

Υποστυλώματα ΩΣ Περισιγμένα με Σύνθετα Σχοινιά και Υφάσματα ΙΩΠ – Ικανότητα Ανακατανομής Σεισμικών Βλαβών

Θεόδωρος Χ. Ρουσάκης

*Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (Δ.Π.Θ), Ξάνθη. E-mail: trousak@civil.duth.gr*

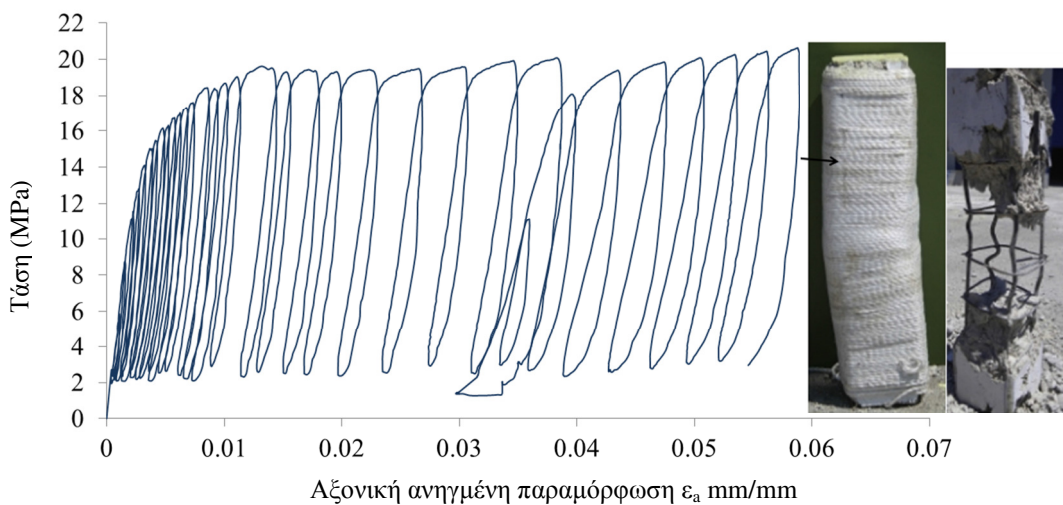
Εκτενής περίληψη

Η ανανηπτικότητα (resilience) είναι μια διεπιστημονική έννοια και ορίζεται ως «η ικανότητα να προετοιμαστεί και να σχεδιαστεί η απορρόφηση, απάντηση, ανάκαμψη από και πιο πετυχημένα η προσαρμογή σε δυσμενή συμβάντα» (NAC 2012). Καλύπτει διάφορους τομείς όπως την οικολογία, την επιστήμη των υλικών και τον περιορισμό των καταστροφών. Σε ό, τι αφορά το δομημένο περιβάλλον (Bocchini and Frangopol 2012, 2013, Bruneau et al. 2003 μεταξύ άλλων), υπάρχει η ανάγκη για βελτιωμένη επιτελεστικότητα κατά τη διάρκεια και μετά από ένα συμβάν υψηλού κινδύνου που διακόπτει την ομαλή λειτουργία και χρήση του. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν ποσοτικές προσεγγίσεις ώστε να αξιολογηθεί η δυνατότητα ανανηπτικότητας (αυτοαποκατάστασης) του δομημένου περιβάλλοντος στο επίπεδο των κατασκευών, των κρίσιμων συστημάτων υποδομών και ολόκληρων κοινοτήτων. Η παρούσα μελέτη περιορίζεται σε δυσμενείς επιπτώσεις σε κατασκευές λόγω σεισμού και πιο συγκεκριμένα αναδεικνύει την ικανότητα ανακατανομής βλαβών σε υποστυλώματα ωπλισμένου σκυροδέματος (ΩΣ), ενισχυμένα με σύνθετα υλικά. Η ικανότητα ανακατανομής βλαβών σε επίπεδο δομικών στοιχείων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην ανανηπτικότητα (resilience) σε επίπεδο κατασκευών κλπ.

Η παρούσα μελέτη αναδεικνύει ορισμένες δομικές πτυχές της συγκριτικής ποιοτικής και ποσοτικής αποτίμησης της εγγενούς ανανηπτικότητας (resilience) των υποστυλωμάτων ΩΣ σε υφιστάμενες κατασκευές ενισχυμένες με μη επικολλούμενα σύνθετα υλικά. Η έρευνα περιορίζεται στην ικανότητα των υποστυλωμάτων να διατηρήσουν την αντοχή τους σε αξονικό φορτίο. Οι Echevarria et al. (2015), αναγνωρίζουν την κρισιμότητα του ζητήματος αυτού, όπως για παράδειγμα, μετά από ένα σεισμό μια γέφυρα μπορεί να είναι ακόμα σε χρήση για τη διέλευση διασωστών και οχημάτων έκτακτης ανάγκης προς συγκεκριμένες περιοχές που επλήγησαν. Αυτό, μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ανανηπτικότητα σε επίπεδο κατασκευών και σε κοινωνικό επίπεδο. Ομοίως, κρίσιμες υποδομές ωπλισμένου σκυροδέματος όπως Νοσοκομεία, Πυροσβεστικοί Σταθμοί και Κέντρα Διοίκησης μπορεί να απαιτούν παρόμοια επίπεδα επιτελεστικότητας ως σύνολο, προκειμένου να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Στην παρούσα μελέτη το ενισχυμένο υποστυλώμα ΩΣ θεωρείται κυρίως ως υποσύστημα με ικανότητα ανακατανομής των βλαβών που αποτελεί κρίσιμο συστατικό της κατασκευής, η οποία ανήκει σε ένα δίκτυο υποδομών ζωτικής σημασίας για να εκπληρώσει τις απαιτήσεις ανανηπτικότητας. Ωστόσο, η έρευνα εξετάζει επίσης χαρακτηριστικά ικανότητας ανακατανομής των βλαβών σε επίπεδο υλικών και διατομών εντός του υποσυστήματος.

Στην παρούσα εργασία η ανανηπτικότητα σε επίπεδο ενισχυμένων υποστυλωμάτων ΩΣ, ερμηνεύεται ως η ικανότητα να: απορροφά, αντιστέκεται, να ανακάμπτει από και με μεγαλύτερη επιτυχία να προσαρμόζεται στις σεισμικές υπερκαταπονήσεις (σε όρους φορτίου ή μετακινήσεων) σε σχέση με οριακές καταστάσεις που απαιτούνται από το σχεδιασμό. Η μελέτη αυτή περιορίζεται στις περιπτώσεις υποστυλωμάτων επανασχεδιασμένων ώστε να ξεπεραστούν οι παραπάνω προκλήσεις με

αυξημένη πλαστιμότητα μετακινήσεων, μέσω εξωτερικής περίσφιγξης του σκυροδέματος. Η ικανοποιητική απομένουσα ικανότητα σε αξονικό φορτίο σε υψηλά επίπεδα πλαστιμότητας μετακινήσεων απαιτεί την αποφυγή ψαθυρών τύπων αστοχίας όπως: διατμητική αστοχία σκυροδέματος, αστοχία σκυροδέματος σε θλίψη, πρόωρος λυγισμός ράβδων χάλυβα σε θλίψη και απώλεια επικάλυψης, σχετική ολίσθηση των ράβδων σε ενώσεις, αστοχία αγκύρωσης χαλύβδινων συνδετήρων και πρόωρη θραύση εξωτερικής ενίσχυσης FRP, ώστε να διασφαλιστεί η διαρροή του διαμήκους χάλυβα και η πλήρης αξιοποίησή του κατά την κράτυνση και έως την εμφάνιση φαινομένων γενικής αστάθειας δομικού μέλους. Στα προαναφερόμενα μπορεί να συνεισφέρει η ενίσχυση των υποστυλωμάτων ΩΣ με σχοινιά σύνθετων υλικών υψηλής παραμόρφωσης αστοχίας χωρίς τη χρήση ρητινών επικόλλησης ή εμποτισμού (Rousakis 2014, Rousakis and Tourtouras 2014) ή με υβριδικές ενισχύσεις υφασμάτων και σχοινιών σύνθετων υλικών (Rousakis 2013, Rousakis et al. 2014) που εμφανίζουν εξαιρετική ικανότητα ανακατανομής των βλαβών (ακόμη και όταν είναι προεντεταμένα). Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται το υποστύλωμα ωπλισμένου σκυροδέματος τετραγωνικής διατομής 500PPL4 από τη μελέτη Rousakis and Tourtouras (2014), περιτυλιγμένο με σχοινί πολυπροπυλενίου (PPFR) καθώς και η καμπύλη τάσεων - αξονικών ανηγμένων παραμορφώσεων του. Το υποστύλωμα παρουσιάζει εκτεταμένο γενικό λυγισμό σε επίπεδο στοιχείου, τοπικό λυγισμό διαμήκων ράβδων σε διαφορετικά σημεία, τοπική διόγκωση του πυρήνα σκυροδέματος σε διαφορετικά σημεία και άθικτο το σχοινί σύνθετου υλικού.



Σχ. 1 Υποστύλωμα ΩΣ 500PPL4 περισφιγμένο με σύνθετο σχοινί PPFR.

Το υποστύλωμα 500PPL4 συνεχίζει να φέρει αυξανόμενο αξονικό φορτίο για θλιπτικές ανηγμένες παραμορφώσεις περίπου 0.06 (βλέπε σχήμα 1). Το πείραμα σταμάτησε πρόωρα για λόγους ασφαλείας χωρίς πτώση φορτίου ή θραύση του PPFR. Επίσης, επεξεργάζονται περαιτέρω τα αποτελέσματα από τη χρήση σχοινιών και ταινιών μικρότερης παραμόρφωσης αστοχίας (Rousakis 2016). Τέλος, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ανανηπτικότητας – ανακατανομής των βλαβών από παρόμοια πειράματα σε πλαίσια ΩΣ ενισχυμένα με αυτοαγκυρούμενες ταινίες Velcro.

Οι επεξεργασίες βασίζονται στο αναλυτικό προσομοίωμα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων για υποστυλώματα ΩΣ κυκλικής ή μη κυκλικής διατομής (Rousakis and Tourtouras 2015) με διπλή περίσφιγξη εσωτερικών χαλύβδινων συνδετήρων και εξωτερικού ελαστικού υλικού (υφάσματα, σχοινιά, προεντεταμένα ή μη). Το συγκεκριμένο προσομοίωμα χρησιμοποιείται για την ποσοτική

αποτίμηση της ανανηπτικότητας περισφιγμένου σκυροδέματος και αποδίδει και τη συμπεριφορά απομειούμενης αναλαμβανόμενης τάσης για αυξημένες παραμορφώσεις (softening behavior), η οποία είναι χαρακτηριστική για υποστυλώματα μεγάλης κλίμακας.

Από την κριτική ανασκόπηση προκύπτει ότι η εγγενής ανανηπτικότητα του σκυροδέματος περισφιγμένου με σύνθετα σχοινιά οφείλεται στην παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος, στην ικανότητα ανακατανομής των ανηγμένων παραμορφώσεων από το εύκαμπτο και μη επικολημένο σχοινί και στην πολύ υψηλή παραμόρφωση αστοχίας του σχοινιού χωρίς θραύση. Πρόσθετα χαρακτηριστικά ανανηπτικότητας είναι η πολύ χαμηλή ευαισθησία του σχοινιού σε βλάβες λόγω ρηγμάτωσης του σκυροδέματος και η θραύση του σχοινιού χαμηλής παραμόρφωσης αστοχίας κλώνο-κλώνο.

Προκύπτει μια νέα προσέγγιση σχεδιασμού στοχεύοντας σε αναβαθμισμένη εγγενή ανανηπτικότητα παρόμοιων δομικών υποσυστημάτων. Υποσυστήματα με ασθενή κρίκο επιρρεπή σε μοιραία συσσώρευση βλάβης μπορούν να επιτύχουν αυξημένη εγγενή ανανηπτικότητα μέσω της ομοιόμορφης ανακατανομής των βλαβών μέσα στη μάζα του πυρήνα ανάληψης του φορτίου (ασθενής κρίκος) χρησιμοποιώντας κατάλληλη εξωτερική περίσφιξη με ελαστικά μη επικολούμενα σχοινιά ή ταινίες.

Βιβλιογραφία

- Bocchini, P., and Frangopol, D. M. (2012). "Restoration of bridge networks after an earthquake: multi-criteria intervention optimization." *Earthq. Spectra*, 28(2), 427–455.
- Bocchini, P., and Frangopol, D. M. (2013). "Optimal resilience- and cost-based post-disaster intervention prioritization for bridges along a highway segment." *J. Bridge Eng.*, 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592 .0000201, 1–13.
- Bruneau M, Chang SE, Eguchi RT, Lee GC, O'Rourke TD, Reinhorn AM, Shinozuka M, Tierney K, Wallace WA, Winterfeldt DV. (2003). "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities." *Earthquake Spectra* 2003;19:733–52.
- Echevarria, A., Zaghi, A. E., Christenson, R., & Accorsi, M. (2015). "CFFT Bridge Columns for Multihazard Resilience", *Journal of Structural Engineering*, C4015002. doi:10.1061/(ASCE)st.1943-541x.0001292
- Rousakis, T. (2014). "Elastic Fiber Ropes of Ultrahigh-Extension Capacity in Strengthening of Concrete Through Confinement." *J. Mater. Civ. Eng.*, 26(1), 34–44.
- Rousakis, T. (2013). "Hybrid Confinement of Concrete by FRP Sheets and Fiber Ropes Under Cyclic Axial Compressive Loading." *ASCE, J. Compos. Constr.*, 17(5), 732–743.
- Rousakis T.C., Kouravelou K.B., Karachalios T.K. (2014). "Effects of Carbon Nanotube Enrichment of Epoxy Resins on Hybrid FRP - FR Confinement of Concrete." Elsevier, *Journal of Composites Part B: Engineering*. Volume 57, February 2014, Pages 210-218.
- Rousakis T.C., Tourtouras I.S. (2014). "RC Columns of Square Section – Passive and Active Confinement with Composite Ropes." Elsevier, *Journal of Composites Part B: Engineering*. Volume 58, March 2014, pages 573-581.
- Rousakis, T. C., Tourtouras, I. S. (2015). "Modeling of passive and active external confinement of RC columns with elastic material." *ZAMM Journal*, by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. V.95 (10) pp. 1046 – 1057. Article first published online: 6 AUG 2015. DOI: 10.1002/zamm.201500014.
- Rousakis T.C. (2016). "Reusable and recyclable nonbonded composite tapes and ropes for concrete columns confinement." Elsevier, *Journal of Composites Part B: Engineering* (2016), doi: 10.1016/j.compositesb.2016.08.003.