

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΝΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΚΑΡΒΕΛΑΣ Γ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

Περίληψη

Στην παρακάτω εργασία γίνεται μια έρευνα για τη συμπεριφορά ενισχυμένων κοντών υποστυλωμάτων με σύνθετα υλικά (CFRP-GFRP), υπό ανακυκλώνόμενα πλευρική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή των στοιχείων και της συμπεριφοράς τους σε πλευρική φόρτιση, ενώ ύστερα η εμφάνιση των πειραματικών δεδομένων από εργαστηριακές μετρήσεις. Επιχειρείται η σύντομη περιγραφή των παραπάνω δοκιμών και δίνεται έμφαση στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κοντά υποστυλώματα παρουσιάζουν ψαθυρή συμπεριφορά όταν υποβληθούν σε ανακυκλζόμενη οριζόντια φόρτιση. Εμφανίζουν αυξημένη αρχική δυσκαμψία, ενώ για μετακίνηση μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί στη μέγιστη τέμνουσα παρουσιάζουν αυξημένη μείωση της δυσκαμψίας και της απορροφόμενης ενέργειας.

Σαν κοντά χαρακτηρίζονται τα υποστυλώματα με λόγο διάτμησης $a_s \leq 2.5$. Λόγος διάτμησης

ορίζεται το πηλίκο $a_s = \frac{M}{Vh}$, όπου M και V είναι η δρώσα καμπτική ροπή και τέμνουσα δύναμη, αντίστοιχα, στο άκρο του στοιχείου. Στην περίπτωση αμφίπακτου υποστυλώματος (σαν αυτά που θα μελετηθούν παρακάτω), η ροπή κάμψης εκφράζεται σαν $M=VL/2$, όπου L το μήκος του στοιχείου, και άρα ο λόγος διάτμησης είναι $a_s = L/2h$. Κοντά υποστυλώματα συναντώνται όταν οι διαστάσεις της διατομής είναι συγκρίσιμες με το μήκος του στοιχείου εκ κατασκευής, ή όταν το μήκος αυτού μειώνεται εξ' αιτίας δέσμευσης της πλευρικής μετακίνησης. Αύτη είναι η περίπτωση βιομηχανικών χώρων με τοίχους πλήρωσης που δεν εκτείνονται σε όλο το ύψος, αλλά σε μικρότερο με στόχο τον σχηματισμό παραθύρων. Κατά τη σεισμική φόρτιση τα παραπάνω υποστυλώματα συμπεριφέρονται σαν αμφίπακτα με μικρό μήκος, εμφανίζοντας μικρούς λόγους διάτμησης. Σαν αποτέλεσμα, αναπτύσσονται βλάβες σε αυτά οδηγώντας σε μερική ή ολική κατάρρευση της κατασκευής.



Σχήμα 1: Συνήθης τρόπος σχηματισμού και αστοχίας κοντών υποστυλωμάτων [5]

Στα παραπάνω στοιχεία σαν αποτέλεσμα του μικρού λόγου διάτμησής τους, η εμφανιζόμενη τέμνουσα δύναμη είναι μεγαλύτερη, συγκρινόμενη με υψηλότερα, αλλά κατά τα υπόλοιπα ίδια υποστυλώματα. Επίσης, ο μηχανισμός της διαγώνιας θλίψης είναι ιδιαίτερα έντονος (εντονότερος από το μηχανισμό δικτυώματος), γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη διαγώνια θραύση του σκυροδέματος και αυξημένη ψαθυρότητα. Για καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας έχει παρατηρηθεί ότι μεγάλα ποσοστά διαμήκους οπλισμού και μεγάλων διαμέτρων ράβδων πρέπει να αποφεύγονται. Όσον αφορά τον εγκάρσιο οπλισμό, αυτός βοηθά στην αύξηση της ολκιμότητας του κοντού στύλου. Βέβαια, η πιο αποδοτική διάταξη του οπλισμού θα περιλάμβανε την μερική αντικατάσταση του ευθύγραμμου οπλισμού με αγκυρωμένο δισδιαγώνιο[1]. Ωστόσο, διαμήκης οπλισμός πρέπει να χρησιμοποιείται, αφού ο μηχανισμός του χωροδικτυώματος μεταφοράς του φορτίου επίσης ενεργοποιείται. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά των κοντών υποστυλωμάτων δεν εξαρτάται αποκλειστικά από ένα και μοναδικό παράγοντα, αλλά υπάρχει μια ιεραρχία παραμέτρων που την επηρεάζουν[2].

2.Εργαστηριακή Δοκιμή A' [3]

2.1 Περιγραφή Δοκιμίων

Στην πρώτη εργαστηριακή δοκιμή δοκιμάστηκαν 7 δοκίμια, τα οποία είχαν τις ίδιες διαστάσεις. Οι διαστάσεις των δοκιμίων αντιπροσώπευαν τα 2/3 ενός πρωτότυπου μοντέλου. Ο λόγος διάτμησης ήταν $a_s = 1.5$ και ο λόγος διατμητικού ανοίγματος προς πλάτος δοκιμίου $a/d = 1.5$. Το ποσοστό διαμήκους οπλισμού για κάθε υποστυλώμα ήταν $\rho_g = 2.6\%$. Η πρώτη ομάδα δοκιμίων είχε συνδετήρες Φ10/65, ενώ η δεύτερη Φ10/305.

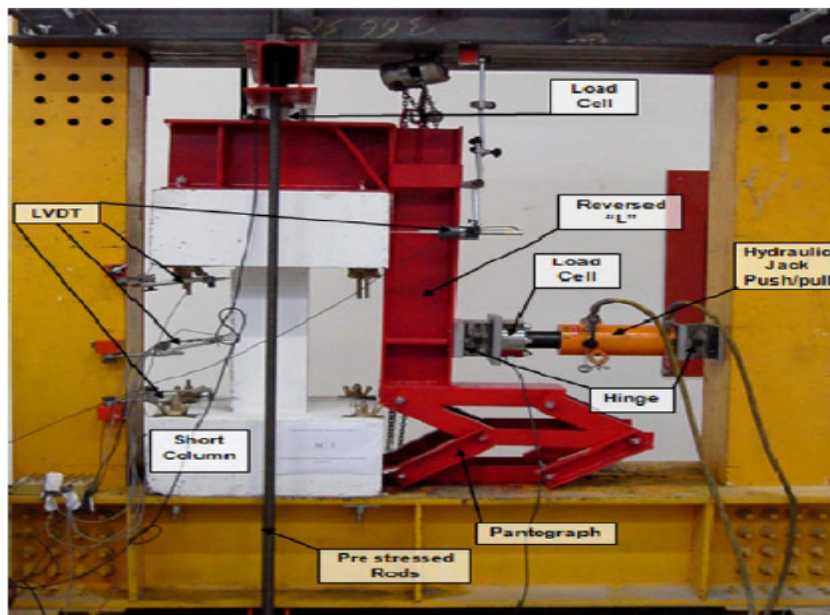
Το δοκίμιο SC1 έμεινε χωρίς ενίσχυση και δοκιμάστηκε σαν το δοκίμιο αναφοράς. Το δοκίμιο SC2 ενισχύθηκε χρησιμοποιώντας τρεις στρώσεις CFRP. Για την καλύτερη αγκύρωσή του χρησιμοποιήθηκαν 4 πλάκες με ράβδους δια μέσου του δοκιμίου. Το δ. SC1R ενισχύθηκε με τέσσερις στρώσεις GFRP μίας διεύθυνσης στις περιοχές των πιθανών πλαστικών αρθρώσεων. Μεταξύ των πλαστικών αρθρώσεων, τοποθετήθηκαν δύο στρώσεις GFRP δύο διευθύνσεων. Αγκυρώσεις παρόμοιες με αυτές των SC2 και SC1R χρησιμοποιήθηκαν επίσης και εδώ. Η ποσότητα του GFRP που χρησιμοποιήθηκε στην πλαστική άρθρωση του SC1R επιλέχθηκε ώστε να παρέχει διατμητική αντοχή παρόμοια με αυτή του CFRP στο δοκίμιο SC2. Το δοκίμιο SC2R ενισχύθηκε με 2 στρώσεις CFRP μιας διεύθυνσης, στις πλαστικές περιοχές των 150mm και άλλες 2 δύο διευθύνσεων στην ενδιάμεση περιοχή. Εδώ δεν χρησιμοποιήθηκαν αγκυρώσεις των φύλλων μέσα στο σκυρόδεμα. Τέλος, στο δ. SC1U χρησιμοποιήθηκαν 3 στρώσεις CFRP, παρόμοιες με αυτές του SC2, αλλά χωρίς αγκύρωση.

Τα δύο υποστυλώματα της δεύτερης ομάδας (SC3 και SC3R) είχαν χαμηλό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού, με αποτέλεσμα τη διατμητική τους αστοχία χωρίς την ενίσχυση τους. Το υποστυλώμα SC3 ενισχύθηκε χρησιμοποιώντας 3 στρώσεις φύλλων CFRP. Εδώ χρησιμοποιήθηκε διαφορετική τεχνική για την επίτευξη της περίσφυξης. Πέντε αγκύρια ινών άνθρακα 75mm τοποθετήθηκαν σε κάθε μια από τις δύο πλευρές του δοκιμίου. Τέλος το δ. SC3R ενισχύθηκε χρησιμοποιώντας έξι και τρεις στρώσεις GFRP στις πλαστικές αρθρώσεις και στις ενδιάμεσες περιοχές, αντίστοιχα. Η ποσότητα του GFRP στις πλαστικές αρθρώσεις έχει επιλεγεί ώστε να δίνει παρόμοια διατμητική αντοχή με αυτή των φύλλων CFRP του δ. SC3.

2.2 Παράμετροι του πειράματος

Χρησιμοποιήθηκε πλαίσιο που στήριζε τον οριζόντιο υδραυλικό μεταδότη της κίνησης και μία κατακόρυφη κατασκευή για τη στήριξη του αντίστοιχου κατακόρυφου. Κατά τη διάρκεια

της δοκιμής μετρήθηκαν φορτία, μετακινήσεις και παραμορφώσεις, καθώς και πλευρικές μετακινήσεις του δοκιμίου και των σχετικών στροφών μεταξύ των δύο στηρίξεων των στύλων. Οι παραμορφώσεις στον ευθύγραμμο και τον κατακόρυφο σπλισμό, όπως και στα φύλλα της εξωτερικής ενίσχυσης μετρήθηκαν με μηκυσιόμετρα. Για κάθε δοκίμιο 4 μηκυσιόμετρα τοποθετήθηκαν σε κάθε μια από τις τέσσερις γωνίες και για κάθε γωνία στη βάση, στο 1/3 του ύψους, στα 2/3 του ύψους και στην κορυφή του κάθε δοκιμίου. Έξι μηκυσιόμετρα χρησιμοποιήθηκαν στην εξωτερική επιφάνεια των φύλλων των FRP : τρία στον άξονα των στοιχείων και τα υπόλοιπα στις άκρες (στη βάση, στα μέσα του ύψους, στην κορυφή).



Σχήμα 2: Πειραματική διάταξη φόρτισης κοντού στύλου [3]

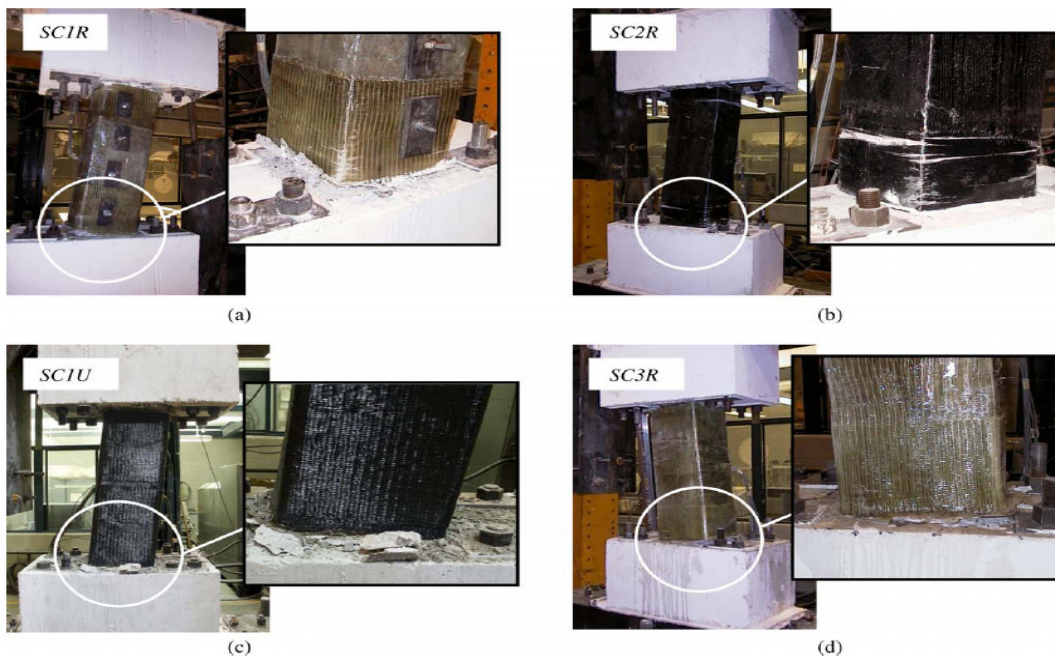
Τα δοκίμια βρίσκονταν υπό σταθερή αξονική φόρτιση 500 kN, που αντιπροσώπευε τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής. Για κάθε δοκίμιο η πλευρική μετακίνηση επιλέχθηκε σαν παράγοντας της παραμόρφωσης διαρροής Δ_y , με δύο κύκλους ανά επίπεδο μετακίνησης. Τέλος, αξ σημειωθεί ότι το σταθερό επιβαλλόμενο αξονικό φορτίο δεν κατόρθωσε να παραμείνει σταθερό κατά τη διάρκεια του πειράματος, αλλά μετρήθηκαν διακυμάνσεις της τάξης του $\pm 4\%$, κάτι αποδεκτό αφού κατά τη διάρκεια σεισμού τα κατακόρυφα φορτία μπορούν να μεταβάλλονται περισσότερο από το παραπάνω ποσοστό.

2.3 Αποτελέσματα Α' εργαστηριακής δοκιμής

2.3.1 Αποτελέσματα ανάλογα με τα δοκίμια

Δοκίμιο SC1R: Το δοκίμιο SC1 αστόχησε σε τέμνουσα για ποσοστό μετακίνησης 3.5%, ενώ αντίθετα ο στύλος SC1R έφτασε μια μετακίνηση 105mm, ή λόγο μετακίνησης 11.5%, πριν την αστοχία. Ύστερα από το τέλος του πειράματος τα φύλλα του σύνθετου υλικού αφαιρέθηκαν και παρατηρήθηκαν πολλές διατμητικές και καμπτικές ρωγμές στην περιοχή των πλαστικών αρθρώσεων. Ωστόσο, οι ρωγμές ήταν μικρές και το σκυρόδεμα παρέμενε λειτουργικό λόγω της περίσφιξης από το GFRP. Η επέμβαση ενίσχυσης κρίθηκε επιτυχής. **Δοκίμιο SC2R:** Το

δεύτερο δοκίμιο έφτασε μια μέγιστη μετακίνηση 75mm, δηλαδή ένα λόγο μετακίνησης 8% πριν την αστοχία. Και σε αυτό το δοκίμιο αφαιρέθηκαν τα φύλλα του CFRP και παρατηρήθηκαν οι ρωγμές στις πλαστικές περιοχές. Και εδώ, όπως και παραπάνω η προσθήκη των σύνθετων υλικών απέτρεψε την ψαθυρή αστοχία, αύξησε την ολκιμότητα του δοκιμίου και απέτρεψε την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων. **Δοκίμιο SC1U:** Το τρίτο δοκίμιο έφτασε μια μέγιστη πλευρική μετακίνηση 105mm, όπως και το SC2. Όμως αντιθετα με το παραπάνω το δ. SC1U έδειξε σημάδια αποκόλλησης των φύλλων CFRP απο το υποστύλωμα, προφανώς εξαιτίας της έλλειψης επαρκούς αγκύρωσης. Η αποκόλληση ξεκίνησε για λόγο $\Delta u/\Delta y = 4$. **Δοκίμιο SC3R:** Το ενισχυμένο δοκίμιο SC3 έφτασε ένα λόγο μετακίνησης 11.5%. Παράλληλα ο στύλος SC3R, ο οποίος ενισχύθηκε με 6 και 2 στρώσεις GFRP στις ακραίες και στις ενδιάμεσες περιοχές, αντίστοιχα, δεν κατόρθωσε να επιτύχει τη μέγιστη αναμενόμενη διατμητική αντοχή και παρουσίασε μειωμένη ολκιμότητα. Αυτό φαίνεται να οφείλετε στη διόγκωση των κατακόρυφων στρώσεων του GFRP στη θλιβόμενη πλευρά του υποστυλώματος, που μεταβάλλεται απο την ανακύκλιση της έντασης, μειώνοντας την περίσφυξη του δοκιμίου. Αυτό σε συνδιασμό με την έλλειψη επαρκούς αγκύρωσης οδήγησε σε αστοχία του στύλου με σχηματισμό μιας πλατιάς διαγώνιας διατμητικής ρωγμής στο μέσο του ύψους. Αυτή η προσπάθεια για ενίσχυση απέτυχε λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας του GFRP και της έλλειψης αγκύρωσης.



Σχήμα 3 : Αποτελέσματα της φόρτισης στη βάση των δοκιμίων [2]

2.3.2 Παραμορφώσεις στους οπλισμούς

Οι παραμορφώσεις των συνδετήρων στα ενισχυμένα δοκίμια SC1R, SC2R και SC3R στη μέγιστη πλευρική μετακίνηση ήταν υψηλότερη απο την παραμόρφωση διαρροής, σε αντίθεση με τις παραμορφώσεις στους συνδετήρες των δοκιμίων SC2, SC1U και SC3 που δεν τα κατάφεραν.

Αυτό αποδεικνύει ότι οι τρόποι ενίσχυσης των τριών πρώτων δοκιμίων ήταν επιτυχής για αύξηση της περίσφιγξης, της διατμητικής αντοχής και τον σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων, πριν τη διατμητική αστοχία. Τέλος, παρατηρήθηκαν υψηλές παραμορφώσεις των φύλλων FRP στα δοκίμια SC2, SC1R, SC2R, SC1U και SC3, σε αντίθεση με αυτές στο δ. SC3R που είχε χαμηλό ποσοστό οπλισμού.

2.3.3 Επιρροή της αγκύρωσης

Ένα από τα αναγνωρισμένα προβλήματα στην περίσφιξη τετραγωνικών στύλων είναι η αποκόλληση μεταξύ του σύνθετου υλικού και του σκυροδέματος. Αν και η περίσφιξη του σκυροδέματος στις γωνίες των υποστυλωμάτων είναι ικανοποιητική, οι πλευρές τους δεν είναι καλά περισφιγμένες και μπορούν να αποκολληθούν κατά την πλευρική φόρτιση. Στο δοκίμιο SC1U δεν χρησιμοποιήθηκαν αγκύρια. Αντίθετα τέσσερις ράβδοι αγκύρωσης χρησιμοποιήθηκαν στο δοκίμιο SC2. Το τελευταίο έδειξε πιο όλκιμη συμπεριφορά, χωρίς εμφανή μείωση της πλευρικής δύναμης αντοχής και απορρόφηση ενέργειας, συγκριτικά με το δ. SC1U. Επίσης, η αγκύρωση της εξωτερικής ενίσχυσης αποτέλεσε στη μείωση της παραμόρφωσης στον εγκάρσιο οπλισμό και αύξησε αυτή στα φύλλα του σύνθετου υλικού.

2.3.4 Επιρροή του εγκάρσιου οπλισμού

Συγκρίνοντας τη σχέση πλευρικής μετατόπισης-πλευρικού φορτίου των δοκιμίων SC2 και SC3 παρατηρούμε ότι σε υψηλές πλευρικές μετατοπίσεις, ο στύλος με το υψηλότερο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή, εξ' αιτίας καλύτερης περίσφιξης. Παράλληλα αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού αυξάνει την απορροφώμενη ενέργεια, λόγω της όλκιμης συμπεριφοράς του περισφιγμένου στοιχείου και μειώνει τις παραμορφώσεις στο συγκρίνοντας τη σχέση πλευρικής μετατόπισης-πλευρικού φορτίου των δοκιμίων SC2R και SC1U, παρατηρούμε ότι αυξάνοντας τον αριθμό των στρώσεων του σύνθετου υλικού αυξάνεται και η διατμητική αντοχή, που οδηγεί σε πιο όλκιμη συμπεριφορά. Η απορροφώμενη ενέργεια για το δοκίμιο SC1U με το μεγαλύτερο αριθμό στρώσεων είναι μεγαλύτερη από αυτή του δ. SC2R. Τέλος, αυξάνοντας τον αριθμό των στρώσεων παρατηρείται μείωση στην παραμόρφωση τόσο στον εγκάρσιο οπλισμό, όσο και στα φύλλα του σύνθετου υλικού.

2.3.6 Επιρροή του σύνθετου υλικού

Τα δοκίμια SC2 και SC1R έχουν το ίδιο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού, ενώ έχουν ενισχυθεί με διαφορετικό υλικό: 3 στρώσεις CFRP για το πρώτο και 4 στρώσεις GFRP για το δεύτερο. Παρατηρήθηκε ότι η ενίσχυση με Carbon-FRP προσέδωσε μεγαλύτερη αντοχή και απορρόφηση ενέργειας από αυτή με Glass-FRP. Ακόμη, οι παραμορφώσεις για το πρώτο δοκίμιο, τόσο στις ράβδους οπλισμού, όσο και στα φύλλα τις εξωτερικής ενίσχυσης ήταν μικρότερες από αυτές του δεύτερου, κάτι που οφείλεται στο μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας των ινών άνθρακα συγκριτικά με τις ίνες γυαλιού.

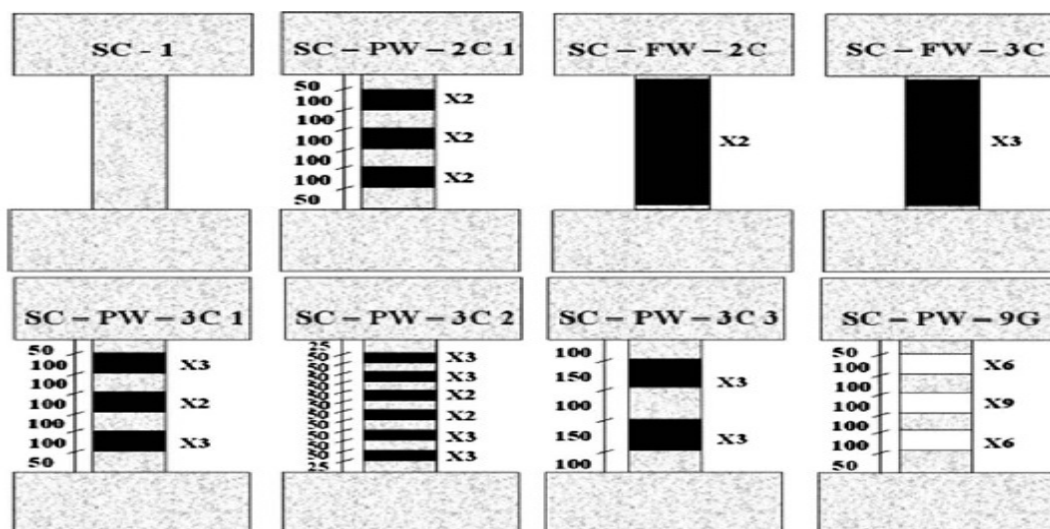
3.Εργαστηριακή Δοκιμή Β' [4]

3.1 Περιγραφή Δοκιμίων και πειράματος

Στη δεύτερη εργαστηριακή δοκιμή που εξετάζεται στην παρούσα εργασία δοκιμάστηκαν 8 δοκίμια τριγωνικής διατομής διάστασης 200x200 mm και ύψους 600mm. Οι διαστάσεις των δοκιμίων αντιπροσώπευαν τα 2/3 ενός προτύπου μοντέλου. Ο λόγος διάτμησης και εδώ ήταν 1.5. Οκτώ ράβδοι των 16mm χρησιμοποιήθηκαν για τον ευθύγραμμο οπλισμό και τρεις συνδετήρες των 6mm ανά 200mm (Φ6/200) για τον εγκάρσιο. Ο διαμήκης οπλισμός ήταν

υψηλότερος απο το άνω όριο που θέτουν οι EC8 και EC2, ενώ ο εγκάρσιος ήταν ανεπαρκής για να εξασφαλιστεί η διατμητική αστοχία. Τα δοκίμια πακτώθηκαν τόσο στην κορυφή όσο και στη βάση τους μέσω στοιχείων σκυροδέματος διαστάσεων 600x600x300 (mm³).

Για τα επτά δοκίμια (το ένα έμεινε χωρίς ενίσχυση), οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν ήταν ο αριθμός των στρώσεων και ο τρόπος αγκύρωσης των σύνθετων υλικών. Το δεύτερο δοκίμιο ενισχύθηκε με στρώσεις άνθρακα πλάτους 100mm ανά 100mm. Το τρίτο και τέταρτο υποστύλωμα ενισχύθηκε σε όλο το ύψος του απο αντίστοιχα δύο και τρεις στρώσεις CFRP. Τα υπόλοιπα δοκίμια ενισχύθηκαν αφήνοντας κενά μεταξύ των ενισχυμένων ζωνών. Ένα σταθερό κατακόρυφο αξονικό φορτίο εφαρμόστηκε στην κορυφή του στύλου, εκπροσωπώντας τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής.



Σχήμα 4 : Δοκίμια Β' πειράματος [3]

3.2 Αποτελέσματα Β' εργαστηριακής δοκιμής

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενίσχυση με σύνθετα υλικά άλλαξε ριζικά τον τρόπο αστοχίας των στύλων. Για τα δύο πλήρως ενισχυμένα δοκίμια η ψαθυρή αστοχία μετατράπηκε σε όλκιμη καμπτική. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στη μεταφορά του φορτίου στις στηρίξεις, σχηματίζοντας πλαστική άρθρωση με αυξημένη διαρροή του ευθύγραμμου οπλισμού στη στήριξη. Η ενίσχυση επέτρεψε τη στροφή στις στηρίξεις, χωρίς λυγισμό του οπλισμού, αν και ξεπέρασαν αρκετά το ελαστικό τους όριο.

3.2.1 Αποτελέσματα σχετικά με τον δείκτη πλατιμότητας

Η μηχανική συμπεριφορά του δοκιμίου SC1 παρέμεινε ελαστική μέχρι την αστοχία, με τον δείκτη πλαστιμότητας να παραμένει 1 μέχρι το τέλος, δείχνοντας έτσι ψαθυρή συμπεριφορά στην αστοχία. Υψηλότερος δείκτης δείχνει μεγαλύτερες βλάβες στο στοιχείο πριν την αστοχία. Ο παραπάνω δείκτης παραμένει κοντά στο 1 και για δοκίμια SC-PW-3C3 και SC-PW-9G και άρα η συμπεριφορά τους θεωρείται επίσης ψαθυρή. Οι δείκτες πλαστιμότητας των πλήρως ενισχυμένων δοκιμίων τείνουν στο 2. Τέλος, οι μεγαλύτερες βλάβες πριν την αστοχία εμφανίστηκαν στο δοκίμιο SC-PW-3C2, με $\mu = 3.71$, εξ' αιτίας του μεγάλου αριθμού ρωγμών που εμφανίστηκαν μεταξύ των ενισχυμένων περιοχών.

Δοκίμιο	$M=\Delta u/\Delta y$
SC1	1
SC-PW-2C1	2.93
SC-FW-2C	2.19
SC-FW-3C	1.85
SC-PW-3C1	1.89
SC-PW-3C2	3.71
SC-PW-3C3	1.13
SC-PW-9G	1.15

Πίνακας 1: Λόγος πλαστιμότητας για κάθε δοκίμιο [3]

3.2.2 Αποτελέσματα σχετικά με την απορροφόμενη ενέργεια

Παρατηρώντας τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν την απορροφόμενη ενέργεια απο τα δοκίμια διακρίνουμε πολύ μικρή απορρόφηση απο το μη ενισχυμένο κοντό υποστύλωμα, κάτι αναμενόμενο αν αναλογιστούμε την ψαθυρή στου αστοχία. Η απορροφόμενη ενέργεια παραμένει σε χαμηλά επίπεδα και για τα δοκίμια SC-PW-3C3 και SC-PW-9G των οποίων η συμπεριφορά στην αστοχία έτεινε στην ψαθυρή. Τέλος, οι πλήρως ενισχυμένοι στύλοι απορρόφησαν μεγάλο ποσό ενέργειας, όχι όμως τόσο υψηλό όσο ο μερικώς ενισχυμένος SC-PW-3C2. Η πολύ καλή συμπεριφορά του φαίνεται να οφείλεται στο σχηματισμό πολλών μικρών ρωγμών μεταξύ των ενισχυμένων ζωνών.

Δοκίμιο	Απορροφόμενη Ενεργεια (J)
SC1	570
SC-PW-2C1	1514
SC-FW-2C	3132
SC-FW-3C	3675
SC-PW-3C1	3992
SC-PW-3C2	5464
SC-PW-3C3	1985
SC-PW-9G	2129

Πίνακας 2: Απορροφόμενη ενέργεια για κάθε δοκίμιο [3]

3.3.3 Επιρροή της διάταξης της ενίσχυσης

Καμία μέθοδος ενίσχυσης δεν μπορεί να ξεχωρίσει. Ωστόσο, φαίνεται οτι εύκαμπτες ενισχύσεις (μόνο δύο στρώσεις σύνθετου υλικού) εμφανίζουν μικρότερη βλάβη με χρήση κενών μεταξύ των ενισχύσεων κατά μήκος του στοιχείου απο τα πλήρως ενισχυμένα δοκίμια. Μάλιστα, το δοκίμιο SC-PW-3C2, που ενισχύθηκε αφήνοντας κενά μικρού πλάτους παρουσίασε μεγάλη αντοχή.

4.Συνολικά αποτελέσματα-παρατηρήσεις

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα δύο πειραμάτων που αφορούσαν την ενίσχυση κοντών υποστύλωμάτων για αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας τους. Τα συνολικά αποτελέσματα που προέκυψαν απο αυτά είναι τα παρακάτω:

1. Η αγκύρωση των μανδύων των σύνθετων υλικών αυξάνει την διατμητική αντοχή και την απορρόφηση ενέργειας απο το στοιχείο.

2. Η αγκύρωση βελτίωσε την περίσφυξη του σκυροδέματος, ενώ μείωσε την παραμόρφωση στον εγκάρσιο οπλισμό και την αύξησε στα φύλλα του υλικού ενίσχυσης.
3. Αυξήση του αριθμού των στρώσεων της ενίσχυσης στα κοντά υποστηλώματα, προκαλεί μείωση στην παραμόρφωση τόσο του εγκάρσιου οπλισμού, όσο και του σύνθετου υλικού
4. Χρησιμοποιώντας αγκυρωμένα φύλλα ινών ανθρακα (CFRP) , επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη διατμητική αντοχή και απορρόφηση ενέργειας απο τη χρήση αγκυρωμένων φύλλων ινών γυαλιού (GFRP). Επίσης, έχουμε μείωση των παραμορφώσεων στους συνδετήρες και στα φύλλα της εξωτερικής ενίσχυσης κατά μήκος του στύλου.
5. Η παραμόρφωση των φύλλων ενίσχυσης στα άκρα των στοιχείων δεν φαίνεται να επηρεάζεται απο το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμό. Παρολαυτά, η παραμόρφωση στο μανδύα ενίσχυσης κατά μήκος του υποστυλώματος βρέθηκε να μειώνεται με αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού. Το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού είχε αμελητέα επιρροή στην παραμόρφωση των φύλλων της εξωτερικής ενίσχυσης στα άκρα του υποστυλώματος, ενώ βοήθησε στη μείωση των παραμορφώσεων στο μανδύα της ενίσχυσης κατά μήκος του στύλου.
6. Η δυσκαμψία της ενίσχυσης αποτελεί την πρωταρχική παράμετρο για την αύξηση της δυνατότητας εμφάνισης βλαβών.
7. Διαφορετικοί τρόποι μηχανικής συμπεριφοράς συναντώνται ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης. Τα πλήρως ενισχυμένα (χωρίς διακοπές) δοκίμια εμφάνισαν παρόμοια συμπεριφορά χωρίς ρωγμές. Σε ενισχύσεις με κενά παρουσιάστηκαν πολλές μικρές ρωγμές μεταξύ των ενισχυμένων περιοχών.
8. Οι πλέον αποδοτικοί τρόποι ενίσχυσης αποδείχθηκαν α) η χρήση αγκυρωμένου μανδύα CFRP κατά το μήκος του κοντού υποστυλώματος με την επιπλέον περίσφυξη των ακραίων ζωνών των πλαστικών περιοχών και β) η ενίσχυση με αγκυρωμένα φύλλα CFRP, όχι σε ολόκληρο το ύψος του στύλου, αλλά αφήνοντας κενά μεταξύ των ενισχύσεων, για ανάπτυξη μικρών ρωγμών και κατανάλωση της ενέργειας.

5.Βιβλιογραφία

- [1] M. Moretti, T.A. Tassios, “Behaviour of short columns subjected to cyclic shear displacements: Experimental results”, Laboratory of Reinforced Concrete, National Technical University of Athens.
- [2] K. A. Woodward, “Behaviour of short R/C columns subjected to cyclic bilateral deformations”, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA
- [3] K. Galal, A. Arafa, A. Ghobarah, “Retrofit of RC square short columns”.
- [4]G. Promis, E. Ferrier, P. Hamelin, “Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening”.
- [5] Pacific Earthquake Engineering Research Center, “Geotechnical report from June 23, 2001 Peruvian Earthquake”.