

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ (FRP) ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

**ΜΠΟΥΡΝΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΜΑΡΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δράσης των σύνθετων υλικών κατά την περίσφιξη υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακόμα χρησιμοποιώντας αναλυτικά προσομοιώματα από την διεθνή βιβλιογραφία γίνεται μια απόπειρα προσδιορισμού του βαθμού επιρροής των παραμέτρων εκείνων από τις οποίες εξαρτώνται τα αποτελέσματα της περίσφιξης. Συγκεκριμένα με στόχο την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος από 10 MPa σε 20 MPa, την αύξηση της οριακής αξονικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος και του δείκτη πλαστιμότητας σε μια τιμή $\mu_d=3,5$, εξετάζεται μέσω παραμετρικής ανάλυσης ο βαθμός επιρροής των παραμέτρων, οι οποίες εξαρτώνται σε κάθε περίπτωση από την ποιότητα των υλικών και σε κάποιες περιπτώσεις και από τη γεωμετρία του υποστυλώματος που περισφίγγεται.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι νεότερες προδιαγραφές για αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών βασίζονται στην ευνοϊκή συμπεριφορά (δηλ. ικανότητα για ανελαστική παραμόρφωση χωρίς ταυτόχρονη απώλεια της φέρουσας ικανότητας) του οπλισμένου σκυροδέματος όταν αυτό τελεί υπό περίσφιξη. Είναι δεδομένο οι άμεσες ή έμμεσες απαιτήσεις για περίσφιξη των δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ήταν περισσότερο χαλαρές σε σχέση με σήμερα. Εξάλλου, η έμφαση ήταν στην εξασφάλιση της αντοχής, και όχι στον μηχανισμό ανελαστικής συμπεριφοράς κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας του κτίσματος. Έτσι το μέγεθος της ανελαστικής παραμόρφωσης που συνοδεύει την πραγματοποίηση της αντοχής κατά κανόνα δεν αποτελούσε αντικείμενο ελέγχου ή στόχο του σχεδιασμού. Από τα δυο βασικά κριτήρια σεισμικής επάρκειας του οπλισμένου σκυροδέματος, δηλαδή την αντοχή και την ικανότητα παραμόρφωσης, η τελευταία είναι εκείνη που είναι περισσότερο ευάλωτη στην πιθανή απώλεια της περίσφιξης είτε λόγω ψαθυροποίησης του χαλύβδινου οπλισμού, είτε λόγω απομείωσης της διατομής των συνδετήρων και αποτίναξης της επικάλυψης. Αν διαγνωσθεί εγκαίρως, η έλλειψη παραμορφωσιμότητας (δηλ. ικανότητας παραμόρφωσης), μπορεί να αποκατασταθεί μέσω κατάλληλων ενισχύσεων. Στον τομέα της ενίσχυσης στοιχείων με την μορφή πρόσθετης εξωτερικής περίσφιξης τα νέα ινοπλισμένα σύνθετα πολυμερή (FRP_s) προσφέρουν ιδιαίτερα καινοτόμες και αποτελεσματικές λύσεις. Ως μανδύας το FRP λειτουργεί παθητικά, όπως ακριβώς και οι συνδετήρες, παρεμποδίζει δηλαδή την εγκάρσια παραμόρφωση (διόγκωση) του δομικού στοιχείου επιβάλλοντας τάση περίσφιξης ανάλογη αυτής της παραμόρφωσης.

Στην ουσία τα FRP_s αποτελούν βελτιωμένη τεχνική σε σχέση με τους μεταλλικούς μανδύες λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων των σύνθετων υλικών. Τα FRP έχουν πολύ μικρό βάρος, εξαιρετικά υψηλή αντοχή, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και δεν είναι ευαίσθητα σε διάβρωση. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής, εμποτισμένες με θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, της οποίας τα χαρακτηριστικά δεν είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες κάτω των 80° C. Οι συνήθεις τύποι ινών είναι από άνθρακα, γυαλί, αραμίδιο.

Η δράση των συνθέτων υλικών κατά την περίσφιγξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετικά ευνοϊκή και γενικά ευνοϊκότερη σε σχέση με αυτήν μεταλλικών μανδύων ίσης δυσκαμψίας. Κατά την αξονική καταπόνηση υποστυλωμάτων (π.χ. λόγω κάμψης και/ή αξονικού φορτίου) το σκυρόδεμα διογκώνεται εγκάρσια, με αποτέλεσμα ο μανδύας συνθέτων υλικών που το περιβάλλει να ενεργοποιείται (μέσω της ανάπτυξης εφελκυστικών παραμορφώσεων στις ίνες), επιβάλλοντας έτσι εγκάρσιες θλιπτικές τάσεις (περίσφιγξης) κάθετα στον άξονα του μέλους, μέχρις ότου αστοχήσει. Οι τάσεις περίσφιγξης έχουν ως αποτέλεσμα:

1. Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και αύξηση της παραμορφωσιμότητας, δηλαδή της μέγιστης παραμόρφωσης που καταγράφεται στο σκυρόδεμα μέχρι τη θλιπτική αστοχία.
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.
5. Προστασία έναντι συνεχιζόμενης διάβρωσης.

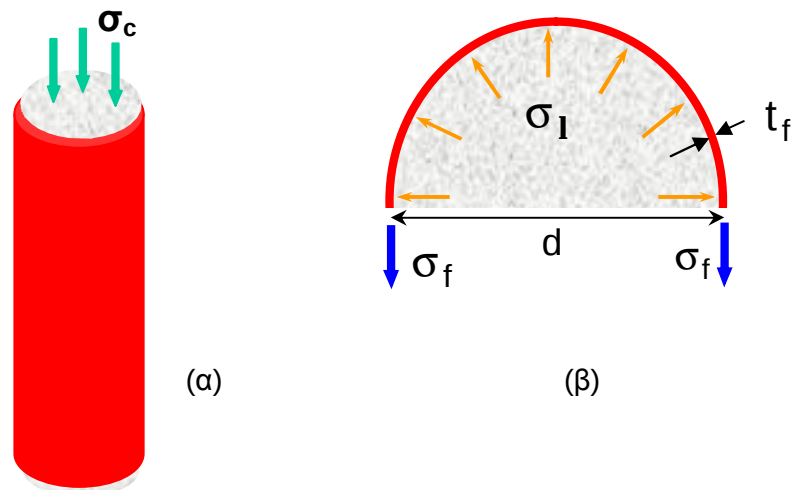
2.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΜΕΝΟΥ ΜΕΣΩ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ας θεωρήσουμε ένα κυλινδρικό στοιχείο από σκυρόδεμα (Σχ. 2.1α), με διάμετρο d , το οποίο περιβάλλεται από μανδύα συνθέτων υλικών πάχους t_f και μέτρου ελαστικότητας (παράλληλα στη διεύθυνση των ινών, δηλαδή κατά την έννοια της περιμέτρου) E_f . Οι λόγω διόγκωσης εγκάρσιες (κατά την ακτινική διεύθυνση) τάσεις στο μανδύα (ίσες και αντίθετες ασκούνται στο σκυρόδεμα), σ_1 , δίνονται από τη σχέση:

$$\sigma_1 = \frac{2t_f}{d} \sigma_f = \frac{2t_f}{d} E_f \varepsilon_f$$

όπου σ_f και ε_f = εφελκυστική τάση και παραμόρφωση στο μανδύα, αντίστοιχα. Αποτέλεσμα των τάσεων περίσφιγξης σ_1 είναι η παρεμπόδιση της ρηγμάτωσης και άρα η αύξηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας, έως ότου η εφελκυστική τάση σ_f

(αντίστοιχη παραμόρφωση ϵ_f) στον μανδύα φθάσει την αντοχή του, f_{fde} (αντίστοιχη παραμόρφωση $\epsilon_{fud,e}$), οπότε θα προκληθεί θραύση του μανδύα που σηματοδοτεί και την αντοχή του στοιχείου (υπό την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν θα προηγηθεί αποκόλληση των συνθέτων υλικών).



Σχ. 2.1 (α) Αξονική καταπόνηση υποστυλώματος με μανδύα συνθέτων υλικών. (β) Ανάπτυξη εγκάρσιων τάσεων λόγω διόγκωσης.

Εδώ σημειώνεται και πάλι ότι η εφελκυστική αντοχή του μανδύα κατά την έννοια της περιμέτρου είναι γενικά μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή των συνθέτων υλικών όπως αυτή μετράται μέσω δοκιμών εφελκυσμού. Αυτό οφείλεται στην πολυαξονικότητα της εντατικής κατάστασης στον μανδύα, σε τυχόν συγκεντρώσεις τάσεων κοντά σγωνίες, στην ενδεχόμενη ύπαρξη αρκετών στρώσεων αλλά και στην ποιότητα εφαρμογής του μανδύα.

2.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η σχέση που δίνει την θλιπτική αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος είναι :

$$f_{ccd} = E_{sec,ud} \epsilon_{ccud} \geq f_{cd}$$

όπου :

$$E_{\text{sec, ud}} = \frac{E_c}{1 + 2 \left(\frac{E_c}{f_{cd}} - \frac{1}{0.002} \right) \frac{f_{fde}}{E_f}}$$

$$E_{\text{sec, Md}} = \frac{\alpha_{1d} \alpha_{2d} f_{cd}}{0.002 [1 + 5(\alpha_{1d} \alpha_{2d} - 1)]}$$

$$\alpha_{1d} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{\sigma_{ludb}}{f_{cd}} - 2 \frac{\sigma_{ludb}}{f_{cd}}} - 1.254$$

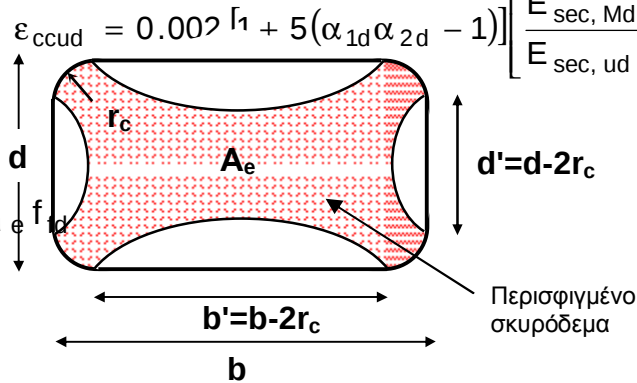
$$\alpha_{2d} = 1 - \left[0.6 \left(\frac{d}{b} \right)^2 - 1.4 \frac{d}{b} + 0.8 \right] \sqrt{\frac{\sigma_{lud,b}}{f_{cd}}}$$

$$\sigma_{lud,b} = k_e \frac{2t_f}{d} f_{fde}$$

$$\mu_{\Delta} = 1.3 + 12.4 \left(\frac{\sigma_{lud}}{f_{cd}} - 0.1 \right) \geq 1.3$$

$$\varepsilon_{ccud} = 0.002 \left[1 + 5(\alpha_{1d} \alpha_{2d} - 1) \right] \left[\frac{E_{\text{sec, Md}} (E_c - E_{\text{sec, ud}})}{E_{\text{sec, ud}} (E_c - E_{\text{sec, Md}})} \right]^{1 - \frac{E_{\text{sec, Md}}}{E_c}}$$

$$f_{fde} = \frac{\varepsilon_{fue}}{\varepsilon_{fum}} \frac{f_{fk}}{\gamma_f} = \eta_e f_{fk}$$



Στις παραπάνω σχέσεις είναι :

E_c : αρχικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

E_f : μέτρο ελαστικότητας μανδύα σύνθετων υλικών

ε_{ccud} : μέγιστη παραμόρφωση σχεδιασμού περισφιγμένου σκυροδέματος

f_{fde} : ενεργή εφελκυστική αντοχή μανδύα σύνθετων υλικών

$\sigma_{lud,b}$: τάση περίσφιξης στο σκυρόδεμα κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας

k_e : συντελεστής αποτελεσματικότητας του μανδύα, που εξαρτάται: (α) από τη γεωμετρία της διατομής (λόγος πλευρών, ακτίνα καμπυλότητας στις γωνίες, Σχ. 2.3, (β) από το βαθμό περιτύλιξης (κάλυψης) του σκυροδέματος και (γ) από τη διεύθυνση των ινών σε σχέση με τον άξονα του περισφιγμένου μέλους. Συγκεκριμένα, είναι:

$$k_e = k_{e1} \times k_{e2} \times k_{e3} \leq 1$$

Επειδή στην περίπτωση μας έχουμε ολόσωμο μανδύα συνθέτων υλικών και οριζόντια διάταξη των ινών είναι $k_{e2}=k_{e3}=1$

$$k_{e1} = \frac{A_e}{A_g} = 1 - \frac{b'^2 + d'^2}{3A_g \left(1 - \frac{A_s}{A_g} \right)}$$

όπου A_g =εμβαδόν διατομής, A_s = εμβαδόν διατομής διαμήκους οπλισμού

A_e =εμβαδό περισφιγμένου σκυροδέματος

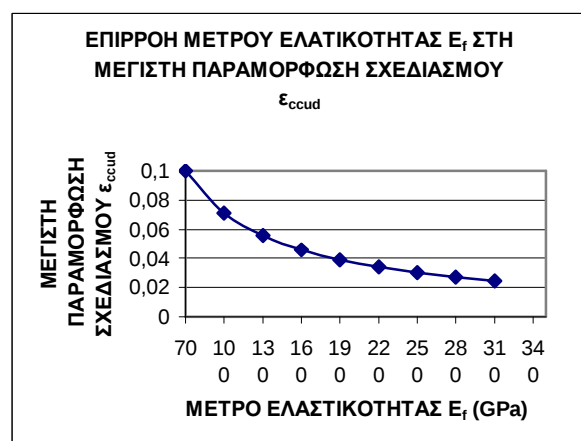
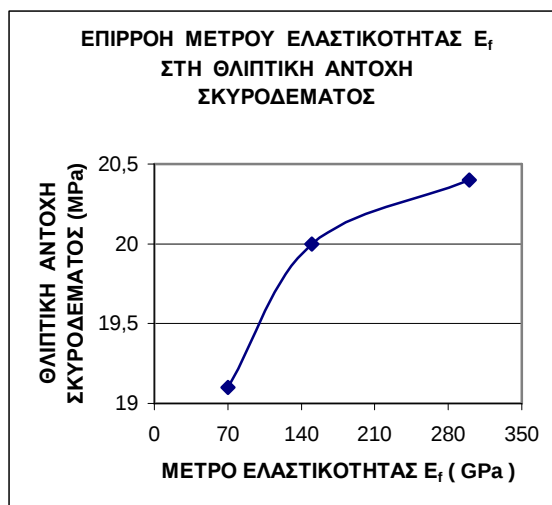
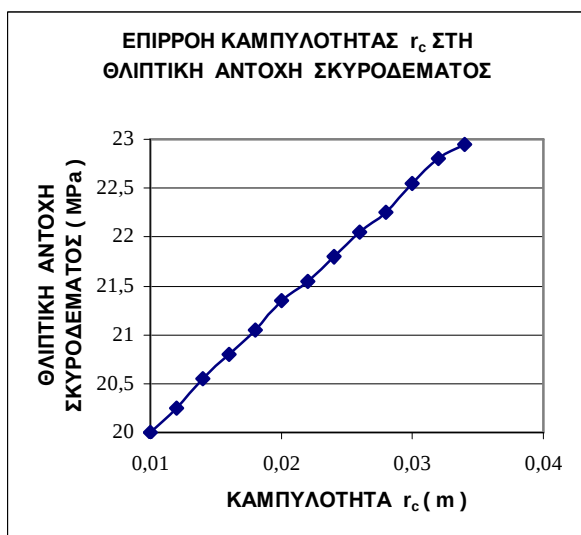
3.ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

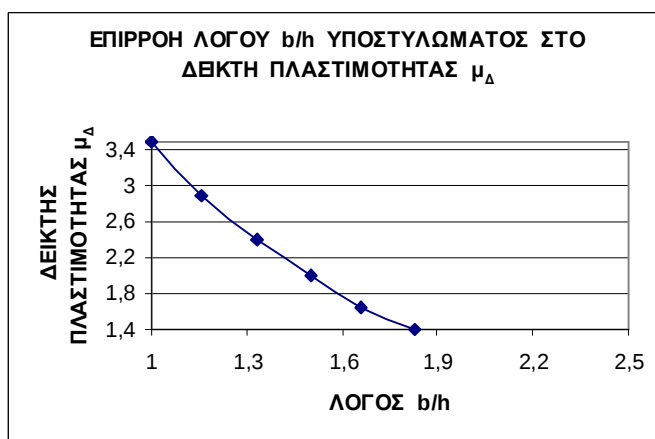
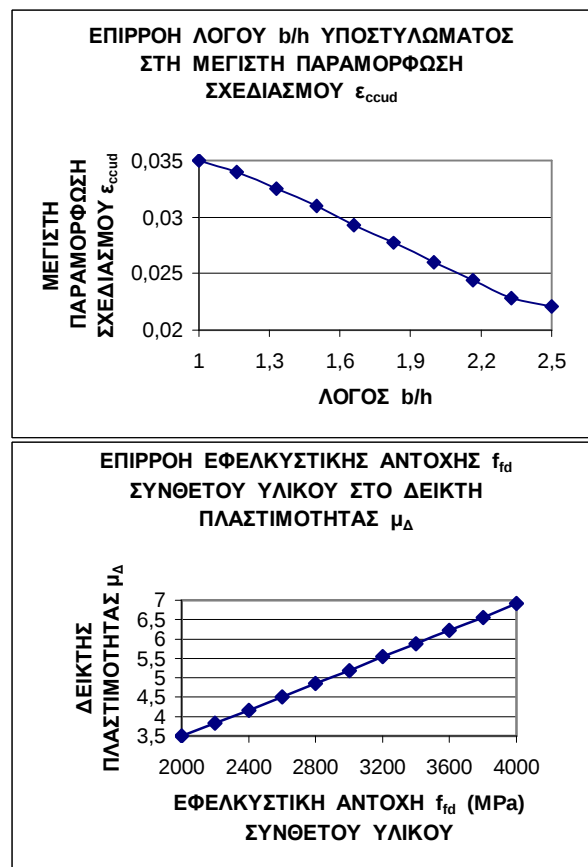
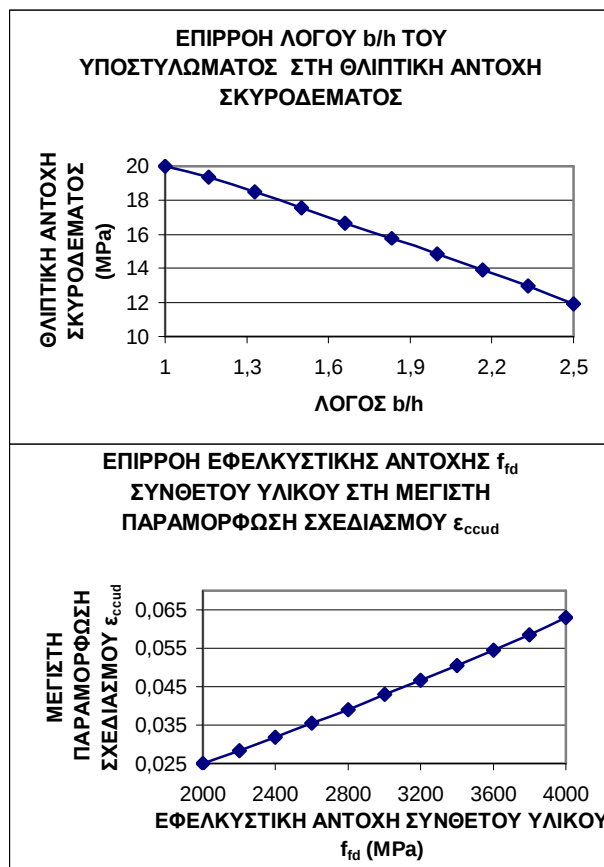
Η παραμετρική ανάλυση από την οποία εξάγονται τα συμπεράσματα για τον βαθμό επιρροής της κάθε παραμέτρου, έχει γίνει για ένα τετραγωνικό υποστυλώμα με διαστάσεις 30x30. Συγκεκριμένα έχουν υπολογιστεί οι τιμές όλων των παραμέτρων για την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος σε 20MPa, την αύξηση της $\varepsilon_{cu,d}$ σε κάποια επιθυμητή τιμή και την επίτευξη μιας επιθυμητής τιμής του δείκτη πλαστιμότητας σε $\mu_d=3,5$. Στη συνέχεια κρατώντας σταθερές τις τιμές των παραμέτρων, μπορούμε να προσδιορίσουμε την επιρροή κάθε μιας που την μεταβάλλουμε. Κατά τους υπολογισμούς έχει αγνοηθεί η συμβολή των συνδετήρων στην περίσφιξη που αυτοί προκαλούν, καθώς σε παλιές κατασκευές είναι αβέβαιη η παρουσία τους ή ακόμη και όταν υπάρχουν είναι σε μεγάλες αποστάσεις. Γι' αυτό το λόγο μπορούν να αγνοούνται. Αρχική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος έχει θεωρηθεί 10MPa.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Στα κυκλικά υποστυλώματα τα αποτελέσματα της περίσφιξης είναι σαφώς πιο ευεργετικά σε σχέση με τα ορθογωνικά, καθώς οι εγκάρσιες τάσεις λόγω διόγκωσης στο μανδύα εφαρμόζονται σε όλη την επιφάνεια της κυκλικής διατομής, ενώ στα ορθογωνικά υποστυλώματα η επιφάνεια επιρροής της περίσφιξης δεν καλύπτει όλη τη διατομή του υποστυλώματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης:





Το διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η επιρροή του στρογγυλέματος των γωνιών του τετραγωνικού υποστυλώματος στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος έχει γίνει για υποστύλωμα με πλευρές $b=h=0,3$ m, $E_f=230$ GPa, $f_{fd}=3000$ MPa χρησιμοποιώντας πάχος συνθετικού υλικού $t_f=0,33$ mm. Παρατηρούμε ότι για αύξηση της καμπυλότητας από 1cm σε 3,4cm η θλιπτική αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος αυξάνεται κατά 3 MPa. Για την περίσφιξη τετραγωνικού υποστυλώματος διαστάσεων μεγαλύτερων, δηλαδή $b=h=0,5$ m, η προηγούμενη αύξηση της καμπυλότητας επέφερε αύξηση της θλιπτικής αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος κατά 2 MPa, ενώ για τετραγωνικό υποστύλωμα $b=h=0,7$ m η αύξηση

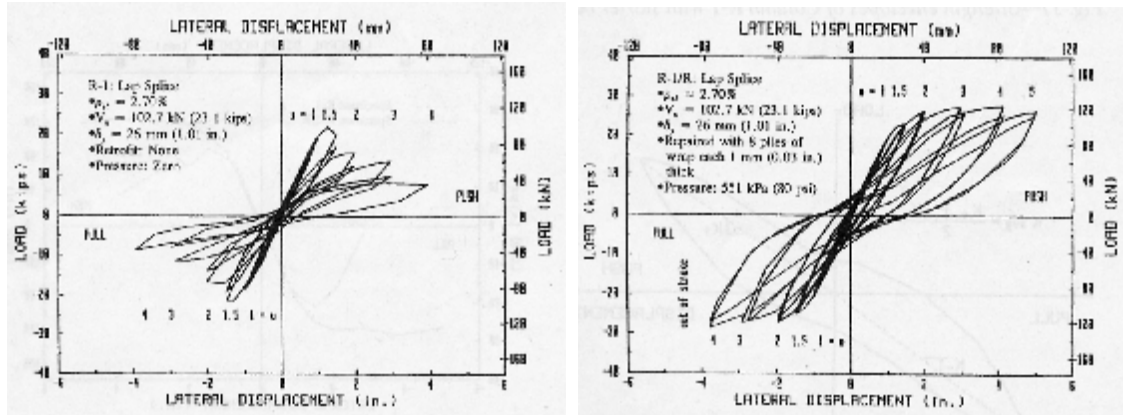
ήταν 1,5 MPa περίπου. Αντίθετα για τετραγωνικό υποστύλωμα διαστάσεων $b=h=0,2$ MPa η αύξηση της f_{ccd} ήταν 3,5 MPa. Από τα προηγούμενα προκύπτει το συμπέρασμα ότι το στρογγύλεμα των γωνιών σε υποστυλώματα μικρών διαστάσεων έχει ευνοϊκό χαρακτήρα και αυτό γιατί πλησιάζουν περισσότερο τις κυκλικές διατομές.

Εκτός της αύξησης της θλιπτικής αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος, η αύξηση της καμπυλότητας των γωνιών τετραγωνικού υποστυλώματος με $b=h=0,3$ m από 1 cm σε 3,4 cm και ίδια χαρακτηριστικά όπως προηγουμένως, αυξάνει την μέγιστη παραμόρφωση του περισφιγμένου σκυροδέματος από 3,5% σε 4% και την τιμή του δείκτη πλαστιμότητας από 3,5 που είχε αρχικά σε 4,9. Η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας E_f του σύνθετου υλικού που χρησιμοποιείται για την περίσφιξη έχει πολύ μικρή συνεισφορά στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και μηδενική επιρροή για την αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος. Αντιθέτως παρατηρούμε ότι η μείωση της τιμής του μέτρου ελαστικότητας E_f έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση της αξονικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε ότι η αύξηση του E_f από 70 GPa σε 300 GPa σε υποστύλωμα με $b=h=0,3$ m, $r_c=0,02$ m, $f_{fd}=3000$ MPa και $t_f=0,29$ mm, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θλιπτικής αντοχής κατά 1,5 MPa ενώ μειώνοντας το E_f από 390 GPa σε 70 GPa η αξονική παραμόρφωση αυξάνει από 2,5% σε 10%. Ο δείκτης πλαστιμότητας μετριέται από τον δεύτερο κλάδο του διαγράμματος σ-ε του υποστυλώματος, ενώ το E_f καθορίζει την κλίση του πρώτου κλάδου και έτσι είναι λογικό να μην επηρεάζεται καθόλου ο δείκτης πλαστιμότητας μ_d από την μεταβολή του E_f .

Η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής f_{fd} του σύνθετου υλικού που χρησιμοποιείται έχει ευμενή επίδραση στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, στην αξονική παραμόρφωση και στην τιμή του δείκτη πλαστιμότητας όπως άλλωστε αναμενόταν. Ειδικότερα η αύξηση της f_{fd} από 2000 MPa σε 4000 MPa για ένα υποστύλωμα με $b=h=0,3$ m, $E_f=230$ GPa, $r_c=2$ cm, και $t_f=0,4$ mm έχει σαν αποτέλεσμα όπως φαίνεται και από το διάγραμμα την αύξηση της f_{ccd} κατά 5,4 MPa. Αντίστοιχες αυξήσεις παρατηρούνται και στην ϵ_{ccud} από 2,5% σε 6,3% και στη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας από 3,5 σε 6,91.

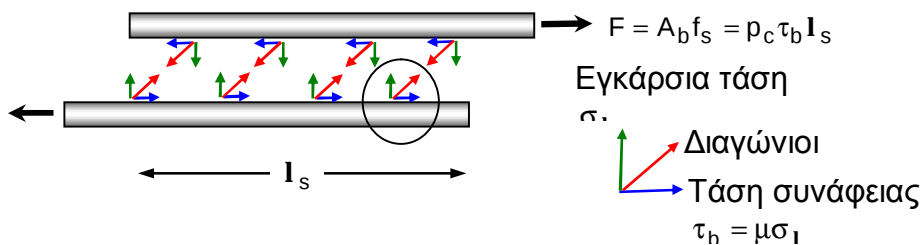
Κρίσιμη παράμετρος κατά την μελέτη της ενίσχυσης ορθογωνικού υποστυλώματος είναι ο λόγος b/h των πλευρών του. Για υποστύλωμα με πλευρά $h=0,3$ m, $E_f=230$ GPa, $f_{fd}=3000$ MPa, $r_c=0,02$ m και $t_f=0,28$ mm η αύξηση του λόγου b/h από την τιμή 1 στη τιμή 2,5, προκαλεί μείωση της f_{ccd} από 20 MPa σε 11,9 MPa όπως φαίνεται και από το διάγραμμα. Αντίστοιχα μειώνεται η ϵ_{ccud} από 3,5% σε 2,1% και ο δείκτης πλαστιμότητας από 3,5 για $b/h=1$ σε 1,4 για $b/h=1,83$ που είναι και η μικρότερη αποδεκτή τιμή της πλαστιμότητας. Όσο αυξάνεται η μια πλευρά διάστασης b με σταθερή την άλλη h , αυξάνεται και το απερίσφιγτο μέρος. Αυτό ποσοτικοποιείται μέσω του συντελεστή διατομής k_{e1} .

Επιπλέον σε υφιστάμενες κατασκευές παρατηρούνται αστοχίες σε περιοχές ματίσεων εξαιτίας του μικρού μήκους μάτισης ή της χρήσης λείων ράβδων ή εξαιτίας των δυο παραπάνω. Η ευνοϊκή επίδραση της περίσφιξης που παρέχουν οι μανδύες σύνθετων υλικών σε περιοχές ματίσεων έχει καταδειχτεί μέσω διάφορων ερευνητικών εργασιών, των οποίων ενδεικτικά πειραματικά αποτελέσματα δίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχ.2.4 Συμπεριφορά (α) μη ενισχυμένου και (β) ενισχυμένου στην περιοχή μάτισης υποστυλώματος ορθογωνικής διατομής υπό οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση (Saadatmanesh et al. 1997).

Η αντοχή σε συνάφεια μεταξύ των δυο ράβδων που ματίζονται εξαρτάται κυρίως από τον μηχανισμό τριβής στο διάστημα όπου αναπτύσσεται η αγκύρωση. Η δύναμη F που μπορεί να αναπτυχθεί σε μια ράβδο οπλισμού A_b στη περιοχή μάτισης l_s εξισορροπείται από την διατμητική τάση συνάφειας τ_b , που αναπτύσσεται στη περιφέρεια της ράβδου. Η τ_b λαμβάνεται θεωρώντας έναν μηχανισμό τριβής, είναι δηλαδή ανάλογη της εγκάρσιας τάσης περίσφιξης σ_1 που παρέχει ο μανδύας σύνθετων υλικών κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας επι έναν συντελεστή $\mu=1,4$



Σχ.2.5 Εντατική κατάσταση στην περιοχή μάτισης (μηχανισμός τριβής).

Είναι $\tau_b = \mu \sigma_{lud} = \mu 2 t_f f_{tde} / d$

Η τάση συνάφειας που αναπτύσσεται είναι ανάλογη της εφελκυστικής αντοχής των σύνθετων υλικών. Στον σχεδιασμό μανδυνών από σύνθετα υλικά σε περιοχές ματίσεων τίθεται σαν προϋπόθεση η διαρροή του διαμήκους οπλισμού να προηγείται της απώλειας συνάφειας της μάτισης, δηλαδή ότι

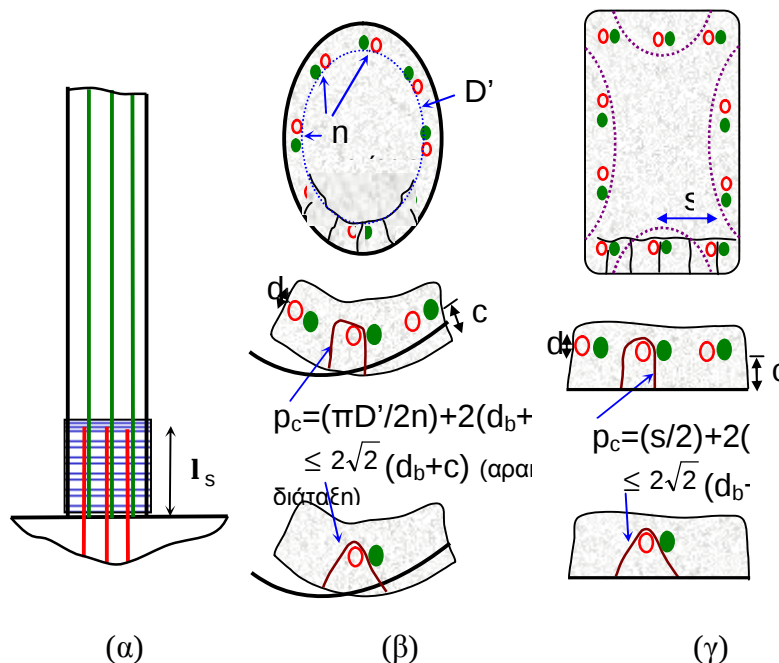
$$A_b f_{yd} = \rho_c \mu \sigma_1 l_s$$

Με βάση αυτή τη σχέση και την προηγούμενη προκύπτει ότι :

$$t_f = \frac{d A_b f_{yd}}{2 \rho_c \mu f_{tde} l_s}$$

d : η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος

A_b : εμβαδό διατομής μιας εφελκυστικής ράβδου οπλισμού που ματίζεται εντός της περιοχής επαρκώς περισφιγμένου σκυροδέματος



Σχ. 2.6 (α) Περίσφιξη υποστρώματος σε περιοχή μάτισης. (β) Ανάπτυξη ρωγμών στην εφελκυσμένη περιοχή κυκλικού υποστρώματος λόγω αστοχίας συνάφειας και ορισμός της κρίσιμης διαδρομής ρηγμάτωσης. (γ) Ομοίως για ορθογωνικά υποστρώματα, για τα οποία οριοθετείται και η περιοχή επαρκώς περισφιγμένου σκυροδέματος.

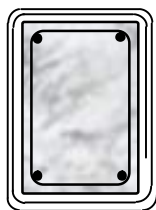
4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ

Η στρογγύλευση των γωνιών των ορθογωνικών υποστρώματων είναι απαραίτητη καθώς η αποτελεσματικότητα της περισφίξης του σκυροδέματος με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω των γωνιών (Σχ. 2.3). Απο το διάγραμμα φαίνεται πως όσο αυξάνουμε την καμπυλότητα αυξάνεται η f_{ccd} και η ε_{ccud} σχεδόν γραμμικά, κατά συνέπεια η στρογγύλευση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Περιορισμός της στρογγύλευσης των γωνιών ορθογωνικών υποστρώματων αποτελεί η ύπαρξη του διαμήκους κατακόρυφου σπλισμού των υποστρώματων και αν επί το συντηρητικότερο θεωρήσουμε επικάλυψη 3 cm δεν θα πρέπει να παίρνουμε καμπυλότητες πάνω από 2-2,5 cm, εκτός κι αν έχουμε μεγαλύτερες επικαλύψεις.

Η επιλογή του τύπου των σύνθετων υλικών που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να γίνεται με κριτήριο την αδυναμία του υποστρώματος στο οποίο γίνεται η επέμβαση. Με χρήση καλύτερης ποιότητας σύνθετου υλικού, δηλαδή με μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή (ίνες γυαλιού), η αύξηση τόσο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, της αξονικής παραμόρφωσης όσο και της πλαστιμότητας είναι δεδομένη. Βέβαια όταν διαλέγουμε καλύτερη ποιότητα αυτό σημαίνει και μεγαλύτερο κόστος, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό είναι μονόδρομος. Σε περιπτώσεις όμως που η αύξηση της αξονικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος είναι το πιο κρίσιμο κομμάτι της ενίσχυσης μπορούν να δοθούν πιο οικονομικές λύσεις αν χρησιμοποιηθούν ίνες γυαλιού που είναι φτηνότερες από τις ίνες άνθρακα και κυρίως εξαιτίας του μικρού E_f που έχουν αυτές αυξάνουν την ε_{ccud} με χρήση πολύ μικρότερης ποσότητας σύνθετου υλικού.

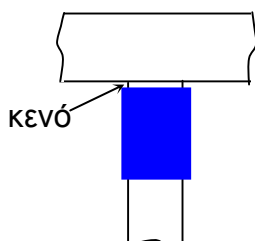
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται από τον μηχανικό κατά την κατασκευαστική διαμόρφωση των σύνθετων υλικών και κυρίως κρίσιμης σημασίας είναι η αγκύρωση του μανδύα. Συγκεκριμένα συνιστάται : .

- Η υπερκάλυψη των δύο άκρων σε επάλληλες στρώσεις επί υποστρωμάτων ορθογωνικής διατομής (Σχ. 2.7) θα πρέπει να έχει μήκος τέτοιο ώστε η θραύση του μανδύα να προηγείται της αποκόλλησης. Ενδεικτικό ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης είναι τα 200 mm, για υφάσματα ινών άνθρακα ονομαστικού πάχους 0.12-0.13 mm.



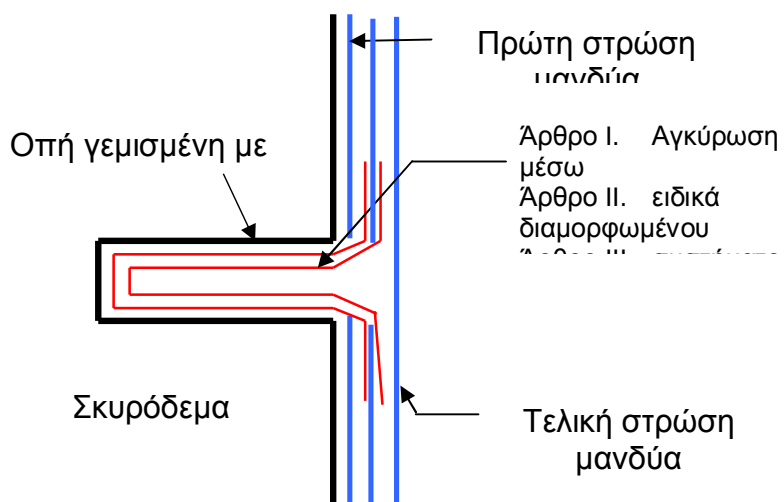
Σχ.2.7

- Ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός στρώσεων για την κατασκευή μανδύα είναι της τάξης του 15 (ή όπως συνιστάται από τον προμηθευτή του συστήματος ενίσχυσης).
- Στην περίπτωση εφαρμογής μανδύα στις κρίσιμες περιοχές υποστρωμάτων πρέπει να αφήνεται κενό της τάξης των 15 mm (Σχ. 2.8), ώστε αφενός να μην παρεμποδίζεται η στροφή της ακραίας διατομής, αφετέρου να μην υφίσταται σύνθλιψη ο μανδύας λόγω της στροφής αυτής.



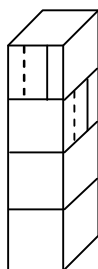
Σχ.2.8

- Όταν ο μανδύας αποσκοπεί στην αποτελεσματική περίσφιγξη υποστρωμάτων ορθογωνικής διατομής με μεγάλο λόγο πλευρών (π.χ. >3) ή τοιχωμάτων, τα τμήματα του μανδύα επί των μεγάλων πλευρών θα πρέπει είτε να συνδέονται μεταξύ τους μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων βλήτρων (κατά προτίμηση), είτε να στερεώνονται επαρκώς στις πλευρές αυτές μέσω ειδικών βλήτρων σε οπές (Σχ. 2.9).



Σχ. 2.9 Στερέωση μανδύα μέσω ειδικού βλήτρου-αγκυρίου σε οπή.

- Όπως και στην περίπτωση διατμητικής ενίσχυσης υποστυλώματος με καθολική περιτύλιξη υφασμάτων, η μάτιση κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά (Σχ. 2.10).



Σχ2.10

Θα πρέπει να καταστεί σαφές ότι η χρήση μανδύα συνθέτων υλικών σε υποστυλώματα προσδίδει αντοχή και παραμορφωσιμότητα χωρίς να αυξάνει την δυσκαμψία των ενισχυμένων στοιχείων (όπως συμβαίνει στην περίπτωση συμβατικού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος). Σε ιδιαίτερα εύκαμπτες κατασκευές (π.χ. κτίρια με πιλοτή) τούτο θα 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 μόνον της ικανότητας για παραμόρφωση μέσω μανδύα συνθέτων υλικών μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής λύση σε σχέση με τις σύγχρονες απαιτήσεις αντισεισμικότητας (οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν και αύξηση της δυσκαμψίας).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Τριανταφύλλου Αθ. (2003)**
Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών & Κατασκευών, Πανεπιστήμιο Πατρών
- 2. Πανταζοπούλου Σταυρούλα (1999)**
Μανδύες από σύνθετα υλικά ως μέσο επισκευής στοιχείων οπλισμένου Ο/Σ
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
- 3. Spolestra M. R. and Monti G. (1999)**
FRP-confined concrete model , Journal of composites for construction
ASCE, 3(3) , 143-150
- 4. H. SAADATMANESH (1995)**
Wrapping with composite materials , Non-metallic (FRP) Reinforcement
for concrete structures.