

Αντισεισμική Ενίσχυση Τοιχοπληρωμένων Πλαισίων Ο.Σ. με Μανδύες Ινοπλεγμάτων σε Ανόργανη Μήτρα: Πειραματική και Αναλυτική Μελέτη

Λάμπρος Κούτας

Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, *The University of Sheffield, Department of Civil and Structural Engineering, UK, email: L.Koutas@sheffield.ac.uk*

Αθανάσιος Τριανταφύλλου

Καθηγητής, *Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, email: ttriant@upatras.gr*

Ευστάθιος Μπούσιος

Καθηγητής, *Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, email: sbousias@upatras.gr*

Εκτενής περίληψη

Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων, εμφανιζόμενων σε πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΣ), είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη συμπεριφορά πλαισιακών κατασκευών ΟΣ κατά τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων. Εκτός από πληθώρα διεθνών πειραματικών και αναλυτικών μελετών που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία σχεδόν 60 χρόνια, το παραπάνω επαληθεύουν και οι καταγραφές/παρατηρήσεις σε τέτοιου είδους κατασκευές μετά από μεγάλα σεισμικά γεγονότα.

Καλά εγκιβωτισμένες τοιχοπληρώσεις μπορεί να έχουν είτε ευμενή είτε δυσμενή επιρροή στην καθολική συμπεριφορά ενός κτιρίου με καταστροφικές συνέπειες. Η ευμενής επιρροή τους προέρχεται από την υπεραντοχή που προσδίδουν στην κατασκευή δεδομένου ότι (α) η παρουσία τους δεν έχει ληφθεί υπόψη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού (άρα ούτε η εντός επιπέδου δυσστημιά τους και αντοχή τους), και (β) δεν προκαλούν τοπικές βλάβες στα υποστυλώματα ή καθολικές βλάβες στην κατασκευή (π.χ. λόγω ανομοιόμορφης κατανομής τους σε κάτοψη ή καθ' ύψος). Ωστόσο, σε υφιστάμενα κτίρια που δεν έχουν σχεδιαστεί με βάση σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, οι τοιχοπληρώσεις είναι δύσκολο να θεωρηθούν αξιόπιστα πρωτεύοντα δομικά στοιχεία. Οι κύριες δυσμενείς επιρροές συνοψίζονται παρακάτω (Fardis, 2009): (α) Η πιθανότητα δημιουργίας «μαλακού ορόφου» και κατά συνέπεια ενεργοποίησης κάποιου μηχανισμού κατάρρευσης του κτιρίου, (β) η συγκέντρωση των ανελαστικών παραμορφώσεων σε μία περιοχή του κτιρίου σε κάτοψη, και (γ) η πρόωρη διατμητική αστοχία των υποστυλωμάτων που είναι σε επαφή με την τοιχοπλήρωση, λόγω τοπικών φαινομένων.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η πειραματική και αναλυτική διερεύνηση της ενίσχυσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων ΟΣ μέσω μιας νέας τεχνικής που κάνει χρήση προηγμένων υλικών, με στόχο την αναβάθμιση της συμπεριφοράς τους υπό σεισμικές, εντός επιπέδου φορτίσεις. Η νέα τεχνική ενίσχυσης συνίσταται στην εφαρμογή εξωτερικά επικολλούμενων στρώσεων ενός σύνθετου υλικού νέας γενιάς τύπου «Ινοπλέγματος σε Ανόργανη Μήτρα» (IAM). Το υλικό αυτό προκύπτει από το συνδυασμό πλέγματος ινών υψηλής αντοχής (π.χ. άνθρακας, γυαλί) και κονιάματος (συνήθως τσιμεντοκονιάματος). Χαρακτηριστικό για την περιγραφή του σύνθετου αυτού υλικού είναι το Σχ. 1. Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου υλικού έχει διερευνηθεί σε αρκετές περιπτώσεις ενισχύσεων κατασκευών κατά το παρελθόν και έχει αποδειχθεί ότι είναι ικανό να συμβάλλει στη σημαντική

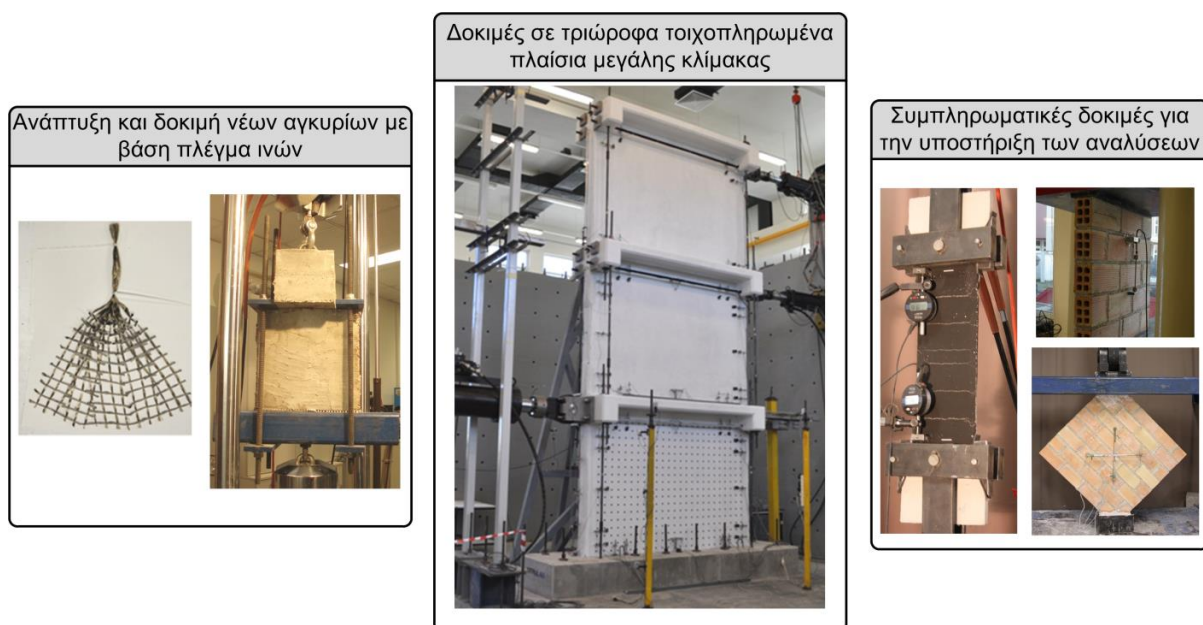
βελτίωση της απόκρισης στοιχείων ΟΣ και τοιχοποιίας (π.χ. Triantafyllou et al. 2006, Bournas et al. 2007, Papanicolaou et al. 2007).



Σχ. 1. Εποπτική περιγραφή του σύνθετου υλικού ενίσχυσης τύπου Ινοπλέγατος σε Ανόργανη Μήτρα (IAM).

Σε επίπεδο πειραματικής μελέτης (Σχ. 2, Koutas et al. 2015a) ο πυρήνας του πειραματικού προγράμματος ήταν οι δοκιμές κυκλικής φόρτισης σε τριώροφα τοιχοπληρωμένα πλαίσια μεγάλης κλίμακας (2/3). Σημαντική και παράλληλα συστηματική πειραματική διερεύνηση πραγματοποιήθηκε για τη μελέτη της σύνδεσης τοιχοποιίας με μέλη οπλισμένου σκυροδέματος, ενώ τέλος πραγματοποιήθηκαν και συμπληρωματικές πειραματικές δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού της ενίσχυσης και της τοιχοποιίας. Οι τελευταίες δοκιμές διεξήχθησαν με σκοπό να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματά τους στην αναλυτική μελέτη (π.χ. βαθμονόμηση προσομοιωμάτων, Koutas et al. 2015b).

Σε επίπεδο αναλυτικής μελέτης, ο στόχος ήταν αρχικά η ανάπτυξη ενός αναλυτικού προσομοιώματος για τη συμπεριφορά των ενισχυμένων με IAM τοιχοπληρώσεων, και έπειτα ο προγραμματισμός του και η ενσωμάτωσή του σε λογισμικό H/Y. Με την ενσωμάτωσή του σε λογισμικό με τη δυνατότητα μη γραμμικών αναλύσεων, ο τελικός στόχος ήταν η πραγματοποίηση αριθμητικών αναλύσεων των τριώροφων τοιχοπληρωμένων πλαισίων για την βαθμονόμηση/επαλήθευση του αναπτυχθέντος προσομοιώματος με τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών.



Σχ. 2 Συνοπτική παρουσίαση του πειραματικού προγράμματος: διαχωρισμός σε τρία μέρη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τόσο της πειραματικής όσο και της αναλυτικής διερεύνησης, προέκυψε ότι η νέα τεχνική ενίσχυσης είναι εξαιρετικά υποσχόμενη, καθώς επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής υπό σεισμική φόρτιση. Συνοπτικά, τα κυρίως συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν τα ακόλουθα:

- Τα ελαστικά δυναμικά χαρακτηριστικά του πλαισίου ΟΣ επηρεάζονται τόσο από την παρουσία των τοιχοπληρώσεων, όσο και από την παρουσία των στρώσεων της ενίσχυσης. Το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο είχε σε σχέση με το γυμνό τέσσερις φορές μεγαλύτερη ιδιοσυχνότητα, ενώ το ενισχυμένο πλαίσιο σε σχέση με το μη ενισχυμένο είχε 30% μεγαλύτερη ιδιοσυχνότητα.
- Η εφαρμογή της νέας τεχνικής ενίσχυσης οδήγησε σε βελτίωση της καθολικής απόκρισης του τοιχοπληρωμένου πλαισίου, τόσο σε όρους πλευρικής αντίστασης όσο και σε όρους ικανότητας παραμόρφωσης. Συγκεκριμένα, σημειώθηκε περίπου 55% αύξηση της μέγιστης τέμνουσας βάσης και της μετακίνησης κορυφής του πλαισίου στη μέγιστη τέμνουσα βάση.
- Το ενισχυμένο δοκίμιο ανάλωσε 22.5% περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με το δοκίμιο αναφοράς, για την ίδια ιστορία φόρτισης. Επιπλέον, η επιρροή της ενίσχυσης στην πλευρική δυσκαμψία ήταν τέτοια ώστε για σχετικά μικρά επίπεδα σχετικής μετακίνησης (μέχρι 0.5%) η δυσκαμψία σχεδόν διπλασιάστηκε στον 1^ο όροφο, ενώ για μεγαλύτερα επίπεδα σχετικής μετακίνησης το φαινόμενο αυτό περιορίστηκε.
- Η εφαρμογή των IAM σε ολόκληρη την επιφάνεια της τοιχοπλήρωσης πρέπει να συνοδεύεται με επαρκή σύνδεση μεταξύ της τοιχοπλήρωσης και των μελών ΟΣ του περιβάλλοντος πλαισίου. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει κυρίως από τη συμπεριφορά του μανδύα IAM πέρα από τα όρια μεταξύ τοιχοπλήρωσης-μελών ΟΣ. Η παρουσία των ειδικά διαμορφούμενων αγκυρίων ινών αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποδοτική στην καθυστέρηση ή ακόμη και στην αποφυγή της αποκόλλησης του μανδύα IAM.
- Ένας ελκυστήρας με διγραμμική συμπεριφορά σε εφελκυσμό και απλούς γραμμικούς υστερητικούς νόμους, μπορεί με κατάλληλη βαθμονόμηση να προσομοιώσει με πολύ καλή ακρίβεια την πραγματική συμβολή της ενίσχυσης στην καθολική απόκριση τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Το αναλυτικό σχήμα που προτείνεται οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα και αποτελεί ένα εργαλείο για μελλοντικές αναλύσεις τοιχοπληρωμένων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος.

Βιβλιογραφία

- Bournas, D., Lontou, P., Papanicolaou, C. G. and Triantafillou, T. C. (2007). “Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP confinement in reinforced concrete columns.” *ACI Struct. J.*, 104(6), 740-748.
- Fardis, M. N. (2009) “Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings: based on EN-Eurocode 8.” 1st ed., Springer, Netherlands.
- Koutas, L., Bousias, S. N. and Triantafillou, T. C. (2015a). “Seismic Strengthening of Masonry Infilled RC Frames with TRM: Experimental Study”, *ASCE J. Composites for Construction*, 19(2), 04014048-1.
- Koutas, L., Triantafillou, T. C. and Bousias, S. N. (2015b). “Analytical Modeling of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted with Textile Reinforced Mortar”, *ASCE J. Composites for Construction*, 19(5), 04014082.
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K., and Papathanasiou, M. (2007). “Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading.” *Mater. Struct.*, 40(10), 1081-1097.
- Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P., and Laourdekis, T. (2006). “Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets.” *ACI Struct. J.*, 103(1), 28-37.