

ΑΙΤΙΑ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

Ε. ΚΟΥΜΠΕΤΣΟΥ – Σ. ΜΠΑΛΑΤΣΟΥΚΑ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία θα επιχειρηθεί να γίνει μία συστηματική παρουσίαση των πλέον σημαντικών αιτιών που φαίνεται να επηρεάζουν την έκταση – παρουσία των ρωγμών σε ένα δομικό στοιχείο σπλισμένου σκυροδέματος. Επιπλέον αναφέρονται οι πιο συνηθισμένοι τρόποι επισκευή τους. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στην πιο συχνή μέθοδο επισκευής των ρωγμών, την ρητινένεση καθώς παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της, ενάντι των άλλων μεθόδων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος έστω και σε ελάχιστο βαθμό είναι ένα αναπόφευκτο φαινόμενο. Ανάλογα με την ένταση των ρωγμών μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα μείωσης της φέρουσας ικανότητας ενός δομικού στοιχείου. Για να μπορέσουμε να επέμβουμε στις ρωγμές θα χρειαστεί να βεβαιωθούμε αν η ρωγμή είναι “ζωντανή” ή “νεκρή”. Μια καλή ρωγμή είναι πάντα μια “νεκρή” ρωγμή, δηλαδή αυτή που δεν αυξάνει πλέον το εύρος ή το μήκος της. Εξίσου σημαντικό είναι πριν επέμβουμε στη ρωγμή να γνωρίζουμε το αίτιο που την προκάλεσε και ανάλογα να επιλέξουμε τον αντίστοιχο τρόπο επισκευής.

2. ΑΙΤΙΑ ΡΩΓΜΩΝ

Μία σημαντική διάκριση των ρωγμών είναι: αυτές που είναι επακόλουθο εξωτερικών φορτίσεων – σεισμός και αυτές που είναι επακόλουθο μη εξωτερικών φορτίσεων.

2.1 ΟΙ ΡΩΓΜΕΣ ΩΣ ΕΠΑΚΟΛΟΥΘΟ ΜΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Μία αρκετά συστηματική ταξινόμηση των κυριότερων τύπων, αιτιών και μέτρων αποφυγής ρηγμάτωσης δίνεται στον πίνακα 1.

2.2 ΟΙ ΡΩΓΜΕΣ ΩΣ ΕΠΑΚΟΛΟΥΘΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ –ΣΕΙΣΜΟΣ

2.2.1 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Οι ρωγμές στα υποστυλώματα έχουν διατμητικό χαρακτήρα και εμφανίζονται υπό μορφή χιαστί στην ασθενέστερη ζώνη του υποστυλώματος (σχ. 1). Εμφανίζονται σε υποστυλώματα μέσης έως μικρής λυγηρότητας

Πίνακας Ταξινόμηση τύπων ρηγμάτωσης (εξαιρούνται αυτοί λόγω εξωτερικών φορτίων).

Τύπος ρωγμής	Γράμμα (Σχ. 6.55)	Υποδιαίρεση	Συνθήκες θέση	Κύριο αίτιο (εκτός από παρεμπόδιση παραμορφώσεων)	Άλλα αίτια	Μέτρα θεραπείας (υπόθεση: αδύνατος ο επανασχεδιασμός). Μείωση παρεμπόδισης σε όλες τις περιπτώσεις	Χρόνος εμφάνισης
Πλαστική καθίση	A	Πάνω από οπλισμούς	Υψηλές διατομές	Μεγάλη εξίδρωση	Συνθήκες απότομης αρχικής ξήρανσης	Μείωση εξίδρωσης (σερακτικό) ή αναδόνηση	10 λεπτά μέχρι 3 ώρες
	B	Τοξοειδής	Επάνω ακρο υποστυλώμ.				
	C	Αλλαγή βαθους	Πλάκες με διαδοκίδες				
Πλαστική αστοχία	D	Διαγώνια	Οδοστρώματα, πλάκες	Απότομη αρχική ξήρανση	Μικρή εξίδρωση	Βελτίωση αρχικής συντήρησης	30 λεπτά μέχρι 6 ώρες
	E	Τυχαία	Πλάκες οπλ. σκυροδέματος				
	F	Πάνω από οπλισμούς	Πλάκες οπλ. σκυροδέματος				
Πρώρη θερμική αστοχία	G	Εξωτερική παρεμπόδιση	Παχιά τοιχώματα	Μεγάλη έκλυση θερμότητας	Απότομη ψύξη	Μείωση θερμότητας, μόνωση	1 ημέρα μέχρι 2-3 εβδομάδες
	H	Εσωτερική παρεμπόδιση	Παχιά πλάκες	Μεγάλες διαφορές θερμότητας			
Μακροχρόνια αστοχία ξήρανσης	I		Λεπτές πλάκες και τοιχώματα	Κακοί αρμοί	Μεγάλη συστοκακή συντήρηση	Μείωση ποσότητας νερού, βελτίωση συντήρ.	Μερικές εβδομάδες ή μήνες
Σκασίμο	J	Επιφάνεια σε καλούπι	Όψεις σκυροδέματος	Αδιαπέρατα καλούπια	Ρευστά αναμίγματα	Βελτίωση συντήρησης και τελειώματος	1-7 ημέρες, μπορεί και πολύ αργότερα
	K	Ελεύθερη οριζ. επιφάνεια	Πλάκες	Παρατεταμένη επιπέδωση με μυστρί	Κακή συντήρηση		
Διαβρωση οπλισμού	L		Υποστυλώματα δοκοί	Μικρή επικάλυψη	Κακή ποιότητα σκυροδέματος	Εξάλειψη αιτιών	Πάνω από 2 χρόνια
Αντίδραση αδρανών-αλκαλίων	M		Υγρές περιοχές	Ενεργά αδρανή, τσιμέντο πλούσιο σε αργίλικά		Εξάλειψη αιτιών	Πάνω από 5 χρόνια

$$a = \frac{M}{Q \cdot h} = \frac{L}{2h} < 3,5$$

με οριακή εικόνα την εκρηκτική διατμητική αστοχία των κοντών υποστυλωμάτων (σχ.2). Η βασική αιτία αυτού του τύπου βλάβης βρίσκεται στο γεγονός ότι στα μέσης και μικρής λυγηρότητας υποστυλώματα η καμπτική αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διατμητική, με αποτέλεσμα να προέχει η διατμητική αστοχία.

Τέλος, μερικές φορές στην περίπτωση μονόπλευρα τοιχοπληρωμένου πλαισίου, την αστοχία της τοιχοπληρώσεως παρακολουθούν και οι στύλοι που την πλαισιώνουν με αστοχία διατμητικού τύπου (σχ. 3).

2.2.2 ΤΟΙΧΕΙΑ

Οι ρωγμές που εμφανίζονται από σεισμό στα τοιχεία είναι τριών τύπων. Πρώτη και συνηθέστερη είναι “η εμφάνιση ρηγματώσεως σε αρμούς σκυροδετήσεως” (σχ. 4). Οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μη καλότεχνη σύνδεση παλιού με νέο σκυρόδεμα. Ακολουθεί από πλευράς συχνότητας η εμφάνιση “χιαστί ρωγμών” σε τοιχεία (σχ. 5). Πρόκειται για διατμητικής μορφής αστοχία ψαθυρού χαρακτήρα. Τέλος, οι ρωγμές καμπτικού τύπου έχουν εμφανισθεί ελάχιστες (σχ. 6) φορές.

2.2.3 ΔΟΚΟΙ

Οι συνηθέστεροι τύποι ρωγμών που παρουσιάζονται στις δοκούς είναι οι εξής 6:

1. Ρηγματώσεις με εγκάρσια ρήγματα στο εφελκόμενο πέλμα του ανοίγματος.
2. Διατμητική αστοχία παρά τις στηρίξεις.
3. Καμπτικά ρήγματα στο άνω ή κάτω πέλμα στις στηρίξεις.
4. Διατμητική ή καμπτική αστοχία στις θέσεις εδράσεως δευτερευουσών δοκών ή φυτευτών υποστυλωμάτων.
5. Χιαστί διατμητικά ρήγματος σε κοντές δοκούς που συνδέουν τοιχεία.

Η πρώτη κατηγορία η οποία είναι και η πιο συχνά εμφανιζόμενη δεν είναι δυνατό να αιτιολογηθεί (σχ. 7), εφόσον η επίδραση των σεισμικών φορτίων δεν αλλοιώνει τη ροπή κάμψεως του ανοίγματος.

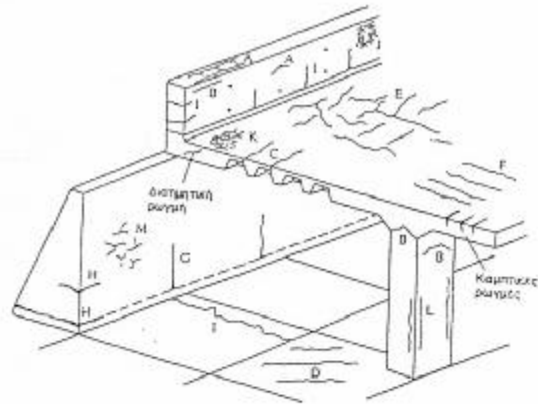
Προφανώς η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού με τον επαναληπτικό χαρακτήρα της καθιστά απλά εμφανή τα τριχοειδή ρήγματα που προέρχονται από κάμψη της εφελκόμενης ζώνης. Πρόκειται λοιπόν για εκδήλωση μάλλον υφιστάμενης φυσιολογικής ρηγματώσεως.

Η “διατμητική αστοχία παρά τις στηρίξεις” (σχ. 8), είναι ο δεύτερος σε συχνότητα τύπος βλάβης στις δοκούς.

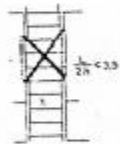
Τα “καμπτικά ρήγματα στις στηρίξεις στο άνω ή κάτω πέλμα της δοκού” (σχ. 9) αιτιολογούνται πλήρως από τη στατική προσομοίωση του σεισμικού φαινομένου με οριζόντια φορτία. Η ρηγματώση στο κάτω πέλμα συνήθως οφείλεται συνήθως σε κακή αγκύρωση του οπλισμού κάτω πέλματος στις στηρίξεις (οπότε εκδηλώνεται με 1 ή 2 ρήγματα μεγάλου εύρους κοντά στη στήριξη).

Η πέμπτη κατηγορία (σχ. 9.1) οφείλεται στην κατακόρυφη εναλλασσόμενη συνιστώσα του σεισμού.

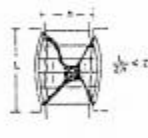
Τέλος η τελευταία κατηγορία (σχ. 9.2) είναι διατμητικού χαρακτήρα ανάλογου αυτού των κοντών υποστυλωμάτων.



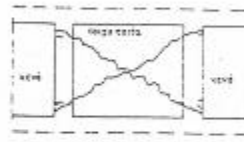
Τυπικές μορφές ρηγάτωσης σε κατασκευές ακυροδέματος (σχηματικά)



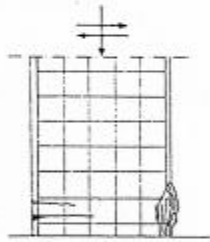
Σχ. 1



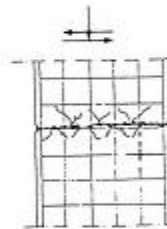
Σχ. 2



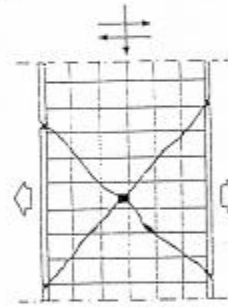
Σχ. 3



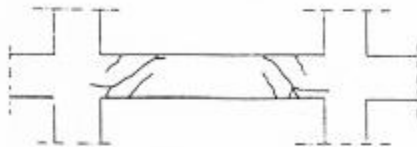
Σχ. 4



Σχ. 5



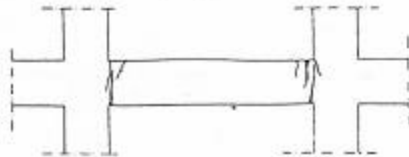
Σχ. 6



Σχ. 7



Σχ. 8



Σχ. 9

2.2.4 ΡΩΓΜΕΣ ΣΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ (ΔΟΚΩΝ – ΣΤΥΛΩΝ)

Οι τύποι ρωγμών στους κόμβους φαίνονται στα σχήματα 10-13. Βασική αιτία των ρηγματώσεων των κόμβων είναι το αξονικό φορτίο των υποστυλωμάτων το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην εκκίνηση της ρηγμάτωσης στη γειτονία κόμβων, διότι επιδρά πάνω στην εντατική κατάσταση που αναπτύσσεται γύρω από τους κόμβους από τα φορτία των δοκών. Πειραματικές άλλωστε έρευνες έδειξαν ότι η ρηγμάτωση δεν ξεκινά από την πάνω (εφελκόμενη) ίνα της δοκού, αλλά από κάποιο χαμηλότερο σημείο που βρίσκεται μεταξύ αυτής της ίνας και της ουδέτερης γραμμής της δοκού. Ακολουθώς η ρωγή επεκτείνεται ταυτόχρονα προς τη θλιβόμενη ζώνη της. Επίσης οι κόμβοι καταστρέφονται από κακή αγκύρωση των ράβδων των δοκών μέσα τους, ενώ η ένταση που προκαλεί ο σεισμός είναι εναλλασσόμενου πρόσημου, οπότε η τέμνουσα προκαλεί διαγώνια ρηγμάτωση και θλιβόμενες διαγώνιους εναλλασσόμενου πρόσημου.

2.2.5 ΠΛΑΚΕΣ

Οι συνηθέστεροι τύποι ρωγμών που παρουσιάζονται στις πλάκες είναι οι εξής 4:

1. Ρήγματα παράλληλα ή κάθετα προς τους οπλισμούς σε τυχαίες θέσεις.
2. Ρήγματα σε κρίσιμες διατομές μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων κάθετα προς τους κύριους οπλισμούς.
3. Ρήγματα σε περιοχές ανωμαλιών κατόψεων όπως στις γωνίες μεγάλων οπών (φωταγωγού, ανοίγματος εσωτερικών κλιμακοστασίων κ.λ.π.).
4. Ρήγματα σε σημεία συγκεντρώσεως μεγάλων σεισμικών δυνάμεων στις ζώνες συνδέσεως των πλακών με τοιχεία ή με υποστυλώματα χωρίς δοκούς.

Ο 1ος τύπος ρωγμών οφείλεται συνήθως στη διεύρυνση των τριχοειδών ρηγμάτων που προϋπήρχαν στο σκυρόδεμα από καμπτική λειτουργία, είτε από θερμοκρασιακές μεταβολές ή συρρίκνωση και έγιναν εμφανή λόγω σεισμού.

Σπανιότερα οφείλονται σε καθιζήσεις στύλων, τότε όμως θα έχουμε ρηγμάτωση και των γύρω δοκών, τοίχων πληρώσεως.

Ο 2ος και 3ος τύπος ρωγμών οφείλεται συνήθως στην κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού (σχ. 14, 15). Ο 4ος τύπος είναι συσχετισμένος τις περισσότερες φορές με αστοχία διατρήσεως που επεκτείνεται από την ανακυκλιζόμενη καμπτική επιπόνηση λόγω σεισμού (σχ. 16).

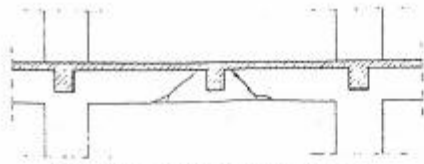
2.2.6 ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ

Ο οργανισμός πληρώσεως κατασκευάζεται από μικρότερης αντοχής και παραμορφωσιμότητας υλικά από ό,τι ο σκελετός, οπότε είναι ο πρώτος που αστοχεί (σχ. 17α,β).

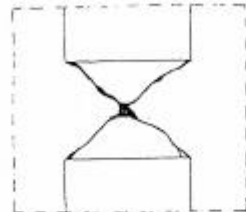
3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΩΝ

Οι συνηθέστεροι τρόποι επισκευής ρωγμών είναι:

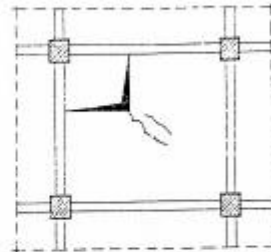
1. Επομειδικές Ρητίνες.
2. Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα.



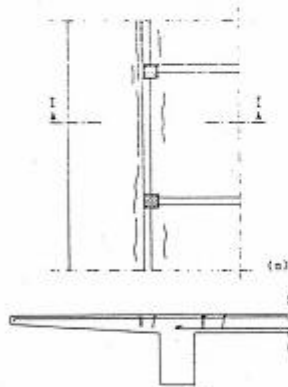
6x.9.1 1. Διακοπή στην άκρη της βλάβης στην άκρη



6x.9.2 Διακοπή στην άκρη της βλάβης στην άκρη



6x.15 Βλάβη κλάσης στη γωνία αριστερά της βλάβης (και σφραγιστεί η βλάβη)



6x.14 Βλάβη κλάσης στην κρήνη της κρήνης κρήνης
α) Κρήνη της κλάσης (και σφραγιστεί η βλάβη) β) Τμήμα 1-1.

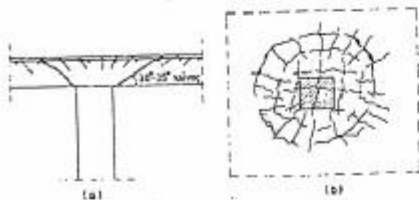


(a)



(b)

6x.17 Βλάβη στην οριζόντια πλάση της βλάβης
α) Αποκατάσταση της βλάβης β) Στοιχείο βλάβης



6x.16 Βλάβη στη σύνδεση κλάσης - υποκαταστήτης
α) Τμήμα β) Άλλα στοιχεία κλάσης

3. Επικόλληση συγκόλληση νέων οπλισμών.
4. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
5. Τσιμεντοκονιάματα.
6. Επισκευή με ραφές.
7. Αυλάκωμα και σφράγισμα.
8. Dry Packing.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επισκευής των ρωγμών εξαρτάται άμεσα από το αίτιο που τις προκάλεσε και τον τύπο της ρωγμής . Έτσι για την απλή ρηγμάτωση (από σεισμό) δομικού στοιχείου η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η συγκόλληση των ρωγμών με χρήση εποξειδικής ρητίνης. Για την έντονη ρηγμάτωση ανάλογα με το δομικό στοιχείο υπάρχουν αντίστοιχοι μέθοδοι επισκευής.

3.1 ΔΟΚΟΙ

α) Χωρίς αποδιοργάνωση σκυροδέματος

Συγκόλληση των ρωγμών με χρήση εποξειδικής ρητίνης, τοποθέτηση στην περιοχή της ρηγμάτωσης της δοκού εξωτερικών συνδετήρων κατακόρυφων ή υπό γωνία 45° και σύσφιξη των συνδετήρων, μέχρι αρνήσεως (σχ. 18α) ή επικόλληση λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων στις παρειές της δοκού στην περιοχή της ρηγμάτωσης με εποξειδική ρητίνη (σχ. 18β).

β) Με αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

Χρήση δομικού πλέγματος και διάστρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος με ταυτόχρονη τοποθέτηση εξωτερικών συνδετήρων (κολλάρων) ή λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων (σχ. 19) ή κατασκευή μανδύα (σχ. 20).

3.2 ΚΟΜΒΟΙ

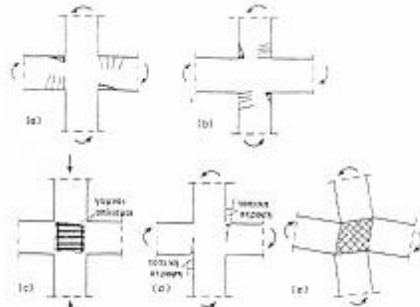
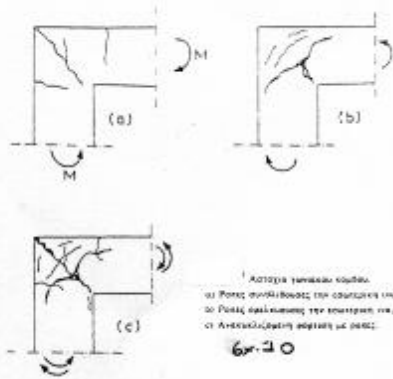
Υποστύλωση που επεκτείνεται τουλάχιστον κατά ένα όροφο πάνω και έναν όροφο κάτω από τον κόμβο. Ενίσχυση του κόμβου με εξωτερικούς συνδετήρες, χιαστί γύρω από τον κόμβο και οριζόντιους στα εκατέρωθεν του κόμβου υποστυλώματα. Περιβολή των συνδετήρων και της περιοχής του κόμβου με δομικό πλέγμα. Κατασκευή τοπικού μανδύα με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

3.3 ΠΛΑΚΕΣ

Επάλλειψη της πλάκας με εποξειδική ρητίνη, δομικό πλέγμα ή πυκνές διανομές οπλισμού. Σύνδεση παλαιού και νέου οπλισμού με συνδετήριες ράβδους κάθετες στις επιφάνειες και διάστρωση ή εκτόξευση σκυροδέματος σε πάχος πάνω από 5 εκ. (σχ. 21).

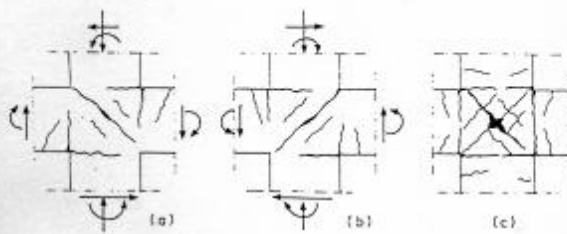
α) Έντονη ρηγμάτωση κάτω πέλματος

Πλήρωση ρωγμών με εποξειδική ρητίνη ηλεκτροσυγκόλληση νέου οπλισμού και δομικού πλέγματος με παρεμβλήματα και εκτοξευόμενου σκυροδέματος και διάστρωση σε πάχος πάνω από 3 εκ. (σχ. 22).



6x21 - Τύποι αροχιάς συνόλων άκρων υστερήματος:

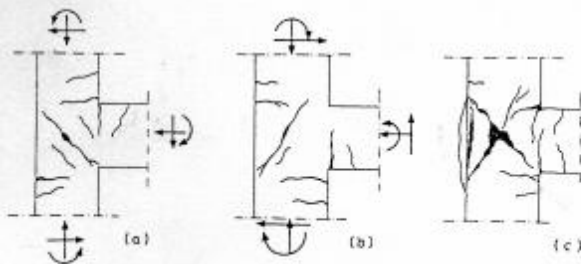
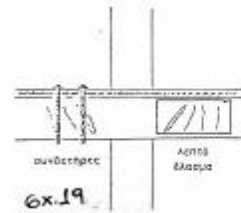
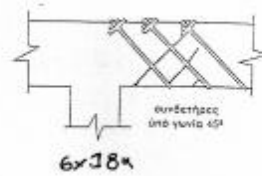
- α) Εξάντληση πλαστικότητας δοκού.
- β) Εξάντληση πλαστικότητας στήλης.
- γ) Αρροχιάση κορμού.
- δ) Ανοχή επαναφοράς ραβδών δοκού.
- ε) Ανοχή επί άκρου.



6x22

Ανοχή κορμού άκρο επί άκρου:

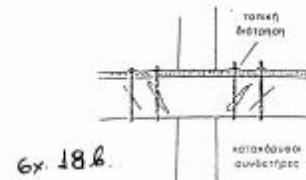
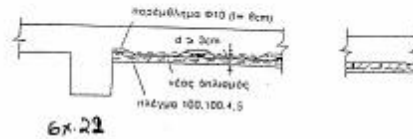
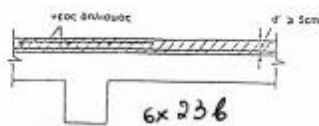
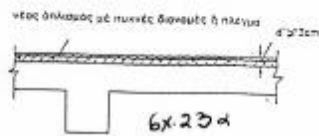
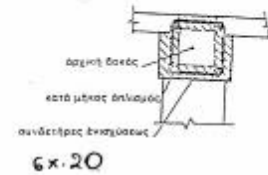
- α) Σχηματική άροχιά επί άκρου άροχιάς
- β) Σχηματική άροχιά επί άκρου άροχιάς
- γ) Ανοχή άροχιάς επί άκρου άροχιάς



6x23

Ανοχή άκρο επί άκρου άροχιάς:

- α) Ροπή συνένδοσης επί οριζόντιου άξονα
- β) Ροπή ανένδοσης επί οριζόντιου άξονα
- γ) Ανοχή άροχιάς επί οριζόντιου άξονα



β) Έντονη ρηγματώση άνω πέλματος

Επάλληψη της πλάκας με εποξειδική ρητίνη, οπλισμός με δομικό πλέγμα ή με πυκνές διανομές και διάστρωση ή εκτόξευση σκυροδέματος σε πάχος πάνω από 3 εκ. (σχ. 23).

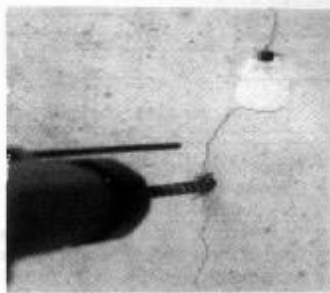
4. ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΗ

Παραπάνω αναφερθήκαμε σε διάφορες μεθόδους επισκευής ρηγματώσεων. Στην πράξη όμως έχει επικρατήσει η διαδικασία της ρητινένεσης. Το μειονέκτημα των άλλων μεθόδων σχετίζεται με την ξήρανση του υλικού επισκευής.

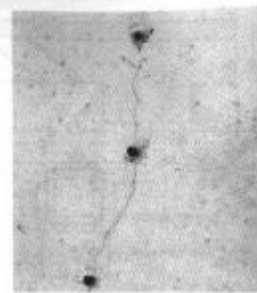
Αντίθετα η σύνδεση με ρητινένεση δεν χάνει την αντοχή της με το χρόνο. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ρωγμές όπου έχουμε έστω και ελάχιστη διαρροή νερού ή υγρασία, αφού τότε η ρητίνη δεν προσκολλάται καλά στο σκυρόδεμα. Τα ρητινοειδή υλικά έχουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά του σκυροδέματος και το πιο βασικό είναι η μικρή αντοχή του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες.



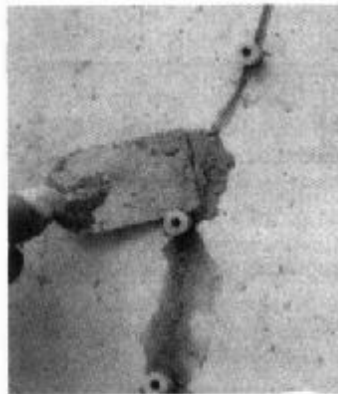
Η ανωμαλία: Ρωγμή στο σκυρόδεμα.



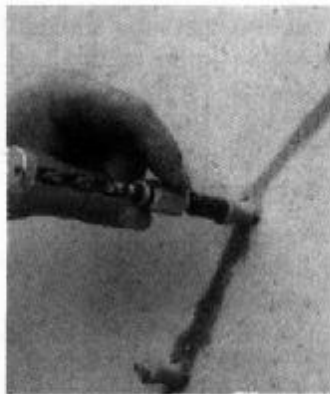
Ανοίγονται κατά μήκος της ρωγμής τρύπες με κρουστικό δρέπανο με τρυπάνι διαμέτρου όση είναι και η διάμετρος του βύσματος εμπλοκής.



Απόσταση των οπών ανάλογα με το εύρος της ρωγμής μεταξύ 10 και 20 εκ.



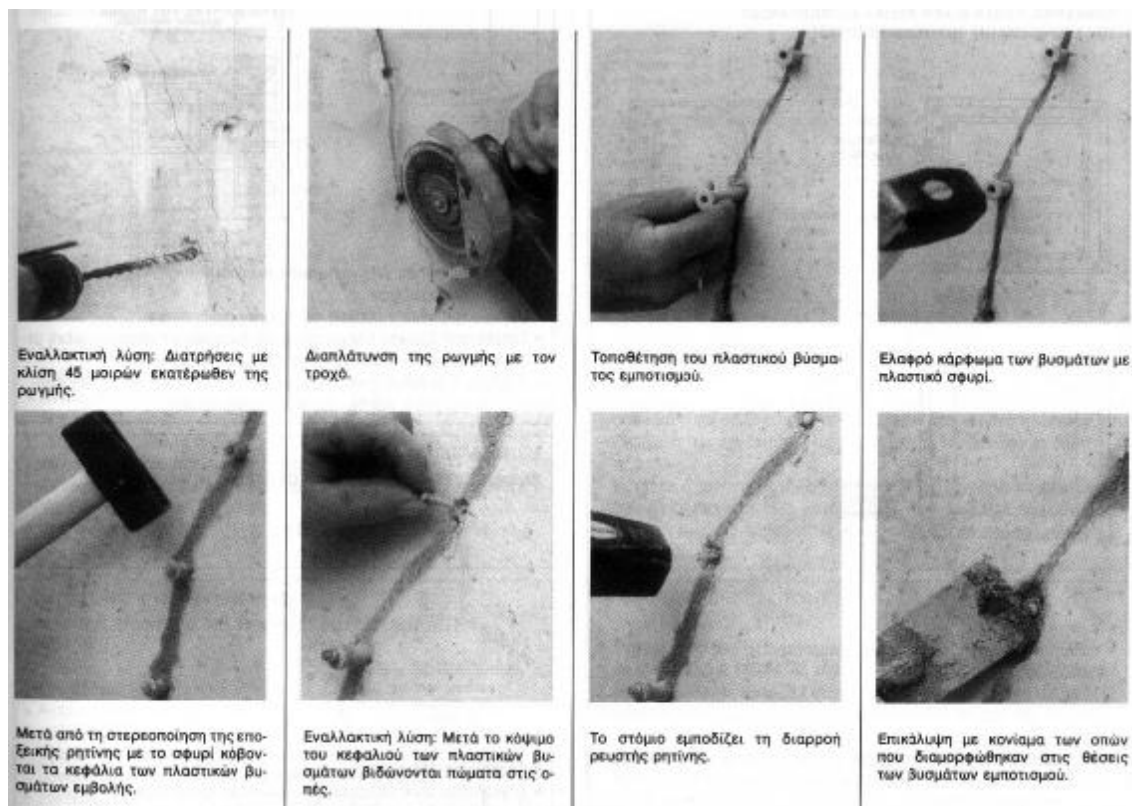
Σφράγιση των ρωγμών με ειδικό μίγμα κονιάματος.



Βίδωμα της βαλβίδας στο βύσμα.



Εμβολή του εποξειδικού υλικού με το πιστόλι του μηχανήματος εφαρμογής των εποξεικών ρητινών.



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογία των αποκαταστάσεων δεν είναι τόσο αναπτυγμένη, επεξεργασμένη και η στρατηγική αυτών δεν θα μας δώσει έτοιμες λύσεις – ιδανικές επιλογές. Συμπερασματικά λοιπόν προϋπόθεση για “σωστή” επισκευή είναι η πλήρης κατανόηση, βαθειά και εμπειριστατωμένη μελέτη για μία επιστημονικά, τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδεκτή λύση. Απ’ όσα αναφέρθηκαν καθίσταται προφανές ότι στόχος κάθε νέας κατασκευής, θα πρέπει να είναι η μείωση που του βαθμού εμφάνισης ρωγμών, το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί με την υψηλή ποιότητα υλικών – μελέτης – επίβλεψης και κατασκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “Durable Concrete Structures Design Guide”.
Thomas Telford. Comite Euro-International Du. Beton.
2. Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα Γ.Γ.ΠΕΝΕΛΗΣ, Α.Ι. ΚΑΠΠΟΣ.
3. Συστάσεις για επισκευές κτιρίων βλαμμένων από σεισμό 7η Έκδοση 1988 Ε.Μ.Π.
4. Πρακτικά 3ου Φοιτητικού Συνεδρίου “ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ - 97”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 1997.
5. ΚΤΙΡΙΟ (Μηνιαίο Τεχνικό Περιοδικό) κατηγορία άρθρου: Ενημέρωση, νέα υλικά, εφαρμογές. Τεύχος 61, σελ. 34-35.