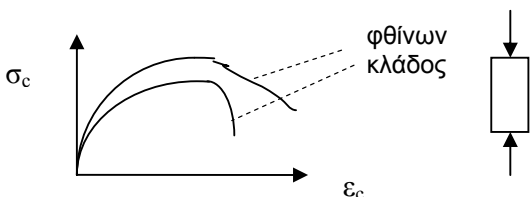


22. ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗ ΜΙΑ ΑΝΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΣΗ

22.1 Η Έννοια της Περίσφιξης

Για την αντιμετώπιση της ψαθυρότητας του σκυροδέματος, εκτενείς πειραματικές εργασίες, κυρίως σε χώρες χωρίς ιδιαίτερη σεισμική δραστηριότητα, όπως η Αγγλία, εστιάθηκαν στην διερεύνηση του διαγράμματος συμπεριφοράς δοκιμίων σκυροδέματος υπό κεντρική θλίψη μετά το μέγιστο φορτίο (φορτίο αστοχίας), του αποκαλούμενου **φθιτού κλάδου** (βλ. Σχ. 1).

Επιπονήθηκαν δοκίμια από άοπλο σκυρόδεμα και δοκίμια οπλισμένα με διάφορους τύπους συνδετήρων, όπως αυτοί που φαίνονται στο Σχ. 2.

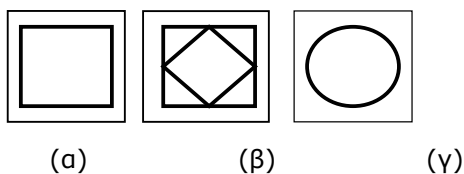


Σχ. 22.1 Διάγραμμα τάσεων- παραμορφώσεων του σκυροδέματος

Από τα πειράματα αυτά για τα δοκίμια τα οπλισμένα με τους συνδετήρες προέκυψε:

- *μεγαλύτερο φορτίο θραύσεως και*
- *πιο ομαλός φθίνοντας κλάδος του διαγράμματος συμπεριφοράς*

Η αύξηση του μέγιστου φορτίου και η μικρότερη κλίση του φθίνοντα κλάδου προέκυψε μεγαλύτερη για τα δοκίμια με κυκλικούς συνδετήρες. Στα δοκίμια με πρισματικούς συνδετήρες καλύτερη συμπεριφορά επέδειξαν αυτά με τις περισσότερες γωνίες στη διαμόρφωση των συνδετήρων, όπως στα δοκίμια που φαίνονται στο Σχ. 2(β).

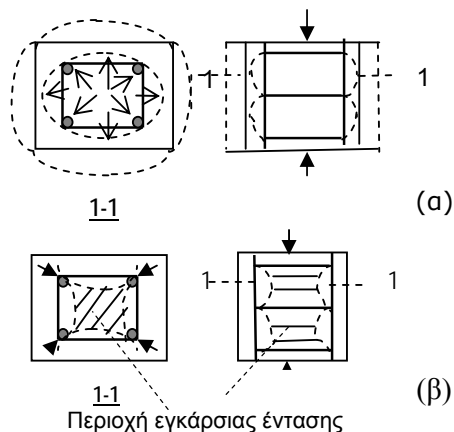


Σχ. 22.2 Εγκάρσιες τομές πειραματικών δοκιμίων

Σε όλες τις περιπτώσεις καλύτερη συμπεριφορά προέκυψε για μικρότερη απόσταση των συνδετήρων.

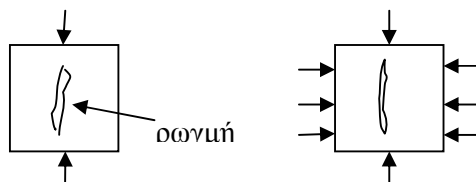
Η καλύτερη συμπεριφορά των δοκιμίων με συνδετήρες είναι αποτέλεσμα της **περίσφιξης** την οποία ασκούν οι συνδετήρες στο θλιβόμενο σκυρόδεμα των δοκιμίων.

Το σκυρόδεμα υποκείμενο σε θλιπτική επιπόνηση κατά μία διεύθυνση τείνει να διογκωθεί κατά την κάθετη διεύθυνση. Οι συνδετήρες αντιστεκόμενοι, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, στην εγκάρσια διογκωση του θλιβόμενου σκυροδέματος στις περιοχές των γωνιών τους θέτουν μέρος της θλιβόμενης διατομής του σκυροδέματος υπό εγκάρσια θλιπτική ένταση.



Σχ. 22.3 (α) Διαγραμμισμένη επιφάνεια διογκωμένη λόγω του θλιπτικού φορτίου
(β) Διαγραμμισμένη επιφάνεια υπό εγκάρσια θλίψη λόγω της αντίστασης των συνδετήρων στη διογκωση

Με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, το άνοιγμα των ρωγμών λόγω της θλιπτικής επιπόνησης και συντελούν στην αύξηση της αντοχής και της μέγιστης παραμόρφωσης των δοκιμίων.



Σχ. 22.4 Η ευνοϊκή δράση της ανάπτυξης εγκάρσιων τάσεων λόγω των συνδετήρων

Η εισαγόμενη τριαξονικότητα είναι, προφανώς, τόσο πιο έντονη όσο πιο μικρή είναι η απόσταση των συνδετήρων και όσο περισσότερα είναι τα σημεία κάμψης, οι γωνίες, των συνδετήρων.

22.2 Οι Συμβατικές Αντιλήψεις για τη Σημασία της Περίσφιξης στη Σεισμική Συμπεριφορά των Στοιχείων

Στα κλασικά εγχειρίδια αντισεισμικού σχεδιασμού και στον αντισεισμικό κανονισμό η περίσφιξη του θλιβόμενου σκυροδέματος από τους συνδετήρες θεωρείται ως το βασικό μέγεθος που καθορίζει την πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων.

Η θεώρηση αυτή στηρίζεται στο ότι, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 8, η πλαστιμότητα σε επίπεδο διατομής των δομικών στοιχείων είναι ανάλογη της μέγιστης παραμόρφωσης ϵ_{cu} του σκυροδέματος σε κατάσταση αστοχίας.

Επειδή η πλαστιμότητα αποτελεί, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 7, βασικό μέγεθος του αντισεισμικού σχεδιασμού, προδιαγράφεται ειδικός υπολογισμός της απόστασης και των γωνιών των συνδετήρων ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη πλαστιμότητα.

Μέτρον της ασκούμενης εγκάρσιας περίσφιξης ορίστηκε ο ογκομετρικός συντελεστής των συνδετήρων και με βάση εμπειρικούς τύπους υπολογίστηκε η απόδοση της περίσφιξης σε όρους αύξησης της θλιπτικής αντοχής και της οριακής παραμόρφωσης διαφόρων σύνθετων διατάξεων του εγκάρσιου οπλισμού.

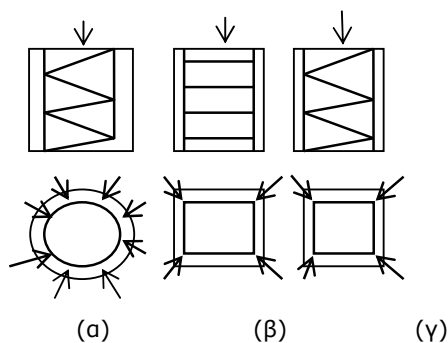
22.3 Οι Βιομηχανικές «Καινοτομίες» (Βλ. και κεφ. 23)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων που αναφέρθηκαν στο κεφ. 22.1, ιδιαίτερα αποδοτικές κρίθηκαν οι διατάξεις εγκάρσιου οπλισμού με σπειροειδή διαμόρφωση καθώς και σύνθετες διατάξεις συνδετήρων με χαρακτηριστική τη διάταξη συνδυασμού ορθογωνικού και ρομβοειδούς συνδετήρα που φαίνεται στο Σχ. 2(β).

Οι διατάξεις αυτές βιομηχανοποιήθηκαν και στην ο σπειροειδής οπλισμός επεκτάθηκε και σε ορθογωνική σπειροειδή διαμόρφωση για την υιοθέτησή του σε πρισματικά στοιχεία.

Η τελευταία αυτή «καινοτομία» η οποία έτυχε ιδιαίτερης δημοσιότητας και αποδοχής από τον τεχνικό κόσμο ως «η μεταφορά των κλασικών πλεονεκτημάτων του σπειροειδούς οπλισμού και στην περίπτωση των πρισματικών στοιχείων» αποτελεί κλασικό πα-

ράδειγμα **παραβίασης του προφανούς** και καταστράτησης της φυσικής λογικής.



Σχ. 22.5 Δράση περίσφιξης για
(α) κυκλική σπείρα,
(β) ορθογωνικούς συνδετήρες
(γ) πρισματική σπείρα

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5, παρεμπόδιση στην εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος, περίσφιξη, οι ορθογωνικοί συνδετήρες, τόσο οι μεμονωμένοι όσο και οι σπειροειδείς, ασκούν μόνον στην περιοχή των κορυφών τους, ενώ ο κυκλικός σπειροειδής οπλισμός (**καθώς και οι μεμονωμένοι κυκλικοί συνδετήρες**) ασκούν περίσφιξη σ' όλη την περίμετρό τους.

❖ **Η μεγαλύτερη περίσφιξη που αποδίδεται στον κλασικό σπειροειδή οπλισμό οφείλεται στο κυκλικό σχήμα του και όχι στη σπειροειδή διαμόρφωσή του,**

Γιαυτό, η περίσφιξη που ασκεί ο πρισματικός σπειροειδής οπλισμός σε κεντρικά θλιβόμενα στοιχεία είναι σαφώς μικρότερη απ' αυτήν που ασκεί ο κλασικός **κυκλικός** σπειροειδής.

Με βάση τη φυσική λογική:

❖ **Η περίσφιξη του πρισματικού σπειροειδούς οπλισμού αναμένεται να είναι μικρότερη και απ' αυτήν των μεμονωμένων ορθογωνικών συνδετήρων,**

καθώς τα ευθύγραμμα (διογκούμενα) τμήματά του έχουν, λόγω της κλίσης τους, μεγαλύτερο μήκος, η δε γωνία στις κορυφές του είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν (των 90°) των ορθογωνικών συνδετήρων⁽¹⁾.

Πρόσθετα μειονεκτήματα του οπλισμού αυτού σχολιάζονται στην ενότητα Γ.

22.4 Γιατί η Ευνοϊκή Δράση της Περίσφιξης των Συνδετήρων δεν Ισχύει για Στοιχεία Υπό Σεισμική Επιπόνηση

22.4.1 Η Ανορθολογική Υιοθέτηση Πειραματικών Αποτελεσμάτων

Οι διατάξεις περί της ευνοϊκής δράσης της περισφιξης του θλιβόμενου σκυροδέματος της ασκούμενης από τους συνδετήρες βασίστηκαν στα αποτελέσματα των εργασιών που σχολιάζονται στο κεφ. 22.1.

Τα αποτελέσματα, όμως, των εργασιών αυτών αναφέρονται σε κεντρική θλιπτική επιπόνηση και όχι (υπερισχύουσα) καμπτική επιπόνηση στην οποία υπόκεινται τα στοιχεία υπό σεισμική φόρτιση.

Οι εργασίες αυτές αποτέλεσαν την πρώτη πειραματική επαλήθευση της αρχής της απροσδιοριστίας στην περιοχή του σκυροδέματος, αποκαλύπτοντας την εξάρτηση των αποτελεσμάτων από τις μηχανές και την διαδικασία δοκιμασίας και μέτρησης*.

Τα αποτελέσματα, όμως, των εργασιών αυτών δεν σχετίζονται με τον σχεδιασμό των φορέων, καθώς (υπερισχύουσα) θλιπτική επιπόνηση αφορά σε υποστυλώματα υπό την δράση των κατακόρυφων φορτίων.

Για τα κατακόρυφα φορτία δεν επιτρέπεται λειτουργία των υποστυλωμάτων σε κατάσταση αστοχίας (για την οποία έχει νόημα η περισφιξη του σκυροδέματος από τον εγκάρσιο οπλισμό). Ο σχεδιασμός των υποστυλωμάτων εξασφαλίζει ότι τα κατακόρυφα φορτία υπολείπονται σημαντικά από το φορτίο αστοχίας, (ώστε να μην απαιτείται επισκευή της κατασκευής κάθε φορά που θα δέχεται όλα τα φορτία λειτουργίας της).

Μετά την σεισμική εμπειρία των τελευταίων δεκαετιών, στους κανονισμούς, λόγω της τυχατικής φύσης της σεισμικής δράσης και για λόγους οικονομίας, επιτράπη ο σχεδιασμός για επιπόνηση των υποστυλωμάτων σε κατάσταση αστοχίας, ετέθη η απαίτηση για πλαστιμότητα των στοιχείων και υιοθετήθηκαν τα αποτελέσματα των παραπάνω εργασιών.

* εντοπίζοντας ως βασικές παραμέτρους της συμπεριφοράς τον τύπο και το μέγεθος του δοκιμίου, την δυσκαμψία της μηχανής, την ταχύτητα επιβολής και τον τύπο της επιπόνησης, τον τύπο των μετρητικών διατάξεων, κ.λ.π.

22.4.2 Λόγοι για την Ακύρωση της Δράσης της Περίσφιξης στην Περίπτωση Καμπτικής Επιπόνησης

Η μεταφορά των πειραματικών αποτελεσμάτων από την κεντρική θλιπτική επιπόνηση στην καμπτική επιπόνηση παραβλέπει ότι:

- ❖ Στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης μεταβάλλονται όλα τα βασικά μεγέθη που καθορίζουν το μέγεθος της ασκούμενης δράσης περισφιξης.

Έτσι:

- **Η θλιβόμενη διατομή είναι ορθογωνική με μεγάλο λόγο πλευρών**

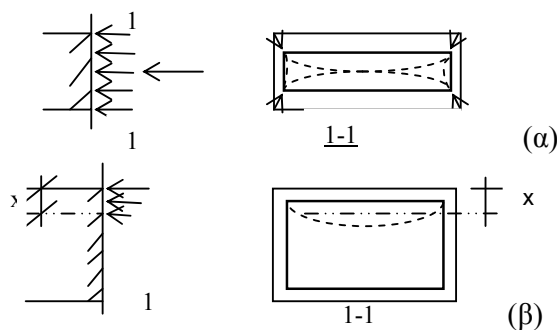
Ενώ στην περίπτωση κεντρικής θλίψης η θλιβόμενη περιοχή τετραγωνικού υποστυλώματος είναι τετράγωνη, στην περίπτωση καμπτικής επιπόνησης η θλιβόμενη περιοχή είναι ορθογωνική με μεγάλο λόγο πλευρών, καθώς το βάθος της θλιβόμενης ζώνης σε κατάσταση αστοχίας των υποστυλωμάτων είναι αρκετά μικρότερο από το πλάτος τους.

Για παράδειγμα:

- Το βάθος της θλιβόμενης ζώνης σε κατάσταση αστοχίας υποστυλώματος με διαστάσεις 300X300 mm είναι της τάξεως των 40 mm.

Αν απ' αυτή αφαιρεθούν 30 mm για την επικάλυψη των συνδετήρων απομένει **θλιβόμενη περιοχή 10X300 mm.**

Όπως είναι προφανές και έχει επαληθευτεί και από πειράματα σε επιμήκη δοκίμια υπό κεντρική θλίψη, στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, η περιοχή υπό εγκάρσια θλίψη είναι πολύ μικρό ποσοστό του εμβαδού του στοιχείου και, γι' αυτό, αμελητέα η όποια ευνοϊκή επιρροή της στην αντοχή και την παραμόρφωση του στοιχείου.



Σχ. 23.6 Ποσοστό διατομής που υπόκειται σε εγκάρσια θλίψη:
(α) Κεντρική θλίψη -> μικρό
(β) Καμψη -> μηδενικό

Από δοκιμές έχει προκύψει ότι:

- ❖ **Η δράση περίσφιξης των συνδετήρων μηδενίζεται** για δοκίμια υπό κεντρική θλίψη στα οποία **ο λόγος των πλευρών της διατομής τους υπερβαίνει το 2.**

Ο αντίστοιχος λόγος των πλευρών της θλιβόμενης περιοχής σε ένα υποστύλωμα 300x300 υπό σεισμική επιπόνηση είναι, όπως εντοπίστηκε παραπάνω 30.

Είναι προφανές, όπως φαίνεται και στο Σχ. 6(β), ότι δεν υπάρχει στα στοιχεία αυτά θλιβόμενη ζώνη για να ασκηθεί περίσφιξη από τους συνδετήρες.

Επιπρόσθετα:

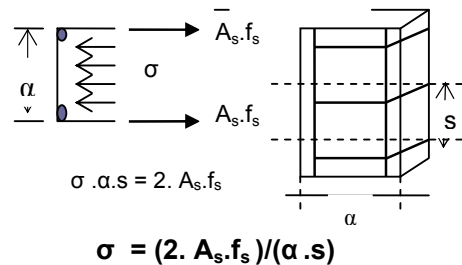
- ❖ Ενώ στα δοκίμια υπό κεντρική θλίψη σε κατάσταση αστοχίας όλη η διατομή υπόκειται σε ομοιόμορφη τάση, στη θλιβόμενη ζώνη των υποστυλωμάτων υπό καμπτική επιπόνηση η τάση, όπως φαίνεται στο Σχ. 6(β), βαίνει μειούμενη μηδενιζόμενη στον ουδέτερο άξονα της διατομής.

Κατά συνέπεια, η αναπτυσσόμενη εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος είναι εξασθενημένη και, γι αυτό, εξασθενημένη είναι και η ασκούμενη περίσφιξη από τους συνδετήρες.

- **Η διατομή των δομικών στοιχείων είναι σημαντικά μεγαλύτερη απ' αυτήν των πειραματικών δοκιμών**

Προκειμένου για τη θλιπτική επιπόνηση για την οποία και μόνον, όπως σχολιάστηκε παραπάνω, έχει νόημα η περίσφιξη από τους συνδετήρες, η ασκούμενη τάση περίσφιξης είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, αντίστροφα ανάλογη με τη διάσταση των στοιχείων.

- ❖ Η διάσταση των δομικών στοιχείων είναι σημαντικά μεγαλύτερη απ' αυτήν των πειραματικών δοκιμών και, γι αυτό, η ασκούμενη τάση περίσφιξης για ίδια απόσταση s των συνδετήρων μ' αυτήν των πειραματικών δοκιμών είναι σημαντικά μικρότερη απ' αυτήν των δοκιμών.



Σχ. 23.7 Εγκάρσια τάση περίσφιξης

22.5 Πειραματική Επαλήθευση

Στην ενότητα Γ παρατίθενται και σχολιάζονται πειραματικά αποτελέσματα δοκιμασίας σε εναλλασσόμενη επιπόνηση πειραματικών στοιχείων σε περίπου φυσική κλίμακα με διάφορους τύπους εγκάρσιου οπλισμού με βάση τα οποία επιβεβαιώνεται η ανεδαφικότητα των αντιλήψεων περί δράσης περίσφιξης από τον εγκάρσιο οπλισμό.

