

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ – ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ

Περίληψη

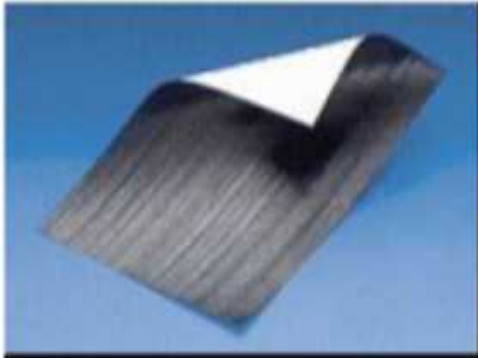
Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα τη χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών (FRP) για την επισκευή και ενίσχυση υποστρωμάτων έναντι σεισμικής δράσης. Αρχικά θα γίνει μια αναφορά των τεχνικών ενίσχυσης που υπάρχουν και εξελίσσονται καθώς επίσης και των νέων υλικών που εφαρμόζονται. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει μια διερεύνηση της χρήσης των FRPs για τη βελτίωση της καμπτικής συμπεριφοράς των υποστρωμάτων με ταυτόχρονη χρήση και των απαραίτητων αγκυρίων για την καλύτερη συνεργασία της ενίσχυσης όπως αυτά περιγράφονται μέσα από πειραματικές διαδικασίες.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σκοπό την αποκατάσταση της φέρουσας ικανότητας αποτελούσε μέχρι πρόσφατα ένα σημαντικό πρόβλημα, καθώς απαιτούσε σημαντικό χώρο, χρόνο και κόπο για να επιλυθεί. Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) αποτελεί σήμερα την πλέον σύγχρονη τεχνική στην ενίσχυση των κατασκευών. Ουσιαστικά τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι σύνθετα υλικά που αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής (άνθρακα, γυαλιού, αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης ή πλεγμένες σε ύφασμα μιας ή δυο διευθύνσεων (Σχήμα 1) και χαρακτηρίζονται από εξαιρετικές ιδιότητες που κάνουν την εφαρμογή τους στο πεδίο των ενισχύσεων / επισκευών ιδιαίτερα ελκυστική και έρχονται να λύσουν και το πρόβλημα του χώρου και του χρόνου ταυτόχρονα. Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος συνίσταται στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλλησή τους σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών μελών (π.χ υποστρωμάτων) με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις. Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500 και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa. Τέλος στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται ενδεικτικά τυπικές τιμές για το μέτρο ελαστικότητας και την παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Παραμόρφωση Αστοχίας (%)
Σύνθετο Υλικό με Ίνες Γυαλιού	50	3%
Σύνθετο Υλικό με Ίνες Αραμιδίου	65-120	2-3%
Σύνθετο Υλικό με Ίνες Άνθρακα	35-190	1-1.5%
Χάλυβας	200	10%

Πίνακας 1: τυπικές τιμές για το μέτρο ελαστικότητας και την παραμόρφωση αστοχίας σύνθετων υλικών και χάλυβα [1]



Σχήμα 1: Υφασμα ινών μιας διεύθυνσης [2]



Σχήμα 2: Συνήθεις ίνες άνθρακα και γυαλιού και ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) [2]

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

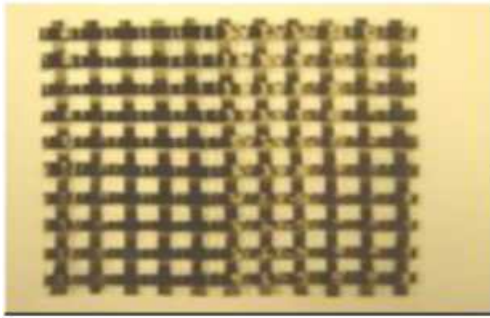
Τα βασικά συστατικά ενός συστήματος ενός ενίσχυσης είναι α)τα **σύνθετα υλικά** , που αποτελούνται από ίνες σε (συνήθως) πολυμερική μήτρα και β)η **κόλλα** εφαρμογής τους σε επιφάνειες σκυροδέματος ή τοιχοποιίας.

Οι ίνες στα σύνθετα υλικά, διαμέτρου 5-25 μm αποτελούν τον φορέα ανάληψης δυνάμεων (κατά κανόνα εφελκυστικών), παράλληλα στη διεύθυνση τους. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή και η γραμμικά ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους (Σχήμα 3).

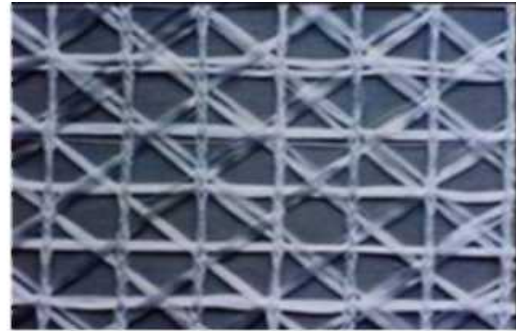
Η μήτρα στα σύνθετα υλικά αποτελεί τη συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών. Συνήθως είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, το οποίο συνδέει τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύει, εξασφαλίζει την μεταφορά δυνάμεων σε αυτές, αλλά καθορίζει και αρκετές μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών, όπως είναι η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών, η διατμητική και η θλιπτική αντοχή. Ο πλέον συνηθισμένος (καίτοι ακριβότερος) τύπος μήτρας είναι οι εποξειδικές ρητίνες. Οι εποξειδικές ρητίνες υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις. Προσφάτως έχουν γίνει προσπάθειες αντικατάστασης των πολυμερικών μητρών με υλικά βασισμένα στο τσιμέντο(τσιμεντοκονιάματα τροποποιημένα με πολυμερή)

Τέλος η κόλλα (κατά κανόνα εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών) εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του συνθέτου υλικού, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Αξίζει να αναφέρουμε ότι σε πρόσφατες ερευνητικές εργασίες έχουν γίνει επίσης προσπάθειες αντικατάστασης της εποξειδικής ρητίνης ως συγκολλητικού υλικού με υλικά ανόργανης σύνθεσης, βασισμένα στο τσιμέντο (τσιμεντοκονιάματα τροποποιημένα με πολυμερή).

Όσον αφορά τις προσπάθειες αντικατάστασης της εποξειδικής ρητίνης με υλικά ανόργανης σύνθεσης, έχουν γίνει έρευνες τα τελευταία χρόνια για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μανδύων ινοπλεγμάτων ινών σε ανόργανη μήτρα (IAM). Ενδεικτικά παρατηρήθηκε ότι η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM είναι υψηλή και γενικώς παρόμοια με αυτή των μανδύων ΙΟΠ (ινοπλισμένα πολυμερή) μέσα από πειραματική μελέτη.



(α)



(β)

Σχήμα 3: Ειδικά πλέγματα συνεχών ινών (α) δύο και (β) τεσσάρων διευθύνσεων για την εφαρμογή μανδύων σε ανόργανη μήτρα [2]



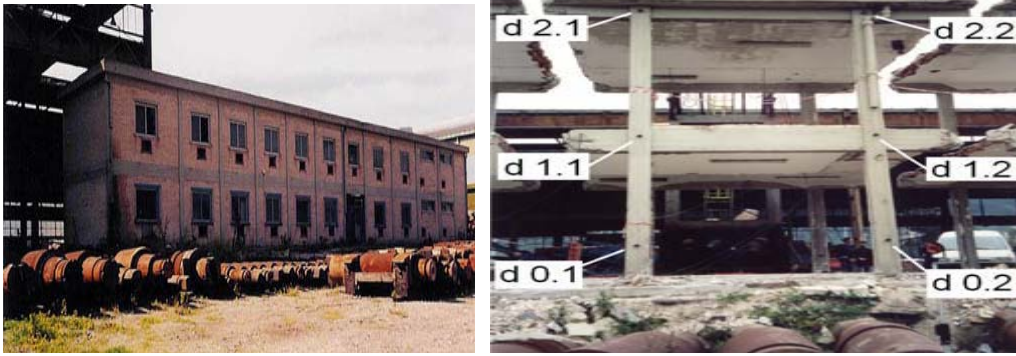
Σχήμα 4: Εφαρμογή ινοπλεγμάτων σε κονίαμα σε βάση υποστρώματος [2]

3.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ

Τα ανεπαρκώς οπλισμένα υποστυλώματα είναι τα κρισιμότερα δομικά στοιχεία, τα οποία μπορεί να αστοχήσουν λόγω διάτμησης, σύνθλιψης του σκυροδέματος, λυγισμού των διαμηκών ράβδων, απώλειας συνάφειας σε περιοχές ανεπαρκών ματίσεων, και κάμψης. Η αντισεισμική ενίσχυση των υποστρωμάτων με χρήση εξωτερικά επικολλούμενων ινοπλισμένων πολυμερών (ΙΟΠ) έχει πειραματικά αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική για όλες τις προαναφερθείσες μορφές αστοχιών πλην της τελευταίας, δηλαδή αυτής λόγω κάμψης. Η αποτελεσματική ενίσχυση των υποστρωμάτων σε κάμψη (π.χ. λόγω των απαιτήσεων ικανοτικού σχεδιασμού) προϋποθέτει τη συνέχιση και την αγκύρωση του διαμήκου οπλισμού πέραν της κρίσιμης διατομής μέγιστης ροπής γεγονός που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή των σύνθετων υλικών για ενίσχυση έναντι κάμψης. Στη συνέχεια ακολουθούν δυο πειραματικές έρευνες που στόχο είχαν την βελτίωση της καμπτικής συμπεριφοράς των υποστρωμάτων.

Α. Ενίσχυση υποστρωμάτων με χρήση υφάσματος C-FRP για διαμήκη οπλισμό με αγκυρώσεις από ανοξείδωτο χάλυβα

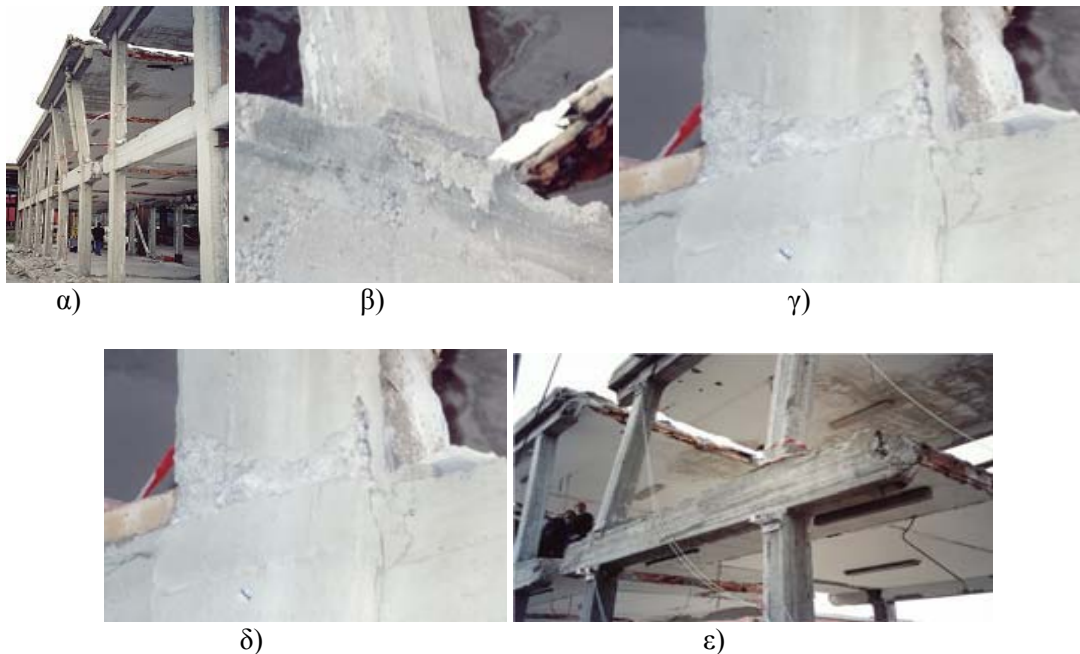
Η πειραματική έρευνα πραγματοποιήθηκε στην Ιταλία σε μια υπάρχουσα 2οροφη κατασκευή Ο/Σ ηλικίας περίπου 40 ετών. Το υπάρχον συγκρότημα χωρίστηκε σε 6 υποκατασκευές η μία εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα αφού προηγουμένως κατεδαφίσθηκαν όλες οι τοιχοποιίες τους.



Σχήμα 5: Η κατασκευή πριν και μετά τις κατεδαφίσεις των τοιχοποιιών [3]

Η κατασκευή αποτελείται από 4 υποστυλώματα σε κάθε όροφο τετραγωνικής διατομής 300 mm x 300 mm. Πρώτου πραγματοποιηθεί το πείραμα πλευρικής φόρτισης διενεργήθηκαν πειράματα σε εργαστήριο για την εξακρίβωση των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος και του χάλυβα της κατασκευής. Η δοκιμή έγινε επί τόπου μέσω ενός υδραυλικού εμβόλου άσκησης πλευρικής μετατόπισης.

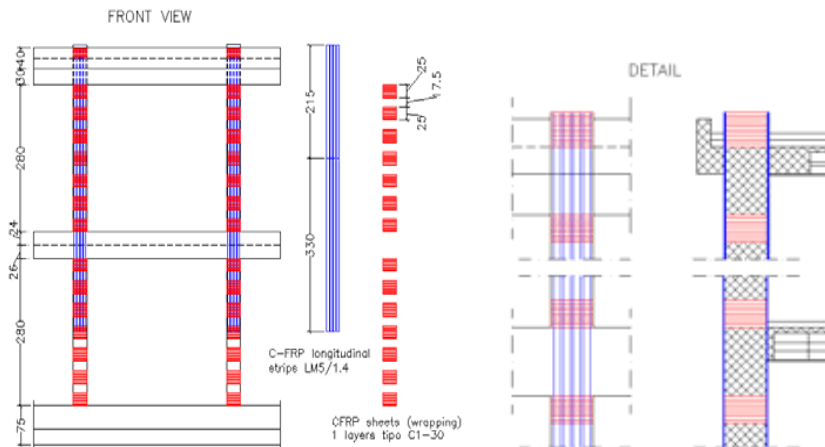
Η πρώτη δοκιμή έγινε ασκώντας αυξανόμενη μονοτονική πλευρική φόρτιση στην κορυφή του πλαισίου μέχρις ότου αναπτυχθεί ένας ξεκάθαρος μηχανισμός κατάρρευσης (υποστυλώματος) και προκειμένου να βρεθούν οι αντοχές του κτηρίου και να γίνουν έπειτα οι συγκρίσεις με το ενισχυμένο. Οι μεγαλύτερες βλάβες παρατηρήθηκαν στις κρίσιμες περιοχές των υποστυλωμάτων όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6: Βλάβες μετά την πρώτη δοκιμή (ελέγχου) [3]

Στη συνέχεια ακολούθησε αρχικά η επισκευή των βλαβών που δημιουργήθηκαν στη κατασκευή από την πρώτη φόρτιση με σκοπό την πλήρη αποκατάσταση του κτηρίου και την επαναφορά του σε παρόμοια κατάσταση με την αρχική του, προτού υποβληθεί στην μονοτονική φόρτιση. Οι βλάβες που είχαν υποστεί τα υποστυλώματα επιδιορθώθηκαν με τις συνήθεις τακτικές όπως π.χ την απομάκρυνση του σκυροδέματος που είχε αστοχήσει και την αντικατάστασή του. Ταυτόχρονα ανοίχτηκαν και μεγάλα κενά στην πλάκα ορόφου, κοντά στα υποστυλώματα για να περάσουν τα προεμποτισμένα ελάσματα C-FRP που θα

χρησιμοποιούνταν για την ενίσχυση από τον έναν όροφο στον άλλον. Βασικός στόχος της επισκευής / ενίσχυσης είναι η αλλαγή του τρόπου αστοχίας και η εφαρμογή ικανοτικού σχεδιασμού ώστε να αστοχήσουν πρώτα οι δοκοί. Κατόπιν υπολογισμών και με σκεπτικό την αύξηση της καμπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων αποφασίστηκε η τοποθέτηση 4 λωρίδων ελάσματος C-FRP (πλάτος 50mm x πάχος 1,4mm) ως διαμήκης οπλισμός στις δυο καμπτόμενες πλευρές από το μέσο του πρώτου ορόφου και μέχρι πάνω. Τέλος τοποθετήθηκαν και μανδύες από C-FRP με σκοπό την περαιτέρω ενίσχυση σε διάτμηση και περίσφυξη των υποστυλωμάτων οι οποίοι δεν ήταν συνεχόμενοι. Η τελική διάταξη της ενίσχυσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7: Εξωτερική όψη της ενίσχυσης [3]



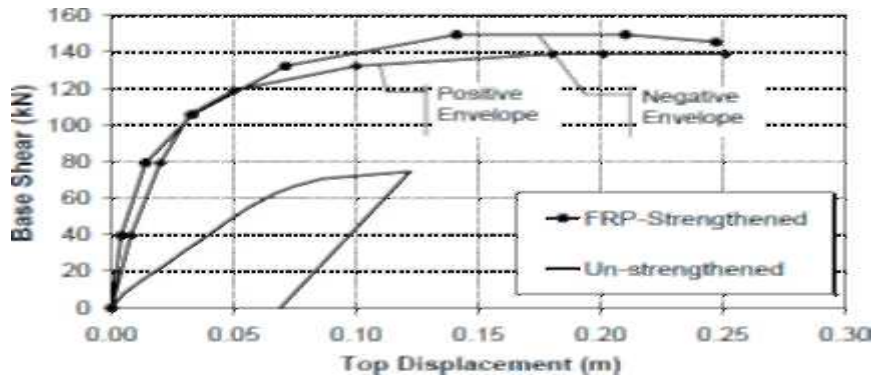
Σχήμα 8: Τοποθέτηση διαμήκους οπλισμού [3]

Όταν τελείωσε πλέον η ενίσχυση της κατασκευής, το κτήριο υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση αυτή τη φορά, η οποία ασκήθηκε από δύο σημεία, στην κορυφή της κατασκευής και στο ύψος του πρώτου ορόφου και το πείραμα ολοκληρώθηκε όταν η δυνατότητα άσκησης πλευρικής μετατόπισης από τα έμβολα εξαντλήθηκε. Μετά και το τέλος του δεύτερου πειράματος παρατηρήθηκε ότι οι πλακοδοκοί συμμετείχαν αυτή τη φορά στην πλευρική αντοχή της δομής από κάμψη μέχρις ότου δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών.

Ένας από τους βασικούς στόχους της ενίσχυσης με FRP ήταν η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς και όχι στα υποστυλώματα και τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε, όπως φαίνεται και από τις βλάβες που υπέστη η κατασκευή (σχήμα 9). Επίσης προέκυψε σχεδόν διπλασιασμός της τέμνουσας στην ενισχυμένη κατασκευή με ταυτόχρονο διπλασιασμό της πλευρικής μετατόπισης της (σχήμα 10).



Σχήμα 9: Βασικές βλάβες της ενισχυμένης κατασκευής [3]



Σχήμα 10: Διάγραμμα τέμνουσας βάσης-μέγιστης μετατόπισης [3]

B. Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Χρήση Πρόσθετου Οπλισμού Συνθέτων Υλικών σε Εγκοπές (NSM FRP)

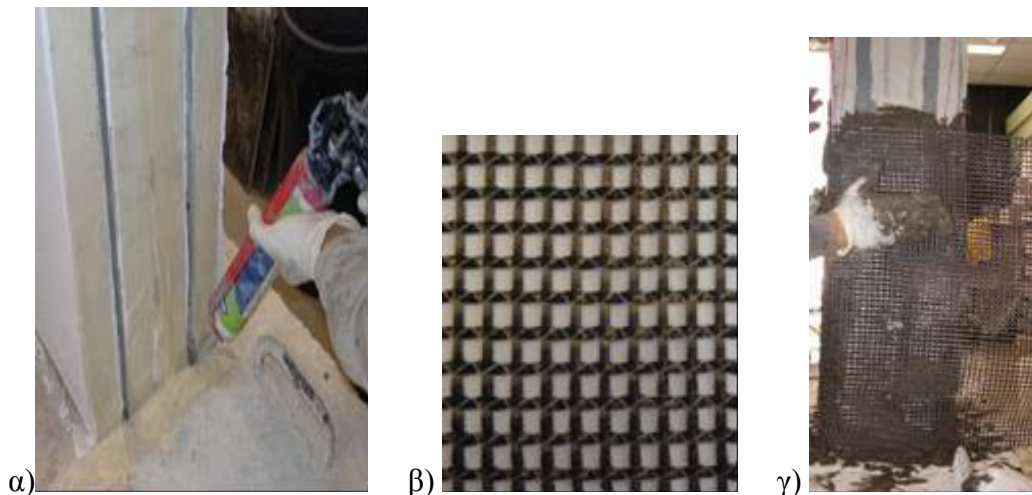
Η τεχνική της χρήσης πρόσθετου οπλισμού σε εγκοπές περιλαμβάνει τη διάνοιξη επιφανειακών εγκοπών επί της διαθέσιμης επικάλυψης σκυροδέματος και την επικόλληση ράβδων οπλισμού (άνθρακα) μέσω ενός κατάλληλου συγκολλητικού υλικού (εποξειδική ρητίνη). Στη πειραματική διαδικασία που ακολουθεί εξετάστηκαν υποστυλώματα πλήρους κλίμακας σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό σταθερό αξονικό φορτίο. Τα δοκίμια ήταν τύπου προβόλου μήκους 1.60 m, αντιπροσωπεύοντας υποστυλώματα με ύψος ίσο με το μισό του ύψους τυπικού ορόφου. Τα υποστυλώματα 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°. Τα εξεταζόμενα δοκίμια και ο τρόπος ενίσχυσης τους δίνονται παρακάτω.

- Ένα δοκίμιο δοκιμάστηκε χωρίς ενίσχυση ως δοκίμιο Ελέγχου.
- Το C_Per ενισχύθηκε με δύο συμμετρικά τοποθετημένα ελάσματα άνθρακα σε δύο αντίθετες παρειές του υποστυλώματος (αυτές με μέγιστο εφελκυσμό / θλίψη). Η διατομή των ελασμάτων ήταν 16x2 mm και αυτά ήταν τοποθετημένα μέσα σε ορθογωνικές εγκοπές 10x20 mm με τη μεγάλη τους διάσταση κάθετη στην ενισχυόμενη πλευρά του υποστυλώματος. Αυτή η διάταξη είναι εφικτή μόνο αν η διαθέσιμη επικάλυψη είναι της τάξης των 20 mm.
- Το C_Per_pn2 ενισχύθηκε όπως και το C_Per, αλλά με μεγαλύτερο ποσοστό ΠΟΕ (pn2=0.3%), τοποθετώντας τρία ελάσματα άνθρακα (αντί για δύο - ρη=0.2%) σε κάθε ενισχυόμενη πλευρά.
- Το C_Per_ps2 ενισχύθηκε όπως το C_Per, αλλά ήταν αρχικά σχεδιασμένο με χαμηλότερο ποσοστό διαμήκους εσωτερικού οπλισμού. Αυτό το δοκίμιο ήταν οπλισμένο με ράβδους διαμέτρου 12 mm (ps2=0.72%), ενώ όλα τα άλλα ήταν οπλισμένα με ράβδους 14 mm (ps=0.98%).
- Το C_Par ενισχύθηκε με δύο συμμετρικά τοποθετημένα ελάσματα άνθρακα (με τις ανωτέρω διαστάσεις) σε δύο αντίθετες πλευρές του υποστυλώματος, αλλά με τη μεγάλη τους διάσταση παράλληλη στην ενισχυόμενη πλευρά του υποστυλώματος. Τα

ελάσματα ήταν τοποθετημένα σε ορθογωνικές εγκοπές 20x5 mm. Σ' αυτή τη διάταξη η συνάφεια των ΠΟΕ αναμένεται μειωμένη σε σύγκριση με την C_Per. Βασικό πλεονέκτημα όμως της μεθόδου είναι η εφαρμοσιμότητα σε περιπτώσεις πολύ μικρών επικαλύψεων.

- Το C_Par_J έχει τον ίδιο ΠΟΕ με το C_Par και έναν πρόσθετο τοπικό μανδύα περίσφιγξης IAM, ο οποίος εκτείνεται 600 mm από τη βάση του υποστυλώματος και αποσκοπεί στην προστασία του ΠΟΕ έναντι πρόωρου λυγισμού ή / και αποκόλλησης.

Σε όλα τα δοκίμια ανοίχτηκαν εγκοπές και οπές επί του θεμελίου για την αγκύρωση των οπλισμών. Στη συνέχεια προστέθηκε μια στρώση συγκολλητικού υλικού και οι πρόσθετοι οπλισμοί τοποθετήθηκαν στη θέση τους ασκώντας ελαφριά πίεση επί του συγκολλητικού υλικού. Τέλος προστέθηκε η ποσότητα του συγκολλητικού υλικού που έλειπε στις εγκοπές και η τελική επιφάνεια επιπεδώθηκε. Η εφαρμογή του μανδύα IAM έγινε κατά το συνήθη τρόπο επικόλλησης υφασμάτων ή ελασμάτων ΙΟΠ σε δομικά στοιχεία. Αρχικά λειάνθηκαν ελαφρά οι επιφάνειες των δοκιμίων και καθαρίστηκαν. Ακολούθως κατασκευάστηκαν οι μανδύες με επάλληλες στρώσεις κονιάματος και πλέγματος. Το κονίαμα εφαρμόστηκε με σπάτουλα και το πλέγμα πιέστηκε εντός του κονιάματος ώστε το τελευταίο να διαπεράσει τις βροχίδες, εξασφαλίζοντας την αλληλεμπλοκή πλέγματος-κονιάματος.



Σχήμα 11. (α) Γέμισμα οπών στην περιοχή αγκύρωσης των οπλισμών με ρητίνη (β) Φωτογραφία του χρησιμοποιούμενου ινοπλέγματος. (γ) Εφαρμογή του μανδύα IAM. [4]

Τα δοκίμια φορτίστηκαν με οριζόντια δύναμη σε ύψος 1.60 m από τη βάση και φορτίζονταν ταυτόχρονα κατά τη διεύθυνση του άξονά τους με σταθερό αξονικό φορτίο. Ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων από τις δόκιμες φόρτισης των δοκιμίων.

Όνομασία Δοκιμίου	Μέγιστο Φορτίο, (kN)		Σχετική Μετακίνηση στο Μέγιστο Φορτίο (%)		Σχετική Μετακίνηση στην Αστοχία (%)		Βαθμός Ενίσχυσης		Ανηγγεμένη Σχετική Μετακίνηση [Δοκίμιο) _κ Control)		Μορφή Αστοχίας
	Ωθησ η	Έλξη	Ωθησ η	Έλξη	Ωθησ η	Έλξη	Ωθησ η	Έλξη	Ωθηση	Έλξη	
Control	33.08	-33.69	2.81	-4.68	6.25	-6.25	1.00	1.00	1.00	1.00	Λυγισμός των διαμηκών ράβδων
C_Per	41.50	-42.72	2.81	-3.44	3.75	-4.68	1.25	1.27	0.60	0.75	Θραύση των ΠΟΕ ελασμάτων
C_Per_p _n ₂	46.26	-43.82	2.81	-2.81	4.06	-3.13	1.40	1.30	0.65	0.50	Θραύση των ΠΟΕ ελασμάτων
C_Per_p _s ₂	36.25	-33.94	1.87	-2.81	3.75	-3.75	1	1	1	1	Θραύση των ΠΟΕ ελασμάτων
C_Par	34.55	-35.03	1.87	-1.87	3.44	-4.38	1.04	1.04	0.55	0.70	Αποκόλληση των ΠΟΕ ελασμάτων
C_Par_J	48.20	-42.45	4.38	-2.50	6.87	-5.93	1.46	1.26	1.10	0.95	Θραύση /Αποκόλληση των ΠΟΕ ελασμάτων

Πίνακας 2: πίνακας αποτελεσμάτων [4]

Η αστοχία των δοκιμίων C_Per, C_Per_p_n₂ και C_Per_p_s₂ οφείλεται στη θραύση των πρόσθετων ελασμάτων άνθρακα στη διατομή μέγιστης ροπής. Σε σύγκριση με το δοκίμιο ελέγχου η μέγιστη δύναμη αυξήθηκε κατά περίπου 40%, ενώ η σχετική μετακίνηση (στη μέγιστη δύναμη) ήταν περίπου ίδια, της τάξης του 3%. Η θραύση των πρόσθετων ελασμάτων άνθρακα οδήγησε σε απότομη πτώση του φορτίου, όταν οι μέσες καταγεγραμμένες τιμές των παραμορφώσεων των ελασμάτων στη βάση των υποστυλωμάτων ήταν ίσες με 0.95%, 0.93% και 0.85% για τα δοκίμια C_Per, C_Per_p_n₂ και C_Per_p_s₂ αντίστοιχα. Η απόκριση του δοκιμίου C_Par (με τη μεγάλη του διάσταση παράλληλη προς την ενισχυόμενη πλευρά του υποστυλώματος) χαρακτηρίστηκε από πτωχά χαρακτηριστικά ενίσχυσης. Το δοκίμιο αστόχησε λόγω της πρόωρης αποκόλλησης των ελασμάτων άνθρακα, σε φορτίο οριακά μεγαλύτερο σε σχέση με το δοκίμιο ελέγχου και σε σχετική μετακίνηση ίση με 2%, ενώ η μέση παραμόρφωση που καταγράφηκε στο μέγιστο φορτίο ήταν πολύ μικρότερη από την οριακή, μόλις 0.5%. Η αποκόλληση των πρόσθετων ελασμάτων άνθρακα σε αρκετά χαμηλή εφελκυστική παραμόρφωση αποδίδεται στην προς τα έξω εκτίναξη των τελευταίων λόγω λυγισμού. Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται εξετάζοντας την απόκριση του δοκιμίου C_Par_J, το οποίο ήταν ισοδύναμο με το C_Par αλλά είχε περισιφιστεί στη βάση του με εξωτερικό μανδύα IAM και προσέδωσε πλευρική στήριξη στα θλιβόμενα ελάσματα έναντι λυγισμού, με αποτέλεσμα το φορτίο να αυξηθεί κατά 45% και 25% στις διευθύνσεις ώθησης και έλξης του εμβόλου, αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τη σχετική μετακίνηση ήταν 4% και 2.5%.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα γίνεται εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων όπως ότι το δοκίμιο C_Per αύξησε την καμπτική αντοχή κατά 26% σε σχέση με το δοκίμιο ελέγχου. Επίσης το δοκίμιο C_Per_p_n₂ (αύξηση γεωμετρικού ποσοστού οπλισμού) παρουσίασε μια γραμμική σχεδόν αύξηση της αντοχής από 26% σε 35%. Τέλος η χρήση τοπικού μανδύα αύξησε σημαντικά την αντοχή μέσω της περισφιξης που ασκούσε (C_Par 4% - C_Par_J 36%)

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα σύνθετα υλικά είναι μια τεχνολογία επισκευής και ενίσχυσης των κατασκευών που ακόμα έχει πολλά περιθώρια εξέλιξης και βελτίωσης. Συνεχώς γίνονται έρευνες για την εύρεση νέων υλικών και τρόπων ενίσχυσης των κατασκευών όπως π.χ η τεχνολογία των ινοπλισμένων ανόργανης μήτρας (IAM) που προαναφέρθηκε και η οποία φαίνεται να

αντιμετωπίζει προβλήματα που παρουσιάζουν η εποξειδική ρητίνη όπως την κακή συμπεριφορά της σε υψηλές θερμοκρασίες και το υψηλό της κόστος. Η καμπτική ενίσχυση των υποστρωμάτων είναι ένας τομέας στον οποίον παρουσιάζονται αρκετές δυσκολίες εφαρμογής των σύνθετων υλικών. Ωστόσο μέσα από πειραματικές διαδικασίες, ενίσχυσης σε κάμψη υποστρωμάτων, προέκυψαν ενθαρρυντικά και σε μεγάλο βαθμό ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η καμπτική συμπεριφορά βελτιώθηκε σημαντικά τόσο στην περίπτωση χρήσης λωρίδων υφάσματος C-FRP ως διαμήκης οπλισμός με ταυτόχρονη χρήση αγκυρίων ανοξειδωτου χάλυβα[3] όσο και στην πειραματική μελέτη με πρόσθετο οπλισμό σε εγκοπές (ΠΟΕ - NSM) ράβδων άνθρακα[4] η οποία φαίνεται να είναι και πιο εύκολη στην εφαρμογή της αφού η εφαρμογή που έγινε με επικολλητά ελάσματα στην πρώτη περίπτωση θεωρείται πρακτικά δύσκολα εφαρμόσιμη καθώς είναι πολύ δύσκολο να ανοιχτούν τόσο μεγάλες τρύπες στις πλάκες ώστε να περάσουν τα ελάσματα χωρίς να συναντήσουμε τον διαμήκη οπλισμό της δοκού.

5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σ. Η. Δρίτσος . "Ενισχύσεις / Επισκευές κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Πάτρα 2007
- [2] Τριανταφύλλου Αθ. , "Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά", Πάτρα, 2006
- [3] Enrico Barecchia , Federico M. Mazzolani , " THE USE OF FRP MATERIALS FOR THE SEISMIC UPGRADING OF EXISTING RC STRUCTURES " , http://www.fedoa.unina.it/2629/01/TesiDottorato_Barecchia.pdf
- [4] Διονύσιος Α. ΜΠΟΥΡΝΑΣ, Αθανάσιος Χ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ , " Νέα Τεχνική Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υποστρωμάτων Ο/Σ Έναντι Κάμψης με Χρήση Πρόσθετου Οπλισμού Σύνθετων Υλικών ή Ανοξειδωτου Χάλυβα σε Εγκοπές" , 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας (Άρθρο 1873) , Αθήνα Νοέμβριος 2008
- [5] Διονύσιος Α. ΜΠΟΥΡΝΑΣ, Αθανάσιος Χ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ, Κωνσταντίνος ΖΥΓΟΥΡΗΣ, Φώτιος ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ , " Σύγκριση Μανδύων Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας με Μανδύες Ινοπλισμένων Πολυμερών για την Αντισεισμική Ενίσχυση Υποστρωμάτων Οπλισμένου Σκυροδέματος" , 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας (Άρθρο 1874) , Αθήνα Νοέμβριος 2008
- [6] Αναφορά της ACI committee 440 , " ACI 440.XR (to replace 440R) - Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures " , November 2006

