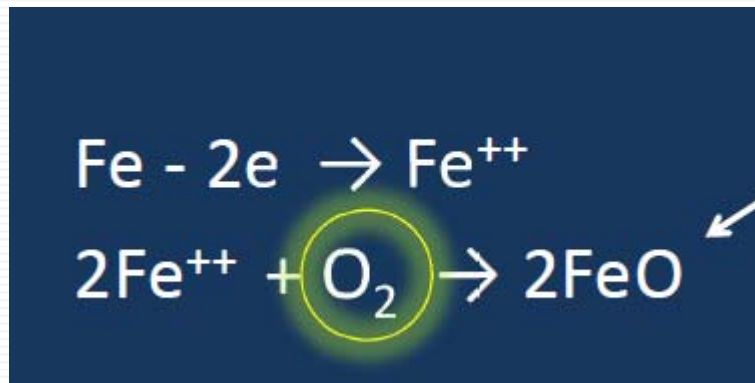


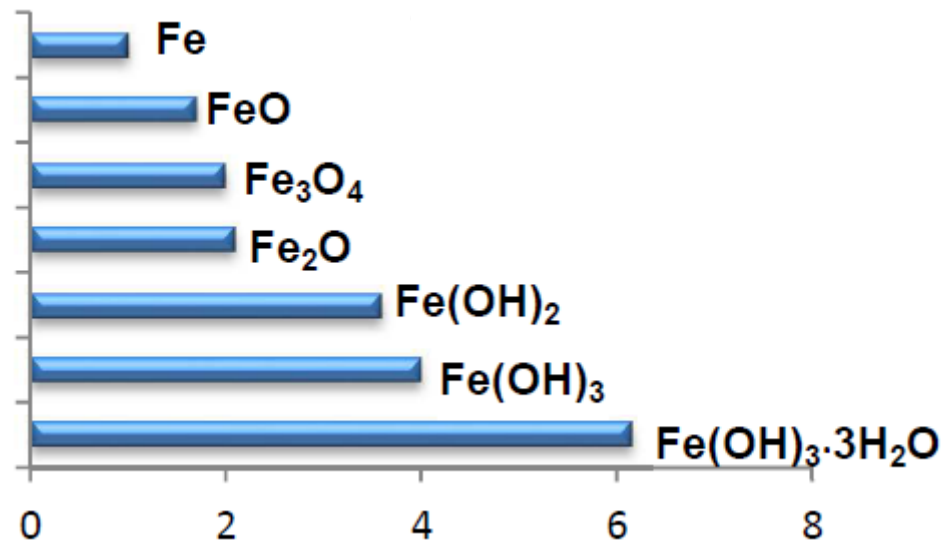
ΙΟΠ και διάβρωση χαλύβδινου οπλισμού

Για να συμβεί διάβρωση του οπλισμού πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες, όπως: Υγρασία (H_2O), Οξυγόνο (O_2), Χλωριόντα (Cl^-)

Τα μόρια οξυγόνου (ατ. β. 16) είναι μικρότερα του νερού (ατ. β. 18) και των χλωριόντων (ατ. β. 35) οπότε διεισδύουν ευκολότερα μέσω του πορώδους του σκυροδέματος.

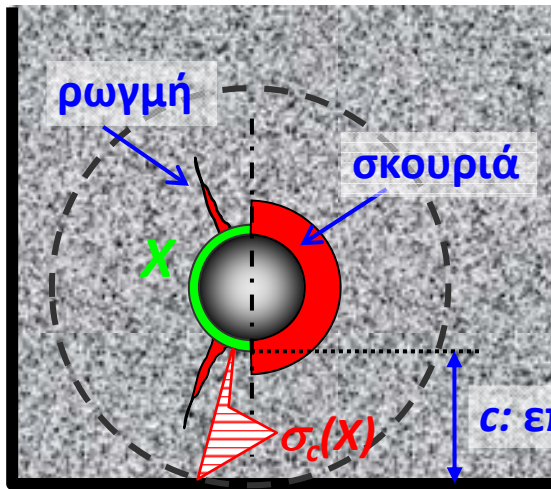


Μέσω της αδιαπέρατης ρητίνης του ΙΟΠ μειώνεται η διάχυση H_2O , Cl^- , O_2 προς τον οπλισμό οπότε η διάβρωση γίνεται με πολύ αργότερο ρυθμό

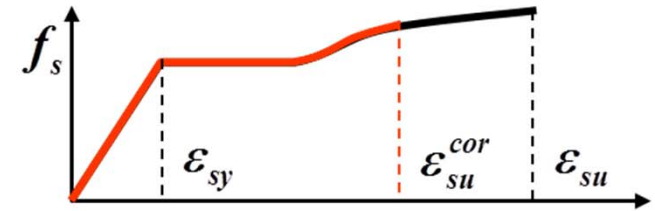
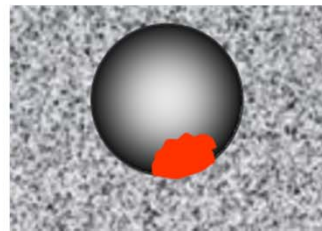


όγκοι σκουριάς συγκριτικά με τον όγκο του σιδήρου

➤ Γενική διάβρωση:

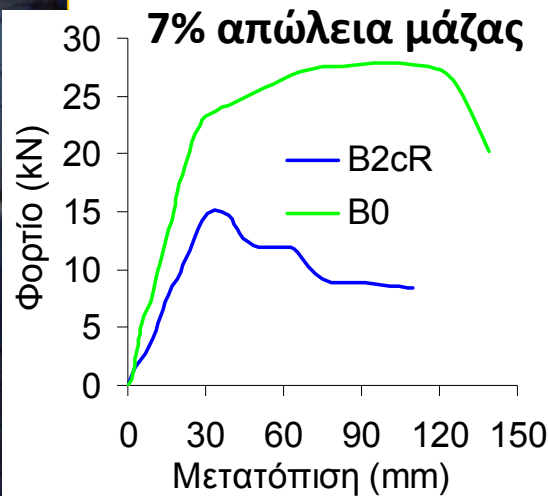


➤ Τοπική διάβρωση: ψαθυροποίηση



- Απώλεια οπλισμού
- Ψαθυροποίηση χάλυβα
- Επιδείνωση συνάφειας
- Απώλεια επικάλυψης

μείωση Αντοχής
μείωση Πλαστιμότητας
μείωση Δυσκαμψίας

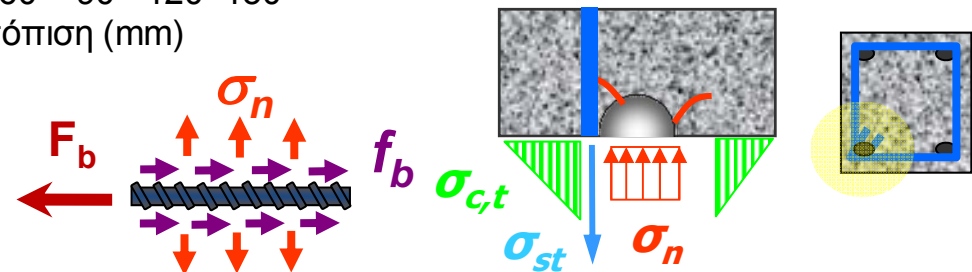


Επιδείνωση συνάφειας f_b :

- ↓↓ μείωση του ύψους νεύρωσης
- ↓ συντελεστή τριβής μεταξύ ράβδου – σκυροδέματος, $\mu(X)$
- ↑ ρηγμάτωση επικάλυψης, ↓↓ $\sigma_{c,t}$

$$f_b = \frac{2\mu(X)}{\pi} \left[\underbrace{\sigma_{c,t}}_{\text{επικάλυψη}} + \frac{0.33A_{st} f_{y,st}}{D_b n_b s} \right]$$

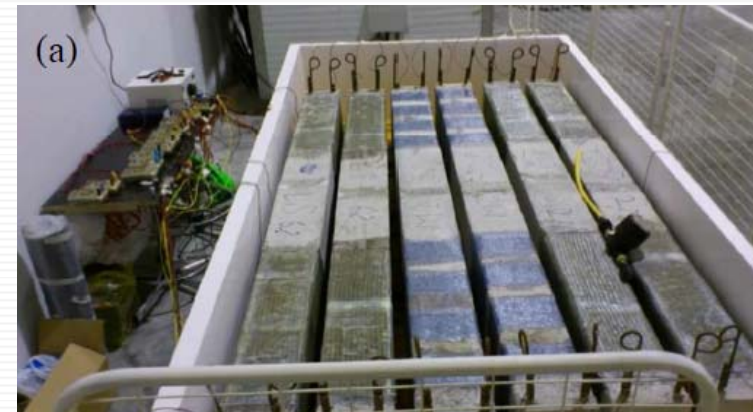
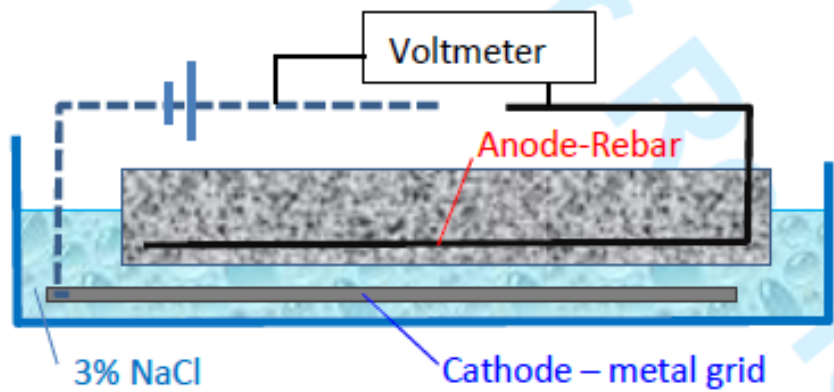
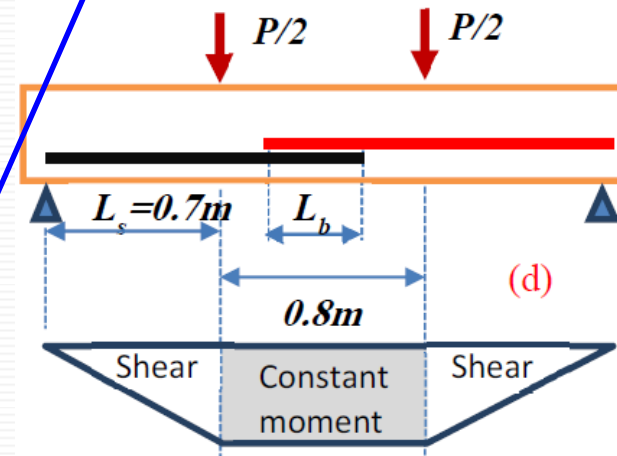
συνδετηρες





Δοκίμια όπου στο διάστημα σταθερής ροπής οι οπλισμοί ήταν σε παράθεση όπου μελετήθηκε η επίπτωση της διάβρωσης στην αντοχή της μάτισης. Στα διατμητικά ανοίγματα τοποθετήθηκε ως διατμητικός εξωτερικός οπλισμός μανδύας ΙΟΠ σε δύο διατάξεις (ολόσωμος και σε λωρίδες).

→ Στην περίπτωση των FRP λωρίδων η κάτω περιοχή επαλείφθηκε με ρητίνη (παρεμπόδιση διάχυσης Cl⁻)



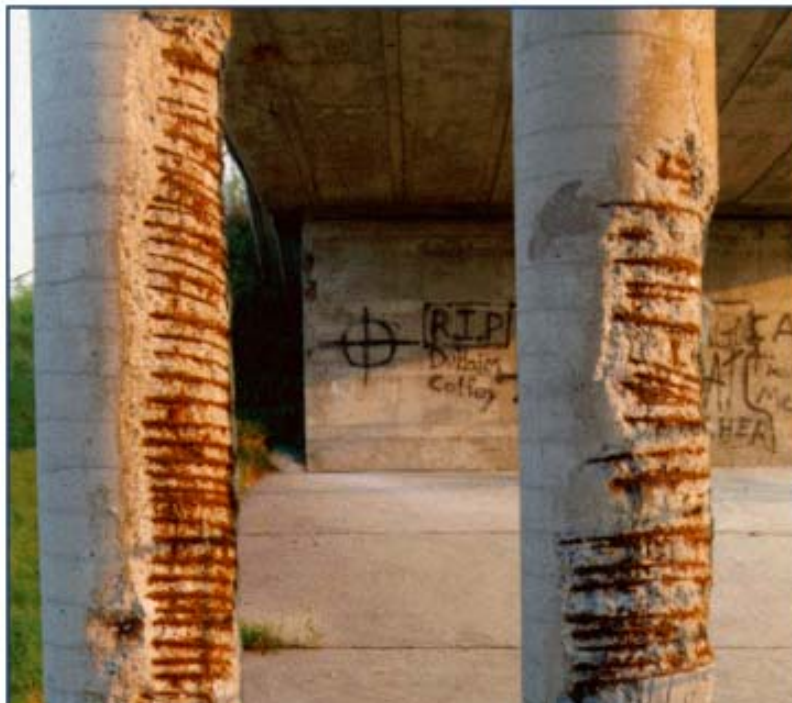
Τι προκάλεσε η διάβρωση που στόχευε στο κεντρικό τμήμα της δοκού
(οι φώτο λήφθηκαν μετά την λήξη των μηχανικών δοκιμών):



Τι προκάλεσε η διάβρωση που στόχευε στο κεντρικό τμήμα της δοκού (οι φώτο λήφθηκαν μετά την λήξη των μηχανικών δοκιμών):



- Όπου ο μανδύας ΙΟΠ κάλυπτε όλη την περιοχή, οπότε περιορίζε δραστικά την είσοδο O_2 (αλλά και H_2O & Cl^-) η διάβρωση ήταν περιορισμένη
- Όπου υπήρχε φραγμός διάχυσης Cl^- και H_2O αλλά όχι O_2 (με ρητίνη μόνο στο κάτω μέρος), η διάβρωση δεν αποτράπηκε (μικρότερη βλάβη απ' ότι στο κεντρικό τμήμα, όμως σημαντική).



**USE OF FRP FOR CORROSION MITIGATION
APPLICATIONS IN A MARINE ENVIRONMENT**

*Principal Investigators:
Gray Mullins, Ph.D., P.E. and Rajan Sen, Ph.D., P.E.*

*Graduate Researchers:
K.S. Suh and Damy Winters*



Βήματα μεθόδου επισκευής:

1. Αφαιρείται το σαθρό σκυρόδεμα

2. Διαπιστώνεται αν:

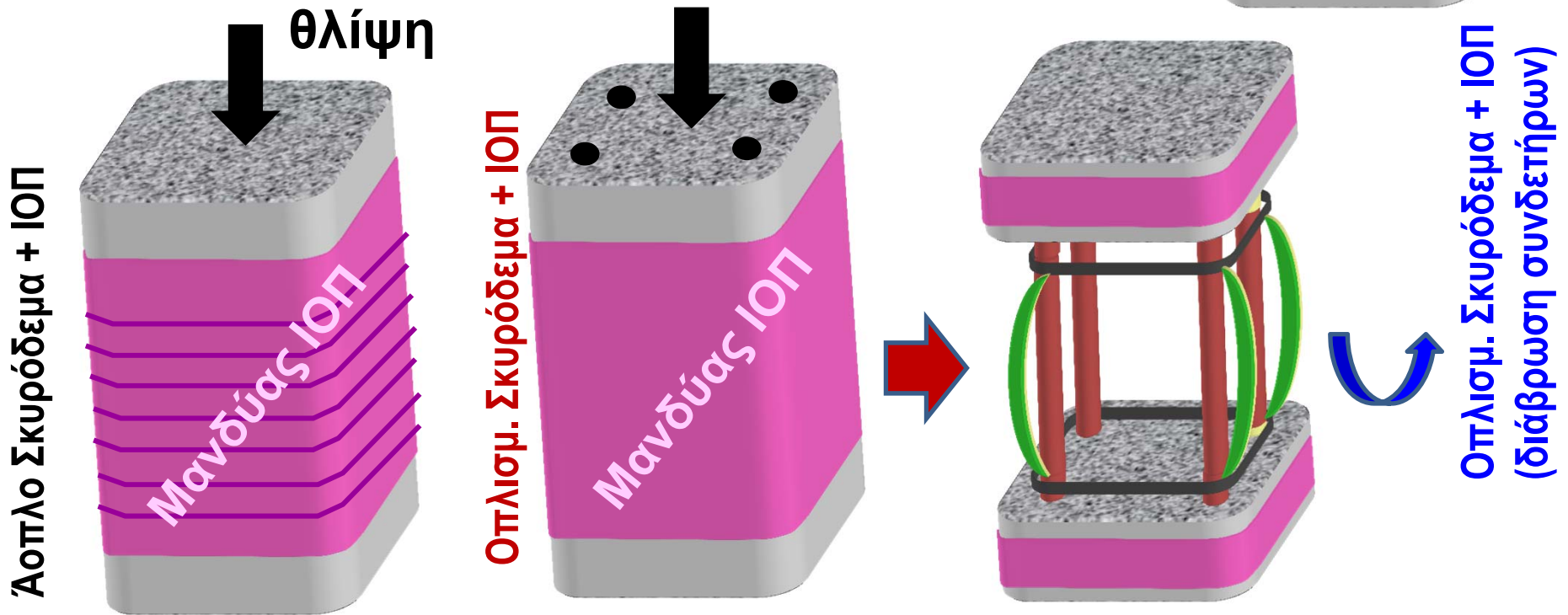
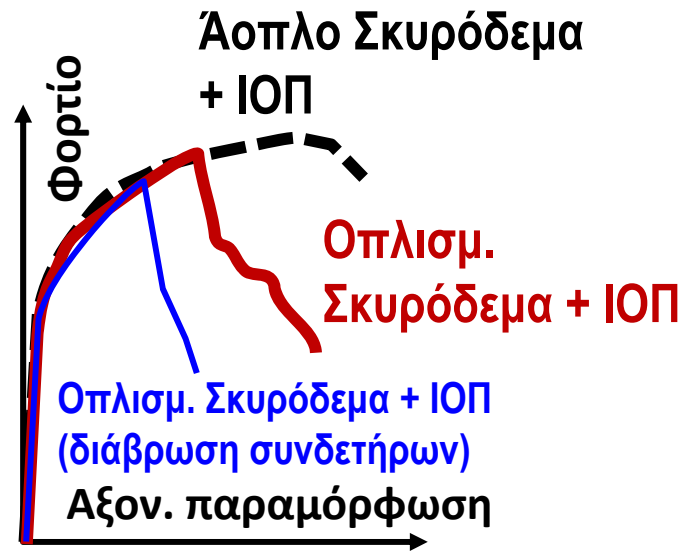
2.1 οι διαμήκεις οπλισμοί έχουν υποστεί ομοιόμορφη διάβρωση με εξάλειψη ή μη των νευρώσεων ή τοπική διάβρωση. Ανάλογα, το στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί οπλισμένο με «λείες» ράβδους ή να θεωρηθεί ως μη έχον οπλισμό. Αποφασίζεται η ανάλογη ενίσχυση με διαμήκη οπλισμό.

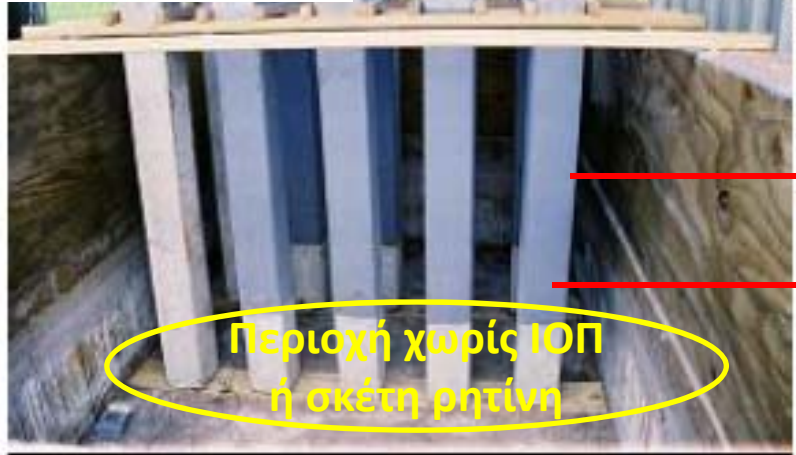
2.2 οι εγκάρσιοι οπλισμοί συνήθως ψαθυροποιούνται ταχύτερα λόγω του μικρότερου Φ. Η συμβολή τους σε διάτμηση ή περίσφιγξη ανακτάται πολύ εύκολα μέσω ΙΟΠ περίσφιγξης (όμως οι διαμήκεις οπλισμοί αν δεν στηρίζονται καθ' ύψος μέσω συνδετήρων λυγίζουν ευκολότερα, οπότε ο ΙΟΠ μανδύας δεν αποτρέπει τον λυγισμό, απλώς τον καθυστερεί).

3. Χρησιμοποιείται επισκευαστικό κονίαμα που καλό θα είναι να έχει: μικρό πορώδες και μηδενική συστολή ξήρανσης (σε συνδυασμό με επάλειψη των επιφανειών των ράβδων με αναστολείς διάβρωσης).

4. Ακολούθως τοποθετείται ο ΙΟΠ μανδύας (στρογγύλευμα γωνιών), σε ξερή επιφάνεια (πρόβλεψη ώστε να μην υπάρχει υγρασία) και προστατεύεται έναντι UV με σχετικό επαλειφόμενο ή ακόμη και επίχρισμα.

2.2 οι εγκάρσιοι οπλισμοί συνήθως ψαθυροποιούνται ταχύτερα λόγω του μικρότερου Φ . Η συμβολή τους σε διάτμηση ή περίσφιγξη ανακτάται πολύ εύκολα μέσω ΙΟΠ μανδύα (όμως οι διαμήκεις οπλισμοί αν δεν στηρίζονται καθ' ύψος μέσω συνδετήρων λυγίζουν ευκολότερα, οπότε ο ΙΟΠ μανδύας δεν αποτρέπει τον λυγισμό, απλώς τον καθυστερεί).





Άθικτα δοκίμια, χωρίς και με ΙΟΠ, τοποθετήθηκαν στο ίδιο διαβρωτικό περιβάλλον

Συνθήκες διάβρωσης

Μεταβλητή στάθμη του αλατόνερου, 35-80cm, πάντα 5cm του ΙΟΠ ήταν εντός του διαλύματος → μέγιστη μεταβολή της εγκλωβισμένης υγρασίας.

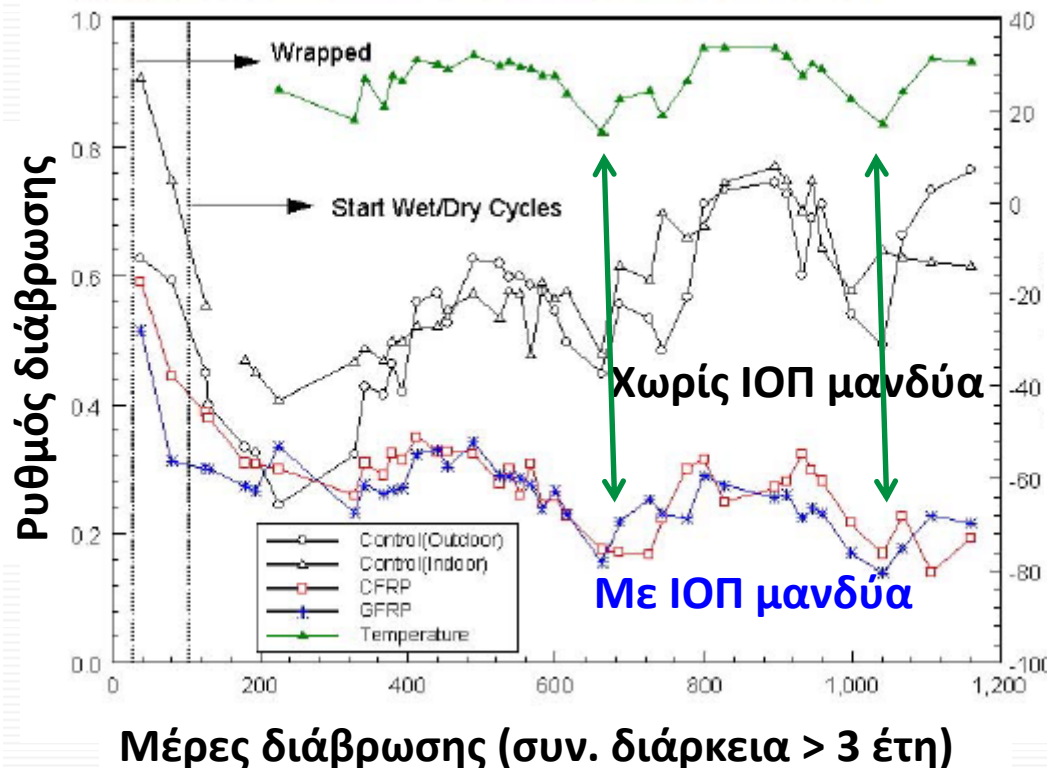
Συμπεράσματα από το διάγραμμα:

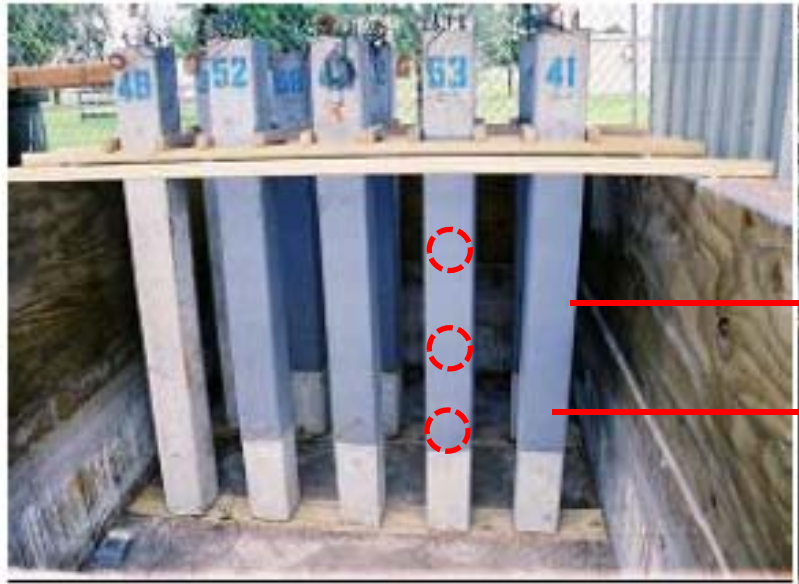
ο ρυθμός διάβρωσης μειώνεται στα δοκίμια με ΙΟΠ μανδύα

Τα άλματα στον ρυθμό διάβρωσης συσχετίζονται με την αλλαγή θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος: η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει τον ρυθμό διάβρωσης

δοκίμια χωρίς ΙΟΠ: απώλεια σιδ. 10%
δοκίμια με ΙΟΠ: απώλεια 4%

Ο ρυθμός διάβρωσης των δοκιμών με ΙΟΠ μανδύα δεν εξαρτάται από τις ίνες (ο αριθμός στρώσεων επηρεάζει το πάχος της ρητίνης, που είναι θεωρητικά το αδιαπέραστο εμπόδιο).





Συνθήκες διάβρωσης

Μεταβλητή στάθμη του αλατόνευρου, 35-80cm, πάντα 5cm του ΙΟΠ ήταν εντός του διαλύματος → μέγιστη μεταβολή της εγκλωβισμένης υγρασίας.

80cm



Πως επηρεάζει η υγρασία την συνάφεια ΙΟΠ – υποστρώματος;

35cm



Αποκόπηκαν με ειδικό εξοπλισμό δίσκοι σε τρεις στάθμες: η πάντα βυθισμένη, η μεσαία (35-80cm) και η πάντα εκτός (πάνω από 80cm). Μετρήθηκε η δύναμη που ασκήθηκε στην κυκλική επιφάνεια και η μορφή αστοχίας

Συμπερασματικά:

Για νεόδμητη κατασκευή σε διαβρωτικό περιβάλλον: η διάβρωση είναι αναπόφευκτη. Με χρήση ΙΟΠ που καλύπτει μερικώς, η διάβρωση συμβαίνει αλλά με πιο αργό ρυθμό



πάνω: η αστοχία στο σκυρόδεμα

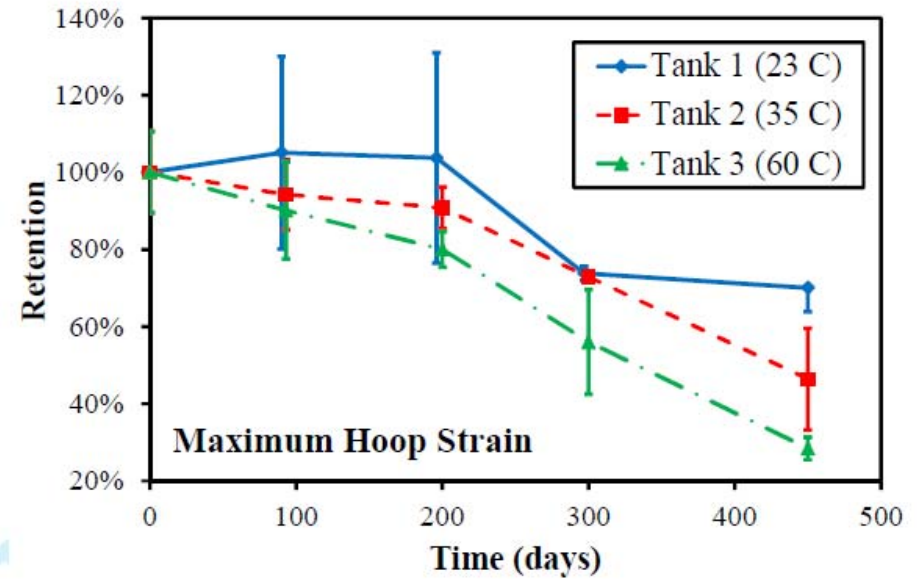
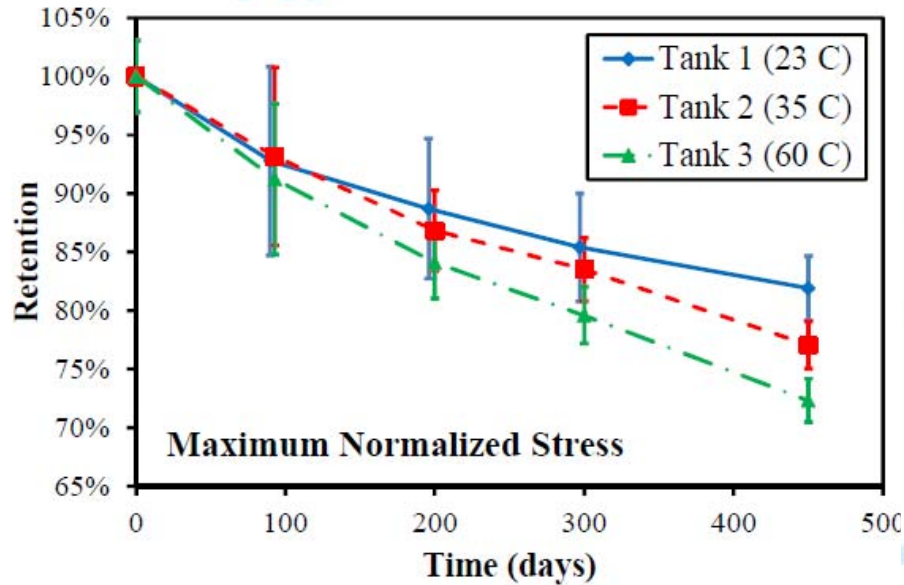


Μέση και Κάτω: η αστοχία και στην ρητίνη (εποξειδική)

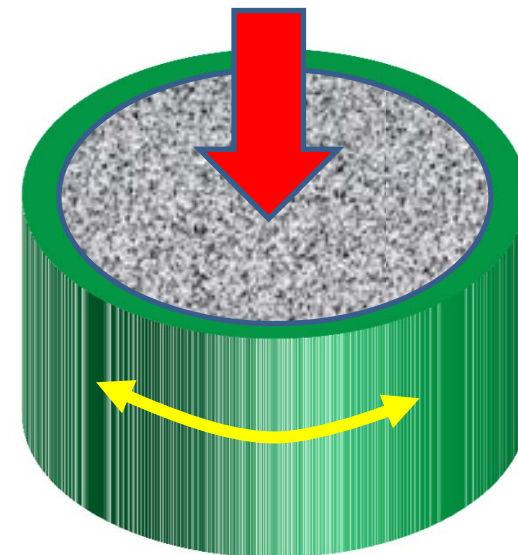
Η έντονη υγρασία και το διαβρωτικό περιβάλλον, προκαλούν μικροβλάβες στην ρητίνη καθώς και στην διεπαφή μεταξύ ρητίνης και ινών εξαιτίας swelling stresses: η υγρασία απορροφάται από το εξωτερικό στρώμα ρητίνης, οπότε επηρεάζεται μόνο ένα οριακό βάθος.

Η αποσύνθεση/διάβρωση των ινών (π.χ. υάλου) δεν είναι έντονη διότι η ρητίνη μπλοκάρει την διείσδυση OH^- που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό

ACI 440: environmental factor $e=0.65$: αφορά κατασκευές ΙΟΠ εκτεθειμένες σε εξωτερικά διαβρωτικά περιβάλλοντα



Μείωση θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου ΙΟΠ που έχει μέσα του σκυρόδεμα, γεγονός που δηλώνει ότι η περίσφιγξη που παρέχει το ΙΟΠ επιδεινώνεται με την διάρκεια έκθεσης σε θαλασσινό νερό και με την θερμοκρασία



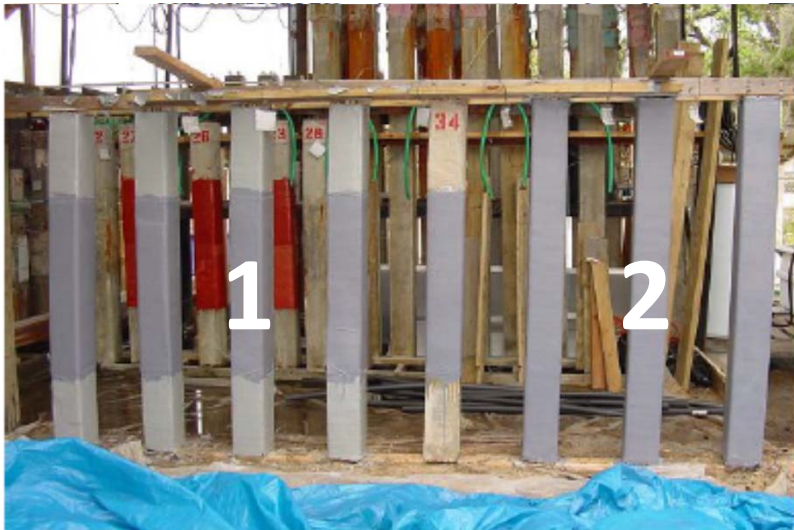
Στην συνέχεια εξετάσθηκαν δύο εναλλακτικές προετοιμασίες πριν την εφαρμογή του ΙΟΠ μανδύα (βέλτιστη διαδικασία)

1. Αφαιρείται η επικάλυψη, καθαρίζονται οι οπλισμοί, εφαρμόζονται αναστολείς διάβρωσης και ακολούθως νέο επισκευαστικό κονίαμα.



2. Καθαρισμός εξωτερικής επιφάνειας από ρύπους και σφράγισμα των ρωγμών χωρίς αντικατάσταση της «μολυσμένης από χλωριόντα» επικάλυψης (ελάχιστη προετοιμασία)





τύπος 1: ΙΟΠ στο μέσον και μόνωση στα άκρα με επικάλυψη από ρητίνη

τύπος 2: ΙΟΠ παντού

Τα δοκίμια στην συνέχεια ενισχύθηκαν με ΙΟΠ μανδύα και μονώθηκαν όλες οι επιφάνειες (με ρητίνη) και ξαναμπήκαν σε καθεστώς έντονης διάβρωσης για δύο χρόνια (συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας).

Η απώλεια μάζας μετάλλου:

➤ Στα δοκίμια ελέγχου χωρίς επισκευή: αυξήθηκε από 22% σε 80%.

➤ Στα δοκίμια με βέλτιστη προετοιμασία (τύπος 1, ΙΟΠ στο μέσον): από 22% πήγε 23% (μεταβολή 1%)

➤ Για τα δοκίμια με την ελάχιστη προετοιμασία (χωρίς αντικατάσταση επικάλυψης):

Μεταβολή από 2-12% για τύπο 1 (ΙΟΠ στο μέσον και μόνωση στα άκρα)

Μεταβολή 1.7% για τύπο 2 (ΙΟΠ παντού)

➔ η διαφορά θα μπορούσε να οφείλεται στο ότι οι ίνες σε περίπτωση ρηγματώσεως της ρητίνης, κρατούν κλειστή την ρωγμή (προβάλλουν αντίσταση στην διεύρυνσή της)

Συμπερασματικά:

Για υφιστάμενη κατασκευή με διαβρωμένα δομικά στοιχεία: αν το ΙΟΠ καλύψει όλη την επιφάνεια με την βέλτιστη προετοιμασία τότε η εξέλιξη της διάβρωσης είναι ανεπαίσθητη, ενώ αν γίνει ελάχιστη προετοιμασία είναι αυξημένη

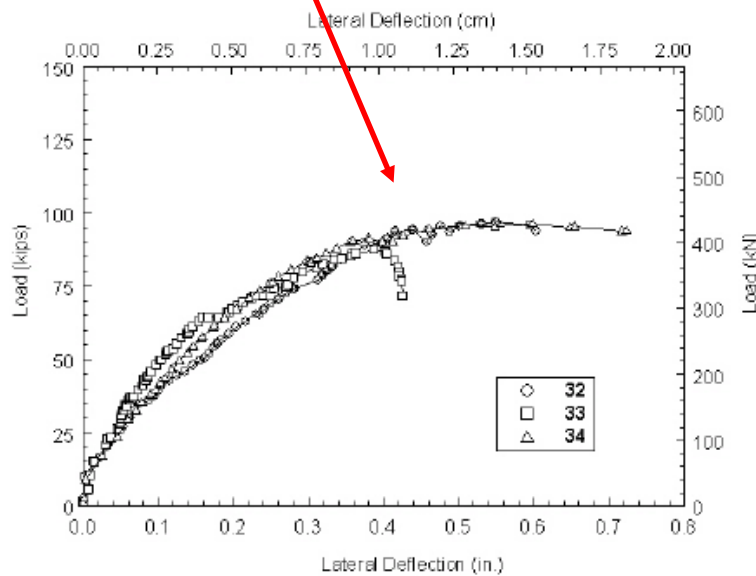
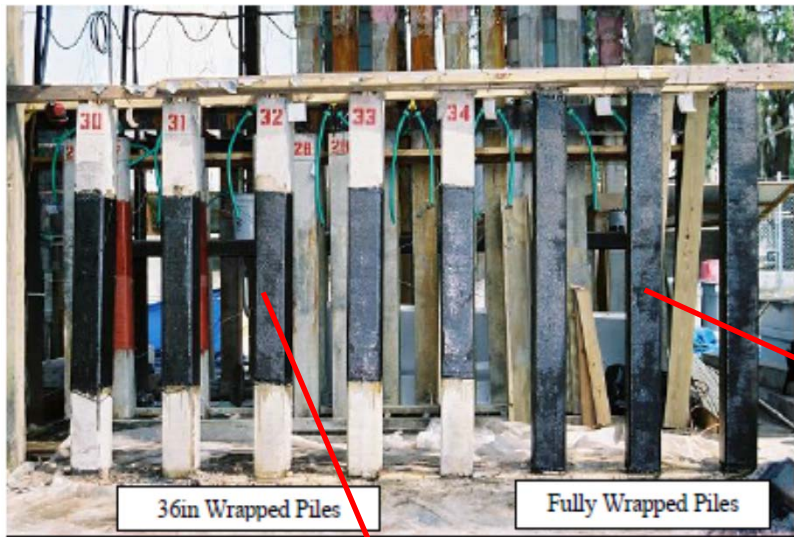


Figure 7.31 Load vs Deflection Plot for Minimal Repaired and Wrapped with 36in CFRP

Φόρτιση σε έκκεντρη θλίψη
Η αστοχία στα άκρα όπου δεν υπήρχε ΙΟΠ

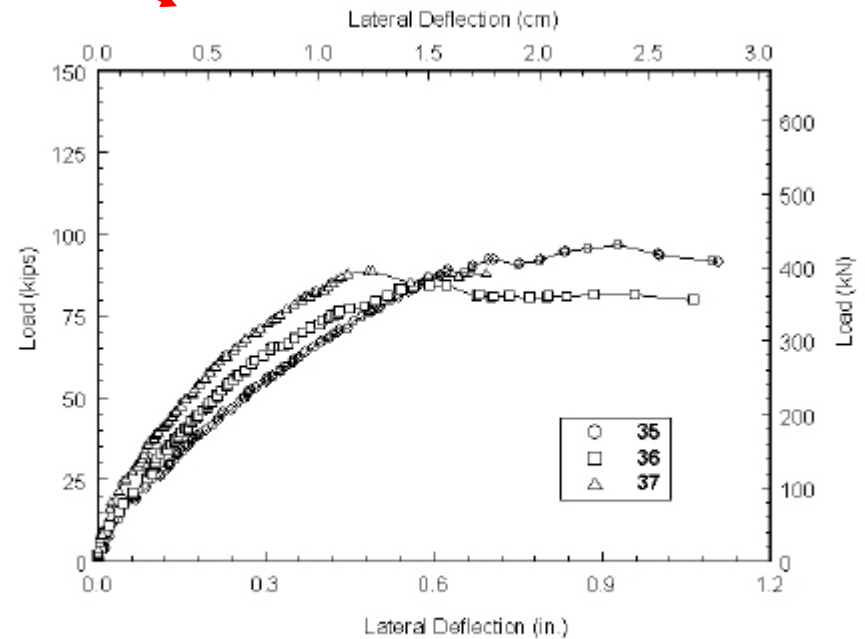
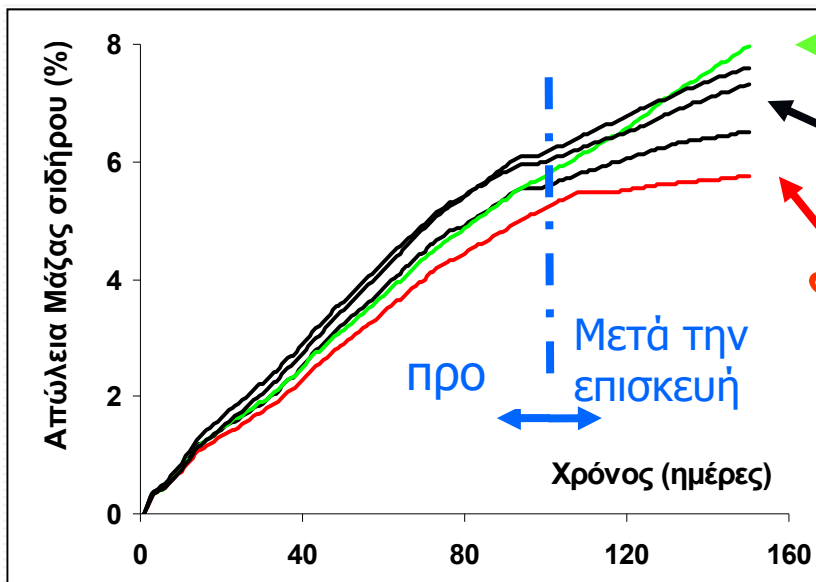


Figure 7.35 Load vs Deflection Plot for Minimal Repaired and Wrapped with 72 in CFRP

Η αστοχία στο μέσον (μέγιστη εκκεντρότητα)
σε ίδιο φορτίο αλλά με μεγαλύτερο βέλος κάμψης

Ταστάνη και Πανταζοπούλου 2003

Όλα τα δοκίμια διαβρώθηκαν ομοιοτρόπως μέχρι τις 90 ημέρες. Ανέπτυξαν βλάβες – ρηγματώσεις στην κάτω περιοχή που έρχονταν σε επαφή με το αλατόνερο (κύκλοι ύγρυνσης – ξήρανσης). Σε κάποια αντικαταστάθηκε – εξυγιάνθηκε η ρηγματωμένη περιοχή με νέο κονίαμα και ακολούθως τοποθετήθηκε ο ΙΟΠ μανδύας (κόκκινο). Σε κάποια δεν εξυγιάνθηκε η ρηγματωμένη περιοχή, απλώς ο μανδύας τοποθετήθηκε συμπεριλαμβάνοντας την (μαύρο). Τα δοκίμια τέθηκαν πάλι σε διάβρωση:



Διάβρωση χωρίς επισκευή

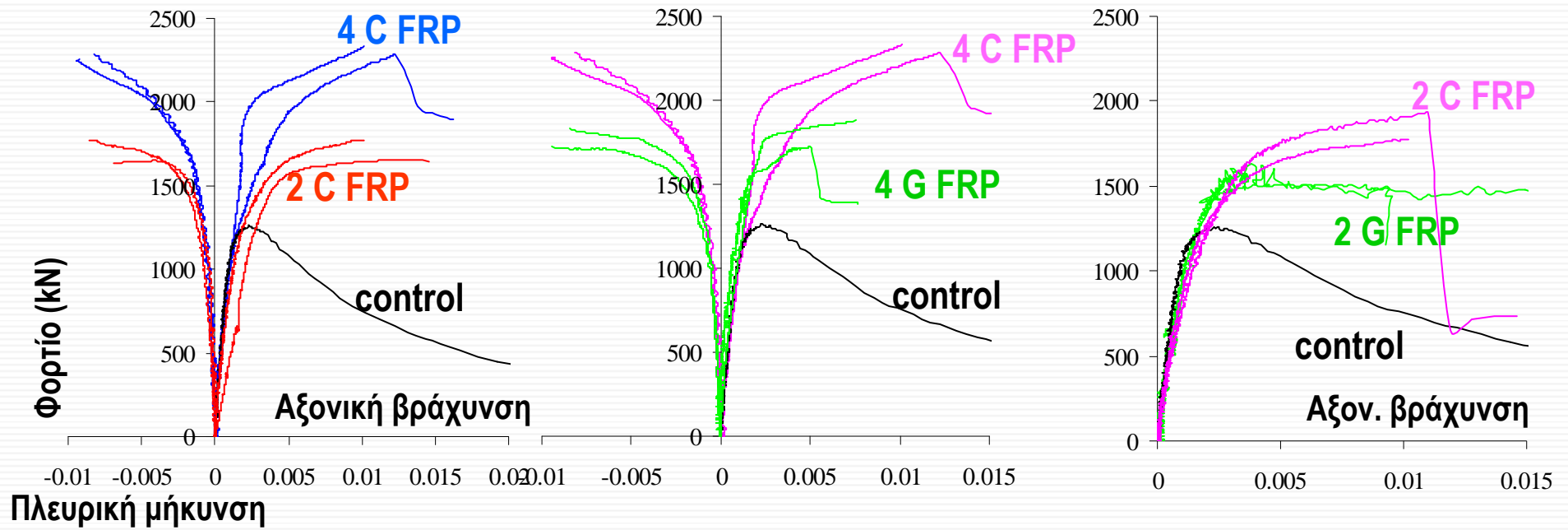
Επισκευή
Μόνο ΙΟΠ

Νέα επικάλυψη
& ΙΟΠ



Μετά το τέλος της διαδικασίας διάβρωσης διαπιστώθηκε ότι αναπτύχθηκαν ρωγμές κυρίως παράλληλα στους συνδετήρες – αδύναμο σημείο της δομικής συμπεριφοράς. Η Επισκευή δεν περιέλαβε και αποκατάσταση των συνδετήρων (θεωρήθηκε ότι το ΙΟΠ μόνο του θα υπερκάλυπτε το έλλειμμα από την αστοχία των συνδετήρων). Όμως από την φόρτιση που ακολούθησε: →→

Αποτελέσματα φόρτισης: ενδεικτικά διαγράμματα φορτίου – παραμόρφωσης (αξονικής και πλευρικής) & αστοχία

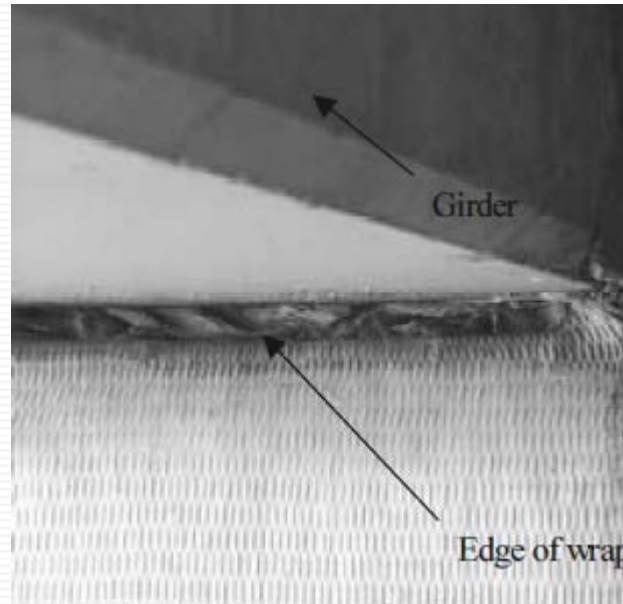


Από την μορφή αστοχίας, φαίνεται ότι όταν μία ανεπάρκεια δεν διορθώνεται (εδώ οι διαβρωμένοι συνδετήρες) αποτελεί αιτία έναρξης της αστοχίας, π.χ. στην πρώτη και δεύτερη φώτο τοπικό σχίσσιμο του μανδύα σε αυτή την θέση επειδή χάθηκε η στήριξη του διαμήκους οπλισμού που παρείχε ο συνδετήρας (απότμηση συνδετήρα). Εάν η περίσφιγξη που ενεργοποιείται δεν είναι μεγάλη (π.χ. λίγες στρώσεις από ασθενέστερο υλικό – εδώ GFRP) τότε ο λυγισμός εξαιτίας αραιών συνδετήρων (με αμελητέα διάβρωση) δεν αποτρέπεται οδηγώντας και πάλι τον μανδύα σε σχίσσιμο (τρίτη φώτο).



Effects of Wrapping Chloride Contaminated Concrete with Fiber Reinforced Plastics,
E. W. Berver, J. O. Jirsa, D. W. Fowler, H. G. Wheat, and T. Moon
(Rep. No. FWHA/TX-03/1774-2, Center for Transportation Research, Un. of Texas at Austin, 2001)

Σε δοκίμια που έρχονταν σε άμεση επαφή με υδάτινο διάλυμα αλατιού (3.5%): **δεν ισχύει αυτό σε συμβατικές κατασκευές, ισχύει π.χ στα καταστρώματα γεφυρών (αντιπαγωτικά άλατα)**



Effects of Wrapping Chloride Contaminated Concrete with Fiber Reinforced Plastics,
E. W. Berver, J. O. Jirsa, D. W. Fowler, H. G. Wheat, and T. Moon
(Rep. No. FWHA/TX-03/1774-2, Center for Transportation Research, Un. of Texas at Austin, 2001)

Σε δοκίμια που έρχονταν σε άμεση επαφή με υδάτινο διάλυμα αλατιού (3.5%): **δεν ισχύει αυτό σε συμβατικές κατασκευές, ισχύει π.χ στα καταστρώματα γεφυρών (αντιπαγωτικά άλατα)**

Ο μανδύας FRP (πλήρης περιτύλιξη), σε άθικτα από διάβρωση δοκίμια, παρέχει φραγμό στην διείσδυση διαβρωτικών παραγόντων (χλωριόντα και υγρασία). Ως εκ τούτου σε υγιή κατασκευή (χωρίς να έχει «μολυνθεί» από χλωριόντα, π.χ. νεόκτιστη σε παραθαλάσσια περιοχή) με πλήρη περιτύλιξη δομικών στοιχείων με ΙΟΠ (π.χ. υποστηλώματα πιλοτής), η διάβρωση είναι αμελητέα.

Ο μανδύας FRP, σε ήδη διαβρωμένα δοκίμια που έχουν επισκευαστεί με νέο κονίαμα, δεν αποτρέπει δραστηριότητα διάβρωσης, αν εισέρχεται υψηλή υγρασία εντός του στοιχείου και η οποία εγκλωβίζεται!