

ΛΥΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΗΚΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΕΡΓΑΣΙΑ Νο 4

ΜΠΟΥΡΝΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αστάθεια του οπλισμού στα ανεπαρκώς οπλισμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος είναι αποτέλεσμα των μεγάλων θλιπτικών παραμορφώσεων και στην ουσία καταγράφει το όριο της διαθέσιμης πλαστιμότητας του μέλους. Επειδή το αποθέμα πλαστιμότητας είναι ένα κριτήριο της αποτελεσματικότητας της περίσφιξης, οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των οπλισμών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος είναι βαθιά συνδεδεμένες με τις απαιτήσεις για οπλισμό περίσφιξης. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια αναφορά στο θέμα του λυγισμού των διαμηκών ράβδων προκειμένου να περιγραφεί ο μηχανισμός δημιουργίας του. Στη συνέχεια αναφέρεται η μείωση στην παραμορφωσιμότητα (πλαστιμότητα) των στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος στα οποία οι οπλισμοί λυγίζουν, ενώ παράλληλα συνοψολογίζεται η αλληλεπίδραση μεταξύ εκτίναξης της επικάλυψης σκυροδέματος και λυγισμού των ράβδων. Τέλος εξετάζεται η δυνατότητα αποφυγής του λυγισμού σε δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος που έχουν κατασκευασθεί με τις παλιές ελληνικές διατάξεις

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια σεισμών, τα μέλη οπλισμένου σκυροδέματος υπόκεινται σε σημαντικές πλευρικές παραμορφώσεις των διαμηκών ράβδων οπλισμού σε συνδυασμό με εκτίναξη της επικάλυψης λόγω των μεγάλων θλιπτικών παραμορφώσεων. Τα αναλυτικά μοντέλα που αγνοούν αυτούς τους ανελαστικούς μηχανισμούς των υλικών δεν μπορούν να περιγράψουν την μετελαστική συμπεριφορά με ακρίβεια. Γι'αυτό το λόγο πρέπει να διατυπωθούν σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα και τους ράβδους οπλισμού του, που να συμπεριλαμβάνουν το λυγισμό των διαμηκών ράβδων και την εκτίναξη της επικάλυψης.

Είναι κοινά αποδεκτό ότι η συμπεριφορά των ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό και θλίψη είναι παρόμοια. Στην πραγματικότητα η συμπεριφορά σε θλίψη είναι διαφορετική από αυτήν σε εφελκυσμό. Αυτή η διαφορά αποδίδεται κυρίως στις μεγάλες πλευρικές παραμορφώσεις που παρατηρούνται στις θλιβόμενες ράβδους μετά την διαρροή τους και τελικά οδηγούν στο λυγισμό, σε αντίθεση με τις εφελκυσόμενες ράβδους στις οποίες δεν προκαλούνται πλευρικές παραμορφώσεις μετά τη διαρροή τους.

Οι διαμήκης ράβδοι οπλισμού μέσα στα μέλη οπλισμένου σκυροδέματος όταν υπόκεινται σε μεγάλες θλιπτικές παραμορφώσεις υφίστανται πλευρικές παραμορφώσεις και τελικά λυγίζουν ενώ παράλληλα παρατηρείται εκτίναξη της επικάλυψης τους. Επειδή αυτοί οι δύο μηχανισμοί του λυγισμού και της εκτίναξης της επικάλυψης αλληλεξαρτώνται πρέπει να θεωρούνται ταυτόχρονα και ο διαχωρισμός τους μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα. Η διατύπωση μιας σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων κατάλληλης για τις θλιβόμενες ράβδους σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από τρία μέρη :

- (1) διατύπωση του μοντέλου για μια γυμνή ράβδο που περιέχει τον λυγισμό
- (2) ενσωμάτωση της επίδρασης των συνδετήρων για την ευστάθεια των διαμηκών ράβδων οπλισμού
- (3) εκτίμηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της εκτίναξης της επικάλυψης σκυροδέματος και λυγισμού του οπλισμού

2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΛΥΓΙΣΜΟΥ

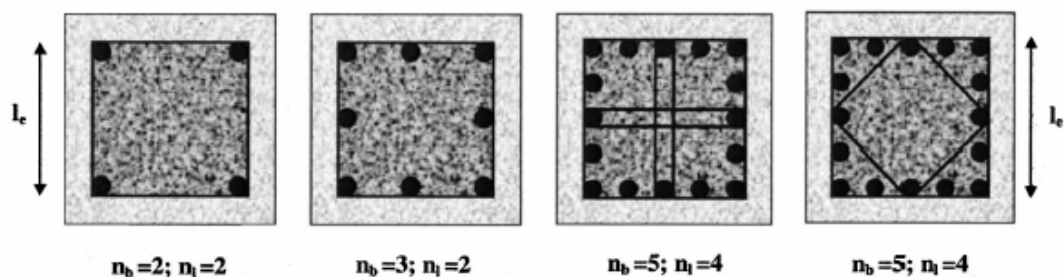
Μια παράμετρος που ελέγχει την θλιπτική συμπεριφορά των ράβδων οπλισμού είναι το μήκος λυγισμού. Η παραδοχή ότι το μήκος λυγισμού των διαμηκών ράβδων οπλισμού μέσα σε ένα μέλος οπλισμένου σκυροδέματος, είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδετήρων δεν είναι σωστή εκτός ειδικών περιπτώσεων όπου οι συνδετήρες είναι πολλοί δύσκαμπτοι, οι διαμήκης ράβδοι είναι λεπτοί και στην περίπτωση που οι αποστάσεις είναι πολλοί αραιοί (ελληνικές κατασκευές). Η εμπειρία από πειραματικές δοκιμές θλίψης σε πρίσματα οπλισμένου σκυροδέματος, έδειξε πως το μήκος λυγισμού ποικίλλει από μία μέχρι αρκετές φορές την απόσταση των συνδετήρων ανάλογα με τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εγκάρσιων συνδετήρων και των διαμηκών ράβδων. Αν το μέγεθος και η απόσταση των συνδετήρων είναι κατάλληλα σχεδιασμένα ώστε να εξασφαλίσουν μια άκαμπτη στήριξη στο διαμήκη οπλισμό, ο λυγισμός περιορίζεται μεταξύ δύο γειτονικούς συνδετήρες. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν το μήκος λυγισμού αλλάξει από μία σε δύο φορές την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων, ο λόγος μήκος λυγισμού προς διάμετρο ράβδου θα διπλασιαστεί και η θλιπτική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων των ράβδων οπλισμού αλλάζει σημαντικά. Αφού λοιπόν η απόκριση μιας θλιβόμενης ράβδου είναι ευαίσθητη στο μήκος λυγισμού, απλοποιητικές παραδοχές για το μήκος λυγισμού μπορεί να οδηγήσουν σε ανακριβή συμπεριφορά της ράβδου.

2.2 ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

Η τάση των διαμηκών ράβδων να λυγίσουν προκαλεί αξονικό εφελκυσμό στα σκέλη των συνδετήρων κατά μήκος της διεύθυνσης του λυγισμού. Γι' αυτό το λόγο η αντίσταση που παρέχεται από τους εγκάρσιους συνδετήρες έναντι λυγισμού των διαμηκών ράβδων προέρχεται από τη αξονική δυσκαμψία αυτών των σκελών. Η αξονική δυσκαμψία κάθε σκέλους του συνδετήρα είναι $E_t \cdot A_t / l_e$, όπου E_t, A_t και l_e είναι το μέτρο ελαστικότητας, το εμβαδόν διατομής και το μήκος του σκέλους του συνδετήρα αντίστοιχα. Θεωρώντας πως η συνολική δυσκαμψία των n_l σκελών συνδετήρα κατά μήκος της διεύθυνσης λυγισμού συνεισφέρουν εξ ίσου στις n_b διαμήκης ράβδους που τείνουν να λυγίσουν, η δυσκαμψία του συστήματος των συνδετήρων έναντι λυγισμού των διαμηκών ράβδων δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$k_t = \frac{E_t \cdot A_t}{l_e} \cdot \frac{n_l}{n_b} \quad (1)$$

Οι τιμές των n_l και n_b για ορισμένες συνηθισμένες διατάξεις φαίνονται στο σχήμα 1.

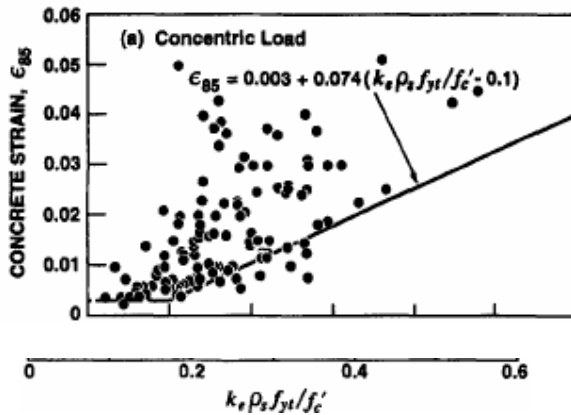


Σχ.1 τιμές των n_l και n_b για ορισμένες συνηθισμένες διατάξεις οπλισμών

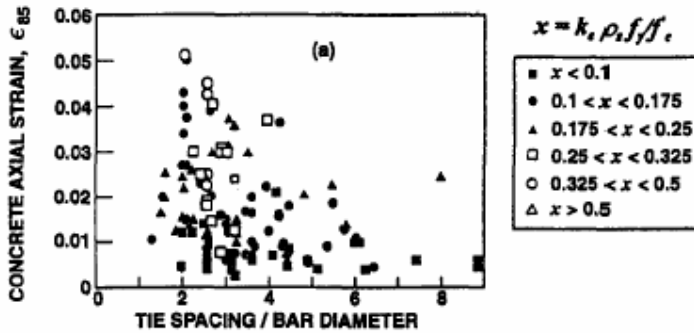
3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Ο προσδιορισμός της παραμορφωσιμότητας (Pantazopoulou 1998), γίνεται με βάση σειρές δοκιμών υποστυλωμάτων που έχουν δοκιμαστεί σε κεντρική θλίψη μέχρι τελικής αστοχίας, τα οποία είναι συλλεγμένα από τη διεθνή βιβλιογραφία (Scott 1980, Sheikh and Uzumeri 1980, Moehle and Cavanagh 1985, Zahn 1986, Mander 1988, Sheikh and Tokluchu 1993, Cusson and Paultre 1994, Ravi Saatcioglu 1995). Για τον καθορισμό της απαιτούμενης ή της εναπομένουσας παραμορφωσιμότητας των πειραματικών δοκιμών είναι απαραίτητη η χρήση ενός ενιαίου μεγέθους που είναι η κρίσιμη αξονική θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος ε_c^{cr} , η οποία σηματοδοτεί και το τέλος χρήσης του μέλους. Μια συνηθισμένη ένδειξη, που χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα περίσφιξης είναι η θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος όταν το μέλος χάσει το 15% της φέρουσας ικανότητάς του (ε_{85}).

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών συνοψίζονται στα σχήματα 2 και 3. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2, η παραμόρφωση ε_{85} , αυξάνεται με την ενεργή ποσότητα οπλισμού περίσφιξης $k_e \cdot \rho_s \cdot f_{yt} / f_c'$. Για την εξέταση της επίδρασης της απόστασης μεταξύ των συνδετήρων η παραμόρφωση ε_{85} σχεδιάζεται συναρτήσει του λόγου S/D_b (απόσταση συνδετήρων προς διάμετρο διαμηκών ράβδων). Τα διαφορετικά σύμβολα στη σχεδίαση αναπαριστούν διαφορετικές τιμές του ποσοστού περίσφιξης. Σε όλες τις περιπτώσεις η διαθέσιμη ικανότητα παραμόρφωσης μειώνεται με την αύξηση του λόγου S/D_b , αλλά υπάρχει μια ταυτόχρονη αύξηση με την αύξηση της ποσότητας $k_e \cdot \rho_s \cdot f_{yt} / f_c'$.

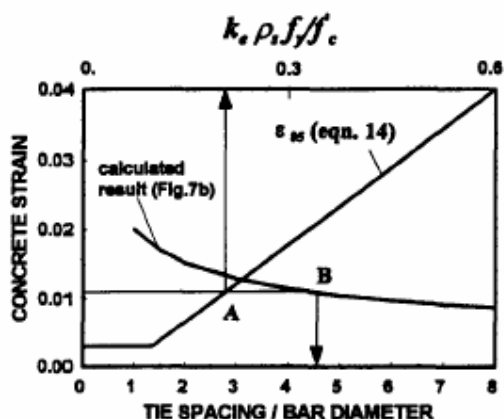


Σχ.2 ϵ_{85} συναρτήσεσι $k_e \cdot \rho_s \cdot f_{yt} / f'_c$



Σχ.3 ϵ_{85} συναρτήσεσι S / D_b

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένα πολύ πρακτικό σχεδιαστικό διάγραμμα με το οποίο μπορούμε απευθείας να υπολογίσουμε τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες για ένα στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος. Το αρχικό σημείο είναι η απαιτούμενη παραμορφωσιμότητα η οποία εισάγεται στον κατακόρυφο άξονα του γραφήματος. Με μια οριζόντια γραμμή από αυτό το σημείο τέμνουμε τις δύο καμπύλες στα σημεία Α και Β αντίστοιχα, από τα οποία προσδιορίζονται η ελάχιστη ποσότητα οπλισμού περίσφιξης καθώς και η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων, για την εξασφάλιση της επιθυμητής παραμορφωσιμότητας.

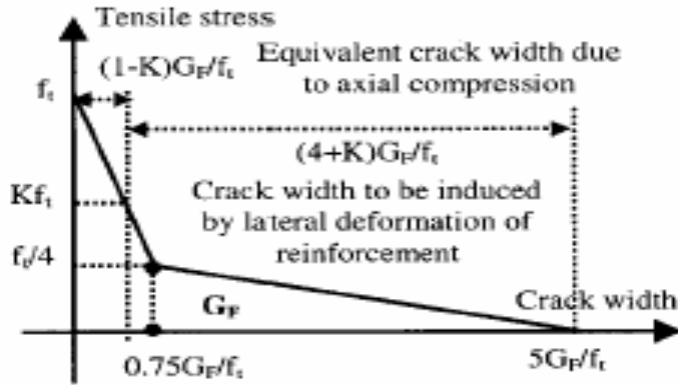


4.1 ΕΚΤΙΝΑΞΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Όταν ένα μέλος που καταπονείται σε κάμψη υπόκειται σε μεγάλες ροπές, η επικάλυψη του σκυροδέματος στην θλιβόμενη πλευρά εκτινάσσεται απότομα και το μέλος χάνει την ικανότητα να φέρει φορτία. Γι' αυτό το λόγο για την δημιουργία αναλυτικών μοντέλων είναι σημαντικό να ξέρουμε πότε γίνεται αυτή η εκτίναξη, για να την συνυπολογίσουμε στην συνολική απόκριση του μέλους. Στη συνέχεια προτείνεται μια αναλυτική μέθοδος (Rajesh Dhakal and Koichi Maekawa 2002) σύμφωνα με την οποία προσδιορίζεται η θλιπτική παραμόρφωση του γειτονικού χάλυβα στην περιοχή που εκτινάσσεται η επικάλυψη.

Η εφελκυστική αντοχή της επικάλυψης του σκυροδέματος στην εγκάρσια διεύθυνση μειώνεται με την αύξηση του πλάτους των ρωγμών, όπως φαίνεται στο σχ. 4. Το εμβαδόν μέσα από την καμπύλη ισούται με την ενέργεια θραύσης, που ορίζεται σαν η ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία μια πλήρους διαμπερούς ρωγμής μέσω της οποίας δεν μπορεί πλέον να μεταφερθεί τάση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον θρυμματισμό της επικάλυψης είναι δύο. Πρώτα η θλιπτική παραμόρφωση δημιουργεί κάποιες κατακόρυφες ρωγμές, εξαιτίας των οποίων η εφελκυστική αντοχή στη εγκάρσια διεύθυνση μειώνεται και στη συνέχεια η τάση των διαμηκών ράβδων να λυγίσουν διευρύνουν αυτές τις ρωγμές, μέχρι τελικά την απώλεια της εφελκυστικής αντοχής και το διαχωρισμό της επικάλυψης από τον εσωτερικό πυρήνα του στοιχείου. Όπως φαίνεται και στο σχ.4 το πλάτος της ρωγμής που χρειάζεται για να προκαλέσει αποτίναξη της επικάλυψης χωρίζεται σε δύο μέρη : (1) $(1-K)G/f_i$, αναπαριστά το ισοδύναμο πλάτος ρωγμής λόγω της θλιπτικής αξονικής παραμόρφωσης και (2) $(4+K)G/f_i$, που αντιπροσωπεύει το ισοδύναμο πλάτος ρωγμής λόγω λυγισμού των ράβδων. Θεωρώντας τη μέγιστη πλευρική παραμόρφωση της διαμήκου ράβδου στο μέσο του μήκους λυγισμού a να είναι ίση με το πλάτος της ρωγμής σε εκείνο, προκύπτει πως η κρίσιμη πλευρική παραμόρφωση a_{cr} είναι : $a_{cr}=(4+K)G/f_i$



Σχ.4 Ισοδύναμη εξασθένηση της επικάλυψης λόγω αξονικής θλίψης

4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΚΤΙΝΑΞΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Οι διαμήκεις ράβδοι υφίστανται αξονική βράχυνση όταν είναι στην ελαστική περιοχή, ενώ όταν διαρεύσουν η θλιπτική παραμόρφωση συνοδεύεται από πλευρική παραμόρφωση. Στο σχ. 5 φαίνεται η σχέση μεταξύ της πλαστικής παραμόρφωσης ϵ_p και της μέγιστης πλευρικής παραμόρφωσης a . Στο σχήμα 5, λ είναι το μήκος της παραμορφωμένης δοκού η τιμή του οποίου προκύπτει από την ολοκλήρωση του μήκους λυγισμού L :

$$L = \int_0^{\lambda} ds = \int_0^{\lambda} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = 2 \int_0^{\lambda/2} \sqrt{1 + \left(\frac{a\pi}{\lambda} \sin \frac{2\pi x}{\lambda}\right)^2} dx$$

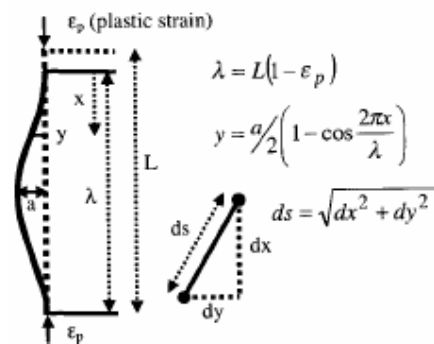
Χρησιμοποιώντας το ανάπτυγμα Taylor για τους όρους που είναι στο τετράγωνο και αγνοώντας τις μεγαλύτερες τάξεις των όρων προκύπτει a^2 / λ^2 , προκύπτει :

$$L = \frac{4\lambda^2 + a^2\pi^2}{4\lambda}$$

Αντικαθιστώντας το λ με $L(1 - \epsilon_p)$, προκύπτει η τελική τιμή της πλαστικής παραμόρφωσης ϵ_p

$$\epsilon_p = \frac{a_{cr}^2 \pi^2}{4L^2}$$

Αυτή είναι η συνολική τιμή της πλαστικής θλιπτικής παραμόρφωσης που προκαλεί εκτίναξη της επικάλυψης και προστιθέμενη στη παραμόρφωση διαρροής δίνει την συνολική πλαστική παραμόρφωση.



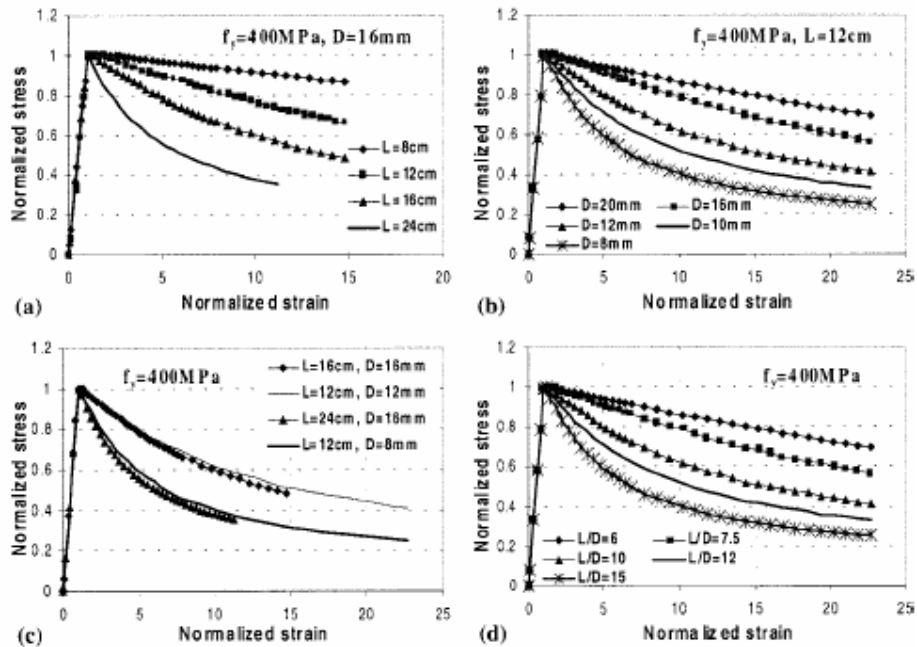
Σχ.5 Επίδραση της πλευρικής παραμόρφωσης του οπλισμού στο θρυμματισμό της επικάλυψης

5.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τη διατύπωση ενός καταστατικού νόμου τάσεων-παραμορφώσεων για τις διαμήκειες ράβδους οπλισμού, στον οποίον να περιέχεται και το φαινόμενο του λυγισμού των τελευταίων, μια παραμετρική ανάλυση βασισμένη είτε σε πειραματικά αποτελέσματα είτε σε αναλύσεις είναι απαραίτητη. Παρόλο που υπάρχουν κάποια διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα, δεν καλύπτονται όλες οι παράμετροι που πρέπει να μελετηθούν, γι 'αυτό το λόγο μια παραμετρική ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία προτιμήθηκε αντί των πειραμάτων από τους Dhakal and Maekawa (2002), προκειμένου να διατυπωθεί και να επαληθευτεί κάποια αναλυτική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων. Εξετάζονται

5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ

Είναι γνωστό πως η συμπεριφορά των ράβδων οπλισμού επηρεάζεται από το μήκος και τη διάμετρο τους. Δύο ομάδες παραμετρικών αναλύσεων διεξήχθησαν με σταθερή διάμετρο και διαφορετικά μήκη, όπως και σταθερό μήκος και διαφορετικές διαμέτρους. Ακόμα συγκρίθηκαν οι περιπτώσεις ράβδων με τον ίδιο λόγο λυγηρότητας L/D αλλά διαφορετικά μήκη και διαμέτρους και τέλος η περίπτωση ράβδων με διαφορετικά μήκη λυγηρότητας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα (σχ.6 a-d).

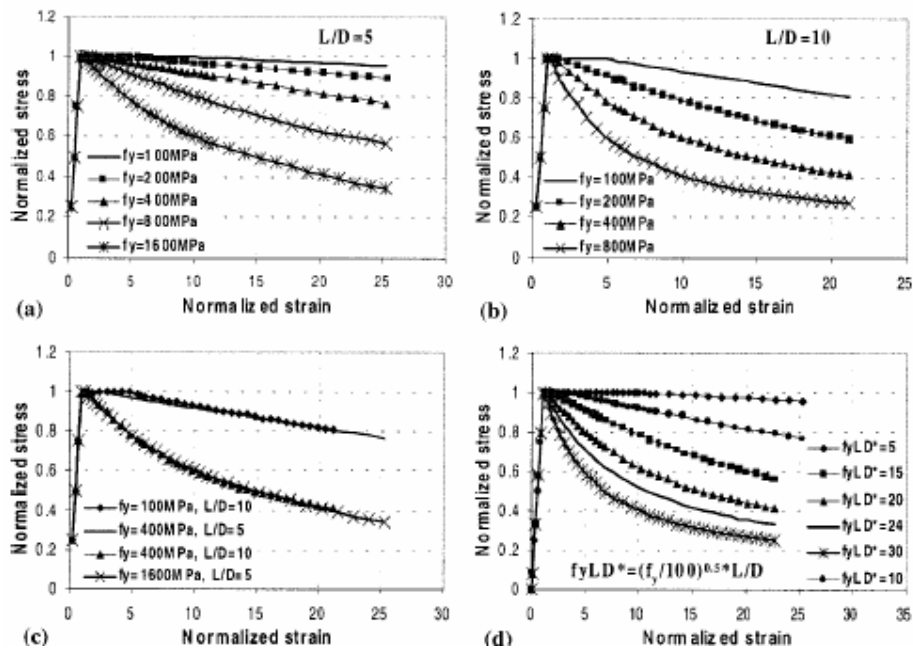


Σχ.6 Επίδραση του μήκους και της διαμέτρου μιας ράβδου στην σχέση σ - ϵ

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ

Για τη διερεύνηση της επίδρασης της τάσης διαρροής των ράβδων f_y στη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων δύο ομάδες αναλύσεων έλαβαν χώρα. Η κανονικοποιημένη καμπύλη σ - ϵ για λόγους λυγηρότητας 5 και 10 και τάση διαρροής να κυμαίνεται από 100 έως 1600MPa φαίνεται στο σχ. 7 α και β αντίστοιχα. Επειδή όμως όπως φαίνεται και από τα ίδια διαγράμματα, η κρίσιμη τιμή της λυγηρότητας εξαρτάται από την f_y , εξετάστηκε

και η επιρροή της παραμέτρου $\frac{L}{D} \sqrt{\frac{f_y}{100}}$ στην κανονικοποιημένη καμπύλη σ - ϵ της θλιβόμενης ράβδου. Όπως ήταν αναμενόμενο ο λυγισμός συμβαίνει νωρίτερα και η μέση τάση μειώνεται γρηγορότερα με την αύξηση αυτής της παραμέτρου.



Σχ.7 Επίδραση του μήκους και της διαμέτρου μιας ράβδου στην σχέση σ - ϵ

6. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΤΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ

Από αυτά που έχουν μελετηθεί από τους ερευνητές, ορισμένα εκ των οποίων παρουσιάστηκαν και νωρίτερα, έχει καταδειχθεί πως το πρόβλημα του λυγισμού των διαμηκών ράβδων οφείλεται στην μεγάλη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων που τοποθετούνται στα υποστυλώματα. Ειδικά στον ελλαδικό χώρο και με την προ του 1980 εποχή, όπου η φιλοσοφία σχεδιασμού βασιζόταν σε κριτήρια αντοχής χωρίς ικανοτικούς ελέγχους, η όπλιση των υποστυλωμάτων ήταν ανεπαρκείς και το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως στην αραιή διάταξη των συνδετήρων.

Έχει αποδειχθεί από πλήθος ερευνητικών εργασιών η μεγάλη αποτελεσματικότητα της περίσφιξης που παρέχουν οι μανδύες συνθέτων υλικών, όταν αυτοί εφαρμόζονται σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Με τους μανδύες από σύνθετα υλικά αυξάνεται σημαντικά η θλιπτική ανοχή και η παραμορφωσιμότητα του περισφιγμένου σκυροδέματος. Όμως, η επίτευξη σημαντικής πλαστιμότητας θλιπτικών παραμορφώσεων στο οπλισμένο σκυρόδεμα από την παθητική περισφικτική δράση των εγκάρσια εφελκόμενων ινών του μανδύα είναι και συνάρτηση της καθ' ύψος στήριξης των θλιβόμενων διαμηκών ράβδων μέσω των συνδετήρων. Αραιή διάταξη συνδετήρων ($S/D > 10$) σημαίνει εμφάνιση πρόωρου λυγισμού με άμεση συνέπεια την εκτίναξη της επικάλυψης και την τοπική θραύση του μανδύα ανεξαρτήτως του αριθμού των στρώσεων του υλικού. Σε πολλές εργασίες έχει μελετηθεί εκτενώς η θεαματική βελτίωση της συμπεριφοράς του άοπλου σκυροδέματος ή οπλισμένου με πυκνούς συνδετήρες. Ωστόσο στην περίπτωση οπλισμένου σκυροδέματος με αραιά τοποθετημένους μανδύες υπό κεντρική θλίψη δεν τεκμηριώνονται ανάλογες αυξήσεις από τη συμβολή του μανδύα, κυρίως λόγω εξάντλησης της φέρουσας ικανότητας του συνθέτου υλικού από τη συγκέντρωση τάσεων στα σημεία λυγισμού των ενσωματωμένων διαμηκών οπλισμών.

Από πειράματα σε 52 δοκίμια τύπου υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής τα οποία δοκιμάστηκαν σε κεντρική θλίψη μέχρι αστοχίας (Πανταζοπούλου 2004), οι μετρηθείσες τιμές πλευρικής παραμόρφωσης (διόγκωσης) για όλα ήταν παραπλήσιου μεγέθους (της τάξης του 1%), δηλώνοντας ότι ο μηχανισμός, που τελικά ήλεγξε την αστοχία, ήταν ο τοπικός εμβολισμός του μανδύα στις κρίσιμες περιοχές συγκέντρωσης τάσεων λόγω λυγισμού των ράβδων. Σημειώνεται ότι η προς τα έξω κάμψη των διαμηκών ράβδων κατά w (στις γωνιές), εντείνει τοπικά το σύνθετο μανδύα σε παραμόρφωση $\varepsilon_{\theta\theta} = w/r$, όπου r είναι η ακτίνα καμπύλωσης των στρογγυλεμένων γωνιών του υποστυλώματος. Συνεπώς, για $r=30\text{mm}$ ο μανδύας θα φτάσει την τιμή θραύσης του (0.015), όταν η προς τα έξω κάμψη των διαμηκών ράβδων γίνει $w=0.45\text{mm}$, σε στάδιο δηλαδή κατά το οποίο ο λυγισμός είναι ανεπαίσθητος.

Τα 52 δοκίμια που εξετάστηκαν είχαν όλα δεδομένη αραιή διάταξη συνδετήρων ($S/D=11.7$) και γι αυτή τη διάταξη σε συνδυασμό με το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του χάλυβα, υπολογίστηκε η κρίσιμη παραμόρφωση λυγισμού της ράβδου. Όπως προκύπτει όμως από τα αποτελέσματα των περισσότερων δοκιμιών, αυτά έχουν αστοχήσει σε παραμόρφωση επάνω από το κρίσιμο όριο, δηλώνοντας ότι αφενός ο διαμήκης οπλισμός μπόρεσε να εισέλθει στην περιοχή κράτυνσης, ανακτώντας μέρος της δυσκαμψίας του και αφετέρου ότι ο μανδύας προσέδωσε στο σκυρόδεμα πλαστιμότητα παραμόρφωσης ικανή να μπορέσει να αντεπεξέλθει μόνο του στο στάδιο μηδενικής δυσκαμψίας (πλατό διαρροής του οπλισμού). Αποφεύχθηκε έτσι ο πρόωρος λυγισμός λόγω αραιής διάταξης συνδετήρων, δίνοντας τη δυνατότητα για αύξηση της πλαστιμότητας παραμορφώσεων έως $\mu_{85\%} = 6$, αλλά ωστόσο δεν αποκλείστηκε ο λυγισμός ως τελική μορφή αστοχίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. S.J. Pantazopoulou (1998)**
‘Detailing for Reinforcement Stability in RC Members’ ,J. Struct. Eng.124(6), pp.623-632
- 2. Dhakal and Maekawa (2002)**
‘Reinforcement Stability and Fracture of Cover Concrete in Reinforced Concrete Members’ , J. Struct. Eng. 128(10), pp.1253-1262
- 3. Dhakal and Maekawa (2002)**
‘Modeling for Postyield Buckling of Reinforcement’, J. Struct. Eng. 128(9), pp.1139-1147
- 4. Seible, Priestley, Hegemier and Innamorato (1994)**
‘Seismic Retrofit of RC Columns with Continuous CFRP Jackets’ , Journal of Composites for Construction, Vol. 1, No. 2, pp.52-62
- 5. C.Y. Wang, C.M. Wang and Tun Myint Aung**
‘Buckling Of a Weakened Column’ , Journal of Engineeribg Mechanics, Vol. 130, No. 11, pp.1373-1376