

ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΚΩΝ/ΝΟΣ
ΤΖΟΓΑΔΩΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

Περίληψη

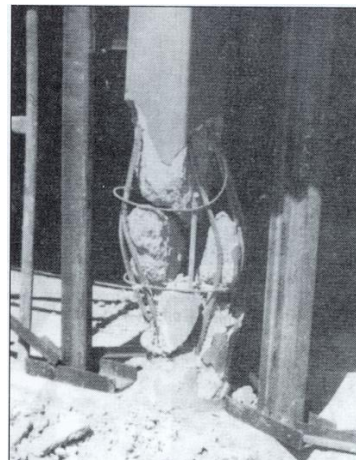
Η εργασία αυτή επιχειρεί να παρουσιάσει τα πλεονεκτήματα που έχει ο σπειροειδής οπλισμός, σε σχέση με τους συμβατικούς συνδετήρες, τόσο στα υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής, όσο και σ' αυτά κυκλικής διατομής. Πλεονεκτήματα που αφορούν τη συμπεριφορά τους σε σεισμό, αλλά και τη βεβαιότητα της σωστής τοποθέτησης του οπλισμού περίσφιγξης. Στο δεύτερο τύπο γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά και μέσα από πειραματικά αποτελέσματα αποδεικνύεται η ανωτερότητά τους, ιδιαίτερα όταν ο σπειροειδής οπλισμός συνδυαστεί με τη χρήση ινοπλισμένου σκυροδέματος ή συμβατικών συνδετήρων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τρόπος με τον οποίο αστοχούν τα υποστυλώματα κατά την διάρκεια ενός σεισμού είναι πάντοτε ο ίδιος, αποδιοργανώνεται η κεφαλή (Σχ.1) ή ο πόδας (Σχ.2) με το άνοιγμα των συνδετήρων. Μόλις λυθούν οι συνδετήρες, λυγίζουν τα κολονοσίδηρα και αποδιοργανώνεται το σκυρόδεμα.



Σχ.1 : Άνοιγμα συνδετήρων και αποδιοργάνωση της κεφαλής του υποστυλώματος



Σχ.2 : Άνοιγμα συνδετήρων και αποδιοργάνωση του πόδα του υποστυλώματος

Αυτό το είδος ζημιάς δε συμβαίνει μόνο στις κολώνες που κατασκευάστηκαν παλιά και έχουν λίγα σίδηρα, αλλά συμβαίνει το ίδιο και στις κολώνες που πλέον έχουν πολλά σίδηρα, εφόσον αυτές δεν κατασκευάζονται με τις σωστές προδιαγραφές. Σε όλο τον κόσμο όσο πολλά κι αν είναι τα σίδηρα, ο λόγος για τον οποίο καταρρέουν οι κατασκευές είναι παρόμοιος, σχετίζεται με την έλλειψη σωστά κατασκευασμένων και τοποθετημένων συνδετήρων.

2. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΛΩΝ ΤΟΥ Φ.Ο.

Η αντισεισμικότητα των δοκών και ιδιαίτερα των υποστυλωμάτων εξαρτάται κυρίως από τους συνδετήρες. Αυτοί εξασφαλίζουν αφενός μεν την περίσφιγξη των ράβδων του οπλισμού

που περιβάλλουν, αφετέρου τη συγκράτηση του σκυροδέματος που τείνει να σπάσει με πλευρική διόγκωση.

Κατά τη διάρκεια του σεισμού εξασκούνται πολύ υψηλές εντάσεις, τουλάχιστον σε ορισμένα από τα στοιχεία του σκελετού, με αποτέλεσμα να εξασκούνται πολύ υψηλές θλιπτικές δυνάμεις τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στις ράβδους του οπλισμού. Οι δυνάμεις αυτές αναγκάζουν το σκυρόδεμα να διογκωθεί πλευρικά και τις ράβδους του οπλισμού να λυγίσουν (Σχ.1 και Σχ.2) και τελικά να σπάσουν. Αυτό συμβαίνει επειδή το μέτρο ελαστικότητάς τους, στο επίπεδο αυτό της υψηλής έντασης, έχει μειωθεί δραματικά. Και οι δυο αυτοί παράγοντες σεισμικής αστοχίας αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά μόνο με την ύπαρξη πυκνών και σωστά τοποθετημένων συνδετήρων.

Γενικά τόσο οι δοκοί όσο και τα υποστυλώματα, κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού, αστοχούν με άνοιγμα των συνδετήρων. Αν μάλιστα δεν είναι και καλά κλειστοί (όπως συμβαίνει κατά κανόνα), τότε ανοίγουν και σε μικρής έντασης σεισμούς.

3. ΟΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

Οι συνδετήρες αποτελούν έναν από τους κρίσιμότερους παράγοντες της ποιότητας και της αντισεισμικής αντοχής των κτιρίων. Τρεις είναι οι κυριότερες παράμετροι αξιοπιστίας του συνδετήρα :

α. Τα κατάλληλα άγκιστρα στα άκρα του. Είναι εντελώς απαραίτητα για την εξασφάλιση της λειτουργίας του συνδετήρα στην περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού, κατά τον οποίο δημιουργείται αποφλοιώση του σκυροδέματος, οπότε ο μόνος μηχανισμός αγκύρωσης που παραμένει, είναι τα άγκιστρα. (Σχ.3)

β. Η διάμετρος καμπύλωσης στις γωνίες. Η κάμψη των συνδετήρων πρέπει να γίνεται σε πείρο διαμέτρου τουλάχιστον 5 \varnothing , δηλαδή για $\varnothing 10$, είναι $D=50$ mm. (Σχ.3)

γ. Σκέλη συνδετήρα σε μέγιστη απόσταση μεταξύ τους 20 cm (π.χ. μια κολώνα 50x50 χρειάζεται τρεις συνδετήρες σε κάθε στρώση).



Σχ.3 : Γεωμετρικά στοιχεία μόρφωσης συνδετήρα

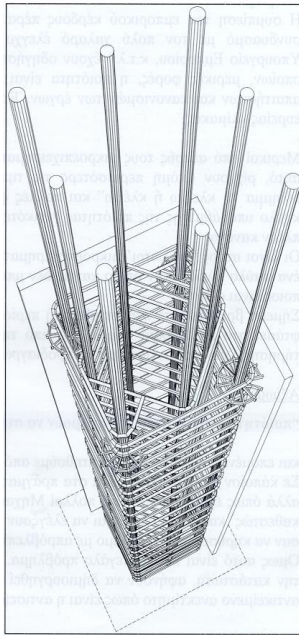
Δυστυχώς στις περισσότερες κατασκευές δεν τηρείται καμία από τις τρεις κατασκευαστικές προδιαγραφές των συνδετήρων. Σίγουρα η εφαρμογή τους έχει το υψηλότερο κόστος του συνολικού σιδερώματος, είναι όμως εντελώς κρίσιμες για την αντισεισμική αντοχή της κατασκευής και στις επερχόμενες δύσκολες ημέρες εκεί θα φανούν τα μειονεκτήματά.

Αν σε ένα υποστύλωμα τοποθετηθούν 10% λιγότερες ράβδοι, η αντοχή του υποστυλώματος θα γίνει περίπου 10% μικρότερη, αν αφαιρέσουμε έστω και ένα μόνο ενδιάμεσο τσέρκι στο ίδιο υποστύλωμα η αντοχή του μπορεί να γίνει 50% μικρότερη επειδή διπλασιάζεται το μήκος λυγισμού των ράβδων που περιβάλλει.

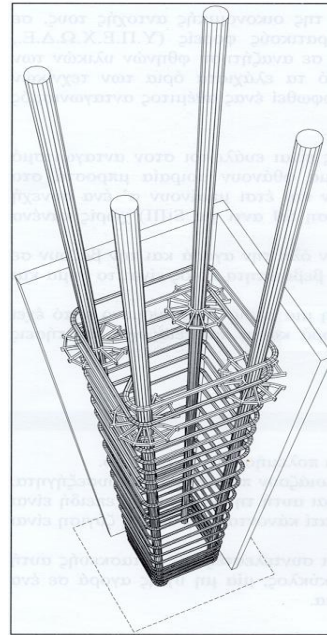
Οι ανωτέρω παράμετροι μπορούν κατασκευαστικά να επιτευχθούν εύκολα με τη χρήση σπειροειδούς οπλισμού.

4. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ

Η δυσκολία επίτευξης υψηλής ποιότητας κατασκευής οπλισμού με κοινούς συνδετήρες (τσέρκια) ή με "μανδύες" (κλωβοί πλεγμάτων) και το υψηλό κόστος κατασκευής και τοποθέ-



Σχ.4 : Υποστύλωμα διατομής 40/40 με αντισεισμικό θώρακα



Σχ.5 : Υποστύλωμα διατομής 30/30 με αντισεισμικό θώρακα

τησης, ώθησαν στην έρευνα νέων τρόπων σύνδεσης και την μελέτη, την τυποποίηση και την βιομηχανοποίηση ενός νέου είδους όπλισης με ατέρμονες, ανελισσόμενους σπειροειδείς συνδετήρες, τους "αντισεισμικούς θώρακες", που είναι πλέον αρκετά γνωστό προϊόν στο χώρο των κατασκευών. (Σχ.4 και Σχ.5)

Οι αντισεισμικοί θώρακες ανταποκρίνονται στις υψηλότερες απαιτήσεις ποιότητας και ασφάλειας των οικοδομών. Πριν απ' όλα παρουσιάζουν τη μέγιστη αντοχή σε σεισμό. Όχι μόνο λύνουν το πρόβλημα της κατασκευής με απόλυτη ακρίβεια, λόγω βιομηχανικής κατασκευής, αλλά και εξασφαλίζουν την γρήγορη και ορθή τοποθέτηση του οπλισμού των συνδετήρων. Κυρίως όμως δημιουργούν ένα τέλεια περισιγμένο υποστύλωμα, απόλυτα πλάστιμο, με δυνατότητα ανάληψης τεράστιας έντασης. Εκτός όλων των τεχνικών πλεονεκτημάτων, των βιομηχανικών σπειροειδών αυτών συνδετήρων, το φαινομενικά υψηλό κόστος απαλείφεται αν συγκριθεί με την εξοικονόμηση υλικού και την εξοικονόμηση εργατικών που έχουμε με την χρησιμοποίησή του.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του νέου είδους οπλισμού περίσιγξης γίνονται κατανοητά, αν αναλογιστούμε τα ακόλουθα πορίσματα, τα οποία έχουν προκύψει από την εφαρμογή των συμβατικών συνδετήρων:

1. Όσα σίδερα και αν βάλουμε (επομένως και όσα χρήματα αν ξοδέψουμε) δεν μπορούμε να φτάσουμε στην αντοχή της μελέτης, εφόσον δεν τηρήσουμε τις αντισεισμικές προδιαγραφές.

2. Η οικονομικότητα της όπλισης σύμφωνα με τις αντισεισμικές προδιαγραφές είναι κατά μέσον όρο τουλάχιστον 100% υψηλότερη από ότι με όπλιση χωρίς την τήρηση των προδιαγραφών.

3. Το κόστος σωστής τοποθέτησης των σιδήρων είναι πολύ μικρότερο από το συνολικό κόστος τους.

4. Για να αξιοποιηθούν τα χρήματα που δίνει ο ιδιοκτήτης για τον οπλισμό πρέπει τα σίδερα να τοποθετούνται με επιμέλεια.

5. Με το ίδιο κόστος: Βάζοντας λιγότερα σίδερα κατά π.χ. 10%, τοποθετημένου οπλισμού όμως σύμφωνα με τις προδιαγραφές, έχουμε 100% μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με την περίπτωση που βάζουμε όλα τα σίδερα τοποθετημένα όμως "χύμα". Φυσικά και στις δυο περιπτώσεις η κατασκευή είναι αυθαίρετη.

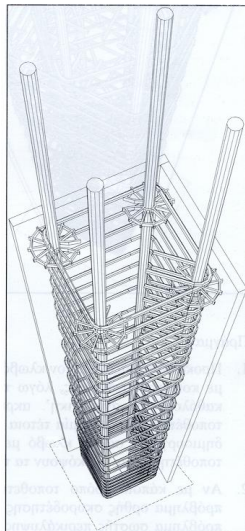
5. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΑΩΝ ΚΑΙ Η ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑ

Ο κοινός τεχνίτης του οπλισμού που κατά κανόνα εργάζεται εργολαβικά (δηλαδή πληρώνεται σύμφωνα με την απόδοση που θα έχει π.χ. 30 δρχ. ανά κιλό οπλισμού), ο λεγόμενος σιδεράς, αντιδρά σε αλλαγές κατασκευαστικών πρακτικών επειδή αφ' ενός του φαίνεται βουνό κάθε τι που δεν έχει ξανακάνει, αφ' ετέρου δεν μπορεί να υπολογίσει την διαφορά του κόστους για τη νέα πρακτική όσο απλή κι αν είναι αυτή. Οι τεχνίτες που έχουμε αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα έχουν το μειονέκτημα να μην έχουν περάσει από κανένα είδος τεχνικού σχολείου με αποτέλεσμα να μην αισθάνονται σίγουροι για τον εαυτό τους διότι η τεχνική παιδεία τους είναι καθαρά εμπειρική. Κάθε λοιπόν νέα τεχνολογία, η οποία είναι έξω από την παραδοσιακή τεχνική πρακτική τους, τους κάνει συχνά αρνητικούς έως και πολέμιους. Θα μπορούσε να πει κάποιος ότι αυτή η ερμηνεία δεν εξηγεί τον λόγο για τον οποίο αρνούνται να κατασκευάσουν τους πολύ απλούς γάντζους στα τσέρκια. Πράγματι ο τρόπος με τον οποίο αρνούνται να κατασκευάζουν άγκιστρα στα τσέρκια, είτε αυτά κατασκευάζονται με μανδύα, είτε με ράβδους είναι επιφανειακά μόνο επιπόλαιοι λέγοντας ότι: "είναι δύσκολο να φτιαχτούν οι γάντζοι" ή ακόμη πιο αποφασιστικά "οι γάντζοι δεν μπορούν να κατασκευαστούν". Η πραγματικότητα είναι ότι οι γάντζοι φτιάχνονται εύκολα, η εφαρμογή τους όμως είναι δύσκολη.

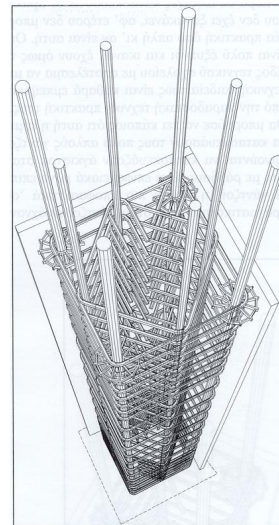
Πράγματι... Προκατασκευάζοντας τον κλωβό των συνδετήρων με το συνηθισμένο τρόπο του μανδύα ή με κοινούς συνδετήρες, λόγω της ύπαρξης των αναμονών που και πυκνές είναι και με καθόλου "μηχανουργική" ακρίβεια τοποθετημένες, είναι σχεδόν αδύνατη την τοποθέτησή τους. Σε μία τέτοια περίπτωση που ο Μηχανικός "εξαναγκάσει" τον σιδερά να δημιουργήσει σωστό κλωβό με άγκιστρα, κινδυνεύει αν δεν παρίσταται τη στιγμή της τοποθέτησης να του κόψουν τα τσέρκια.

Αν με κάποιο τρόπο τοποθετηθούν οι κλωβοί με τα άγκιστρα, τίθεται σοβαρότατο πρόβλημα ορθής σκυροδέτησης όχι μόνο λόγω της δυσκολίας σωστής δόνησης αλλά και πρόβλημα σωστής περικάλυψης του οπλισμού στα σημεία των άγκιστρων (Σχ.6 και Σχ.7). Σε μία τέτοια περίπτωση όσο καλή προσπάθεια σκυροδέτησης και να γίνει μετά το ξεκαλούπωμα θα έχουν μείνει φωλιές.

Τα ανωτέρω προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν με την καινοτομία που λέγεται Αντισεισμικοί Θώρακες που λόγω μορφής, μια και δεν έχουν καθόλου άγκιστρα, δεν έχουν κανένα από τα παραπάνω δύο προβλήματα. Αυτό μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό οπτικά συγκρίνοντας τα Σχ. 4 και 5 με τα Σχ. 6 και 7. Στα πρώτα είναι φανερός ο χώρος που δημιουργείται ευνοώντας τη σωστή δόνηση και την αποτελεσματική σκυροδέτηση.



Σχ.6 : Υποστυλώμα διατομής 30/30 με κοινά τσέρκια χωρίς εναλλασσόμενα άγκιστρα



Σχ.7 : Υποστυλώμα διατομής 40/40 με κοινά τσέρκια χωρίς εναλλασσόμενα άγκιστρα

6. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗ ΟΠΛΙΣΜΟ

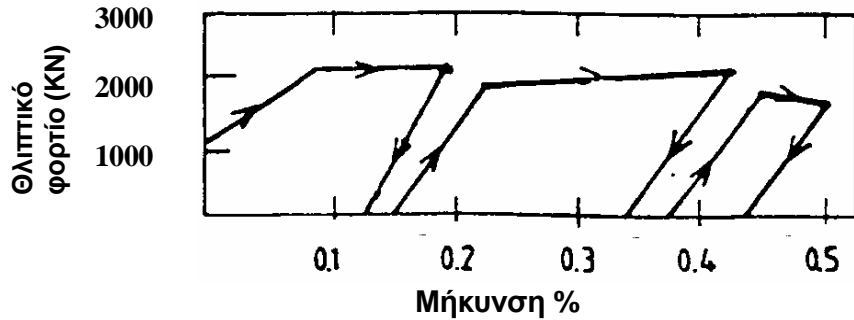
Πιο διαδεδομένα σε εφαρμογή είναι τα υποστυλώματα κυκλικής διατομής με σπειροειδή οπλισμό σε σχέση με τα αντίστοιχα ορθογωνικής διατομής που προαναφέρθηκαν. Δεν υπάρχει μηχανική ιδιότητα που τα υποστυλώματα κυκλικής διατομής με σπειροειδείς οπλισμούς να υστερούν έναντι των ομολόγων τους ορθογωνικής διατομής. Με την εφαρμογή τους στις περιοχές αμελητέας σεισμικής επικινδυνότητας είναι δυνατό να επιτύχουμε μείωση των διατομών χάρη στην αισθητά βελτιωμένη αντοχή τους λόγω περισφίξεως του σκυροδέματος απ' τη σπείρα. Στις σεισμογενείς περιοχές εκδηλώνουν την υπεροχή τους χάρη στην αυξημένη τους πλαστιμότητα.

Κάποιοι από τους λόγους που τα υπόψη υποστυλώματα στερήθηκαν, στη χώρα μας τουλάχιστον, τη διάδοση που δικαιούνται είναι κατασκευαστικοί. Π.χ. το πρόβλημα του ξυλοτύπου τους ή της κατασκευής του σπειροειδούς οπλισμού. Όμως σήμερα με τη διάδοση των χαρτοτύπων μιας χρήσεως και με την ενδεχόμενη τυποποίηση των μεταλλικών σπειρών αίρονται τα κατασκευαστικά εμπόδια και ίσως τα μόνα που θα μείνουν απ' τα εμπόδια θα είναι η άγνοια των πλεονεκτημάτων τους και η ώθηση του παρελθόντος που είναι ασφαλώς υπέρ των ορθογωνικής διατομής υποστυλωμάτων.

Το περίεργο, πάντως, είναι ότι και οι κανονισμοί δεν δίνουν τη δέουσα έμφαση στη διαστασιολόγησή τους, ιδιαίτερα την αντισεισμική. Λ.χ. δεν προβλέπουν τον τρόπο ελέγχου τους έναντι τέμνουσας.

Ένα άλλο σημείο στο οποίο πρέπει να ασκηθεί κριτική είναι η αποκλειστική προτίμηση του St I στην κατασκευή του σπειροειδούς οπλισμού, ενώ είναι γνωστό ότι παρά το πλεονέκτημα της μεγάλης ολκιμότητας ο χάλυβας αυτός είναι πολύ λίγο αποδοτικός στη δημιουργία περισφίξεως. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που υπάρχει το ενδεχόμενο έντονης αυξομειώσεως του αξονικού φορτίου λόγω υψηλών σεισμικών ροπών ανατροπής του χωρικού συστήματος με την αύξηση της περισφίξεως και την απ' αυτή αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος προσδοκείται η παραλαβή της, αυξημένης φορτίσεως. Σε μια τέτοια περίπτωση τυχόν χρησι-

μοποίηση του S220 είναι ενδεχόμενο να γίνει αιτία αθροιστικού "ξεχειλώματος" της σπείρας με αποτέλεσμα την πρόωρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος (Σχ.8).

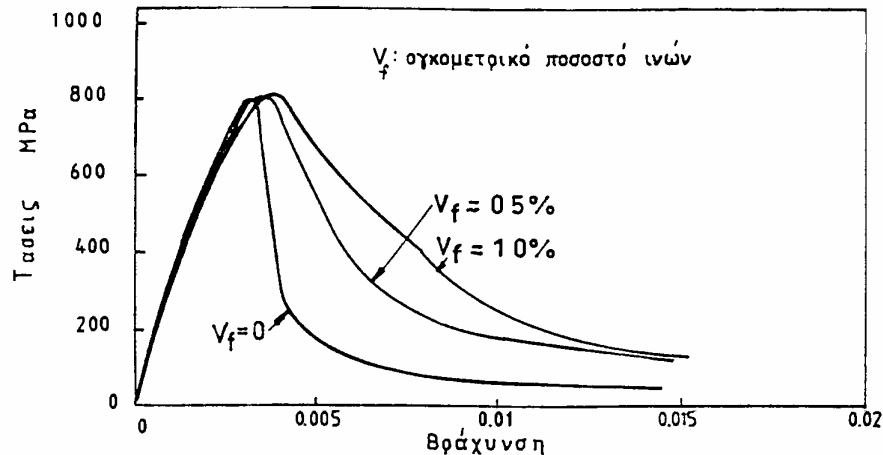


Σχ.8 : Προοδευτικό "ξεχείλωμα" οπλισμών υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση λόγω ισχυρών ροπών

Φυσικά το πρόβλημα δεν αφορά μόνο τους σπειροειδείς οπλισμούς αλλά και τους συνδετήρες των δοκών και των υποστυλωμάτων απ' το σιδέρωμα των οποίων δεν έχει ξεριζωθεί η κακή παράδοση που επέβαλαν οι αντιρρήσεις των σιδηράδων μας και η γνωστή ανεπάρκεια σε ολκιμότητα των Ελληνικών χαλύβων.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις προτείνεται η εφαρμογή της νέας, για τα Ελληνικά δεδομένα, ποιότητας χάλυβα S500s.

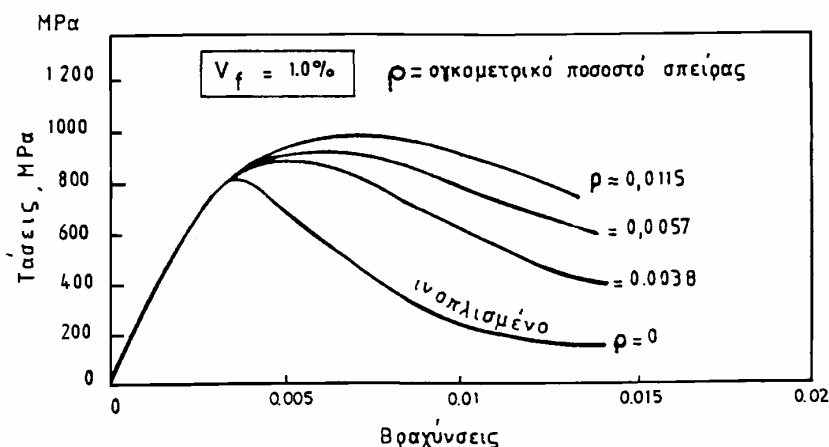
Ένα σύγχρονο πρόβλημα που η αντιμετώπισή του συνδέεται με τη χρησιμοποίηση σπειροειδών οπλισμών είναι και οι εφαρμογές του high-strength concrete (HSC), τουτέστιν βελτιωμένων σκυροδεμάτων αντοχής μεγαλύτερης από την προδιαγραφόμενη ανώτατη ποιότητα των Κανονισμών C50. Ακριβέστερα σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σκυροδέματα υψηλής αντοχής χαρακτηρίζονται εκείνα που διαθέτουν αντοχή πάνω από 80 MPa (≈ 12.000 psi). Αλλά είναι γνωστό ότι όσο αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος τόσο το σκυροδέμα γίνεται ψαθυρότερο υλικό όπως αντίστοιχα ο χάλυβας χάνει την ολκιμότητά του όταν αυξηθεί με κάποια κατεργασία το όριο της διαρροής του. Στην περίπτωση του σκυροδέματος τα "φάρμακα" είναι δύο : (α) Η περισφιγξη με τη χρησιμοποίηση σπειροειδών οπλισμών και (β) η προσθήκη στο σκυροδέμα ινών (fiber concrete) ομοιόμορφα κατανεμημένων και τυχαία διασπαρμένων στη μάζα του. Στο Σχ. 9 δίνεται η βαθμιαία άρση της ψαθυρότητας σκυροδέματος με την ενσωμάτωση σ' αυτό διαφόρων ποσοστών χαλύβδινων ινών.



Σχ.9 : Βελτίωση φθίνοντα κλάδου διαγράμματος $\sigma - \epsilon$ σκυροδέματος με ενσωμάτωση στη μάζα μεταλλικών ινών.

Επίσης στο Σχ. 10 φαίνεται η περαιτέρω μείωση της ψαθυρότητας με την εφαρμογή διαφόρων βαθμών περισφίξεως μέσω σπειροειδών οπλισμών. Παρατηρείται μάλιστα στη δεύτερη περίπτωση ότι παράλληλα με τη μείωση της ψαθυρότητας έχουμε και σημαντική αύξηση της αντοχής του υλικού.

Όπως είναι γνωστό, η ψαθυρότητα του σκυροδέματος, που εκδηλώνεται με την αποτομία της κλίσεως του φθίνοντα κλάδου του διαγράμματος σ-ε, οφείλεται στη δημιουργία εσωτερικών ρωγμών συνάφειας μεταξύ των αδρανών και του σκληρυμένου τσιμεντοκονιάματος φαινόμενο που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κλίσεως του φθίνοντα κλάδου του διαγράμματος τάσεων παραμορφώσεων. Η επιρροή της περισφίξεως αρχίζει να εκδηλώνεται τη στιγμή που εσωτερική ρηγμάτωση προκαλεί τη δίογκωση του υλικού. Γι' αυτό το λόγο οι σπειροειδείς οπλισμοί δεν επηρεάζουν τον ανερχόμενο κλάδο του διαγράμματος σ-ε και η συνεισφορά τους αντικατοπτρίζεται σ' αυτό, όταν η φόρτιση πλησιάσει την αντοχή του υλικού.



Σχ.10 : Πρόσθετη βελτίωση μηχανικής συμπεριφοράς ινοπλισμένου σκυροδέματος μέσω σπειροειδούς οπλισμού

Τέλος η υπεροχή των υποστρωμάτων κυκλικής διατομής με σπειροειδείς οπλισμούς δεν περιορίζεται στη θλιπτική αξονική εντατική καταπόνηση, γιατί επεκτείνονται στις άλλες εντατικές καταπονήσεις, κάμψεως, τέμνουσας διατρήσεως και αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι δεν εκδηλώνονται σ' αυτά οι δυσμενείς επιπτώσεις της λοξής εν γένει, σεισμικής καταπονήσεως η οποία προκαλεί σημαντική μείωση των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων των δομικών στοιχείων, όπως η αντοχή, η ακαμψία και η ικανότητα απορροφήσεως ενεργείας. Αυτό το πλεονέκτημα των υποστρωμάτων κυκλικής διατομής έναντι των αντιστοίχων τετραγωνικής διατομής καλύπτει τη μικρή διαφορά καμπτικής αντοχής (= 10%) που παρατηρείται μεταξύ των δύο τύπων υποστρωμάτων όταν αυτά δεν διαφέρουν ως προς : τους διαμήκεις οπλισμούς, οπλισμούς περισφίξεως, εμβαδόν διατομής πυρήνα, ποιότητες υλικών και αξονική φόρτιση.

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗ ΟΠΛΙΣΜΟ

7.1 ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ως βασικοί στόχοι της εργασίας τέθηκαν οι εξής :

1. Η εξέταση της δυνατότητας βελτιώσεως των αποτελεσμάτων περισφίξεως με συνδυασμούς διαφόρων μέσων.

2. Η διερεύνηση της επιρροής της ολκιμότητας του χάλυβα στα αποτελέσματα της περισιφίξεως.

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία αναφέρονται κυρίως χαρακτηριστικά των σπειροειδών οπλισμών όπως :

- Το βήμα της σπείρας
- Η διάμετρος της σπείρας
- Το όριο διαρροής της σπείρας
- Η ολκιμότητα της σπείρας

7.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η εργασία περιλαμβάνει 9 δοκίμια υποστυλωμάτων κυκλικής διατομής χωρίς διαμήκεις, οπλισμούς και με ποιότητα σκυροδέματος C25 περίπου. Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται τα χαρακτηριστικά των σπειροειδών οπλισμών των δοκιμίων. Στην τελευταία στήλη του Πίνακα δίνονται οι συμπληρωματικοί βελτιωτικοί της περισιφίξεως τρόποι, που αφορούν μόνο τα δοκίμια 8 και 9. Οι συμβατικοί συνδετήρες του δοκιμίου 8 έχουν τη σταυροειδή μορφή του Σχ. 11 και είναι δίτητοι σε κάθε διεύθυνση χ και γ . Η διάμετρος των συνδετήρων είναι $\Phi 4.2$ και οι μεταξύ αποστάσεις τους 35mm. Επίσης το ινοπλισμένο σκυρόδεμα του Δοκιμίου 9 έχει περιεκτικότητα σε μεταλλικές ίνες $V_f = 0.75\%$ κατ' όγκο. Οι ίνες έχουν λόγο διαστάσεων $l/d = 60$.

Το Δοκίμιο 1 κατασκευάστηκε άοπλο για λόγους συγκρίσεως και εκτιμήσεως της συμβολής του σπειροειδούς οπλισμού στη βελτίωση της αντοχής και της περισιφίξεως.

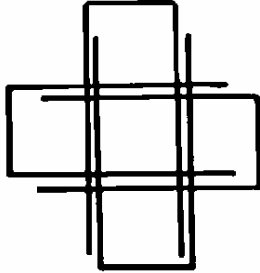
Δοκίμια	f_c	Σπειροειδείς οπλισμοί						Συμπληρωματική περίσιφιξη
		Φ mm	S mm	f_{ys} Mpa	Φ mm	S mm	f_{ys} Mpa	
1	25.5	-	-	-	-	-	-	
2	26	4.2	20	800	-	-	-	
3	25	4.2	35	800	-	-	-	
4	26	4.2	50	800	-	-	-	
5	25.5	-	-	-	5.5	20	475	
6	24.5	-	-	-	5.5	35	475	
7	24	-	-	-	5.5	50	475	
8	24.5	4.2	35	750	-	-	-	$\Phi 4.2/35$
9	26	4.2	35	750	-	-	-	Ινοπλισμένο με $V_f = 0.75\%$

Οι διαστάσεις των δοκιμίων είναι 205mm εξωτερική διάμετρος, 175mm η διάμετρος του πυρήνα τους και 800mm το ύψος τους.

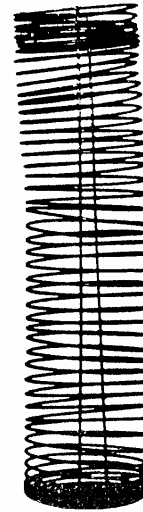
Στα άκρα των δοκιμίων το βήμα των σπειροειδών οπλισμών πυκνώνεται στα 10mm προς άρση των επιπτώσεων των κατασκευαστικών ατελειών στις κρίσιμες αυτές περιοχές, οι οποίες (ατέλειες) είναι δυνατό να προκαλέσουν πρόωγη αστοχία λόγω φαινομένων διαστάσεως. Τέτοιες σπείρες τοποθετήθηκαν και στα άκρα του άοπλου δοκιμίου 1. Στο Σχ.12 φαίνεται ο σπειροειδής οπλισμός ενός δοκιμίου με τις ακραίες πυκνώσεις του βήματος.

Μόλις τα δοκίμια αποκτούν την επιθυμητή αντοχή του 25MPa (μετά από τη σχετική συντήρηση) τοποθετούνται στη διάταξη φορτίσεως (πρέσα) αυθημερόν αφού σκουπιστούν και στεγνώσουν για μερικές ώρες. Κατόπιν υποβάλλονται σταδιακά και με αργό, σχετικά ρυθμό σε αξονική θλιπτική φόρτιση ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται η βράχυνσή τους ανά 50KN.

Με βάση τα δεδομένα των φορτίσεων υπολογίζονται οι τάσεις απ' τα φορτία και οι μηκύνσεις απ' τις απόλυτες βραχύνσεις και το μήκος του δοκιμίου και με τον τρόπο αυτό κατασκευάζεται για κάθε δοκίμιο ένα διάγραμμα σ-ε.



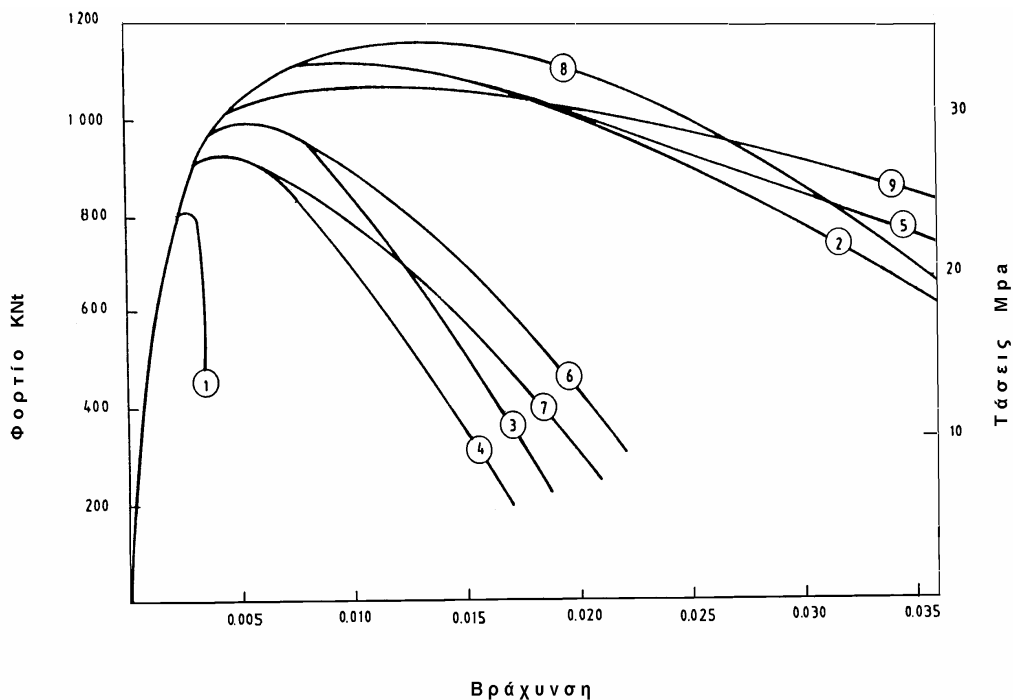
Σχ.11 : Πρόσθετοι συνδετήρες δοκιμίου 8



Σχ.12 : Σπειροειδείς οπλισμός δοκιμίων

7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχ. 13 δίνονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας υπό μορφή διαγραμμάτων σ-ε για όλα τα δοκίμια της εργασίας. Στα διαγράμματα αντικατοπτρίζεται ουσιαστικά ο βαθμός περισφίξεως, που αναπτύχθηκε ανάλογα με το βήμα, τη διάμετρο Φ, την αντοχή και την ολκιμότητα των σπειροειδών οπλισμών των δοκιμίων. Επίσης στα διαγράμματα σ-ε των δύο δοκιμίων που επιδιώχθηκε περισφίγξη με δύο μέσα φαίνεται ο βαθμός συμβατότητας των μέσων περισφίξεων.



Σχ.13 : Πειραματικά αποτελέσματα

Ειδικότερα όσον αφορά τη συμπεριφορά των δοκιμών κατά τη διάρκεια της φορτίσεως και τον τρόπο εκδηλώσεως της αντοχής τους αναφέρονται τα εξής :

1. Το δοκίμιο 1, χωρίς σπειροειδείς οπλισμούς, αστόχησε απότομα με την εμφάνιση διαμηκών κυρίως ρωγμών. Η τάση αστοχίας του άοπλου δοκιμίου, παρά την αναμενόμενη επιρροή του size effect δεν διέφερε από εκείνη των κυλινδρικών δοκιμών ελέγχου $f_c=25\text{MPa}$.

2. Τα υπόλοιπα δοκίμια που διέθεταν εγκάρσια σπειροειδή όπλιση παρουσίασαν αποφλοώση κοντά στο μέγιστο φορτίο αστοχίας τους μετά το οποίο ο πτωτικός κλάδος του διαγράμματος εκδήλωσε κλίση απότομη ή ηπιότερη ανάλογα με την αναπτυχθείσα περισφιγξη. Απ' την περισφιγξη, επίσης επηρεάστηκε η αύξηση του φορτίου αστοχίας συγκριτικά με το αντίστοιχο φορτίο του άοπλου δοκιμίου. Η μέγιστη αύξηση αντοχής που παρατηρήθηκε στα πυκνά οπλισμένα δοκίμια 2 και 5 ήταν λίγο μεγαλύτερη από 40% της αντοχής του άοπλου δοκιμίου.

3. Στα δοκίμια με ισχυρή περισφιγξη η μήκυνση "ε" έφτασε στο 3.5% και παρά τη μήκυνση αυτή το υποστύλωμα ήταν σε θέση να παραλάβει το φορτίο λειτουργίας του κατά τον Κανονισμό.

4. Η αστοχία εκδηλώθηκε στα δοκίμια (πλην του άοπλου) με εκρηκτική θραύση του σπειροειδούς οπλισμού. Η πρώτη θραύση του σπειροειδούς οπλισμού εκδηλώνονταν για πολύ μεγάλη παραμόρφωση (βράχυνση) και ακολουθούνταν από άλλες θραύσεις γειτονικών προς την πρώτη σημείων της σπείρας. Στο δοκίμιο 2 παρατηρήθηκαν μετά την αποφόρτιση έξι σημεία θραύσεως του σπειροειδή οπλισμού, όλα στην κεντρική περιοχή του δοκιμίου.

Η εκδήλωση μιας αστοχίας στον οπλισμό συνοδεύονταν από αρνητικό άλμα στην αντοχή του δοκιμίου. Πολλαπλές θραύσεις προκαλούσαν ραγδαία επιδείνωση της αναλαμβανόμενης αντοχής και αύξηση της κλίσεως του φθίνοντα κλάδου του διαγράμματος σ-ε.

5. Εντυπωσιακή ήταν η συμπεριφορά του δοκιμίου 8 με τη μικτή εγκάρσια όπλιση (σπείρα και συνδετήρες). Ενώ τα αμιγώς οπλισμένα με σπείρες δοκίμια μετά τη θραύση της σπείρας παραμορφώνονταν με μονόπλευρη, συνήθως διόγκωση της περιοχής ομαδικής αστοχίας των σπειρωμάτων, το εν λόγω δοκίμιο δεν εμφάνισε διογκωτικές τάσεις παρά τις πολλαπλές αστοχίες του σπειροειδούς οπλισμού του. Αυτό οφείλεται στη συγκράτηση του υλικού το οποίο δεν μπόρεσε όπως στις άλλες περιπτώσεις να εκτονωθεί απ' τον διατηρηθέντα πυρήνα, αλλά συγκρατήθηκε στη θέση του απ' τους αλώβητους συνδετήρες της περιοχής του "τραύματος". Σημειώτεον ότι δεν παρατηρήθηκαν θραύσεις συνδετήρων στο δοκίμιο και πιθανολογούνται ολισθήσεις των αγκυρώσεων τους στη μάζα του σκυροδέματος.

6. Το άλλο δοκίμιο, το 9, μικτής οπλίσεως περισφίξεως με σπειροειδούς οπλισμούς και μεταλλικές ίνες δεν παρουσίασε ιδιαίτερα αυξημένη αντοχή, συγκριτικά με τα δοκίμια 2 και 5, όμως είχε αισθητά βελτιωμένο το φθίνοντα κλάδο του διαγράμματος του σ-ε.

7.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

Τα συμπεράσματα της εργασίας είναι δυνατό να συνοψισθούν ως εξής :

1. Με ισχυρούς σπειροειδείς οπλισμούς ($\omega_w = 0.05$) επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων, της τάξεως του 50%, και εντυπωσιακή αύξηση της μηκύνσεως αστοχίας τους, η οποία περίπου δεκαπλασιάζεται.

2. Χάλυβες με υψηλό όριο διαρροής είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί ως οπλισμοί περισφίξεως.

3. Η υψηλή ολκιμότητα των οπλισμών περισφίξεως βελτιώνει τη μέγιστη τιμή της μηκύνσεως (βραχύνσεως) "ε" του διαγράμματος σ-ε.

4. Η εφαρμογή μεικτού τύπου οπλισμών περισφίξεως από σπειροειδείς οπλισμούς και μικτούς συμβατικούς συνδετήρες αποτελεί έναν ιδιαίτερα ικανοποιητικό τύπο περισφίξεως, που επιπλέον δίνει στο στοιχείο ικανότητα διατηρήσεως του σχήματος του και μέρους της αντοχής ακόμη και μετά την πολλαπλή αστοχία των σπειροειδών οπλισμών.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά η εφαρμογή σπειροειδούς οπλισμού μπορεί να είναι πιο ακριβή, η πιθανή αστοχία όμως λόγω κακής τοποθέτησης συμβατικών συνδετήρων μπορεί να αποβεί μοιραία και κάθε συζήτηση περί κόστους να μην έχει πλέον νόημα.

Για να τύχει ευρείας εφαρμογής ο σπειροειδής οπλισμός (κυρίως σε ορθογωνικής διατομής υποστυλώματα που αποτελούν και την πλειοψηφία) πρέπει αυτός να γίνει γνωστός τόσο στους μηχανικούς, όσο και στους τεχνίτες (σιδεράδες). Οι πρώτοι να κατανοήσουν το σημαντικό πλεονέκτημα της σιγουριάς που τους προσφέρεται με αντάλλαγμα κάποια αύξηση του κόστους και οι δεύτεροι να εξοικειωθούν με τη νέα τεχνική.

Επιπλέον όσο περισσότερο η τεχνική αυτή θα εφαρμόζεται, τόσο η αντίστοιχη παραγωγή στις μάντρες θα αυξάνεται, πράγμα που συνεπάγεται και κάποια μείωση του κόστους προμήθειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ι.Α ΤΕΓΟΣ "Υποστυλώματα με σπειροειδείς οπλισμούς υπό κεντρική θλίψη", 8^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Καβάλα, 1987.
- 2) Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ "Μεταξύ αντοχής και κόστους", Μελέτη, Αθήνα, 1998.