

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ FRP ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

**ΣΠΑΘΗΣ ΣΠΥΡΟΣ
ΔΡΟΣΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την εργασία, αρχικά γίνεται η παρουσίαση των ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών και των κατασκευαστικών λεπτομερειών τους. Έστερα παρατίθενται η συμπεριφορά των ινοπλισμένων πολυμερών σε σεισμικές δράσεις και ακολούθως παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα πειράματα και τα αποτελέσματα αυτών για κατανόηση και επιβεβαίωση των προαναφερθέντων

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε κατασκευή που βρίσκεται σε μια έντονα σεισμογενή περιοχή όπως είναι ο Ελλαδικός χώρος, καλείται να αντιμετωπίσει σεισμικές φορτίσεις σε σχετικά πυκνά χρονικά διαστήματα στη διάρκεια της ζωής της. Η σεισμική φόρτιση διαφέρει ως προς τις άλλες και ως προς ότι δεν επιβάλλει δύναμη στην κατασκευή αλλά (εξαναγκασμένη) παραμόρφωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μας ενδιαφέρει όχι μόνο η εξασφάλιση μεγάλης αντοχής αλλά και μεγάλης πλαστιμότητας.

Είτε λόγω κατασκευής κτιρίων με παλιότερους κανονισμούς (οι οποίοι δεν ήταν επαρκείς για σεισμικές δράσεις) είτε λόγω κακής κατασκευής κτιρίου τίθεται η ανάγκη να ενισχυθεί το κτίριο ώστε να αυξηθεί η αντοχή και η πλαστιμότητα του. Μια μέθοδος ενίσχυσης είναι η χρησιμοποίηση ινοπλισμένων πολυμερών(FRP).

Υπό την προϋπόθεση ότι η επέμβαση δεν αποσκοπεί σε αύξηση της δυσκαμψίας, με δεδομένη την επιβαλλόμενη σεισμική καταπόνηση θα πρέπει αρχικά να υπολογισθεί για κάθε υποστύλωμα α) η απαιτούμενη του τιμή δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων και β) η τέμνουσα σχεδιασμού (η οποία, ανάλογα με τη δυσκαμψία κάθε υποστυλώματος, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η διαρροή του διαμήκους οπλισμού να προηγείται της διατμητικής αστοχίας- ικανοτική τέμνουσα). Το πάχος του μανδύα των σύνθετων υλικών είναι το μέγιστο των παχών που απαιτούνται για την εξασφάλιση του απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας, της τέμνουσας σχεδιασμού, της αποφυγής λυγισμού των διαμήκων ράβδων και της αποφυγής αστοχίας σε περιοχές σε ματίσεις αν υπάρχουν.

2.ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι ίνες στα σύνθετα υλικά αποτελούν το κύριο φορέα ανάληψης δυνάμεων παράλληλα στη διεύθυνση τους. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή, το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και η γραμμικά εφελκυστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους. Σημαντικό είναι ότι όταν γίνει χρησιμοποίηση υφασμάτων δεν αλλάζει η δυσκαμψία του μέλους (οπότε και της κατασκευής), γεγονός ιδιαίτερα ευνοϊκό όταν απλώς θέλουμε να αυξήσουμε μόνο τη πλαστιμότητα του μέλους και την αντοχή του χωρίς να μεταβάλουμε τη συμπεριφορά του κτιρίου στις φορτίσεις. Όμως σε ιδιαίτερα εύκαμπτες κατασκευές(π.χ. κτίρια με πιλοτή) τότε πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, διότι αν η οριζόντια μετάθεση ορόφου αποτελέσει

παράμετρο ελέγχου στο σχεδιασμό της ενίσχυσης των επιμέρους κατακόρυφων στοιχείων, τότε η βελτίωση μόνο της ικανότητας για παραμόρφωση μέσω μανδύα σύνθετων υλικών μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής λύση σε σχέση με τις σύγχρονες απαιτήσεις αντισεισμικότητας(οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν και αύξηση δυσκαμψίας)

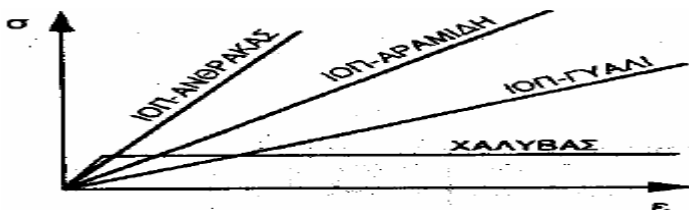
Υπάρχουν 3 τύποι ινών άνθρακα: με συντελεστές υψηλών, μέσων και χαμηλών μέτρων ελαστικότητας (230, 390~440 και 540~640 GPa αντίστοιχα) όπως φαίνεται στο πίνακα , ,3 τύποι ινών γυαλιού (τύπου E Z και S)και 2 τύποι με συντελεστές υψηλών και χαμηλών μέτρων ελαστικότητας για το φύλλο ινών αραμιδίου (114 και 78,4 GPa αντίστοιχα). Η οριακή παραμόρφωση των ινών αραμιδίου είναι περίπου 4.5% ,που είναι περίπου 1,5% υψηλότερη σε σχέση με αυτή των ινών άνθρακα και περίπου ίση με αυτή των ινών γυαλιού. Όμως το αραμίδιο έχει μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας(όπως φαίνεται και στο σχ 1). Κατά συνέπεια οι ίνες αραμιδίου είναι καλύτερες για την ενίσχυση σε σεισμικά φορτία επειδή η κύρια απαίτηση είναι η μεγαλύτερη δυνατή παραμορφωσιμότητα της κατασκευής καθώς το σεισμό των εξιδανικεύουμε πλέον σαν μια εξαναγκασμένη μετατόπιση. Όμως επειδή η αξία του αραμιδίου είναι πολύ μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται κυρίως ίνες άνθρακα το οποίο μπορεί να έχει μικρότερη οριακή παραμόρφωση αστοχίας όμως έχει αρκετά μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας(περίπου το τριπλάσιο του γυαλιού).

Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας (%)
Άνθρακας			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2.0
Υπερ-υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπερ-υψηλού μέτρου ελαστικ.	500-700	2100-2400	0.2-0.4
Γυαλί			
E	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
Αραμίδιο			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας (Κέβλαρ 29)	70-80	3500-4100	4.3-5.0
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας (Κέβλαρ 49, Twaron)	115-130	3500-4000	2.5-3.5

Πιν:1(μηχανικά χαρακτηριστικά ινοπλισμένων πολυμερών)(βιβλιογραφία 1)

Το μέτρο ελαστικότητας και η εφελκυστική αντοχή εξαρτώνται από τις αντίστοιχες ιδιότητες των ινών καθώς και από την κατά όγκο περιεκτικότητα των ινών στο σύνθετο υλικό όπως φαίνεται και στις παρακάτω σχέσεις:

$E_f = E_{fib} V_{fib}$ και $f_f = f_{fib} V_{fib}$ όπου E_{fib} f_{fib} είναι το μέτρο ελαστικότητας και η εφελκυστική αντοχή των ινών αντίστοιχα και V_{fib} είναι το ογκομετρικό ποσοστό των ινών. Δύο στρώσεις υφασμάτων έχουν ισοδύναμο μηχανικά χαρακτηριστικά όταν έχουν το ίδιο το γινόμενο $n t_{στρ} E_F$ όπου n ο αριθμός στρώσεων, $t_{στρ}$ το πάχος υφάσματος και E_F το μέτρο ελαστικότητας.



(Βιβλιογραφία 5)
(σχ.1 – Σχέσεις τάσης- παραμόρφωση για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό)

Λόγο της ύπαρξης ρητίνης στα σύνθετα υλικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή $T_{αg}$ (γύρω στους 80^0) τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ρητινών υφίστανται ραγδαία υποβάθμιση. Για χαμηλές θερμοκρασίες δεν υπάρχει καμία μεταβολή των χαρακτηριστικών μέχρι κάποιων θερμοκρασιών που όμως είναι αρκετά ακραίες

Η επίδραση της υγρασίας είναι πρακτικά αμελητέα εκτός ακραίων περιπτώσεων που επηρεάζουν ίνες γυαλιού και αραμιδίου. Οι ίδιες είναι ευπαθείς σε αλκαλικό και όξινο περιβάλλον γι αυτό σε περιπτώσεις που οι συνθήκες αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο προτείνεται η τοποθέτηση ινών από άνθρακα. Όπως έχουν δείξει πολλές έρευνες το FRP προσφέρει σημαντική προστασία εναντίον της διάβρωσης του χάλυβα. Ακόμα και σε περιπτώσεις που δεν τοποθετούμε υφάσματα καθ' όλο το ύψος του υποστηλώματος στο οποίο το οξυγόνο μπορεί να μπαίνει από το μη καλυμμένο μέρος του υποστυλώματος παρατηρείται πάλι μείωση του ρυθμού διάβρωσης (περίπου το διπλάσιο χρόνο). Π.χ. στο πείραμα που έκαναν οι Harichandran, R. S., και Baiyasi δείξαν ότι ύστερα από 190 μέρες επιταχυνόμενης διάβρωσης το βάθος διάβρωσης μειώθηκε κατά 50%. Όσο αφορά το θέμα της κόπωσης (η οποία μπορεί να μειώσει την αντοχή των ινών) οι ίνες άνθρακα έχουν τη μεγαλύτερη αντοχή η οποία μάλιστα είναι μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα. Η αντοχή σε κόπωση ενός συστήματος ινοπλισμένου πολυμερούς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της ρητίνης στο οποίο εμποτίζονται οι ίνες. Τέλος όταν υπάρχει κίνδυνος μεγάλων κρουστικών φορτίων (π.χ. σε υποστηλώματα γεφυρών) προτείνεται να τοποθετούνται ίνες αραμιδίου καθώς έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή από τα υπόλοιπα

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ FRP

Η εφαρμογή των σύνθετων ινοπλισμένων σε μέσο ενίσχυσης είναι γενικά μια εύκολη διαδικασία. Εξάιρεση αποτελεί η τοποθέτηση για ενίσχυση FRP σε κάμψη. Τα στοιχεία τα οποία τοποθετούνται πρέπει να αγκυρώνονται επαρκώς στους κόμβους πράγμα το οποίο είναι εξαιρετικά δύσκολο. Για να εξασφαλισθεί η συνέχεια (αγκύρωση) των οπλισμών στο κόμβο πρέπει είτε οι δοκοί να έχουν μικρότερο πλάτος από τα υποστυλώματα είτε να χρησιμοποιούνται οπλισμοί σύνθετων υλικών μικρού πλάτους π.χ. μορφής ράβδων. Αντιθέτως η τοποθέτηση ελασμάτων ή υφασμάτων για ενίσχυση σε διάτμηση ή για περίσφιξη είναι αρκετά εύκολη. Καταρχήν απαιτείται απομάκρυνση του επιφανειακού γαλακτώματος του στοιχείου στην περιοχή όπου θα γίνει επιβολή του υφάσματος. Οι επιφάνειες πρέπει να καθαριστούν μέχρι να αποκαλυφθούν τα αδρανή (συνήθως γίνεται με χρήση μηχανικού τριβίου). Μικροκοιλότητες στην επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να γεμιστούν με παχύρρευστο υλικό, το οποίο είναι συνήθως εποξειδικός στόκος, αποτελούμενο από δύο συστατικά με συγκεκριμένη αναλογία και χαρακτηριστικά, όπως ο χρόνος εργασιμότητας (2-3hr), που δίνονται από τον προμηθευτή. Γενικά κάθε ίχνος σκόνης που θα μπορούσε να επηρεάσει δυσμενώς την πρόσφυση του συγκολλητικού υλικού πρέπει να απομακρυνθεί από την επιφάνεια. Επίσης η επιφάνεια πρέπει να είναι εξομαλυσμένη και σχετικά λεία, ώστε να υπάρχει συνεχής επαφή του σύνθετου υλικού και του σκυροδέματος και για να μη πληγώνεται ο μανδύας από τυχόν εξογκώματα. Απαραίτητη είναι η σωστή διαμόρφωση των γωνιών του στοιχείου, ώστε να αποφύγουμε τις συγκεντρώσεις τάσεων στο μανδύα στις γωνίες. Μια καμπυλότητα των 3cm κρίνεται γενικά αποδεκτή. Όμως επειδή με την αφαίρεση του σκυροδέματος δημιουργείται ανώμαλη επιφάνεια πρέπει να τοποθετούμε επισκευαστικό

μη συρρικνωμένο κονίαμα με αντοχή αποκόλλησης από το σκυρόδεμα γύρω στα 1.5-2.5 Μρα. Επίσης το ύψος του υφάσματος πρέπει να είναι το μέγιστο μεταξύ του () και το ύψος που χρειάζεται για να εσωκλείει τη μάτιση. Η τοποθέτηση του υφάσματος γίνεται ως εξής:

Προοδευτικά τοποθετείται στρώση ρητίνης πάνω στην οποία επικολλείται το σύνθετο υλικό το οποίο πρέπει να μην είναι χαλαρό και ύστερα από τη τοποθέτηση του να πιέζεται ώστε να μην εγκλωβίζεται αέρας. Η επικόλληση πολλαπλών στρώσεων εξασφαλίζεται μέσω της συνεχούς περιτύλιξης με ύφασμα και της ταυτόχρονης εφαρμογής ρητίνης πάνω σε κάθε στρώση υφάσματος. Στο τέλος πρέπει να γίνεται παράθεση των άκρων που πρέπει να είναι περίπου ίσο με το μισό της μεγαλύτερης πλευράς. Επίσης πρέπει να αφήνεται αρμός στη βάση του υποστυλώματος ώστε να εξασφαλίζεται η ανεμπόδιση στροφή του και το ύφασμα να επικαλύπτεται με μια επιφανειακή στρώση επίχρισης τόσο για αισθητικούς λόγους όσο όπως προαναφέρθηκε για να αποφεύγεται η επαφή τους με τον ήλιο.

Από βιβλιογραφία 2.



(α) δημιουργία καμπυλότητας γωνιών



(β) τοποθέτηση πρώτης στρώσης επ. ρητίνης και κονιάματος



(γ) επάλειψη μανδύα με ρητίνη και τοποθέτηση επόμενων στρώσεων

4.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

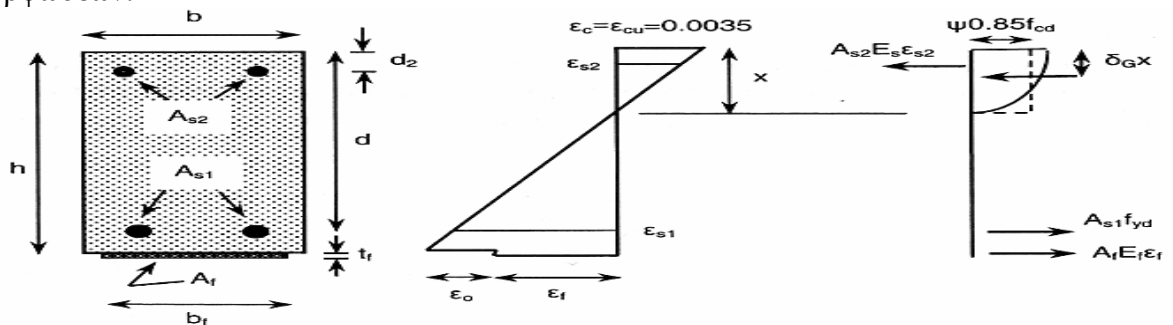
4.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Η εφαρμογή σύνθετων υλικών για ενισχύσεις έναντι κάμψης γίνεται μέσω ελασμάτων ή υφασμάτων τα οποία επικολλούνται στο εφελκόμενο πέλαμα με διεύθυνση των ινών τέτοια ώστε να παραλαμβάνουν τις λόγω κάμψης εφελκυστικές δυνάμεις. Η εφαρμογή σε υποστυλώματα όμως με τους δύο παραπάνω τρόπους είναι γενικά δύσκολη, δεδομένου ότι στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να εξασφαλισθεί η αγκύρωση των οπλισμών εντός των κόμβων. Στη περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε ράβδους FRP θα πρέπει να επικαλυφθεί με σκυρόδεμα ώστε να υπάρξει συνεργασία με το στοιχείο προς ενίσχυση. Στην ουσία δηλαδή θα δημιουργηθεί ένας οπλισμένος μανδύας με FRP αντί για χάλυβα. Πάνω στο συγκεκριμένο θέμα έχουν γίνει αρκετές έρευνες (π.χ. Håkan Nordin, Calvin D. Austin) για τα πλεονεκτήματα των ράβδων FRP, καθώς και για προντεταμένους ράβδους, οι οποίες δείχνουν ότι σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά όταν έχουμε πρόβλημα διάβρωσης (π.χ. σε υποστηλώματα γεφυρών) συμφέρει η χρησιμοποίηση των ράβδων FRP. Όμως επειδή το κόστος τους είναι πολύ αυξημένο λόγω της μικρής ζήτησης τους καθιστά οικονομικά ασύμφορη τη χρησιμοποίησή τους έναντι του χάλυβα.

Ο μηχανισμός αστοχίας σε κάμψη (υπό την προϋπόθεση επαρκούς αγκύρωσης) θα είναι :

- 1) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, σύνθλιψη σκυροδέματος
- 2) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, αποκόλληση ή θραύση σύνθετων υλικών
- 3) σύνθλιψη σκυροδέματος

Ο πιο επιθυμητός τρόπος αστοχίας είναι ο πρώτος σύμφωνα με τον οποίο έχουμε πρώτα διαρροή του διαμήκου οπλισμού σε εφελκυσμό και ακολούθως σύνθλιψη του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη, χωρίς να υπάρχει αστοχία ή κάποιου είδους αποκόλληση στα σύνθετα υλικά. Ο υπολογισμός της ροπής αντοχής στην κρίσιμη διατομή του υποστυλώματος (στην βάση του δηλαδή) για αυτό το μηχανισμό αστοχίας γίνεται βάσει ισορροπίας των εσωτερικών δυνάμεων και του ασυμβίβαστου των παραμορφώσεων:



Σχ:2 (βιβλιογραφία 1)

Υπολογισμός θλιβόμενης ζώνης:

$$0.85\psi f_{cd} b x + A_{s2} E_s \epsilon_{s2} = A_{s1} f_{yd} + A_f E_f \epsilon_f + N_{sd}$$

Όπου $\psi = 0.8$ f_{cd} = θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (τιμή σχεδιασμού), χ = ύψος θλιβόμενης ζώνης, f_{yd} = τάση διαρροής χάλυβα (τιμή σχεδιασμού) και A_f = εμβαδό διατομής σύνθετων υλικών. ϵ_{s2} και ϵ_f είναι οι παραμορφώσεις του θλιβόμενου χάλυβα και των σύνθετων υλικών αντίστοιχα, όπου :

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_c (\chi - d_2) / \chi, \varepsilon_f = \varepsilon_c [(h - \chi) / \chi] - \varepsilon_0$$

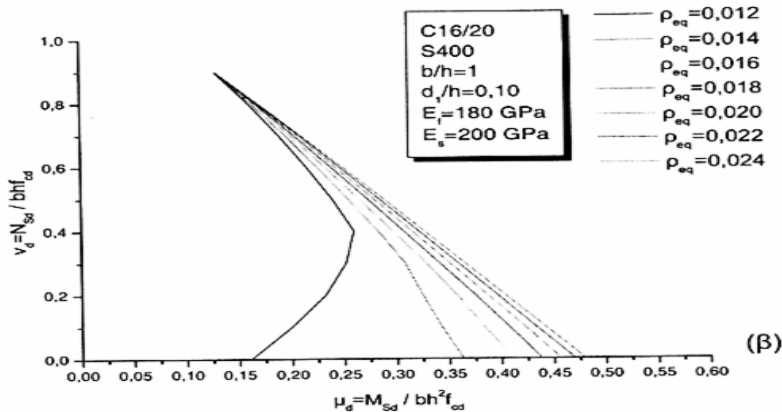
όπου $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$, με ε_{cu} = είναι η οριακή παραμόρφωση του σκυροδέματος (= 0.0035) και ε_0 η αρχική παραμόρφωση στην ακραία εφελκόμενη ίνα. Ακόμα πρέπει $E_c \varepsilon_{c2} > f_{yd}$

Υπολογισμός ροπής αντοχής:

$$M_{Rd} = A_{s1} f_{yd} (d - \delta_G \chi) + A_f E_f \varepsilon_f (h - \delta_G \chi) + A_{s2} E_s \varepsilon_{s2} (\delta_G \chi - d_2) + N_{sd} [(h/2) - \delta_G \chi], \text{όπου } \delta_G = 0.4$$

Ο δεύτερος τρόπος αστοχίας είναι και ο πιο σπάνιος και ενδέχεται να εμφανιστεί μόνο αν το εμβαδό της διατομής των σύνθετων υλικών είναι πάρα πολύ μικρό.

Σύμφωνα με τον τρίτο μηχανισμό, η θραύση σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη προηγείται οποιασδήποτε άλλης αστοχίας και αντιστοιχεί σε ψαθυρή συνπεριφορά. Αυτός ο τρόπος δεν είναι αποδεκτός.



Σχ:3 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης τετραγωνικής διατομής για μονοαξονική κάμψη με αξονική δύναμη. C16/20 S400 $d_1/h=0.1$ $E_f=180\text{GPa}$ και $A_{stot} = 1.2\%$ (βιβλιογραφία 1)

Από το παραπάνω διάγραμμα αλληλεπίδρασης φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα των σύνθετων υλικών στην αύξηση της ροπής αντοχής εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος του αξονικού φορτίου, και πάντως μειώνεται όσο αυτό αυξάνεται. Επίσης φαίνεται ότι οι καμπύλες αλληλεπίδρασης συγκλίνουν προς σημείο πάνω από το οποίο ολόκληρη η διατομή βρίσκεται σε θλίψη, και επομένως η δράση των σύνθετων υλικών μπορεί (προσεγγιστικά) να αγνοηθεί (οπότε όλες οι καμπύλες ταυτίζονται)

Οπότε σαν γενικό συμπέρασμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι η εφαρμογή των σύνθετων υλικών για την αύξηση της καμπτικής αντοχής υποστυλωμάτων δεν είναι πάντοτε πρακτικά (κατασκευαστικά) εφικτή, ενώ είναι γενικά περιορισμένης αποτελεσματικότητας, εκτός αν η αξονική δύναμη διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (π.χ $\nu_d < 0.2$).

4.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή σπανιότερα ελασμάτων, τα οποία επικολλούνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κύριων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα στις ρωγμές. Τούτο βέβαια δεν είναι γενικά εφικτό, γι' αυτό, όπως στην περίπτωση της χρήσης συνδετήρων, οι ίνες

εφαρμόζονται στις πιο πολλές περιπτώσεις με διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών μελών.

Η τέμνουσα δύναμη που λαμβάνεται από μανδύα FRP δίνεται σε αναλογία με τους συνδετήρες από τη σχέση:

$$V_{fd} = 2t_f d_f (\epsilon_{fe,d} E_f) (\cot\theta + \cot\alpha) \sin^2\alpha$$

d_f = ύψος του μανδύα που διαπερνάται από τη ρωγμή, μετρούμενο από τη στάθμη του διαμήκους οπλισμού και ίσος με $0.9d$ αν μανδύας καλύπτει πλήρως τις πλευρές

Συνήθως οι ίνες εφαρμόζονται κάθετα στον άξονα του υποστηλώματος. Άρα $\alpha = 90^\circ$

θ = γωνία ρωγμής ως προς τον άξονα του μέλους. Μπορεί να θεωρηθεί ίση με 45° .

Άρα με τις παρδοχές αυτές καταλήγουμε στη σχέση

$$V_{fd} = 2 t_f (0.9d) \epsilon_{fe,d} E_f \quad \text{Άρα } t_f = V_{fd} / 2 (0.9d) \epsilon_{fe,d} E_f$$

$\epsilon_{fe,d}$ = μέση τιμή κατά μήκος της ρωγμής, της παραμόρφωσης στα σύνθετα υλικά παράλληλα στη διεύθυνση των ινών, κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας ("ενεργή" παραμόρφωση)

$$\epsilon_{fe,d} = (1 - 0.5d_f / 0.9d) \epsilon_{fd,max}$$

Όπου μέγιστη παραμόρφωση σχεδιασμού σύνθετων υλικών. Εξαρτάται από το μηχανισμό αστοχίας. Οι μόνες διαφορές που της V_{fd} με τη συνεισφορά V_{wd} του συμβατικού οπλισμού διάτμησης είναι: $\epsilon_{fe,d} E_f$ αντι για f_{ywd} και $2 t_f \sin\alpha$ αντι A_{sw}

Υπάρχουν τρεις τρόποι αστοχίας λόγω τέμνουσας:

1) Θραύση των σύνθετων υλικών

Αναμένεται να συμβεί κατά κανόνα σε επαρκώς αγκυρωμένους μανδύες. Στην περίπτωση αυτή

$\epsilon_{fd,max} = f_{fde} / E_f$ όπου f_{fde} είναι η (μειωμένη ως προς των εφέλκυστική αντοχή λόγω συγκεντρώσεων τάσεων στις γωνίες του μέλους) αντοχή σχεδιασμού που προκύπτει από τη σχέση: $f_{fde} = \eta_e f_{fd}$.

Λόγο έλλειψη περισσότερων στοιχείων θεωρούμε $\eta_e = 0.8$.

Οπότε μετά από πράξεις $t_f = V_{fd} / 2 (0.9d) (1 - 0.5d_f / 0.9d) 0.8 f_{fd}$

2) Αποκόλληση των σύνθετων υλικών

Μεγαλύτερη πιθανότητα για να συμβεί τέτοιου είδους αστοχία είναι οι μη επαρκώς αγκυρωμένοι μανδύες, όπως είναι οι τρίπλευροι και δίπλευροι, οπότε και η πιθανότητα αστοχίας από θραύση είναι σχετικά μικρή. Αυτός ο τρόπος αστοχίας είναι σχετικά απίθανος για τα υποστυλώματα μιας και είναι επαρκώς αγκυρωμένος ο μανδύας αφού θα είναι κλειστού τύπου.

3) Πρόωρη αστοχία λόγω μεγάλου ανοίγματος της λοξής ρωγμής

Η ανάπτυξη μεγάλου ανοίγματος ρωγμής ενδέχεται να μειώσει σημαντικά τη συνεισφορά των μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας (λόγω σημαντικής μείωσης της αλληλεμπλοκής των αδρανών και/ή της θλιβόμενης ζώνης), με αποτέλεσμα να βρεθεί στην οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας πριν αστοχήσουν (λόγω θραύσης ή αποκόλλησης) τα σύνθετα υλικά.

Συμπερασματικά βλέπουμε ότι μόνος πιθανός μηχανισμός αστοχίας είναι ο πρώτος και το απαιτούμενο πάχος μανδύα είναι:

$$t_f = V_{fd} / 2 (0.9d) (1 - 0.5d_f / 0.9d) 0.8 f_{fd} \text{ (να γράψω αριθμηση)}$$

Βέβαια η αύξηση των στρώσεων δεν έχει νόημα να αυξάνεται επ' αόριστον καθώς μας περιορίζει το γεγονός ότι για μια συγκεκριμένη διατομή θα υπάρχει αστοχία λόγω λοξής θλίψης, V_{Rd2} . Άρα

$$V_{Rd} = \min(V_{cd} + V_{wd} + V_{fd}, V_{Rd2})$$

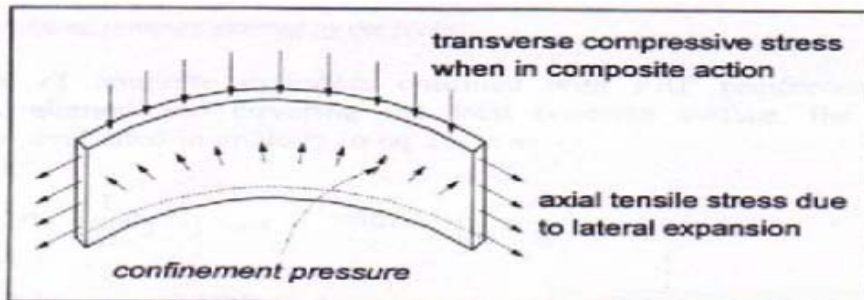
4.3.1 ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Η δράση των σύνθετων υλικών κατά την περίσφιγξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετικά ευνοϊκή. Ο μανδύας των σύνθετων υλικών που περιβάλλει το σκυρόδεμα ενεργοποιείται μέσω της ανάπτυξης εφελκυστικών παραμορφώσεων στις ίνες και παραμένουν ανενεργές σε θλιπτικές τάσεις. Στην ουσία δηλαδή προσφέρει παθητική δράση στο υποστύλωμα. Οι τάσεις περίσφιγξης έχουν ως αποτέλεσμα:

- 1) Αύξηση κυρίως της παραμορφωσιμότητας και δευτερευόντως αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.
- 2) Αύξηση της πλαστιμότητας, λόγω αύξησης της παραμορφωσιμότητας.
- 3) Αύξηση της συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές με ματίσεις και άρα παρεμπόδιση της ολίσθησης των διαμήκων ράβδων στις περιοχές αυτές.
- 4) Παρεμπόδιση του τοπικού λυγισμού των διαμήκων ράβδων σε περιοχές με έλλειψη συνδετήρων.

Η αποτελεσματικότητα ενός μανδύα σύνθετων υλικών στον εγκιβωτισμό του σκυροδέματος εξαρτάται α) από το πάχος του μανδύα t_f , σε συνδυασμό με τον συνολικό αριθμό των στρώσεων, β) από την εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών κατά την έννοια της περιμέτρου, $f_{fd,c}$, και γ) από τη γεωμετρία της εγκιβωτισμένης διατομής (η αποδοτικότητα περίσφιγξης είναι 100% σε κυκλικά υποστυλώματα και περίπου 50% σε ορθογωνικά).

Η εφελκυστική αντοχή του μανδύα κατά την έννοια της περιμέτρου είναι γενικά μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών όπως αυτή μετράται μέσω δοκιμών εφελκυσμού. Αυτό οφείλεται στην πολυαξονικότητα της εντατικής κατάστασης στον μανδύα (όπως φαίνεται στο σχ.3), σε τυχόν συγκεντρώσεις τάσεων σε γωνίες, στην ενδεχόμενη ύπαρξη πολλών στρώσεων αλλά και στην ποιότητα εφαρμογής του μανδύα. Γι αυτό και στους υπολογισμούς μας χρησιμοποιούμε ένα μειωτικό συντελεστή στην εφελκυστική αντοχή του μανδύα και ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ίσος με 0.7-0.9.

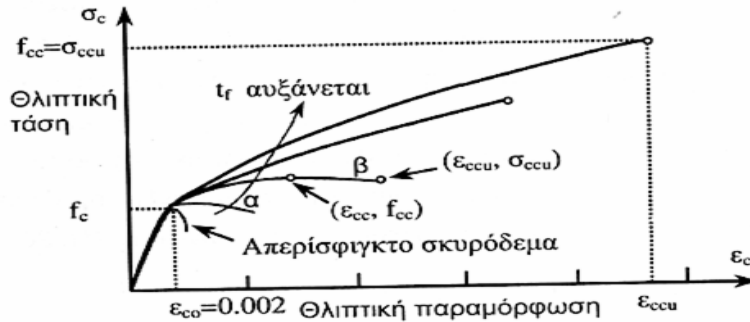


Σχ.3 Τριαξονική κατάσταση τάσης σε μανδύα FRP (Βιβλιογραφία 5)

Μπορούμε να επιτύχουμε περίσφιγξη σε υποστύλωμα με τρεις τρόπους. Ένας είναι με πλήρη κάλυψη του στοιχείου καθ'όλο το ύψος του (μανδύας), ο άλλος με περίσφιγξη με μανδύα μόνο στις κρίσιμες περιοχές (στα δύο άκρα του) και ο άλλος με λωρίδες ανά αποστάσεις όπως οι συνδετήρες κάτι που είναι σπάνιο.

Η περίσφιγξη γενικά ενεργοποιείται πρακτικώς όταν η θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα γίνεται ίση με με τη μονοαξονική θλιπτική του αντοχή.

Βάση πειραμάτων μπορεί να διατυπώσει κανείς τις εξής παρατηρήσεις



Σχ:4 καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης για απερίσφιγκτο και περισφιγμένο σκυρόδεμα (Βιβλιογραφία 1)

-Γενικά η καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης είναι περίπου διγραμμική, με αλλαγή κλίσης στην παραμόρφωση ($\epsilon_{co}=0.003$) που αντιστοιχεί στην αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος (f_{cd}).

-Μανδύες εξαιρετικά μικρού μήκους αυξάνουν μόνο την μέγιστη παραμόρφωση ϵ_{ccu} (καμπύλη α, Σχ.4).

-Για μανδύες σχετικά μικρού πάχους η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος f_{cc} αντιστοιχεί σε παραμόρφωση ϵ_{cc} μικρότερη από τη μέγιστη (ϵ_{ccu}) (καμπύλη β, Σχ.4).

-Για δεδομένο τύπο σύνθετων υλικών, η αντοχή f_{cc} και η μέγιστη παραμόρφωση ϵ_{ccu} του περισφιγμένου σκυροδέματος αυξάνονται με το πάχος του μανδύα.

-Για μανδύες ίσου πάχους αλλά διαφορετικού τύπου ινών, η αντοχή f_{cc} αυξάνεται με την αντοχή του μανδύα f_{fde} (εδώ πλεονεκτούν οι ίνες άνθρακα), ενώ η μέγιστη παραμόρφωση του σκυροδέματος ϵ_{ccu} αυξάνεται με την αντοχή του μανδύα f_{fde} αλλά κυρίως με την μέγιστη παραμόρφωση του (εδώ πλεονεκτούν οι ίνες γυαλιού)

-Για μανδύες ίσης δυστένειας, η αντοχή f_{cc} αυξάνεται με την μέγιστη παραμόρφωση του μανδύα

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η επίδραση των ταινιών σύνθετων υλικών στο σκυρόδεμα, θα θεωρήσουμε την περίπτωση απλού κυλινδρικού δοκιμίου διαμέτρου D που περιβάλλεται από μανδύα FRP πάχους t_f , μέτρο ελαστικότητας E_f (κατά μήκος της περιφέρειας, κατά μήκος της οποίας είναι τοποθετημένες οι ίνες του υλικού). Αν στο δοκίμιο εφαρμοστεί κεντρική αξονική δύναμη, θα προκληθεί αξονική σμίκρυνσή του και συγχρόνως πλευρική διόγκωση. Η πλευρική αυτή διόγκωση θα προκαλέσει με τη σειρά της εφελκυσμό στο φύλλο FRP κατά τη διεύθυνση της περιφέρειας. Έτσι δημιουργούνται τάσεις περίσφιγξης στο σκυρόδεμα. Αν οι τάσεις στο FRP είναι $\sigma_{.f}$ και η τάση περίσφιγξης $\sigma_{.f}$ θα είναι

$$\sigma_{.f} = \frac{2t_f}{D} \cdot \sigma_{.f} = \frac{2t_f}{D} E_f \sigma_{.f}$$

Θεωρώντας το σκυρόδεμα ενός υποστυλώματος απερίσφιγκτο, με θλιπτική αντοχή f_c , η εφαρμογή ενός μανδύα σύνθετων υλικών πάχους t_f θα αυξήσει τη μέγιστη παραμόρφωση του σκυροδέματος σε ϵ_{ccu} και την αντοχή σε f_{cc} , όπως δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις.

$$F_{cc} = E_{sec,u} \epsilon_{ccu} > f_c$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5(\alpha_1 \alpha_2 - 1) \left[\frac{E_{cc}(E_{co} - E_{sec,u})}{E_{sec,u}(E_{co} - E_{cc})} \right]^{1 - \frac{E_{cc}}{E_{co}}} \right] \quad \text{όπου}$$

$$E_{sec,u} = \frac{E_{co}}{1 + 2\beta \frac{f_{f,e}}{E_f}}, \quad \beta = \frac{E_{co}}{f_c} - \frac{1}{e_{co}}, \quad E_{cc} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 f_c}{\varepsilon_{co} [1 + 5(\alpha_1 \alpha_2 - 1)]}$$

$$\alpha_1 = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{\sigma_{l,b}}{f_c}} - 2 \frac{\sigma_{l,b}}{f_c} - 1.254, \quad \alpha_2 = 1 - \left[0.6 \left(\frac{b}{d} \right)^2 - 1.4 \frac{b}{d} + 0.8 \right] \sqrt{\frac{\sigma_{l,b}}{f_c}}$$

και $\sigma_{l,b} = \frac{t_f}{d} k_e f_{f,e}$, b, d οι πλευρές της διατομής

Στις παραπάνω σχέσεις E_{co} είναι το αρχικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, $\varepsilon_{co}=0.002$ και k_e είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης, ο οποίος ορίζεται από το λόγο της επιφάνειας που βρίσκεται σε περίσφιξη προς την συνολική

$$k_e \approx 1 - \frac{b^2 + d^2}{3A_g}$$

Οι τάσεις περίσφιξης εκτός των άλλων περιορίζουν τις μικρορωγμές και την έναρξη και πολλαπλασιασμό των ρωγμών. Επίσης προτείνεται ύψος περίσφιξης τέτοιο ώστε να καλύπτει τη δημιουργούμενη πλαστική άρθρωση. Σε περίπτωση που η μάτιση ξεπεράσει το ύψος της πλαστικής άρθρωσης τότε το ύψος της περίσφιξης πρέπει τουλάχιστον να καλύπτει τη μάτιση.

4.3.2 ΤΡΟΠΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΑΝΔΥΑ ΓΙΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

Αυτό προϋποθέτει τη συσχέτιση δείκτη πλαστιμότητας μ_Δ με τα χαρακτηριστικά του μανδύα. Ο δείκτης πλαστιμότητας μ_Δ ορίζεται σαν το λόγο της μετατόπισης Δ_u (συνήθως ορίζεται εκεί που το μέγιστο φορτίο υφίσταται μείωση 20%) προς την μετατόπιση του διαμήκου οπλισμού Δ_y ($\mu_\Delta = \Delta_u / \Delta_y$). Για να επιτευχθεί ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1) Εκτίμηση του δείκτη πλαστιμότητας

2) Υπολογισμός του μήκους πλαστικής άρθρωσης L_p βάσει της γεωμετρίας του μέλους και των χαρακτηριστικών των διαμήκων ραβδών οπλισμού. Το L_p δίνεται από τη σχέση:

$$L_p = 0.08L_s + 0.022f_y d_b \geq 0.44f_y d_b$$

L_s = διατμητικό μήκος, f_y = τάση διαρροής διαμήκους οπλισμού, d_b = διάμετρος ραβδών διαμήκους οπλισμού.

Εναλλακτικά το L_p μπορεί να ληφθεί περίπου ίσο με το στατικό ύψος.

3) Υπολογισμός του δείκτη πλαστιμότητας καμπυλότητας, $\mu_\phi (= \phi_u / \phi_y)$ από τη σχέση:

$$\mu_\Delta = 1 + 3(\mu_\phi - 1)(L_p / L_s)(1 - 0.5 L_p / L_s)$$

4) Υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής κατά τη διαρροή, ϕ_y . Το βήμα αυτό προϋποθέτει 5) Υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής κατά την αστοχία (θρύση σκυροδέματος), $\phi_u = \mu_\phi \phi_y$

6) Υπολογισμός της μέγιστης παραμόρφωσης στο σκυρόδεμα κατά την αστοχία, $\varepsilon_{ccud} = \varphi_u x_u$, όπου x_u = ύψος θλιβόμενης ζώνης κατά την αστοχία (απαιτείται ανάλυση της διατομής).

Άλλος τρόπος συσχέτισης του μ_Δ με τα χαρακτηριστικά του μανδύα αποτελεί η χρήση της παρακάτω εμπειρικής (αλλά αρκετά συντηρητικής) εμπειρικής σχέσης (Tastani pantazoroulou 2002):

$$\mu_\Delta = 1.3 + 12.4[(\sigma_{lud}/f_{cd}) - 0.1] \quad 1.3$$

σ_{lud} = η τάση περίσφιξης στο σκυρόδεμα κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας (αγνοώντας επί το συντηρητικότερο την περίσφιξη μέσω υφιστάμενων συνδετήρων) και ισούται με :

$$\sigma_{lud} = k_e 2t_f f_{ide} / d$$

όπου $f_{ide} = \eta_e f_{id}$ και k_e είναι ο συντελεστής αποτελεσματικότητας, εξαρτάται από τη γεωμετρία της διατομής από το βαθμό περιτύλιξης και από τη διεύθυνση των ινών και ισούται με $k_e = k_{e1} k_{e2} k_{e3} \leq 1$

Συντελεστής διατομής::

$$k_{e1} = A_e/A_g = 1 - (b'^2 + d'^2)/(3A_g(1 - A_s/A_g)). \text{ Για κυκλική διατομή } k_{e1} = 1.$$

$$\text{Συντελεστής κάλυψης: } k_{e2} = (1 - (s_f'/2d)^2)/(1 - A_s/A_g). \text{ Για πλήρη κάλυψη: } k_{e2} = 1$$

$$\text{Συντελεστής διεύθυνσης: } k_{e3} = 1/[1 + (\tan a_f)]^2. \text{ Για οριζόντια διάταξη ινών } k_{e3} = 1$$

Όπου A_g = εμβαδό διατομής, A_s = εμβαδό διατομής διαμήκους οπλισμού, s_f' = καθαρή απόσταση λωρίδας σε περίπτωση μερικής περιτύλιξης, d = μήκος μικρότερης πλευράς και a_f = γωνία ινών ως προς τον άξονα του μέλους

4.3.3 ΕΥΡΕΣΗ t_f ΓΙΑ ΑΠΟΦΥΓΗ ΛΥΓΙΣΜΟΥ

Όπως προαναφέραμε η περίσφιξη βοηθάει παρεμπόδιση του τοπικού λυγισμού των διαμήκων ράβδων σε περιοχές με έλλειψη συνδετήρων. Σύμφωνα με τους Priestley et al., σε υποστηλώματα για τα οποία ο λόγος $M/Vd > 4$ (M και V είναι η μέγιστη δρώσα ροπή κάμψης και τέμνουσας, αντίστοιχα, και d είναι ο λόγος της πλευράς της διατομής που είναι παράλληλη με το επίπεδο κάμψης) και ο λόγος της απόστασης συνδετήρων προς τη διάμετρο διαμήκων ραβδών, s/d_b , ξεπερνά μια κρίσιμη τιμή, τότε υπάρχει το ενδεχόμενο λυγισμού των διαμήκων ραβδών λόγω υψηλής τιμής του αξονικού φορτίου. Ο λυγισμός αυτός αποτρέπεται όταν ο μανδύας σύνθετων υλικών ο οποίος επιβάλλει τάσεις περίσφιξης στο υποστύλωμα έχει πάχος που μπορούμε να το πάρουμε από την προσεγγιστική αλλά και συντηρητική σχέση: $t_f = 10nd/E_f k_e$, όπου n = ο συνολικός αριθμός διαμήκων ραβδών στη διατομή, E_f = το μέτρο ελαστικότητας του FRP και k_e = συντελεστής αποτελεσματικότητας του μανδύα. Ακόμα προτείνεται πάχος μανδύα $t_f = 0.01h$, όπου h = η μεγαλύτερη από τις πλευρές στη διατομή.

4.3.4 .ΕΥΡΕΣΗ t_f ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΛΗ ΜΑΤΙΣΗ

Πολλά προβλήματα πτωχής αντισεισμικής συμπεριφοράς άπτονται του μηχανισμού συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές ματίσεων των διαμήκων οπλισμών. Σνηθισμένα αίτια αστοχιών σε περιοχές ματίσεων είναι το μικρό μήκος αγκύρωσης και η χρήση λείων ράβδων, οπότε η και αντοχή σε συνάφεια που εξαρτάται από το μηχανισμό τριβής στο διάστημα που αναπτύσσεται η αγκύρωση δεν θα είναι επαρκής. Γι' αυτό χρειάζεται περίσφιξη με σύνθετα υλικά. Το απαιτούμενο πάχος μανδύα που προκύπτει από ισορροπία δυνάμεων ώστε να αποφεύγεται η απώλεια συνάφειας σε περιοχές ματίσεων είναι:

$$t_f = d A_b f_{vd} / 2 p_c \mu f_{ide} l_s$$

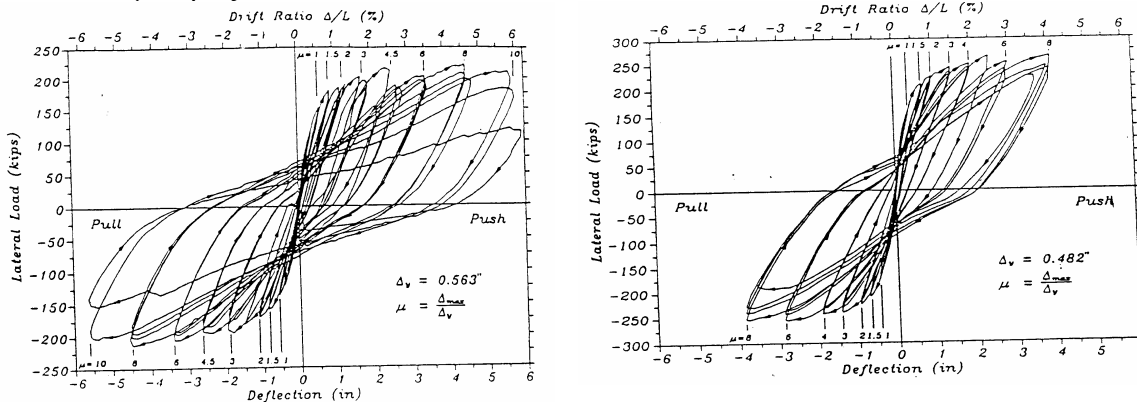
όπου A_b =εμβαδό διατομής μίας εφελκόμενης ράβδου οπλισμού που ματίζεται εντός της περιοχής επαρκώς περισφιγμένου σκυροδέματος, p_c =η αντίστοιχη διαδρομή ρηγμάτωσης που αντιστοιχεί στη ράβδο αυτή, l_s =μήκος μάτισης, f_{ide} =η ενεργή τάση σχεδιασμού των σύνθετων υλικών και μ =συντελεστής και περίπου ίσος με 1.4.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα που αφορούν την βελτίωση της περίσφιγξης με τη χρήση FRP.

Ένα τέτοιο πραγματοποιήθηκε από τους Fyfe E., Priestly M., Seible F. Το 1992. Δοκίμασαν τη μέθοδο ενίσχυσης υποστυλωμάτων με τη χρήση ινοπλισμένων σύνθετων ταινιών σε ορθογωνικά υποστυλώματα ύψους 2.44m τα οποία ήταν ανεπαρκή σε διάτμηση. Δοκιμάστηκαν 2 υποστυλώματα: στο ένα ασκήθηκε αξονική δύναμη ίση με 507Kn και στο άλλο 1780Kn. Η ενίσχυση έγινε ως εξής: καθόλο το μήκος τοποθετήθηκαν 3 (συνεχείς) στρώσεις συνθετικού υλικού συνολικού πάχους 3.429mm. Στο πάνω και κάτω μέρος υποστυλώματος τοποθετήθηκαν 3 επιπρόσθετες στρώσεις οπότε έδωσαν συνολικό πάχος 6.86 mm. Όλες οι στρώσεις ήταν παθητικές. Στο δοκίμιο 1 τα πρώτα σημάδια καταπόνησης εμφανίστηκαν για επίπεδα πλαστιμότητας στη περιοχή της πλαστικής άρθρωσης, στην κορυφή και βάση του δοκιμίου. Για επίπεδο πλαστιμότητας 10 ο σύνθετος μανδύας σχίστηκε οριζόντια και κάθετα στη κάτω πλαστική άρθρωση οπότε έγινε γενική απώλεια της περίσφιγξης. Η μείωση της φέρουσας ικανότητας ήταν απότομη με θραύση του πυρήνα του σκυροδέματος και λυγισμό των διαμήκων ράβδων. Η μετακίνηση διαρροής ήταν περίπου 60% μεγαλύτερες από τις προβλέψεις βασιζόμενες στη καμπτική παραμόρφωση μόνο γεγονός που δείχνει την έντονη επιρροή της διάτμησης.

Το υποστυλώμα 2 με τη μεγαλύτερη αξονική φόρτιση θα περίμενε κανείς να παρουσιάσει μια πιο κρίσιμη κατάσταση, εξαιτίας της μικρότερης ικανότητας πλαστιμότητας. Πάντως φαίνεται από το διάγραμμα η απόκριση του δοκιμίου ήταν επίσης άριστη. Η μετατόπιση διαρροής ήταν μικρότερη από το υποστυλώμα 1. Αυτό οφείλεται στη μειωμένη σημασία της διάτμησης εξαιτίας της (ευεργετικής) μεγαλύτερης αξονικής φόρτισης. Τα συμπεράσματα των δοκιμών είναι ότι τα υφάσματα αναστέλλουν τη διατμητική αστοχία σε ανεπαρκή σε διάτμηση στοιχεία και την μεγάλη αύξηση της πλαστιμότητας.



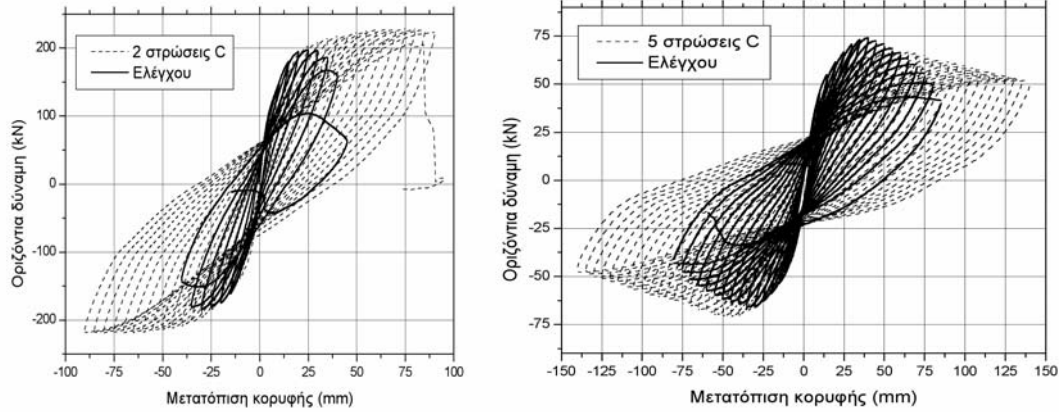
Σχήμα:5 Διάγραμμα οριζόντιας φόρτισης-μετατόπισης κεφαλής υποστυλώματος 1-2(Βιβλιογραφία 2)

Επίσης μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε τη σημαντικότητα της περίσφιξης με FRP και από το πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο της Πάτρας το 2001.

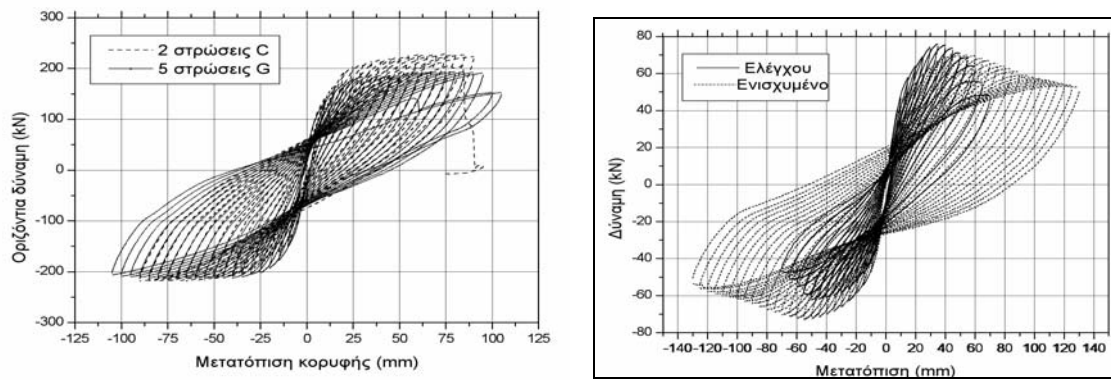
Τα επιλεγμένα δοκίμια ήταν υποστυλώματα πακτωμένα σε βάση οπλισμένου σκυροδέματος και προσομοίωναν σε πλήρη κλίμακα το μισό(από τη βάση μέχρι το σημείο καμψής) ενός πραγματικού υποστυλώματος ισογείου μεταξύ της θεμελίωσης και του ορόφου, τα οποία φορτίζονταν με οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση στη κεφαλή του δοκιμίου, (κατά άξονα Χ(ισχυρό), και Υ(ασθενής) με δεδομένη μετατόπιση) με ταυτόχρονη επιβολή αξονικού φορτίου καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής. Οι ίνες του μανδύα που χρησιμοποιήθηκαν στο μανδύα είχαν διεύθυνση κάθετη ως προς το αξονικό φορτίο.

Από το πείραμα βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα :

- Από το σχ:6 φαίνεται ότι στα ενισχυμένα αυξήθηκε η μέγιστη δύναμη, η οποία πάντως δεν είναι και τόσο εντυπωσιακή, όσο η αύξηση της πλαστιμότητας. Η αύξηση της πλαστιμότητας οφείλεται στη περίσφιξη του μανδύα που δεν αφήνει το θρυμματισμένο σκυρόδεμα να διογκωθεί και να γίνει αποσάθρωση και λόγω του μεγάλου μέτρου ελαστικότητας το ύφασμα μπορεί να δεχτεί μεγάλες πιέσεις με μικρές παραμορφώσεις. Ακόμα παρατηρούμε ότι επήλθε απότομη θραύση στα ενισχυμένα δοκίμια λόγω της μη πλαστιμής συμπεριφοράς του FRP και της αστοχίας του οπλισμένου σκυροδέματος. Τέλος παρατηρούμε ότι η δράση του FRP φαίνεται κυρίως όταν η θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα γίνεται ίση με τη μονοαξονική του θλιπτική αντοχή. (λόγω του ότι τα FRP προσφέρουν παθητική ενύσχιση)
- Από το σχ:7 παρατηρούμε ότι με την αύξηση των στρώσεων του σύνθετου υλικού έχουμε αύξηση της παραμορφωσιμότητας του με ελάχιστη αύξηση της μέγιστης δύναμης. Το δοκίμιο με τις 5 στρώσεις έφτασε στα 110mm μετατόπιση χωρίς να αστοχήσει. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν έχει νόημα καθώς δε πρόκειται το υποστυλώμα να φτάσει σε τόσο μεγάλη παραμόρφωση σε μια κατασκευή.
- Από το σχ:8 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πέντε στρώσεις GFRP ισοδυναμούν με δύο στρώσεις CFRP. Βλέπουμε πως από άποψη αντοχής οι πέντε στρώσεις υαλονημάτων υστερούν, χωρίς όμως η μείωση να είναι και τόσο μεγάλη. Αντιθέτα, η αύξηση της πλαστιμότητας είναι ποιο μεγάλη για το δοκίμιο με τις πέντε στρώσεις υαλονημάτων.
- Από το σχ:9 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ακόμα και στο y άξονα, ο οποίος υπό φυσιολογικές συνθήκες θα αστοχούσε λόγω διάτμησης, τελικά λόγω της περίσφιξης αστόχησε σε κάμψη σε πολύ μεγαλύτερα επίπεδα πλαστιμότητας.



Σχ:6,7(βιβλιογραφία 2) Σύγκριση Διαγραμμάτων μετατόπισης κεφαλής για 2CFRP και 5CFRP με απερίσφικτο δοκίμιο (μετατόπιση κατά τον άξονα χ)



Σχ:8,9(βιβλιογραφια 2) Σύγκριση Διαγραμμάτων μετατόπισης κεφαλής για 2CFRP και 5CFRP (μετατόπιση κατά τον άξονα x στο 8 και κατά y στο 9)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Χ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ (2003)
“ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ(ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ)”
2. ΑΛΕΞΙΟΥ-ΛΟΥΚΑ Ν. ΣΠΑΘΗ(2001)
“ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ-ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥΣ” ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
3. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΠΥΡΑΚΟΣ(2004)
“ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ” σελ(179-182)
4. ΔΕΛΤΙΟ Σ.Π.Μ.Ε. ΝΟ.257 ΜΑΙΟΣ 2000
5. 8ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών 2002», Μάρτιος 2002 (εργασία Νο10)
6. Harichandran, R. S., and Baiyasi, M. I. (2000).
"Repair of corrosion-damaged columns using FRP wraps." Report No. RC-1386, Michigan Department of Transportation, Lansing, Michigan(δικτυακό)
7. HAKAN NORDIN
“Strengthening structures with externally prestressed tendons” (δικτυακό)
8. UEDA TAMON
“FRP FOR CONSTRUCTION IN JAPAN” (δικτυακό)

