

## ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΡΜΑΤΟΣ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥΣ

ΑΡΜΠΙΡΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

*Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο αστοχούν οι κοινές περιοχές δοκών υποστυλωμάτων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η παρουσίαση γίνεται με χρήση κάποιων χαρακτηριστικών φωτογραφιών οι οποίες έχουν ληφθεί μετά από το σεισμό της Πάρνηθας της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999. Επίσης, γίνεται μία προσπάθεια ανάλυσης των κυριότερων αιτιών εμφάνισης των βλαβών αυτών. Έπειτα, ακολουθούν μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης των κόμβων δοκών υποστυλωμάτων οι οποίες βασίζονται σε πειραματικές εργασίες που έχουν γίνει παλαιότερα. Θα δούμε λοιπόν τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί τεκμηριωμένα και οδηγούν στη λύση αυτού του τόσο σοβαρού προβλήματος.*

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμπειρία από τους σεισμούς, τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και στο διεθνή, έδειξε ότι ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα που σχετίζεται με την ασφάλεια των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος σε σεισμικές καταπονήσεις είναι οι εμφανιζόμενες αστοχίες των κοινών περιοχών δοκών υποστυλωμάτων.

Οι βλάβες στους κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων, έστω και στην πρώτη φάση εκδηλώσεως τους (πρώτες ρηγματώσεις), θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές για την κατασκευή και να αντιμετωπίζονται ανάλογα. Η εκδήλωση βλάβης αυτού του τύπου υποβαθμίζει την ακαμψία του φέροντος στοιχείου και οδηγεί σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές εντάσεως.

Ειδικότερα, οι εξωτερικοί κόμβοι αποτελούν ένα από τα πιο ευπαθή στοιχεία των επισταμένων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται κυρίως στους εξής λόγους:

- α. Η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή.
- β. Ο σχεδιασμός των κόμβων, μέχρι και σήμερα, δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της τοπικής έντασης
- γ. Οι κόμβοι είναι συχνά περιοχές κακής σκυροδέτησης λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών
- δ. Οι βλάβες στους κόμβους είναι από τις πλέον κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας του φορέα

Υπενθυμίζεται ότι κάθε ρηγμάτωση κόμβου, έστω και πολύ μικρού ανοίγματος ρωγμών, εξετάζεται ως επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία που έχουν την ίδια εικόνα ρηγμάτωσης. Σε μία βαθμονόμηση των βλαβών που

προτείνεται στον EC-Part1.4 (1996), οι βλάβες στους κόμβους είναι κατά μία κατηγορία υψηλότερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε υποστυλώματα με την ίδια εικόνα (εύρος, κατεύθυνση κ.τ.λ.) ρηγμάτωσης.

Οι επισκευές και οι ενισχύσεις στην περιοχή των κόμβων αποτελούν ίσως την δυσκολότερη κατασκευαστική διαδικασία στον τομέα των επεμβάσεων επειδή εκεί συντρέχουν πολλά στοιχεία του φορέα.(Σ.Η.ΔΡΙΤΣΟΣ)

## **2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΣΤΙΣ ΚΟΙΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΟΚΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ**

Μετά το σεισμό της 7/9/1999 παρατηρήθηκαν εκτεταμένες βλάβες στους κόμβους σε πολλά κτίρια στην περιοχή της Δυτικής Αττικής. Στο πιο κάτω φωτογραφικό υλικό παρουσιάζονται αυτές οι βλάβες.

Όπως βλέπουμε, σοβαρότερες βλάβες έχουν υποστεί οι εξωτερικοί κόμβοι των κτιρίων ενώ οι εσωτερικοί σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζουν απλές ρωγμές. Βλέπουμε λοιπόν ότι οι εξωτερικοί κόμβοι έχουν υποστεί συντριβή του σκυροδέματος, λύγισμα των διαμήκων ράβδων εξαιτίας της έλλειψης πυκνών συνδετήρων στην περιοχή αυτή. Επίσης βλέπουμε αποκολλημένους κόμβους από τις συντρέχουσες δοκούς με αποτέλεσμα να έχει χαθεί το ολόσωμο της σύνδεσης.

Στην πιο κάτω φωτογραφία ( εικόνα 1) φαίνεται χαρακτηριστικά η επιπτώση του σεισμού σε ένα εξωτερικό κόμβο ενός κτιρίου. Σε αυτόν έχει προκληθεί λυγισμός των διαμήκων ράβδων, καθώς και συντριβή του σκυροδέματος. Είναι πρόφανης η έλλειψη πύκνωσης των συνδετήρων. Στη δεύτερη εικόνα, η κολώνα έχει χάσει τελείως την επαφή της με τις συντρέχουσες δοκούς, ενώ έχει σπάσει τόσο στην κορυφή της όσο και στο κάτω μέρος της, χάνοντας έτσι το ολόσωμο της σύνδεσης. Οι εικόνες ακολουθούν στην σελίδα 3. Τα ίδια φαινόμενα με την εικόνα 1 παρατηρούνται και στην εικόνα 3 η οποία ακολουθεί στη σελίδα 4.



ΕΙΚΟΝΑ 1



ΕΙΚΟΝΑ 2



ΕΙΚΟΝΑ 3

Παρακάτω στις εικόνες 4 , 5 βλέπουμε το διαφορετικό βαθμό βλάβης τον οποίο έχουν υποστεί δυο κόμβοι του ίδιου κτιρίου, ένας εξωτερικός και ένας εσωτερικός. Ο εξωτερικός έχει υποστεί σοβαρές ζημιές με αποκόλιση του σκυροδέματος και λυγισμό των διαμήκων ράβδων ενώ ο εσωτερικός κόμβος δεν έχει υποστεί καμία ζημία.

Τελειώνοντας με την παρουσίαση των φωτογραφιών, να αναφέρουμε συμπερασματικά οτι τα πιο πάνω κτιρια τα οποία είχαν υποστεί τις βλάβες που προαναφέραμε εξαιτίας του σεισμού της Πάρνηθας είχαν μεγάλες βλάβες στα εξωτερικά υποστηλώματα, ενώ στα εσωτερικά δεν παρουσίαζαν σημαντικές βλάβες. Αυτό ήταν κάτι αναμενόμενο καθώς στους εσωτερικούς κόμβους ο εγκιβωτισμός του σκυροδέματος εξαιτίας των συντρεχουσών δοκών είναι καλύτερη (ΦΑΡΔΗΣ). Έτσι οι εσωτερικοί κόμβοι επέδειξαν μια πολύ καλή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια αυτού του τόσο καταστροφικού σεισμού.



ΕΙΚΟΝΑ 4



ΕΙΚΟΝΑ 5

### 3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΛΑΒΕΣ

Οι τεχνικές επισκευής που εφαρμόζονται διεθνώς, ανάλογα με το βαθμό βλάβης είναι οι εξής :

α. Επισκευή με ρητινενέσεις : Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μικρού εύρους ρηγμάτων χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και λύγισμα των διαμηκών ράβδων οπλισμού στύλων και δοκών.

β. Τοπική ενίσχυση με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση: Εφαρμόζεται σε κόμβους με υψηλό βαθμό βλάβης, δηλ. Συντριβή του σκυροδέματος, διάρρηξη των συνδετήρων και λύγισμα των διαμηκών ράβδων. Στην περίπτωση αυτή καθαίρεται τοπικά το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα στον κόμβο και σε τμήματα των κρίσιμων περιοχών των στύλων και δοκών, τοποθετούνται με συγκόλληση νέοι διαμήκη ράβδοι οπλισμού σε όποιους οπλισμούς έχει συμβεί λυγισμός, τοποθετούνται πρόσθετοι συνδετήρες και τελικώς αποκαθίσταται το καθαιρούμενο σκυρόδεμα με νέο σκυρόδεμα. Με τον τρόπο αυτόν ενίσχυσης διατηρούνται και μετά την ενίσχυση οι διατομές που είχαν αρχικά τα δομικά στοιχεία.

γ. Ενίσχυση του κόμβου με κατασκευή γενικού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας βλάβης στον κόμβο και στα συμβάλλοντα στον κόμβο δομικά στοιχεία (δοκούς, στύλους). Τοποθετούνται νέοι διαμήκεις οπλισμοί στους στύλους ή και στις δοκούς, όπως επίσης και νέοι συνδετήρες. Ειδικά στην περιοχή του κόμβου, επειδή είναι δύσκολη η τοποθέτηση νέων συνδετήρων, όπως επίσης και για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, γίνεται χρήση ειδικών κολάρων, προεντεταμένων ή όχι. Ο μανδύας επεκτείνεται συνήθως σε ολόκληρο το ύψος των στύλων και σε ορισμένες περιπτώσεις και σε ολόκληρο το μήκος των δοκών.

δ. Τοπική ενίσχυση του κόμβου με μανδύα Ο/Σ. Είναι ειδική περίπτωση της προηγούμενης και εφαρμόζεται, όταν η βλάβη είναι επικεντρωμένη κυρίως στην περιοχή του κόμβου. Έτσι, κατασκευάζεται μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος (έγχυτου ή εκτοξευόμενου), που περιλαμβάνει μόνον τον κόμβο και τμήματα των κρίσιμων περιοχών των στύλων ή και των δοκών.

ε. Επίσης τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται σε περιορισμένο βαθμό η τεχνική των επικολλητών φύλλων απο ινοπλισμένα πολυμερή. Η έρευνα σε αυτό τον τομέα είναι σε εξέλιξη, όπως και η επιστημονική τεκμηρίωση και για αυτό το λόγο και η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη. Τα επικολλητά φύλλα απο ινοπλισμένα πολυμερή, είναι μια εναλλακτική λύση της επικόλλησης φύλλων χάλυβα. Και οι δύο τεχνικές, έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, όμως η τεχνική των επικολλητών φύλλων απο ινοπλισμένα πολυμερή, φαίνεται να υπερτερεί.

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται ελάχιστες πειραματικές ερευνητικές εργασίες, στις οποίες εξετάζεται η συμπεριφορά σε σεισμό ενισχυμένων δοκιμίων δοκού υποστυλώματος με χρήση μανδύων οπλισμένων σκυροδέματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις εργασίες αυτές μελετάται η συμπεριφορά σε ανακύλιση ενισχυμένων δομικών υποσυνόλων δοκού στύλου με κατασκευή ολόπλευρου μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος και μάλιστα σε όλο το ύψος του υποστυλώματος, συμπεριλαμβανομένου και του κόμβου. Στην περιοχή του κόμβου, όπου κρίνεται ότι είναι κατασκευαστικά δύσκολη η τοποθέτηση νέων συνδετήρων (οπλισμού μανδύα), ή δεν τοποθετούνται, ή τοποθετούνται ακριβώς επάνω και κάτω από τον πυρήνα του κόμβου, ή τοποθετούνται ειδικά μεταλλικά κολάρια. (Α.Γ.ΤΣΩΝΟΣ,Α.Π.ΚΑΛΙΤΣΗΣ,Γ.Χ.ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ)

Ειδικότερα, για την τεχνική επισκευής με τη χρήση ρητινενέσεων το βασικό πρόβλημα είναι ο βαθμός αποτελεσματικότητας σε ότι αφορά την αποκατάσταση της ικανότητας του στοιχείου ή του κόμβου. (Χ.Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ,Κ. ΧΑΛΙΟΡΗΣ) Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι η διερεύνηση και πλήρης κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς στοιχείων και ιδιαίτερα κόμβων από οπλισμένο σκυρόδεμα, σχεδιασμένων για σεισμικές δράσεις, ακόμη και κατά την αρχική φόρτιση είναι περίπλοκη και με πολλές δυσκολίες. Αυτό συμβαίνει διότι η εξέτασή τους περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση πολλών φαινομένων όπως διάτμηση, συνάφεια οπλισμών - σκυροδέματος, περίσφιξη, κόπωση, τα οποία ακόμη και αν θεωρηθούν ανεξάρτητα μεταξύ τους, δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως. Παρ'όλα αυτά τα προβλήματα και δεδομένου ότι ένα στοιχείο είναι δυνατόν να σχεδιαστεί ή και να επισκευαστεί με επιτυχία, χωρίς να είναι απόλυτα γνωστοί οι μηχανισμοί απόκρισής του, γίνεται επεξεργασία πειραματικών δεδομένων και εξάγονται συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της επισκευής με χρήση ρητίνων, στοιχείων κυρίως καμπτόμενων όπως οι δοκοί και στοιχείων υπό σύνθετη καταπόνηση με κυριαρχούσα διάτμηση όπως οι κόμβοι, όταν αυτοί έχουν υποστεί βλάβες από ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Η μέθοδος επισκευής με χρήση ρητίνων έχει το πλεονέκτημα ότι διατηρεί τις παλιές διαστάσεις των στοιχείων και έτσι η εφαρμογή της είναι η πιο εύκολη σε πραγματικές κατασκευές. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν πείραμα για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου και τα αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν σε επιστημονικά περιοδικά απ'όπου και οι πληροφορίες .

Σύμφωνα λοιπόν με το πείραμα που διεξήχθη, δοκίμια κόμβων υποβλήθηκαν σε σεισμικού τύπου καταπόνηση μέχρις αστοχίας και εμφάνισης βλαβών σε αυτά. Έπειτα επισκευάστηκαν με χρήση εποξειδικών ρητινών και υποβλήθηκαν σε όμοια σεισμική φόρτιση. Παρουσιάστηκαν συγκριτικά αποτελέσματα της απόκρισης κατά την αρχική καταπόνηση με την απόκριση κατά την καταπόνηση μετά την επισκευή με χρήση ρητινών, 3 δοκών και 9 ακραίων κόμβων. Από αυτά προκύπτει ότι κατά τη φόρτισή τους τα επισκευασμένα δοκίμια σε σχέση με την αρχική φόρτιση προ της επισκευής παρουσίασαν:

- Ίση στις δοκούς και μεγαλύτερη στους κόμβους ικανότητα μέγιστου φορτίου.
- Ίδια περίπου δυσκαμψία φόρτισης (73H100%)
- Ικανότητα απορρόφησης ενέργειας ελαφρώς μειωμένη στις δοκούς (56H86% της αρχικής) και ιδιαίτερα αυξημένη στους κόμβους.

Ένα άλλο πείραμα που δημοσιεύτηκε ομοίως σε επιστημονικό περιοδικό αφορά στην τοπική επισκευή-ενίσχυση δοκιμίων-κόμβων με χρήση τοπικών τρίπλευρων μανδύων Ο/Σ . Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά, αυτοί οι μανδύες είναι αποτελεσματικοί για την ενίσχυση εξωτερικών κόμβων όταν με το υπό επισκευή κτίριο υπάρχει επαφή με άλλο γειτονικό. Προτείνεται λοιπόν μια μεθοδολογία υπολογισμού και κατασκευής του τρίπλευρου μανδύα, η οποία δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Παρομοίως κατασκευάστηκε σε δοκίμια με βλάβες στους κόμβους τοπικός τρίπλευρος μανδύας και εν συνεχεία υποβλήθηκαν ξανά τα τελευταία σε σεισμική φόρτιση.

Από τη σύγκριση της σεισμικής συμπεριφοράς παρθενικών δοκιμίων εξωτερικών κόμβων δοκού-υποστυλώματος με τη συμπεριφορά των δοκιμίων αυτών μετά την τοπική ενίσχυσή τους με τρίπλευρο μανδύα, παρατηρήθηκαν τα εξής :

1. Η σεισμική συμπεριφορά των επισκευασμένων-ενισχυμένων δοκιμίων εμφανίστηκε εξαιρετικά βελτιωμένη συγκριτικά με εκείνη των αρχικών δοκιμίων.
2. Τα επισκευασμένα-ενισχυμένα δοκίμια κατόρθωσαν να μεταθέσουν τη βλάβη από την περιοχή του κόμβου και από τις κρίσιμες περιοχές των στύλων στη δοκό, αλλά και στην περίπτωση αυτή μετά το πέρας του μανδύα.
3. Όλα τα ανωτέρω δείχνουν ότι ο τρόπος ενίσχυσης που συνιστάται διεθνώς για κόμβους δοκού-στύλου που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός.

(Α.Γ.ΤΣΩΝΟΣ,Α.Π.ΚΑΛΙΤΣΗΣ,Γ.Χ.ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ)

#### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**

Οι παραπάνω μέθοδοι που αναφέρθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμούς. Με τις επισκευές επιτυγχάνουμε αξιοσημείωτη βελτίωση της αντοχής,της ακαμψίας , της πλαστιμότητας ,της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας στις κοινές περιοχές δοκών υποστυλωμάτων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Όλες οι βλάβες μπορούν να αντιμετωπιστούν με τους παραπάνω τρόπους αρκεί να μην είναι εκτεταμένες και οικονομικά ασύμφορη η επισκευή τους. Αφήνεται στην κρίση ,την εμπειρία και την εξειδίκευση του μηχανικού να αποφασίσει με ποια μέθοδο θα διορθώσει τις βλάβες έτσι ώστε το κτίριο να ανταπεξέλθει σε παρόμοιες σεισμικές καταπονήσεις στο μέλλον χωρίς να παρουσιάσει προβλήματα.



## **Βιβλιογραφία**

**Μ.ΦΑΡΔΗΣ**

«Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος Β»

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΟ Β 1999

«Σεισμική συμπεριφορά τοπικά επισκευασμένων και ενισχυμένων δοκιμίων δοκού-υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.»

Αλέξανδρος Γ.Τσώνος

Αντώνιος Π.Καλίτσης

Γεώργιος Χ.Παπαδάκης

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΚΤΙΡΙΟ Γ 1998

«Επισκευή με χρήση ρητίνων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με βλάβες από σεισμό.»

Χρήστος Γ.Καραγιάννης

Κωνσταντίνος Χαλιόρης

**Σ.Η.ΔΡΙΤΣΟΣ**

«Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα»