

ΝΕΑ ΓΕΝΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ: ΙΝΟΠΛΕΓΜΑΤΑ ΣΕ ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΜΗΤΡΑ (IAM)

Αθανάσιος Τριανταφύλλου

Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών

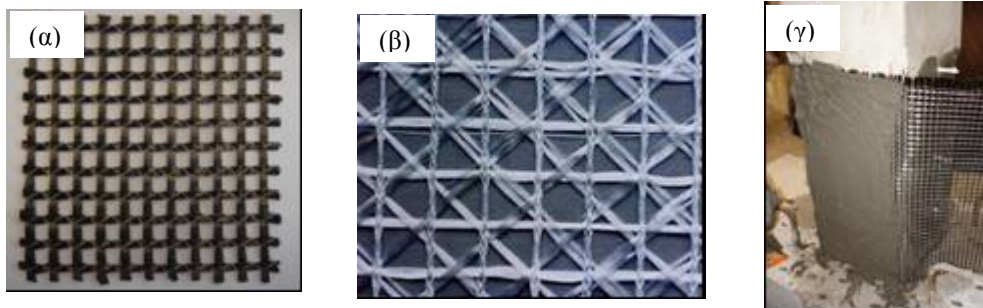
Λέξεις κλειδιά: ενισχύσεις, ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα, σκυρόδεμα, τοιχοποιία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην εργασία αναπτύσσεται μια νέα τεχνική ενίσχυσης δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος και φέρουσας τοιχοποιίας. Η τεχνική βασίζεται στη χρήση συνθέτων υλικών, τα οποία αποτελούνται από ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα (π.χ. κονίαμα με βάση το τσιμέντο), αποσκοπώντας στην επίλυση προβλημάτων που χαρακτηρίζουν τα οπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) σχετικά με την χρήση εποξειδικών ρητινών. Τα ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα (IAM) δοκιμάζονται στη μορφή μανδύα για την ενίσχυση (α) οπλισμένου σκυροδέματος με στόχο την περίσφιξη, την αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης υποστυλωμάτων και την ενίσχυση έναντι τέμνουσας, και (β) τοιχίσκων σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση εντός και εκτός επιπέδου. Καταδεικνύεται ότι η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM είναι εξαιρετικά υψηλή και γενικώς παρόμοια (σε αρκετές δε περιπτώσεις υψηλότερη) με αυτή των μανδύων ΙΟΠ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βλάβες που προκαλούνται από σεισμούς σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας τοιχοποιίας, η προσεισμική ενίσχυση, η γήρανση και φθορά των κατασκευών (π.χ. λόγω διάβρωσης των οπλισμών) και η αλλαγή χρήσης, οδηγούν ολοένα και περισσότερο προς την αναζήτηση νέων υλικών και τεχνικών επεμβάσεων οι οποίες θα εξασφαλίζουν αποτελεσματικότητα, ταχύτητα και ευκολία στην εφαρμογή, διατήρηση της γεωμετρίας των δομικών στοιχείων και μείωση του κόστους. Προς την κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκε τα τελευταία 20 έτη περίπου η τεχνική επεμβάσεων με ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ), η οποία αξιοποιεί ιδιότητες των υλικών αυτών όπως είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή, η ανθεκτικότητα στο χρόνο, το χαμηλό βάρος και η ικανοποιητική παραμορφωσιμότητα (π.χ. Τριανταφύλλου 2008). Έτσι, τόσο διεθνώς όσο και στη χώρα μας, ο αριθμός επεμβάσεων σε υφιστάμενα δομήματα όπου γίνεται χρήση ΙΟΠ αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Προς την κατεύθυνση αυτή έχει βοηθήσει σημαντικά και η πλούσια διεθνής βιβλιογραφία, η οποία

έχει φωτίσει πάρα πολλές πτυχές του πεδίου των επεμβάσεων με ΙΟΠ (π.χ. Triantafyllou 2008). Παρόλα τα πλεονεκτήματά της, η τεχνική των ινοπλισμένων πολυμερών έχει ορισμένες εγγενείς αδυναμίες, οι οποίες ουσιαστικά οφείλονται στην χρήση ρητινών (κατά κανόνα εποξειδικών). Εν περιλήψει οι αδυναμίες αυτές αφορούν: (α) στην πτωχή συμπεριφορά (απώλεια αντοχής) των ρητινών σε θερμοκρασίες πάνω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (της τάξης των 70-80° C), (β) στο σχετικά υψηλό κόστος των ρητινών, (γ) στην αδυναμία εφαρμογής σε υγρές επιφάνειες (εκτός αν γίνει χρήση ρητινών ειδικού τύπου), (δ) στον περιορισμό της ικανότητας “αναπνοής” των δομικών στοιχείων που καλύπτονται από μανδύες ΙΟΠ, (ε) στην ασυμβατότητα ρητινών με υλικά ιστορικών κατασκευών και (στ) στην δυσκολία διεξαγωγής μη καταστροφικής αποτίμησης πιθανών βλαβών “πίσω” από μανδύες ΙΟΠ μετά από σεισμούς.



Σχήμα 1. Πλέγματα ινών (α) δύο διευθύνσεων και (β) τεσσάρων διευθύνσεων. (γ) Εφαρμογή ινοπλεγμάτων σε κονίαμα στη βάση υποστολώματος.

Μια εκ πρώτης όψεως λογικοφανής λύση στα παραπάνω προβλήματα θα μπορούσε να είναι η αντικατάσταση της ρητίνης, η οποία αποτελεί το συνδετικό υλικό μεταξύ των συνεχών ινών, δηλαδή την “μήτρα”, με πολύ λεπτόκοκκο υλικό ανόργανης σύστασης, π.χ. τύπου κονιάματος με βάση το τσιμέντο. Τέτοιες λύσεις έχουν δοκιμασθεί τα τελευταία χρόνια χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία, διότι η κοκκομετρία των κονιαμάτων, ακόμα και των εξαιρετικά λεπτόκοκκων, δεν επιτρέπει τον πλήρη εμποτισμό των ινών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση πτωχών χαρακτηριστικών συνάφειας μεταξύ των ινών και του μητρικού υλικού (κονίαμα). Μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική πρόταση, η οποία αναπτύσσεται και μελετάται συστηματικά κατά την τελευταία πενταετία στο Εργαστήριο Μηχανικής & Τεχνολογίας Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, είναι αυτή της αντικατάστασης των “συμβατικών” υφασμάτων συνεχών ινών (συνήθως) μίας διεύθυνσης, με υφάσματα ινών σε μορφή πλέγματος (textile) με βροχίδες. Τα πλέγματα αυτά μπορούν να κατασκευάζονται από δέσμες ινών ανά αποστάσεις σε δύο ή περισσότερες διευθύνσεις (π.χ. Σχ.

1α,β), έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλή συνεργασία ινών – μητρικού υλικού (δηλαδή κονιάματος) κυρίως μέσω μηχανικής εμπλοκής του κονιάματος στα κενά μεταξύ των δεσμών (Σχ. 1γ). Ο όρος που έχει προταθεί από τον συγγραφέα στη διεθνή βιβλιογραφία για τα “νέα” αυτά σύνθετα υλικά μανδύων ενίσχυσης είναι Textile-Reinforced Mortars (TRM), που στην Ελληνική γλώσσα θα μπορούσε να αποδοθεί ως Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα (IAM). Τα πλέγματα αυτά παρασκευάζονται από συνήθεις ίνες άνθρακα ή υάλου, αλλά και από ίνες νέου τύπου, όπως είναι ο βασάλτης. Σημειώνεται πάντως ότι στην περίπτωση πλεγμάτων από ίνες υάλου θα πρέπει να γίνεται είτε χρήση υάλου τύπου AR (alkali-resistant) είτε προεμποτισμός των δεσμών με κάποιο πολυμερές χαμηλού κόστους, ώστε να αποφεύγεται η πρόωμη φθορά των ινών λόγω της υψηλής αλκαλικότητας των κονιαμάτων.

Οι πρώτες εργασίες όπου ινοπλέγματα συνδυάστηκαν με κονιάματα για την ενίσχυση δομικών στοιχείων ήταν αυτές των Curbach & Brueckner (2003) και Curbach & Ortler (2003). Στις εργασίες αυτές γίνονται μελέτες συνάφειας ινοπλεγμάτων ανόργανης μήτρας – σκυροδέματος και παρουσιάζονται αποτελέσματα δοκιμών κάμψης επί δοκών ενισχυμένων με υαλοπλέγματα σε τσιμεντοκονίαμα. Η χρήση των IAM για την κατασκευή μανδύων με στόχο την περίσφιξη σκυροδέματος και την ενίσχυση έναντι τέμνουσας παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στις εργασίες των Triantafyllou & Papanicolaou (2005), Triantafyllou et al. (2006) και Triantafyllou & Papanicolaou (2006). Πρόσφατα, η τεχνική των IAM εφαρμόστηκε με εξαιρετική επιτυχία σε στοιχεία από φέρουσα τοιχοποιία (Papanicolaou et al. 2007α,β).

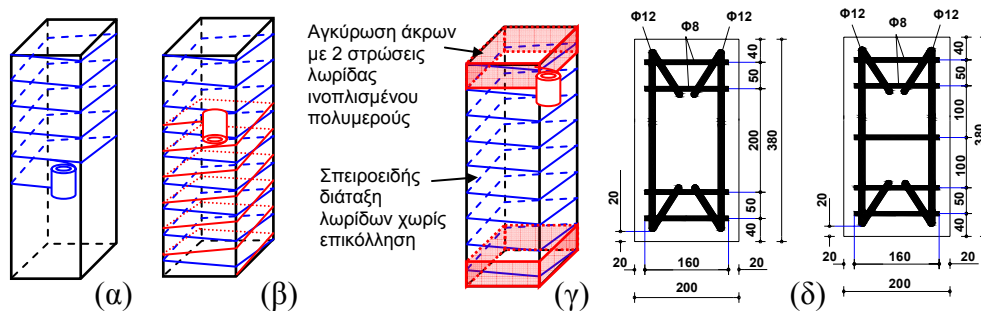
Στην παρούσα εργασία γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση πειραματικών αποτελεσμάτων από δοκιμές όπου έγινε χρήση μανδύων IAM, αλλά και σύγκριση αυτών με ισοδύναμους μανδύες ΙΟΠ, με στόχο: (α) Την περίσφιξη άοπλου και οπλισμένου σκυροδέματος υπό αξονική θλίψη. (β) Την αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης υποστυλωμάτων μέσω περίσφιξης στα άκρα. (γ) Την ενίσχυση υποστυλωμάτων έναντι τέμνουσας. (δ) Την ενίσχυση φέρουσας τοιχοποιίας για φόρτιση εκτός ή εντός επιπέδου.

Εκ των αποτελεσμάτων συνάγεται ότι τα νέα αυτά υλικά (Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα) τυγχάνουν εξαιρετικής αποτελεσματικότητας, και αναμένεται ότι θα αποτελέσουν μια ενδιαφέρουσα, αν όχι επαναστατική, πρόταση στο πεδίο των ενισχύσεων.

2. ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ ΑΟΠΛΟΥ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για την μελέτη της περίσφιξης σκυροδέματος με μανδύες IAM διεξήχθη πειραματικό πρόγραμμα το οποίο περιελάμβανε δοκιμές κεντρικής θλίψης σε τέσσερις ομάδες δοκιμών. Κύριοι στόχοι του προγράμματος ήταν να μελετηθούν: (1) Ο ρόλος της αντοχής του κονιάματος στα χαρακτηριστικά

περίσφιγξης του άοπλου σκυροδέματος (Ομάδα Α). (2) Η αποτελεσματικότητα των μανδύων ΙΑΜ συγκριτικά με αυτήν των μανδύων ΙΟΠ ως προς την περισφιγξη άοπλου σκυροδέματος (Ομάδες Β και C). (3) Ο ρόλος του αριθμού των στρώσεων μανδύων ΙΑΜ στην περισφιγξη άοπλου σκυροδέματος (Ομάδες Α, Β και C). (4) Η αποτελεσματικότητα μιας νέας τεχνικής, βάσει της οποίας η περισφιγξη επιβάλλεται μέσω λωρίδων σε σπειροειδή διάταξη χωρίς επικόλληση (Σχ. 2α-γ), με εξαίρεση στα άκρα (Ομάδα C). (5) Η αποτελεσματικότητα των μανδύων ΙΑΜ συγκριτικά με αυτήν των μανδύων ΙΟΠ ως προς την περισφιγξη οπλισμένου σκυροδέματος για διαφορετικές αποστάσεις συνδετήρων (Ομάδα D).



Σχήμα 2. Γεωμετρικές λεπτομέρειες δοκιμίων. (α)-(γ) Εφαρμογή λωρίδων σε σπειροειδή διάταξη χωρίς επικόλληση (Ομάδα C). (δ) Πρισματικά δοκίμια Ομάδας D.

Για την πειραματική μελέτη χρησιμοποιήθηκαν: (α) Άοπλα κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150 mm και ύψους 300 mm (Ομάδες Α και Β). (β) Άοπλα πρισματικά δοκίμια τετραγωνικής διατομής 250×250 mm και ύψους 700 mm (Ομάδα C). (γ) Οπλισμένα πρισματικά δοκίμια τετραγωνικής διατομής 200×200 mm και ύψους 700 mm (Ομάδα D). Τα δοκίμια κάθε ομάδας παρασκευάστηκαν από εργοστασιακό σκυρόδεμα, το οποίο ήταν το ίδιο για κάθε ομάδα αλλά ελαφρώς διαφορετικό μεταξύ ομάδων, λόγω σκυροδετήσεων σε διαφορετικές ημέρες. Τα δοκίμια της Ομάδας D (Σχ. 2δ) ήταν οπλισμένα με κλωβούς οπλισμών που αποτελούνταν από τέσσερις διαμήκεις ράβδους Φ12 και από συνδετήρες Φ8 σε αραιή (ανά 200 mm) ή πυκνή (ανά 100 mm) διάταξη κατηγορίας S500 με τάση διαρροής 560 N/mm². Στα πρισματικά δοκίμια οι ακμές ήταν στρογγυλεμένες με ακτίνα καμπυλότητας 15 mm και 25 mm για τα δοκίμια των Ομάδων C και D, αντιστοίχως, ώστε να αποφευχθεί πρόωμη αστοχία του μανδύα λόγω συγκέντρωσης τάσεων.

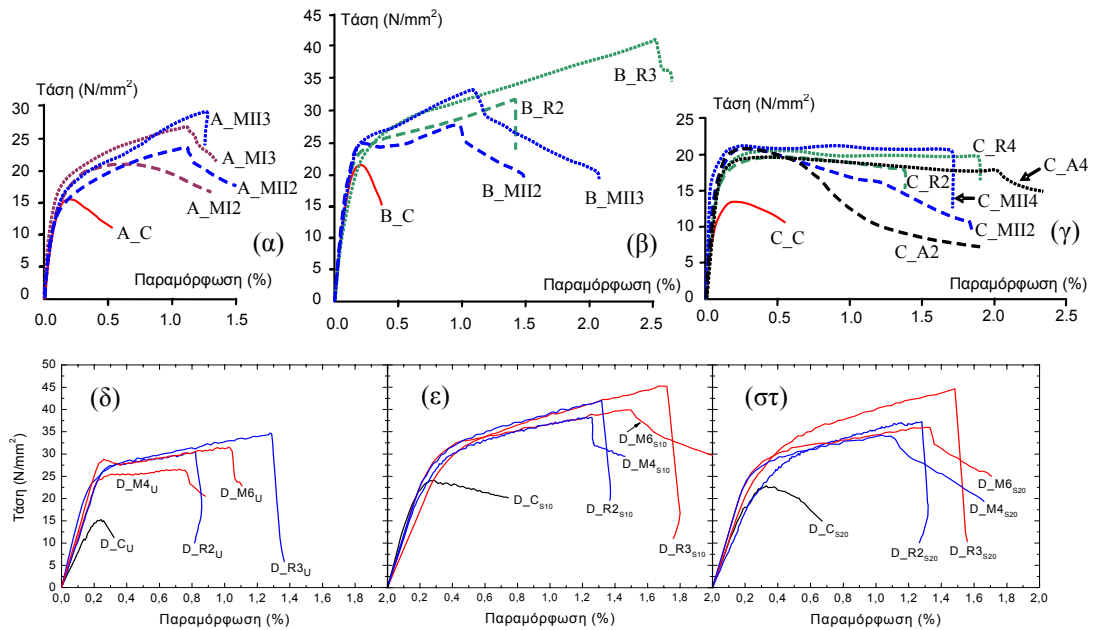
Η σήμανση των δοκιμίων (Σχ. 3) δίνεται ως Y_XN_Z, όπου: Y = κωδικός ομάδας (A, B, C, D). X = τύπος μανδύα [C για δοκίμια αναφοράς, δηλ. χωρίς μανδύα, M για δοκίμια με μανδύα κονιάματος, MI και MII για δοκίμια με μανδύα κονιάματος Τύπου I και II, αντιστοίχως (το κονίαμα I είχε μικρότερη αντοχή σε σχέση με το II), R για δοκίμια με μανδύα όπου η

μήτρα των συνθέτων υλικών είναι ρητίνη και Α για δοκίμια όπου ο μανδύας κατασκευάζεται μέσω λωρίδων σε σπειροειδή διάταξη χωρίς επικόλληση, με εξαίρεση στα άκρα]. N = αριθμός στρώσεων. Ο υποδείκτης z (στα δοκίμια της Ομάδας D μόνον) δηλώνει την ύπαρξη ή όχι συνδετήρων καθώς και την απόσταση αυτών (U για άοπλα δοκίμια, s_{20} για δοκίμια με απόσταση συνδετήρων 200 mm και s_{10} για δοκίμια συνδετήρες ανά 100 mm).

Με εξαίρεση εκείνα τα δοκίμια της Ομάδας D στα οποία εφαρμόστηκαν μανδύες ΙΟΠ, η ενίσχυση των δοκιμίων έγινε με πλέγματα συνεχών ινών (textiles) δύο διευθύνσεων. Τα πλέγματα αποτελούνταν από δέσμες ινών άνθρακα σε απόσταση 10 mm (από άξονα σε άξονα) και είχαν μάζα 168 g/m² και ονομαστικό πάχος 0.047 mm (υπολογισμένο βάσει ισοδύναμης κατανομής των ινών σε ομοιόμορφη διάταξη ανά διεύθυνση – smeared distribution, δηλαδή χωρίς τα κενά των βροχίδων) για τα δοκίμια των Ομάδων Α, Β και C (Tex1), ενώ οι αντίστοιχες τιμές για το πλέγμα της Ομάδας D (Tex2) ήταν διπλάσιες. Σημειώνεται ότι στο πλέγμα των Ομάδων Α, Β και C οι ίνες ήταν σε “ξηρή” κατάσταση, δηλαδή μη εμποτισμένες, ενώ στο πλέγμα της ομάδας D οι ίνες ήταν εμποτισμένες με πολυμερές χαμηλής αντοχής. Η εγγυημένη εφελκυστική αντοχή των ινών σε κάθε μία από τις δύο κύριες διευθύνσεις ήταν 3350 N/mm² για το Tex1 και 3545 N/mm² για το Tex2. Στα δοκίμια της Ομάδας D (D_{RN_z}) που κατασκευάστηκαν μανδύες ΙΟΠ χρησιμοποιήθηκαν υφάσματα ινών άνθρακα μιας διεύθυνσης με μάζα 300 g/m², ονομαστικό πάχος 0.17 mm και εφελκυστική αντοχή 3790 N/mm². Το μέτρο ελαστικότητας των ινών στα πλέγματα και στο ύφασμα ήταν περίπου 225-230 kN/mm². Τα κονιάματα ΜΙ και ΜΠ είχαν ως βάση το τσιμέντο και περιείχαν πολυμερή σε ποσοστό έως 10% κ.β. επί του συνολικού βάρους της κονιάς σε ξηρή μορφή. Το κονίαμα ΜΙ είχε μέση αντοχή 28 ημερών 8.6 N/mm² σε θλίψη και 3.3 N/mm² σε εφελκυσμό από κάμψη. Οι αντίστοιχες τιμές για το κονίαμα ΜΠ ήταν 30.6 N/mm² και 4.3 N/mm². Τέλος, το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε στους μανδύες της Ομάδας D (δοκίμια D_{M4_z} και D_{M6_z}) είχε μέση αντοχή 28 ημερών 22.1 N/mm² σε θλίψη και 6.8 N/mm² σε εφελκυσμό από κάμψη.

Όλα τα δοκίμια υπεβλήθησαν σε μονοτονική θλιπτική καταπόνηση επιβαλόμενης μετατόπισης με ταχύτητα 0.01 mm/s και 0.05 mm/s για τις Ομάδες Α-С και D. Τα φορτία μετρούνταν μέσω της δυναμοκυψέλης και οι αξονικές παραμορφώσεις μέσω ηλεκτρομηκυσιομέτρων στις απέναντι πλευρές κάθε δοκιμίου. Ενδεικτικά αποτελέσματα σε μορφή καμπυλών τάσης – παραμόρφωσης δίνονται στο Σχήμα 3 ενώ περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στις εργασίες των Triantafyllou et al. (2006) και Bougnas et al. (2007). Τονίζεται ότι ανά ζεύγη (IAM και ΙΟΠ) τα δοκίμια ήταν ενισχυμένα με μανδύες ίσης δυστένειας, ώστε να είναι εύκολη η άμεση σύγκριση της αποτελεσματικότητας των μανδύων IAM (ανόργανης μήτρας) ως προς αυτήν των αντιστοιχών ΙΟΠ (πολυμερικής μήτρας). Για τις Ομάδες Α-С τούτο επετεύχθη χρησιμοποιώντας το ίδιο πλέγμα ινών στους

μανδύες IAM και IOΠ, ενώ για την Ομάδα D οι μανδύες IAM αποτελούνταν από περισσότερες στρώσεις των αντιστοιχών IOΠ, ώστε να διατηρείται σταθερό το γινόμενο του αριθμού των στρώσεων επί το πάχος κάθε στρώσης (οι ίνες ήταν ίδιες). Έτσι, τα εξής ζεύγη δοκιμών είναι ισοδύναμα ως προς την δυστένεια των μανδύων: B_R2 με B_MII2, B_R3 με B_MII3, C_R2 με C_MII2, C_R4 με C_MII4, D_R2z με D_M4z, D_R3z με D_M6z.



Σχήμα 3. Τυπικές καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης για δοκίμια (α) Ομάδας A (κύλινδροι), (β) Ομάδας B (κύλινδροι), (γ) Ομάδας C (άοπλα πρίσματα) και (δ)-(στ) Ομάδας D (οπλισμένα πρίσματα).

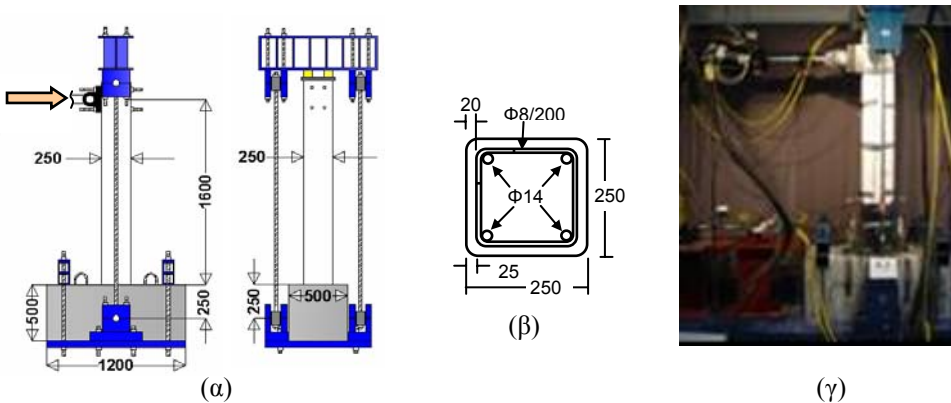
Από τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα συνάγονται τα εξής συμπεράσματα: (α) Η αποτελεσματικότητα των μανδύων από IAM ως προς την αύξηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας στοιχείων άοπλου ή οπλισμένου σκυροδέματος είναι γενικώς υψηλή και μόνον ελαφρώς μειωμένη ως προς την αντίστοιχη των μανδύων από IOΠ. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη στην περίπτωση περίσφιξης άοπλων κυλινδρικών στοιχείων, αλλά εξαιρετικά περιορισμένη, της τάξης του 10%, στην περίπτωση οπλισμένων στοιχείων, όπου κύριος στόχος της περίσφιξης είναι η καθυστέρηση του λυγισμού των διαμήκων ράβδων. (β) Όπως και στην περίπτωση μανδύων IOΠ, η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM αυξάνεται (μη αναλογικά) με τον αριθμό των στρώσεων. (γ) Οι καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης σκυροδέματος περισφιγμένου με μανδύες IAM έχουν την (γνώριμη) περίπου διγραμμική μορφή που παρατηρείται και στο

σκυρόδεμα με μανδύες ΙΟΠ. Υπό την προϋπόθεση κατάλληλης επιλογής κονιάματος, οι μανδύες ΙΑΜ εξαντλούν την εφελκυστική αντοχή τους, γεγονός που καταδεικνύει την πλήρη αξιοποίηση της υψηλής αντοχής των ινών. (δ) Η αστοχία των μανδύων ΙΑΜ λόγω εγκάρσιας διόγκωσης του περισφιγμένου σκυροδέματος είναι γενικώς βαθμιαία και όχι τόσο ξαφνική (και ψαθυρή) όπως στην περίπτωση των μανδύων ΙΟΠ, γεγονός που οφείλεται στη σταδιακή θραύση δεσμών ινών. Η θραύση αυτή επεκτείνεται σχετικά αργά σε γειτονικές δέσμες, ως αποτέλεσμα της μειωμένης ανακατανομής της έντασης που παρέχει η ανόργανη μήτρα (κονίαμα) σε σχέση με την πολυμερική (εποξειδική ρητίνη). Έτσι, η συμπεριφορά σκυροδέματος περισφιγμένου με ΙΑΜ είναι πιο πλάστιμη σε σχέση με το αντίστοιχο περισφιγμένο με ΙΟΠ. (ε) Η αναλυτική προσομοίωση για την περίσφιξη σκυροδέματος με ΙΑΜ μπορεί να γίνει αξιοποιώντας υφιστάμενα προσομοιώματα περίσφιξης με ΙΟΠ, στα οποία λαμβάνεται υπόψη η μειωμένη αποτελεσματικότητα των μανδύων ΙΑΜ μέσω κατάλληλων μειωτικών συντελεστών (π.χ. Triantafyllou et al. 2006). (στ) Η περίσφιξη μέσω λωρίδων σε ελικοειδή διάταξη και αγκύρωση μόνο στα άκρα των δομικών στοιχείων αποτελεί ενδιαφέρουσα τεχνική ικανοποιητικής αποτελεσματικότητας.

3. ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Στην Ενότητα αυτή μελετάται η δυνατότητα χρήσης μανδύων ΙΑΜ ως μέσου περίσφιξης στις κρίσιμες περιοχές (πόδας και κορυφή) υποστυλωμάτων μη σεισμικά σχεδιασμένων παλαιών κατασκευών και γίνεται σύγκριση με μανδύες ίσης δυστένειας από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ). Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών ανακυκλιζόμενης φόρτισης επί τριών στοιχείων τύπου προβόλου (Σχ. 4α), αναπαριστώντας σε πλήρη κλίμακα υποστυλώματα με ύψος ίσο με το μισό του ύψους τυπικού ορόφου (1.60 m). Τα δοκίμια είχαν τετραγωνική διατομή 250×250 mm με διαμήκη οπλισμό από τέσσερις γωνιακές λείες ράβδους Φ14 και εγκάρσιο οπλισμό συνδετήρων Φ8 σε αποστάσεις 200 mm, με τα άγκιστρα κεκαμμένα κατά 90° (Σχ. 4β). Για την παρασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε έτοιμο σκυρόδεμα C16/20 με θλιπτική αντοχή 28 ημερών ίση με 25 N/mm². Ο διαμήκης οπλισμός των δοκιμών είχε τάση διαρροής 372 N/mm², εφελκυστική αντοχή 433 N/mm² και παραμόρφωση θραύσης 17%, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τον εγκάρσιο οπλισμό ήταν 351 N/mm², 444 N/mm² και 19.5%. Από τα τρία δοκίμια που περιγράφονται στην παρούσα εργασία ένα δοκιμάστηκε χωρίς ενίσχυση (δοκίμιο αναφοράς), ένα ενισχύθηκε στον πόδα με δύο στρώσεις μανδύα ινοπλισμένων πολυμερών (δοκίμιο R2) και ένα ενισχύθηκε στον πόδα με τέσσερις στρώσεις μανδύα ινοπλεγμάτων σε ανόργανη μήτρα (δοκίμιο M4). Ο μανδύας κάλυπτε τον πόδα των υποστυλωμάτων σε ύψος 430 mm. Τα υλικά των μανδύων ήταν ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στα

δοκίμια της Ομάδας D που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Σημειώνεται ότι οι δύο μανδύες (IAM και IOΠ) αποτελούνταν από ίνες άνθρακα ίδιου τύπου και είχαν ίση δυστένεια.

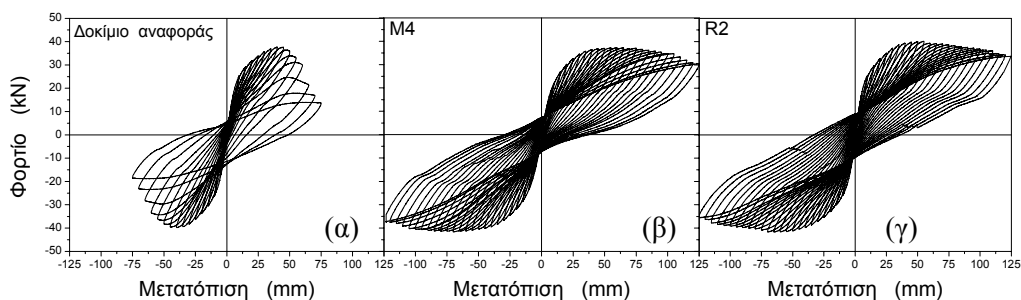


Σχήμα 4. (α) Διάταξη δοκιμών, (β) διατομή και (γ) φωτογραφία της πειραματικής διάταξης.

Τα δοκίμια φορτίστηκαν με οριζόντια δύναμη σε ύψος 1.60 m από τη βάση, μέσω σερβοϋδραυλικού εμβόλου MTS αγκυρωμένου στην κεφαλή του στοιχείου (Σχ. 4γ). Η ιστορία φόρτισης αποτελούνταν από επαναλαμβανόμενους κύκλους μετατοπίσεων αυξανόμενου εύρους (κατά 5 mm) μέχρι είτε την αστοχία του δοκιμίου (δοκίμιο αναφοράς) είτε την επιβολή μεγάλης μετατόπισης (125 mm σε κάθε διεύθυνση) έως εξαντλήσεως της δυναμικότητας του εμβόλου (δοκίμια με μανδύες). Τα δοκίμια φορτίζονταν ταυτόχρονα κατά τη διεύθυνση του άξονά τους με σταθερό αξονικό φορτίο 460 kN, το οποίο αντιστοιχεί στο 30% περίπου της θλιπτικής αντοχής των υποστλωμάτων υπό κεντρική θλίψη. Κατά την διάρκεια των δοκιμών καταγράφονταν η δύναμη και η μετατόπιση του εμβόλου, η πραγματική τιμή του αξονικού φορτίου (μέσω μηχανομετρών στις δύο προεντεταμμένες ράβδους επιβολής του αξονικού φορτίου) καθώς και η στροφή και η κατακόρυφη (αξονική) μετατόπιση τριών διατομών, 130 mm, 260 mm και 450 mm πάνω από τη βάση των στοιχείων.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο Σχήμα 5. Κύριο χαρακτηριστικό της απόκρισης του δοκιμίου αναφοράς (Σχ. 5α) ήταν η διαρροή σε κάμψη, η οποία όμως ακολουθήθηκε από λυγισμό των διαμήκων ράβδων, λόγω του μεγάλου αστήρικτου μήκους από τους αραιά τοποθετημένους συνδετήρες, και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος πάνω από την βάση. Το δοκίμιο αυτό εμφάνισε σημαντική πτώση της αντοχής σε μετακίνηση περίπου ίση με 50 mm. Η απόκριση των ενισχυμένων υποστλωμάτων (Σχ. 5β,γ) βελτιώθηκε σημαντικά λόγω της περίσφιξης από τους μανδύες. Η αντοχή καθορίστηκε και πάλι από καμπτική διαρροή στη διατομή της βάσης στο ίδιο περίπου φορτίο, ωστόσο ο επακόλουθος

λυγισμός των διαμήκων ράβδων ήταν σχετικά ελεγχόμενος, λόγω της περίσφιγξης μέσω των μανδύων. Έτσι κατέστη δυνατή η ανάπτυξη μεγάλης οριζόντιας μετατόπισης, η οποία συνοδεύτηκε από μικρή (μανδύας ΙΟΠ) έως οριακή (μανδύας ΙΑΜ) πτώση του φορτίου. Σημειώνεται πάντως ότι σημαντικό ποσοστό της οριζόντιας μετατόπισης οφείλονταν στην ολίσθηση των διαμήκων ράβδων, λόγω των πτωχών συνθηκών συνάφειας με το περιβάλλον σκυρόδεμα. Συμπερασματικά, η αποτελεσματικότητα του μανδύα ινοπλεγμάτων σε ανόργανη μήτρα ως προς την καθυστέρηση των δυσμενών συνεπειών του λυγισμού των ράβδων ήταν τουλάχιστον ίση, αν όχι μεγαλύτερη, από αυτήν του μανδύα ινοπλισμένων πολυμερών ίσης δυστένειας.

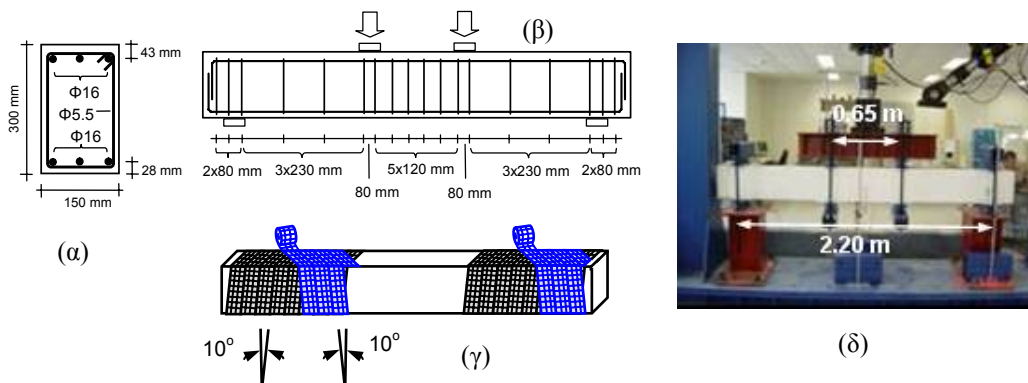


Σχήμα 5. Διαγράμματα δύναμης – μετατόπισης: (α) δοκίμιο αναφοράς, (β) δοκίμιο με μανδύα ΙΑΜ, (γ) δοκίμιο με μανδύα ΙΟΠ (ίσης δυστένειας).

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

Στην παρούσα Ενότητα μελετάται η χρήση μανδύων ΙΑΜ ως μέσου ενίσχυσης κρίσιμων έναντι τέμνουσας περιοχών σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Η διερεύνηση έγινε μέσω δοκιμών μονοτονικής και ανακυκλιζόμενης κάμψης τεσσάρων σημείων επί έξι αμφιερίστων στοιχείων ορθογωνικής διατομής 150×300 mm και συνολικού μήκους 2.60 m. Το θεωρητικό άνοιγμα μεταξύ των στηρίξεων ήταν 2.20 m και η απόσταση μεταξύ των δύο συγκεντρωμένων φορτίων ήταν 0.65 m, δημιουργώντας έτσι μήκη διάτμησης 0.775 m. Τα δοκίμια ήταν σκοπίμως υπερδιαστασιολογημένα έναντι κάμψης και υποδιαστασιολογημένα (στα μήκη διάτμησης) έναντι τέμνουσας, ώστε η αστοχία πριν από την ενίσχυση να οφείλεται σε διάτμηση. Είχαν διαμήκη οπλισμό από έξι ράβδους S500 διαμέτρου Φ14 (τρεις ανά πέλμα) και εγκάρσιο οπλισμό συνδετήρων S220 διαμέτρου Φ5.5 σε αποστάσεις 230 mm εντός του μήκους διάτμησης (Σχ. 6α,β). Για την κατασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή 28 ημερών ίση με 30.5 N/mm². Η τάση διαρροής του διαμήκους οπλισμού ήταν 575 N/mm² και του εγκάρσιου 275 N/mm².

Κύριοι στόχοι του πειραματικού προγράμματος ήταν να μελετηθούν: (α) Η αποτελεσματικότητα μανδύα IAM συγκριτικά με αυτήν του μανδύα ΙΟΠ ως προς την ενίσχυση οπλισμένου σκυροδέματος έναντι τέμνουσας. (β) Ο ρόλος του αριθμού των στρώσεων μανδύων IAM στην ενίσχυση έναντι τέμνουσας. (γ) Η αποτελεσματικότητα μανδύα ο οποίος κατασκευάζεται με λωρίδες σε ελικοειδή διάταξη (Σχ. 6γ) συγκριτικά με τον “συμβατικό” μανδύα του μονού υφάσματος. Ως “συμβατικός” μανδύας μονού υφάσματος ορίζεται αυτός ο οποίος κατασκευάζεται με ύφασμα ινών πλάτους ίσου με το μήκος διάτμησης και εφαρμόζεται μέσω περιτύλιξης του υφάσματος τόσες φορές ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός αριθμός στρώσεων. Αντιθέτως, στον μανδύα με ελικοειδώς τοποθετημένες λωρίδες, κάθε στρώση ενίσχυσης κατασκευάζεται με μία λωρίδα υφάσματος σχετικά μικρού πλάτους (150 mm στην παρούσα εργασία), η οποία ξεκινά από το ένα άκρο του μήκους διάτμησης και τερματίζει στο άλλο άκρο, ενώ κάθε επόμενη λωρίδα έχει αντίθετη φορά περιτύλιξης από την προηγούμενη. Η περιτύλιξη στην περίπτωση αυτή προϋποθέτει την εφαρμογή κάθε λωρίδας υπό γωνία ως προς την κάθετο στον άξονα του στοιχείου, που στην παρούσα εργασία ήταν ίση με 10° .



Σχήμα 6. (α)-(β) Γεωμετρία δοκιμίων, (γ) ελικοειδής διάταξη λωρίδων μανδύα ενίσχυσης στο μήκος διάτμησης, (δ) φωτογραφία της πειραματικής διάταξης.

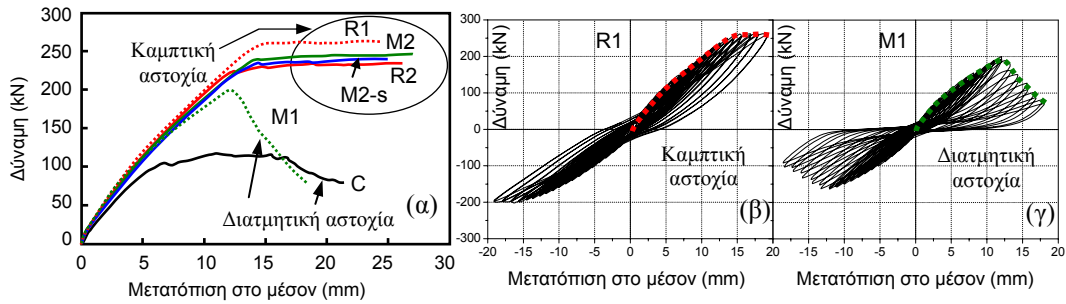
Από τα έξι δοκίμια που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία τα τέσσερα δοκιμάστηκαν σε μονοτονική φόρτιση και τα υπόλοιπα δύο σε ανακυκλιζόμενη. Εκ των τεσσάρων πρώτων, ένα ήταν δοκίμιο αναφοράς (C), δηλαδή χωρίς ενίσχυση, ένα ενισχύθηκε με δύο στρώσεις IAM με τρόπο συμβατικό (Δοκίμιο M2), ένα ενισχύθηκε με δύο στρώσεις του ίδιου ινοπλέγματος σε πολυμερική (εποξειδική) μήτρα (Δοκίμιο R2) και ένα ενισχύθηκε με δύο στρώσεις IAM οι οποίες κατασκευάστηκαν με δύο λωρίδες σε ελικοειδή διάταξη (Δοκίμιο M2-s, Σχ. 6γ). Επειδή, όπως περιγράφεται παρακάτω, όλοι οι προαναφερθέντες τύποι μανδύα

μετέτρεψαν τον μηχανισμό αστοχίας από ψαθυρό - διατμητικού τύπου σε πλάστιμο – καμπτικού τύπου, τα επόμενα δύο δοκίμια ενισχύθηκαν με μία μόνο στρώση μανδύα, ώστε να καταστεί εφικτή η αστοχία των ενισχυμένων δοκιμίων και πάλι λόγω διάτμησης και με τον τρόπο αυτό να ποσοτικοποιηθεί η συμβολή του μανδύα στην ανάληψη τέμνουσας. Στο ένα εκ των δύο αυτών δοκιμίων ο μανδύας ήταν τύπου ινοπλέγματος σε ανόργανη μήτρα (Δοκίμιο M1) και στο άλλο (ιδίου ινοπλέγματος) σε εποξειδική μήτρα (Δοκίμιο R1).

Τα υλικά των μανδύων ήταν ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στις Ομάδες Β και C του πειραματικού προγράμματος περίσφιγξης (Tex1, δηλαδή ανθρακοπλέγματα ονομαστικού πάχους 0.047 mm, κονίαμα MII για τους μανδύες των M2, M2-s, M1, εποξειδική ρητίνη για τους μανδύες των R2 και R1). Επίσης σημειώνεται ότι στα δοκίμια IAM ή IOΠ με τον ίδιο αριθμό στρώσεων (M2 και R2, M1 και R1) οι μανδύες είχαν ίση δυστένεια.

Η φόρτιση των Δοκιμίων C, M2, M2-s και R2 επεβλήθη μέσω μονοτονικής επιβαλλόμενης μετατόπισης σερβουδραυλικού εμβόλου MTS στις θέσεις εφαρμογής των συγκεντρωμένων φορτίων με ταχύτητα 0.01 mm/s. Η ιστορία φόρτισης για τα δοκίμια M1 και R1 αποτελούνταν από επαναλαμβανόμενους κύκλους μετατοπίσεων αυξανόμενου εύρους (κατά 1 mm) με ταχύτητα 0.2 mm/s μέχρι είτε την αστοχία του δοκιμίου (για το δοκίμιο M1, το οποίο αστόχησε διατμητικά) είτε την σαφή ένδειξη διαρροής (για το δοκίμιο R1, το οποίο αστόχησε καμπτικά). Κατά την διάρκεια των δοκιμών καταγράφονταν η δύναμη και η μετατόπιση του εμβόλου καθώς και η μετατόπιση στον μέσον του ανοίγματος.

Το δοκίμιο αναφοράς (C) αστόχησε διατμητικά μέσω της ανάπτυξης διαγώνιας ρωγμής σημαντικού εύρους στο μήκος διάτμησης σε τιμή του (συνολικού) φορτίου ίση με 116.5 kN. Η απόκριση των υπολοίπων τριών δοκιμίων (M2, M2-s, R2) που δοκιμάστηκαν μονοτονικά ήταν χαρακτηριστική καμπτικής αστοχίας λόγω διαρροής του διαμήκους οπλισμού, καταδεικνύοντας έτσι ότι και οι τρεις διατάξεις μανδύα δύο στρώσεων, ανεξαρτήτως τύπου μητρικού υλικού (ανόργανο κονίαμα ή ρητίνη) και τρόπου εφαρμογής (“συμβατικός” μανδύας δύο στρώσεων ή μανδύας με δύο λωρίδες σε ελικοειδή διάταξη) ήταν επαρκείς ώστε να αλλάξουν τον μηχανισμό αστοχίας από ψαθυρό – διατμητικού τύπου σε πλάστιμο – καμπτικού τύπου, μέσω της ανάληψης δύναμης από τις ίνες, κατ’ αναλογία προς τους εσωτερικούς συνδετήρες. Η μέγιστες τιμές φορτίου για τα δοκίμια M2, M2-s και R2 ήταν 243.8 kN, 237.7 kN και 233.4 kN, αντιστοίχως. Έτσι συμπεραίνεται ότι κάθε μανδύας, ονομαστικού πάχους πλέγματος μόλις 0.09 mm παρέλαβε τέμνουσα δύναμη με μέγεθος που έχει ως κάτω όριο περίπου ίσο με 60 kN ($233.4/2 - 116.5/2$). Τα αποτελέσματα των μονοτονικών δοκιμών σε μορφή καμπυλών συνολικής δύναμης – μετατόπισης στο μέσον του ανοίγματος δίνονται στο Σχήμα 7α (συνεχείς καμπύλες).



Σχήμα 7. Διαγράμματα δύναμης – μετατόπισης: (α) Καμπύλες μονοτονικών δοκιμών (συνεχείς γραμμές) και περιβάλλουσες ανακυκλιζόμενων δοκιμών (διακεκομμένες). (β) Απόκριση δοκιμίου με μανδύα ΙΟΠ (μια στρώση). (γ) Απόκριση δοκιμίου με μανδύα ΙΑΜ (μια στρώση).

Εκ των δύο δοκιμών που καταπονήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση το R1 (ενισχυμένο με μία στρώση μανδύα ΙΟΠ) υπέστη καμπτικού τύπου αστοχία η οποία εκδηλώθηκε με έντονες κατακόρυφες ρωγμές στην περιοχή μέγιστης ροπής. Το φορτίο στις δύο διευθύνσεις σταθεροποιήθηκε στις τιμές 261.9 kN (ώθηση) και 201.4 kN (έλξη), όπως δίνεται στο Σχήμα 7β. Το δεύτερο δοκίμιο (M1, ενισχυμένο με μία στρώση μανδύα ΙΑΜ) αστόχησε διατμητικά και ανέπτυξε έντονες λοξές (χιαστί) ρωγμές στο μήκος διάτμησης, οι οποίες μάλιστα ήταν εμφανείς στις εξωτερικές επιφάνειες του μανδύα. Το μέγιστο φορτίο στις δύο διευθύνσεις ήταν 200.1 kN (έλξη) και 162 kN (ώθηση). Χαρακτηριστικό της απόκρισης του δοκιμίου M1, σε αντίθεση με το R1, ήταν η έντονη πτώση του φορτίου μετά τη μέγιστη τιμή (Σχ. 7γ). Επίσης, η θραύση του μανδύα (λόγω λοξής ρηγματώσης) έγινε σταδιακά: αρχικά ξεκίνησε από μια μικρή ομάδα δεσμών ινών και βαθμιαία επεκτάθηκε προς τις γειτονικές ίνες με τρόπο σχετικά ελεγχόμενο, γεγονός που δεν χαρακτηρίζει μανδύες ΙΟΠ, η θραύση των οποίων (όταν συμβαίνει) είναι συνήθως εκρηκτική.

Συγκρίνοντας την απόκριση του δοκιμίου M1 με αυτήν του δοκιμίου αναφοράς εκτιμάται ότι η μία στρώση μανδύα πάχους μόλις 0.047 mm παρέλαβε τέμνουσα δύναμη περίπου ίση με 42 kN ($200.1/2 - 116.5/2$). Με βάση την τιμή αυτή και από απλά προσομοιώματα για την συμβολή των συνθέτων υλικών στην ανάληψη τέμνουσας κατάλληλα τροποποιημένα ώστε να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη ινών σε διαφορετικές διευθύνσεις (Papanicolaou & Triantafyllou 2006) υπολογίζεται ότι η ενεργός παραμόρφωση του μανδύα κατά την διατμητική αστοχία του δοκιμίου M1 ήταν περίπου ίση με 0.8%, τιμή η οποία είναι αρκετά υψηλή. Βεβαίως αν συγκριθεί η απόκριση του δοκιμίου M1 με αυτήν του R1 συνάγεται ότι η αποτελεσματικότητα του μανδύα ΙΑΜ ήταν μειωμένη σε σχέση με αυτήν του μανδύα ΙΟΠ: ο τελευταίος ανέπτυξε μεγαλύτερη ενεργό παραμόρφωση, κατ' ελάχιστον ίση με $0.008 * [(261.9/2 - 116.5/2)/(200.1/2 - 116.5/2)] =$

1.4% και με άνω όριο την οριακή παραμόρφωση των ινών, περίπου ίση με 1.6-1.7%.

Κύριο συμπέρασμα είναι ότι, με βάση τα σχετικά περιορισμένα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, οι μανδύες IAM αποτελούν εξαιρετικά ενδιαφέροντα πρόταση διατμητικής ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, με αποτελεσματικότητα ενδεχομένως μικρότερη σε σχέση με τους μανδύες ινοπλισμένων πολυμερών, κάτι όμως που μπορεί να αντισταθμιστεί εύκολα μέσω της κατάλληλης επιλογής του αριθμού των στρώσεων.

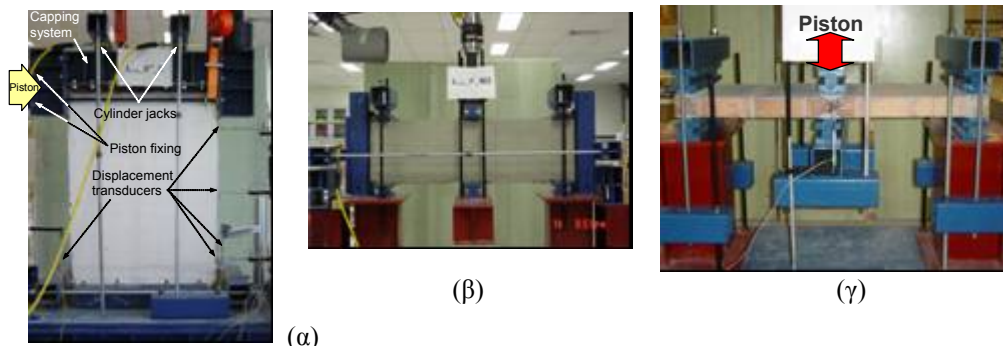
5. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΑΣ

Τέλος δίνονται ορισμένα στοιχεία από την ενίσχυση στοιχείων από φέρουσα τοιχοποιία με μανδύες IAM. Στα πλαίσια ενός εκτενούς πειραματικού προγράμματος (Papanicolaou et al. 2007α,β) ενισχύθηκαν πάνω από 40 τοιχίσκοι οπτοπλινθοδομής και λιθοδομής με αμφίπλευρους μανδύες συνθέτων υλικών (IAM και ΙΟΠ). Οι τοιχίσκοι δοκιμάστηκαν υπό συνθήκες ανακυκλιζόμενης φόρτισης σε: (α) εντός επιπέδου κάμψη με την παράλληλη επιβολή αξονικού φορτίου, (β) εκτός επιπέδου κάμψη και (γ) εντός επιπέδου διάτμηση με ή χωρίς την παράλληλη επιβολή αξονικού φορτίου. Κύρια παράμετρος προς διερεύνηση ήταν ο αριθμός των στρώσεων, ενώ παράλληλα έγινε σύγκριση των ενισχυμένων με IAM δοκιμίων με αντίστοιχα δοκίμια ενισχυμένα με μανδύες από ΙΟΠ, οι οποίοι διέφεραν ως προς τους μανδύες IAM μόνο ως προς το συνδετικό υλικό των ινών (εποξειδική ρητίνη έναντι κονιάματος με βάση το τσιμέντο). Σε ορισμένα δοκίμια διερευνήθηκαν πλέγματα από διαφορετικά υλικά: άνθρακας, ύαλος με επικάλυψη, ύαλος χωρίς επικάλυψη, πολυπροπυλένιο.

Κατασκευάστηκαν τρεις τύποι δοκιμίων: δοκίμια τύπου Α (διατμητικά τοιχώματα) με ύψος 1.3 m και πλάτος 0.8 m, τύπου Β (στοιχεία τύπου πεσσού) με ύψος 1.3 m και πλάτος 0.4 m και τύπου Γ (υπέρθυρα ή άνω τμήματα τοιχοδομών) με ύψος 0.4 m και πλάτος 1.3 m. Τα δοκίμια τύπου Α δοκιμάστηκαν υπό την προαναφερθείσα συνθήκη φόρτισης (γ), τα δοκίμια τύπου Β δοκιμάστηκαν υπό τις συνθήκες φόρτισης (α) και (β) και τα δοκίμια τύπου Γ δοκιμάστηκαν υπό τις συνθήκες φόρτισης (β) και (γ) (χωρίς την επιβολή αξονικού φορτίου). Ενδεικτικές διατάξεις φόρτισης δίνονται στο Σχήμα 8.

Τα βασικά συμπεράσματα αυτού του πειραματικού προγράμματος συνοψίζονται ως εξής: Γενικώς, η συμβολή των μανδύων IAM στην αύξηση της αντοχής αλλά και της ικανότητας παραμόρφωσης των τοιχίσκων ήταν εντυπωσιακή. Για την περίπτωση της εκτός επιπέδου φόρτισης, η ενίσχυση με μανδύες IAM αποδεικνύεται περισσότερο αποδοτική σε σύγκριση με την ενίσχυση με μανδύες ΙΟΠ ίσης δυστένειας, τόσο ως προς την αύξηση της αντοχής, όσο και ως προς την αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης. Στην περίπτωση που ο μηχανισμός αστοχίας των ενισχυμένων στοιχείων

χαρακτηρίζεται από θραύση των ινών, η αποδοτικότητα της μεθόδου IAM υστερεί ελάχιστα σε σύγκριση με την αντίστοιχη της μεθόδου IOΠ.



Σχήμα 8. (α) Πειραματική διάταξη δοκιμίων τύπου Α, (β) τύπου Β σε εντός επιπέδου κάμψη με αξονική δύναμη και (γ) σε εκτός επιπέδου κάμψη με αξονική δύναμη.

Για την περίπτωση της εντός επιπέδου φόρτισης, οι μανδύες από IAM σε σύγκριση με εκείνους από IOΠ αποδεικνύονται λιγότερο αποδοτικοί ως προς την αύξηση της αντοχής, με το βαθμό αποδοτικότητας της μεθόδου να εξαρτάται από τον τύπο της φόρτισης και από τον αριθμό των στρώσεων. Σε όρους αύξησης της αντοχής η αποδοτικότητα των μανδύων IAM είναι τουλάχιστον ίση με το 65-70% της αποδοτικότητας των μανδύων IOΠ. Σε όρους αύξησης της ικανότητας παραμόρφωσης η αποδοτικότητα των μανδύων IAM είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μανδύων IOΠ. Βάσει των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, η αύξηση της αποδοτικότητας αυτής (IAM συγκριτικά με IOΠ) είναι 15%-30% για την περίπτωση των διατμητικών τοιχωμάτων, 135% για την περίπτωση στοιχείων τύπου δοκού-υποστυλώματος και 350% για την περίπτωση στοιχείων τύπου δοκού. Επιπλέον, ανεξάρτητα από το συνδετικό υλικό (κονίαμα ή ρητίνη), η αντοχή αυξάνεται με την αύξηση των στρώσεων και του εφαρμοζόμενου αξονικού φορτίου, με ταυτόχρονη μείωση της ικανότητας παραμόρφωσης του στοιχείου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αναπτύσσεται μια νέα τεχνική ενίσχυσης δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος και φέρουσας τοιχοποιίας. Η τεχνική βασίζεται στη χρήση συνθέτων υλικών τα οποία αποτελούνται από ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα (π.χ. κονίαμα με βάση το τσιμέντο), αποσκοπώντας στην επίλυση προβλημάτων που χαρακτηρίζουν τα ινοπλισμένα πολυμερή (IOΠ) σχετικά με την χρήση εποξειδικών ρητινών. Τα ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα (IAM) δοκιμάζονται στη μορφή μανδύα για την ενίσχυση (α)

οπλισμένου σκυροδέματος με στόχο την περίσφιξη, την αύξηση της πλαστιμότητας υποστρωμάτων και την ενίσχυση έναντι τέμνουσας, και (β) φέρουσας τοιχοποιίας υπό εντός ή εκτός επιπέδου ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Βάσει πειραματικών αποτελεσμάτων καταδεικνύεται ότι η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM είναι υψηλή και γενικώς παρόμοια με αυτή των μανδύων ΙΟΠ. Η πρώτη εφαρμογή των μανδύων IAM σε πραγματικό έργο υλοποιήθηκε ήδη στη χώρα μας (Σχ. 9), ενώ αναμένεται ότι, όπως και η τεχνική των ΙΟΠ, η τεχνική των IAM θα αποτελεί στο εγγύς μέλλον μια ενδιαφέρουσα, αν όχι επαναστατική, πρόταση για την αναβάθμιση των υφισταμένων κατασκευών.



(α)



(β)

Σχήμα 1. Η πρώτη εφαρμογή των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας σε πραγματικό έργο: (α) ενίσχυση πλάκας οπλισμένου υσκυροδέματος, (β) ενίσχυσης φέρουσας τοιχοποιίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Bournas, D., Lontou, P., Papanicolaou, C. G. & Triantafillou, T. C. (2007). “Textile-Reinforced Mortar (TRM) versus FRP Confinement in Reinforced Concrete Columns”, *ACI Structural Journal*, Vol. 104, No 6 (2007) 740-748.

Curbach, M. & Brueckner, A. “Textile Strukturen zur Querkraftverstaerkung von Stahlbetonbauteilen”. Proceedings of 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures, Curbach M (ed.), Dresden (2003) 347-360.

Curbach, M. & Ortlepp, R. “Besonderheiten des Verbundverhaltens von Verstaerkungsschichten aus textilbewehrtem”. Proceedings of 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures, Curbach M (ed.), Dresden (2003) 361-374.

Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Papathanasiou, M. & Karlos, K. “Textile Reinforced Mortar (TRM) versus FRP as Strengthening Material of

URM Walls: Out-of-plane Cyclic Loading”, *Materials and Structures, RILEM*, Vol. 41, No 1 (2007) 143-157.

Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K. and Papathanasiou, M. “Textile Reinforced Mortar (TRM) versus FRP as Strengthening Material of URM Walls: In-plane Cyclic Loading”, *Materials and Structures, RILEM*, Vol. 40, No 10 (2007) 1081-1097.

Triantafillou, T. C. & Papanicolaou, C. G. “Textile Reinforced Mortars (TRM) versus Fiber Reinforced Polymers (FRP) as Strengthening Materials of Concrete Structures”. 7th International Conference on Fiber-Reinforced Polymers in Reinforced Concrete Structures – FRPRCS7, Kansas City, USA, November 7-10 (2005), ACI SP-230.

Triantafillou, T. C. & Papanicolaou, C. G. “Shear Strengthening of RC Members with Textile Reinforced Mortar (TRM) Jackets”. *Materials and Structures, RILEM*, Vol. 39, No 1 (2006) 85-93.

Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zisimopoulos, P. and Laourdekis, T. “Concrete Confinement with Textile Reinforced Mortar (TRM) Jackets”. *ACI Structural Journal*, Vol. 103, No 1 (2006) 28-37.

Triantafillou, T. C., editor, “Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures - Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures”, University of Patras, Greece (2007) (www.frprcs8.upatras.gr).

Τριανταφύλλου, Αθ. Χ., “Δομικά Υλικά”, Προσωπική επιμέλεια έκδοσης, Βιβλιοπ. Παπασωτηρίου (2008).