

ΠΕΡΙ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ SRP ΚΑΙ CFRP



Σχήμα 2. Πειραματική διάταξη και δοκίμιο στήριξης

Έκθεση 19/11-6/12



Προσφάτως ολοκληρώθηκε πειραματικό ερευνητικό πρόγραμμα που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ, σε συνεργασία με το ΙΤΣΑΚ, με τίτλο «Καμπτική Ενίσχυση Ανοιγμάτων και Στηρίξεων Δοκών Ο/Σ με Πολυμερή Οπλισμένα με Χάλυβα (SRP) και Άνθρακα (CFRP)». Ο κύριος επιβλέπων της διατριβής του υποψήφιου διδάκτορα **Γιώργου Μιτολιδή** (που εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος) και Επιστημονικά Υπεύθυνος εκ μέρους του ΑΠΘ είναι ο Καθηγητής **Ανδρέας Κάππος**, ενώ Επιστημονικός Υπεύθυνος του προγράμματος από την πλευρά του ΙΤΣΑΚ είναι ο Κύριος Ερευνητής **Θωμάς Σαλονικός**.

Στο ερευνητικό πρόγραμμα έγινε συγκριτική διερεύνηση των πολυμερών που οπλίζονται με δέσμες συρμάτων χάλυβα (SRP) και των ινοπλισμένων πολυμερών με ίνες άνθρακα (CFRP). Έγιναν καταρχήν δοκιμές προσδιορισμού των νόμων τάσης - παραμόρφωσης και 16 δοκιμές ελέγχου της συνάφειας των SRP και CFRP. Οι κυριότερες παράμετροι που μεταβάλλονται σε αυτές τις δοκιμές είναι το πλάτος και το μήκος αγκύρωσης του πολυμερούς, ο τύπος του SRP και η ποιότητα του σκυροδέματος του υποστρώματος. Για τις δοκιμές σε δοκούς φυσικής κλίμακας (κλίμακα κατασκευής, 1:1), τα δοκίμια αντιπροσώπευαν ανοίγματα και στηρίξεις δοκών. Ο τρόπος αστοχίας δύο αρχικών δοκιμών και των ενισχυμένων δοκιμών ήταν καμπτικός, ενώ κατασκευάστηκε και ένα δοκίμιο ανοίγματος και ένα δοκίμιο στήριξης χωρίς ενίσχυση τα οποία είχαν διατμητική αστοχία. Επίσης κατασκευάστηκαν άλλα τρία δοκίμια όμοια με αυτό που παρουσίασε διατμητική αστοχία αλλά ήταν ενισχυμένα έναντι διάτμησης με CFRP και SRP. Στα δοκίμια αυτά μετά την ενίσχυση ο τρόπος αστοχίας άλλαξε από διατμητικό σε καμπτικό. Συνολικά δοκιμάστηκαν 13 δοκίμια δοκών από τα οποία πέντε αντιπροσώπευαν το άνοιγμα δοκού και οκτώ αντιπροσώπευαν στήριξη δοκού. Η ποιότητα σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε παρασκευάστηκε βάσει της λογικής ότι για τα πολυώροφα κτίρια που κατασκευάζονται πριν 30-40 έτη χρησιμοποιείται κατά κανόνα ποιότητα σκυροδέματος B22.5.

■ Πειραματικό πρόγραμμα

Νόμος Τάσης - Παραμόρφωσης Υλικού (SRP): Οι δοκιμές προσδιορισμού του νόμου τάσης - παραμόρφωσης των υλικών έγιναν βάσει των συστάσεων ASTM D 3039M οι οποίες αναφέρονται σε ινώδη υλικά με ρητίνη. Έγιναν δοκιμές σε ελάσματα SRP. Επίσης δοκιμάστηκαν και ελάσματα ΙνΟπλισμένων Πολυμερών (ΙΟΠ) από άνθρακα. Βρέθηκε ικανοποιητική σύμπτωση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, που προσδιορίστηκαν πειραματικά, με τις αντίστοιχες τιμές της κατασκευάστριας εταιρείας.

Έλεγχοι Συνάφειας ΙΟΠ με το Σκυρόδεμα: Για τους ελέγχους συνάφειας έγιναν 16 δοκιμές. Από τις δοκιμές αυτές σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα δύναμης συνάφειας - ολισθήσης σύνθετου υλικού. Επίσης από τις δοκιμές αυτές βαθμονομήθηκαν τα αναλυτικά προσομοιώματα για τον υπολογισμό της δύναμης συνάφειας. Η καλύτερη σύμπτωση προέκυψε για το μοντέλο των Chen και Teng το οποίο προτάθηκε το 2001.

Δοκιμές Δοκών: Για τον έλεγχο των ανοιγμάτων δοκών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα χωρίς ενίσχυση και με ενίσχυση κατασκευάστηκαν 5 δοκίμια ορθογωνικής διατομής 20x40cm και συνολι-

κού μήκους 4.2m. Το άνοιγμα του αμφιέρειστου δοκίμιου ήταν 3.00m, ενώ το υπόλοιπο 2x0.6m εξείχε από τις στηρίξεις. Αυτό έγινε προκειμένου να αγκυρωθεί το σύνθετο ύφασμα σε θέση της δοκού όπου δε θα αναπτύσσεται εφελκυσμός. Τα δοκίμια επέδειξαν καμπτική αστοχία τα τέσσερα και διατμητική αστοχία το ένα. Τα δοκίμια με την καμπτική αστοχία παρουσίασαν σαφή αύξηση της καμπτικής αντοχής λόγω των υλικών ενίσχυσης. Η αύξηση αντοχής σε όλες τις περιπτώσεις ήταν παρόμοια, καθώς καθοριστική για την ενίσχυση ήταν η αντοχή της ρητίνης που χρησιμοποιήθηκε.

Επίσης κατασκευάστηκαν οκτώ δοκίμια, διατομής 20x40cm, που αντιπροσώπευαν στηρίξεις δοκών. Το άνοιγμα του αμφιέρειστου δοκίμιου ήταν 2.00m, ενώ το υπόλοιπο 2x0.6m εξείχε από τις στηρίξεις. Τα δοκίμια αυτά χωρίζονται σε δύο ομάδες. Τα τέσσερα δοκίμια της μιας ομάδας έχουν καμπτικό τρόπο αστοχίας. Στα τέσσερα δοκίμια της δεύτερης ομάδας το δοκίμιο χωρίς ενίσχυση αστοχεί σε διαγώνιο εφελκυσμό. Στα υπόλοιπα τρία δοκίμια γίνεται ενίσχυση του μηχανισμού διαγώνιου εφελκυσμού είτε με (SRP) είτε με ελάσματα CFRP, τα οποία εφαρμόζονται σε όλο το μήκος των δοκιμών. Στα τρία ενισχυμένα δοκίμια, λόγω της ενίσχυσης έναντι διαγώνιου εφελκυσμού, ο τρόπος αστοχίας αλλάζει από διατμητικό σε καμπτικό.

Στα δοκίμια ανοιγμάτων μέσω της σημαντικής αύξησης του μήκους αγκύρωσης δεν επήλθε διαφοροποίηση της αντοχής ενώ παρατηρήθηκε ελαφρά αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης των δοκιμών που ενισχύθηκαν με χαλυβδόυφασμα έναντι του δοκίμιου που ενισχύθηκε με ελάσματα άνθρακα. Από τις δοκιμές προέκυψε ότι με τις ενισχύσεις επήλθε αύξηση της ικανότητας των δοκών, να φέρουν φορτία, ως και 100% (Σχ. 2α).

Σχήμα 2. (α) Διαγράμματα δύναμης - βύθισης δοκιμών ανοιγμάτων, SVM δοκίμιο ανοίγματος χωρίς ενίσχυση και καμπτική αστοχία, SS3X2M, SS12XM δοκίμια ανοιγμάτων καμπτικά ενισχυμένα με SRP και καμπτική αστοχία, SCM δοκίμιο ανοίγματος καμπτικά ενισχυμένο με CFRP και καμπτική αστοχία, SVS δοκίμιο ανοίγματος χωρίς ενίσχυση και διατμητική αστοχία (β) Διαγράμματα δύναμης - βύθισης δοκιμών στηρίξεων για τα αντίστοιχα δοκίμια στηρίξεων.

Τα δοκίμια στηρίξεων επέδειξαν καμπτική αστοχία τα επτά και διατμητική αστοχία το ένα χωρίς ενίσχυση. Από τα επτά αυτά δοκίμια τα τέσσερα πρώτα, με καμπτική ενίσχυση και χωρίς ενίσχυση, αστόχησαν καμπτικά και τα τρία που ενισχύθηκαν έναντι διάτμησης αστόχησαν ομοίως καμπτικά. Τα δοκίμια με την καμπτική αστοχία επέδειξαν σαφή αύξηση της καμπτικής αντοχής με τη χρήση των υλικών ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν. Η αύξηση αντοχής σε όλες τις περιπτώσεις ήταν παρόμοια καθώς καθοριστική για την ενίσχυση ήταν η αντοχή της ρητίνης που χρησιμοποιήθηκε (Σχ. 2β). Τα δοκίμια που ενισχύθηκαν έναντι διάτμησης επέδειξαν καμπτική αστοχία και σαφώς μεγαλύτερη αντοχή από το δοκίμιο χωρίς ενίσχυση που αστόχησε διατμητικά.

Με την χρήση των SRP ενισχύεται η φέρουσα ικανότητα των δοκών στις στηρίξεις κατά 80%, εξίσου καλά όπως με τη χρήση των ελασμάτων CFRP. Σε όλα τα καμπτικά ενισχυμένα δοκίμια η αστοχία προήλθε από αποκόλληση των συνθετών υλικών. Στο δοκίμιο της στήριξης δοκού χωρίς ενίσχυση με διατμητική αστοχία επιτεύχθηκε η

αλλαγή του τρόπου αστοχίας από την ανεπιθύμητη διατμητική αστοχία στην επιθυμητή καμπτική αστοχία. Αυτό έγινε μέσω της ενίσχυσης των δοκιμών, που αντιπροσωπεύουν τμήμα δοκού κοντά στις στηρίξεις, έναντι διάτμησης με ΙΟΠ σε όλο το μήκος και με λωρίδες ΙΟΠ. Για το λόγο αυτόν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης των ενισχυμένων δοκιμών έναντι τέμνουσας. Η αγκύρωση του ΙΟΠ σε περιοχές όπου το οπλισμένο σκυρόδεμα δεν εφελκύεται (πέρα από τις στηρίξεις) δεν επηρεάζει την ικανότητα αντοχής και παραμόρφωσης των δοκιμών σε σχέση με την περίπτωση αγκύρωσης των ΙΟΠ στην εφελκυσμένη ίνα της δοκού πριν τις στηρίξεις.

Για τα ενισχυμένα δοκίμια προέκυψε ότι με τα χαλυβδόυφασμα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ικανότητα παραμόρφωσης από 13% έως 30% σε σχέση με τα δοκίμια που ενισχύθηκαν με ελάσματα άνθρακα SCM.

Από την πειραματική αυτή εργασία προέκυψε ότι τα Πολυμερή Οπλισμένα με Χάλυβα (SRP) αποτελούν έναν οικονομικό τρόπο για την ενίσχυση δοκών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα σε κάμψη και διάτμηση. Η αποτελεσματικότητά τους είναι εξίσου καλή με αυτή των πολυμερών που οπλίζονται με ίνες άνθρακα (CFRP). Το κόστος αγοράς των SRP είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό των CFRP. Στο πεδίο εφαρμογής (για τα SRP) χρειάζεται προσαρμογή των ρητίνων και των μεθόδων εφαρμογής τους στην πράξη, από τις εταιρείες διάθεσης, για ενίσχυση στοιχείων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, καθώς αποτελούν ένα υλικό το οποίο έχει δοκιμασθεί σε ερευνητικό κυρίως επίπεδο.

■ Ευχαριστίες

Το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα συγχρηματοδοτήθηκε κατά 67.5% από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, κατά 22.5% από την Γ.Γ.Ε.Τ. στο πλαίσιο του Μέρους 8.3 του Ε.Π.ΑΝ.- Γ' Κ.Π.Σ. και κατά 10% από την εταιρεία Sika - Hellas. Τους οπλισμούς που χρησιμοποιήθηκαν στα δοκίμια των δοκών χορήγησε η εταιρεία ΣΙΔΕΝΟΡ ΑΒΕΕ. Η ερευνητική ομάδα εκφράζει τις ευχαριστίες της στους προαναφερθέντες φορείς και εταιρείες. ■

