

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΝΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

ΜΠΑΣΑΓΙΑΝΝΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Περίληψη

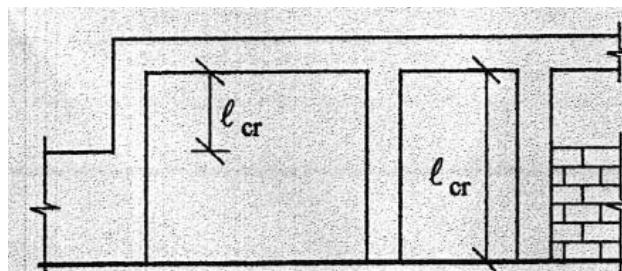
Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στον τρόπο συμπεριφοράς των κοντών υποστυλωμάτων σε μια κατασκευή. Αρχικά αναφέρονται οι περιοχές εφαρμογής τους, οι τρόποι αστοχίας τους καθώς και οι μέθοδοι ενίσχυσής τους. Ακολουθεί πειραματική διαδικασία όπου μετά από συγκριτική μελέτη παρουσιάζεται ο βέλτιστος τρόπος ενίσχυσης κοντού υποστυλώματος με ινοπλισμένα πολυμερή.

1.Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει ο πολιτικός μηχανικός είναι η φθορά υπαρχόντων κατασκευών που με την πάροδο του χρόνου εξασθενούν είτε λόγω διάβρωσης οπλισμού είτε κακού αρχικού σχεδιασμού, ελλιπής συντήρησης, αύξησης φορτίων καθώς και τυχηματικών παραγόντων όπως ο σεισμός.[8]

Έτσι η ανάγκη για μερική ή καθολική αναβάθμιση και ενίσχυση των φερόντων ή μη φερόντων στοιχείων πολλών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας τοιχοποιίας είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός πεδίου εφαρμογών του πολιτικού μηχανικού που αφορά τις ενισχύσεις(επέμβαση σε μια κατασκευή με ή χωρίς βλάβες η οποία αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του φορέα σε επίπεδο υψηλότερο από αυτό του αρχικού σχεδιασμού).[7]

Στη φέρουσα εργασία τα φέροντα στοιχεία που εξετάζονται είναι τα κοντά υποστυλώματα. Μετά από έναν ισχυρό σεισμό οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι από τις πιο συχνές και σοβαρές ενώ ο ρόλος τους στην κατασκευή πολύ σημαντικός μιας και αποτελούν μια από τις κύριες παραμέτρους για την ασφάλεια της.



Εικόνα 1: Ελεύθερο ύψος κοντών υποστυλωμάτων [4]

2.Ορισμός και περιοχή εφαρμογής

Υποστυλώματα με λόγο διατμήσεως $as < 2.5$ χαρακτηρίζονται ως «κοντά». Διαμορφώνονται κυρίως σε ημιυπόγειους χώρους, πατάκια, σε επιφάνειες τοίχων με ανοίγματα παραθύρων όπως π.χ. σε εργοστάσια, σχολεία. Ο λόγος διατμήσεως $as = Msd/Vsd$ υπολογίζεται από τα εντατικά μεγέθη ροπής Msd και τέμνουσας Vsd του δυσμενέστερου σεισμικού συνδυασμού, στην κρίσιμη διατομή του άκρου του υποστυλώματος εκεί όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της ροπής Msd και όπου h θεωρείται η διάσταση της διατομής στην διεύθυνση της τέμνουσας Vsd . Στα κοντά υποστυλώματα, λόγω του μικρού ελεύθερου ύψους τους, αναπτύσσεται ιδιαίτερα μεγάλη δύναμη[4]. Μιας και τα υποστυλώματα είναι τα περισσότερο επιπονούμενα στοιχεία ειδικά σε σεισμό συχνά εμφανίζουν βλάβες που μπορεί να είναι π.χ. μεμονωμένες ρωγμές κυρίως λόγω κάμψης χωρίς να οφείλονται σε ανεπάρκεια διατομής χάλυβα ή σκυροδέματος, πολλές καμπτικές ρωγμές χωρίς εμφανείς παραμορφώσεις, έντονη ρηγμάτωση με μικρές παραμένουσες παραμορφώσεις, βλάβη κυρίων οπλισμών, διακοπή συνέχειας στοιχείου χωρίς κατάρρευση και τέλος σε δύσκολα επισκευάσιμες βλάβες μπορεί να παρατηρηθούν μετακινήσεις σκελετού, μεγάλες αποκολλήσεις ακόμη και μερικές καταρρεύσεις. Όσον αφορά τώρα την αποκατάσταση της βλάβης ανάλογα με την έκταση

της(μικρή ή έντονη) η επέμβαση που ακολουθείται είναι η ίδια με αυτή των κανονικών υποστυλωμάτων. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι η σημαντικότερη επέμβαση μας είναι η απομάκρυνση των δεσμεύσεων που δημιουργεί το κοντό υποστύλωμα.[4] Η κοστολόγηση των εργασιών επέμβασης που επιλέγεται κάθε φορά θα πρέπει να είναι η πιο οικονομική.

Σε περιπτώσεις πάντως που δεν είναι δυνατή η αποφυγή του φαινομένου του κοντού υποστυλώματος θα πρέπει να προστεθεί ανάλογη διατεμνόμενη επιφάνεια (χαλύβδινη ή από σκυρόδεμα) και να υπολογιστεί σωστά η αντίστοιχη καταπόνηση. Παρόλη όμως την αύξηση της διατμητικής αντοχής πειράματα δείχνουν ότι τα κοντά υποστυλώματα ανεξάρτητα από το ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού αστοχούν.[3] Οι τρεις βασικές μορφές αστοχίας τους είναι η διατμητική αστοχία (η πιο σημαντική και ταυτόχρονα ανεπιθύμητη μορφή αστοχίας) η αστοχία περίσφιξης στην περιοχή της πλαστικής άρθρωσης και η αστοχία ματίσεων του κατακόρυφου οπλισμού. Τυχόν αστοχία φυσικά μπορεί να οδηγήσει σε τμηματική ή ακόμα και σε ολική κατάρρευση.[9]



Εικόνα 2α: Αστοχία κοντού υποστυλώματος

Εικόνα 2β: Αστοχία σειράς κοντών υποστυλωμάτων

3. Τρόποι ενίσχυσης κοντών υποστυλωμάτων

Η ενίσχυση των κοντών υποστυλωμάτων απαιτείται στις εξής περιπτώσεις: α) προσαρμογή παλιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς β) γήρανση δομικών υλικών και διάβρωση οπλισμού γ) κατασκευαστικά ελαττώματα όπως π.χ. ανεπαρκής αριθμός, κατανομή και τοποθέτηση συνδετήρων δ) αύξηση φορτίων ή αλλαγής χρήσης χώρου και ε) αποκατάσταση μετά από σεισμό.[8]

Σκοπός της ενίσχυσης των κοντών υποστυλωμάτων, ιδιαίτερα κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό μιας κατασκευής, είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής και της πλαστιμότητας τους (η ικανότητα δηλαδή ενός φορέα να παραμορφώνεται πέρα από το όριο διαρροής του χωρίς να παρουσιάζεται σημαντική μείωση στην αντοχή και στη δυσκαμψία του) χωρίς ιδιαίτερη αύξηση της καμπτικής αντοχής. Οι τεχνικές ενίσχυσής τους μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την αύξηση ή όχι της διατομής του υποστυλώματος. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τεχνικές στις οποίες δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και η ενίσχυση επιτυγχάνεται με ενεργή περίσφιξη του στοιχείου (περίσφιξη σκυροδέματος είναι η κατάσταση κατά την οποία το σκυρόδεμα βρίσκεται σε κατάσταση τριαξονικής θλίψης, η οποία πρακτικά δημιουργείται όταν οι εγκάρσιοι οπλισμοί του στοιχείου ή οι μανδύες από σύνθετα υλικά παρεμποδίζουν την πλευρική διόγκωση του. Ο περιορισμός της εγκάρσιας διαστολής έχει σαν αποτέλεσμα αφενός την αύξηση της αντοχής και αφετέρου την αύξηση της αξονικής παραμόρφωσης στη θραύση). Ενεργή περίσφιξη μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω χρήσης: α) επικολητών κολλάρων, είτε μεταλλικών είτε

από λωρίδες σύνθετων υλικών, β)προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή από σύνθετα υλικά, γ)σπειροειδών οπλισμών, δ)ολόσωμου μεταλλικού κλωβού ή κλωβού από σύνθετα υλικά. Στη δεύτερη κατηγορία η ενίσχυση επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο[5,6,7].

Στη συνέχεια ακολουθεί περιγραφή των τεχνικών ενίσχυσης:

A) Χρήση Σύνθετων Υλικών με Οργανική Μήτρα, FRPs[Fiber Reinforced Polymers].

Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών στο πεδίο των τεχνικών έργων και ειδικότερα στο πεδίο των ενισχύσεων/ επισκευών έχει αναπτυχθεί παγκοσμίως σε τομείς την τελευταία 20ετία. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ευρέως και αποκλειστικά σε τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυσιπλοΐα, η αεροναυπηγική, η αεροδιαστημική, ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει η εικόνα αυτή καθώς ένα μεγάλο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής που αγγίζει το 25% απορροφάται στο πεδίο των τεχνικών έργων. Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ενισχύσεις έχουν ως συστατικά τους στοιχεία ίνες υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας(π.χ. άνθρακας, γυαλί, πολυπροπυλένιο, αραμίδιο) μέσα σε παχύρρευστη μήτρα η οποία αποτελεί την συγκολλητική ουσία μεταξύ των ινών. Ως μήτρα χρησιμοποιείται μια ποικιλία φυσικών και τεχνικών υλικών που συνήθως είναι μια εποξειδική ρητίνη(υπερέχει από τους άλλους τύπους μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις) και σπανιότερα πολυεστερικές και βινυλεστερικές ρητίνες. Τα σύνθετα υλικά τυγχάνουν ευρείας χρήσης λόγω των πολύ ελκυστικών ιδιοτήτων τους όπως είναι η ανθεκτικότητα σε διάβρωση, η υψηλή εφελκυστική αντοχή που συνδυάζεται με το χαμηλό τους βάρος, η διαθεσιμότητα τους σε μεγάλα μήκη, σε εύκαμπτη μορφή και η εφαρμογή τους σε δυσπρόσιτα τμήματα των κατασκευών επιφέροντας μικρή όχληση. Το μικρό τους πάχος τέλος έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει αύξηση στην περίμετρο του ενισχυμένου στοιχείου και να μην δημιουργούνται αντιαισθητικές προσθήκες στην αρχιτεκτονική του κτηρίου όπως συμβαίνει στην περίπτωση ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Το σημαντικότερο μειονέκτημα τους είναι η φτωχή συμπεριφορά τους σε υψηλές θερμοκρασίες, η έλλειψη πλαστιμότητας σε αντίθεση με το χάλυβα και το υψηλό κόστος παραγωγής τους. Στην Ελλάδα η τεχνολογία των FRPs εισήχθη για πρώτη φορά από τον όμιλο exelTEK A.E στις αρχές 1998 και εφάρμοσε σύνθετα υλικά XL-Wrap(άνθρακονήματα και υαλο-υφάσματα). Έχουν δοκιμαστεί πειραματικά σε πολλά ερευνητικά κέντρα, πολυτεχνεία. κ.τ.λ ενώ έχει πιστοποιηθεί και από το σύστημα ΕΛΟΤ EN ISO 9002.[5,6,7,8]



Εικόνα 3:Ενίσχυση υποστυλώματος με ΙΟΠ(FRP's) [8]

B)Χρήση Σύνθετων Υλικών με Ανόργανη Μήτρα,TRMs[Textile Reinforced Mortar].

Η τεχνική της ενίσχυσης με μανδύες ινοπλεγμάτων σε ανόργανη μήτρα αποτελεί μια καινοτομία που ξεκίνησε προ ολίγων ετών και παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα στην

εφαρμογή της, όπως το χαμηλό κόστος συγκριτικά με την FRP και την πιο φιλική εφαρμογή της ως προς το χρήστη και το περιβάλλον.

Η κυριότερη διαφοροποίηση μεταξύ ινοπλισμένων πολυμερών και σύνθετων υλικών ανόργανης μήτρας έγκειται στο χρησιμοποιούμενο ως συγκολλητική ουσία, υλικό, που στην μια περίπτωση(FRP) είναι η εποξειδική ρητίνη ενώ στην άλλη (TRM) το τσιμεντοειδές κονίαμα (ρευστό αλλά διακριτό μείγμα κονιάς και άμμου που αναμειγνύεται με πολυμερή) [5,6,7].

Γ)Χρήση Μανδύα από Οπλισμένο Σκυρόδεμα.

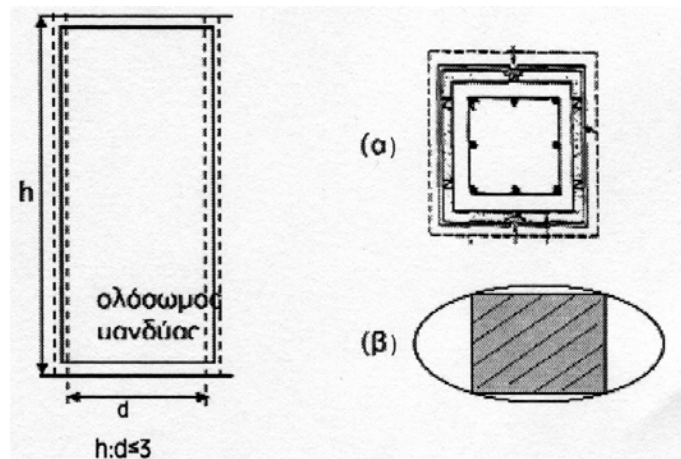
Η τεχνική της κατασκευής μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα εφαρμόζεται συνήθως σε υποστυλώματα με σοβαρές βλάβες, ενώ παράλληλα είναι και η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος για την αύξηση της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας τους. Η τεχνική αυτή(εικ.4) περιλαμβάνει αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέο σκυρόδεμα και την τοποθέτηση τόσο διαμήκων όσο και εγκάρσιων οπλισμών. Οι μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να είναι είτε από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή σκυροτσιμεντόπηγμα είτε από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.Το σημαντικότερο τους πλεονέκτημα είναι η θεαματική βελτίωση της πλαστιμότητας και της απορρόφησης ενέργειας. Κατασκευάζοντας βέβαια έναν μανδύα από Ο.Σ. δεν επιτυγχάνουμε πολλές φορές την απαιτούμενη πρόσφυση μεταξύ νέας και υπάρχουσας επιφάνειας. Και αυτό γιατί απαιτείται τράχυνση της επιφάνειας του υποστυλώματος και τοποθέτηση συνδετήρων υπό μορφή βλήτρων[5,6,7,9].



Εικόνα 4:Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος [8]

Δ)Χρήση μεταλλικού μανδύα(ελλειπτικός ή οχτάγωνος)

Η τεχνική αυτή αν χρησιμοποιηθεί από μόνη της αυξάνει σημαντικά την πλαστιμότητα και την απορρόφηση ενέργειας των δομικών στοιχείων, ενώ σε συνδυασμό με προσθήκη εσωτερικών συνδετήρων ή χρήση βιδών επιφέρει θεαματικά βελτιωμένα αποτελέσματα.[5,6,7]



Εικόνα 5: Περίσφιξη με γενικό μεταλλικό μανδύα [8]

α. Ορθογωνική

β. Ελλειπτική

Ε)Μέθοδος CS

Η νέα μέθοδος «CS» συνδυάζει τη χρήση μεταλλικού μανδύα με τη χρήση μανδύα από σύνθετα υλικά. Στις πλευρές του υποστηλώματος τοποθετούνται μεταλλικές πλάκες οι οποίες στην συνέχεια τυλίγονται με φύλλα σύνθετων υλικών. Η «CS» συγκρινόμενη με τις άλλες μεθόδους παρουσίασε ικανοποιητική συμπεριφορά αν και χρειάζεται περισσότερη έρευνα για τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.[7]

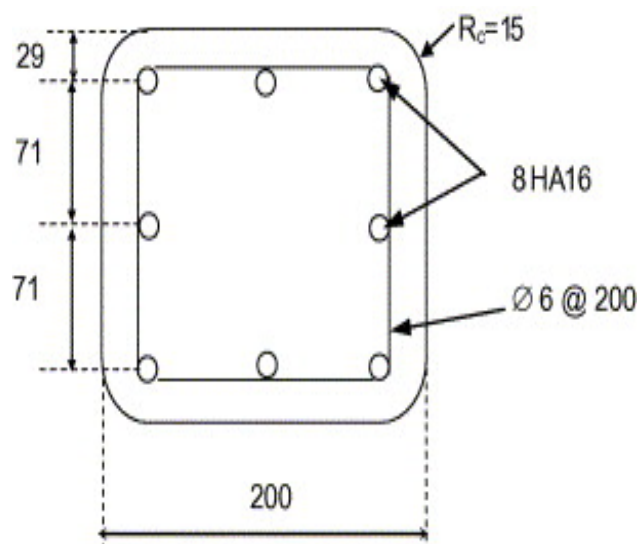
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι όσον αφορά τα κοντά υποστυλώματα καλό θα ήταν να αποφεύγεται η μέθοδος όπου αυξάνεται η διατομή τους, διότι η αύξηση της διατομής και ο πρόσθετος διαμήκης οπλισμός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τέμνουσας λόγω σεισμικής δράσης η οποία οδηγεί σε μικρότερο λόγο διάτμησης και το φαινόμενο του κοντού υποστηλώματος αυξάνεται. Βέβαια σε περιπτώσεις επισκευής αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι αναπόφευκτη εξαιτίας της αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος.

Η επέμβαση που τελικά θα επιλεγεί εκτός από τον οικονομικό παράγοντα προϋποθέτει τη σωστή εκτίμηση της βλάβης, την αντοχή της κατασκευής και φυσικά την εμπειρία του πολιτικού μηχανικού. Πάντως οι μανδύες με ινοπλισμένα πολυμερή αποτελούν ίσως τον πλέον εύχρηστο τρόπο επιβολής της περίσφιξης και για αυτό το λόγο ακολουθεί πείραμα με τη χρήση τους[9].

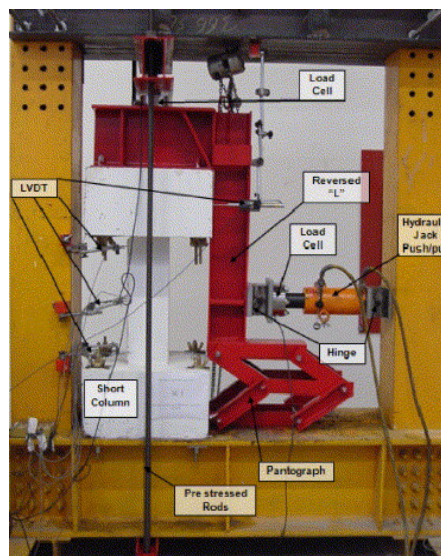
4.Πειραματική έρευνα σχετική με ενίσχυση κοντών υποστυλωμάτων με χρήση FRP [2]

Σε πείραμα που έγινε χρησιμοποιήθηκαν 8 κοντά υποστυλώματα με τετραγωνικές διατομές $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ και ύψος 600mm , με διαμήκη οπλισμό $8\Phi 16$ και συνδετήρες $3\Phi 6/200$ όπως φαίνεται και στο σχ.1. Το ποσοστό του διαμήκη οπλισμού είναι $P_s=4\%$ και το αντίστοιχο ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού είναι $0,14\%$ με σκοπό να εξασφαλιστεί η διατμητική αστοχία(αν και είναι αυτός ο τρόπος αστοχίας που πρέπει να αποφεύγεται καθώς είναι πιο ψαθυρός από τον αντίστοιχο της κάμψης). Στόχος του συγκεκριμένου πειράματος είναι η αύξηση της πλαστιμότητας και του μέγιστου φορτίου που μπορεί να φέρει το κοντό υποστυλώμα καθώς και η αλλαγή του τρόπου αστοχίας του που επιθυμούμε να είναι όσο πιο όλκιμη γίνεται παρά την αναμενόμενη διατμητική αστοχία. Για να δημιουργηθούν όσο το δυνατόν πραγματικές συνθήκες στο πείραμα τα δύο άκρα κάθε υποστηλώματος εγκιβωτίστηκαν σε δύο πρίσματα οπλισμένου σκυροδέματος, όπου το κάτω λειτούργησε σαν πάκτωση, ενώ στο πάνω προσαρμόστηκε μεταλλικό στοιχείο για την εφαρμογή φορτίων, ενώ παράλληλα έδινε τη δυνατότητα της οριζόντιας μετακίνησης στο υποστυλώμα (σχ.2).

Ένα από τα υποστυλώματα δεν ενισχύθηκε καθόλου και θα χρησιμοποιηθεί ως αναφορά(SC-1). Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπ' όψιν για τα υπόλοιπα 7 ήταν το πάχος της ενίσχυσης FRP (δηλαδή ο αριθμός των στρώσεων), το υλικό καθώς και ο τρόπος ενίσχυσής τους.



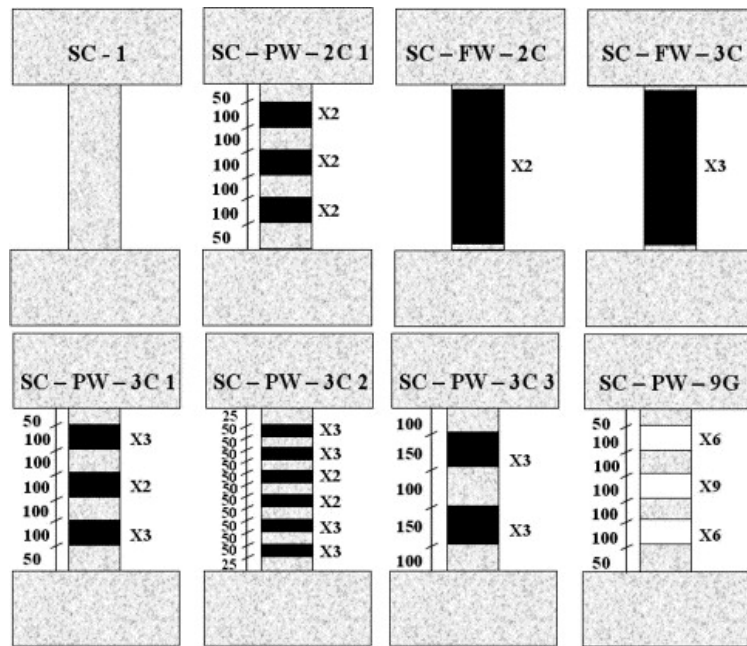
Σχήμα 1: Διάταξη οπλισμού [2]



Σχήμα 2: Συσκευή φόρτισης [2]

Το δεύτερο υποστυλώμα ενισχύθηκε με φύλλα άνθρακα ύψους 100mm και ανά διαστήματα των 100mm(SC-PW-2C1), το τρίτο και το τέταρτο ενισχύθηκαν πλήρως σε όλο το ύψος τους με δύο και με τρεις στρώσεις άνθρακα αντίστοιχα(SC-FW-2C και SC-FW-3C). Προκειμένου να έχουμε πιο σφαιρική άποψη για την ενίσχυση με FRP στα επόμενα δοκίμια τοποθετήθηκαν φύλλα άνθρακα όχι σε όλο το ύψος τους αλλά σε ορισμένες επιφάνειες(μερικώς ενισχυμ). Το SC-PW-3C1 ενισχύθηκε με τρεις στρώσεις άνθρακα ύψους 100mm κοντά στις στηρίξεις και με δύο στρώσεις στο μέσον του. Παρόμοια το υποστυλώμα SC-PW-3C2 ενισχύθηκε με φύλλα άνθρακα ύψους 50mm ανά 50mm, ενώ το SC-PW-3C3 με δύο στρώσεις άνθρακα ύψους 150mm ανά 100mm. Τέλος στο υποστυλώμα SC-PW-9G χρησιμοποιήθηκαν ίνες γυαλιού. Για καλύτερη κατανόηση των συγκεκριμένων τρόπων ενίσχυσης των κοντών υποστυλωμάτων χρησιμοποιείται το σχήμα 3.

Τα αποτελέσματα του πειράματος όσον αφορά το μέγιστο φορτίο και τον τρόπο αστοχίας έδειξαν ότι τα μερικώς ενισχυμένα υποστυλώματα αστοχούν σε μικρότερες τιμές φορτίου και μάλιστα ψαθυρά(πίνακας 1) σε σχέση με τα πλήρως ενισχυμένα τα οποία αστοχούν σε κάμψη(επιθυμητός τρόπος αστοχίας). Παράλληλα όσο και αν ήταν το ύψος των ζωνών και τα κενά μεταξύ τους η συμπεριφορά των υποστυλωμάτων ήταν παρόμοια ,ενώ αμελητέα ήταν και η διαφορά ανάμεσα στο γυαλί και στον άνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν σαν ίνες αν και ο άνθρακας φαίνεται να υπερτερεί έστω και λίγο.(βλ.σχ.4)



Σχήμα 3: Τρόποι ενίσχυσης κοντών υποστλωμάτων [2]

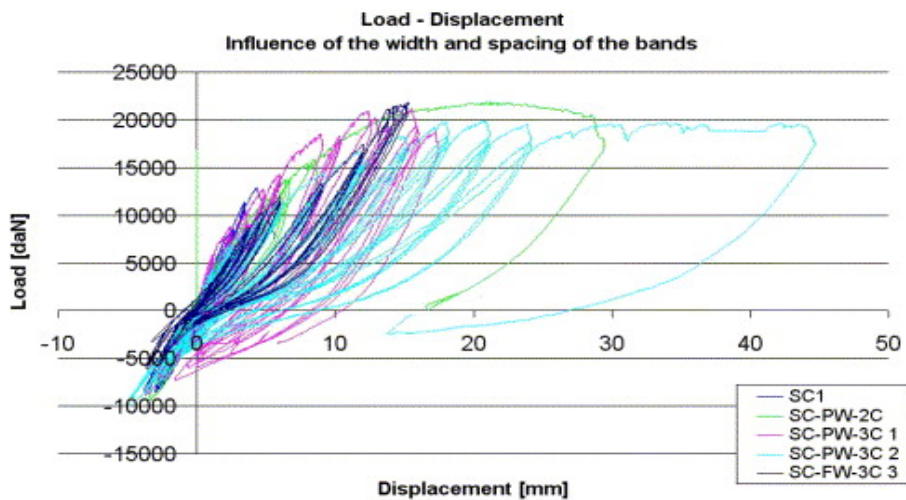
Κοντό
υποστώλιωμα

Μέγιστο
φορτίο

Τρόπος
Αστοχίας

SC 1	128.30	Διάτμηση
SC-PW-2C	217.90	Διάτμηση
SC-FW-2C	256.60	Κάμψη
SC-FW-3C	260.10	Κάμψη
SC-PW-3C 1	211.56	Διάτμηση
SC-PW-3C 2	199.11	Διάτμηση
SC-PW-3C 3	218.66	Διάτμηση
SC-PW-9G	223.47	Διάτμηση

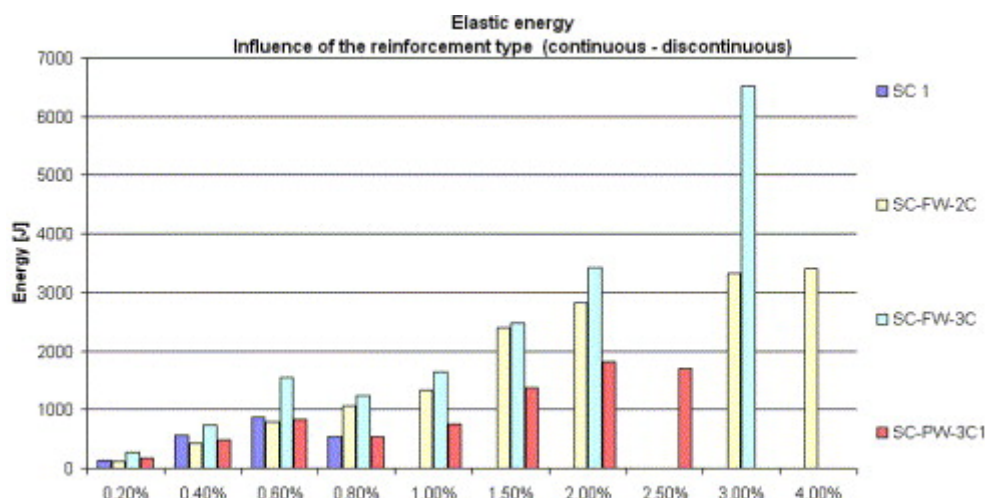
Πίνακας 1: Μέγιστο φορτίο-Τρόπος αστοχίας δοκιμίων [2]



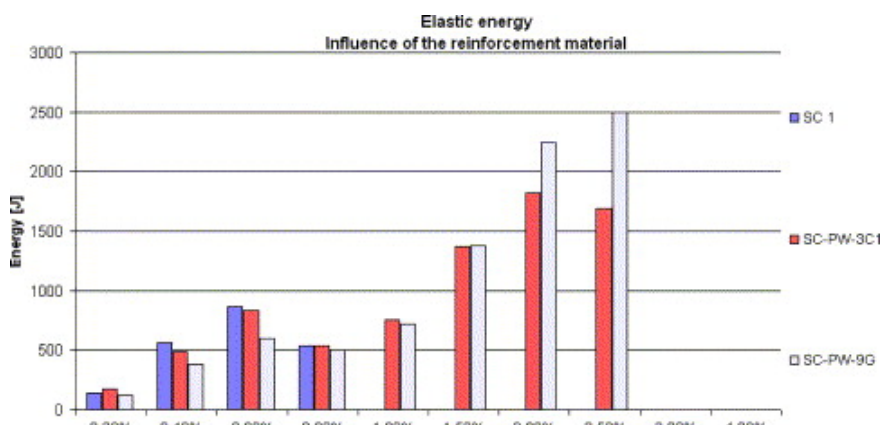
Σχήμα 4: Διάγραμμα φορτίου-παραμόρφωσης [2]

Όσον αφορά την ελαστική ενέργεια βρέθηκε ότι τα πλήρως ενισχυμένα υποστώλιωματα έχουν σαφώς υψηλότερες ελαστικές ιδιότητες από τα μερικώς ενισχυμένα (βλ. σχ.5), ενώ

παράλληλα το γυαλί είναι καταλληλότερο από τον άνθρακα(βλ.σχ.6). Επίσης αν συγκρίνουμε τα μερικώς ενισχυμένα υποστυλώματα θα παρατηρήσουμε ότι έχουν παρόμοιες ιδιότητες ανεξάρτητα από το ύψος των στρώσεων και τα κενά μεταξύ τους.



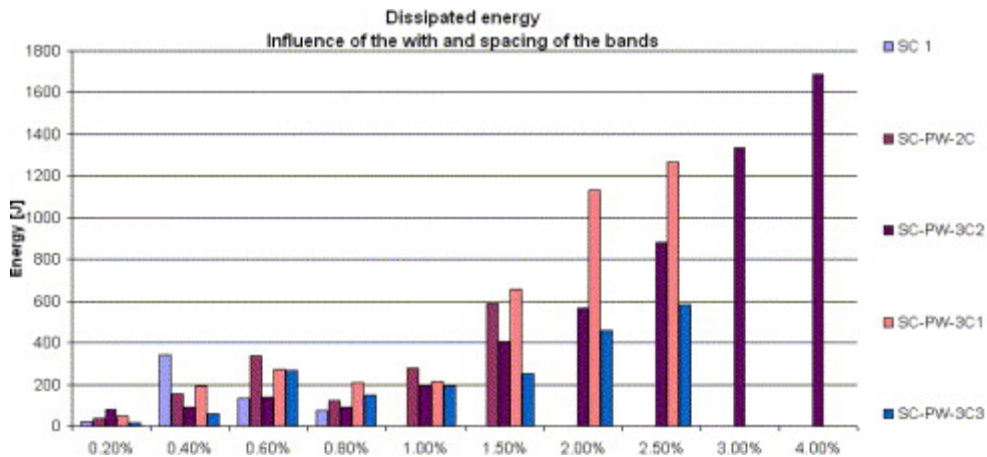
Σχήμα 5: Διάγραμμα ελαστικής ενέργειας-παραμόρφωσης. Σύγκριση κοντών υποστυλωμάτων με βάση τον τρόπο ενίσχυσης(συνεχής ή μη) [2]



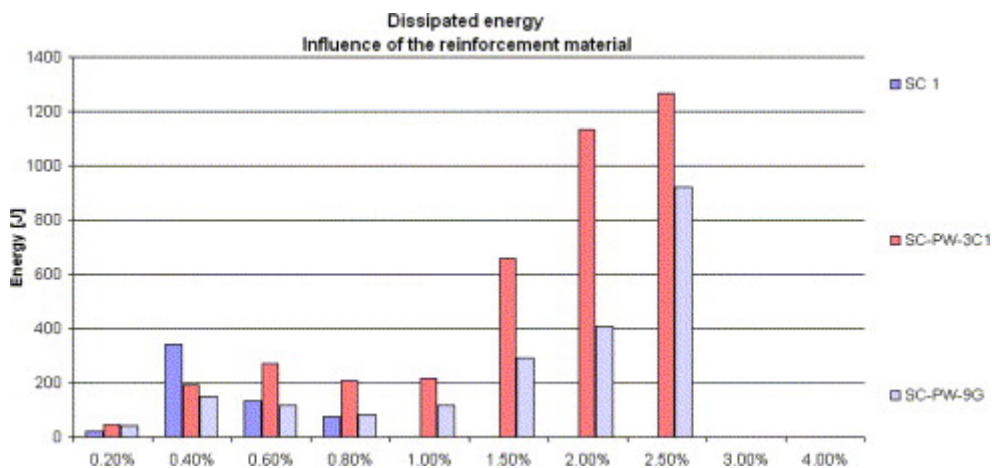
Σχήμα 6: Διάγραμμα ελαστικής ενέργειας-παραμόρφωσης. Σύγκριση κοντών υποστυλωμάτων με βάση το υλικό ενίσχυσης [2]

Τέλος όσον αφορά την πλαστική ενέργεια από το σχ.7 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στα μερικώς ενισχυμένα υποστυλώματα είναι προτιμότερο να τοποθετούνται στρώσεις FRP μικρού ύψους με μικρά κενά ανάμεσά τους (όπως το SC- PW-3C2) καθώς δείχνουν ότι έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας από τα αντίστοιχα υποστυλώματα με μεγάλο ύψους στρώσεις και μεγάλα κενά ανάμεσά τους (SC-PW-3C1). Κατά τη διάρκεια της ελαστικής ανάλυσης το γυαλί που χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό FRP φάνηκε να είναι μια καλή λύση. Όμως η πλαστική μελέτη που έγινε έδειξε ότι ο άνθρακας μπορεί να απορροφήσει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας(βλ.σχ.8).

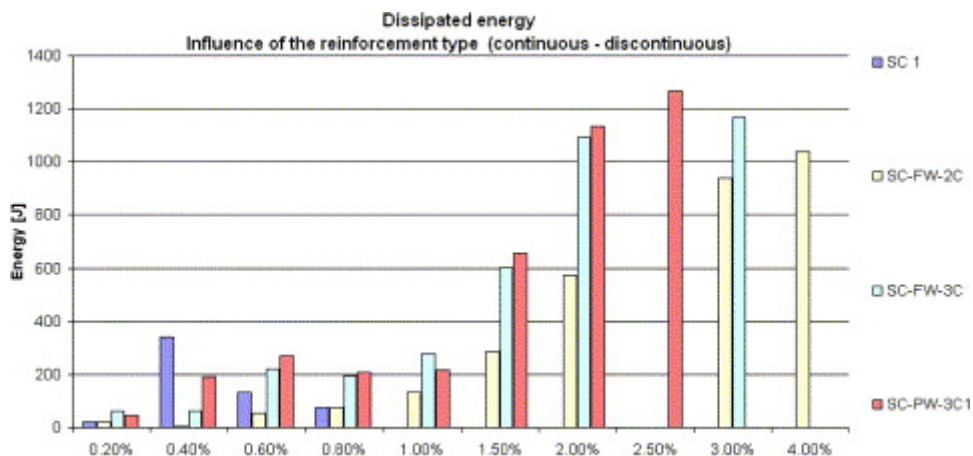
Επίσης παρατηρούμε ότι τα μερικώς ενισχυμένα υποστυλώματα έχουν τις καλύτερες αποδόσεις από πλευράς πλαστικής μελέτης(σχ.9) και έχουν το επιπλέον πλεονέκτημα ότι χρειάζονται σχεδόν το μισό ύφασμα από τα πλήρως ενισχυμένα.



Σχ.7: Διάγραμμα πλαστικής ενέργειας-παραμόρφωσης. Σύγκριση κοντών υποστλωμάτων με βάση το ύψος και τα κενά των στρώσεων. [2]



Σχ.8: Διάγραμμα πλαστικής ενέργειας-παραμόρφωσης. Σύγκριση κοντών υποστλωμάτων με βάση το υλικό ενίσχυσης [2]



Σχ.9: Διάγραμμα πλαστικής ενέργειας-παραμόρφωσης. Σύγκριση κοντών υποστλωμάτων με βάση τον τρόπο ενίσχυσης (συνεχής ή μη) [2]

Άλλες πειραματικές διαδικασίες που εξέτασαν παραμέτρους που δεν συμπεριλαμβάνονται στο πείραμα μας έδειξαν ότι: α) αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού οδηγεί σε πιο πλαστική συμπεριφορά του στοιχείου, αλλά ταυτόχρονα και σε μείωση των τάσεων των FRP σε όλο το

ύψος τους, β) με τη χρησιμοποίηση περισσότερων στρώσεων FRP έχουμε αύξηση της απορρόφησης ενέργειας και γ) η επίδραση αγκύρωσης του FRP φαίνεται να είναι σημαντική αφού βελτιώνεται έτσι η κατανομή των τάσεων λόγω περίσφυξης με αποτέλεσμα την αποφυγή του λυγισμού στις πλευρές της διατομής του υποστυλώματος[1].

5. Συμπεράσματα

Η ενίσχυση με FRP άλλαξε τελείως τον τρόπο αστοχίας των κοντών υποστυλωμάτων τα οποία ήταν πλήρως ενισχυμένα καθώς μετατράπηκε από ψαθυρή, διατμητική σε όλκιμη και καμπτική αστοχία παρά τον ανεπαρκή εγκάρσιο οπλισμό τους (πίνακας 1). Η ενίσχυση με μερική κάλυψη είναι συμφέρουσα από άποψη πλαστικής συμπεριφοράς και οικονομίας, αλλά υστερεί όσον αφορά την ελαστική ενέργεια, το μέγιστο φορτίο που μπορεί να παραλάβει και τον τρόπο αστοχίας καθώς αστοχεί σε διάτμηση[2]. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η αποτελεσματικότητα της περίσφυξης είναι βέλτιστη όταν η κάλυψη του στοιχείου με μανδύα είναι πλήρης, ενώ αν είναι μερική η αποδοτικότητα αυξάνεται όσο μειώνεται το διάστημα των στρώσεων FRP[6].

Συνοψίζοντας μπορούμε να επιτύχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα εάν ενισχύσουμε τα κοντά υποστυλώματα με ίνες άνθρακα και εάν η ενίσχυση είναι συνεχής και όχι μερική. Επίσης πρέπει να προσέχουμε την ποσότητα FRP που τοποθετούμε καθώς πολύ μεγάλη ποσότητα ενίσχυσης μπορεί να επιφέρει μη αναμενόμενα αποτελέσματα[2].

Τέλος όσον αφορά τον αρχικό σχεδιασμό των κοντών υποστυλωμάτων καλό θα ήταν η τοποθέτηση δισδιαγωνίου οπλισμού για την αποφυγή της πρόωρης ψαθυρής διατμητικής αστοχίας, αν και γενικά θα πρέπει να αποφεύγονται καθώς είναι ιδιαίτερα τρωτά σε σεισμό[4].

6. Βιβλιογραφία

- [1] K. Galal, A. Arafa, A. Ghobarah, Online Article: "Retrofit of RC square short columns", Engineering Structures, Volume 27, Issue 5, 26 February 2005, Pages 801-813
- [2] F. Colomb, H. Toggi, E. Ferrier, P. Hamelin, Online Article: "Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials" Composite Structures, Volume 82, Issue 4, February 2008, Pages 475-487
- [3] Μανώλης Βουγιούκας, Αθήνα σεισμός 5,9 R Σύνοψη οδηγιών για Επισκευές βλαβών από Σεισμό" παράγραφος 2.2.6.2
- [4] Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος 2000 σελ:385,387
- [5] Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης του Ζυγούρη Κων/νου: "Σεισμική ενίσχυση μέσω περίσφυξης υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος σε περιοχές ματίσεων με πλέγματα συνεχών ινών σε ανόργανη μήτρα", Πάτρα Μάιος 2007 σελ:1-4,9,13,16,21,22,23.
- [6] Διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης της Λοντού Βασ. Παναγιώτας: "Ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος μέσω περίσφυξης με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας", Πάτρα 2006 σελ:2-5,12,13,15,32,33,34.
- [7] Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης του Σταύρου Βασ. Αντύπα "Αποκατάσταση ανεπαρκών αναμονών υποστυλωμάτων μέσω περίσφυξης", Πάτρα 2006 σελ:2,5,30,38,39,,51,52,73,74,78.
- [8] www.episkeves.civil.upatras.gr
- [9] Σ.Η. Δρίτσος, "Ενισχύσεις/ Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα", Πάτρα 2007