

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:

**ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΕΣ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ Η ΕΝΙΣΧΥΣΗ**

ΑΝΑΘΕΣΗ:
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ:
ΜΙΧΑΗΛ Α. ΚΩΤΣΟΒΟΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ,
ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος

Το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα εκπονήθηκε στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος (ΕΟΣ) του ΕΜΠ και είχε ως στόχο την ανάπτυξη μιας νέας μεθόδου σχεδιασμού που να εξασφαλίζει τις απαιτήσεις του αντισεισμικού σχεδιασμού για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο.Σ.) με δεδομένη φέρουσα ικανότητα και επαρκή πλαστιμότητα. Πρόσθετος στόχος του προγράμματος ήταν η μέθοδος αυτή να μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για το σχεδιασμό νέων, όσο και για την επισκευή ή ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών.

Η νέα αυτή μέθοδος, η εφαρμογή της οποίας έγινε μέσα στο πλαίσιο της λογικής των “οριακών καταστάσεων αστοχίας”, αντικατέστησε το κλασικό προσομοίωμα του δικτυώματος (Δ) το οποίο στηρίζει τις ισχύουσες μεθόδους σχεδιασμού, με φυσικά προσομοιώματα τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της “τροχιάς της θλιπτικής δύναμης” (ΤΘΔ). Σε αντίθεση με το προσομοίωμα Δ , τα φυσικά προσομοιώματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου ΤΘΔ είναι απολύτως συμβιβαστά με τη συμπεριφορά του σκυροδέματος (όπως αυτή περιγράφεται από έγκυρα πειραματικά αποτελέσματα) τόσο σε επίπεδο υλικού, όσο και σε επίπεδο κατασκευής.

Μεθοδολογία

Η εφαρμογή της μεθόδου ΤΘΔ για το σχεδιασμό φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα βασίζεται στη χρήση ενός φυσικού προσομοιώματος το οποίο προκύπτει από τον προσδιορισμό των περιοχών του φορέα μέσω των οποίων το εξωτερικό φορτίο μεταφέρεται στις στηρίξεις. Με κατάλληλη ενίσχυση των περιοχών αυτών επιτυγχάνονται οι στόχοι του αντισεισμικού σχεδιασμού για δεδομένες τιμές φέρουσας ικανότητας και η πλαστιμότητα.

Για την περίπτωση ενός πλαισιακού φορέα, το φυσικό προσομοίωμα αποτελείται από επιμέρους προσομοιώματα των τμημάτων του φορέα μεταξύ διαδοχικών σημείων καμπής, όπου τα επιμέρους αυτά προσομοιώματα συνδέονται μεταξύ τους. Ως περιοχές σύνδεσης των επιμέρους προσομοιωμάτων, οι περιοχές των σημείων καμπής έχουν μια ουσιαστική συμβολή στη μεταφορά των εξωτερικών φορτίων στις στηρίξεις και, συνεπώς, απαιτείται έλεγχος της επάρκειας της αντοχής τους. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη της μεθόδου η οποία αποτέλεσε το αντικείμενο του παρόντος ερευνητικού προγράμματος, θεωρήθηκε αναγκαίο να προκύψει από τη μελέτη συμπεριφοράς ραβδωτών δομικών στοιχείων στα οποία το ασκούμενο φορτίο προκαλεί τη δημιουργία σημείων καμπής. Τέτοιου τύπου είναι εξάλλου η συμπεριφορά των πραγματικών δομικών στοιχείων τα οποία υπόκεινται σε έντονες σεισμικές καταπονήσεις.

Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, τα δοκίμια που επιλέγηκαν για το πειραματικό σκέλος της εργασίας ήταν απλά εδραζόμενα ραβδωτά στοιχεία, σταθερής διατομής, δύο ανοιγμάτων. Υποβλήθηκαν σε ένα συνδυασμό αξονικά επιβαλλόμενης σταθερής θλιπτικής δύναμης και εγκάρσιας μεταβαλλόμενης δύναμης. Η μορφή των δοκιμίων και ο τρόπος επιβολής του εγκάρσιου φορτίου επιλέχθηκαν έτσι ώστε, με χρήση απλής σχετικά εργαστηριακής διάταξης, να προκύπτουν σε επιμέρους τμήματα του φορέα διαγράμματα εντατικών μεγεθών αντίστοιχα με αυτά που προκαλούνται από το σεισμό.

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές βασίστηκε στη χρήση τριών μεταλλικών δοκών, ισχυρής διατομής διπλού Τ, ακλόνητα συνδεδεμένων με το εργαστηριακό δάπεδο, παράλληλων μεταξύ τους και εγκάρσια τοποθετημένων ως προς την διαμήκη διεύθυνση των δοκιμίων, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις

εδράσεις των δοκιμίων, μέσω καταλλήλων παρεμβλημάτων που εξασφαλίζουν την λειτουργία αρθρώσεων ή απλών εδράσεων, ανεξάρτητα από την φορά της φόρτισης και των αντιδράσεων. Το εγκάρσιο φορτίο επιβαλλόταν με τη χρήση υδραυλικού γρύλου της MTS, με δυνατότητα επιβολής φορτίου ± 500 kN. Το απαιτούμενο αξονικό φορτίο επιβαλλόταν με τη χρήση κοινού γρύλλου μέσω δύο σιδηρών ράβδων υψηλής αντοχής, πλακών έδρασης και συστήματος ελατηρίων, με ακρίβεια της τάξης του ± 1 kN.

Η φόρτιση ήταν μονότονη ή ανακυκλιζόμενη, υπό την ταυτόχρονη επιβολή αξονικής δύναμης $N = 315$ kN. Πρώτα επιβαλλόταν η N , η οποία παρέμενε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, και στη συνέχεια η εγκάρσια δύναμη P . Η P αύξανε σταθερά μέχρι τη θραύση, προκειμένου για μονότονη φόρτιση ή μεταβαλλόταν έτσι ώστε να επιβάλλονται προκαθορισμένες εγκάρσιες μετακινήσεις, διαδοχικά αυξανόμενες, μέχρι τη θραύση, προκειμένου για εναλλασσόμενη φόρτιση.

Οι πειραματικές δοκιμές εντάχθηκαν σε τρεις σειρές πειραμάτων, ως ακολούθως:

Σειρά Α - Δοκίμια σχεδιασμένα σύμφωνα με το προσομοίωμα Δ , στο οποία στηρίζονται οι ισχύοντες κανονισμοί ή με τη μέθοδο ΤΘΔ φορτίστηκαν μέχρι αστοχίας και η συμπεριφορά τους συγκρίθηκε με αυτή που προβλέπουν οι μέθοδοι σχεδιασμού.

Ο στόχος των πειραμάτων ήταν διπλός. Αφ' ενός μεν να ερευνηθεί η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η νέα μεθοδολογία ως βάση για την αποτίμηση της συμπεριφοράς, και κυρίως της φέρουσας ικανότητας, υφιστάμενων κατασκευών, αφ' ετέρου δε να τεκμηριωθούν τα συμπεράσματα μίας προγενέστερης σειράς πειραμάτων σύμφωνα με τα οποία ο σχεδιασμός με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο που έχει ενσωματωθεί στους ισχύοντες κανονισμούς, όχι μόνο δεν εξασφαλίζει πλαστιμότητα, αλλά είναι δυνατό να οδηγήσει σε ψαθυρή αστοχία.

Σειρά Β - Τα δοκίμια της σειράς Α επισκευάστηκαν και ενισχύθηκαν με χρήση ινοϋφασμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο ΤΘΔ και δοκιμάστηκαν εκ νέου υπό συνθήκες φόρτισης παρόμοιες με αυτές με τις οποίες δοκιμάστηκαν αρχικά.

Στόχος της σειράς αυτής των πειραμάτων ήταν η διερεύνηση της αξιοπιστίας τόσο της μεθόδου ΤΘΔ, όσο και της τεχνολογίας των ινοϋφασμάτων, όταν χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων με βλάβες.

Σειρά Γ - Δοκίμια παρόμοια με αυτά της σειράς Α ενισχύθηκαν με χρήση ινοϋφασμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο ΤΘΔ και δοκιμάστηκαν σε μονότονη και ανακυκλιζόμενη φόρτιση μέχρις αστοχίας.

Στόχος της σειράς αυτής των πειραμάτων ήταν η διερεύνηση της αξιοπιστίας τόσο της μεθόδου ΤΘΔ, όσο και της τεχνολογίας των ινοϋφασμάτων, όταν χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό ενίσχυσης δομικών στοιχείων αρχικά σχεδιασμένων για χαμηλότερη φέρουσα ικανότητα.

Σειρά Δ - Δοκίμια σχεδιασμένα με τους προγενέστερους κανονισμούς - που βασίζονταν στη λογική των επιτρεπόμενων τάσεων - ενισχύθηκαν με χρήση ινοϋφασμάτων σύμφωνα με τις μεθόδους Δ και ΤΘΔ και δοκιμάστηκαν σε μονότονη και ανακυκλιζόμενη φόρτιση μέχρις αστοχίας. Με τη σύγκριση της προβλεπόμενης με την πειραματική συμπεριφορά ελέγχθηκε η εγκυρότητα της εφαρμογής των μεθόδων σχεδιασμού για την ενίσχυση κατασκευών σχεδιασμένων με προγενέστερους κανονισμούς.

Βασικά συμπεράσματα

Νέα δοκίμια

1. Η χρήση της μεθόδου Δ, με τον τρόπο που χρησιμοποιείται από τους ισχύοντες κανονισμούς για την εφαρμογή της λογικής των οριακών καταστάσεων αστοχίας στην πράξη, οδήγησε σε λύσεις σχεδιασμού που βρέθηκε ότι δεν εξασφαλίζουν τις απαιτήσεις του δομοστατικού σχεδιασμού για καμπτική μορφή αστοχίας με επαρκή πλαστιμότητα.

2. Αντίθετα, η μέθοδος ΤΘΔ εξασφάλισε την επιδιωκόμενη μορφή αστοχίας και πλαστιμότητα.

Υφιστάμενα δοκίμια σχεδιασμένα με τη μέθοδο Δ

3. Επισκευή και ενίσχυση των δοκιμίων σύμφωνα με τη μέθοδο ΤΘΔ βρέθηκε ότι εξασφαλίζει έναντι πρόωρης, ψαθυρής μορφής αστοχίας στην περιοχή του σημείου καμψής.
4. Αντίθετα, στις περιπτώσεις που παρά την αύξηση της φέρουσας ικανότητας (λόγω της ενίσχυσης) ο εγκάρσιος οπλισμός στα (σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς) «κρίσιμα μήκη» των δοκιμίων παραμένει υψηλός σε σχέση με τον απαιτούμενο για αποφυγή αστοχίας σε τέμνουσα, βρέθηκε ότι το αυξημένο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού όχι μόνο δεν δημιουργεί συνθήκες περίσφιξης, αλλά είναι δυνατό να προκαλέσει, αντί να αποτρέψει ψαθυρή αστοχία στα κρίσιμα μήκη.
5. Ενίσχυση σύμφωνα με τη μέθοδο ΤΘΔ δοκιμίων για τα οποία δεν απαιτήθηκε προηγουμένως επισκευή βρέθηκε ότι εξασφαλίζει τιμές της φέρουσας ικανότητας και πλαστιμότητας μεγαλύτερες από τις τιμές σχεδιασμού.

Υφιστάμενα δοκίμια σχεδιασμένα με τη μέθοδο ΤΘΔ

6. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δοκίμια, ενίσχυση και επισκευή ή μόνο ενίσχυση σύμφωνα με τη μέθοδο ΤΘΔ βρέθηκε ότι εξασφαλίζει φέρουσα ικανότητα μεγαλύτερη του φορτίου σχεδιασμού και επαρκή πλαστιμότητα. (Ακόμα και σε περιπτώσεις που η προγενέστερη φόρτιση είχε προκαλέσει σημαντική επιπόνηση του διαμήκη χάλυβα, βρέθηκε ότι ο δείκτης πλαστιμότητας λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 2.)
7. Από τη σύγκριση της συμπεριφοράς υφιστάμενων δοκιμίων για τα οποία απαιτήθηκε επισκευή, πριν την ενίσχυση, με τη συμπεριφορά των αντίστοιχων δοκιμίων για τα οποία δεν απαιτήθηκε επισκευή, διαπιστώθηκε ότι η επίδραση της επισκευής στη συμπεριφορά των ενισχυμένων δοκιμίων

εξαρτάται από τον βαθμό καταπόνησης των διαμηκών ράβδων κατά την προγενέστερη επιπόνηση των δοκιμίων.

8. Η ενίσχυση με ινουφάσματα βρέθηκε ότι αυξάνει τη δυσκαμψία κατά περίπου 55% όταν γίνεται χρήση υφασμάτων με ίνες άνθρακα, ενώ η αντίστοιχη αύξηση είναι 15% όταν γίνεται χρήση υφασμάτων με ίνες υάλου.
9. Η τεχνολογία οπλισμένων με ίνες άνθρακα ή υάλου «υφασμάτων», που χρησιμοποιήθηκαν για την επισκευή και ενίσχυση των δοκιμίων, βρέθηκε ότι είναι αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προμηθευτή. (Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία δεν ερευνήθηκε η συμπεριφορά των δοκιμίων σε βάθος χρόνου.)

Υφιστάμενα δοκίμια σχεδιασμένα με τη λογική των επιτρεπόμενων τάσεων

10. Η τοποθέτηση ινο-υφασμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο ΤΘΔ για την ενίσχυση των δοκιμίων επέτυχε τους στόχους του δομοστατικού σχεδιασμού για δεδομένη αύξηση της φέρουσας ικανότητας και επαρκή πλαστιμότητα.
11. Αντίθετα, η τοποθέτηση ινο-υφασμάτων σύμφωνα με την μέθοδο Δ για την ενίσχυση των δοκιμίων δεν επέτυχε την επιδιωκόμενη αύξηση της φέρουσας ικανότητας.