

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ–ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΣΤΥΛΩΝ - ΚΟΜΒΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Χρηματοδότης: Ο.Α.Σ.Π.

Ε.Υ.: Α. Γ. Τσώνος, Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2003

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΣΤΥΛΩΝ - ΚΟΜΒΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα εφαρμοσμένης έρευνας έχει ως κύριο στόχο τη συμβολή στην εξασφάλιση της ζωής και ακεραιότητας των κατοίκων σεισμογενών περιοχών (όπως είναι οι περισσότερες της Ελλάδας), που ζουν σε επισκευασμένα ή / και ενισχυμένα κτίρια που είτε έχουν πάθει σημαντικές βλάβες από προηγούμενο σεισμό είτε ενισχύθηκαν προσεισμικά.

Μετά από έναν ισχυρό σεισμό πραγματοποιούνται στα βλαβέντα κτίρια ενισχύσεις με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος (προσφάτως και με σύνθετα υλικά FRPs) κυρίως στους στύλους και στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος, αλλά και στα άλλα δομικά στοιχεία (πλάκες, δοκούς και τοιχώματα).

Οι μανδύες αυτοί είναι ολόπλευροι για τα κατακόρυφα στοιχεία που βρίσκονται στο εσωτερικό του κτιρίου ή στην περίμετρό του, εφόσον δεν υπάρχουν άλλα κτίρια σε επαφή με το προς ενίσχυση. Αντιθέτως, όταν σε επαφή με το ενισχυόμενο κτίριο υφίστανται άλλα κτίρια, οι μανδύες που κατασκευάζονται είναι κατ' ανάγκη είτε δίπλευροι είτε τρίπλευροι, αναλόγως με τη θέση του στοιχείου στην περίμετρο. Στο σημείο αυτό όμως θα πρέπει να τονιστεί ότι ενώ για την αποδοτικότητα των ολόπλευρων μανδύων υπάρχουν έστω κάποια ολιγάριθμα πειραματικά στοιχεία, για την αποδοτικότητα των τρίπλευρων ή δίπλευρων μανδύων, παρότι κατασκευάζονται κατά κόρον αναγκαστικά, όπως ήδη τονίστηκε και παρότι συνιστώνται από διεθνείς συστάσεις όπως της UNIDO (1983),

εντούτοις δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα που να αποδεικνύουν την αποδοτικότητά τους για τις ενισχύσεις στύλων και κόμβων δοκών-στύλων.

Έτσι, εύλογα τίθεται το ερώτημα: «Πόσο ασφαλείς είναι οι ένοικοι ενισχυμένων πολυκατοικιών με δίπλευρους ή τρίπλευρους μανδύες στους στύλους και στους κόμβους δοκού-στύλου σε ένα νέο σεισμό;» Επίσης, θα πρέπει να δειχθεί πειραματικά κατά πόσον οι δίπλευροι και τρίπλευροι μανδύες υστερούν των ομολόγων τους ολόπλευρων μανδύων, και εντέλει να είναι γνωστό το τι περιμένει κανείς από έναν τέτοιο τρόπο ενίσχυσης πριν το αποδείξει ένας νέος καταστρεπτικός σεισμός. Η πρόσφατη εμπειρία άλλωστε έχει δείξει ότι δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που προχείρως ενισχυμένα κτίρια κατέρρευσαν σε έναν νέο σεισμό.

Με το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα ελέγχθηκε η αποδοτικότητα των ολόπλευρων, τρίπλευρων και δίπλευρων μανδύων όταν εφαρμόζονται για τη μετασεισμική ενίσχυση υποστυλωμάτων και κόμβων δοκών-στύλων από Ο/Σ.

Επίσης, στα πλαίσια του προγράμματος αυτού ελέγχθηκε η αποδοτικότητα των ολόπλευρων και των δίπλευρων μανδύων όταν εφαρμόζονται για την προσεισμική ενίσχυση στύλων και κόμβων δοκού-στύλου από Ο/Σ.

Σχετικά πρόσφατα έχει αρχίσει ευρεία εφαρμογή ενός τύπου ενίσχυσης κτιρίων (προσεισμικής και μετασεισμικής) με χρήση σύνθετων υλικών FRPs.

Στους στόχους του παρόντος προγράμματος είναι, αφενός να ελεγχθεί η αποδοτικότητα της ενίσχυσης των στύλων και των κόμβων δοκού-υποστυλώματος με μανδύες σύνθετων υλικών FRPs και αφετέρου να συγκριθεί η αποδοτικότητα του τύπου αυτού ενίσχυσης με τον παραδοσιακό τύπο ενίσχυσης, δηλαδή με ολόπλευρους μανδύες

οπλισμένου σκυροδέματος.

Σύμφωνα με το Πρόγραμμα κατασκευάστηκαν συνολικά 14 δοκίμια πλαισιακού υποσυνόλου υποστυλωμάτων – κόμβου – δοκού – πλάκας – εγκαρσίων δοκών με κλίμακα 1:2. Τα δοκίμια αυτά σχεδιάστηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αστοχήσουν στις περιοχές του υποστυλώματος και του κόμβου.

Η σεισμική συμπεριφορά όλων των δοκιμίων εξετάστηκε σε διάταξη φόρτισης, η οποία είναι εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. Στο τμήμα της έρευνας που ασχολείται με τη μετασεισμική ενίσχυση τα δοκίμια, σε παρθενική μορφή, υποβλήθηκαν σε σεισμικού τύπου καταπόνηση. Στη συνέχεια, αφού επισκευάστηκαν και ενισχύθηκαν, υποβλήθηκαν για δεύτερη φορά στην ίδια καταπόνηση. Κατασκευάστηκαν 10 δοκίμια (5 αρχικά – 5 ενισχυμένα). Στο τμήμα της έρευνας που ασχολείται με την προσεισμική ενίσχυση, τα δοκίμια εξετάστηκαν μόνο μία φορά, αφού ενισχύθηκαν κατάλληλα στις περιοχές των στύλων και των κόμβων. Κατασκευάστηκαν 4 δοκίμια.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν:

- α) Ο τύπος ενίσχυσης: Δίπλευρος, τρίπλευρος, ολόπλευρος μανδύας από Ο/Σ.
- β) Το υλικό κατασκευής μανδύα: Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση έτοιμου έγχυτου μη συρρικνούμενου σκυροδέματος υψηλής αντοχής, μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση έγχυτου συμβατικού σκυροδέματος υψηλής αντοχής, μανδύες από σύνθετα υλικά και συγκεκριμένα από ανθρακοϋφάσματα (CFRPs).

Η αποδοτικότητα των τύπων ενίσχυσης κρίθηκε αφενός με σύγκριση των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων (αντοχής, ακαμψίας και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας) παρθενικών και ενισχυμένων

δοκιμίων (μέθοδος αξιολόγησης που απαντάται στη διεθνή βιβλιογραφία), αλλά και με συγκρίσεις της συμπεριφοράς των ενισχυμένων με διαφορετικούς τρόπους δοκιμίων (σύγκριση δοκιμίων ενισχυμένων με δίπλευρο ή τρίπλευρο μανδύα Ο/Σ σε σχέση με τα ομόλογα που ενισχύθηκαν με ολόπλευρο μανδύα, σύγκριση δοκιμίων ενισχυμένων με FRPs σε σχέση με αυτά που ενισχύθηκαν με μανδύα σκυροδέματος, σύγκριση χρήσης συμβατικού σκυροδέματος σε σχέση με το μη συρρικνούμενο). Τέλος, έγινε σύγκριση της αποδοτικότητας προσεισμικής και μετασεισμικής ενίσχυσης.

Από την εκπόνηση του εκτεταμένου αυτού Ερευνητικού Προγράμματος προέκυψαν τα κατωτέρω συμπεράσματα:

1. Τα αρχικά δοκίμια στύλων – κόμβων O_1 , O_2 , O_3 , O_4 και F_1 , τα οποία αντιπροσώπευαν δομικά υποσύνολα παλαιών κατασκευών από Ο/Σ, αστόχησαν πρωτίστως στον κόμβο (όπως αναμενόταν εφόσον η ένταση στο δομικό αυτό στοιχείο είναι ισχυρότερη αυτής που καταπονεί τα υποστυλώματα), ενώ παρουσίασαν μικρότερη βλάβη και στα υποστυλώματα. Στο τέλος του πειράματος στα δοκίμια O_1 , O_2 και F_1 παρατηρήθηκε έλλειψη ικανότητας παραλαβής αξονικού φορτίου.
2. Η σεισμική συμπεριφορά των ενισχυμένων δοκιμίων υποστυλωμάτων – κόμβων εμφανίστηκε εν γένει ιδιαίτερα βελτιωμένη συγκριτικά με εκείνη των αντίστοιχων αρχικών δοκιμίων.
3. Ο τύπος αστοχίας που έδειξαν όλα τα συμβατικά ενισχυμένα δοκίμια ήταν σαφώς βελτιωμένος συγκριτικά με αυτόν των αρχικών δοκιμίων. Έτσι, όλα τα ενισχυμένα δοκίμια στύλων-κόμβων με μανδύες Ο/Σ εμφάνισαν το μεγαλύτερο τμήμα της βλάβης στη δοκό,

ενώ ο κόμβος τους είχε πολύ μικρότερη βλάβη συγκριτικά με αυτή της δοκού. Τα υποστυλώματα των δοκιμίων αυτών παρουσίασαν σχεδόν ασήμαντες αστοχίες. Έτσι, μετά από έναν ισχυρό σεισμό τόσο τα προσεισμικά όσο και τα μετασεισμικά ενισχυμένα κτίρια στα υποστυλώματά τους και στους κόμβους τους με ολόπλευρους, τρίπλευρους ή και δίπλευρους μανδύες δεν θα παρουσιάσουν στις θέσεις αυτές ενίσχυσης σημαντικές βλάβες και συνεπώς δεν υφίσταται κίνδυνος για τους ενοίκους των ενισχυμένων πολυκατοικιών από μερική κατάρρευση.

4. Ο τύπος αστοχίας που έδειξαν τα ενισχυμένα με ανθρακούφασματα δοκίμια υποστυλωμάτων – κόμβων κρίνεται επίσης ικανοποιητικός. Πράγματι, ενώ χαρακτηριζόταν από μεγαλύτερη συγκέντρωση βλάβης στον κόμβο και μικρότερη στη δοκό (όπως φάνηκε μετά από κοπή και απομάκρυνση των στρώσεων των CFRPs), εντούτοις, επειδή το σκυρόδεμα του πυρήνα του κόμβου ήταν αρκετά ανθεκτικό, δεν παρατηρήθηκε απώλεια ικανότητας ανάληψης αξονικού φορτίου από τα δοκίμια. Έτσι, κρίνεται ότι και με τον τύπο αυτόν ενίσχυσης (ο οποίος ως προς την ανάληψη σεισμικής δράσης εδείχθη ότι είναι εφάμιλλος των ολόπλευρων συμβατικών μανδυνών από Ο/Σ), δεν υφίσταται κίνδυνος για τους ενοίκους των ενισχυμένων πολυκατοικιών από μερική κατάρρευση στις θέσεις αυτές..
5. Ο δισδιαγώνιος οπλισμός ενίσχυσης κόμβου, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε εδώ με πρωτότυπους τρόπους εφαρμογής, και απαρτιζόταν από ράβδους $\varnothing 14$, S500s απεδείχθη ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός οπλισμός, διότι παρέμεινε ενεργός καθ' όλη τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης. Στην παρουσία του οφείλεται και

- η ιδιαίτερα επιτυχής ενίσχυση των κόμβων που ενισχύθηκαν με μανδύες από Ο/Σ.
6. Οι μετασεισμικές ενισχύσεις στύλων και κόμβων με ολόπλευρους, τρίπλευρους αλλά και δίπλευρους μανδύες Ο/Σ, με χρήση έτοιμου έγχυτου ειδικού μη συρρικνούμενου τσιμεντοκονιάματος υψηλής αντοχής απεδείχθησαν ότι είναι λυσιτελείς.
 7. Οι προσεισμικές ενισχύσεις δοκιμίων υποστυλωμάτων – κόμβων με ολόπλευρους και δίπλευρους μανδύες Ο/Σ με χρήση έτοιμου έγχυτου ειδικού τσιμεντοκονιάματος υψηλής αντοχής απεδείχθησαν ότι είναι λυσιτελείς.
 8. Η προσεισμική ενίσχυση δοκιμίου στύλου – κόμβου με δίπλευρο μανδύα Ο/Σ με χρήση έγχυτου επί τόπου συμβατικού σκυροδέματος υψηλής αντοχής δεν ήταν ιδιαίτερα επιτυχής.
 9. Τόσο η προσεισμική όσο και η μετασεισμική ενίσχυση δοκιμίων στύλων – κόμβων με μανδύες από ανθρακοϋφασμα (CFRPs) εδείχθη ότι είναι λυσιτελής.
 10. Απεδείχθη για μια ακόμη φορά ότι το ασθενέστερο δομικό στοιχείο μεταξύ υποστυλωμάτων και κόμβου δοκού – υποστυλώματος από Ο/Σ, είναι ο κόμβος, τόσο στα εξεταζόμενα στο παρόν Ερευνητικό Πρόγραμμα αρχικά δοκίμια, όσο και στα ενισχυμένα. Τα υποστυλώματα όλων των ενισχυμένων δοκιμίων του προγράμματος ή ήταν άθικτα στο τέλος του πειράματος ή είχαν ελαφρές βλάβες. Αντιθέτως, οι κόμβοι των ίδιων δοκιμίων είχαν σε όλες τις περιπτώσεις σημαντικότερες βλάβες συγκριτικά με αυτές των υποστυλωμάτων.