

Μέτρηση συνάφειας οπλισμού μέσω διάδοσης τασικού παλμού.

Determination of bond reinforcement by stress pulse propagation,

Κωνσταντίνος Γ. Βαδαλούκας¹, Βασιλική Γ. Βαδαλούκα²

Λέξεις κλειδιά: Συνάφεια οπλισμού Σκυροδέματος, Σκυρόδεμα, Μη καταστροφικός έλεγχος, Bond of reinforcement in concrete elements, Concrete, Non-destructive testing

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εργασία αυτή είναι μια προσπάθεια που αποσκοπεί στη δυνατότητα ποιοτικού προσδιορισμού της συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος με Μη Καταστροφικές Μεθόδους. Συγκεκριμένα γίνεται προσπάθεια συσχέτισης του βαθμού συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος στοιχείων, με τις διαφοροποιήσεις που θα υποστεί τασικός παλμός, προκαλούμενος με κρούση, κατά την διάδοσή του στα στοιχεία αυτά. Η σύγκριση γίνεται μεταξύ οπλισμού πλήρους συνάφειας και μειωμένης συνάφειας. Η μείωση της συνάφειας πραγματοποιείται καλύπτοντας με πλαστικό τμήματα του οπλισμού, με μικρή επικάλυψη από το σκυρόδεμα και με χρήση διαβρωμένου οπλισμού. Η σύγκριση αφορά τις κυματομορφές του διαδιδόμενου παλμού και τις παραμορφώσεις σε επιλεγμένα σημεία του οπλισμού. Η μέτρηση των παραμορφώσεων έγινε με ηλεκτρικούς μετρητές παραμόρφωσης και η συλλογή, αποθήκευση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων έγινε με μετρητικό σύστημα ταχείας λήψης δεδομένων.

ABSTRACT: This work is an effort aimed at the qualitative determination of the reinforcing-concrete bond by Non Destructive Methods. In particular, an attempt is made to correlate the degree of bond of reinforcement-concrete elements, with the variations of a pulse, caused by impact, when it is propagated to these elements. The comparison is made between full bond reinforcement and reduced bond. The reduction of bond is effected by covering with plastic parts of the reinforcement, or with little reinforcement cover or using steal corrosion reinforcement. The comparison relates to pulse propagation waveforms and strain, at selected points of reinforcement. The strain measurements were performed with strain gauges and for the recording a data acquisition system was used.

¹ Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.. 3DR Προγράμματα Μηχανικού ΕΠΕ Χαλάνδρι, Ελλάδα e-mail: kostasv@3dr.eu

² Επίκουρος Καθηγήτρια. Εργαστήριο Αντοχής Υλικών ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ e-mail: vvada@central.ntua.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, κυρίαρχης σημασίας μηχανισμός για την συνολική εντατική απόκριση, αποτελεί η συνάφεια μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος. Στην οριακή κατάσταση αστοχίας είναι καθοριστικός ο ρόλος της μέσω των αγκυρώσεων για την δυνατότητα στροφής των διατομών κάτω από τις σεισμικές δράσεις και την δυνατότητα σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων στην κρίσιμη περιοχή δοκών και υποστυλωμάτων. Αλλά και στις καταστάσεις λειτουργικότητας, παίζει καθοριστικό ρόλο στο μέγεθος των ρωγμών που θα εμφανιστούν και στα βέλη που θα αναπτυχθούν. Η κρισιμότητα της περίπτωσης της μειωμένης συνάφειας, αφορά προφανώς στην επάρκεια υφιστάμενων κατασκευών να ανταπεξέλθουν σε ενδεχόμενες σεισμικές δράσεις, καθώς η κατά τον σχεδιασμό ιεράρχηση των εκδηλούμενων μορφών αστοχίας, ανατρέπεται με συνέπεια την πρώιμη αστοχία της κατασκευής.

Η εκτίμηση της απομένουσας διαθέσιμης αντοχής συνάφειας προβληματικών αγκυρώσεων αποτελεί ως εκ τούτου αντικείμενο μελέτης πρωταρχικής σημασίας, [1,2,3,4,5] και μέχρι σήμερα έχει διεξαχθεί εκτεταμένη πειραματική και αναλυτική έρευνα με σκοπό τον καθορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν την συνάφεια, καθώς και την κατανόηση της μηχανικής του προβλήματος, [6,7,8,9]. Το βασικό πειραματικό μέσο προς τον σκοπό αυτό, αποτελεί η δοκιμή εξόλκευσης, η οποία σαν καταστροφική δοκιμή, δίνει τα πλέον αξιόπιστα και ακριβή στοιχεία προς εξαγωγή συμπερασμάτων. Έτσι έχει προκύψει ο αναλυτικός μηχανισμός της δράσης της συνάφειας, που περιγράφεται σαν σχέση μεταξύ της διεπιφανειακής τάσης και της σχετικής ολίσθησης του οπλισμού. Η σχέση αυτή αποτελεί βασικό εργαλείο κατά τον σχεδιασμό αλλά και την ανάλυση των δομικών στοιχείων.

Βέβαια υπάρχει πάντα το πρόβλημα της εκτίμησης του βαθμού συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος σε υφιστάμενες κατασκευές, όταν δεν είναι δυνατή μία καταστροφική δοκιμή. Ενδεικτικά αναφέρονται δύο παραδείγματα:

Το θέμα των επιπτώσεων της σεισμικής δράσης στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν η δράση συντελείται ενώ το σκυρόδεμα είναι ακόμα νωπό, [10], θέμα που απασχολεί τη χώρα μας λόγω της συχνότητας των σεισμικών δράσεων και το θέμα της επίπτωσης της διάβρωσης του χάλυβα, [11,12]. Όπως είναι γνωστό, η συνάφεια οπλισμού-σκυροδέματος μειώνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός διάβρωσης του χάλυβα λόγω της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό, καθώς και των αλλοιώσεων των νευρώσεων και της διατομής του. Και το θέμα αυτό απασχολεί έντονα τους Έλληνες μηχανικούς, λόγω του πλήθους των παραθαλάσσιων κατασκευών, αλλά και της παλαιότητας μεγάλου οικοδομικού όγκου.

Μη καταστροφικοί έλεγχοι έχουν αναπτυχθεί, [13,14] και ερευνούν παράγοντες που έχουν επίδραση στην συνάφεια, όπως η διάβρωση, η ανακυκλιζόμενη φόρτιση κλπ. Βασικό πειραματικό εργαλείο αποτελεί η μέθοδος των υπερήχων. Υπάρχουν όμως δυσκολίες για τον έλεγχο της κατάστασης της διεπιφάνειας μεταξύ ράβδου και σκυροδέματος, οπότε πειραματικά δεδομένα στην περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμα

Η παρούσα εργασία αποτελεί το αρχικό στάδιο, διερευνητικό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί, για την δυνατότητα ποιοτικού ελέγχου του βαθμού συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος, ιδιαίτερα στην διεπιφάνεια τους, με μη καταστροφικό τρόπο. Βασίζεται στην σύγκριση και την πιθανή διαφοροποίηση που θα υποστεί τασικός παλμός, τόσο στην κυματομορφή του, όσο και στις προκαλούμενες παραμορφώσεις κατά την διάδοσή του σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία έχουν διαφορετικό βαθμό συνάφειας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ακόλουθη: Χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι κατασκευαστικού χάλυβα, Φ12, με νευρώσεις. Πριν την σκυροδέτηση, επί των ράβδων του χάλυβα τοποθετήθηκαν ηλεκτρικοί μετρητές παραμόρφωσης (strain gauges). Αυτοί ήταν της TML, τύπου FLA-5-11 με καλώδια και αντίστασης 120 Ω. Στο Σχήμα 1α, φαίνονται οι ηλεκτρικοί μετρητές παραμόρφωσης επί των ράβδων του χάλυβα. Κατόπιν οι ηλεκτρικοί μετρητές παραμόρφωσης μονώθηκαν και στεγανοποιήθηκαν με σιλικόνη για να προστατευθούν κατά την διαδικασία της σκυροδέτησης. Στο Σχήμα 1β φαίνονται οι μονωμένοι με σιλικόνη, ηλεκτρικοί μετρητές παραμόρφωσης.



Σχήμα 1α Οι ηλεκτρικοί μετρητές παραμόρφ.



Σχήμα 1β Η μόνωση τους

Οι ράβδοι του οπλισμού τοποθετήθηκαν σε κυλινδρικές μήτρες σε διαμήκη διάταξη και ακολούθησε η σκυροδέτηση. Έτσι δημιουργήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια από σκυρόδεμα, κατά ASTM, ύψους $h=30\text{cm}$ και διαμέτρου $d=15\text{cm}$.

Παρουσιάζονται τρεις τύποι δοκιμίων, που αντιστοιχούν στους τρεις διαφορετικούς τρόπους της μείωσης της συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος που επιτελέστηκε. Συγκεκριμένα:

α) Στον πρώτο τύπο δοκιμίων, η μείωση της συνάφειας έγινε με επικάλυψη πλαστικού περιτυλίγματος αεροφουσαλίδων, σε κάποια τμήματα των ράβδων χάλυβα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Οι ράβδοι μειωμένης συνάφειας τοποθετήθηκαν κεντρικά σε κάποια δοκίμια, ενώ σε κάποια άλλα τοποθετήθηκαν επίσης κεντρικά, ράβδοι οπλισμού πλήρους συνάφειας .

β) Στον δεύτερο τύπο δοκιμίων, η μείωση της συνάφειας αντιστοιχεί σε ράβδους με μικρή επικάλυψη σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή δύο ράβδοι οπλισμού τοποθετήθηκε περιφερειακά στα δοκίμια σκυροδέματος, ενώ μία ράβδος τοποθετήθηκε κεντρικά, για πλήρη συνάφεια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

γ) Στον τρίτο τύπο δοκιμίων η μείωση της συνάφειας συνίσταται στην τοποθέτηση διαβρωμένων ράβδων χάλυβα παράλληλα με υγιείς, τοποθετημένων ανά ζεύγη, (υγιές-διαβρωμένο), επίσης κεντρικά στα δοκίμια σκυροδέματος. Διευκρινίζεται ότι δεν έγινε ποσοτικός προσδιορισμός του βαθμού διάβρωσης του χάλυβα, γιατί τα πειράματα αυτά αποτελούσαν μία πρώτη ποιοτική προσέγγιση του προβλήματος.

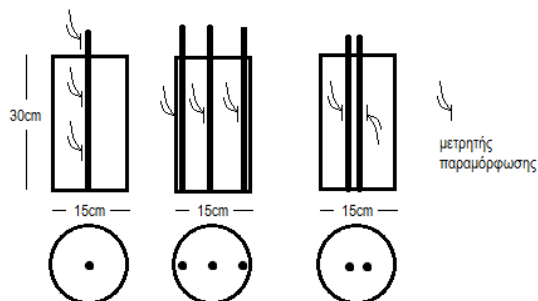


Σχήμα 2. Μείωση Συνάφειας με περιτύλιξη.



Σχήμα 3 Με μικρή επικάλυψη

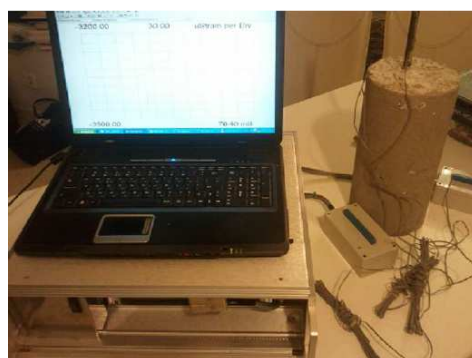
Οι τρεις τύποι δοκιμίων φαίνονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Οι τρεις τύποι δοκιμίων.

Ο τασικός παλμός δημιουργήθηκε από κρουστική καταπόνηση με σφυρί. Τα δοκίμια στηρίζονταν με απλή έδραση και ο διαμήκης οπλισμός προεξείχε. Η κρούση σε όλα τα δοκίμια έγινε επί του ελεύθερου άκρου του προεξέχοντος διαμήκους οπλισμού.

Για την καταγραφή της κυματομορφής και των παραμορφώσεων απαιτείται μετρητικό σύστημα κατάλληλο για δυναμικές μετρήσεις. Χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτό, το πολυκαναλικό σύστημα ταχείας λήψης, καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων, (Data Acquisition System), Σχήμα 5, που είναι το Model 6035 της PACIFIC INSTRUMENTS. Οι μετρήσεις έγιναν με 80.000 λήψεις/sec ανά κανάλι.

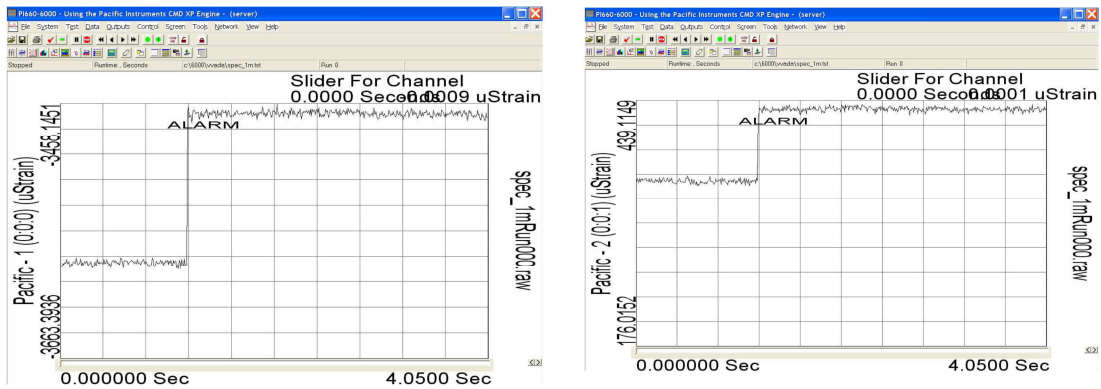


Σχήμα 5 Το μετρητικό Σύστημα

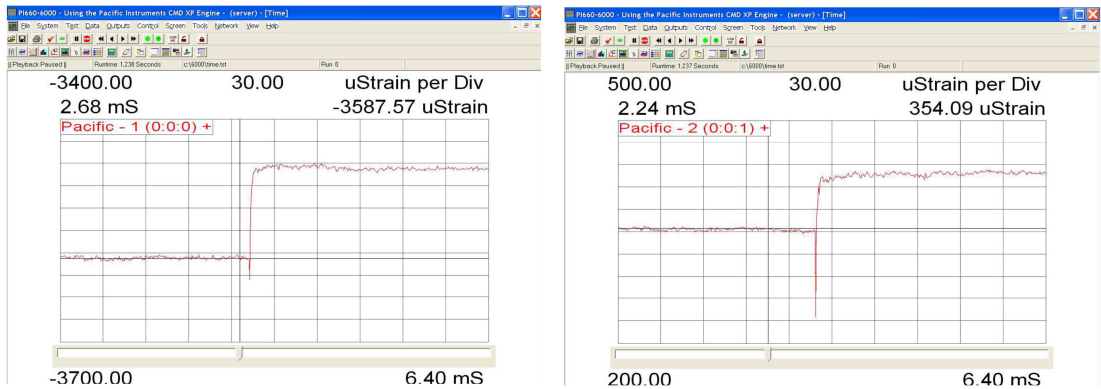
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον πρώτο τύπο δοκιμών:

Στο σχήμα 6(α) και (β) παρουσιάζονται οι κυματομορφές, (Timehistory) για τα δοκίμια που έχουν πλήρη συνάφεια, για την κάτω και πάνω θέση του μετρητή παραμόρφωσης, αντίστοιχα. Στα διαγράμματα των σχημάτων αυτών, ο οριζόντιος άξονας έχει τιμές πραγματικού χρόνου της διάρκειας της καταγραφής, (εδώ 4.05sec) και στον κατακόρυφο, είναι οι μετρούμενες παραμορφώσεις, (σχετική κλίμακα).



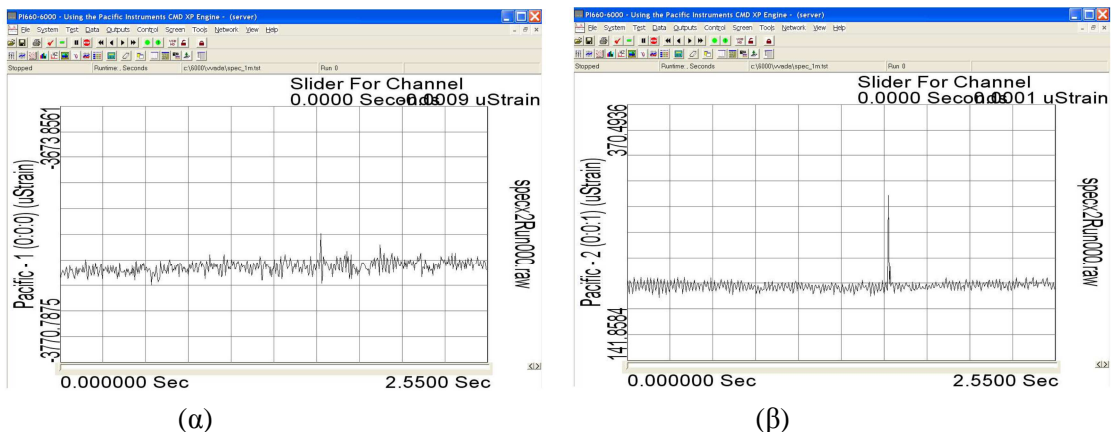
Σχήμα 6: Δοκίμιο με συνάφεια (α) κάτω θέση (β) πάνω θέση μετρητή



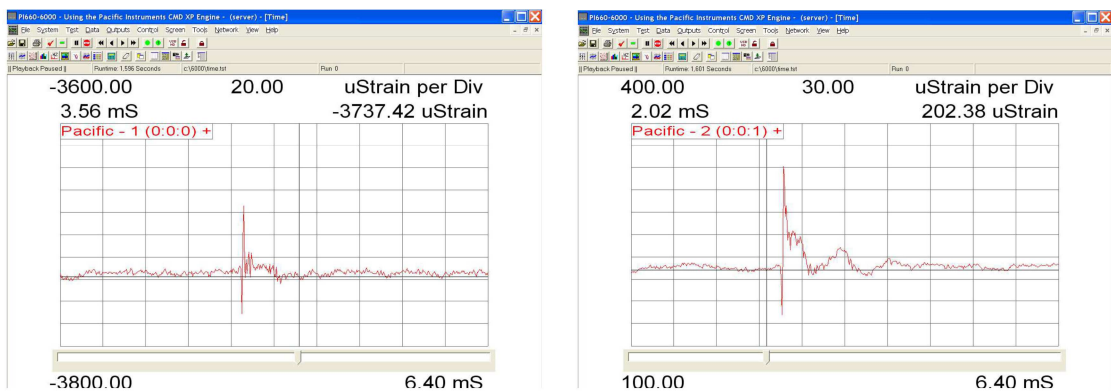
Σχήμα 7 Τα αντίστοιχα του σχ. 6(α) και (β) στην χρονική περιοχή της διαταραχής.

Στο σχήμα 7(α) και (β) παρουσιάζονται τα αντίστοιχα με το σχήμα 6, σε μεγέθυνση την χρονική περιοχή της διαταραχής, ώστε να φανεί καλλίτερα το περιεχόμενο. (Εδώ, κάθε υποδιαίρεση στον κατακόρυφο άξονα αντιστοιχεί σε παραμόρφωση 30μ, ενώ στον οριζόντιο ο χρόνος είναι από 2.68- 6.4 msec).

Στο σχήμα 8(α) και (β) παρουσιάζονται οι κυματομορφές για τα δοκίμια που δεν έχουν πλήρη συνάφεια, για την κάτω και πάνω θέση του μετρητή, αντίστοιχα και στο σχήμα 9(α) και (β) τα αντίστοιχα στην μεγεθυμένη κλίμακα χρόνου στη χρονική περιοχή της διαταραχής.



(α) (β)
Σχήμα 8 Δοκίμιο χωρίς συνάφεια, (α) κάτω θέση, (β) πάνω θέση μετρητή



Σχήμα 9 Αντίστοιχα του σχ.8 στην χρονική περιοχή της διαταραχής

Όπως φαίνεται στα σχήματα 6 και 7, στα δοκίμια δηλαδή με πλήρη συνάφεια, όταν ο παλμός φτάσει στη θέση του μετρητή, δημιουργείται μία παραμόρφωση.

Η παραμόρφωση αυτή δεν επανέρχεται στην αρχική της στάθμη μετά την διέλευση του παλμού, αλλά διατηρείται στην νέα της στάθμη, τουλάχιστον όσο διαρκεί η καταγραφή, (2.5-4sec). Αντίθετα στα δοκίμια που δεν έχουν πλήρη συνάφεια, σχήμα 8 και 9, δεν παρουσιάζεται το άλμα στην παραμόρφωση και αμέσως μόλις διέλθει ο παλμός, η όποια παραμόρφωση δημιουργήθηκε κατά την στιγμή της διαταραχής μηδενίζεται και η παραμόρφωση επανέρχεται στην αρχική της στάθμη. Η διαφορά αυτή παρατηρείται τόσο για τις κάτω θέσεις, όσο και για την πάνω θέσεις των μετρητών μέσα στα δοκίμια, [15].

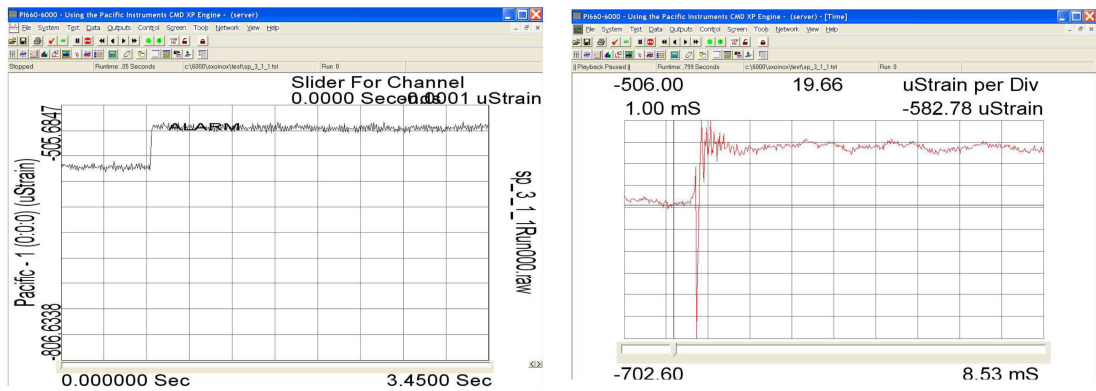
Στα δοκίμια με συνάφεια, το παρατηρούμενο άλμα της παραμόρφωσης, είναι μεγαλύτερο για την κάτω θέση του μετρητή και μικρότερο για την πάνω, για το ίδιο δοκίμιο. Δηλαδή είναι μεγαλύτερο στην βάση του δοκιμίου, όπου ο βαθμός συνάφειας είναι μεγαλύτερος. Επίσης στα δοκίμια με και χωρίς πλήρη συνάφεια, η ταλάντωση που παρατηρείται είναι εντονότερη για την πάνω θέση του μετρητή και λιγότερο έντονη για την κάτω, στο ίδιο δοκίμιο. Δηλαδή η ταλάντωση είναι εντονότερη εκεί που ο βαθμός συνάφειας είναι μικρότερος.

Λόγω εξασθένησης του παλμού σε μεγαλύτερο βάθος μέσα στο δοκίμιο, θα περίμενε κανείς ασθενέστερες παραμορφώσεις προς την βάση του. Όπως όμως παρατηρήθηκε, ενώ ο παλμός πράγματι εξασθενεί με το βάθος, δηλαδή το αρχικό ύψος του παλμού μειώνεται από το ελεύθερο άκρο ως την βάση του δοκιμίου, εντούτοις η παραμόρφωση αυξάνει επομένως επηρεάζεται ισχυρά από άλλον παράγοντα που είναι ο βαθμός συνάφειας.

Τα αποτελέσματα ήταν ποιοτικά όμοια, δηλαδή παρουσιάστηκαν τα ίδια φαινόμενα με τα προαναφερθέντα. Διαφορές υπήρχαν μόνο ποσοτικές στο ύψος του αρχικού παλμού και στο ύψος του άλματος της παραμόρφωσης, αποτέλεσμα πιθανότατα της μη σταθερής αρχικής κρουστικής δύναμης. Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα, μπορούμε να πούμε ότι οι οπλισμοί που δεν είχαν πλήρη συνάφεια ως πιο “ελεύθεροι”, είχαν την δυνατότητα ταλάντωσης και επαναφοράς στην αρχική τους κατάσταση. Αντίθετα οι οπλισμοί που είχαν συνάφεια και υφίστανται μεγαλύτερες δυνάμεις ιδιαίτερα στην κάτω θέση, ως πιο δεσμευμένοι δεν είχαν ιδιαίτερη δυνατότητα ταλάντωσης, αλλά με την κρούση μάλλον ολίσθησαν απειροστά και δεσμεύτηκαν σε νέα θέση.

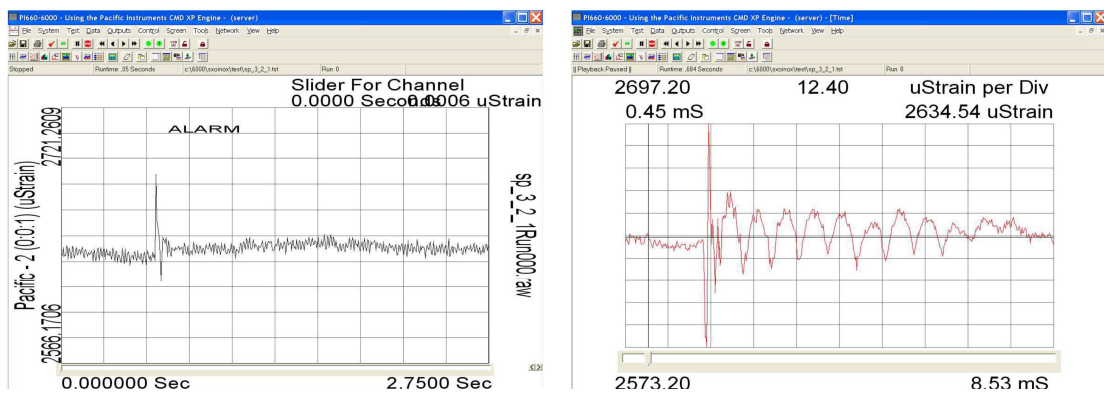
Για τον δεύτερο τύπο δοκιμίων:

Στους οπλισμούς που έχουν τοποθετηθεί κεντρικά στα δοκίμια σκυροδέματος παρατηρείται επίσης το άλμα στις τιμές παραμόρφωσης όπως φαίνεται στο σχήμα 10 (α) και (β) όπου παρουσιάζονται η κυματομορφή και η αντίστοιχη σε μεγέθυνση στην χρονική περιοχή της διαταραχής. Η παραμόρφωση επίσης δεν επανέρχεται στην αρχική της θέση, αλλά παραμένει μετά την διέλευση του παλμού στη νέα της στάθμη, τουλάχιστον όσο διαρκεί η καταγραφή, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 10 Κεντρικός οπλισμός (α) Κυματομορφή (β) η χρονική μεγέθυνση.

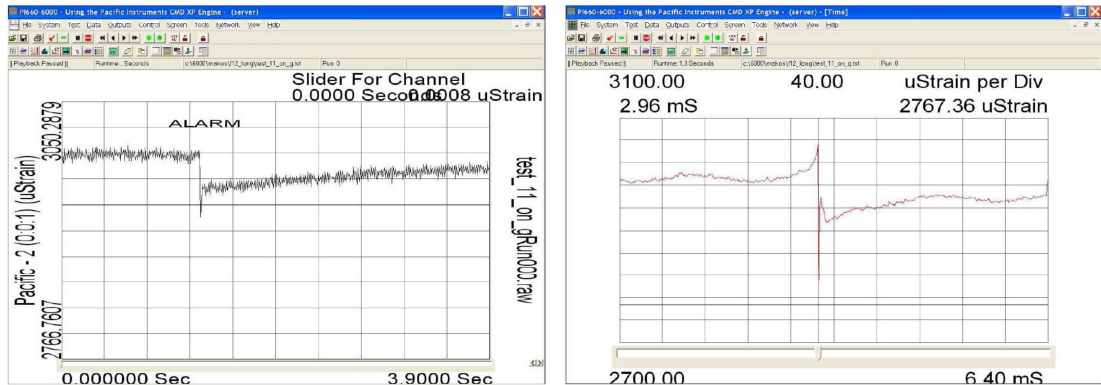
Στους οπλισμούς που ήταν τοποθετημένοι περιφερειακά στα δοκίμια σκυροδέματος, που είχαν δηλαδή μικρότερη επικάλυψη, παρουσιάστηκε εν γένει ανομοιομορφία ως προς τα αποτελέσματα της παραμόρφωσης, [16]. Σε κάποιες περιπτώσεις παρουσίασαν αντίστοιχα αποτελέσματα με τον πρώτο τύπο δοκιμίων χωρίς συνάφεια, σχήμα 11 (α) και (β) και σε κάποιες άλλες παρουσίασαν άλμα, μικρότερο εν γένει από τα αντίστοιχα των δοκιμίων με πλήρη συνάφεια. Η ανομοιομορφία πιθανόν να οφείλεται στο ότι δεν τοποθετήθηκαν ακριβώς στην ίδια θέση οι περιφερειακοί οπλισμοί κατά την σκυροδέτηση, οπότε υπήρχε διαφορετικός βαθμός επικάλυψης τους.



Σχήμα 11 Περιφερειακός οπλισμός (α) Κυματομορφή (β) Η χρονική μεγέθυνση

Για τον τρίτο τύπο δοκιμίων:

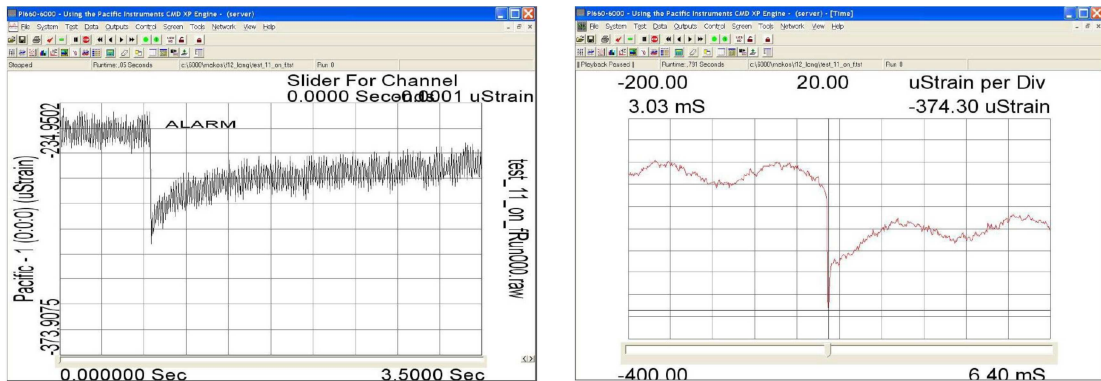
Ο υγιής οπλισμός παρουσίασε επίσης την ίδια συμπεριφορά, δηλαδή το άλμα της παραμόρφωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 12 (α) και (β) που παρουσιάζεται η κυματομορφή και η αντίστοιχη μεγέθυνση της χρονικής περιοχής της διαταραχής.



Σχήμα 12 Υγιής χάλυβας (α) κυματομορφή (β) Η χρονική μεγέθυνση

Ο διαβρωμένος οπλισμός παρουσίασε μικρότερο άλμα της παραμόρφωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 13 (α) και (β), που παρουσιάζεται η κυματομορφή και η αντίστοιχη μεγέθυνση της χρονικής περιοχής της διαταραχής.

Ο υγιής οπλισμός κατά την κρούση επί αυτού, παρουσίαζε μεγαλύτερες τιμές του άλματος, έναντι των τιμών του διαβρωμένου οπλισμού όταν η κρούση γινόταν επί του διαβρωμένου. Αλλά επίσης ο υγιής οπλισμός κατά την κρούση στον διαβρωμένο, παρουσίαζε μεγαλύτερες τιμές από τον διαβρωμένο κατά την κρούση επί του υγιούς. Προφανώς οι υγιείς ράβδοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνάφεια έναντι των διαβρωμένων, [17].



Σχήμα 13 Διαβρωμένος χάλυβας (α) κυματομορφή (β) Η χρονική μεγέθυνση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πειραματική εργασία αυτή, έγινε μια πρώτη προσπάθεια για να ελεγχθεί ποιοτικά, αν συσχετίζεται η επίδραση του βαθμού συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος στην διάδοση τασικού παλμού.

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι πράγματι υπάρχει επίδραση του βαθμού συνάφειας, γιατί υπήρξε διαφοροποίηση του παλμού. Στα δοκίμια που είχαν συνάφεια οπλισμού-σκυροδέματος, η παραμόρφωση παρουσίαζε ένα άλμα και παρέμενε στην νέα τιμή της, χωρίς να επιστρέφει στην αρχική της τιμή. Το φαινόμενο αυτό ήταν επαναλήψιμο ως προς τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Στα δοκίμια που δεν είχαν καλή συνάφεια οπλισμού σκυροδέματος, η απόκριση του οπλισμού στον κρουστικό παλμό, ήταν διαταραχή της παραμόρφωσης επίσης μορφής παλμού, (εξασθενημένου), δηλαδή μικρή ταλάντωση και επαναφορά στα αρχικά επίπεδα χωρίς να παρουσιάζουν εν γένει άλμα. Στα δοκίμια αυτά τα αποτελέσματα δεν ήταν πάντα επαναλήψιμα, αλλά αν παρουσίαζαν άλμα, αυτό ήταν μικρότερο από το αντίστοιχο της πλήρους συνάφειας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Menzel, C.A., Some Factors Influencing Results of Pull-Out Bond Tests, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.35, June 1939, pp 516-543.
2. Ferguson, P.M. and Thompson, J.N., Development Length of High Strength Reinforcing Bars in Bond, *Journal of the American Concrete Institute*, July, 1962, pp.887-921.

3. McDermott, J.F., Effect of Steel Strength and of Reinforcement Ratio on the Mode of Failure and Strain Energy Capacity of Reinforced Concrete Beams, Report by ACI Committee 439, *American Concrete Institute Journal*, March 1969, pp 165-172.
4. Mitchell, D. et.al., State-of-the-Art Report on Bond Under Cyclic Loads, Reported by ACI Committee 408, ACI 408.2R-92, 1992, pp 1-31.
5. Π. Ι. Γιαννόπουλος, Συνάφεια ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα, *15ο Συνέδριο Σκυροδέματος*, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξ/πολη, 25-27 Οκτωβρίου., 2006
6. Ferguson, P.M., and Thompson, J.N., Development Length for Large High Strength Reinforcing Bars, *Journal of the American Concrete Institute*, Jan. 1965, pp 71-91
7. Yan, C., Bond Between Reinforcing Bars and Concrete Under Impact Loading, *Ph.D. Thesis*, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, 1992, p.369.
8. Vos, I.E., Influence of Loading Rate and Radial Pressure on Bond in Reinforced Concrete. A Numerical and Experimental Approach, *Ph.D. Thesis*, Delft University of Technology, 1983, p 234.
9. J. H. Weathersby, Investigation of bond slip between concrete and steel reinforcement under dynamic loading conditions, *Ph.D. Thesis*, 2003.
10. Trezos C.G., Mpomporis L., Fotopoulos A., and Georgiou Chr., Fress concrete under seismic action, *14th Greek Conference of Reinforced Concrete*, Kos, 2003.
11. Apostolopoulos C. A., Papadakis V., G., Consequences of steel corrosions on the ductility properties of reinforcement bar, *Construction and Building Materials*, Vol.22, Iss.12, pp.2216-2234, 2008.
12. Apostolopoulos C. A., Kappatos V., Tensile properties of corroded embedded steel bars B500c in concrete, *International Journal of Structural Integrity*, Vol.4, Iss.2, pp.275-204, 2013.
13. Trezos C.G., Vassilopoulos Th. and Mougiakos S., Influence of the surface corrosion on the bond behavior of reinforced concrete, *14th Greek Conference of Reinforced Concrete*, Kos, 2003.
14. Trezos C.G. and Sagias D., Influence of high temperatures on the bond behavior of reinforced concrete, *15th Greek Conference of Reinforced Concrete*, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξ/πολη, 25-27 Οκτωβρίου., 2006.
15. Βαδαλούκας Γ. Κων/νος, Πειραματική Μελέτη Επίδρασης της Συνάφειας Οπλισμού-Σκυροδέματος στην Διάδοση Τασικού Παλμού, *Διπλωματική Εργασία*, ΕΜΠ, 2012.
16. Σχοινοχωρίτης Γεώργιος., Επίδραση της Συνάφειας Οπλισμού-Σκυροδέματος με μικρή επικάλυψη στη διάδοση κύματος, *Διπλωματική Εργασία*, ΕΜΠ, 2013.
17. Μάκος Κ. Βασίλειος., Πειραματική Μελέτη Επίδρασης Διαβρωμένου Χάλυβα Οπλισμού στην Διάδοση Τασικού Παλμού, *Διπλωματική Εργασία*, ΕΜΠ, 2016.