

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ ΔΟΚΩΝ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Βαρβάρα Χαραλαμπίδη

Διδάκτορας Δ.Π.Θ., vcharal@civil.duth.gr

Θεόδωρος Ρουσάκης

Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ., trousak@civil.duth.gr

Αθανάσιος Καραμπίνης

Καθηγητής Δ.Π.Θ., karabin@civil.duth.gr

Εκτενής περίληψη

Η μειωμένη ικανότητα δοκών οδογεφυρών λόγω φορτίων κόπωσης αποτελεί σημαντικό πρόβλημα που οδηγεί στον περιορισμό της επιτελεστικότητάς τους στο χρόνο. Παρά την υψηλή απαιτητικότητα των πειραματικών ερευνών σε αυτόν τον τομέα, υπάρχουν αρκετές έρευνες που εξετάζουν τη δυνατότητα αύξησης του χρόνου ζωής των συγκεκριμένων δομικών στοιχείων μέσω ενίσχυσής τους με προηγμένα σύνθετα υλικά (Senthilnath et al. 2001, Papakonstantinou et al. 2001, Bizindavyi et al. 2003, Heffernan and Erki 2004, Aidoo et al. 2004, Gussenhoven and Brena 2005, Toutanji et al. 2006, Ekenel et al. 2006, Gheorgiu et al. 2007, Wang et al. 2007, Williams and Higgins 2008, Ferrier et al. 2011, Charalambidi et al. 2016, μεταξύ άλλων). Η παρούσα έρευνα αφορά στην πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς, κάτω από φορτίο κόπωσης, δοκών ωπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων έναντι ροπής και τέμνουσας με ελάσματα και υφάσματα ινωπλισμένων πολυμερών, αντίστοιχα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν δοκοί διαστάσεων διατομής 200x500 mm και μήκους 3050 mm, κατηγορίας σκυροδέματος C20/25 και χάλυβα B500C. Τα πειραματικά δοκίμια χωρίστηκαν σε δύο ομάδες και μελετήθηκε η απόκρισή τους κάτω από δύο διαφορετικά εύρη φόρτισης. Το φορτίο της πρώτης ομάδας αντιστοιχούσε στο 20% έως το 60% του φορτίου αστοχίας P_u της ενισχυμένης δοκού και το φορτίο της δεύτερης ομάδας, στο 20% του φορτίου αστοχίας P_u έως το 80% του φορτίου διαρροής P_y της ενισχυμένης δοκού. Στόχος ήταν η προσομοίωση δύο ευρών φόρτισης που να δηλώνουν α) τα φορτία νεκρά φορτία μιας γέφυρας (20% P_u), β) τα φορτία λειτουργίας της (60% P_u) και γ) τα κανονιστικά όρια σχεδιασμού (80% P_y) ενισχύσεων με ινωπλισμένα πολυμερή. Το φορτίο κόπωσης εφαρμόστηκε σε κάθε περίπτωση με συχνότητα 2Hz. Η καμπτική ενίσχυση πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές μεθόδους τοποθέτησης ελασμάτων ινωπλισμένων πολυμερών, τα εξωτερικά επικολλούμενα ελάσματα (EBR FRP) και τα ελάσματα εγκοπής (NSM FRP). Η καμπτική ενίσχυση των δοκών σχεδιάστηκε με σκοπό να επιφέρει αύξηση της καμπτικής τους ικανότητας κατά 30% περίπου. Για το λόγο αυτό, απαιτήθηκε εμβαδόν οπλισμού EBR FRP διπλάσιο από αυτό των ελασμάτων εγκοπής. Το εμβαδόν του εφελκόμενου χαλύβδινου οπλισμού παρέμεινε σε όλες τις περιπτώσεις ίδιο ίσο με $A_s=602.88 \text{ mm}^2$ (3Φ16). Συνεπώς, μελετήθηκε πειραματικά στα πλαίσια της παρούσας έρευνας η επιρροή της δυστένειας του χαλύβδινου οπλισμού ($k_s=A_sE_s$) σε σχέση με αυτή του οπλισμού ΙΩΠ ($k_f=A_fE_f$). Παρουσιάζεται και μελετάται η διάρκεια ζωής σε κύκλους φόρτισης των ενισχυμένων δοκών καθώς και ο τρόπος αστοχίας τους σε κόπωση ανάλογα με το επιβαλλόμενο εύρος φόρτισης και την μέθοδο ενίσχυσης. Τα

δοκίμια στα οποία επιβλήθηκε το χαμηλότερο εύρος φόρτισης σε κόπωση, έφτασαν επιτυχώς τα 2×10^6 κύκλους και πρακτικά δεν αστόχησαν. Όλα τα δοκίμια στα οποία επιβλήθηκε το υψηλότερο εύρος φόρτισης αστόχησαν σε λιγότερο από 1.5×10^6 κύκλους λόγω κόπωσης του εφελκόμενου χάλυβα (σχήματα 1 και 2). Εντούτοις, τα ελάσματα εγκοπής επέδειξαν βελτιωμένη συμπεριφορά στην αστοχία και δεν αποκολλήθηκαν από το σκυρόδεμα.



Σχ. 1 Όψη ανοίγματος δοκού έπειτα από αστοχία του χάλυβα σε κόπωση



Σχ. 2 Λεπτομέρεια αστοχίας του εφελκόμενου χάλυβα σε κόπωση

Βιβλιογραφία

- Aidoo, J., Harries, K. a., & Petrou, M. F. (2004). Fatigue Behavior of Carbon Fiber Reinforced Polymer-Strengthened Reinforced Concrete Bridge Girders. *Journal of Composites for Construction*, Vol.8, No 6, 501–509
- Bizindavyi L., Neale K.W., Erki M.A. (2003) Experimental investigation of bonded fiber reinforced polymer-concrete joints under cyclic loading. *Journal of Composites for Construction*. Vol.7, No 2, 127-134
- Charalambidi B., Rousakis T., Karabinis A. (2016). Fatigue behavior of large scale reinforced concrete beams strengthened in flexure with fiber reinforced polymer laminates. *Journal of Composites for Construction* 2016; DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000689
- Ekenel M., Rizzo A., Myers J.J., Nanni A. (2006) Flexural fatigue behavior of reinforced concrete beams strengthened with FRP fabric and procured laminate systems. *Journal of Composites for Construction*. Vol.10, No 5, 433-442
- Ferrier E., Bigaud D., Clément J.C., Hamelin P. (2011) Fatigue-loading effect on RC beams strengthened with externally bonded FRP. *Construction and Building Materials* 25, 539-546
- Gheorgiu C., Labossiere P., Proulx J. (2007) Response of CFRP strengthened beams under fatigue with different load amplitudes. *Construction and Building Materials* 21, 756-763
- Gussenhoven R., Brena S.F. (2005) Fatigue Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Different FRP Laminate Configurations. *Proceedings of the Seventh Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS7) Conference*, New Orleans, November 2005
- Heffernan P.J., Erki M.A. (2004) Fatigue Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber reinforced plastic laminates. *Journal of Composites for Construction*. Vol.8, No 2, 132-140
- Papakonstantinou C.G., Petrou M.F., Harries K.A. (2001) Fatigue behavior of RC beams strengthened with GFRP sheets. *Journal of Composites for Construction*. Vol. 5, No 4, 246-253
- Senthilnath P.S., Belarbi A., Myers J.J. (2001) Performance of CFRP Strengthened Reinforced Concrete Beams in the Presence of Delaminations and Lap Slices Under Fatigue Loading.

- Proceedings of the International Conference on Composites in Construction (CCC-2001), Porto, Portugal, October 2001, pp. 323-328
- Toutanji H., Zhao L., Deng Y., Zhang Y., Balaguru P. (2006) Cyclic behavior of RC beams strengthened with carbon fiber sheets bonded by inorganic matrix. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol.18, No1, 28-35
- Wang Y.C., Lee M.G., Chen B.C. (2007) Experimental study of FRP-strengthened RC bridge girders subjected to fatigue loading. *Composite Structures* 81, 491-498
- Williams G., Higgins C. (2008) Fatigue of diagonally cracked RC girders repaired with CFRP. *Journal of Bridge Engineering*. Vol.13, No1, 24-33