

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΔΟΚΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ

ΣΙΩΡΑ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

Περίληψη

Ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα στην αντισεισμικότητα των κατασκευών είναι οι κοινές περιοχές δοκών υποστυλωμάτων. Αυτό έχει αποδείξει η εμπειρία του ελληνικού χώρου σε σεισμούς, ιδιαίτερα με το φαινόμενο του «μαλακού ορόφου» λόγω της απότομης διαφοράς δυσκαμψίας συνήθως από πιλοτές σε όροφο. Η ευαισθησία αυτών των στοιχείων οφείλεται σαφώς στη μεγάλη διατμητική ένταση που τους ασκείται και στην κακή σκυροδέτηση που συνήθως γίνεται. Η ανάγκη ενίσχυσης των κόμβων(κυρίως εξωτερικών) είναι επιτακτική από την πρώτη στιγμή ρηγμάτωσής τους.

1.ΓΕΝΙΚΑ

Μελετώντας τη σεισμική αναβάθμιση πλαισίων, διάφοροι ερευνητές παρατήρησαν πως απ' τα κυριότερα προβλήματα είχαν να κάνουν με την ανεπαρκή ή και καθόλου περίσφιξη στους κόμβους, το μάτισμα του διαμήκου σπλισμού γινόταν πάνω από κόμβους, όπως και ότι υπήρχαν αρθρώσεις πάνω ή/ και κάτω απ' αυτούς. Με άλλα λόγια η βλαβή συγκεντρώνεται στους κακοσχεδιασμένους κόμβους. Προσεισμικά, όσο και μετασεισμικά, ο στόχος της ενίσχυσης είναι σαφώς η αύξηση της αντοχής του κόμβου, η αύξηση της πλαστιμότητας κι απορρόφησης ενέργειας και, κατά προτίμηση, η μεταφορά της αστοχίας στη δοκό κι όχι στον κόμβο .

Παραδοσιακές τεχνικές: α)επισκευή με ρητινενέσεις (για μικρό εύρος ρωγμών)
β)τοπική αποκατάσταση διατομής (για μεγάλης κλίμακας βλάβη)
γ)με μανδύα σπλισμένου σκυροδέματος(Ο/Σ)-γενικό ή τοπικό-(για μεγάλης κλίμακας βλάβη)
*Νεότερες:*α)ενίσχυση με χαλύβδινα στοιχεία
β)με μανδύες σύνθετων υλικών (κυρίως με ίνες γυαλιού και άνθρακα)

Η χρήση μανδύα Ο.Σ στην πράξη αποδείχτηκε όχι τόσο πρακτική λόγω της δυσκολίας τοποθέτησης του υλικού ενίσχυσης κ.α Γι' αυτό, αναπτύχθηκαν και διερευνώνται ακόμα η μέθοδος χρήσης μεταλλικού μανδύα ή ελασμάτων και η χρήση μανδύα από σύνθετα υλικά(Fabric Reinforced Plastics)

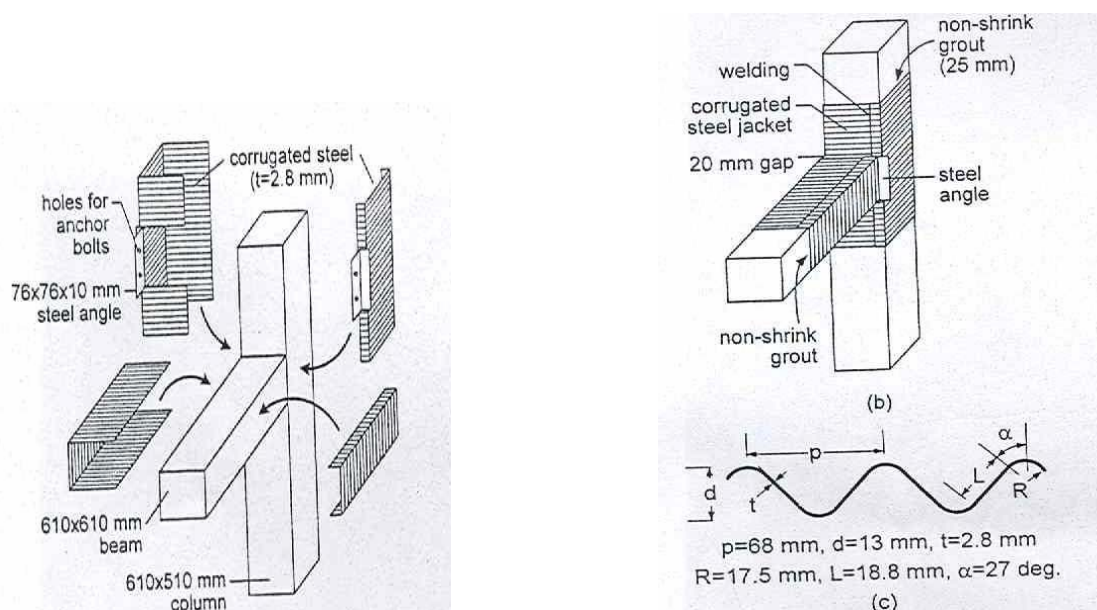
2.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Αναπτύχθηκε αρχικά για κυκλικά υποστυλώματα. Η εφαρμογή της αντιμετωπίζει κάποια προβλήματα, δεδομένου ότι σε μια πραγματική κατασκευή δεν έχουμε 100% πρόσβαση στον κόμβο, λόγω πατώματος και άλλων στοιχείων συνδεδεμένων κάθετα μ' αυτόν. Το κυριότερο προτέρημα της τεχνικής αυτής συγκριτικά με το μανδύα σπλισμένου σκυροδέματος έγκειται στο ότι τα στοιχεία αυτά είναι προκατασκευασμένα, συνεπώς ο χρόνος της επισκευής είναι μικρός. Η τεχνική έχει εφαρμοστεί σε επισκευές δύο διαστάσεων ή σε εξωτερικό ακραίο κόμβο.

Τα χαλύβδινα στοιχεία έχουν δοκιμαστεί ως μανδύες, φύλλα ή λωρίδες. Οι μανδύες εφαρμόστηκαν πρώτα σε κυκλικά υποστυλώματα. Χρησιμοποιούνται δυο κελύφη σε σχήμα ημικυκλίου τα οποία έπειτα συγκολλούνται μεταξύ τους. Για ορθογωνικά υποστυλώματα χρησιμοποιούνται μανδύες ελλειπτικής μορφής κυρίως ή σπανιότερα -και καλό είναι ν' αποφεύγεται-, ορθογωνικής. Χρησιμοποιούνται σε επίπεδη μορφή ή με αυλάκια(κυματοειδής). Το κενό που δημιουργείται μεταξύ του μανδύα και του σκυροδέματος καλύπτεται με ένεμα τσιμέντου. Ο μανδύας αγκυρώνεται στο πάνω και κάτω άκρο τοποθέτησής του με βλήτρα(κοχλιωτοί σφικτήρες). Προσφέρει αύξηση σημαντική στην πλαστιμότητα και τη διατμητική αντοχή. Παράλληλα διερευνάται και η χρήση συνεχούς σπειροειδούς σπλισμού εντός του κόμβου-ιδιαίτερα σε ακραίους-, αντί για απλούς συνδετήρες και έχει ήδη παρατηρηθεί η βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς.

Τα χαλύβδινα ελάσματα συναντώνται πιο συχνά απ' τους μανδύες κι υπάρχουν πιο πολλά πειραματικά δεδομένα. Συνήθως είναι λεπτά από 1 έως 1,5mm ώστε να μη γίνεται εύκολα αποκόλληση από το σκυρόδεμα και, επίσης, να είναι εύκαμπτα, ώστε να κολλήσουν καλά και να συνεργαστούν με το «παλιό» υλικό. Έχουν δοκιμαστεί σε εσωτερικό κι εξωτερικό κόμβο και σημειώνουν κατά μέσο όρο 15% αυξημένη αντοχή, πλαστιμότητα. Όσον αφορά την απορρόφηση ενέργειας τα συμπεράσματα είναι ανομοιομορφα από έρευνα σ' έρευνα. Φαίνεται πάντως πως οι εσωτερικοί κόμβοι έχουν καλύτερη συμπεριφορά που οφείλεται σ' ένα «γλίστρημα» μεταξύ τσιμέντου και χάλυβα.

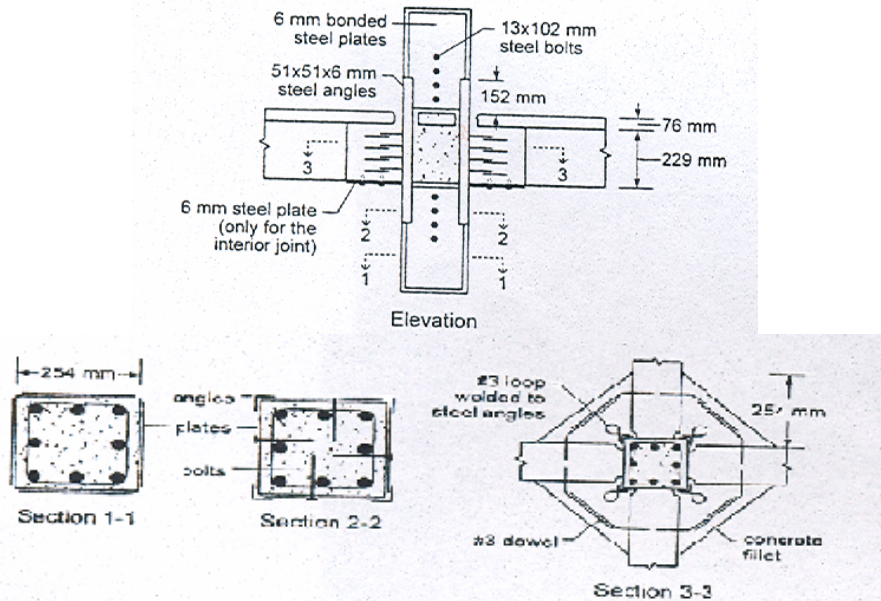
Η επιφάνεια των ελασμάτων εκτραχύνεται πριν τη χρήση για καλύτερη πρόσφυση της ρητίνης ύστερα και καλύτερη αντίσταση λόγω της συνάφειας που δημιουργείται μεταξύ των υλικών. Αφού καλυφθεί ο κόμβος, τοποθετείται εποξειδική ρητίνη(με ένεση) στις κατακόρυφες παρειές των δοκών και στον κόμβο και αγκύρια στο κενό (μηχανικά ή χημικά).



Σχ.1 αυλακωτά χαλύβδινα ελάσματα, τεχνική Ghobahar, Aziz , Biddah πριν και μετά την τοποθέτηση[4]

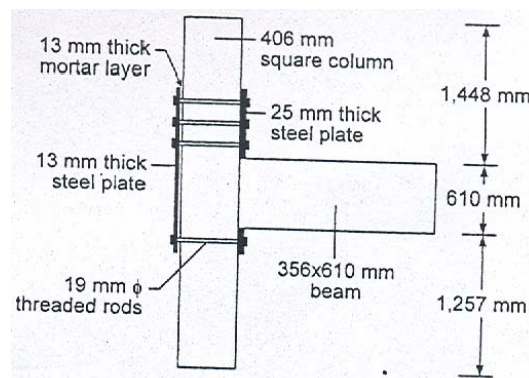
Το κενό δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3mm. Ένεση πραγματοποιείται ανά 25cm με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω. Η διαδικασία στην πράξη έχει ως εξής συνήθως, όπως φαίνεται και στα σχήμα 2. Κατ' αρχάς γίνεται υποστύλωση κατά τουλάχιστον ένα όροφο πάνω κι έναν κάτω από τον κόμβο. Καθαίνεται η πλάκα γύρω απ' τον κόμβο. Έπειτα τοποθετείται ρητίνη σε ρωγμές ή, εναλλακτικά, αφαιρείται το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα της περιοχής και συμπληρώνεται με εποξειδικό ή μη συρρικνούμενο κονίαμα. Τοποθετούνται μεταλλικές ακμές στις πλευρές του υποστυλώματος, οι οποίες προεξέχουν πάνω απ' την πλάκα(που θα τοποθετηθεί μετά) και κάτω απ' τη δοκό. Τέλος, εφαρμόζονται τα ελάσματα, τα οποία αγκυρώνονται. Η αγκύρωση μπορεί να γίνει και στο κάτω μέρος της δοκού, το προσκείμενο στον κόμβο, ώστε να ' αποφευχθεί η απόσχιση της. Τέλος, σκυροδετείται η πλάκα γύρω απ' τον κόμβο. Κάτι που ισχύει για όλους τους τύπους μανδύων ή ελασμάτων είναι πως το μήκος τους πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον 1m μήκους ανεπηρέαστης περιοχής οποιουδήποτε στοιχείου συνέρχεται σε αυτόν.

Η χρήση χάλυβα αντί μανδύα Ο/Σ μειώνει το χρόνο επισκευής. Επίσης επιτυγχάνεται μηχανική αναβάθμιση στον τρόπο αστοχίας, καθώς πρώτα καταρρέει η δοκός κοντά στην περιοχή σύνδεσης.



Σχ.2 εξωτερική διάταξη χάλυβα. Μελέτη από Coraza και Durani[4]

Παρ' όλα όμως τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν, τα χαλύβδινα στοιχεία είναι επιρρεπή σε διάβρωση, δύσκολα στην επεξεργασία πριν την τοποθέτηση και διαθέτουν μεγάλο όγκο και, πέραν των βελτιωμένων μηχανικών ιδιοτήτων που αυτή προσφέρει, παρατηρήθηκαν προβλήματα αρχιτεκτονικής αισθητικής και μη λειτουργικού χώρου, καθώς η μέθοδος έχει αισθητό όγκο. Τέλος, φαίνεται πολύ δύσκολη η εφαρμογή της σε τρισδιάστατο κόμβο.



Σχ.3 εξωτερική διάταξη χαλύβδινων ελασμάτων. Μελέτη από Beres[4]

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η τεχνική αυτή άρχισε να εφαρμόζεται το 1998. Συνήθως χρησιμοποιούνται ίνες υψηλής αντοχής τύπου E-glass(από γυαλί) ή ίνες άνθρακα συρραμμένες ή πλεγμένες σε μορφή υφάσματος που έχουν υποβληθεί σε ειδικούς κατά περίπτωση εργαστηριακούς ελέγχους, μιας και δεν υπάρχουν επίσημες προδιαγραφές, αλλά μόνο οδηγίες και προσχέδια.

Το σκεπτικό της τεχνικής βασίζεται στην επικόλληση μανδύων ή λωρίδων ινών άνθρακα ή γυαλιού στον κόμβο και στις κρίσιμες περιοχές δοκού-υποστυλώματος (ακόμα και σ' όλο το ύψος του υποστυλώματος για περίσφιξη).

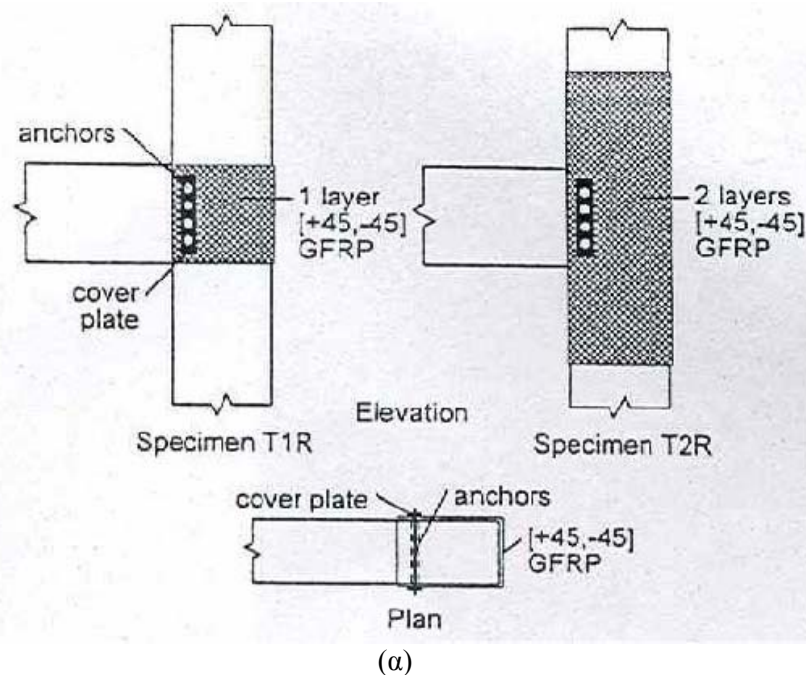
Τα ινοπλισμένα πολυμερή ουσιαστικά αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής έχουν υψηλή εφελκυστική αντοχή εμποτισμένες με ειδικά επεξεργασμένη ρητίνη, η οποία όμως χάνει τα χαρακτηριστικά της όσο η θερμοκρασία ξεπερνά τους 80 C. Τα λεγόμενα FRP χαρακτηρίζονται από μεγάλη παραμορφωσιμότητα (από 1.5-4%), εύκολη εφαρμογή, μικρό

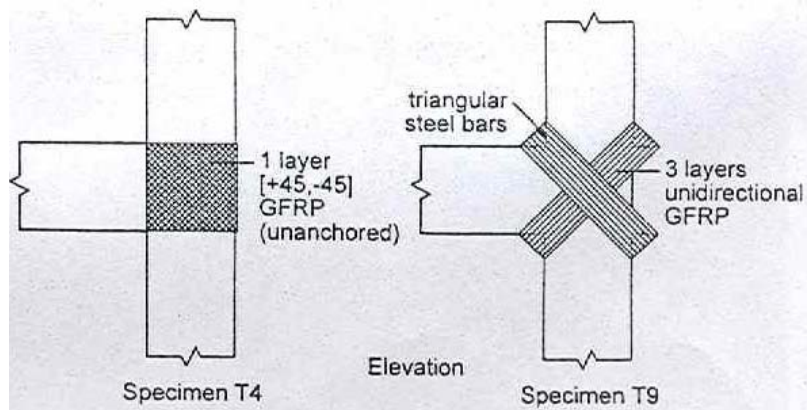
όγκο συγκριτικά με τα χαλύβδινα στοιχεία, αναπτύσσουν την πλήρη αντοχή τους σε μικρό χρονικό διάστημα και προστατεύουν από διάβρωση.

Παρ' όλα αυτά, χάνουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή (συνήθως άνω των 60-80 C) λόγω της ρητίνης, όπως αναφέρθηκε. Η εφελκυστική τους αντοχή είναι σχεδόν τετραπλάσια από αυτή ενός χάλυβα S500 (1500 έως 2500 MPa). Αυτή η τιμή μειώνεται από φόρτιση με διάρκεια. Αυτή η παράμετρος είναι βέβαια ακόμα αντικείμενο μελέτης, καθώς κάποιοι ερευνητές έχουν την άποψη πως τα σύνθετα υλικά έχουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε διάρκεια.

Η χρησιμότητά τους αποδείχθηκε ιδιαίτερα σε κατασκευές ανεπαρκείς σε λοξό εφελκυσμό κυρίως από σεισμικές δράσεις. Πειράματα έχουν γίνει σε επισκευασμένα, αρχικά άοπλα, δοκίμια και σε προσεισμικά ενισχυμένα με FRP. Και στις δύο περιπτώσεις τα συμπεράσματα είναι θετικά. Τα σύνθετα υλικά εμποδίζουν την ψαθυρή αστοχία και βελτιώνουν την ελαστική συμπεριφορά στις περιοχές που δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις. Αντίθετα, ως μεμονωμένα υλικά έχουν αδυναμία στην απορρόφηση ενέργειας εφόσον δεν συμπεριφέρονται πλάστιμα. Ο μανδύας προσφέρει κυρίως περίσφιξη του σκυροδέματος και αύξηση της διατμητικής αντοχής των δοκιμίων, ενώ οι λωρίδες σύνθετων υλικών προσφέρουν καλύτερη συμπεριφορά σε κάμψη, χωρίς να αναιρείται βέβαια κι η αποτελεσματικότητα σε διάτμηση.

Πριν την τοποθέτησή τους, καθαρίζεται η περιοχή από χαλαρά δομικά στοιχεία και γίνονται ρητινενέσεις σε μικρορωγμές, αν υπάρχουν. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πρέπει να είναι 5 έως 32 C, η θερμοκρασία επαφής του σκυροδέματος μεγαλύτερη των 2 C, και το ποσοστό υγρασίας μικρότερο του 90%. Εκτός σωστής θερμοκρασίας η ρητίνη αλλάζει χρόνο πήξης, άρα, λαμβάνοντας υπ' όψη αυτές τις συνθήκες επιλέγεται και η πιο κατάλληλα επεξεργασμένη ρητίνη, εφόσον υπάρχουν πολλά είδη. Οι λωρίδες του υλικού κολλώνται με εποξειδικές ρητίνες. Συνήθως, χρειάζονται πάνω από μια στρώση στον κόμβο, καθώς και ενίσχυση της δοκού προσκείμενη σ' αυτόν. Για δεύτερη και πάνω στρώσεις επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Στο τέλος-προαιρετικά- χρησιμοποιείται κονίαμα τσιμέντου, για προστασία των σύνθετων υλικών από περιβαλλοντικές επιδράσεις και πυρκαϊά.



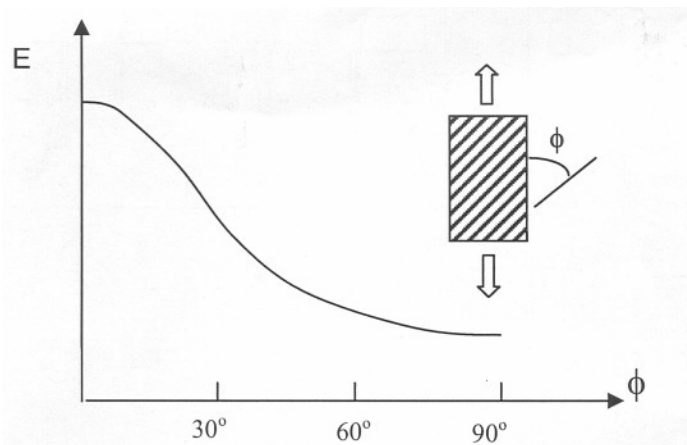


(β)

Σχ.4 (α) και (β) FRP από γυαλί. Δοκιμές από Ghobarah και Said[4]

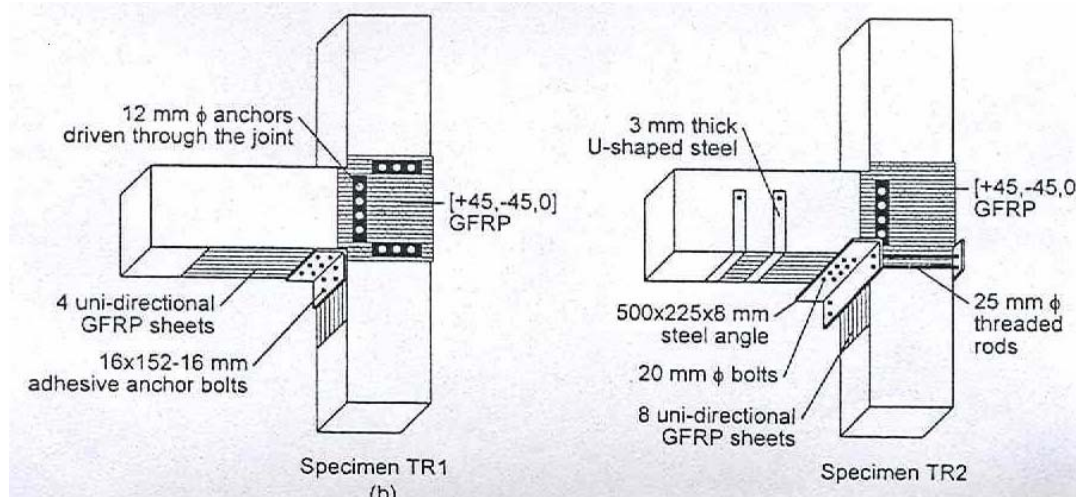
Η κλίση των ινών είναι 0, 90, +45. Θεωρητικά τοποθετούνται κάθετα σε πιθανές ρωγμές, επειδή, όμως, είναι πρακτικά δύσκολο, συνήθως τοποθετούνται κάθετα στον άξονα των δομικών μελών. Η κλίση των 45 φαίνεται να είναι προσεγγιστικά η πιο αποτελεσματική.

Στην περίπτωση χρήσης λωρίδων ανά αποστάσεις είναι αναγκαίο κάθε λοξή ρωγή τέμνει τουλάχιστον δύο λωρίδες.

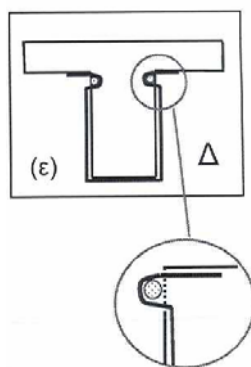


Σχ.5 μέτρο ελαστικότητας σύνθετων υλικών με ίνες μιας διεύθυνσης συναρτήσει γωνίας ινών προς διεύθυνση φόρτισης[2]

Πειράματα έχουν γίνει κυρίως σε κόμβους διπλής κατεύθυνσης. Έρευνες απέδειξαν ότι ακόμα και με πολύ λίγες στρώσεις μικρού πάχους (0,25 έως 0,3 mm) μπορούν να συνεισφέρουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής έως 80% με 100% της φέρουσας ικανότητάς τους (αυτή η αύξηση μόνο αν υπάρχει αγκύρωση στον κόμβο και τη δοκό). Απαραίτητη φαίνεται να είναι η καλή και προσεκτική αγκύρωση με βλήτρα-πολλές φορές ενισχυμένα με μεταλλικά φύλλα στις γωνίες- ώστε ν' αναπτυχθεί ολόκληρη η αντοχή τους σ' αυτή τη μικρή περιοχή. Τα αποτελέσματα χρήσης FRP είναι η ιδιαίτερα βελτιωμένη σεισμική συμπεριφορά κι ο καλύτερος τρόπος αστοχίας, δηλαδή πλαστική άρθρωση στη δοκό. Για όλα αυτά προτιμώνται κι ας είναι πιο ακριβές στο εμπόριο απ' τα χαλύβδινα ελάσματα.



Σχ.6 FRP από γυαλί με επιπλέον αγκύρωση. Δοκιμές από El-Amoury και Ghobarah[4]



Σχ.7. λεπτομέρεια ελάσματος ινών με αγκύρωση[2]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα χαλύβδινα ελάσματα και μανδύες είναι αποτελεσματικά στην τοπική αστοχία του κόμβου κι έχουν χαμηλότερο κόστος και χρόνο εγκατάστασης απ' ό τι η επισκευή με μανδύα Ο/Σ. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι πρακτικά λόγω μεγάλου όγκου κι ιδιαίτερα όταν υπάρχει πάτωμα στην περιοχή του κόμβου, έτσι προκαλούν προβλήματα αισθητικής και λειτουργικότητας. Τέλος, είναι επιρρεπή σε διάβρωση. Η χρήση σύνθετων υλικών φαίνεται να είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων ελασμάτων. Πολύ αποτελεσματική είναι η χρήση τους με καλή αγκύρωση και ιδιαίτερα με κλίση 45 μοιρών στον κόμβο. Παρ' όλα αυτά έχει παρατηρηθεί αστοχία στο σκυρόδεμα πριν γίνει η πλαστική άρθρωση στη δοκό, όπως είναι επιθυμητό, σε κάποια πειράματα και υπάρχουν αμφιταλαντευόμενες απόψεις σχετικά με την ανθεκτικότητα τους σε διάρκεια. Τέλος, επηρεάζονται έντονα από περιβαλλοντικές συνθήκες κι ιδιαίτερα την απότομη και μεγάλη άνοδο της θερμοκρασίας και τα ποσοστά υγρασίας. Σε γενικές γραμμές υπάρχει ακόμα μεγάλο πεδίο έρευνας όσον αφορά αυτές τις μεθόδους, αλλά και ελπιδοφόρα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ενισχύσεις/ επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Σ. Δρίτσος, εκδόσεις 2004, σ. 78-86, 150
- [2] Ενισχύσεις κατασκευών σκυροδέματος και τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά, Αθ. Χ. Τριανταφύλλου, μεταπτυχιακό μάθημα στους Πολιτικούς Μηχανικούς Πάτρας, σ. 49-59
- [3] Προσεισμική και μετασεισμική ενίσχυση δομικών υποσυνόλων οπλισμένου σκυροδέματος με χρήση σύνθετων υλικών(FRP), Α. Δ. Τσόνος
- [4] ACI Structural Journal, March-April 2005, p.5-10

- [5] «Φύλλα ινοπλισμένων πολυμερών», 10^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές/ ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», 2004, Δ. Κροντήρη-Γ. Χάσκα
- [6] Effectiveness of RC beam-column connections strengthening using C-FRP jackets -12th European Conference on Earthquake engineering. Paper reference 549
- [7]Κόμβοι δοκού υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα με σπειροειδείς οπλισμό υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, Αδ. Καπλάνη, ΔΠΘ 2003
- [8]Seismic upgrade of beam-column joints with FRP reinforcement, A.Prota, A. Nanni, G. Manfredi, E. Cozenna, Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures, Cambridge, July 2001.
- [9] «Τεχνολογία νέων υλικών σε επισκευές-ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», 6^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Ενισχύσεις/ Επισκευές Κατασκευών 2000», , Π. Νικολόπουλος
- [10] <http://nakos.com.gr>
- [11] <http://www.domiki.gr>
- [12] <http://www.kerakoll.gr>
- [13] <http://www.tee.gr/online/afieromata>