

ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τους τρόπους επισκευής και ενίσχυσης των κοινών περιοχών δοκών – υποστυλωμάτων, κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα, που αστοχούν λόγω σεισμού. Κυρίως, γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης μεθόδων υπολογισμού ενίσχυσης των περιοχών αυτών, μέσω και της εφαρμογής τους σε έναν κοινό κόμβο, καθώς και έλεγχος επάρκειας της ενίσχυσης. Επίσης παρατίθενται οι κανόνες διαστασιολόγησης των κόμβων, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (EC-8) και τις συστάσεις της μικτής επιτροπής ACI-ASCE 752.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

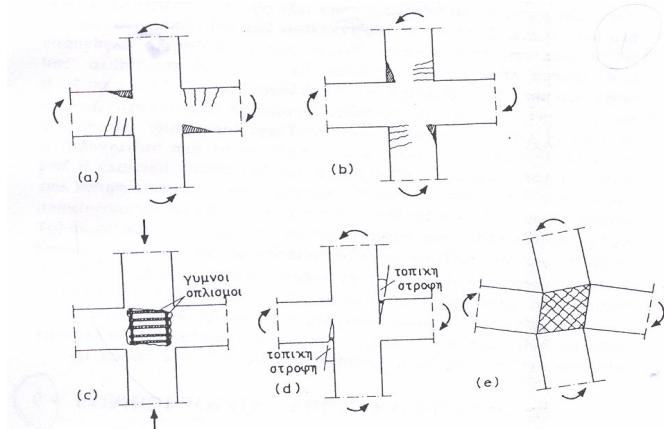
Οι αστοχίες στις κοινές περιοχές δοκών – υποστυλωμάτων είναι ιδιαίτερα κρίσιμες για την ασφάλεια των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η εκδήλωση βλάβης υποβαθμίζει την ακαμψία του φέροντος στοιχείου και οδηγεί σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές εντάσεων.

Οι συνήθεις βλάβες που παρουσιάζονται στους κόμβους είναι η συντριβή του σκυροδέματος, το λύγισμα των διαμήκων ράβδων εξαιτίας της έλλειψης πυκνών συνδετήρων στην περιοχή του κόμβου, η αποκόλληση του κόμβου από τις συντρέχουσες δοκούς με αποτέλεσμα να χαθεί το ολόσωμο της σύνδεσης και ρηγματώσεις οι οποίες σε πρώτη φάση θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές .

Στόχος του σχεδιασμού είναι να διασφαλιστεί ο τύπος αστοχίας που χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς που συντρέχουν στον κόμβο.

2. ΤΥΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Στο σχήμα παρουσιάζονται οι τύποι αστοχίας στους κόμβους [9]. Ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς (a) είναι ο επιθυμητός τρόπος αστοχίας ενώ στα υποστυλώματα (b) είναι μη επιθυμητός. Η αποφλοίωση της επικάλυψης του σκυροδέματος των παρειών του κόμβου (c), μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας του υποστυλώματος. Η αστοχία της αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων της δοκού στην περιοχή του κόμβου (d) οδηγεί σε πτώση της αντοχής και σε σημαντικές τοπικές στροφές στη διεπιφάνεια δοκού-υποστυλώματος, που συνεπάγεται μείωση της δυσκαμψίας του συστήματος. Τέλος η αστοχία του κόμβου από διάτμηση (e) έχει συνέπειες στην αντοχή και την δυσκαμψία του συστήματος παρόμοιες με εκείνες της προηγούμενης περίπτωσης.

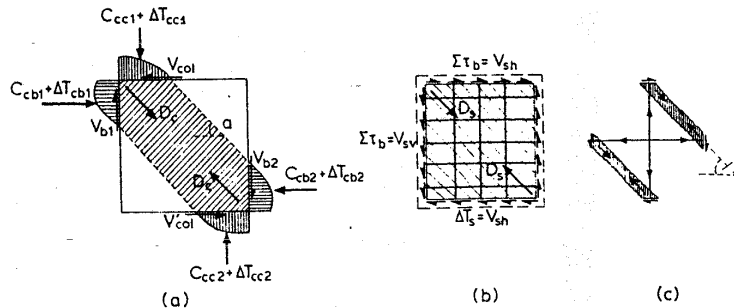


Σχ.1 Τύποι αστοχίας συνδέσεων δοκών υποστυλωμάτων

- (a) Εξάντληση πλαστιμότητας δοκού
- (b) Εξάντληση πλαστιμότητας υποστύλωματος
- (c) Αποφλοιώση κόμβου
- (d) Αστοχία αγκύρωσης ράβδων δοκού
- (e) Αστοχία από διάτμηση

3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

Σύμφωνα με τους Park και Paulay (1975) [9] η συνολική τέμνουσα σε ένα κόμβο μεταφέρεται αφενός από ένα διαγώνιο θλιπτήρα σκυροδέματος που σχηματίζεται μεταξύ των θλιβομένων γωνιών του κόμβου και αφετέρου από ένα ιδεατό δικτύωμα που αποτελείται από οριζόντιους συνδετήρες, κατακόρυφους ράβδους υποστύλωματος, από τις διαμήκεις ράβδους της δοκού και από ένα σύστημα λοξών θλιβόμενων ράβδων σκυροδέματος.



Σχ.2 Μοντέλα μεταφοράς τέμνουσας στον κόμβο:
 (a) Μηχανισμός διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος
 (b) Μηχανισμός δικτύωματος
 (c) Τυπικές συνιστώσες του δικτύωματος (εφελκόμενες ράβδοι χάλυβα, θλιβόμενες ράβδοι σκυροδέματος, δυνάμεις συνάφειας).

4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΟΜΒΟΥ EC-8

Η συνήθη κατηγορία πλαστιμότητας με την οποία σχεδιάζονται οι κατασκευές στην Ελλάδα είναι η μέτρια 'M' για την οποία ισχύουν τα παρακάτω.[1]

Για τον υπολογισμό των διατμητικών δυνάμεων που δρουν στον πυρήνα του κόμβου χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εκφράσεις:

➤ Εσωτερικοί κόμβοι

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot 0.667 \cdot (A_{s1} + A_{s2} \cdot q/5) \cdot f_{yd} - V_{col} \quad (1)$$

➤ Εξωτερικοί κόμβοι

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot 0.667 \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_{col} \quad (2)$$

όπου:

- γ_{Rd} – μειωτικός συντελεστής για την κατηγορία πλαστιμότητας M=1.15
- 0.667 ή 2/3 - συντελεστής ο οποίος δηλώνει ότι ένα μέρος των δυνάμεων συνάφειας κατευθύνονται εκτός του πυρήνα του κόμβου
- V_{col} - τέμνουσα σχεδιασμού της παρειάς του κόμβου όπως προκύπτει από ανάλυση
- A_{s1}, A_{s2} – άνω και κάτω οπλισμός συντρέχουσας δοκού

Για να εξασφαλιστεί η μεταφορά τέμνουσας διαμέσου του κόμβου πρέπει να ελέγχονται τα παρακάτω:

1) Η θλίψη που αναπτύσσεται λόγω της θλιβόμενης ράβδου δεν πρέπει να ξεπερνά την αντοχή του άοπλου σκυροδέματος. Λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει ακριβές προσομοίωμα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εμπειρικοί τύποι:

➤ Εσωτερικοί κόμβοι

$$V_{jhd} \leq 20 \cdot \tau_{Rd} \cdot b_j \cdot h_c \quad (3)$$

➤ Εξωτερικοί κόμβοι

$$\boxed{V_{jhd} \leq 15 \cdot \tau_{Rd} \cdot b_j \cdot h_c} \quad (4)$$

όπου:

- τ_{Rd} - διατμητική αντοχή σκυροδέματος
- b_j - ενεργό πλάτος κόμβου
- h_c - πλάτος υποστυλώματος

Αν κάνουμε μία αναπροσαρμογή στους όρους της (3) ή της (4) δηλαδή να λύσουμε ως προς

τ_{Rd} έχουμε: $\boxed{15 \cdot \tau_{Rd} \geq \frac{V_{jhd}}{b_j \cdot h_c}}$. Ο δεύτερος όρος της ανισότητας είναι τιμή τάσεως και

υποδηλώνει ότι η διατμητική τάση του κόμβου πρέπει να είναι 15 φορές μικρότερη της βασικής διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος.

Για το ενεργό πλάτος του κόμβου διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

a) Εάν $b_c > b_w$ τότε $b_j = \min\{b_c, (b_w + 0.5 \cdot h_c)\}$ και

b) Εάν $b_c < b_w$ τότε $b_j = \min\{b_w, (b_c + 0.5 \cdot h_c)\}$

2) Για την περίσφηση της περιοχής του κόμβου, οριζόντιοι συνδετήρες πρέπει να περιβάλλουν την περιοχή τέτοιοι ώστε:

$$\boxed{\frac{A_{sh} \cdot f_{yd}}{b_j \cdot h_{jw}} \geq \frac{V_{jhd}}{b_j \cdot h_{jc}} - \lambda \cdot \sqrt{\gamma_{Rd} \cdot (12 \cdot \tau_{Rd} + v_d \cdot f_{cd})}} \quad (5)$$

όπου:

- A_{sh} - εμβαδόν οριζόντιων συνδετήρων
- h_{jw} - απόσταση μεταξύ άνω και κάτω οπλισμών δοκού
- h_{jc} - απόσταση μεταξύ των γωνιακών οπλισμών του υποστυλώματος
- λ - συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψιν την διαθέσιμη διατμητική αντίσταση του σκυροδέματος μετά από κυκλική καταπόνηση και εξαρτάται από την κατηγορία πλαστιμότητας. Για την κατηγορία που εξετάζουμε $\lambda = 1.0$

- v_d - ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού η οποία δίνεται ως: $\boxed{v_d = \frac{N_c}{A_c \cdot f_{cd}}}$ όπου η αξονική δύναμη του υποστυλώματος N_c λαμβάνεται όπως προκύπτει από τον σχεδιασμό.

3) Πρέπει να τοποθετείται επαρκής κατακόρυφος οπλισμός στην περιοχή του κόμβου

τέτοιος ώστε: $\boxed{A_{sv,i} \geq \frac{2}{3} \cdot A_{sh} \cdot \frac{h_{jc}}{h_{jw}}}$ (6)

όπου: $A_{sv,i}$ - εμβαδό ενδιάμεσων οπλισμών του υποστυλώματος μεταξύ των γωνιακών ράβδων

Ειδικά μέτρα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται για τους οριζόντιους συνδετήρες είναι:

- ✓ Η διάμετρος των συνδετήρων δε πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 6mm.
- ✓ Η απόσταση των συνδετήρων λαμβάνεται ως $s = \min\{hc/2, 150\text{mm}\}$ όταν υπάρχουν δοκοί και στις τέσσερις πλευρές του κόμβου και $s = \min\{hc/2, 100\text{mm}\}$ όταν δεν υπάρχουν και στις τέσσερις πλευρές.

Για τους κατακόρυφους συνδετήρες τουλάχιστον μία ενδιάμεση ράβδος θα τοποθετείται σε κάθε πλευρά του κόμβου.

4. ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ACI-ASCE 352

Οι κύριες παραδοχές σύμφωνα με τις συστάσεις της ανωτέρω επιτροπής [3] για να υπάρξει ικανοποιητική συμπεριφορά των κόμβων κατά την διάρκεια σεισμικής καταπόνησης είναι:

➤ Ο λόγος των καμπτικών αντοχών υποστυλωμάτων-δοκών πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 1.40 δηλ. $M_R = \frac{\sum M_c}{\sum M_b} = 1.40$. Ο συντελεστής 1.40 διασφαλίζει ότι σε περίπτωση που δημιουργηθεί πλαστική άρθρωση, να δημιουργηθεί στη δοκό και όχι στο υποστύλωμα.

➤ Οι διατμητικές τάσεις στον κόμβο θα πρέπει να ικανοποιούν την παρακάτω σχέση:

$$\Phi \cdot V_n \geq V_n$$

όπου:

- $\Phi = 0.85$ -μειωτικός συντελεστής αντοχής
- $V_n = \gamma \sqrt{f_c} \cdot b_j \cdot h$ (7) ή $V_n = 0.083 \cdot \gamma \sqrt{f_c} \cdot b_j \cdot h$ (8) – διατμητική αντοχή του κόμβου

Στην βιβλιογραφία συναντάται κυρίως με την μορφή $\tau = \gamma \sqrt{f_c}$, όπου από την (7) προκύπτει:

$$\tau = \frac{V_n}{b_j \cdot h} \quad (9)$$

Ο συντελεστής γ εξαρτάται από τον τύπο του κόμβου όπως ορίζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Τύπος κόμβου	Ταξινόμηση κόμβου		
	(α) εσωτερικός	(β) εξωτερικός	(γ) γωνιακός
1	24	20	15
2	20	15	12

Πίνακας 1. Τιμές γ για κόμβους δοκών υποστυλωμάτων (ACI-ASCE 352, 1991)

Ο τύπος κόμβου 1 σύμφωνα με τον ACI 318 ενώνει μέλη τα οποία έχουν σχεδιασθεί με απαιτήσεις αντοχής στην ελαστική περιοχή ενώ ο τύπος 2 ενώνει μέλη τα οποία έχουν υποστεί καταπονήσεις και σε ανελαστική περιοχή.

Στη σχέση (7) ο όρος b_j είναι το ενεργό πλάτος του κόμβου όπου:

$$b_j = \min \left\{ \frac{(b_b + b_c)}{2}, b_c \right\} \quad \text{ή} \quad b_j > b_b + \frac{h}{2}$$

➤ Ο οπλισμός συνδετήρων στο κόμβο θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

$$A_{sh} = 0.3 \cdot \frac{s_h \cdot h'' \cdot f_c'}{f_{yh}} \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (10)$$

$$A_{sh} \geq 0.09 \cdot \frac{s_h \cdot h'' \cdot f_c'}{f_{yh}} \quad (11)$$

όπου:

- f_c – θλιπτική αντοχή σκυροδέματος
- s_h – απόσταση συνδετήρων
- h'' – διάσταση της μεγαλύτερης πλευράς του πυρήνα του υποστυλώματος
- A_g και A_c – επιφάνεια διατομής υποστυλώματος και πυρήνα υποστυλώματος αντίστοιχα
- f_{yh} – όριο διαρροής οπλισμού συνδετήρων

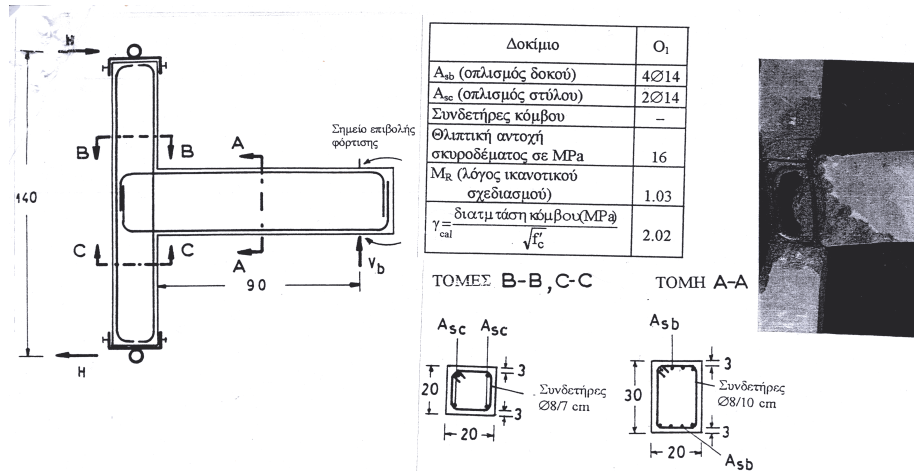
5. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η διατμητική ανεπάρκεια κόμβου μπορεί να οφείλεται είτε σε διαγώνια θλίψη του κόμβου είτε σε ανεπάρκεια οπλισμού [6]. Η ενίσχυση κόμβου έναντι αστοχίας σε διαγώνια θλίψη πραγματοποιείται με αύξηση των διαστάσεων του, μέσω μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Η ανεπάρκεια του οπλισμού σε ένα κόμβο αντιμετωπίζεται συνήθως με ενίσχυση με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε με χιαστί κολλάρα από χαλύβδινα

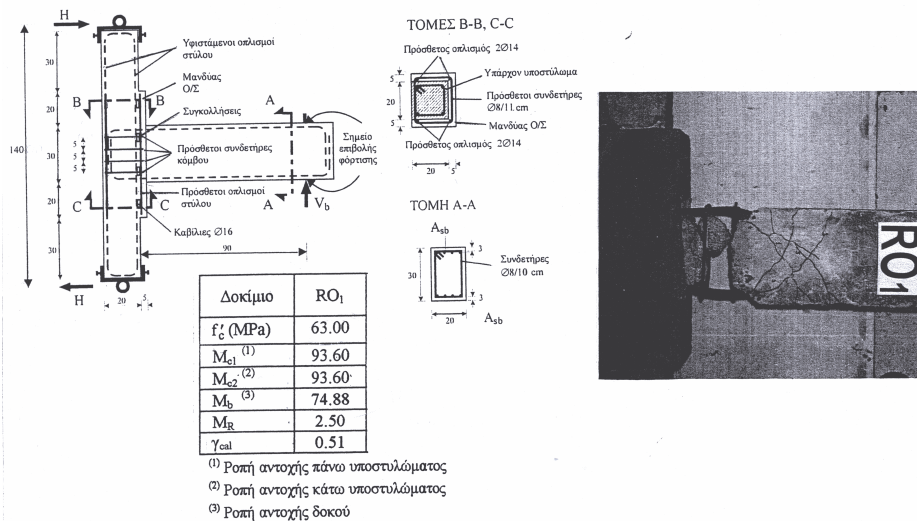
στοιχεία, είτε με επικολλητά ελάσματα από χάλυβα, είτε με υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή, είτε με προσθήκη νέων οριζόντιων και κατακόρυφων συνδετήρων.

6. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΠΛΕΥΡΟΥ ΜΑΝΔΥΑ

Πρόκειται για ένα νέο μοντέλο σχεδιασμού κόμβων (Τσώνος 1996). Παρακάτω γίνεται ανάπτυξη του μοντέλου μέσω ενός παραδείγματος [5]. Το δομικό υποσύνολο του Σχ.3(a) υπερβλήθη σε ισχυρή σεισμική καταπόνηση. Στην εικόνα αστοχίας φαίνεται η έντονη μόνιμη παραμόρφωση των διαμήκων οπλισμών του στύλου λόγω των μεγάλων διατμητικών παραμορφώσεων του κόμβου. Πραγματοποιήθηκε η ενίσχυση με τοπικό τρίπλευρο μανδύα όπως φαίνεται στο Σχ.3(b).



Σχ.3(a) Διαστάσεις, λεπτομέρειες οπλισμού δοκιμίου O₁ και εικόνα αστοχίας του.



Σχ. 3(b) Διαστάσεις, λεπτομέρειες οπλισμού δοκιμίου RO₁ και εικόνα αστοχίας του.

Οι ασκούμενες δυνάμεις στο σκυρόδεμα του πυρήνα του κόμβου στη διατομή I-I από κάθε ένα από τους δύο μηχανισμούς παραλαβής τέμνουσας φαίνονται στο Σχ.4. Οι κατακόρυφως ασκούμενες δυνάμεις είναι:

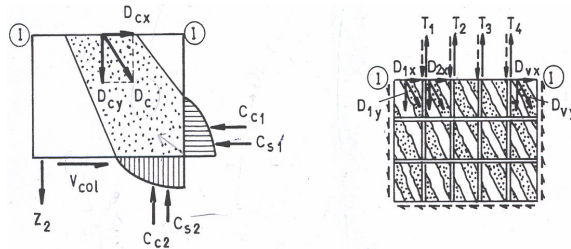
- a) από τον μηχανισμό διαγώνιου θλιπτήρα: D_{cy}
- b) από τον μηχανισμό δικτύωματος: $D_{sy}=T_1+T_2+T_3+T_4+(D_{1y}+...D_{vy})$

Άρα η κατακόρυφη τέμνουσα του κόμβου είναι:

$$V_{iv} = D_{cy} + D_{sy} \tag{12}$$

Ενώ η οριζόντια:

$$V_{jh} = D_{cx} + D_{lx} + \dots + D_{vx} \quad (13)$$



Σχ. 4 Ασκούμενες δυνάμεις στο σκυρόδεμα του πυρήνα του κόμβου στη διατομή I-I από τους δύο μηχανισμούς

Θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή των ορθών και διατμητικών τάσεων κατά μήκος της τομής I-I του πυρήνα διαστάσεων $h_c \cdot b_c$ τότε:

$$\sigma = \frac{V_{iv}}{h_c \cdot b_c} \quad (14)$$

$$\tau = \frac{V_{jh}}{h_c \cdot b_c} \quad (15)$$

διαιρώντας κατά μέλη τις (14) και (15):

$$\frac{\sigma}{\tau} = \frac{V_{iv}}{V_{jh}} \quad (16)$$

Ισχύει:

$$\frac{V_{iv}}{V_{jh}} = \frac{h_b}{h_c} = \alpha \quad (17)$$

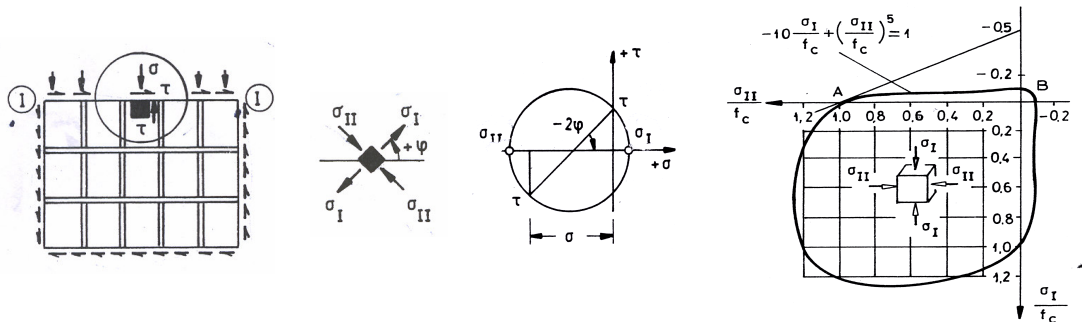
Συνεπώς η (16) γίνεται:

$$\sigma = \alpha \cdot \tau \quad (18)$$

Οι ασκούμενες κύριες τάσεις κατά τις διευθύνσεις των κύριων αξόνων στην εξεταζόμενη περιοχή προσδιορίζονται γραφικά από τον κύκλο του Mohr Σχ. 5 είναι:

$$\sigma_I, \sigma_{II} = \pm \frac{\sigma}{2} \pm \frac{\sigma}{2} \sqrt{1 + \frac{4\tau^2}{\sigma^2}} \quad (19)$$

Σχ. 5 Εντατική καταπόνηση στοιχείου της εξεταζόμενης περιοχής και εξομοίωση της



καμπύλης διαξονικής αντοχής σκυροδέματος με παραβολή 5^{ου} βαθμού.

από το διάγραμμα διαξονικής αντοχής σκυροδέματος Σχ.5 προκύπτει ότι ο κλάδος AB είναι δυνατόν να υποκατασταθεί από παραβολή 5^{ου} βαθμού. Έτσι για τον κλάδο αυτό ισχύει:

$$-10\frac{\sigma_I}{f_c} + \left(\frac{\sigma_{II}}{f_c}\right)^5 = 1 \quad (20)$$

Αντικαθιστώντας την (16) και (17) στην (18) και θεωρώντας $\tau = \gamma\sqrt{f_c}$ προκύπτει:

$$\frac{5\alpha\gamma}{\sqrt{f_c}} \left(\sqrt{1 + \frac{4}{\alpha^2}} - 1 \right) + \left(\frac{\alpha\gamma}{2\sqrt{f_c}} \left(\sqrt{1 + \frac{4}{\alpha^2}} + 1 \right) \right)^5 = 1 \quad (21)$$

Το ογκομετρικό ποσοστό των συνδετήρων του κόμβου ως προς τον πυρήνα, που ορίζεται από την εξωτερική περίμετρο του εξωτερικού συνδετήρα είναι:

$$\rho_w = \frac{(4 \cdot 220)50}{220 \cdot 220 \cdot 50} = 0.018$$

Ο συντελεστής αύξησης της αντοχής βάσει του μοντέλου των Scott, Park και Priestley είναι:

$$K = 1 + \frac{\rho_w f_{yw}}{f_c} = 1 + 0.018 \cdot 495 / 63 = 1.14 \quad (22)$$

Άρα η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος του πυρήνα του κόμβου είναι:

$$f_c = K \cdot f_c = 1.14 \cdot 63 = 71.8 \text{ MPa} \quad (23)$$

Η τέμνουσα του ενισχυμένου κόμβου όταν σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη δοκό είναι:

$$V_y = \lambda \cdot A_{s1} \cdot f_y - V_{col} \quad (24)$$

όπου: $\lambda = 1.25$ – συντελεστής υπεραντοχής και κράτυνσης χάλυβα (ACI-ASCE Committee 352)

Επίσης δίνεται από την έκφραση (EC-8):

$$V_y = \gamma_{cal} \sqrt{f_c} A_{\text{κόμβου}} \quad (25)$$

Εξισώνοντας τις δύο ανωτέρω εκφράσεις και αντικαθιστώντας τις τιμές των μεγεθών προκύπτει:

$$1.25 \cdot 616 \text{ mm}^2 \cdot 500 \text{ MPa} - 59.520 \text{ N} = \gamma_{cal} \sqrt{71.8} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} \Rightarrow \gamma_{cal} = 0.51$$

Ο λόγος των πλευρών του προς ενίσχυση κόμβου είναι:

$$\alpha = h_b / h_c = 1.20$$

Επιλύοντας την σχέση (21) για $\alpha = 1.2$ προκύπτει:

$$\gamma_{ult} = 0.176 \sqrt{f_c} = 0.176 \sqrt{71.8} = 1.49$$

επίσης: $\gamma_{cal} / \gamma_{ult} = 0.51 / 1.49 = 0.34 < 0.5$

Το μοντέλο προβλέπει ικανοποιητικά την έναρξη της αστοχίας στη δοκό για $\gamma_{cal} < \gamma_{ult}$ ή στον κόμβο για $\gamma_{cal} \geq \gamma_{ult}$. Επίσης παρατηρήθηκε ότι για $\gamma_{cal} \approx 0.5 \gamma_{ult}$ ολόκληρη η βλάβη επικεντρώνεται στη δοκό αφήνοντας ανέπαφο τον κόμβο.

Άρα ο προβλεπόμενος τύπος αστοχίας του ενισχυμένου δομικού υποσυνόλου είναι η αμιγής αστοχία της δοκού, εφόσον ο λόγος ικανοτικού σχεδιασμού είναι αρκετά μεγαλύτερος της μονάδος ($M_R = 2.5$) Σχ.3(b).

7.1.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΑΝΔΥΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα σε κόμβους πλαισίων συχνά αποτελεί συνέχεια του μανδύα που έχει χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση του κατακόρυφου στοιχείου του κόμβου [6].

➤ Εάν οι δοκοί είναι πιο αδύναμες από τα υποστυλώματα δηλ. $\Sigma M_{yb} < \Sigma M_{yc}$ τότε οι δοκοί εισάγουν οριζόντια τέμνουσα δύναμη στον κόμβο:

$$V_{jh} \approx \Sigma M_{yb} \left(\frac{1}{z_b} - \frac{L_b}{h_{st} L_{bn}} \right) \quad (26)$$

και η κατακόρυφη τέμνουσα δίνεται από την σχέση:

$$V_{jv} = V_{jh} \frac{h_b}{h_c} \quad (27)$$

η μέση διατμητική τάση στον πυρήνα του κόμβου ισούται με:

$$\tau_j = \frac{V_{jh}}{b_j h_c} \quad (28)$$

➤ Εάν $\Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc}$ τα υποστυλώματα καθορίζουν την διατμητική ένταση. Η κατακόρυφη τέμνουσα δύναμη στον κόμβο είναι:

$$V_{jv} \approx \Sigma M_{yc} \left(\frac{1}{z_b} - \frac{h_{st}}{h_{st,n} L_b} \right) + \max V_{g+\psi/2q,b} \quad (29)$$

και η οριζόντια τέμνουσα δίνεται από την σχέση:

$$V_{jh} = V_{jv} \frac{h_c}{h_b} \quad (30)$$

η μέση διατμητική τάση στον κόμβο ισούται με:

$$\tau_j = \frac{V_{jv}}{b_j h_b} \quad (31)$$

όπου:

- ΣM_{yb} – άθροισμα ροπών διαρροής των δοκών που συντρέχουν στον κόμβο
- ΣM_{yc} – άθροισμα ροπών διαρροής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο
- h_{st} – το ύψος του ορόφου
- L_b και L_{bn} – θεωρητικό και καθαρό μήκος δοκών
- z_b και z_c – μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων δοκού και υποστυλώματος
- h_b και h_c – ύψος διατομής δοκού και υποστυλώματος
- b_w και b_c – πλάτος της δοκού και υποστυλώματος σε οριζόντια διεύθυνση κάθετα στο h_c
- $b_j = \min[\max(b_w, b_c), \min(b_w, b_c) + h_c/2]$ – πλάτος κόμβου

Έλεγχος επάρκειας της ενίσχυσης.

➤ Έναντι διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης του πυρήνα άοπλου κόμβου, που συμβαίνει όταν:

$$\tau_j \geq \tau_c = f_{ct} \sqrt{1 + \frac{v_{top} f_c}{f_{ct}}} \quad (32\alpha)$$

➤ Έναντι διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης του πυρήνα κόμβων οπλισμένων με οριζόντιους συνδετήρες, που συμβαίνει όταν:

$$\tau_j \geq \tau_c = f_{ct} \sqrt{\left(\frac{\rho_{jh} f_{yw}}{f_{ct}} \right) \left(1 + \frac{v_{top} f_c}{f_{ct}} \right)} \quad (32\beta)$$

➤ Έναντι διαγώνιας θλίψης του πυρήνα που συμβαίνει όταν:

$$\cdot \text{για } \tau_j > \tau_c \Rightarrow \tau_i \geq \tau_{iu} = n \cdot f_c \sqrt{1 - v_{top}/n} \quad \text{όπου: } n=0.7 - f_c(\text{MPa})/200 \quad (33\alpha)$$

$$\cdot \text{για } \tau_j < \tau_c \Rightarrow \tau_i \geq \tau_{iu} = n \cdot f_c \sqrt{1 - v_{top}/n} \quad \text{όπου: } n=1 \quad (33\beta)$$

όπου:

- τ_j – μέση διατμητική τάση στον κόμβο
- $\sigma_c = v_{top} f_c$ – μέση κατακόρυφη ορθή θλιπτική τάση στον κόμβο
- v_{top} – ανηγμένη αξονική δύναμη του υπερκείμενου υποστυλώματος
- f_{ct} – εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος
- $\rho_{jh} = A_{sh} / b_j z_b$ – η συνολική διατομή A_{sh} των οριζόντιων σκελών συνδετήρων που είναι παράλληλα στο κατακόρυφο επίπεδο της τάσης τ_j , ανηγμένη στην επιφάνεια της

κατακόρυφης διατομής $b_j z_b$ του κόμβου

- z_b – απόσταση των οπλισμών πάνω και κάτω πέλματος της δοκού
- n – μειωτικός συντελεστής της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής λόγω εγκάρσιων εφελκυστικών παραμορφώσεων.

Αν οι διαστάσεις του κόμβου δεν εξασφαλίζουν την αποφυγή διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης ο οριζόντιος οπλισμός του μανδύα στην περιοχή του κόμβου είναι:

$$A_{jh} = V_{jh} / f_{ywd} \quad (34)$$

και ο κατακόρυφος:

$$A_{jv} = V_{jv} / f_{ywd} \quad (35)$$

7.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Παρακάτω θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου στον κόμβο του Σχ.3(β) με τον τρίπλευρο μανδύα σε μια προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Όπου υπάρχει έλλειψη δεδομένων θεωρήθηκαν τυχαίες τιμές.

Ισχύει: $\Sigma M_{yb} = 74.88 \text{ kN/m} < \Sigma M_{yc} = 93.60 + 93.60 = 182.70 \text{ kN/m}$

Θεωρήθηκε: $L_b = 5\text{m}$, $L_{bn} = 4.75\text{m}$, $h_{st} = 3.1\text{m}$ και μετά από υπολογισμούς προκύπτει μοχλοβραχίονας: $z_b = 0.24\text{m}$

Επομένως από εξ.(26), (27) και (28) προκύπτει:

$$V_{jh} = 74.88 \left(\frac{1}{0.24} - \frac{5}{3.1 \cdot 4.75} \right) = 286 \text{ kN} \quad \text{και} \quad V_{jv} = \frac{286 \cdot 0.3}{0.3} = 286 \text{ kN}$$

$$\tau_j = \frac{286}{0.25 \cdot 0.3} = 3.8 \text{ MPa}$$

όπου: $b_j = \min[\max(0.25, 0.20), \min(0.25, 0.20) + 0.30/2] = 0.25\text{m}$

Επίσης από εξ.(32β):

$$\tau_j = 3.8 \text{ MPa} < \tau_c = 1.9 \sqrt{(1 + 0.00335 \cdot 495/1.9)(1 + 0.625 \cdot 16/1.9)} = 6.5 \text{ MPa}$$

όπου: $\rho_{jh} = 201 / (250 \cdot 240) = 0.00335$

και υποθέτοντας: $N_d = -500 \text{ kN}$ προκύπτει: $v_{top} = \frac{-500 \cdot 1.5}{0.3 \cdot 0.25 \cdot 16000} = -0.625$

Επομένως αφού $\tau_j < \tau_c$ η ενίσχυση στον κόμβο εξασφαλίζει την αποφυγή διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης. Επίσης από εξ.(33β):

$$\tau_j = 3.8 \text{ MPa} < \tau_{ju} = 16 \cdot \sqrt{1 - 0.625} = 9.8 \text{ MPa}$$

Άρα η ενίσχυση στον κόμβο εξασφαλίζει και την αποφυγή διαγώνιας θλίψης του πυρήνα. Συμπερασματικά επαληθεύεται και με αυτή την μέθοδο ότι η ενίσχυση του κόμβου του Σχ.(3α) είναι ικανοποιητική.

7.2.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΧΙΑΣΤΙ ΚΟΛΛΑΡΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα χιαστί κολλάρα περισφίγγουν την περιοχή του κόμβου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πλαστιμότητα και να βελτιώνονται οι συνθήκες αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων των δοκών που καταλήγουν εκεί [6].

Σε εξωτερικούς κόμβους εφαρμόζεται με επέκταση της δοκού. Αν το κατακόρυφο στοιχείο δεν συνεχίζεται στον ανώτερο όροφο, γίνεται επέκταση και αυτού του στοιχείου «ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΟΥΡΑΣ».

Η εφελκυστική δύναμη είναι:

$$F_{j\delta} = V_{jh} \cdot \frac{h_\delta}{h_c} = V_{jv} \cdot \frac{h_\delta}{h_b} \quad (36)$$

Η απαιτούμενη διατομή των χαλύβδινων στοιχείων σε κάθε διαγώνια διεύθυνση είναι:

$$A_{j\delta} = \frac{F_{j\delta}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \quad (37)$$

όπου:

- h_{δ} – μήκος της διαγωνίου του κόμβου
- $\gamma_{Rd} = 2$

7.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου στον κόμβο του Σχ.3(α). Από εξ.(36) και (37) θεωρώντας $f_{yk} = 400\text{MPa}$ προκύπτει:

$$F_{j\delta} = \frac{286 \cdot 0.36}{0.3} = 343.2\text{kN} \quad \text{και} \quad A_{j\delta} = \frac{343.2 \cdot 1.15 \cdot 10^6}{2 \cdot 400 \cdot 10^3} = 494\text{mm}^2$$

7.3.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Τα φύλλα χάλυβα προτιμώνται να είναι κυματοειδούς μορφής λόγω της μεγαλύτερης τους εγκάρσιας δυσκαμψίας [6]. Το απαιτούμενο πάχος είναι:

$$t_{ελ} \geq \max \left(\frac{V_{jh}}{h_b \sigma_{jd}}, \frac{V_{jv}}{h_c \sigma_{jd}} \right) \quad (38)$$

όπου:

- $\sigma_{jd} = f_{yd} / \gamma_{Rd}$
- $\gamma_{Rd} = 1.5$

7.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου στον κόμβο του Σχ.3(α). Θεωρώντας $f_{yk} = 460\text{MPa}$ από εξ.(38) προκύπτει:

$$t_{ελ} \geq \frac{286 \cdot 10^3}{0.3 \cdot 267 \cdot 10^3} = 3.6 \text{ mm} \text{ αφού } h_b = h_c$$

όπου: $f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 460 / 1.15 = 400 \text{ MPa}$ και $\sigma_{jd} = 400 / 1.5 = 267 \text{ MPa}$

7.4.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Το πάχος του απαιτούμενου υφάσματος με ίνες παράλληλες προς τον άξονα της δοκού είναι [6]:

$$t_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_d \sigma_{jd}} \quad (39)$$

ενώ με ίνες παράλληλες προς τον άξονα του υποστυλώματος είναι:

$$t_{jv} = \frac{V_{jv}}{b_c \sigma_{jd}} \quad (40)$$

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υφάσματα με ίνες προς τις δύο κύριες διευθύνσεις αρκεί να καλύπτονται οι απαιτήσεις του πάχους ανά διεύθυνση.

Επίσης: $\sigma_{jd} = E_j \cdot \epsilon_{jd}$, $\epsilon_{jd} = \epsilon_{j,crit} / \gamma_{Rd}$, $\epsilon_{j,crit} = K_v \cdot \epsilon_{j,max}$ και $\epsilon_{j,max} = \min \{ \epsilon_{ju}, 1.5\% \}$

όπου:

- σ_{jd} - τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης του οπλισμού ενίσχυσης
- E_j - μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης
- ϵ_{ju} - μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση υλικού
- $K_v = 0.5$ - συντελεστής κατανομής παραμορφώσεων κατά μήκος της κρίσιμης λοξής ρωγμής
- $\epsilon_{j,crit}$ - κρίσιμη τιμή παραμόρφωσης υλικού

7.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου στον κόμβο του Σχ.3(α). Υποθέτουμε ύφασμα σύνθετων υλικών, πάχους 0.12 mm, με ίνες άνθρακα, $E_f = 230\text{GPa}$, εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3200\text{MPa}$ και $\epsilon_{j,crit} = 1.4\%$. Επίσης γίνεται “ ανοιχτή ” ενίσχυση για την οποία εξασφαλίζεται η πλήρης αγκύρωση των άκρων τους στα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος ελέγχοντας και όλους τους ενδεχόμενους τρόπους αστοχίας οπότε θεωρείται σαν “ κλειστή ” ενίσχυση.

Από εξ.(39) και (40) προκύπτει:

$$t_{jh} = t_{jv} = \frac{286 \cdot 10^3}{0.20 \cdot 2.2 \cdot 10^6} = 0.65\text{mm} \text{ επομένως: } n = 0.65/0.12 = 5.4\text{mm} \text{ δηλ. } 6 \text{ στρώσεις}$$

όπου: $\epsilon_{jd} = 1.4\%/1.5 = 0.94\%$ $\sigma_{jd} = 230 \cdot 10^6 \cdot 0.94\% = 2.2 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$

7.5.1 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ “ΙΣΗΣ” ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η συνολική διατομή των οριζόντιων σκελών συνδετήρων είναι [6]:

$$A_{jh,tot} \geq \frac{\gamma_{Rd} V_{jh}}{f_{ywd}} \quad (41)$$

και των κατακόρυφων:

$$A_{jv,tot} \geq \frac{\gamma_{Rd} V_{jv}}{f_{ywd}} \quad (42)$$

όπου: $\gamma_{Rd} = 1.5$

7.5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου, στον κόμβο του Σχ.3(α). Υποθέτοντας $f_{yw} = 495\text{MPa}$, από εξ.(41) και (42) προκύπτει:

$$A_{jh,tot} \text{ \& } A_{jv,tot} \geq \frac{1.5 \cdot 286 \cdot 1.15 \cdot 10^6}{495 \cdot 10^3} = 997\text{mm}^2$$

8.1.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΜΕ FRP

Οι ίνες αντικαθιστούν τον ελλιπή εγκάρσιο οπλισμό στον κόμβο. Σύμφωνα με τους Park & Paulay [1974], η τέμνουσα του κόμβου ισούται με την διαφορά της μέγιστης δύναμης του κάτω οπλισμού, επιτρέποντας 25% υπεραντοχή στα σίδερα, με την τέμνουσα δύναμη στο υποστύλωμα δηλ.[4]:

$$V_j = 1.25 A_s f_y - V_{col} \quad (43)$$

όπου:

- A_s -η επιφάνεια του διαμήκη εφελκόμενου οπλισμού της δοκού
- f_y - όριο διαρροής του χάλυβα

Η συνολική τέμνουσα αντίστασης του ενισχυμένου κόμβου αναλαμβάνεται από την συνισταμένη της τέμνουσας αντίστασης του σκυροδέματος, V_c , την συνεισφορά του εγκάρσιου οπλισμού, V_s , και την αντίσταση που προέρχεται από τις ίνες, V_f :

$$V_j = V_c + V_s + V_f \quad (44)$$

Η δύναμη που μεταφέρουν οι συνδετήρες $V_s=0$, εάν δεν υπάρχει εγκάρσιος οπλισμός στον κόμβο. Η V_c λαμβάνοντας τις εφαρμοζόμενες αξονικές τάσεις είναι:

$$V_c = 0.2 \cdot \left(1 + \frac{3f_{col}}{f_c}\right) \cdot b \cdot d_j \cdot \sqrt{f_c} \quad (45)$$

όπου:

- f_{col} - οι κανονικές τάσεις στο υποστύλωμα λόγω του αξονικού φορτίου
- b - το πλάτος του κόμβου

- d_j – το ενεργό ύψος του κόμβου

Το απαιτούμενο εμβαδόν των ινών κατά το ύψος του κόμβου είναι:

$$A_f = \frac{V_f \cdot s}{\phi_f \cdot d_j \cdot f_u} \quad (46)$$

όπου:

- f_u - εφελκυστική αντοχή ινών
- s - ύψος κόμβου
- $\phi_f = 0.8$ - συντελεστής αντίστασης που για το GFRP υλικό

Αν οι ίνες των χρησιμοποιούμενων υφασμάτων είναι κατανεμημένες σε δύο διευθύνσεις, η τέμνουσα δύναμη του κόμβου αναλύεται σε δύο κάθετες συνιστώσες, οι οποίες απέχουν 45° από τον κατακόρυφο άξονα του υποστυλώματος.

8.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου στον κόμβο του Σχ.3(α). Από εξ.(43), (44), (45) και (46) προκύπτει:

$$V_j = 1.25 \cdot 616 \cdot 500 - 59520 = 325.48 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.2 \cdot (1 - 3 \cdot 0.625 / 16000) \cdot 0.2 \cdot 0.3 \cdot \sqrt{16000} = 1.33 \text{ kN}$$

$$V_f = V_j - V_c = 324.15 \text{ kN}$$

$$A_f = \frac{324.15 \cdot 0.3 \cdot 10^6}{0.8 \cdot 0.3 \cdot 3200 \cdot 10^3} = 116 \text{ mm}^2 \text{ δηλ. πάχους } 116 \text{ mm}^2 / 300 \text{ mm} = 0.4 \text{ mm}$$

Άρα: $0.40 / 0.12 = 3.3 \text{ mm}$ δηλ. 4 στρώσεις

8.2.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΜΕ FRP

Ένας άλλος τρόπος σχεδιασμού μανδύα με FRP απαιτεί την γνώση της τέμνουσας του κόμβου των δοκιμίων V_u όταν σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη δοκό [7]. Η αναλαμβανόμενη τέμνουσα από τον ενισχυμένο κόμβο είναι:

$$V_i = k \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d + \cot \theta \cdot \frac{A_y \cdot f_y \cdot d}{s} + t_w \cdot E_w \cdot \epsilon_p \cdot h \cdot \cot \theta \quad (47)$$

- 1^{ος} όρος: αντοχή σκυροδέματος σε διάτμηση
- 2^{ος} όρος: αντοχή υπάρχοντος οπλισμού (συνδετήρων)
- 3^{ος} όρος: ενίσχυση με μανδύες FRP

απαιτούμενη αντοχή: $V_i \geq V_u$

8.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Από δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στον κόμβο του Σχ.(3α) [7] παρατηρήθηκε ότι η τέμνουσα του κόμβου του δοκιμίου όταν σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη δοκό έχει την τιμή $V_u = 209.26 \text{ kN}$. Από εξ.(47) προκύπτει:

$$209.26 = 0.1 \cdot 0.2 \cdot 0.17 \cdot \sqrt{16000} + t_w \cdot 230 \cdot 10^6 \cdot 0.014 \cdot 0.2 \cdot 1.732 \Rightarrow t_w = 0.19 \text{ mm}$$

Άρα $0.19 / 0.12 = 1.6 \text{ mm}$ δηλ. 2 στρώσεις

όπου:

- $k = 0.1$ ως περιοχή πλαστικής άρθρωσης
- ο 2^{ος} όρος είναι ίσος με μηδέν λόγω έλλειψης συνδετήρων
- $\theta = 30^\circ$ - γωνία μεταξύ του άξονα του υποστυλώματος και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών, $\cot \theta = 1.732$
- $E_w = 230 \text{ GPa} = 230 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$ – το μέτρο ελαστικότητας του υλικού που χρησιμοποιείται για τον μανδύα.
- $\epsilon_p = 1.4\%$

9.1 ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΜΕ ΧΑΛΥΒΑΙΝΑ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΗ ΕΛΑΣΜΑΤΑ

Τα χαλύβδινα κυματοειδή ελάσματα σχεδιάστηκαν για να παρέχουν την απαραίτητη περίσφιξη και διατμητική αντοχή για το υποστύλωμα, την δοκό και τον κόμβο [2], [8]. Η αύξηση της διατμητικής αντοχής που παρέχεται, εκτιμάται θεωρώντας τα ελάσματα ότι λειτουργούν σαν μία σειρά από τσέρκια. Αυτή η αύξηση υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{sj} = 2 \cdot f_{yj} \cdot h \cdot t_j \quad (50)$$

όπου:

- f_{yj} – όριο διαρροής ελασμάτων
- h – ύψος διατομής του προς ενίσχυση μέλους
- t_j – πάχος ελάσματος

Το πάχος του ελάσματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$2 \cdot t_j \geq k \cdot \frac{f_c \cdot h}{f_{yj}} \left(\frac{N_d}{f_c \cdot A_g} - 0.08 \right) \quad (51)$$

όπου:

- $k=0.35$
- N_d – αξονική δύναμη
- A_g – διατομή του υποστυλώματος

9.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

θα γίνει η εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου στον κόμβο του Σχ.3(α). Από εξ.(51) θεωρώντας $f_{yj} = 460 \text{MPa}$ προκύπτει :

$$t_j \geq 0.35 \frac{16000 \cdot 0.3}{2 \cdot 460000} \left(\frac{500}{16000 \cdot 0.2 \cdot 0.2} - 0.08 \right) 10^3 = 1.3 \text{mm}$$

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έγινε μία προσπάθεια παρουσίασης μεθόδων ενίσχυσης κόμβων μέσω της εφαρμογής τους σε έναν κοινό κόμβο χρησιμοποιώντας σε όλες τις μεθόδους ίδιες διαστάσεις κόμβου, ασκούμενες δυνάμεις και ροπές, μηχανικές ιδιότητες σκυροδέματος, χάλυβα και όλων των υλικών ενίσχυσης ώστε να είναι δυνατή κατά ένα ποσοστό μια πρώτη εκτίμηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ο κόμβος αυτός επιλέχθηκε να είναι το δοκίμιο του Σχ.(3α).

Μετά από ισχυρή σεισμική καταπόνηση στο δοκίμιο, ενισχυμένο με τρίπλευρο μανδύα και με την εισαγωγή πρόσθετων συνδετήρων στον κόμβο και στον στύλο, όπως παρουσιάστηκε στην §6 προέκυψε η αμιγής αστοχία της δοκού κάτι που ήταν επιθυμητό. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε έλεγχος της επάρκειας της ανωτέρω ενίσχυσης στην §7.1.2 και προέκυψε η ενίσχυση επαρκής σε διαγώνια θλίψη του κόμβου και σε οπλισμό.

Επίσης εφαρμόστηκαν εναλλακτικοί τρόποι ενίσχυσης όπως η προσθήκη χιαστί κολλάρων από χάλυβα §7.2.2 και αποκατάσταση “ίσης” διατομής και προσθήκη οπλισμών §7.5.2. Ιδιαίτερα στην μέθοδο προσθήκης επικολλητών ελασμάτων από χάλυβα §7.3.2 και §9.2 και υφασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή §7.4.2, §8.1.2 και §8.2.2 υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης παρόμοιων μεθόδων. Τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων δεν παρουσιάζουν μεγάλη σύγκλιση όπως φαίνεται στις αντίστοιχες παραγράφους. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην διαφορετικότητα των μεθόδων, στον τρόπο υπολογισμού της τέμνουσας και άλλων βασικών μεγεθών και στους συντελεστές ασφαλείας που θεωρεί κάθε μέθοδος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **EUROCODE 8 (EC-8)**
1995
2. **“Upgrading of nonductile reinforced concrete frame connections”**
Ashraf Biddah, A. Ghobarah και Tarek. S. Aziz , Journal of structural engineering,
August 1997
3. **“Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352 R-91)”**
ACI-ASCE Committee, American Concrete Institute, 1991.
4. **“Seismic Rehabilitation of Beam – Column Joints Using FRP Laminates”**
A. Ghobarah, A. Said, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada
5. **“Χρησιμοποίηση νέου μοντέλου για το σχεδιασμό επισκευασμένων ή και ενισχυμένων κτιρίων από Ο/Σ”**
Τσώνος Α., 1996.
6. **Κανονισμός ενίσχυσης - επισκευής κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα**
Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.), κεφ.7 & 8, 2004.
7. **“Σύγκριση αποδοτικότητας μετασεισμικής ενίσχυσης κόμβου με GFRPs με την αποδοτικότητα ενίσχυσης με μανδύα από Ο/Σ”**
Τσώνος Α., Στυλιανίδης Κ., Πρακτικά Α` Ελληνικού Συνεδρίου Σύνθετων Υλικών Σκυροδέματος, Ξάνθη, 2000.
8. **“Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Steel Jacketing”**
A. Ghobarah, Tarek. S. Aziz και Ashraf Biddah, ACI Structural Journal, May-June 1997
9. **“Αντισεισμικές Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”**
Πενέλης Γ.Γ.- Κάππος Α.Ι., Εκδόσεις Ζήτη, 1990.