

Μεταφορά τέμνουσας σε διεπιφάνειες Ωπλισμένου Ελαφροσκυροδέματος

Χρήστος Ζέρης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., zeris@central.ntua.gr

Βασιλική Παλιεράκη

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., vasopal@central.ntua.gr

Γιώργος Μάνος

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., gmanos007@gmail.com

Εκτενής περίληψη

Το κισηρόδεμα (ΚΔ), δηλαδή το σκυρόδεμα του οποίου τα αδρανή έχουν αντικατασταθεί μερικώς ή πλήρως από κίσηρη, είναι ένα υλικό με σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση το συνήθους πυκνότητας σκυρόδεμα (ΣΠΣ) όσον αφορά τα μηχανικά του χαρακτηριστικά. Επί πλέον, όπως προέκυψε από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ, το ΚΔ παρουσιάζει δυσμενέστερη συμπεριφορά όσον αφορά τα μηχανικά του χαρακτηριστικά σε διάτμηση, συγκριτικά με το ΣΠΣ.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι αναγκαία η πραγματοποίηση νέας στρώσης σκυροδέματος σε υφιστάμενο σκυρόδεμα, όπως σε καμπτικές ενισχύσεις δοκών και πλακών για την αύξηση του στατικού ύψους, σε ενισχύσεις πλαισιωτών φορέων με διατμητικά τοιχώματα, σε μανδύες υποστυλωμάτων για την αύξηση της περίσφιγξης και της μείωσης των αξονικών τάσεων, σε αρμούς σκυροδέτησης ή στη βάση τοιχιών.

Στις περιπτώσεις ενισχύσεων η χρήση ΕΣ είναι πλεονεκτική καθώς το μικρότερο του βάρους επιτρέπει τη χρησιμοποίησή του εκεί που η χρήση ΣΠΣ είναι ανέφικτη λόγω μη-ικανής παραλαβής των νέων φορτίων από τη θεμελίωση. Παράλληλα, λόγω του γεγονότος ότι το ΕΣ προσφέρεται για εφαρμογές προκατασκευής, καθώς το μικρότερο του βάρους επιτρέπει την ευκολότερη μεταφορά του, χρησιμοποιείται στην γεφυροποιία. Εκεί, διεπιφάνειες σκυροδέματος με σκυρόδεμα δημιουργούνται όταν προκατασκευασμένες πλάκες τοποθετούνται πάνω σε προκατασκευασμένες δοκούς, ή όταν χρησιμοποιούνται διατομές «σάντουιτς», με τις ακραίες στρώσεις από υψηλής αντοχής ΣΠΣ και την ενδιάμεση από ΕΣ, για τη μείωση των φορτίων της κατασκευής.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις η μονολιθικότητα της διεπιφάνειας δεν είναι δεδομένη και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους, όσον αφορά την ικανότητα ανάπτυξης διατμητικών τάσεων και την ολίσθηση μεταξύ τους, αποκτούν μεγάλη σημασία.

Τα υπάρχοντα πειραματικά δεδομένα για το ΚΔ δεν είναι αρκετά προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την συμπεριφορά των διεπιφανειών σε διατμητική φόρτιση. Διεπιφάνειες από ΚΔ αναμένεται να παρουσιάσουν μάλλον υποδεέστερη συμπεριφορά όσον αφορά τη διατμητική τους αντίσταση. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι η διατμητική αντοχή του ΚΔ, είναι μικρότερη από αυτήν του ΣΠΣ. Επί πλέον, καθώς τμήμα της συνολικής διατμητικής αντίστασης της διεπιφάνειας προέρχεται από τη διατμητική αντίσταση των σωματιδίων της κίσηρης που προεξέχουν της διεπιφάνειας, η μειωμένη αντοχή της κίσηρης σε σύγκριση με τα συνήθη αδρανή θα προκαλέσει μειωμένη διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας.

Η ανάλυση της δομής του ελαφροσκυροδέματος (ΕΣ) σε μεσοσκοπική κλίμακα έδειξε ότι, όταν η αντοχή του ελαφροαδρανούς (ΕΑ) είναι μικρότερη από αυτήν της τσιμεντόπαστας, οι αναπτυσσόμενες εσωτερικές ρωγμές όταν το ΕΣ προσεγγίζει τη μέγιστη θλιπτική του φέρουσα ικανότητα τείνουν να διέλθουν όχι μέσω της τσιμεντόπαστας, όπως παρατηρείται στο ΣΠΣ, αλλά μέσω των ΕΑ. Η μορφή αυτή της εσωτερικής ρηγμάτωσης σημαίνει ότι δεν καμπυλώνονται οι τροχιές των ρωγμών όπως στο ΣΠΣ, το οποίο στο ΣΠΣ συμβαίνει για να παρακαμφθούν τα σωματίδια του αδρανούς και συνεπώς οι ρωγμές είναι κάθετες και λείες. Το αποτέλεσμα είναι και στις διεπιφάνειες να αναμένεται ευκολότερη λείανση και τελικά μικρότερη διατμητική αντοχή.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διερεύνησης των χαρακτηριστικών που αφορούν στην διάτμηση και στην ολίσθηση μεταξύ ωπλισμένων διεπιφανειών από ΚΔ όταν αυτές υποβάλλονται σε σταδιακά αυξανόμενα και ανακυκλιζόμενα φορτία. Οι διεπιφάνειες ενισχύονται με ράβδους οπλισμού, οι οποίες τις διαπερνούν κάθετα και αγκυρώνονται και στις δύο πλευρές εκατέρωθεν των διεπιφανειών.

Τα δοκίμια που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, σκυροδετούνται σε δύο φάσεις, ώστε να δημιουργηθεί η διεπιφάνεια (Σχ. 1). Οι μελετώμενες παράμετροι (Πίνακας 1) επιλέχθηκαν με βάση τα αποτελέσματα παλαιότερων δοκιμών, οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ (Ζέρης et al., 2011, Παλιεράκη, 2014) και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτές τις δοκιμές. Επιλέχθηκαν διάμετροι ράβδων Φ8 και Φ12, οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνότερα στις ενισχύσεις. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν σε όλες τις περιπτώσεις κισηρόδεμα, αντοχής 34MPa. Στο κισηρόδεμα δύο δοκιμίων έγινε προσθήκη ιών χάλυβα, προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή τους στη συμπεριφορά της διεπιφάνειας.

Δεδομένου ότι στις περισσότερες περιπτώσεις επεμβάσεων, το μήκος αγκύρωσης του οπλισμού εκατέρωθεν της διεπιφάνειας είναι μικρότερο από αυτό που απαιτείται για την πλήρη αγκύρωσή του, επιλέχθηκε η μελέτη διεπιφανειών με ράβδους μικρού μήκους εμπήξεως. Δοκιμές που είχαν πραγματοποιηθεί στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ζέρης et al., 2011), έδειξαν ότι σε δοκίμια κατασκευασμένα με συμβατικό σκυρόδεμα, μήκος αγκύρωσης ίσο με 20 φορές την διάμετρο του οπλισμού, επαρκεί για την πλήρη αγκύρωσή τους. Τα 5 από τα δοκίμια που δοκιμάζονται έχουν μήκος αγκύρωσης ίσο με 20Φ, ενώ το ένα δοκίμιο έχει ράβδους μήκους ίσου με 12.5Φ.

Σε ένα δοκίμιο ασκείται εξωτερική θλιπτική τάση η οποία δρα κάθετα στην διεπιφάνεια ίση με 1.0MPa. Σε όλα τα δοκίμια, η ανακυκλιζόμενη ολίσθηση που επιβάλλεται στην διεπιφάνεια κατά τους πρώτους τρεις κύκλους είναι ίση με $\pm 0.1\text{mm}$ και, στη συνέχεια αυξάνεται το εύρος των ολισθήσεων και πραγματοποιούνται τρεις κύκλοι σε κάθε στάθμη επιβαλλόμενης ολίσθησης.

Κατά τις δοκιμές, σε όλα τα δοκίμια, άνοιξε ρωγμή κατά μήκος της διεπιφάνειας, ανάμεσα στα δύο τμήματα σκυροδέματος, και ήταν ορατή με γυμνό μάτι στα περισσότερα δοκίμια, για ολισθήσεις ίσες με 0.1mm έως 0.2mm. Τα δοκίμια τα οποία ήταν κατασκευασμένα με ΚΔ με ίνες χάλυβα, έφτασαν σε σημαντικά μεγαλύτερες τιμές της επιβαλλόμενης ολίσθησης, καθώς και σε μεγαλύτερες τιμές της αντίστασης της διεπιφάνειας. Για το δοκίμιο με αξονική δύναμη κάθετα στη διεπιφάνεια, το άνοιγμα της ρωγμής παραμένει εν γένει μικρό, καθώς εμποδίζεται από την αξονική δύναμη.

Στο Σχ. 2 φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης για ορισμένες από τις διεπιφάνειες. Τα χαρακτηριστικά είναι τυπικά της συμπεριφοράς στοιχείων ευαίσθητων σε διάτμηση. Παρατηρείται έντονη στένωση των βρόχων υστέρησης περί την αρχή των αξόνων, σε συνδυασμό με μικρό εμβαδόν των βρόχων υστέρησης και μεγάλη απομείωση της δύναμης απόκρισης, λόγω της ανακύκλισης. Τα χαρακτηριστικά αυτά εμφανίζονται εντονότερα για μειωμένο μήκος εμπήξης των ράβδων, για μικρότερη διάμετρο ράβδων, για τις δοκιμές στις οποίες δεν ασκείται αξονική δύναμη κάθετη στη

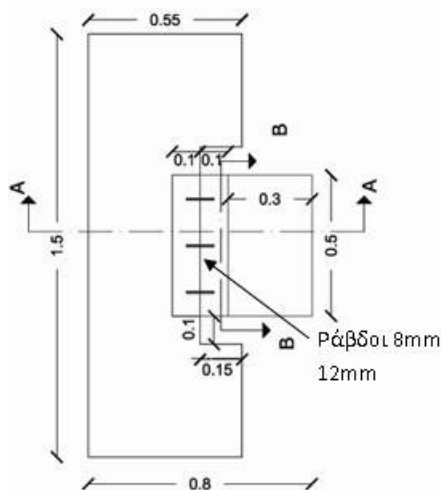
διεπιφάνεια, αλλά και για μεγαλύτερες τιμές της επιβαλλόμενης ολίσθησης. Για μικρές τιμές της επιβαλλόμενης ολίσθησης, η μείωση της απόκρισης δεν είναι πολύ έντονη, ενώ τα διαγράμματα είναι σχεδόν γραμμικά, και η αποφόρτιση ακολουθεί σχεδόν την ίδια διαδρομή με την φόρτιση.

Η μέγιστη διατμητική απόκριση της διεπιφάνειας ενεργοποιήθηκε για τιμές της διατμητικής μετατόπισης που κυμαίνονταν από 0.28mm έως 1.00mm στην πρώτη κατεύθυνση φόρτισης, και για τιμές που κυμαίνονταν από 0.27mm έως 2.00mm στη δεύτερη κατεύθυνση φόρτισης.

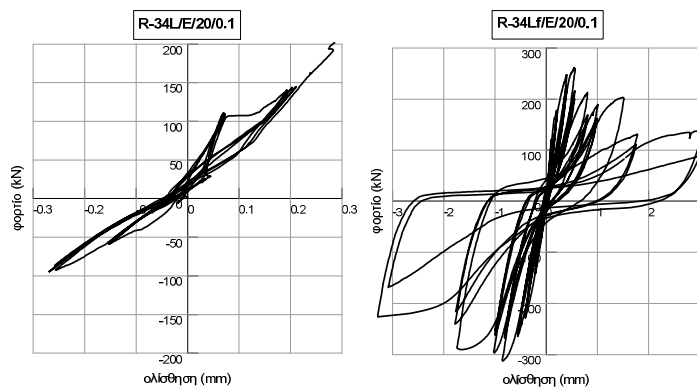
Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών σε δοκίμια κατασκευασμένα από ΚΔ. Παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι βρόχοι υστέρησης και η μέγιστη διατμητική αντίσταση, η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε κύκλο, το εγκάρσιο άνοιγμα ρωγμής και οι εφελκυστικές παραμορφώσεις των ράβδων που διαπερνούν τη διεπιφάνεια. Γίνεται σύγκριση των δοκιμών που παρουσιάζονται αναλυτικά εδώ, με δοκίμια συμβατικού σκυροδέματος, τα οποία είχαν δοκιμαστεί παλιότερα, στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά και απόκριση των δοκιμών που παρουσιάζονται.

a/a	Δοκίμιο	Πλήθος και Διάμετρος Ράβδων/Ποσοστό Οπλισμού/ Μήκος αγκύρωσης ανηγμένο στην διάμετρο της ράβδου	$\tau_{u,exp}$ (N/mm ²)
1	R-34L/E/20/0.1	3Φ12/0.0068/20	2.92
2	NR-34L/E/20/0.1	3Φ12/0.0068/20	3.91
3	R-34L/E/12/0.1	3Φ12/0.0068/12.5	2.87
4	R-34L/B/20/0.1	3Φ8/0.003/20	3.11
5	R-34Lf/B/20/0.1	3Φ8/0.003/20	3.39
6	R-34Lf/E/20/0.1	3Φ12/0.0068/20	5.74



Σχ. 1 Γεωμετρία των δοκιμών.



Σχ. 2 Τυπικοί βρόχοι υστέρησης.

Βιβλιογραφία

- Ζέρης Χ., Παλιεράκη Β., Σφήκας Ι. (2011), «Διερεύνηση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς οπλισμένων διεπιφανειών σκυροδέματος σε επισκευασμένα/ ενισχυμένα στοιχεία», *Τελική Έκθεση Προγράμματος ΠΕΒΕ, ΕΜΠ*, Αθήνα, 2011.
- Παλιεράκη Β. (2014), «Σεισμική Συμπεριφορά Ωπλισμένων Διεπιφανειών σε Επισκευασμένα/ Ενισχυμένα Στοιχεία Ωπλισμένου Σκυροδέματος», *Διδακτορική Διατριβή*, ΕΜΠ, Απρίλιος 2014.