



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ
ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ**

ΤΕΥΧΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ:

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ Ο/Σ ΜΕΤΑ
ΑΠΟ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΑΝΑΜΟΝΩΝ”**

ΦΟΡΕΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ:

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ :

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ – ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΤΣΩΝΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Π.Θ.

1. Παρακαλείσθε να αιτιολογήσετε την επιλογή του αξονικού φορτίου των υποστυλωμάτων (150kN).

(Ενσωματώθηκε στη σελ.61 της Τελικής έκθεσης)

Δεδομένου του στόχου να προσομοιωθούν στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα παλαιές κατασκευές (προ του ΒΔ 18-2-54) και κατασκευές που έγιναν με το ΒΔ 18-2-54 και μερικώς και με τα πρόσθετα άρθρα του 1985, επιλέχθηκε ως αξονικό φορτίο υποστυλωμάτων εκείνο των 150 kN, ώστε η τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου v_d να πλησιάζει ή να βρίσκεται στα επίπεδα του v_d των υποστυλωμάτων των κατασκευών αυτών.

Πράγματι για αξονικό φορτίο 150kN για την τιμή v_d είναι $v_d=0.7>0.65$, που σημαίνει ο στύλος δεν παρουσιάζει επαρκή πλαστιμότητα, όπως συμβαίνει σε υποστυλώματα παλαιών κατασκευών.

-Για αξονικό φορτίο ίσο με 150kN:

Επίπεδο αξονικού φορτίου: $x(\%) \cdot A_g \cdot f'_c$

$$150(\text{kN}) = x(\%) \cdot 0.2(\text{m}) \cdot 0.2(\text{m}) \cdot (8000/1,5)(\text{kN/m}^2) \Rightarrow x=70\%$$

Δηλαδή $v_d=0,70$

Απαίτηση ΕΚΩΣ για να εξασφαλίζεται επαρκής πλαστιμότητα σε υποστυλώμα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας: $v_d = N_{sd} / (A_g \cdot f_{cd}) \leq 0.65$

Επομένως για $N_{sd}=150$ kN η απαίτηση του ΕΚΩΣ δεν ικανοποιείται (όπως συμβαίνει στα παλαιά κτήρια).

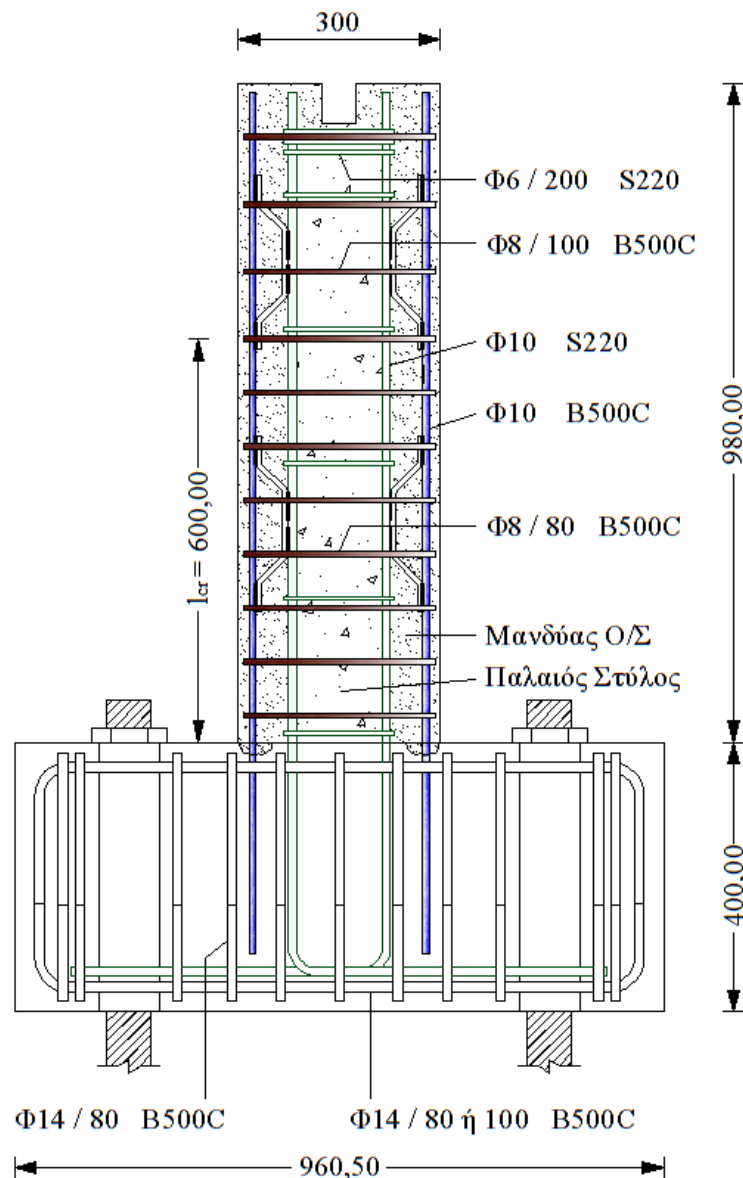
Σε ό,τι αφορά στις διαστάσεις των υποστυλωμάτων που μελετήθηκαν, διατομές διαστάσεων 200x200mm απαντώνται πολύ συχνά σε στύλους παλαιών οικοδομών.

2. Στην περίπτωση των υποστυλωμάτων με μανδύα, έχουν προβλεφθεί συνδετήρες, οι οποίοι υπολογίστηκαν βάσει των απαιτήσεων του ΕΚΩΣ για περίσφιγξη. Είναι ακριβές αυτό; Εάν ναι πώς σχολιάζετε την επιρροή των συνδετήρων αυτών στην αποδοτικότητα των τεχνικών ενίσχυσης των αναμονών;

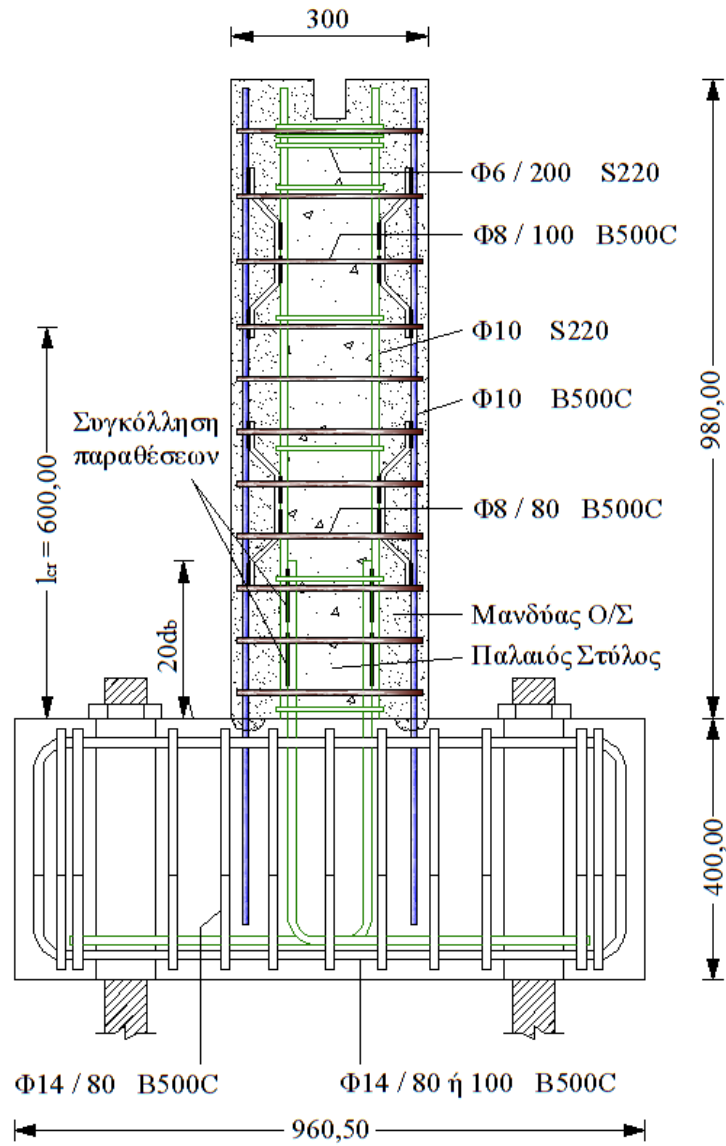
Στη Σειρά δοκιμών III οι ενισχυμένοι με μανδύα Ο/Σ στύλοι που υποβλήθηκαν σε σεισμική καταπόνηση ήταν οι RC₂, RHL₁, RHL₂, RWL₁ και RWL₂. Όπως αναφέρεται στον πίνακα Π.2.1.γ της τελικής έκθεσης του παρόντος ερευνητικού προγράμματος, το μεν πρώτο από τα δοκίμια (RC₂) είχε συνεχείς διαμήκεις ράβδους οπλισμού, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα δοκίμια είχαν παρατιθέμενους διαμήκεις οπλισμούς με δύο

διαφορετικά μήκη παράθεσης. Στα υποστυλώματα αυτά εκτός από την κατασκευή μανδύα Ο/Σ εξετάστηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανεπαρκούς παράθεσης δύο διαφορετικές λύσεις. Στα RHL_1 και RHL_2 τοποθετήθηκαν νέοι συνδετήρες που υπολογίστηκαν για την επιβολή περίσφιγξης στην περιοχή ανεπαρκούς παράθεσης σύμφωνα με τη σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ (κεφάλαιο 2 §2.5.3 της τελικής έκθεσης). Η τοποθέτηση των συνδετήρων αυτών έγινε μετά την αφαίρεση της επικάλυψης στους παλαιούς στύλους L_1 και L_2 και στη συνέχεια ακολούθησε η κατασκευή μανδύα Ο/Σ γύρω από τους στύλους με νέους διαμήκεις οπλισμούς και συνδετήρες (Σχ.9γ). Στα άλλα δύο δοκίμια L_1 και L_2 της σειράς III που είχαν ανεπαρκείς παραθέσεις πραγματοποιήθηκε πριν από την κατασκευή του μανδύα Ο/Σ η συγκόλληση των ανεπαρκώς παρατιθέμενων διαμήκων ράβδων των στύλων (Σχ.9ε). Οι πραγματοποιηθείσες επεμβάσεις στα δοκίμια υποστυλωμάτων της Σειράς III φαίνονται και στα σχέδια που ακολουθούν.

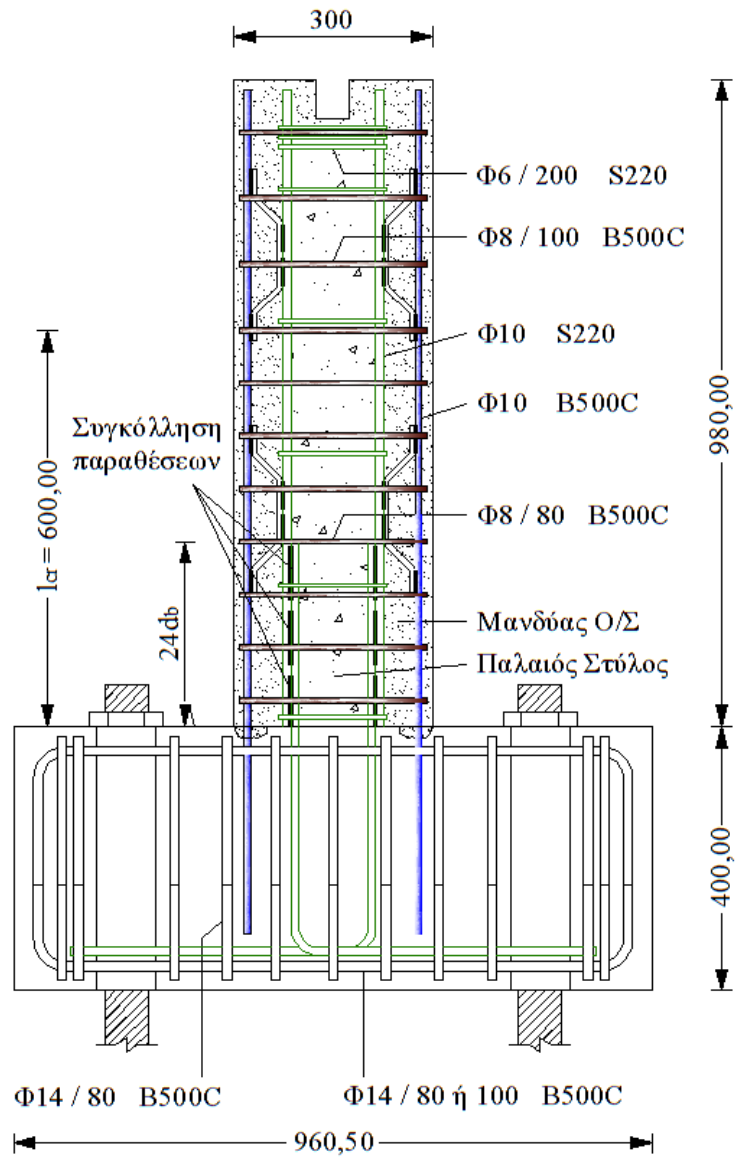
Δοκίμιο RC2



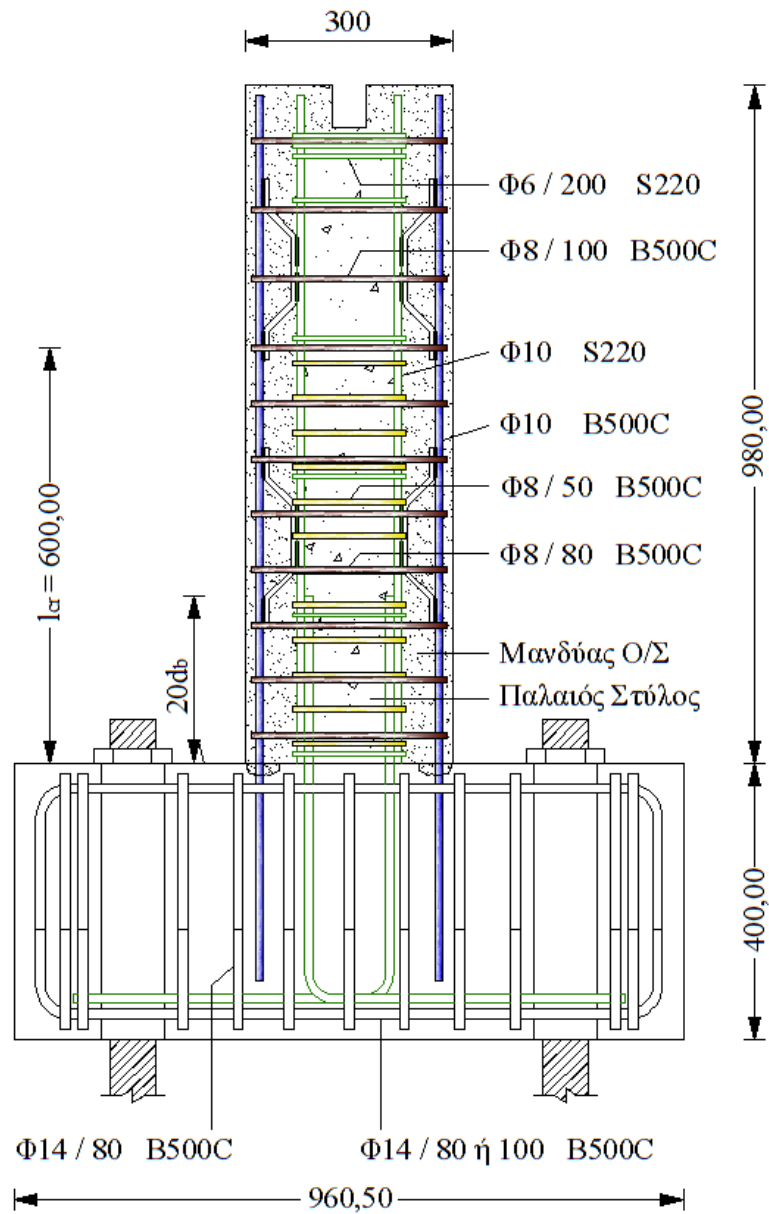
Δοκίμιο RWL1



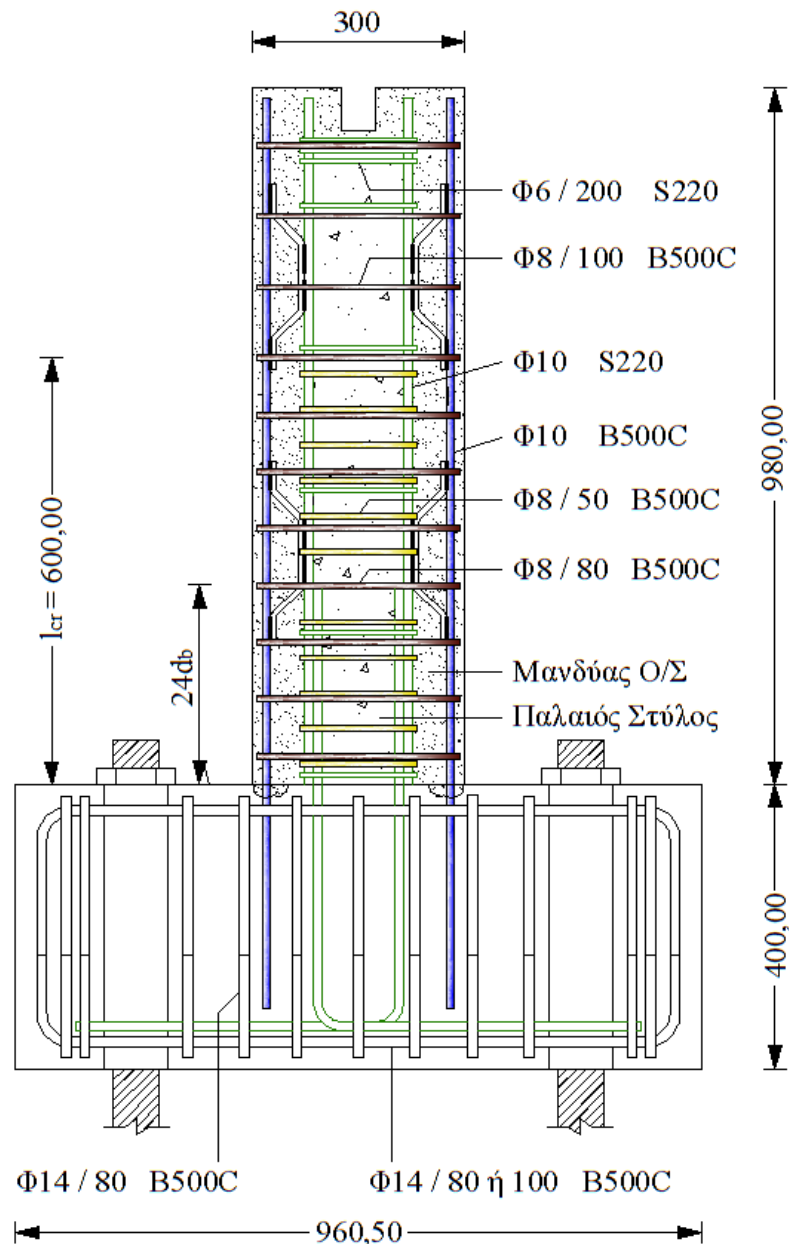
Δοκίμιο RWL2



Δοκίμιο RHL1



Δοκίμιο RHL2



Οι συνδετήρες του μανδύα Ο/Σ σε όλα τα δοκίμια προέκυψαν από τον έλεγχο διάτμησης (κεφάλαιο 2 §2.5.3 της τελικής έκθεσης). Στα δοκίμια RHL₁ και RHL₂ οι επιπλέον συνδετήρες που τοποθετήθηκαν εσωτερικά του μανδύα Ο/Σ αφορούν στην περίσφιγξη για την αντιμετώπιση του προβλήματος των ανεπαρκών παραθέσεων και υπολογίστηκαν βάσει της σχέσεως 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Στους ενισχυμένους στύλους RWL₁ και RWL₂ δεν τοποθετήθηκε οπλισμός περίσφιγξης βάσει της σχέσεως 8.3 αλλά πραγματοποιήθηκε συγκόλληση των ράβδων στην περιοχή ανεπαρκούς παράθεσης.

Έτσι, με τη βοήθεια των δοκιμών της σειράς ΙΙΙ πραγματοποιείται σύγκριση δύο διαφορετικών λύσεων για την αντιμετώπιση των ανεπαρκών παραθέσεων σε υποστυλώματα που πρόκειται να ενισχυθούν με μανδύα Ο/Σ: α) της επιβολής

περίσφιγξης στην περιοχή ανεπαρκούς παράθεσης των ράβδων με συνδετήρες που προκύπτουν από την εφαρμογή της σχέσεως 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ και β) της συγκόλλησης των ανεπαρκώς παρατιθέμενων ράβδων.

Στις περισσότερες άλλωστε περιπτώσεις παλαιών κτιρίων που ενισχύονται υπάρχει το πρόβλημα των ανεπαρκών παραθέσεων του διαμήκους οπλισμού των υποστυλωμάτων αλλά παρόλα αυτά δε λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αντιμετώπισή του. Αντιθέτως τις περισσότερες φορές επιλέγεται ένας τύπος ενίσχυσης, όπως για παράδειγμα η κατασκευή μανδύα Ο/Σ γύρω από τους στύλους και αγνοείται κατά τον υπολογισμό το ανεπαρκές μήκος παράθεσης των διαμήκων ράβδων. Στα υποστυλώματα της σειράς III επιδιώχθηκε η θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων είτε με την τοποθέτηση οπλισμού περισφιγξης βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ είτε με συγκόλληση πριν από την κατασκευή του μανδύα Ο/Σ.

3. Παρακαλείσθε να σχολιάσετε το εξής θέμα: Τα υποστυλώματα που δοκιμάσατε είναι μικρής διατομής (200x200mm). Η περισφιγξη που επιτυγχάνεται μέσω των συνδετήρων σε τόσο μικρή διατομή είναι σημαντικότερη από την προσφερόμενη σε διατομές φυσικής κλίμακας (καθώς και σε αυτές είναι δυνατή η τοποθέτηση μόνον περιμετρικών συνδετήρων, ενώ υπάρχουν και ενδιάμεσες διαμήκεις ράβδοι πέραν των γωνιακών).

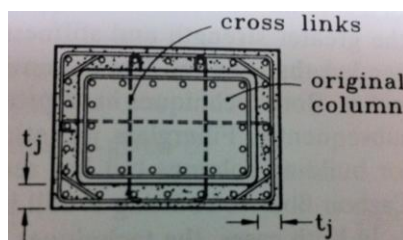
(Ενσωματώθηκε στη σελ. 43 της Τελικής Έκθεσης)

Η διατομή 200x200mm των τετραγωνικών υποστυλωμάτων που εξετάστηκαν στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα (τα οποία είναι κατασκευασμένα υπό κλίμακα 1:1.5) απαντάται πολύ συχνά σε υποστυλώματα παλαιών οικοδομών. Ιδιαίτερα μάλιστα στους στύλους των ανώτερων ορόφων σε παλαιές κατασκευές, προ του '60, οι διατομές υποστυλωμάτων διαστάσεων 200x200mm αποτελούν τον κανόνα. Επίσης ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται συχνά είναι η ύστερη καθ' ύψος επέκταση υφιστάμενων στύλων παλαιών κατασκευών με διατομή 200x200mm. Για τον λόγο αυτόν η προσέγγιση που έγινε για τους στύλους των δοκιμών, ακόμα και για την 1:1 αντιμετώπιση του θέματος, θα τολμούσαμε να πούμε ότι είναι ιδιαίτερα ακριβής.

Στα υποστυλώματα αυτά που έχουν μόνον γωνιακές διαμήκεις ράβδους η περισφιγξη που επιτυγχάνεται μέσω των συνδετήρων του μανδύα είναι σημαντικότερη από την προσφερόμενη σε διατομές μεγαλύτερων διαστάσεων που έχουν και ενδιάμεσες διαμήκεις ράβδους.

Στην περίπτωση επομένως ορθογωνικών υποστυλωμάτων με αυξημένο αριθμό ενδιάμεσων μη γωνιακών διαμήκων ράβδων που ενισχύονται με μανδύα Ο/Σ, σημαντική βελτίωση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής και της πλαστιμότητας επιτυγχάνεται εφόσον ο μανδύας είναι ελλειπτικής ή κυκλικής διατομής. Σε διαφορετική περίπτωση ο ορθογωνικός μανδύας Ο/Σ πρέπει να περιλαμβάνει περιφερειακούς συνδετήρες, συνδετήρες με άγκιστρα 45° και συνδετήρες που τοποθετούνται μετά από τη διάνοιξη οπών στο σκυρόδεμα και επί τόπου λυγισμό και

συγκόλληση των σκελών τους (Σχήμα) ώστε να εξασφαλίζεται η περίσφιγξη και των ενδιάμεσων ράβδων.



4. Στην έκθεση αναφέρεται ότι στα δοκίμια είχαν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρομηκυνσιόμετρα. Παρουσιάζονται οι σχετικές μετρήσεις. α) Παρακαλείσθε να συμπληρώσετε σε σχήματα τις ακριβείς θέσεις στις οποίες είχαν τοποθετηθεί τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα και β) να σχολιάσετε περαιτέρω τις μετρήσεις που ελήφθησαν μέσω αυτών.

(Ενσωματώθηκε στο τεύχος της Τελικής Έκθεσης)

5. Οι οπλισμοί στα δοκίμια της σειράς II περιγράφονται στο κείμενο ως λείες ράβδοι. Όμως στο Σχ.8 φαίνεται να είναι με ραβδώσεις.

Τονίζεται ότι οι οπλισμοί των ράβδων των αναμονών σε όλα τα δοκίμια είναι από λείο χάλυβα, προσομοιώνοντας έτσι με ακρίβεια την πραγματική κατάσταση που συναντάται στην ύστερη καθ' ύψος επέκταση των υποστυλωμάτων παλαιών οικοδομών.

Τα δομικά υποσύνολα της Σειράς II αντιπροσωπεύουν υποστυλώματα που κατασκευάζονται κατά την ύστερη καθ' ύψος επέκταση υφιστάμενου παλαιού κτιρίου. Οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού των στύλων στο παλαιό κτίριο είναι από λείο χάλυβα και επομένως οι αναμονές των στύλων είναι από λείο χάλυβα. Αυτό φαίνεται στις φωτογραφίες του Σχ.8 και είναι πιο εύκολα αντιληπτό στην περίπτωση της φωτογραφίας (δ). Οι διαμήκεις οπλισμοί του υποστυλώματος, που κατασκευάζεται σε μεταγενέστερο στάδιο από το παλαιό κτίριο, είναι από χάλυβα με ραβδώσεις.

6. Στα ενισχυμένα δοκίμια της σειράς III δεν ισχύει $c/d_s < 2$. Επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση $\beta=1$. Ούτως ή άλλως, η αξιολόγηση της προσέγγισης αυτής είναι αντικείμενο του έργου. Απαιτείται ιδιαίτερη διερεύνηση και σχετικός σχολιασμός για την επιρροή της παραμέτρου c/d_s σε όλο το πιθανό εύρος τιμών της.

Όπως αναφέρεται στο κείμενο της τελικής έκθεσης του παρόντος ερευνητικού προγράμματος, η σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ εφαρμόστηκε στις περιπτώσεις των δοκιμών RHL_1 και RHL_2 . Στα υποστυλώματα των δοκιμών αυτών υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης (συνδετήρες) βάσει της 8.3 για τη θεραπεία των παραθέσεων ανεπαρκούς μήκους και κατασκευάστηκε επιπλέον ολόπλευρος μανδύας Ο/Σ γύρω από τον αρχικό στύλο. Οι συνδετήρες που υπολογίστηκαν για την περίσφιγξη βάσει της σχέσεως 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ τοποθετήθηκαν στους στύλους των δοκιμών μετά την τοπική αφαίρεση του σκυροδέματος επικάλυψης, ενώ το πάχος επικάλυψης c θεωρήθηκε ότι μετά την αποκατάστασή της είναι ίσο με εκείνο στους αρχικούς στύλους πριν από την κατασκευή του μανδύα Ο/Σ ($c=15\text{mm}$). Η επιλογή αυτή έγινε ώστε οι συνδετήρες που προκύπτει ότι απαιτούνται να είναι εκείνοι που χρειάζονται αποκλειστικά για τη θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων (βάσει της 8.3) και όχι και για την αντιμετώπιση της διάτμησης. Δηλαδή επιδιώχθηκε κατ' αρχήν και ανεξαρτήτως να αντιμετωπιστεί, με τον απαιτούμενο βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ οπλισμό, το πρόβλημα των υποστυλωμάτων RHL_1 και RHL_2 λόγω ανεπαρκούς μήκους παράθεσης των διαμήκων οπλισμών τους και στη συνέχεια, μετά την επιτυχή θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων, ακολούθησε η ενίσχυση των στύλων με την κατασκευή μανδύα Ο/Σ. Οι συνδετήρες για την περίσφιγξη, που προέκυψαν βάσει της σχέσεως 8.3, τοποθετήθηκαν εν επαφή με το αρχικό υποστυλώμα μετά την αφαίρεση της επικάλυψης, ενώ οι συνδετήρες στο μανδύα υπολογίστηκαν έναντι διάτμησης.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση των στύλων με την κατασκευή μανδύα Ο/Σ (όπως συμβαίνει πολύ συχνά στην πράξη σε παλαιές κατασκευές), ενώ παράλληλα αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της ανεπαρκούς παράθεσης ξεχωριστά, με επιπλέον συνδετήρες, που τοποθετούνται ειδικά για το σκοπό αυτό σαν να μην υπήρχε μανδύας Ο/Σ.

Για να μελετηθεί η θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων χωρίς τη σύγχρονη ενίσχυση με μανδύες Ο/Σ κατασκευάστηκαν δύο δοκίμια, τα RG_1 και RG_2 , στα οποία τα παλαιά υποστυλώματα δέχθηκαν ενίσχυση μόνο με την τοποθέτηση συνδετήρων που προέκυψαν βάσει της σχέσεως 8.3 για τη θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων. Οι συνδετήρες αυτοί τοποθετήθηκαν εν επαφή με τον παλαιό στύλο σε κάθε δοκίμιο μετά την αφαίρεση του σκυροδέματος επικάλυψης και ακολούθησε αποκατάσταση της επικάλυψης με έτοιμο μη συρρικνούμενο τσιμεντοκονίαμα υψηλής αντοχής. Τα δοκίμια RG_1 και RG_2 φαίνονται στις φωτογραφίες που ακολουθούν. Αυτή η μελέτη, που είναι εκτός των συμβατικών υποχρεώσεών μας έγινε από προσωπικό επιστημονικό ενδιαφέρον στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Τσώνου. Εφόσον ενδιαφέρει τον ΟΑΣΠ δυνάμεθα να

κοινοποιήσουμε τα αποτελέσματα της σημαντικής αυτής έρευνας μετά την ολοκλήρωσή της.



(α)



(β)



(γ)

Στάδια κατασκευής των δοκιμών RG_1 και RG_2 : (α): αφαίρεση της επικάλυψης, (β): τοποθέτηση συνδετήρων για θεραπεία ανεπαρκούς παράθεσης, (γ): αποκατάσταση της επικάλυψης

Διερεύνηση:

Ακολούθως πραγματοποιείται διερεύνηση της τιμής του συντελεστή β για διάφορες τιμές του λόγου $c/d_s > 2$.

Ο Δρίτσος (2005) αναφέρει για τον συντελεστή β της σχέσεως 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ ότι

$$\beta = b_f / B$$

όπου

b_f το πλάτος της ζώνης τριβής πάνω στη ρωγμή κατά μήκος των παρατιθέμενων ράβδων και

B το πλάτος κατανομής της συνολικής θλιπτικής δύναμης που εισάγεται από την επιστρατευόμενη θλιπτική δύναμη του υλικού περίσφιγξης ($F_j = \sigma_j \cdot A_j \cdot \frac{l_s}{s}$)

Για τις γωνιακές ράβδους μπορούν να γίνουν επιπρόσθετα οι εξής παραδοχές (Τάσιος 2004):

$$b_f = 2 \cdot d_s$$

$$B = 2 \cdot (c + d_s) \quad \text{όπου } c \text{ η μικρότερη επικάλυψη των παρατιθέμενων ράβδων}$$

Στην περίπτωση των υποστυλωμάτων με μανδύα Ο/Σ της Σειράς ΙΙΙ για την επικάλυψη c' θα είναι:

$$c' = (50mm) + (15mm) = 65mm$$

οπότε

$$B = 2 \cdot (c + d_s) \rightarrow B = 2 \cdot (65 + 10) \rightarrow B = 150mm$$

και

$$b_f = 2 \cdot d_s \rightarrow b_f = 2 \cdot 10 \rightarrow b_f = 20mm$$

$$\text{Άρα: } \beta = \frac{b_f}{B} = \frac{20}{150} \rightarrow \beta = 0,133$$

Από την εφαρμογή της σχέσεως 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ θα έχουμε επομένως:

Αρχικά υποστυλώματα:

Σκυρόδεμα C8/10, Χάλυβας S220, Μήκος Παράθεσης α) $l_s=20 \cdot d_b$ και β) $l_s=24 \cdot d_b$

Διαμήκεις ράβδοι υποστυλώματος Ø10, Συνδετήρες Φ6/200

Μανδύας Ο/Σ:

Σκυρόδεμα EMACO S66, χάλυβας B500c, διαμήκης οπλισμός 4Φ10, συνδετήρες

Φ8, συνολικό πάχος μανδύα: 6.5 cm

Στη σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι:

$$\frac{A_j}{s} = t_j = \gamma_{Rd} \frac{(1 - \lambda_s)}{\beta} \frac{1}{\mu} \frac{f_{yk}}{\sigma_{jd}} \frac{A_b}{l_s}$$

$\gamma_{Rd} = 1,5$ βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ

$\lambda_s = 0$ βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ

$\mu = 1$ μπορεί να ληφθεί αδρομερώς ελλείψει άλλων στοιχείων

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$\sigma_{jd} = E \cdot \epsilon_{jd}$

Η τιμή της επιστρατευόμενης αξονικής τάσης σχεδιασμού $\sigma_{jd} = E \cdot \epsilon_{jd}$ δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή $\sigma_{jd,max}$ που για οπλισμό περίσφιγξης που αποτελείται από χαλύβδινούς συνδετήρες ποιότητας B500c είναι: $\sigma_{jd,max} = f_{yd} = 500/1,5 = 435 \text{ MPa}$.

Είναι: $\sigma_{jd} = E \cdot \epsilon_{jd}$

όπου σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ §8.2.1.2.β είναι: $\epsilon_{jd} = w(\sqrt{2})/b_{μέσο}$ και $w = 0.6 \cdot \delta^{2/3}$

όπου $\delta = 1,5$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ για στάθμη επιτελεστικότητας Γ)

άρα: $w = 0.6 \cdot 1.5^{2/3} = 0.786$, $\epsilon_{jd} = 0.786 \cdot (\sqrt{2})/200 = 5.56 \cdot 10^{-3}$

οπότε: $\sigma_{jd} = E \cdot \epsilon_{jd} = 200000(\text{MPa}) \cdot 5.56 \cdot 10^{-3} = 1112 \text{ MPa} > f_{sy}$

Επομένως σε αυτήν την περίπτωση η επιστρατευόμενη αξονική τάση σχεδιασμού σ_{jd} θα είναι ίση με τη μέγιστη δυνατή, ήτοι $\sigma_{jd} = \sigma_{jd,max} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}$.

Ακόμα:

$A_b = \pi \cdot d_b^2 / 4 = \pi \cdot 10^2 / 4 = 78,6 \text{ mm}^2$ για τη διάμετρο μίας παρατιθέμενης ράβδου Ø10

Μήκος παράθεσης ράβδων:

α) $l_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$

β) $l_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$

Τώρα όμως θα είναι: $\beta = 0,133$ ($c/d_s > 2$)

Για τους συνδετήρες είναι:

$A_j = \pi \cdot d_j / 4$ όπου d_j η διάμετρος των συνδετήρων

Οπότε:

$$A_j/s = \gamma_{Rd} \cdot [(1-\lambda_s)/\beta] \cdot (1/\mu) \cdot (f_{yk}/\sigma_{jd}) \cdot (A_b/I_s) \rightarrow$$

$$A_j/s = 1,5 \cdot (1/0,133) \cdot [500(\text{MPa})/435(\text{MPa})] \cdot [78,5(\text{mm})/I_s(\text{mm})] \rightarrow$$

α) Για $I_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$

$$A_j/s = 1,5 \cdot (1/0,133) \cdot (500/435) \cdot (78,5/200) = 5,09 \text{ mm} \quad (1)$$

και

β) Για $I_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$

$$A_j/s = 1,5 \cdot (1/0,133) \cdot (500/435) \cdot (78,5/240) = 4,24 \text{ mm} \quad (2)$$

Εφόσον χρησιμοποιηθούν συνδετήρες $\Phi 8$ είναι:

$$A_j = \pi \cdot 8^2 / 4 = 50,2 \text{ mm}^2 \text{ οπότε}$$

$$(1): s = 50,2 / 5,09 = 9,86 \text{ mm}$$

$$(2): s = 50,2 / 4,24 = 11,84 \text{ mm}$$

- Για $c = 75 \text{ mm}$

Στην περίπτωση που $c = 75 \text{ mm}$ για τον συντελεστή β θα είναι:

$$\beta = \frac{b_f}{B}, \quad b_f = 2 \cdot d_s \rightarrow b_f = 2 \cdot 10 \rightarrow b_f = 20 \text{ mm} \quad \text{και}$$

$$B = 2 \cdot (c + d_s) \rightarrow B = 2 \cdot (75 + 10) \rightarrow B = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Οπότε } \beta = 0,118$$

Επομένως:

$$A_j/s = \gamma_{Rd} \cdot [(1-\lambda_s)/\beta] \cdot (1/\mu) \cdot (f_{yk}/\sigma_{jd}) \cdot (A_b/I_s) \rightarrow$$

$$A_j/s = 1,5 \cdot (1/0,118) \cdot [500(\text{MPa})/435(\text{MPa})] \cdot [78,5(\text{mm})/I_s(\text{mm})] \rightarrow$$

α) Για $I_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$

$$A_j/s = 1,5 \cdot (1/0,118) \cdot (500/435) \cdot (78,5/200) = 5,73 \text{ mm} \quad (1)$$

και

β) Για $I_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$

$$A_i/s = 1,5 \cdot (1/0,118) \cdot (500/435) \cdot (78,5/240) = 4,78 \text{ mm} \quad (2)$$

Εφόσον χρησιμοποιηθούν συνδετήρες Φ8 είναι:

$$A_j = \pi \cdot 8^2 / 4 = 50,2 \text{ mm}^2 \text{ οπότε}$$

$$(1): s = 50,2 / 5,73 = 8,76 \text{ mm}$$

$$(2): s = 50,2 / 4,78 = 10,5 \text{ mm}$$

- **Για $c = 100 \text{ mm}$**

Στην περίπτωση που $c = 100 \text{ mm}$ για τον συντελεστή β θα είναι:

$$\beta = \frac{b_f}{B}, \quad b_f = 2 \cdot d_s \rightarrow b_f = 2 \cdot 10 \rightarrow b_f = 20 \text{ mm} \quad \text{και}$$

$$B = 2 \cdot (c + d_s) \rightarrow B = 2 \cdot (100 + 10) \rightarrow B = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Οπότε } \beta = 0,091$$

Επομένως:

$$A_i/s = \gamma_{Rd} \cdot [(1 - \lambda_s) / \beta] \cdot (1/\mu) \cdot (f_{yk} / \sigma_{jd}) \cdot (A_b / I_s) \rightarrow$$

$$A_i/s = 1,5 \cdot (1/0,091) \cdot [500(\text{MPa}) / 435(\text{MPa})] \cdot [78,5(\text{mm}) / I_s(\text{mm})] \rightarrow$$

$$\alpha) \text{ Για } I_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$$

$$A_i/s = 1,5 \cdot (1/0,091) \cdot (500/435) \cdot (78,5/200) = 7,44 \text{ mm} \quad (1)$$

και

$$\beta) \text{ Για } I_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$$

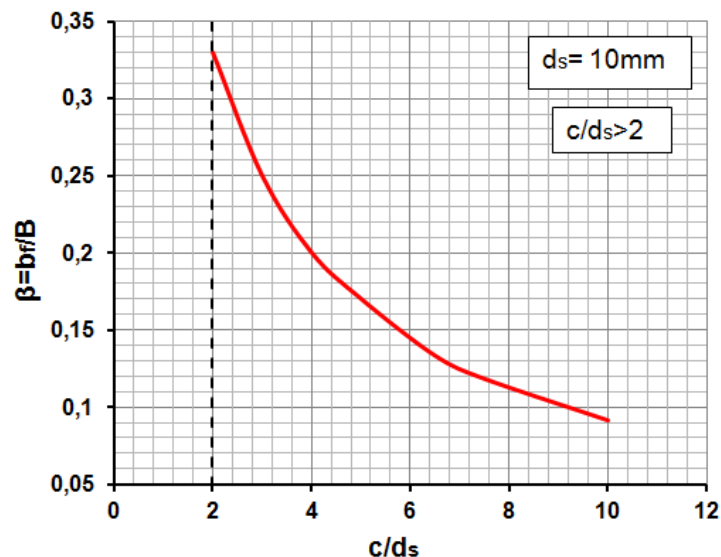
$$A_i/s = 1,5 \cdot (1/0,091) \cdot (500/435) \cdot (78,5/240) = 6,2 \text{ mm} \quad (2)$$

Εφόσον χρησιμοποιηθούν συνδετήρες Φ8 είναι:

$$A_j = \pi \cdot 8^2 / 4 = 50,2 \text{ mm}^2 \text{ οπότε}$$

$$(1): s = 50,2 / 7,44 = 6,75 \text{ mm}$$

$$(2): s = 50,2 / 6,2 = 8,1 \text{ mm}$$



Λόγω των ιδιαίτερα μικρών αποστάσεων s των συνδετήρων που προκύπτουν σε όλες τις περιπτώσεις αν ληφθεί $c/d_s > 2$ καταλήγουμε στο μη εφαρμόσιμο συμπέρασμα ότι εφόσον η ενίσχυση βάσει της 8.3 πραγματοποιηθεί με συνδετήρες θα πρέπει να κατασκευαστεί κάτι σαν συνεχής χαλύβδινος μανδύας στην κρίσιμη περιοχή προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ανεπαρκής παράθεση των διαμήκων ράβδων του υποστυλώματος. Τίθεται συνεπώς βάσει των ανωτέρω το ερώτημα εάν υπάρχει πιθανή ανάγκη διερεύνησης των ορίων ισχύος της σχέσεως και άρα ανάγκη συμπλήρωσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ σε πιθανή μελλοντική αναθεώρηση. Αυτό ωστόσο υπερβαίνει τα όρια της παρούσης έρευνας και της σχετικής τελικής έκθεσης.

7. Η σχέση Σ6.14 η οποία ελέγχεται, θα πρέπει να εξεταστεί για μέσες τιμές αντοχής υλικών όπως αυτές προέκυψαν πειραματικά. Χρειάζεται εκτενής σχολιασμός για τις εξωπραγματικές (εξαιρετικά μικρές) τιμές πάχους ελάσματος που φαίνεται να προκύπτουν από την εφαρμογή της σχέσης Σ6.14. Υπάρχουν πρόσθετοι περιορισμοί (π.χ. στο μέγεθος της τάσης σ_s), που δεν έχουν προβλεφθεί στον ΚΑΝ.ΕΠΕ και κατά τη γνώμη σας θα πρέπει να ελέγχεται ότι ικανοποιούνται; Ποια θα ήταν μία βελτιωμένη πρόταση βάσει της προτεινόμενης σχέσης Σ6.14; Παρακαλείσθε να συμπεριλάβετε στο σχολιασμό και την αντίστοιχη σχέση Σ8.1 που προτείνεται στο Κεφ.8

Προς απάντηση της ερώτησής σας παρατίθεται ακολούθως ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού περίσφιγξης (πάχος μεταλλικού μανδύα) βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ για τις μέσες τιμές αντοχής υλικών, όπως προέκυψαν πειραματικά.

Η Μέση τιμή της αντοχής σκυροδέματος του δοκιμίου L_1 , που μετά την ενίσχυσή του ονομάστηκε S_1L_1 προέκυψε ίση με 8.51 MPa, και εκείνη του δοκιμίου L_2 που ενισχύθηκε και ονομάστηκε S_1L_2 10.65 MPa αντίστοιχα.

Στη σχέση Σ6.14 είναι:

$c = 15 \text{ mm}$ (επικάλυψη) και $c/d_s = 15/10 = 1,5$ (ικανοποιεί την προϋπόθεση)

$d_s = d_b = 10 \text{ mm}$.

$f_c = f_{ck}$

οπότε:

S₁L₁: Σκυρόδεμα 8.51MPa → $f_c = 8.51 \text{ MPa}$ και

$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.2505 \text{ MPa}$

S₁L₂: Σκυρόδεμα 10.65MPa → $f_c = 10.65 \text{ MPa}$ και

$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.4522 \text{ MPa}$

Χάλυβας S220 → $f_{sy} = f_{yk} = 220 \text{ MPa}$.

Υλικό περίσφιγξης: $E_j = 210 \text{ GPa}$

Μήκος Παράθεσης: α) $l_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$.

β) $l_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$.

$s_d = 1,50 \text{ mm}$ για Στάθμη Επιτελεστικότητας Γ, οπότε: $w_d = 0,6 \cdot s_d^{2/3} = 0,6 \cdot 1,5^{2/3} = 0.786 \text{ mm}$.

$S_u = 2,00 \text{ mm}$ (δίνεται).

Για συνεχή εξωτερικό μανδύα από χαλύβδινο έλασμα είναι $s_w = w_j$ οπότε: $A_j/w_j = t_j$ (πάχος μανδύα mm)

Επομένως η Σχέση Σ6.14 δίνει:

α) Για $l_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$ (Δοκίμιο S₁L₁)

$$A_j/(s_w \cdot d_s) = 1,3 \cdot \{ (f_{sy}/f_c) / [2,2 \cdot (s_d/s_u) + 0,25] \cdot (l_s/d_s) - 0,2 \cdot [(c/d_s) + 1,5] \}^2 / [(w_d/d_s) \cdot (E_j/f_c) \cdot (f_{ctm}/f_c)] \rightarrow$$
$$t_j/10 = 1,3 \cdot \{ (220\text{MPa}/8.51\text{MPa}) / [2,2 \cdot (1,5\text{mm}/2,0\text{mm}) + 0,25] \cdot (200\text{mm}/10\text{mm}) -$$
$$0,2 \cdot [(15\text{mm}/10\text{mm}) + 1,5] \}^2 / [(0,786\text{mm}/10\text{mm}) \cdot (210000\text{MPa}/8.51\text{MPa}) \cdot$$
$$(1,2505\text{MPa}/8.51\text{MPa})] \rightarrow$$

$$t_j = 2,919 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

και

β) Για $l_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$ (Δοκίμιο S₁L₂)

$$t_j/d_s = 1,3 \cdot \{ (220\text{MPa}/10,65\text{MPa}) / [2,2 \cdot (1,5\text{mm}/2,0\text{mm}) + 0,25] \cdot (240\text{mm}/10\text{mm}) -$$
$$0,2 \cdot [(15\text{mm}/10\text{mm}) + 1,5] \}^2 / [(0,786\text{mm}/10\text{mm}) \cdot (210000\text{MPa}/10,65\text{MPa}) \cdot$$
$$(1,4522\text{MPa}/10,65\text{MPa})] \rightarrow$$

$$t_j = 1,329 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

Ο Τάσιος (2009) αναφέρει ότι για να μην παρουσιαστεί κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση μεγάλη εξασθένιση της αντίστασης τριβής οι τιμές σχεδιασμού των τιμών ανεκτής βλάβης s_d και w_d πρέπει να είναι επαρκώς μικρές. Ως τέτοιες τιμές που αντιστοιχούν σε έναν ανεκτό βαθμό βλάβης θεωρεί τις τιμές $s_d=0,4$ και $w_d=0,33$.

Επομένως,

Για τις τιμές ανεκτής βλάβης για τα s_d και s_u :

α) Για $I_s = 20 \cdot d_b = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$ (Δοκίμιο S_1L_1)

$$A_j/(s_w \cdot d_s) = 1,3 \cdot \{ (f_{sy}/f_c) / [2,2 \cdot (s_d/s_u) + 0,25] \cdot (l_s/d_s) - 0,2 \cdot [(c/d_s) + 1,5] \}^2 / [(w_d/d_s) \cdot (E_j/f_c) \cdot (f_{ctm}/f_c)] \rightarrow$$

$$t_j/10 = 1,3 \cdot \{ (220\text{MPa}/8,51\text{MPa}) / [2,2 \cdot (0,4\text{mm}/2,0\text{mm}) + 0,25] \cdot (200\text{mm}/10\text{mm}) -$$

$$- 0,2 \cdot [(15\text{mm}/10\text{mm}) + 1,5] \}^2 / [(0,33\text{mm}/10\text{mm}) \cdot (210000\text{MPa}/8,51\text{MPa}) \cdot$$

$$\cdot (1,2505\text{MPa}/8,51\text{MPa})] \rightarrow t_j = 0,018\text{mm}$$

και

β) Για $I_s = 24 \cdot d_b = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$ (Δοκίμιο S_1L_2)

$$t_j/d_s = 1,3 \cdot \{ (220\text{MPa}/10,65\text{MPa}) / [2,2 \cdot (0,4\text{mm}/2,0\text{mm}) + 0,25] \cdot (240\text{mm}/10\text{mm}) -$$

$$- 0,2 \cdot [(15\text{mm}/10\text{mm}) + 1,5] \}^2 / [(0,33\text{mm}/10\text{mm}) \cdot (210000\text{MPa}/10,65\text{MPa}) \cdot$$

$$\cdot (1,4522\text{MPa}/10,65\text{MPa})] \rightarrow t_j = 6,133 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει και πάλι απαιτούμενο πάχος μανδύα ίσο με το ελάχιστο, δηλαδή $t_j=1\text{mm}$.

Το ιδιαίτερα μικρό πάχος ελάσματος που προέκυψε βάσει της σχέσεως Σ.6.14 του ΚΑΝ.ΕΠΕ (τόσο στην περίπτωση που αυτή επιλύθηκε για στάθμη επιτελεστικότητας Γ, όσο και για την περίπτωση που οι συντελεστές s_d και w ελήφθησαν μειωμένοι ώστε να αντιστοιχούν σε έναν ανεκτό βαθμό βλάβης), οφείλεται στο γεγονός ότι ο χάλυβας του μανδύα παρουσιάζει πολύ χαμηλότερη αντοχή σε σχέση με τα ΙΟΠ. Η σχέση Σ6.14 αποτελεί την μαθηματική έκφραση του προσομοιώματος Τάσιου (2009) για την περίπτωση που επιδιώκεται αντιμετώπιση του προβλήματος ανεπαρκούς παραθέσεως διαμήκων ράβδων υποστυλώματος μέσω περίσφιγξης με ΙΟΠ. Η τιμή του απαιτούμενου πάχους του υλικού περίσφιγξης που προκύπτει από την έκφραση της Σ6.14 είναι μικρή, ωστόσο, τα ΙΟΠ διαθέτουν πολύ υψηλές τιμές τάσεως διαρροής f_{yj} και μέτρου ελαστικότητας E_j -σε αντίθεση με το χάλυβα- και μπορούν έτσι να εξασφαλίσουν τη διαρροή των παρατιθέμενων διαμήκων ράβδων. Για τον λόγο αυτόν, ο Τάσιος συστήνει στην περίπτωση ενίσχυσης με χαλύβδινο μανδύα την έκφραση:

$$t_j = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{E_s \cdot f_{ctm}}{f_{sy}^{'2}} \cdot w$$

που προκύπτει εφόσον θεωρηθεί ότι: $\sigma_j = \sqrt{(2 \cdot E_j \cdot f_{ctm} \cdot w \cdot \sqrt{2})} t_j = f_{sy}'$, όπου f_{sy}' το όριο διαρροής του χαλύβδινου μανδύα. Η εξασφάλιση της διαρροής των παρατιθέμενων διαμήκων οπλισμών γίνεται από τον έλεγχο της σχέσης :

$$\sigma_s = \left(2,2 \cdot \frac{s}{s_u} + 0,25 \right) \cdot \left[1,7 \cdot \frac{E_j}{f_{sy}'} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_c} \cdot \frac{w}{d_b} + 0,2 \cdot \left(2 \cdot \frac{c}{d_b} + 1,5 \right) \right] \cdot \frac{l_s}{d_b} \cdot f_c > f_{sy}$$

Βάσει της ανωτέρω διερεύνησης προκύπτει ότι απαιτείται πιθανώς βελτίωση της σχέσεως Σ6.14 του ΚΑΝ.ΕΠΕ σε πιθανή μελλοντική αναθεώρησή του, καθώς και πρόσθεση διευκρινιστικών σχολίων για την επέκταση χρήσης της σχέσεως και στην περίπτωση των μεταλλικών μανδυνών. Αν και εκφεύγει των πολύ περιορισμένων ορίων (οικονομικά και ουσιαστικά) της παρούσας έρευνας και έκθεσης, θα μπορούσαμε να προτείνουμε (κάτι που χρήζει και περαιτέρω διερεύνησης) τη χρήση της τροποποιημένης έκφρασης της σχέσεως Σ6.14 για την περίπτωση των μεταλλικών μανδυνών (Τάσιος 2009). Αυτό υποστηρίζεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών S_2L_1 και S_2L_2 καθώς στην περίπτωση του S_2L_2 τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά ενώ στην περίπτωση του S_2L_1 προκύπτουν ερωτηματικά για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της ανεπαρκούς παράθεσης των ράβδων του στύλου.

Η σχέση 8.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ αποτελεί απλοποίηση της έκφρασης Σ6.14 και αναφέρεται και αυτή σε ΙΟΠ. Η μελέτη της σχέσεως 8.1 είναι εκτός των ορίων της παρούσας έρευνας.

8. Απαιτείται ιδιαίτερη διερεύνηση για να αξιολογηθούν, βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων, όλα τα μεγέθη που επηρεάζουν τις αναλυτικές σχέσεις Σ6.14, Σ8.3 και Σ8.1 οι οποίες εξετάζονται π.χ. το εύρος ρωγμής w , η ολίσθηση δ , το λ_s ανάλογα με τους υπάρχοντες συνδετήρες, ο συντελεστής τριβής μ , ο συντελεστής β . Ιδιαίτερη διερεύνηση και σχολιασμός απαιτείται για τιμές τις οποίες ο Κανονισμός προτείνει ως αδρομερείς ή κατά προσέγγιση.

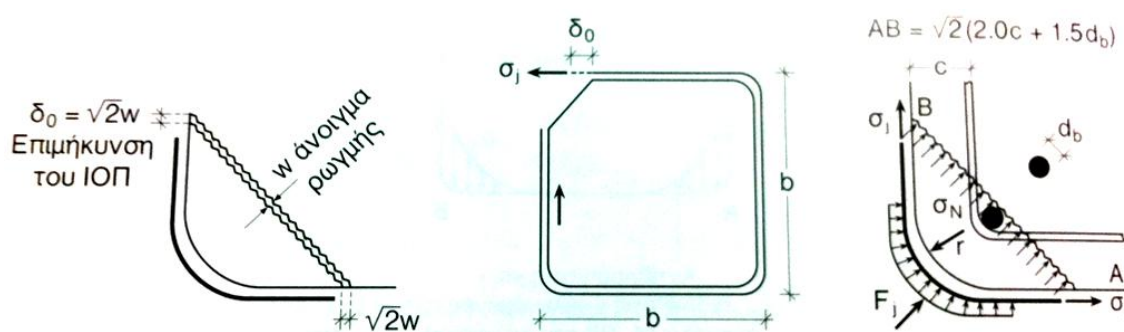
Η διερεύνηση των παραμέτρων των σχέσεων Σ6.14 και Σ8.3, οι οποίες εφαρμόστηκαν και εξετάστηκαν στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα, δεν αποτελεί μέρος των συμβατικών υποχρεώσεων της ερευνητικής ομάδας. Για να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση των υπερβολικά πολλών αυτών παραμέτρων θα απαιτηθεί η κατασκευή μεγάλου αριθμού νέων δοκιμών που προϋποθέτει νέα σημαντική χρηματοδότηση με νέο ερευνητικό πρόγραμμα. Με μεγάλη μας ευχαρίστηση θα ασχοληθούμε με τη διερεύνηση των σημαντικών αυτών παραμέτρων με την προϋπόθεση ότι θα εξασφαλιστεί από τον Ο.Α.Σ.Π. η αναγκαία νέα χρηματοδότηση.

9. Να διερευνηθούν περισσότερο και να σχολιαστούν οι προκύπτουσες απαιτήσεις πάχους ελάσματος στη σελ. 43, όπου για μικρότερο αποδεκτό εύρος ρωγμής το πάχος του ελάσματος προκύπτει μικρότερο!

(Ενσωματώθηκε στη σελ. 48 της Τελικής Έκθεσης)

Μεταξύ δύο παρατιθέμενων σε ένα μήκος l_s ράβδων σχηματίζεται, μετά την υπέρβαση της αντοχής του δεσμού, ρωγμή κατά μήκος της επαφής τους. Η αύξηση της ολισθήσεως s προκαλεί αύξηση και στο άνοιγμα της ρωγμής w σύμφωνα με τη σχέση $w = 0.6 \cdot s^{2/3}$.

Η επιμήκυνση του υλικού περίσφιγξης προκύπτει ίση με $\delta_0 = w \cdot \sqrt{2}$, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



(Σχέδιο: Τάσιος 2009)

Για το μήκος αγκυρώσεως του υλικού της περίσφιγξης (π.χ ΙΟΠ) θα ισχύει ότι:

$$l_b \cdot f_b = t_j \cdot \sigma_j \rightarrow l_b = t_j \cdot \frac{\sigma_j}{f_{ctm}} \quad (a)$$

(όπου για την αντοχή συνάφειας θεωρήθηκε $l_b = f_{ctm}$)

Ισχύει ακόμα ότι:

$$\delta_0 = \int_0^{l_b} \varepsilon_j dx = \int_0^{l_b} \frac{\sigma_j}{E_j} dx = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_j}{E_j} \cdot l_b$$

και αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση το l_b προκύπτει ότι:

$$\delta_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_j^2}{E_j \cdot f_{ctm}} \cdot t_j$$

Δηλαδή η τάση που αναπτύσσεται στο υλικό περίσφιγξης είναι ίση με:

$$\sigma_j = \sqrt{2 \cdot E_j \cdot f_{ctm} \cdot \delta_0 / t_j} \rightarrow \sigma_j = \sqrt{2 \cdot E_j \cdot f_{ctm} \cdot w \cdot \sqrt{2} / t_j} \quad (1)$$

Περίσφιγξη με ΙΟΠ:

Στην περίπτωση που το υλικό πέρισφιγξης είναι ΙΟΠ για την ακραία περίπτωση που το μήκος αγκύρωσης l_b προκύπτει ίσο με το μήκος της πλευράς του υποστυλώματος ($l_b = b$) η μέγιστη δυνατή τάση του ΙΟΠ θα είναι λόγω της (α):

$$\sigma_{j,lim} = \frac{b}{t_j} \cdot f_{ctm} \quad (b)$$

Περίσφιγξη με λεπτό χαλύβδινο μανδύα:

Στην περίπτωση του λεπτού χαλύβδινου μανδύα λόγω της μειωμένης αντοχής του χάλυβα σε σύγκριση με τα ΙΟΠ θα είναι

$$\sigma_{j,lim} = f'_{sy} \quad (c)$$

όπου f'_{sy} η τάση διαρροής του χαλύβδινου μανδύα (Τάσιος 2009).

Τόσο στην περίπτωση που το υλικό πέρισφιγξης είναι ΙΟΠ όσο και στην περίπτωση που είναι λεπτός χαλύβδινος μανδύας η σχέση (1) θα δώσει για το απαιτούμενο πάχος υλικού πέρισφιγξης:

$$\sigma_{j,lim} = \sqrt{2 \cdot E_j \cdot f_{ctm} \cdot w \cdot \sqrt{2}/t_j} \rightarrow t_j = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{E_j \cdot f_{ctm}}{\sigma_{j,lim}^2} \cdot w \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (2) και (b) για την περίπτωση των ΙΟΠ προκύπτει:

$$\sigma_{j,lim} = \frac{b}{t_j} \cdot f_{ctm} = \sqrt{2 \cdot E_j \cdot f_{ctm} \cdot w \cdot \frac{\sqrt{2}}{t_j}} \rightarrow t_j = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{b^2 \cdot f_{ctm}}{w \cdot E_j}$$

ενώ για την περίπτωση των χαλύβδινων μανδύων από τις σχέσεις (2) και (c):

$$t_j = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{E_j \cdot f_{ctm}}{\sigma_{j,lim}^2} \cdot w \rightarrow t_j = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{E_s \cdot f_{ctm}}{f_{sy}^2} \cdot w$$

Για το πάχος t_j που προκύπτει ο κρίσιμος έλεγχος που θα καθορίσει την επιτυχία της πέρισφιγξης στην αποκατάσταση της ανεπαρκούς παράθεσης θα γίνεται μεταξύ των αναπτυσσόμενων τάσεων στις διαμήκεις ράβδους, σ_s , και την τάση διαρροής των ράβδων f_{sy} . Εφόσον προκύψει ότι $\sigma_s \geq f_{sy}$ η πέρισφιγξη θα έχει επιτύχει την αποκατάσταση της παράθεσης των ράβδων.

10. Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη η αξιολόγηση καθεμιάς από τις δύο αναλυτικές σχέσεις που εξετάζονται βάσει του συνόλου των αποτελεσμάτων των δοκιμών και από τις δύο σειρές πειραμάτων (I και III).

(Ενσωματώθηκε στη σελ. 208 της Τελικής Έκθεσης)

Στο παρόν Ερευνητικό Πρόγραμμα κατασκευάστηκαν δομικά υποσύνολα που αντιπροσώπευαν υποστυλώματα παλαιών κατασκευών με ανεπαρκή μήκη παραθέσεων των διαμήκων ράβδων οπλισμού τους και εξετάστηκαν διαφορετικές παράμετροι, όπως μεταξύ άλλων το πάχος μεταλλικών μανδύων (Σειρά δοκιμών I) και ο οπλισμός συνδετήρων (Σειρά δοκιμών III) που απαιτείται για τη θεραπεία του προβλήματος. Ελέγχθηκαν οι περιπτώσεις δύο διαφορετικών μηκών παράθεσης των διαμήκων οπλισμών υποστυλωμάτων (20d_b και 24d_b) και όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2 χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις Σ6.14 και 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην περίπτωση των μεταλλικών μανδύων που εφαρμόστηκαν για την επιβολή περίσφιγξης στα υποστυλώματα της Σειράς δοκιμών I εκτός από τη σχέση Σ6.14, την οποία ο ΚΑΝ.ΕΠΕ προτείνει για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους των μανδύων από χάλυβα ή ΙΟΠ, χρησιμοποιήθηκε και η σχέση του Τάσιου (Τάσιος 2009) διαμορφωμένη ειδικά για την περίπτωση λεπτών χαλύβδινων μανδύων (Κεφ.2 §2.5.1). Η σχέση Σ6.14 έδωσε για τα δύο διαφορετικά μήκη παράθεσης ίδιο απαιτούμενο πάχος μεταλλικού μανδύα ίσο με 1mm, ενώ η σχέση του Τάσιου, η διαμορφωμένη αποκλειστικά για μεταλλικούς μανδύες, έδωσε απαιτούμενο πάχος και για τις δύο περιπτώσεις ίσο με 5mm. Από τα πειραματικά αποτελέσματα των ενισχυμένων με τους χαλύβδινους μανδύες δοκιμών της Σειράς I αποδεικνύεται ότι με τη σχέση Σ6.14 που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ δεν επιτυγχάνεται περίσφιγξη ικανή να βελτιώσει σημαντικά τη σεισμική απόκριση των υποστυλωμάτων με ανεπαρκή μήκη παράθεσης, καθώς κανένα από τα δύο δοκίμια (με μήκη παράθεσης 20d_b και 24d_b) δεν κατάφερε να προσεγγίσει σε ικανοποιητικό βαθμό τη σεισμική συμπεριφορά του δοκιμίου C₁ με τις συνεχείς διαμήκεις ράβδους. Κυρίως όμως, δεν κατέστη δυνατή -με τη χρήση της σχέσεως Σ6.14- η αποτροπή σε μεγάλο βαθμό των ολισθήσεων των διαμήκων ράβδων οπλισμού των στύλων στη θέση της πλαστικής άρθρωσης. Η σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου πάχους που προτείνει ο Τάσιος ειδικά για λεπτούς χαλύβδινους μανδύες οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά στη συμπεριφορά των υποστυλωμάτων με μήκος παράθεσης 20d_b και 24d_b σε σεισμό και ειδικά στην περίπτωση του δεύτερου η απόκριση του δοκιμίου S₂L₂ προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό εκείνη του δοκιμίου – στόχου της Σειράς I, C₁, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα σημαντική μείωση των ολισθήσεων των παρατιθέμενων ράβδων.

Η συμπεριφορά σε σεισμό των υποστυλωμάτων RHL₁ και RHL₂ της Σειράς III, στα οποία χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυσή τους εκτός από μανδύας Ο/Σ και επιπλέον οπλισμός περίσφιγξης για τη θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων, ήταν ιδιαίτερα καλή προσεγγίζοντας σε πολύ μεγάλο βαθμό (ειδικά στην περίπτωση του RHL₂) τη συμπεριφορά του δοκιμίου – στόχου της Σειράς III, RC₂, όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση της παραγράφου §4.4. Η σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ απεδείχθη βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων των δοκιμών RHL₁ και RHL₂ αποτελεσματική.

Στα δοκίμια της Σειράς III πέραν της θεραπείας του προβλήματος της ανεπαρκούς παράθεσης πραγματοποιείται, λόγω του ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ που κατασκευάζεται γύρω από τους στύλους, μία συνολική αναβάθμιση όλων των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων τους (αντοχής, δυσκαμψίας, ικανότητας απορρόφησης ενέργειας). Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως και με τους στύλους των δοκιμών της Σειράς I στους οποίους η ενίσχυση με τους χαλύβδινους μανδύες αποσκοπεί στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ανεπαρκούς παράθεσης. Έτσι μία αξιολόγηση των δύο σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (Σ6.14 και 8.3) που μελετήθηκαν στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα βάσει του συνόλου των αποτελεσμάτων των δοκιμών και από τις δύο Σειρές (I και III) δεν θα ήταν ακριβής.

Μία τέτοια αξιολόγηση θα ήταν δυνατή ανάμεσα στα δοκίμια της Σειράς I και σε δύο δοκίμια (με δύο διαφορετικά μήκη παράθεσης 20Φ και 24Φ) τα οποία είναι ενισχυμένα με συνδετήρες που προκύπτουν βάσει της σχέσεως 8.3 και δεν διαθέτουν επιπλέον μανδύα Ο/Σ για την καθολική από άποψη βελτίωσης των αντισεισμικών τους ιδιοτήτων ενίσχυσή τους. Αυτή η μελέτη, που είναι εκτός των συμβατικών υποχρεώσεών μας έγινε από προσωπικό επιστημονικό ενδιαφέρον και εφόσον ενδιαφέρει τον ΟΑΣΠ δυνάμεθα να κοινοποιήσουμε τα αποτελέσματά της μετά την ολοκλήρωσή της.

11. Απαιτείται ειδικότερος σχολιασμός στα αποτελέσματα της σειράς δοκιμών III, δεδομένου ότι η επιλογή των συνδετήρων στους μανδύες γίνεται τελικά βάσει των προβλεπομένων για τα ελάχιστα. Πρέπει να αξιολογηθεί η σχέση 8.3 βάσει των απαιτούμενων συνδετήρων που προκύπτουν από την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης.

Οι συνδετήρες του μανδύα στα δοκίμια υποστυλωμάτων της σειράς III προέκυψαν βάσει του ελέγχου σε διάτμηση. Η περίσφιγξη στην περιοχή της πλαστικής άρθρωσης εντός της οποίας πραγματοποιούνταν η ανεπαρκής παράθεση, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτηση επιπλέον συνδετήρων (άλλων από εκείνων του μανδύα) που υπολογίστηκαν βάσει της σχέσεως 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι συνδετήρες αυτοί τοποθετήθηκαν σε δύο από τα δοκίμια της σειράς III, τα RHL₁ και RHL₂. Στα δοκίμια RWL₁ και RWL₂ έγινε συγκόλληση των παρατιθέμενων ράβδων, ενώ το RC₂ είχε συνεχείς διαμήκεις οπλισμούς χωρίς παραθέσεις στον αρχικό στύλο.

Η συμπεριφορά σε σεισμό των δοκιμών με ανεπαρκείς παραθέσεις που ενισχύονται έναντι του προβλήματος της ανεπαρκούς παράθεσης μόνο με τους συνδετήρες που υπολογίζονται σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (σχέση 8.3) και χωρίς την κατασκευή μανδύα Ο/Σ, αποτελούν αντικείμενο της έρευνάς μας που, ωστόσο, δεν ήταν μέρος των συμβατικών μας υποχρεώσεων στο συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα. Παρόλα αυτά δυνάμεθα ευχαρίστως να κοινοποιήσουμε στον ΟΑΣΠ τα πειραματικά αποτελέσματα από τη σεισμική επιπόνηση των ανάλογων δοκιμών, RG₁ και RG₂,

εφόσον υπάρχει σχετικό ενδιαφέρον από τον ΟΑΣΠ και μετά την ολοκλήρωση της έρευνας.

- 12. Παρακαλείσθε να εμπλουτίσετε την έκθεση με χαρακτηριστικές φωτογραφίες των δοκιμών από ενδιάμεσες στάθμες φόρτισης-συσχετισμένες με τους βρόχους υστέρησης των δοκιμών.**

(Ενσωματώθηκε στο Παράρτημα Α της Τελικής Έκθεσης)