



Συμπεριφορά Δοκών Υφιστάμενων Κατασκευών από Ο.Σ. ενισχυμένων με Ινοπλισμένα Πολυμερή από Ύνες Άνθρακα (CFRP) και Ύνες Χάλυβα (SRP)



Μιτολίδης Ι. Γιώργος

Διπλ. Πολ. Μηχανικός MSc, Υπ. Διδάκτορας Α.Π.Θ.

Ινοπλισμένα Πολυμερή από Ύνες Άνθρακα (CFRP)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εύκολη εφαρμογή.
- Υψηλή αντοχή σε σχέση με το βάρος τους.
- Μεγάλη ποικιλία (ράβδοι, ελάσματα, μορφή υφάσματος).
- Πειραματική τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας τους στην ενίσχυση δομικών στοιχείων Ο/Σ .

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Γραμμικό νόμο τάσης – παραμόρφωσης μέχρι την αστοχία
- Μηδενική αντίσταση υπό σύνθλιψη
- Αμελητέα λειτουργία βλήτρου σε καμπτικά και διατμητικά ρήγματα
- Ψαθυρή αστοχία
- Προβλήματα στις θέσεις αγκύρωσης

Ινοπλισμένα Πολυμερή από Ίνες Χάλυβα (SRP και SRG)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εύκολη εφαρμογή.
- Υψηλή αντοχή.
- Μορφή υφάσματος.
- Εμποτισμός με εποξειδική ρητίνη (SRP) και πολυμερή τζιμεντοειδή κονίαμα (SRG).
- Παρουσιάζουν μικρό κλάδο ανελαστικής παραμόρφωσης

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μηδενική αντίσταση υπό σύνθλιψη
- Αμελητέα λειτουργία βλήτρου σε καμπτικά και διατμητικά ρήγματα
- Ψαθυρή αστοχία
- Προβλήματα στις θέσεις αγκύρωσης

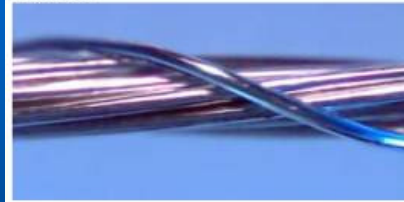
Ινοπλισμένα Πολυμερή από Ίνες Χάλυβα (SRP και SRG)

3X2 Cord



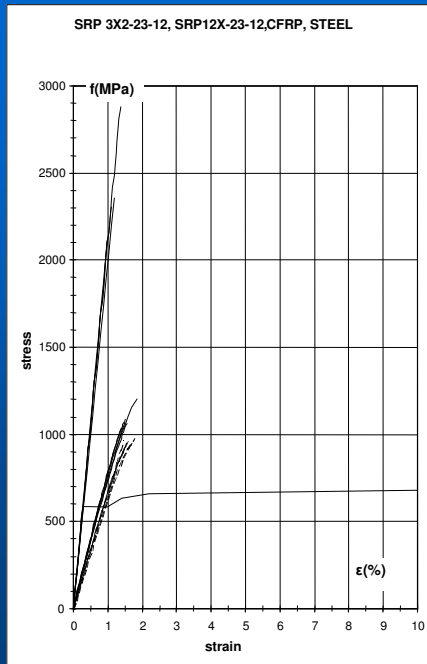
Δέσμες συρμάτων στις οποίες πλέκονται 5 σύρματα $\varnothing 0.35\text{mm}$. Κάθε δέσμη συρμάτων έχει εμβαδόν διατομής 0.481mm^2 και βρίσκονται σε διάταξη 9.0551 δεσμών/cm. Το πάχος του χαλυβδοϋφάσματος που διαμορφώνεται είναι 0.123cm.

12X Cord



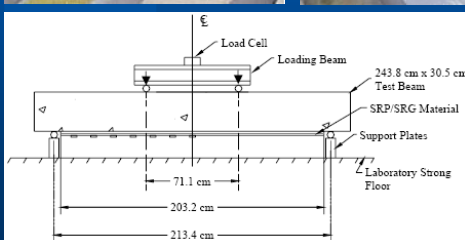
Δέσμες συρμάτων στις οποίες πλέκονται 3 σύρματα $\varnothing 0.22\text{mm}$, 9 σύρματα $\varnothing 0.20\text{mm}$ και εξωτερικά της δέσμης τυλίγεται σύρμα $\varnothing 0.18\text{mm}$. Κάθε δέσμη συρμάτων έχει εμβαδόν διατομής 0.414mm^2 και βρίσκονται σε διάταξη 9.0551 δεσμών/cm. Το πάχος του χαλυβδοϋφάσματος που διαμορφώνεται είναι 0.123cm.

Λεπτομέρειες των δύο τύπων ινών χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν



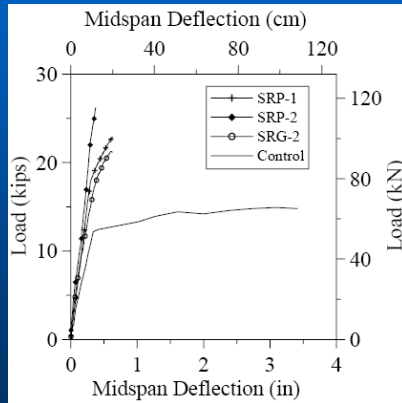
Συγκριτικό Διάγραμμα
Τάσης –Παραμόρφωσης
SRP 3X2, SRP 12X,
CFRP και Δομικού
Χάλυβα

Βελτίωση της Καμπτικής Συμπεριφοράς Δοκών με Χρήση SRP και SRG των Wobble *et al* (2004)



- 4 Δοκίμια Ορθογωνικής Διατομής 20.3x30.5 cm, Μήκους 243.8cm
- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 4 Σημείων
- Ενίσχυση με λωρίδες SRP και SRG

Αποτελέσματα των Wobble *et al* (2004)



Διάγραμμα Δύναμης – Βύθισης Μέσου

- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής 40-70%
- Αύξηση Αρχικής Δυσκαμψίας Δοκών
- Μικρότερη Ικανότητα Παραμόρφωσης σε σχέση με Πιλοτικό Δοκίμιο
- Ψαθυρή Αστοχία λόγω Αποκόλλησης του Υλικού Ενίσχυσης

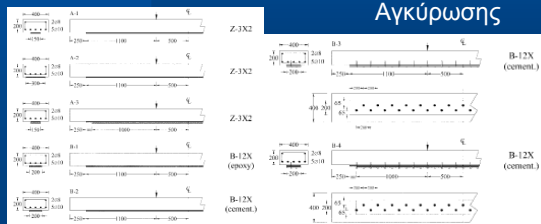


Ψαθυρή Αστοχία Δοκιμίων

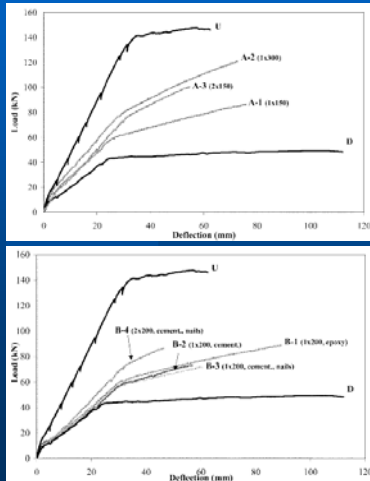
Αποτελεσματικότητα της Ενίσχυσης Δοκών Ο.Σ. με Χρήση SRP, SRG και CFRP των Prota *et al* (2004)



- 11 Δοκίμια Ορθογωνικής Διατομής 40x20cm, Μήκους 370.0cm
- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 4 Σημείων
- Ενίσχυση με λωρίδες CFRP, SRP & SRG σε 1,2 και 3 στρώσεις
- Χρήση Ειδικών Μεταλλικών Βυσμάτων Αγκύρωσης



Αποτελέσματα των Prota *et al* (2004)

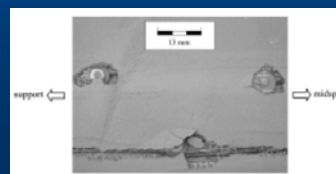


- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής με χρήση των SRP 46-145%
- Αύξηση αντοχής SRG < Αύξηση αντοχής SRP
- Μικρότερη Ικανότητα Παραμόρφωσης σε σχέση με Πιλοτικό Δοκίμιο (13-55%)
- Δοκοί με SRP επέδειξαν:
 - 10% μικρότερη αντοχή από δοκούς με CFRP
 - 24% μεγαλύτερη ικανότητα παραμόρφωσης από δοκούς με CFRP

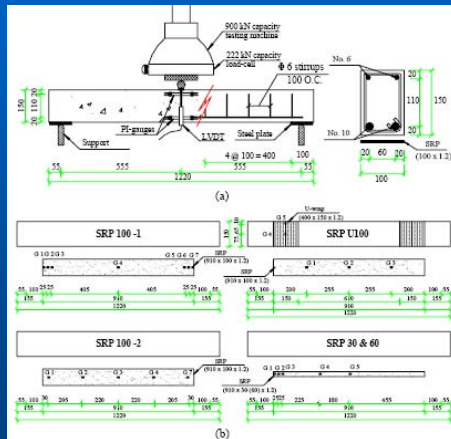
Αποτελέσματα των Prota *et al* (2004)



- Μορφή Αστοχίας:
 - SRP → Διαχωρισμός επικάλυψης σκυροδέματος με έναρξη το σημείο επιβολής του φορτίου.
 - SRG → διεπιφάνεια συγκόλλησης τσιμεντοειδούς κονιάματος με σκυρόδεμα
- Χρήση Ειδικών Βυσμάτων δεν βελτίωσε την συμπεριφορά των ενισχυμένων δοκιμίων

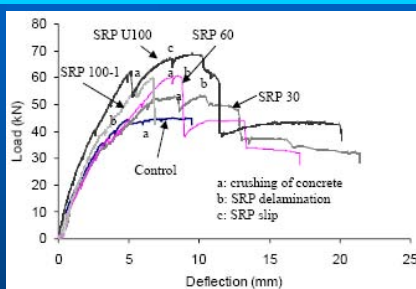


Καμπτική Ενίσχυση Δοκών Ο.Σ. με Χρήση SRP των Kim *et al* (2005)



- 6 Αμφιεριστοι Δοκοί Ορθογωνικής Διατομής 10x15cm, Μήκους 122.0cm
- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 3 Σημείων
- Ενίσχυση με λωρίδες SRP με διαφορετικά πλάτη
- Χρήση λωρίδων SRP μορφής U

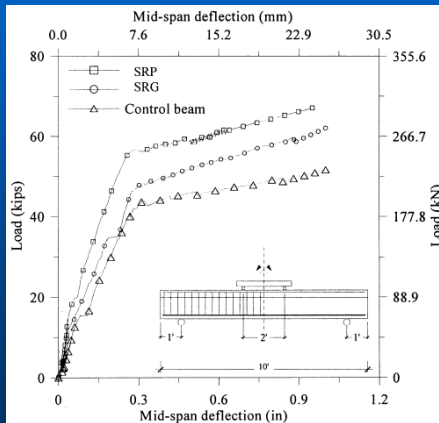
Αποτελέσματα των Kim *et al* (2005)



- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής με χρήση των SRP 18-53%
- Αύξηση Αρχικής Δυσκαμψίας ανάλογη με την αύξηση του πλάτους λωρίδων
- Βελτιωμένη Καμπτική Συμπεριφορά με τη χρήση των εγκάρσιων λωρίδων U



Αποτελεσματικότητα των SRP και SRG στην ενίσχυση δοκών, Huang *et al* (2005)

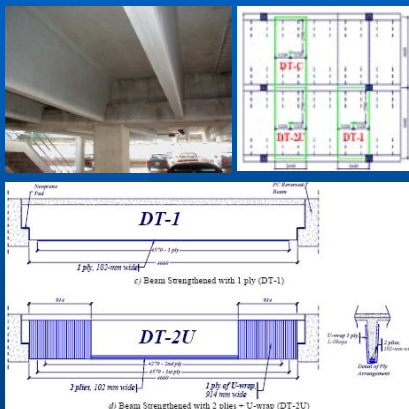


- 3 Αμφιεριστοι Δοκοί Ορθογωνικής Διατομής Μήκους 3000mm
- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 4 Σημείων
- Ενίσχυση με λωρίδες SRP και SRG

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής με χρήση των SRP 30%
- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής με χρήση των SRG 20%

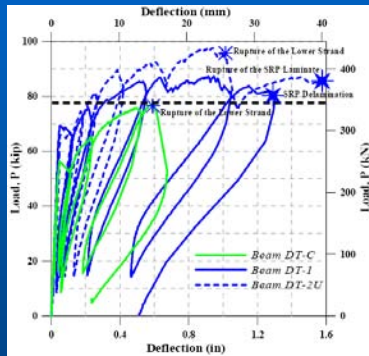
Βελτίωση Καμπτικής Συμπεριφοράς δοκών από Προεντεταμένο Σκυρόδεμα, Casadei *et al* (2005)



- 3 Δοκοί μορφής διπλού T
- 4 Κύκλοι Φόρτισης – Αποφόρτισης
- Ενίσχυση με λωρίδες SRP σε 1 και 2 στρώσεις
- Χρήση λωρίδων SRP μορφής U



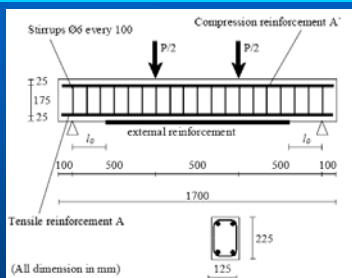
Αποτελέσματα των Casadei *et al* (2005)



Διάγραμμα Δύναμης – Βύθισης Μέσου

- Βελτίωση Καμπτικής Συμπεριφοράς με χρήση των SRP
- Αύξηση πλαστιμότητας
- Χρήση εγκάρσιων λωρίδων U καθυστερεί την πρόωρη αποκόλληση των διαμηκών λωρίδων
→ Βελτίωση Καμπτικής Συμπεριφοράς

Δυνατότητα Ενίσχυσης Δοκών Ο.Σ. μέσω της Χρήσης SRP, Figeys *et al* (2005)



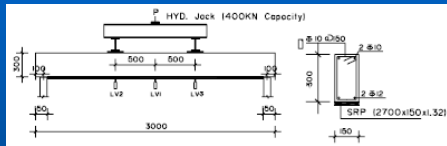
- 6 Αμφιεριστοι Δοκοί Ορθογωνικής Διατομής 12.5x22.5cm, Μήκους 3000mm
- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 4 Σημείων
- Ενίσχυση με λωρίδες SRP με διαφορετικά μήκη επικόλλησης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

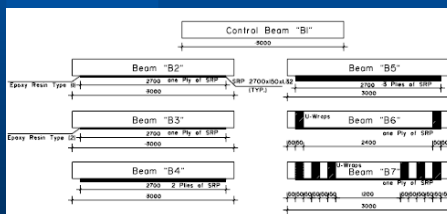
- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής από 32-70%
- Τα δοκίμια με μεγαλύτερο μήκος επικόλλησης παρουσίασαν καλύτερη συμπεριφορά από τα αντίστοιχα με μικρότερο μήκος επικόλλησης



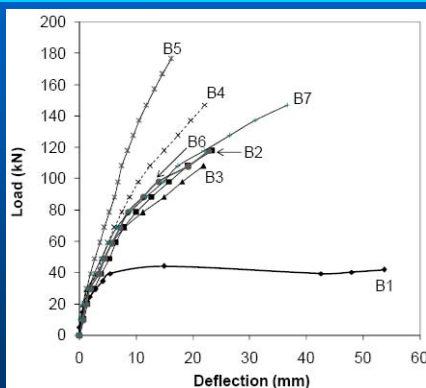
Ενίσχυσης Δοκών Ο.Σ. έναντι Κάμψης και Τέμνουσας με SRP, Saber *et al* (2008)



- 7 Αμφιεριστοι Δοκοί Ορθογωνικής Διατομής 15x30cm, Μήκους 3000mm
- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 4 Σημείων
- Ενίσχυση με λωρίδες SRP απο1 έως 3 στρώσεις
- Χρήση λωρίδων SRP μορφής U στα άκρα και καθ' όλο το μήκος της δοκού
- Εμποτισμός SRP με 2 διαφορετικών τύπων εποξειδικές ρητίνες



Αποτελέσματα των Saber *et al* (2008)



Διάγραμμα Δύναμης – Βύθισης Μέσου

- Αύξηση της Καμπτικής Αντοχής με χρήση των SRP μέχρι 300%
- Αύξηση Καμπτικής Αντοχής με την Αύξηση των Στρώσεων SRP
- Μικρότερη Ικανότητα Παραμόρφωσης σε σχέση με Πιλοτικό Δοκίμιο
- Χρήση εγκάρσιων λωρίδων U καθυστερεί την πρόωρη αποκόλληση των διαμηκών λωρίδων → Βελτίωση Καμπτικής Συμπεριφοράς

Από την μέχρι τώρα πειραματική διερεύνηση των SRP διεθνώς, διαπιστώθηκε ότι:

- Με την χρήση τους στην ενίσχυση δομικών στοιχείων από Ο/Σ επέρχεται αύξηση της αντοχής από 20 έως 300%.
- Ενδείκνυται για την ενίσχυση του μηχανισμού κάμψης και διάτμησης.
- Η αποτελεσματικότητά τους έχει επιβεβαιωθεί κατά την εφαρμογή τους από μία έως τρεις στρώσεις.
- Με την εφαρμογή των SRP η πλαστική παραμόρφωση των ενισχυμένων δομικών στοιχείων είναι παρόμοια με αυτή που προκύπτει από την εφαρμογή CFRP.
- Είναι σημαντικά φθηνότερα από τα CFRP.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΓΓΕΤ ΠΕΝΕΔ 2003

ΣΚΟΠΟΣ: Συγκριτική Δοκιμή Στοιχείων Ο/Σ ενισχυμένων με SRP και CFRP

1ο Στάδιο → Προσδιορισμός Νόμου Τάσης - Παραμόρφωσης Υλικών Ενίσχυσης (ASTM D 5053 M)

2ο Στάδιο → Προσδιορισμός Νόμου Τάσης Συνάφειας - Παραμόρφωσης Υλικών Ενίσχυσης

3ο Στάδιο → Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Καμπτικής και Διατμητικής Ενίσχυσης που επέρχεται με την χρήση SRP, CFRP και σύγκριση αποτελεσμάτων.

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης

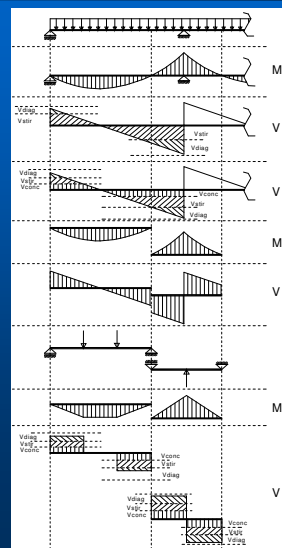
- I. Δοκίμια τα οποία αντιπροσωπεύουν το ΑΝΟΙΓΜΑ και τη ΣΤΗΡΙΞΗ συνεχούς δοκού
- II. Ενίσχυση Δοκών σε Κάμψη με τη χρήση CFRP & SRP
- III. Ενίσχυση Δοκών σε Τέμνουσα με τη χρήση CFRP & SRP
- IV. Χρήση 2 Τύπων Χαλύβδινων Ινών για τα SRP (3Χ2 & 12Χ)
- V. Αγκύρωση Μήκους Επικόλλησης α) σε περιοχές όπου το Ο.Σ. βρίσκεται υπό σύνθλιψη και β) σε περιοχές εφελκυσμού.

Παράμετροι Δοκιμίων

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης

- Δοκίμια τα οποία αντιπροσωπεύουν το ΑΝΟΙΓΜΑ και τη ΣΤΗΡΙΞΗ συνεχούς δοκού.
- Διατομή Δοκιμίων 20x40cm → Προσομοίωση Δοκών Κτιρίων Κατασκευής 1950-1960.
ΑΝΟΙΓΜΑ → μήκος 4m (διάγραμμα θετικών ροπών για μήκος 3m).
ΣΤΗΡΙΞΗ → μήκος 3m (διάγραμμα αρνητικών ροπών για μήκος 2m).
- Κατηγορία Σκυροδέματος B225 → C16/20
Κατηγορία Χάλυβα Οπλισμού S500 και Λείος S400

Σχεδιασμός Δοκιμίων

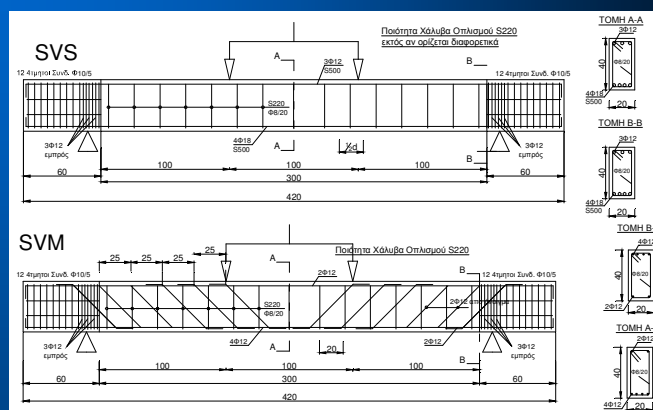


3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης

- Μονοτονική Φόρτιση μέσω της Επιβολής Κάμψης 4 Σημείων (ΑΝΟΙΓΜΑ) και 3 Σημείων (ΣΤΗΡΙΞΗ)
- Συνολικά 13 Δοκίμια Κλίμακας 1:1
 - 4 Πιλοτικά Δοκίμια: 2 Ανοίγματος (SVS, SVM) και 2 Στήριξης (IVS, IVM)
 - 3 Δοκίμια Ανοίγματος ενισχυμένα έναντι κάμψης με δυο τύπους χαλύβδινων ινών SRP και CFRP (SS12XM, SS3X2M, SCM)
 - 3 Δοκίμια Στήριξης ενισχυμένα έναντι κάμψης με δυο τύπους χαλύβδινων ινών SRP και CFRP (IS12XM, IS3X2M, ICM)
 - 3 Δοκίμια Στήριξης ενισχυμένα έναντι τέμνουσας με δυο τύπους χαλύβδινων ινών SRP και CFRP (IS12XSM, IS3XSM, ICSM)

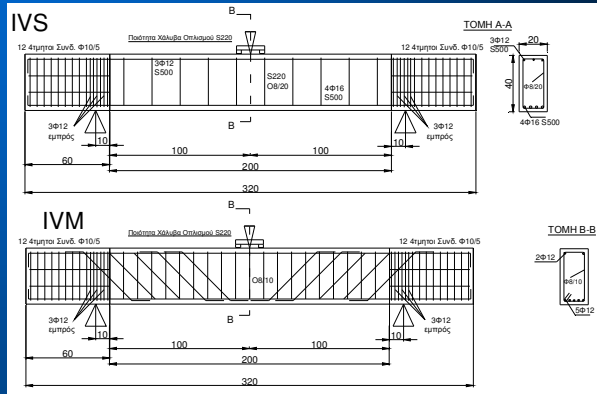
Σχεδιασμός Δοκιμίων

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης



Σχεδιασμός Πιλοτικών Δοκιμίων Ανοίγματος

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης



Σχεδιασμός Πιλοτικών Δοκιμών Στήριξης

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης



Φάσεις κατασκευής δοκιμών κλίμακας 1:1

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης



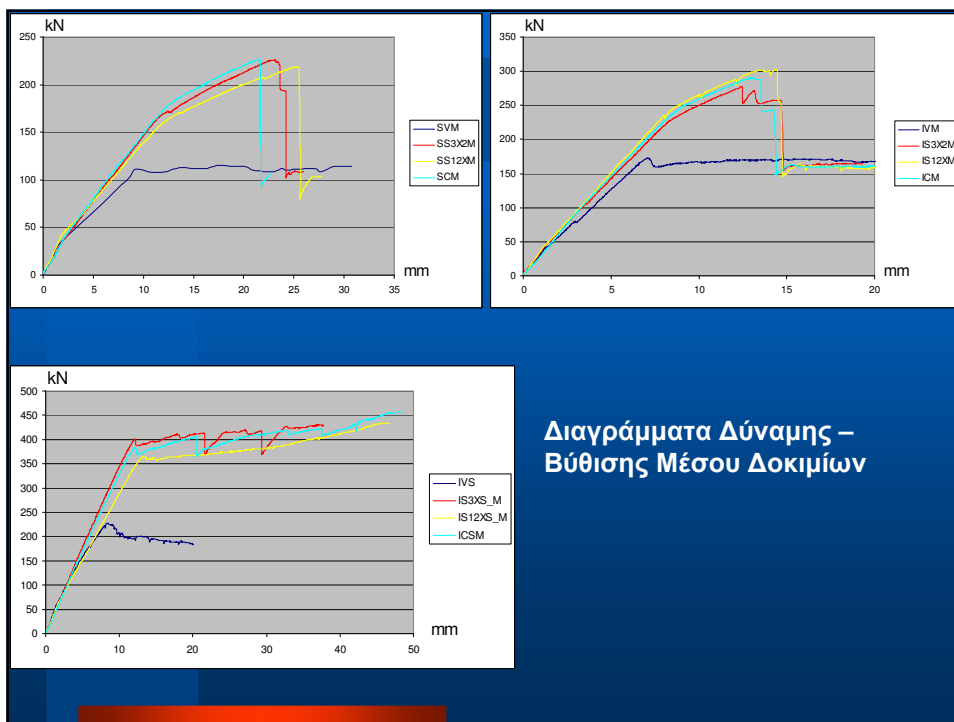
Φάσεις κατασκευής δοκιμίων κλίμακας 1:1

3ο Στάδιο: Πειραματικός Προσδιορισμός Βαθμού Ενίσχυσης



Φάσεις κατασκευής δοκιμίων κλίμακας 1:1





ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δοκιμές Πειραμάτων Προσδιορισμού Βαθμού Ενίσχυσης

- Μικρότερη αύξηση αντοχής στις στηρίξεις των ενισχυμένων δοκών απ' ότι στα ανοίγματα.
Αύξηση καμπτικής αντοχής στις στηρίξεις ~ 80%
Αύξηση καμπτικής αντοχής στα ανοίγματα ~ 100%
- Η αστοχία στα ανοίγματα επήλθε για μεγαλύτερη παραμόρφωση απ' ότι στις στηρίξεις.
- Σε όλα τα ενισχυμένα δοκίμια η αστοχία προήλθε από αποκόλληση των συνθετών υλικών. Κύρια μορφή αστοχίας ήταν ο διαχωρισμός της επικάλυψης σκυροδέματος με σημείο έναρξης τα άκρα του υλικού ενίσχυσης.
- Τα ενισχυμένα δοκίμια με SRP επέδειξαν μεγαλύτερη ικανότητα παραμόρφωσης από τα αντίστοιχα δοκίμια με CFRP.
- Με τη χρήση SRP και CFRP επιτεύχθηκε η αλλαγή του τρόπου αστοχίας των στηρίξεων από τη μη-επιθυμητή διαμητική στην επιθυμητή καμπτική.
- Σημαντική αύξηση της αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης των ενισχυμένων δοκιμίων έναντι τέμνουσας.
- Η αύξηση του μήκους αγκύρωσης επιπλέον του ενεργού μήκους αγκύρωσης δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά των δοκιμίων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το παρόν πρόγραμμα χρηματοδοτείται από την ΓΓΕΤ στα πλαίσια του προγράμματος ΠΕΝΕΔ 2003.

Επίσης ευχαριστίες εκφράζονται στην εταιρεία **Sika Hellas ΑΒΕΕ** για την οικονομική υποστήριξη της και την παροχή υλικών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ