

## Αντισεισμική ενίσχυση υποστυλωμάτων με εγκάρσιους μανδύες σύνθετων υλικών

**Ευγενία Αναγνώστου**

*MSc Πολιτικός Μηχανικός, eanagno@civil.duth.gr*

**Θεόδωρος Ρουσάκης**

*Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ, trousak@civil.duth.gr*

**Αθανάσιος Καραμπίνης**

*Καθηγητής ΔΠΘ, karabin@civil.duth.gr*

### Εκτενής περίληψη

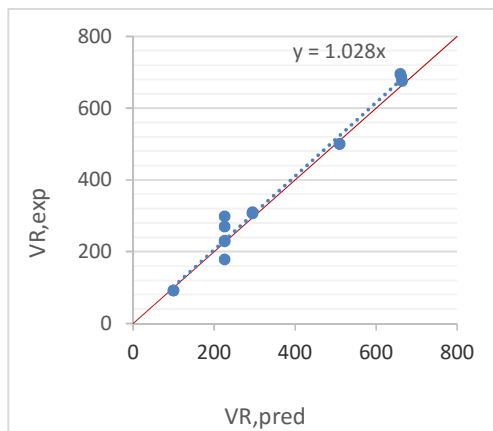
Τα υποστυλώματα θεωρούνται τα κρισιμότερα δομικά στοιχεία των κατασκευών ωπλισμένου σκυροδέματος. Ωστόσο πολλά από τα υφιστάμενα υποστυλώματα έχουν έμφυτες ανεπάρκειες και κρίνεται απαραίτητη η ενίσχυσή τους ώστε να ικανοποιούν τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Μια εναλλακτική τεχνική για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων έναντι τέμνουσας και για την αύξηση της πλαστιμότητας μετακινήσεων μέσω περισφιγξης, είναι η εξωτερική ενίσχυσή τους με μανδύες σύνθετων υλικών.

Η εξωτερική τοποθέτηση μανδύων ινωπλισμένων πολυμερών (Fiber Reinforced Polymers, FRP) στοχεύει στη σεισμική ενίσχυση υφιστάμενων υποστυλωμάτων από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Αυξάνει τη διατμητική ικανότητα των στοιχείων, περιορίζει τον κίνδυνο αστοχίας λόγω ολίσθησης των ματιζόμενων ράβδων [4-15] και περιορίζει αρκετά τον πρόωρο λυγισμό των διαμήκων ράβδων [6,12,15]. Περιορίζοντας τις παραπάνω ανεπιθύμητες μορφές αστοχίας και αυξάνοντας την πλαστιμότητα ανηγμένων παραμορφώσεων του σκυροδέματος, βελτιώνεται η στροφή αστοχίας του υποστυλώματος και εμφανίζει αυξημένη πλαστιμότητα μετακινήσεων [4-19].

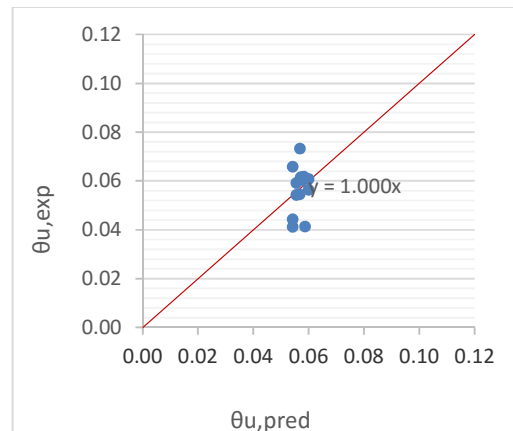
Οι υφιστάμενοι κανονισμοί επεμβάσεων προβλέπουν την ενίσχυση των υποστυλωμάτων με την τεχνική των εξωτερικά επικολλούμενων υφασμάτων (EC 8 part 3, ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της ακρίβειας των σχέσεων του EC8-3 [3] και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. [2] για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής και της γωνίας στροφής χορδής υποστυλωμάτων ΩΣ ενισχυμένων εξωτερικά με ινωπλισμούς. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται σε υποστυλώματα των οποίων οι διαμήκεις οπλισμοί ενώνονται με παράθεση καθώς και σε υποστυλώματα χωρίς παράθεση οπλισμών ενισχυμένα με υλικά υψηλής παραμόρφωσης αστοχίας (Large Rupture Strain - LRS). Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μια ευρεία βάση πειραματικών αποτελεσμάτων [4-19], 63 συνολικά υποστυλωμάτων της διεθνούς βιβλιογραφίας, τετραγωνικής ή ορθογωνικής διατομής και ανεπαρκείς λεπτομέρειες όπλισης, σε σχέση με τις απαιτήσεις των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών. Τα υποστυλώματα υποβλήθηκαν σε ένα ιστορικό φόρτισης που αποτελούνταν από επαναλαμβανόμενους κύκλους μετατοπίσεων αυξανόμενου εύρους μέχρι την αστοχία τους. Τα δοκίμια φορτίζονταν ταυτόχρονα κατά τη διεύθυνση του άξονά τους με σταθερό αξονικό φορτίο. Από τις καμπύλες οριζόντιας δύναμης – οριζόντιας μετακίνησης ελεύθερου άκρου, υπολογίστηκε η γωνία στροφής χορδής στην αστοχία, για μείωση οριζόντιας δύναμης κατά 20% έναντι της μέγιστης τιμής της.

Από την επεξεργασία των συγκεντρωμένων πειραματικών αποτελεσμάτων και τη σύγκρισή τους με τις σχέσεις των κανονισμών σχεδιασμού προκύπτει ότι το σφάλμα πρόβλεψης είναι σημαντικό. Παρατηρείται ότι οι σχέσεις των κανονισμών για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής είναι συντηρητικές και το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι 32.99% για τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και 58.60% για τις σχέσεις του EC8-3. Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των λόγων  $V_{R,pred}/V_{R,exp}$  είναι 0.68 και 0.25 για ΚΑΝ.ΕΠΕ. και 0.43 και 0.23 για EC8-3. Όσον αφορά τη γωνία στροφής χορδής, το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι 42.99% για ΚΑΝ.ΕΠΕ. και 38.77% για EC8-3, με μέση τιμή 0.76 για ΚΑΝ.ΕΠΕ. και 0.82 για EC8-3. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη βελτίωσης των σχέσεων ώστε να μπορούν να προβλέπονται με μεγαλύτερη ακρίβεια η διατμητική αντοχή και η γωνία στροφής χορδής. Οι Biskinis and Fardis [1], προτείνουν προσομοίωμα για τα υποστυλώματα με ματίσεις, που δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Το μέσο απόλυτο σφάλμα της  $V_R$  είναι 27.50%, για το λόγο  $V_{R,pred}/V_{R,exp}$  η μέση τιμή είναι 0.80 και η τυπική απόκλιση 0.28. Αντίστοιχα η  $\theta_u$  παρουσιάζει μέσο απόλυτο σφάλμα 34.64%, μέση τιμή  $\theta_{u,pred}/\theta_{u,exp}$  1.04 και τυπική απόκλιση 0.49.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται για τα ενισχυμένα υποστυλώματα με ματίσεις σπλισμών, ο υπολογισμός της διατμητικής αντοχής  $V_R$  λαμβάνοντας υπόψη την κράτυνση του χάλυβα, πολλαπλασιάζοντας την  $f_y$  με θεωρούμενη μέση τιμή 1.25. Προκύπτει μέσο απόλυτο σφάλμα 26.88%, μέση τιμή των λόγων  $V_{R,pred}/V_{R,exp}$  0.89 και τυπική απόκλιση 0.32. Για τη γωνία στροφής χορδής στην αστοχία,  $\theta_u$ , ο συνδυασμός των ακριβέστερων σχέσεων για υποστυλώματα με μάτιση σπλισμών δίνει μέσο απόλυτο σφάλμα 26.82%, μέση τιμή  $\theta_{u,pred}/\theta_{u,exp}$  0.87 και τυπική απόκλιση 0.33 για όλα τα δοκίμια. Για υποστυλώματα ενισχυμένα με LRS FRPs, εάν ληφθεί ομοίως υπόψη η κράτυνση του χάλυβα και η παραμόρφωση αστοχίας των LRS FRPs, το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι 7.89% για τη  $V_R$  με μέσο όρο λόγου  $V_{R,pred}/V_{R,exp}$  ίσο με 0.99. Αντικαθιστώντας στον υπολογισμό της γωνίας στροφής χορδής το συντελεστή 0.016 της σχέσης με 0.02347 και αξιοποιώντας την  $\epsilon_{ju}$  των υλικών το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι 12.93% για τη  $\theta_u$  με μέσο όρο λόγου  $\theta_{u,pred}/\theta_{u,exp}$  ίσο 1.03. Στα σχήματα 1 και 2 φαίνονται τα διαγράμματα  $V_{R,pred}-V_{R,exp}$  και  $\theta_{u,pred}-\theta_{u,exp}$  που προκύπτουν σύμφωνα με τις προτεινόμενες σχέσεις για υποστυλώματα ενισχυμένα με υλικά υψηλής παραμόρφωσης αστοχίας.



Σχ. 1: Διάγραμμα πειραματικής διατμητικής αντοχής και προβλεπόμενης διατμητικής αντοχής.



Σχ. 2: Διάγραμμα πειραματικής γωνίας στροφής χορδής και προβλεπόμενης γωνίας στροφής χορδής.

## Βιβλιογραφία

1. Biskinis D. and Fardis M. (2013), "Models for FRP-wrapped rectangular RC columns with continuous or lap-spliced bars under cyclic lateral loading." *Engineering Structures* 57, 2013, 199-212.
2. Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), 1η αναθεώρηση, Ο.Α.Σ.Π., Ιούλιος 2013.
3. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, 2005.
4. Saadatmanesh H., Ehsani M.R., and Jin L. (1997), "Repair of Earthquake-Damaged RC Columns with FRP Wraps", *ACI Structural Journal*, Vol. 94, No 2, March-April 1997, pp.206-214.
5. Ma and Xiao Y. (2000), "Full-scale testing of a parking structure column retrofitted with carbon fiber reinforced composites", *Construction and Building Materials*, 2000, Vol. 14, Issue 2, pp. 63-74.
6. Ghosh K.K., Sheikh S.A. (2007), "Seismic Upgrade with Carbon Fiber Reinforced Polymer of Columns Containing Lap-Spliced Reinforcing Bars", *ACI Structural Journal*, V.104, No. 2, March-April 2007, pp. 227-236.
7. Bousias S., Spathis A.-L., Fardis M.N. (2004), "Seismic Retrofitting of Columns with Lap Splices Through CFRP Jackets", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada August 1-6, Paper No. 765.
8. Bousias S., Spathis L-A, Fardis MN. (2007), "Seismic retrofitting of columns with lap spliced smooth bars through FRP or concrete jackets", *Journal of Earthquake Engineering*, 11:5, 2007, pp. 653-674.
9. Bournas D.A., Triantafyllou T.C. (2011), "Bond Strength of Lap-Spliced Bars in Concrete Confined with Composite Jackets", *Journal of Composites for construction*, Vol. 15, Issue 2, March-April 2011, pp. 157-167.
10. Eshghi S., Zanjanzadeh V. (2007), "Repair of Earthquake – Damaged Square R/C Columns with Glass Fiber – Reinforced Polymer", *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 5, No. 3, September 2007.
11. Eshghi S., Zanjanzadeh V. (2008), "Retrofit of slender square reinforced concrete columns with glass fiber-reinforced polymer for seismic resistance", *Iranian Journal of Science & Technology*, Transaction B, Engineering, Vol. 32, No. B5, pp 437-450
12. Faella C., Realfonzo R., Rizzano G. (2006), "Experimental Behaviour of R/C Columns Confined by FRP", *FIB, Proceedings of the 2nd International Congress*, Session 10, FRP reinforcement for new and existing structures, Naples, Italy, June 5-8 2006.
13. Realfonzo R., Napoli A. (2012), "Results from cyclic tests on high aspect ratio RC columns strengthened with FRP systems", *Elsevier, Construction and Building Materials* 37, 2012, 607-620.
14. El Gawady M., Endeshaw M., McLean D., Sack R. (2010), "Retrofitting of Rectangular Columns with Deficient Lap Splices", *ASCE, Journal of Composites for Construction*, 2010, pp. 22-35.
15. Yalcin C, Kaya O. (2004), "An experimental study on the behaviour of reinforced concrete columns using FRP materials", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, 2004. Paper No.919.
16. Anggawidjaja D., Ueda T., Dai J., Nakai H. (2006), "Deformation capacity of RC piers wrapped by new fiber-reinforced polymer with large fracture strain", *Elsevier, Cement & Concrete Composites* 28, 2006, 914-927.
17. Dai J., Lam L., Ueda T. (2012), "Seismic retrofit of square RC columns with PET fibre reinforced polymer composites", *Elsevier, Construction and Building Materials* 27, 2012, pp.206-217.
18. Jirawattanasomkul T., Dawei Z., Ueda (2013) T. (2013), "Prediction of the post-peak behavior of reinforced concrete columns with and without FRP-jacketing", *Engineering Structures* 56, 2013, pp.1511-1526.
19. Kwon M., Seo H., Kim J. (2016), "Seismic Performance of RC-Column Wrapped with Velcro", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol.58, Issue 2, 2016, pp. 379-395.