στο μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη. Αποδεικνύεται ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σταθεροποιημένων υλικών βελτιώνονται σημαντικά και καθιστούν τη χρήση τους για στρώσεις έδρασης ή υποβάσεις οδοστρωμάτων τεχνικά πολύ αποτελεσματική και οικονομικά πολύ συμφέρουσα.

Λέξεις κλειδιά: ασβεστόχχος ιπτάμενη τέφρα (ακατέργαστη), σταθεροποίηση αργιλωδών εδαφών, τσιμέντο, αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό, αντοχή σε κάμψη, μέτρο ελαστικότητας σταθεροποιημένων εδαφών

**STABILIZATION OF FINE CLAY SOILS WITH HIGH
CALCIUM FLY ASH AND WITH OR WITHOUT CEMENT**
b) Direct tensile strength, flexural strength and modulus of elasticity

S. Kolias, A. Karahalios

*Highway Engineering Laboratory, School of Civil Engineering, NTUA 5 Iroon Polytechniou str.
15773 Athens*

ABSTRACT: Fine grained clayey soils are stabilized with (untreated) high calcium fly ash and in certain cases with cement. The results are discussed in terms of direct tensile, flexural, and compressive strength as well as modulus of elasticity for 1, 7, and 28 day-old specimens. The influence of the loading type on modulus of elasticity is also investigated. The results show a considerable enhancement of the mechanical properties of the stabilized materials rendering them technically and economically very suitable for pavement sub base and subgrade improvement.

Keywords: high calcium fly ash, stabilization of fine-grained soils, compressive strength, direct tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία είναι συνέχεια της εργασίας [Κόλιας και Καραχάλιος 2005] σε αυτό το Συνέδριο και επομένως τα υλικά και οι μέθοδοι παρασκευής των δοκιμών δεν περιγράφονται στην παρούσα εργασία αλλά στην προηγούμενη. Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε κυρίως εδαφικό υλικό ονομαζόμενο «άργιλος ΙΙΙ» αν και ορισμένα αποτελέσματα μέτρου ελαστικότητας δίνονται για τα εδαφικά υλικά «άργιλος Ι» και «άργιλος ΙΙ». Λεπτομέρειες σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και την προετοιμασία τους παρέχονται στην προηγούμενη εργασία.

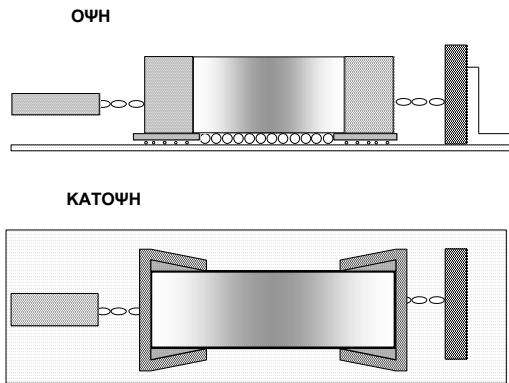
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Παρασκευάστηκαν δοκίμια κυλινδρικά με διάμετρο 5cm και ύψος 10 cm (για τον προσδιορισμό αντοχής σε μονοαξονική και αντιδιαμετρική θλίψη) και διαμέτρου 7cm και ύψους 14cm (για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε θλίψη). Τα δοκίμια αυτά παρασκευάστηκαν με τη βέλτιστη υγρασία έτσι ώστε να έχουν προκαθορισμένη πυκνότητα ίση προς τη μέγιστη της αντίστοιχης δοκιμής συμπίκνωσης σύμφωνα με το πρότυπο BS 1924 § 5.12 με την διαφορά ότι χρησιμοποιήθηκαν απολύτως κυλινδρικά δοκίμια αντί των ελαφρώς κωνικών δοκιμών που προβλέπονται στο BS. Επίσης κατασκευάστηκαν δοκίμια πρισματικής μορφής διαστάσεων 10cm.x10cm.x50cm. για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό. Τα πρισματικά δοκίμια παρασκευάστηκαν σε δύο περίπου ισόπαχες στρώσεις οι οποίες συμπυκνώθηκαν με την χρήση ηλεκτρόσφυρας (pr EN 13286-51). Μετά την αποπεράτωση της διαδικασίας συμπυκνώσεως της πρώτης στρώσεως επακολουθούσε αναμόχλευση με αιχμηρό όργανο της δημιουργηθείσας επιφάνειας, σε βάθος 0.5-1 cm. περίπου, έτσι ώστε να αναπτύσσεται η μέγιστη δυνατή πρόσφυση μεταξύ των δύο στρώσεων.

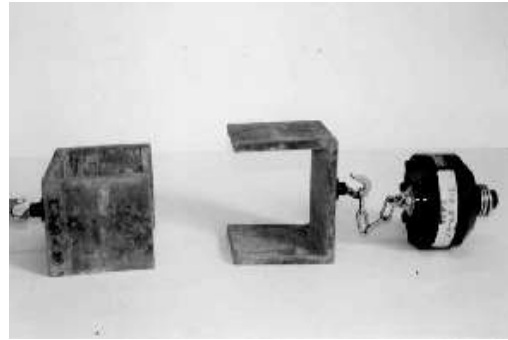
ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Για τον προσδιορισμό της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό παρασκευάστηκαν πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 10 cm.x10 cm.x 50 cm. με ποσοστά τέφρας 5%, 10% και 20% άργιλο ΙΙΙ. Οι δοκιμές έγιναν σε 1, 7, και 28 ημέρες. Επειδή τα δοκίμια ήταν βαριά (περίπου 9-11 kgf.) σε σχέση με την αντοχή τους, ήταν πρακτικά αδύνατον να χρησιμοποιηθεί η διάταξη που συνήθως χρησιμοποιείται, όπου το φορτίο ασκείται κατακόρυφα, και τελικά χρησιμοποιήθηκε η διάταξη του σχήματος 1. Η άσκηση του φορτίου στο δοκίμιο γινόταν μέσω δύο αρπαγών σχήματος λοξού ΙΙ (σχ.2). Ο εγκιβωτισμός του δοκιμίου μέσα στις δύο αρπάγες πραγματοποιήθηκε με την χρήση ταχύπηκτου κονιάματος. Το δοκίμιο εδράζονταν σε μια σειρά από χαλύβδινες σφαίρες.

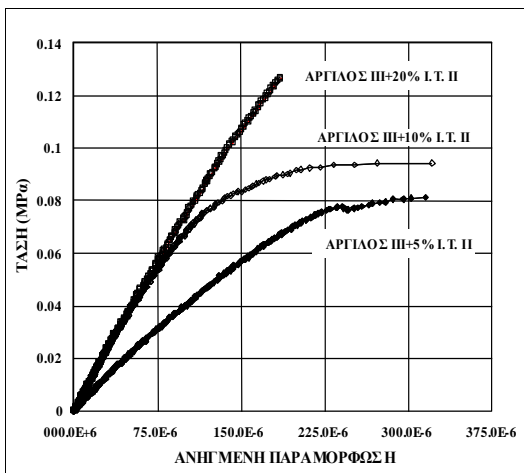
Μετά την θραύση των δοκιμών σε εφελκυσμό τα δύο τμήματα που δημιουργήθηκαν στην κάθε περίπτωση αποχωρίστηκαν από τις αρπάγες και μετά προσδιορίστηκε η αντοχή σε θλίψη ισοδύναμου κύβου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 3, 4,5,6 και 7. Είναι φανερό ότι η αύξηση της αντοχής κυμαίνεται από 90% (για 5% και 10 % Ι.Τ.) έως 145% (για 20% Ι.Τ.) και του μέτρου ελαστικότητας (από 230% έως 350%). Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε εφελκυσμό και της αντοχής σε θλίψη ισοδύναμου κύβου.



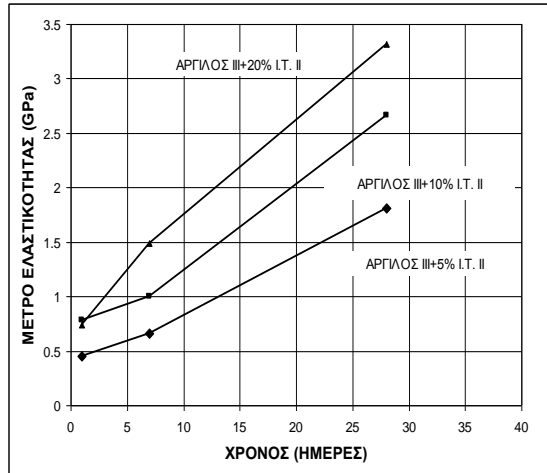
Σχ. 1: Διάταξη δοκιμής σε εφελκυσμό



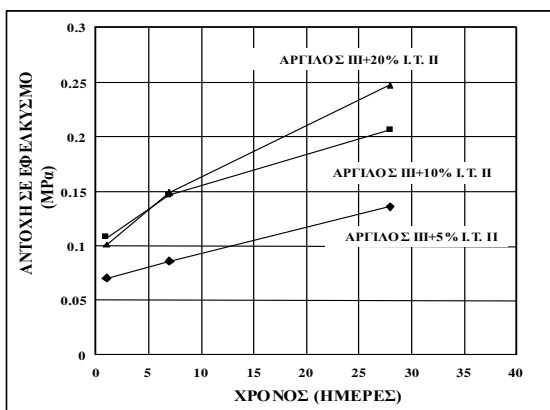
Σχ. 2: Αρπάγες επιβολής εφελκυστικού φορτίου



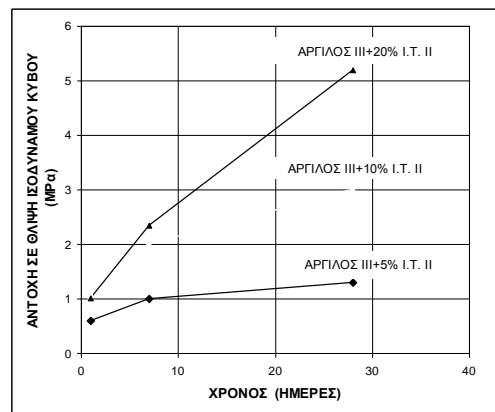
Σχ. 3: Τυπικά διαγράμματα σ-ε σε εφελκυσμό



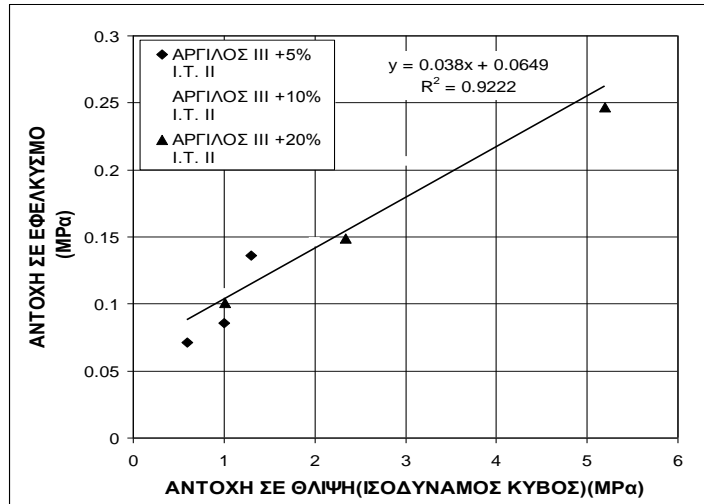
Σχ. 4: Μεταβολή του E σε σχέση με τον χρόνο



Σχ. 5: Μεταβολή της αντοχής σε εφελκυσμό



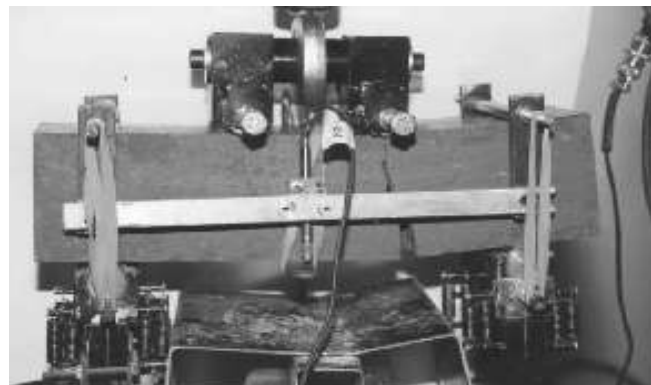
Σχ. 6: Μεταβολή της αντοχής σε θλίψη



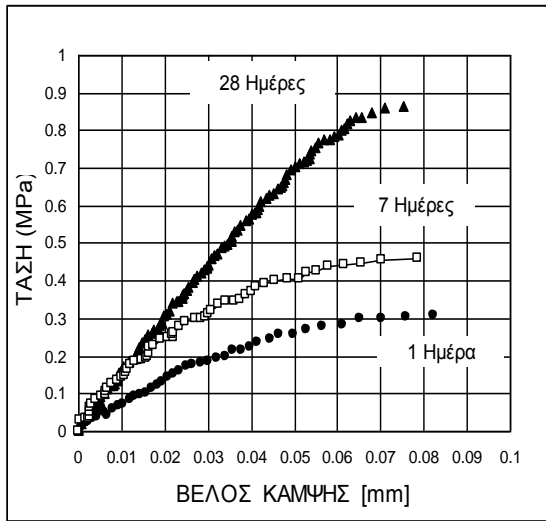
Σχ. 7: Συσχέτιση της αντοχής ισοδύναμου κύβου με την αντοχή σε καθαρό εφελκυσμό

ΚΑΜΨΗ

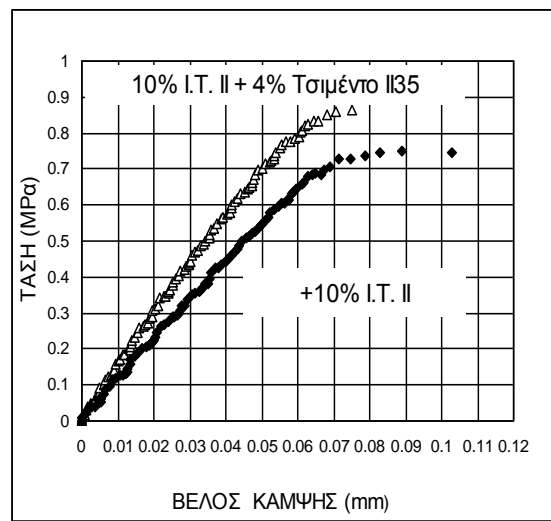
Οι σταθεροποιημένες στρώσεις ή στρώσεις έδρασης ενός οδοστρώματος επιπονούνται από τα φορτία των οχημάτων σε κάμψη και για το λόγο αυτό η καμπτική αντοχή των υλικών αυτών είναι σημαντική παράμετρος διαστασιολόγησης. Η αντοχή σε κάμψη προσδιορίστηκε για δύο περιπτώσεις σταθεροποιητών: α) 10% I.T. ΙΙ και β) 10% I.T. Ι και 4% τσιμέντο ΙΙ35. Παρασκευάστηκαν δοκίμια σχήματος ορθογωνίου πρίσματος διαστάσεων 10 cm.x10 cm.x40 cm. με την ίδια ακριβώς τεχνική που κατασκευάστηκαν τα δοκίμια του οριζόντιου εφελκυσμού. Η δοκιμή σε κάμψη έγινε με επιβολή δύο φορτίων στα τρίτα του ανοίγματος και με ταυτόχρονη καταγραφή του βέλους στο μέσον του ανοίγματος με ειδική διάταξη (Σχ 8). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 9, 10 11 και 12. Η αντοχή σε κάμψη αυξάνεται σε σχέση με το χρόνο (από 100% (7 ημέρες) έως 180% (28 ημέρες) περίπου). Ο συνδυασμός τσιμέντου ΙΙ35 μαζί με ιπτάμενη τέφρα, δίνει στο εδαφικό δείγμα σημαντικά μεγάλη αντοχή σε κάμψη (0,65 MPa). Η αντίστοιχη αύξηση λόγω της προσθήκης τσιμέντου είναι περίπου 23% σε όλες τις ηλικίες. Επιπλέον το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη αυξάνεται με το χρόνο και με την προσθήκη τσιμέντου.



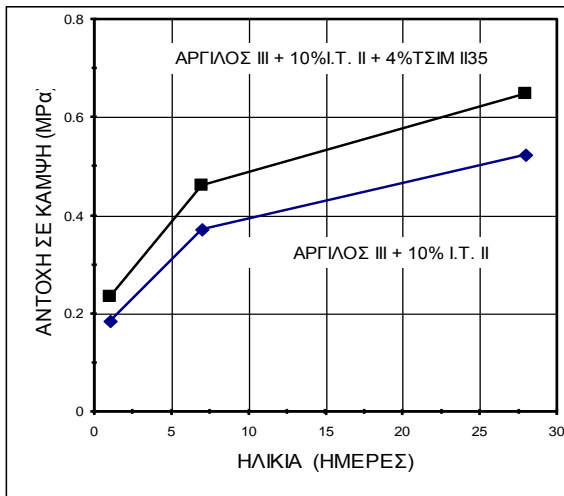
Σχ. 8: Διάταξη δοκιμής σε κάμψη



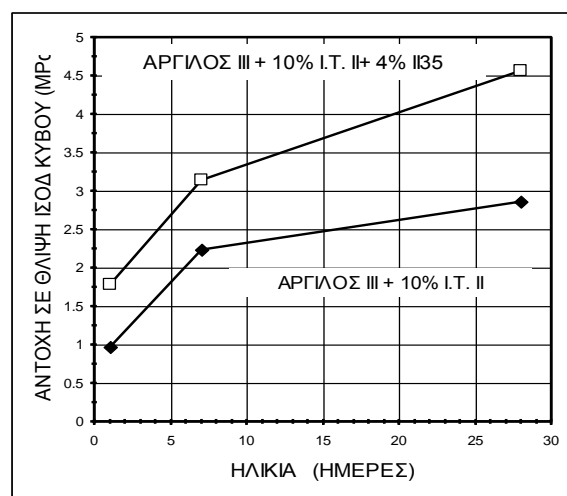
Σχ. 9: Τάση-βέλος κάμψης, Διάφορες ηλικίες



Σχ. 10: Τάση-βέλος κάμψης. Επίδραση σταθεροποιητή



Σχ. 11: Αντοχή σε κάμψη



Σχ. 12: Αντοχή σε θλίψη ισοδύναμου κύβου

Πίνακας 1: Αποτελέσματα δοκιμών σε κάμψη

Εδαφικό Υλικό Άργιλος ΙΙΙ		1 ημέρα			7 ημέρες			28 ημέρες		
Σταθεροποιητής		f_b	E_b	f_{ec}	f_b	E_b	f_{ec}	f_b	E_b	f_{ec}
ΙΤ	Τσιμ ΙΙ 35	MPa	GPa	MPa	MPa	GPa	MPa	MPa	GPa	MPa
10 %	4 %	0.23	0.13	1.79	0.46	0.35	3.14	0.65	0.47	4.57
10%	0	0.18	0.14	0.97	0.37	0.20	2.23	0.52	0.28	2.85

f_b = αντοχή σε κάμψη, E_b = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, f_{ec} = αντοχή ισοδύναμου κύβου

ΘΛΙΨΗ

Για τη μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια κυλινδρικά διαστάσεων 7cm.x14cm. τα οποία παρασκευάστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο BS1924. Το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίστηκε με 4 μεθόδους επιβολής επιπόνησης οι οποίες περιλάμβαναν φορτίσεις μέχρι το 1/3 της αντοχής α) με δύο ταχύτητες επιβολής φορτίου – μικρή και μεγάλη β) με δυναμική φόρτιση ημιτονοειδούς μορφής και γ) με επιβολή σταθερής ταχύτητας παραμόρφωσης μέχρι θραύσεως του δοκιμίου. Η έρευνα αυτή έγινε σε μία προσπάθεια να διερευνηθεί η συμπεριφορά των υλικών στις διάφορες μορφές φορτίσεων στις οποίες υποβάλλονται οι σταθεροποιημένες στρώσεις στα οδοστρώματα. Κατά τις δοκιμές καταγράφοντο οι τάσεις και οι ανηγμένες παραμορφώσεις και η τιμή του μέτρου ελαστικότητας προσδιορίστηκε από την παραμόρφωση που καταγράφετο στο 1/3 περίπου της αντοχής του υλικού. Ειδικότερα οι μέθοδοι επιπόνησης του δοκιμίου ήταν οι ακόλουθες

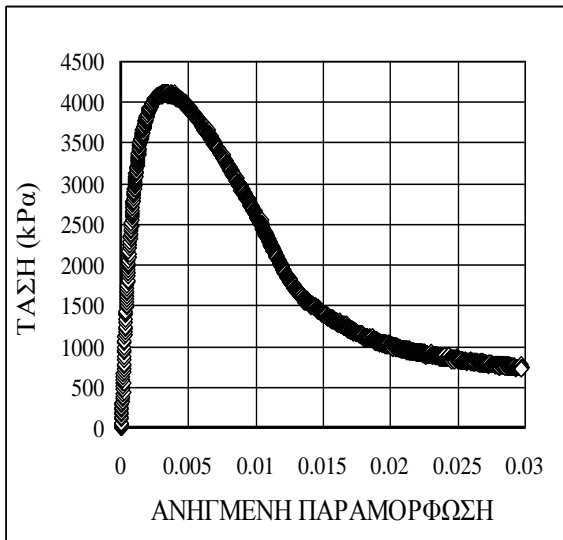
Μέθοδος T1 – Μεγάλη ταχύτητα επιβολής φορτίου. Η επιβολή του φορτίου πραγματοποιείται μέχρι το επιβαλλόμενο φορτίο να φτάσει την τιμή P/3 (P: φορτίο θραύσης σε μονοαξονική θλίψη) σε χρόνο 0,30sec. Ο χρόνος αυτός είναι περίπου ο χρόνος φόρτισης που επιβάλλει συνήθως η κυκλοφορία εμπορικών οχημάτων.

Μέθοδος T2 – Μικρή ταχύτητα επιβολής φορτίου. Η επιβολή του φορτίου πραγματοποιείται με ταχύτητα φόρτισης ίση με 0,2N/mm²/sec όπως προβλέπεται από τα αντίστοιχα πρότυπα προσδιορισμού μέτρου ελαστικότητας σκυροδέματος

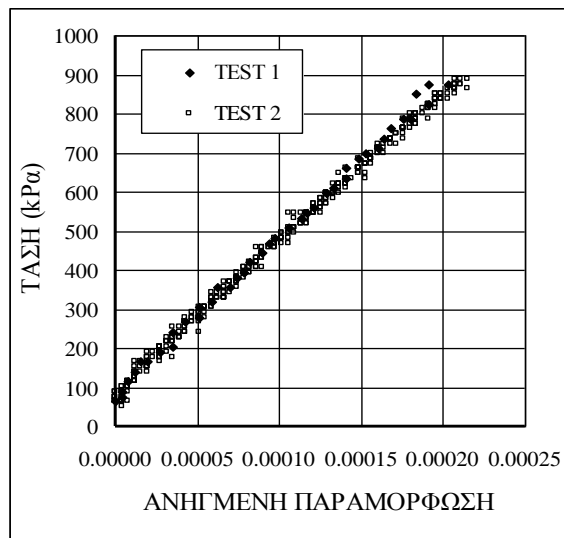
Μέθοδος T3 – Σταθερή ταχύτητα παραμόρφωσης. Η επιβολή του φορτίου πραγματοποιείται έτσι ώστε η ταχύτητα παραμόρφωσης να είναι ίση περίπου με 1 mm./min.

Μέθοδος T4- Δυναμική φόρτιση. Η επιβολή του φορτίου πραγματοποιείται με συνεχείς κύκλους ημιτονοειδών φορτίσεων έτσι ώστε η περίοδος της φόρτισης να είναι 0,60sec και το εύρος της ίσο με P/3.

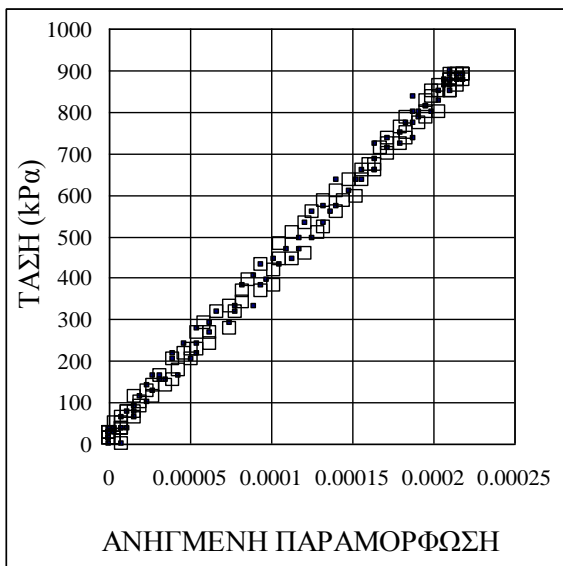
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 13, 14, 15 και 16. Είναι φανερό ότι τα εξετασθέντα είδη φόρτισης δεν επηρεάζουν σημαντικά την τιμή του μέτρου ελαστικότητας. Συμπεραίνεται ότι με την αύξηση της αντοχής σε θλίψη και σε εφελκυσμό επιτυγχάνεται και σημαντική αύξηση του μέτρου ελαστικότητας. Η αύξηση αυτή είναι συνάρτηση της ηλικίας του ποσοστού της Ι.Τ. και του τσιμέντου. Τα βελτιωμένα αυτά μηχανικά χαρακτηριστικά των σταθεροποιημένων αργιλικών εδαφικών υλικών τα καθιστά κατάλληλα για χρήση στη κατασκευή οδοστρωμάτων για αναβάθμιση της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης (αυτοκινητόδρομοι, οδοί βαριάς κυκλοφορίας) ή και για υπόβαση σε οδούς ελαφριάς κυκλοφορίας.



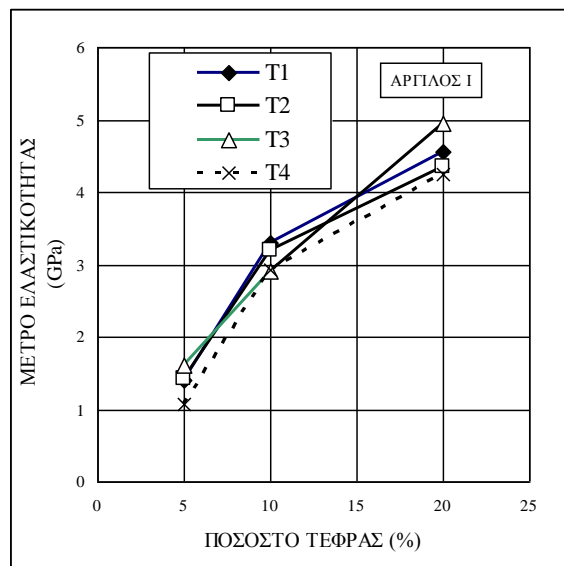
Σχ. 13: Διάγραμμα σ-ε σε θλίψη



Σχ. 14: Διάγραμμα σ-ε για μεγάλη και μικρή ταχύτητα φόρτισης



Σχ. 15: Τυπικό διάγραμμα σ-ε για τον 1^ο και στο για τον πρώτο και τελευταίο κύκλο φόρτισης



Σχ. 16: Επίδραση του είδους της φόρτισης μέτρο ελαστικότητας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εργασία αυτή συμπεραίνεται ότι η χρησιμοποίηση της Ι.Τ. (με ή και χωρίς τσιμέντο) για την σταθεροποίηση αργιλικών εδαφικών υλικών παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον από άποψη τεχνική, οικονομική και περιβαλλοντική.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά (αντοχή και μέτρο ελαστικότητας) βελτιώνονται σε τέτοιο βαθμό που καθιστούν τις σταθεροποιημένες στρώσεις για περιπτώσεις οδοστρωμάτων με βαριά

κυκλοφορία κατάλληλες για στρώση έδρασης με υψηλή φέρουσα ικανότητα γεγονός που μειώνει σημαντικά το απαιτούμενο πάχος του οδοστρώματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Κόλιας, Σ.& Καραχάλιος, Α. 2005 Σταθεροποίηση αργιλικών εδαφικών υλικών με ασβεστόχο Ιπτάμενη Τέφρα με ή χωρίς τσιμέντο. α) Αντοχή σε θλίψη, διάρρηξη και CBR. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΒΙΠΑΡ.