

ΤΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΑΝΔΡΕΟΥ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία αναφορικά με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τη χρήση του. Αναφέρονται πληροφορίες για την σύνθεση και την εφαρμογή του στις ενισχύσεις και επισκευές κατασκευών. Στο τέλος παρουσιάζεται μια πειραματική αξιολόγηση της μεθόδου επισκευής κτηρίων με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και εξάγονται συμπεράσματα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένα ευπροσάρμοστο υλικό το οποίο έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Είναι ένα υλικό που προσφέρει υψηλή θλιπτική αντοχή, έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες, καλή πρόσφυση με το υπάρχον σκυρόδεμα, με το χάλυβα, τον βράχο. Μπορεί να πάρει εύκολα οποιοδήποτε σχήμα και περίγραμμα και να εφαρμοστεί χωρίς ξυλότυπο.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεχτεί έναντι του συμβατικού σκυροδέματος σε συνθήκες όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη, όπου απαιτούνται λεπτά στρώματα ή μεταβλητά πάχη.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει μια θεμελιώδεις διαφοροποίηση σε σχέση με το κοινό μπετόν σε ότι αφορά τη σύνθεση. Το αρχικό μίγμα που εκτοξεύεται έχει διαφορετική αναλογία υλικών από το τελικά εγκατεστημένο υλικό. Αυτό οφείλεται στην αναπήδηση των υλικών. Έτσι η μελέτη σύνθεσης για να έχει τα σωστά αποτελέσματα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και το ποσοστό των ανακλούμενων υλικών.

Η σωστή εφαρμογή του για καλής ποιότητας κατασκευές απαιτεί εξειδικευμένους τεχνίτες. Για την κατασκευή και την εκτόξευση του χρειάζονται ειδικές συσκευές οι οποίες είναι μικρές και ευκίνητες.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΝΑΜΙΞΕΙΣ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να κατασκευαστεί και να εφαρμοστεί με δυο διαφορετικές διαδικασίες. Αυτές είναι η διαδικασία ξυράς ανάμιξης και η διαδικασία υγράς ανάμιξης και παρουσιάζονται περιληπτικά πιο κάτω.

ΞΗΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ

Το τσιμέντο και τα αδρανή αναμιγνύονται χωρίς την πρόσθεση νερού και με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα διοχετεύονται από την μηχανή προώθησης μέσω σωλήνα προς το ακροφύσιο. Στο ακροφύσιο υπάρχει ξεχωριστή παροχή νερού που διοχετεύει νερό υπό πίεση στο μίγμα των υλικών. Η παροχή νερού μπορεί να ελέγχεται από το χειριστή με βαλβίδα. Στο ακροφύσιο γίνεται η ανάμιξη του νερού και των ξυρών υλικών και το μίγμα εκτοξεύεται προς την επιφάνεια εφαρμογής.

ΥΓΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ

Το τσιμέντο τα αδρανή και το νερό αναμιγνύονται όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα. Το μίγμα εισάγεται στην μηχανή προώθησης και με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα προχωρεί μέσω σωλήνα προς το ακροφύσιο. Από το ακροφύσιο εκτοξεύεται με τη βοήθεια πρόσθετου πεπιεσμένου αέρα προς την επιφάνεια εφαρμογής.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατάλληλο για πολλές εφαρμογές μπορεί να παραχθεί και με τις δύο διαδικασίες. Ωστόσο διαφορές στο κόστος εξοπλισμού στο κόστος παραγωγής στα λειτουργικά χαρακτηριστικά στη συμπεριφορά κατά την εκτόξευση και τη ποιότητα κάνουν την μια ή την άλλη διαδικασία πιο ελκυστική ανάλογα με την συγκεκριμένη εφαρμογή. Ο πιο κάτω πίνακας παρουσιάζει κάποιες διαφορές.

ΞΗΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ	ΥΓΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ
Υψηλή πρόσφυση	Μικρότερη πρόσφυση
Χαμηλό κόστος εξοπλισμού	Υψηλό κόστος εξοπλισμού
Μεγάλη αναπήδηση υλικού	Μικρότερη αναπήδηση υλικού
Μικρή έκταση εργασιών /ημέρα	Μεγαλύτερη έκταση εργασιών /ημέρα
Επιτυχία υψηλών αντοχών	Μικρότερες αντοχές
Μεγάλη παραγωγή σκόνης	Μικρότερη παραγωγή σκόνης
Ανεπαρκής έλεγχος της ποσότητας νερού ανάμιξης.	Ακριβείς έλεγχος της ποσότητας νερού ανάμιξης.

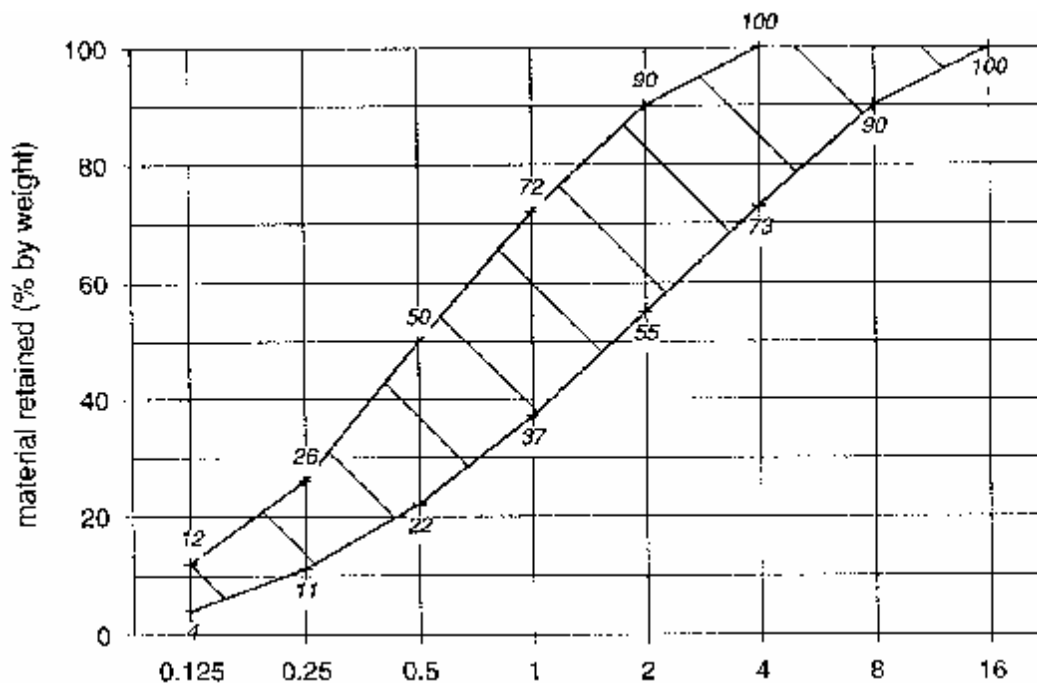
ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Η περιεκτικότητα του τσιμέντου θα πρέπει να είναι μεταξύ $350-450\text{kg/m}^3$ σκυροδέματος για την ξηρή διαδικασία και $400-500\text{kg/m}^3$ για την υγρή διαδικασία ανάμιξης. Κατά την διαδικασία της μίξης η θερμοκρασία του δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 50°C και η αναλογία νερού τσιμέντου να μην είναι μεγαλύτερη από 0,55.

ΑΔΡΑΝΗ

Η αναλογία τους όταν έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 8mm δεν πρέπει να ξεπερνά το 10% για να αποφεύγεται η μεγάλη ανάκλαση και η διείσδυση στο προϋπάρχον σκυρόδεμα. Αδρανή με κόκκο μεγαλύτερο από 12mm καλό είναι να αποφεύγονται γιατί ενδέχεται να βουλώσουν το ακροφύσιο ή να προκαλέσουν μεγάλη αναπήδηση. Πρέπει να είναι καθαρά απαλλαγμένα από χημικές και οργανικές ουσίες. Συνιστάτε να ανήκουν στη ζώνη κοκκομετρικής καμπύλης που φαίνεται πιο κάτω.



ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Όλα τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους και ελεγμένα για την αποδοτικότητα τους. Να γνωρίζουμε την επίπτωση των πρόσθετων στο περιβάλλον την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων.

ΙΝΕΣ

Συνήθως οι ίνες που χρησιμοποιούνται είναι από χάλυβα προπυλένιο ή γυαλί. Οι ίνες στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυξάνουν την παραμόρφωση του υλικού κατά την αστοχία, περιορίζουν τη ρηγμάτωση και δίνουν μια μικρή αύξηση στην εφελκυστική του αντοχή.

Οι ίνες διαφέρουν στο υλικό το μήκος και τη μορφή. Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται οι ίνες χάλυβα. Το μήκος τους κυμαίνεται από 12-50mm. Οι μικρότερες αναμιγνύονται και εκτοξεύονται ευκολότερα και παρουσιάζουν μικρότερα ποσοστά αναπήδησης. Οι μεγαλύτερες προσδίδουν στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και περιορίζουν τη ρηγμάτωση. Συνήθως χρησιμοποιούνται ίνες μεταξύ 25-30mm και ποτέ μεγαλύτερες από 50mm. Επιβάλλεται να φυλάγονται σε σφραγισμένα και ξηρά κιβώτια για να αποφεύγεται η διάβρωση.

ΤΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μια απ' αυτές είναι και η χρήση του στην επισκευή και ενίσχυση κατασκευών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται και τα μέτρα που

πρέπει να λαμβάνονται πριν και κατά την εκτόξευση του. Η καλή προετοιμασία και η σωστή εκτέλεση είναι ιδιαίτερα σημαντικές και πρέπει να ακολουθούνται. Πριν από την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα πρέπει να ολοκληρωθούν όλες οι προπαρασκευαστικές εργασίες και να ληφθούν όλα τα πρόσθετα μέτρα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία και ποιότητα. Ο χειριστής να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένος.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

- Αφαίρεση παλαιού σκυροδέματος μέχρι να αποκαλυφθούν τα αδρανή.
- Εκτράχυνση επιφάνειας
- Η αφαίρεση να γίνει υπό γωνία 45° και το ελάχιστο βάθος να είναι 20mm
- Η επιφάνεια να καθαριστεί με πεπιεσμένο αέρα.
- Αν χρειάζεται καλούπι να τοποθετηθεί με τρόπο που να μην παγιδεύει τα υλικά αναπήδησης.
- Η επιφάνεια βάσης να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από 2°C .
- Αν η επιφάνεια εκτίθεται σε ισχυρούς ανέμους ή βροχή να προστατεύεται καταλλήλως.
- Διάβρεξη της επιφάνειας.

ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

- Να γίνεται από απόσταση 0,5-1,0m.
- Η ροή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να είναι σταθερή και συνεχής
- Όπου χρειάζονται μεγάλα πάχη να γίνονται σε στρώσεις αλλά όσο το δυνατό λιγότερες
- Η εκτόξευση να γίνεται κάθετα στην επιφάνεια
- Ιδιαίτερη προσοχή όπου υπάρχουν ράβδοι οπλισμού.
- Στη ξηρή ανάμιξη ο χειριστής να έχει εμπειρία ώστε να επιτυγχάνει την κατάλληλη ποσότητα νερού

ΘΕΜΑΤΑ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Κατά την εκτόξευση το σκυρόδεμα παράγει μεγάλες ποσότητες σκόνης. Η σκόνη αυτή είναι ιδιαίτερα επιβλαβής στον ανθρώπινο οργανισμό. Προκαλεί παθήσεις στα μάτια, δερματικές παθήσεις, πνευμοκονίαση και άλλες επιπλοκές. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας. Οι προσπάθειες που γίνονται για την μείωση της παραγωγής σκόνης έχουν επικεντρωθεί στην βελτίωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος αλλά και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

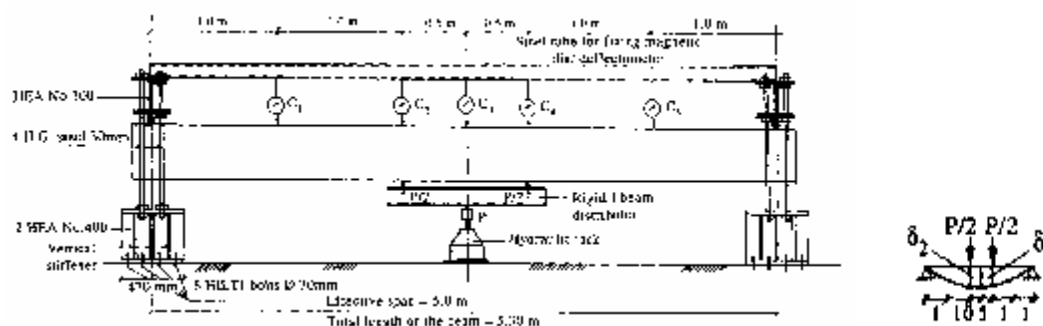
Μεγαλύτερα προβλήματα σκόνης παρουσιάζονται στις υπόγειες κατασκευές και για το περιορισμό της σκόνης χρησιμοποιείται η διαδικασία υγράς ανάμιξης που παράγει λιγότερα ποσοστά σκόνης από τη διαδικασία ξυράς ανάμιξης. Έχει όμως αποδεχτό ότι η σκόνη που προέρχεται από τη διαδικασία υγράς ανάμιξης είναι πιο επιβλαβής και τοξική. Επομένως παντού και πάντοτε θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο εξοπλισμός ασφαλείας (γάντια , μάσκες, συστήματα εξαερισμού).

Πειραματική Αξιολόγηση Της Επισκευής Δοκών με τη Χρήση εκτοξευμένου Σκυροδέματος

Ο Υ. G. Diab καθηγητής σε πανεπιστήμιο της Γαλλίας έκανε μια πειραματική προσέγγιση της ενίσχυσης δοκών με τη Χρήση εκτοξευμένου Σκυροδέματος. Στόχος της πειραματικής μελέτης ήταν η αξιολόγηση της μεθόδου αυτής.

Περιγραφή Πειράματος.

Για την διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τρεις ομάδες δοκών από τρεις δοκούς στη κάθε ομάδα. Οι δοκοί κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο από χυτό σκυρόδεμα. Τέθηκαν υπό φόρτιση και μετά η δυο ομάδες απ' αυτές επισκευάστηκαν με την προσθήκη χάλυβα οπλισμού και με την χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος. Στη συνέχεια επαναφορτίστηκαν μέχρι το όριο αστοχίας. Η συσκευή φόρτισης φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω.

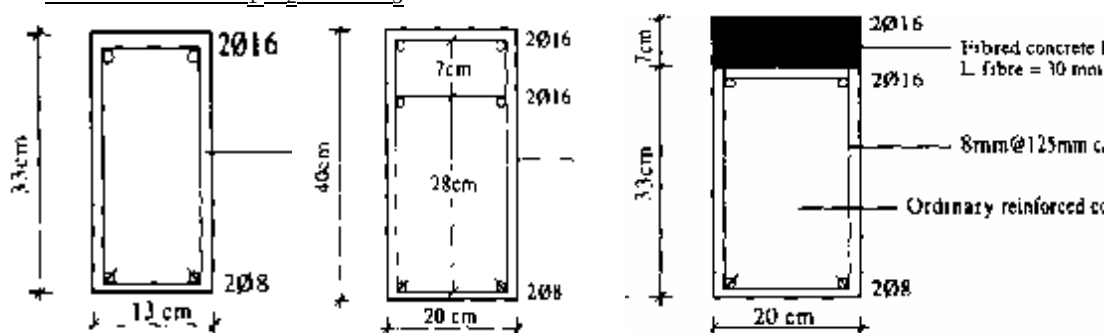


1^η ΟΜΑΔΑ

Οι δοκοί της πρώτης ομάδας χρησιμοποιήθηκαν ως δοκοί αναφοράς. Στην ομάδα αυτή ανήκαν οι δοκοί A_1 , A_2 και A_3 . Η A_3 στα άκρα της είχε ένα στρώμα πάχους 70mm και μήκους 30cm. Η διατομή και ο οπλισμός κάθε δοκαριού φαίνεται στο πιο κάτω πίνακα και σχήματα.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	ΔΙΑΤΟΜΗ (b x h) mm	ΜΗΚΟΣ m	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ
A_1	130x330	5.3	2Φ16
A_2	200x400	5.3	4Φ16
A_3	200x400	5.3	4Φ16

ΔΙΑΤΟΜΕΣ A_1 , A_2 ΚΑΙ A_3



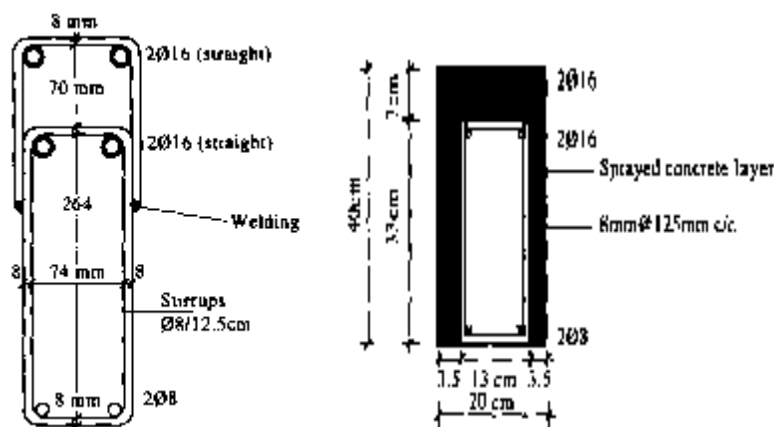
2^η ΟΜΑΔΑ

Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν οι δοκοί B₁ B₂ και B₃. Η διατομή και ο οπλισμός της ομάδας αυτής ήταν όπως και στην δοκό A₁. Μετά από φόρτιση και ενίσχυση η διατομή τους πήρε της διαστάσεις της δοκού A₂. Μετά την ενίσχυση επαναφορτίστηκαν μέχρι την αστοχία. Η ενίσχυση έγινε με δυο ράβδους οπλισμού και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

3^η ΟΜΑΔΑ

Εδώ έχουμε τα δοκάρια Γ₁ Γ₂ και Γ₃. Η διατομή και ο οπλισμός της ομάδας αυτής ήταν όπως και στην δοκό A₁. Μετά από φόρτιση και ενίσχυση η διατομή τους πήρε της διαστάσεις της δοκού A₂. Μετά την ενίσχυση επαναφορτίστηκαν μέχρι την αστοχία. Η ενίσχυση έγινε με δυο ράβδους οπλισμού και ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Στα πιο κάτω σχήματα φαίνεται ο οπλισμός μετά την ενίσχυση και τα στρώματα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Στους πιο κάτω πίνακες παρουσιάζονται τα φορτία της κάθε δοκού.

1^η ΟΜΑΔΑ

ΔΟΚΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ (b x h) mm	ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ KN
A ₁	130x330	55
A ₂	200x400	171
A ₃	200x400	210

2^η ΟΜΑΔΑ

ΔΟΚΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ (b x h) mm	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΒΑΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΝΕΑ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΝΕΟ ΦΟΡΤΙΟ KN	ΒΑΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ
B ₁	130x330	27,4	Πρώτες ρωγμές	400x200	141	Φορτίο αστοχίας
B ₂	130x330	36	Λειτουργικό Όριο	400x200	136,5	Φορτίο αστοχίας
B ₃	130x330	40	Όριο διαρροής οπλισμού	400x200	141,8	Φορτίο αστοχίας

3^η ΟΜΑΔΑ

ΔΟΚΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ (b x h) mm	ΦΟΡΤΙΟ KN	ΒΑΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΝΕΑ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΝΕΟ ΦΟΡΤΙΟ KN	ΒΑΘΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ
Γ ₁	130x330	22	Πρώτες ρωγμές	400x200	160	Φορτίο αστοχίας
Γ ₂	130x330	37	Λειτουργικό Όριο	400x200	149,5	Φορτίο αστοχίας
Γ ₃	130x330	45	Όριο διαρροής οπλισμού	400x200	148	Φορτίο αστοχίας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρούμε τα εξής:

1. Το φορτίο αστοχίας για όλες τις ενισχυμένες δοκούς ήταν από το διπλάσιο σε σύγκριση με αυτό της A₁. Αυτό καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.
2. Τα όρια αντοχής των ενισχυμένων δοκών ήταν μικρότερα από αυτά των χυτών δοκών της ίδιας διατομής της πρώτης ομάδας.
3. Τα όρια αντοχής της ομάδας 3 που ενισχύθηκαν με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ήταν ελαφρώς υψηλότερα από αυτά της ομάδας 2.
4. Η μείωση του ορίου αντοχής για της δοκούς B₁, B₂, B₃, Γ₁, Γ₂ και Γ₃ ήταν 17%, 20%, 21,6%, 12% και 13% αντίστοιχα συγκριτικά με την δοκό A₂.
5. Το ποσοστό μείωσης του ορίου αντοχής για της ενισχυμένες δοκούς αυξάνεται με την αύξηση του αρχικού φορτίου πριν την ενίσχυση.

Στο εργαστήριο παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν τα εξής:

Βέλος Κάμψης

1. Το βέλος κάμψης για τις ομάδες 2&3 ήταν μεγαλύτερο από αυτό των δοκών ελέγχου A_2 και A_3 που τελικά είχαν την ίδια διατομή.
2. Η ομάδα 3 είχε ελαφρώς μεγαλύτερο βέλος κάμψης από την ομάδα 2.
3. Η προσθήκη ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυξάνει την παραμόρφωση κατά την αστοχία.
4. Στην ίδια ομάδα το βέλος κάμψης αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου πριν την ενίσχυση.

Ρωγμές

1. Στις δοκούς της ίδιας ομάδας η πρώτη ρωγμή εμφανίστηκε στο ίδιο περίπου φορτίο.
2. Η πρώτη ρωγμή στην ομάδα 3 εμφανίστηκε σε μεγαλύτερο φορτίο από ότι στην ομάδα 2.
3. Τα πλάτη των ρωγμών της ομάδας 3 είναι μεγαλύτερα από αυτά της ομάδας 2.
4. Οι κύριες ρωγμές στην ομάδα 3 είναι λιγότερες από αυτές στη ομάδα 2.

ΔΟΚΟΣ 200x400 mm	ΦΟΡΤΙΟ 1 ^{ης} ΡΩΓΜΗΣ KN	ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ KN	ΠΛΑΤΟΣ max.ΡΩΓΜΗΣ mm	ΚΥΡΙΕΣ ΡΩΓΜΕΣ
B ₁	29	140	1,0	8
B ₂	29	136,5	1,0	9
B ₃	29	134,8	1,1	8
Γ ₁	31	160	1,4	7
Γ ₂	31	149,5	2,0	5
Γ ₃	31	148	2,5	5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα και παρατηρήσεις μπορούμε να διατυπώσουμε τα πιο κάτω συμπεράσματα:

1. Η συγκεκριμένη μέθοδος ενίσχυσης είναι αποτελεσματική. Το όριο αντοχής των επισκευασμένων δοκών ήταν λίγο χαμηλότερο από αυτό των χυτών δοκών με την ίδια διατομή. Αυτό επηρεάζεται και από το μέγεθος του φορτίου και το βαθμό βλάβης πριν από την ενίσχυση.
2. Η δυσκαμψία της επισκευασμένης δοκού είναι μικρότερη από αυτή της ίδιας διατομής δοκού αναφοράς (ομάδας 1).
3. Το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα επηρεάζει αρκετά τη συμπεριφορά της δοκού. α) Αυξάνει την αντοχή, β) η πρώτη ρωγμή παρουσιάζεται σε μεγαλύτερο φορτίο γ) οι ρωγμές που δημιουργούνται είναι μεγαλύτερες, δ) η παραμόρφωση πριν την αστοχία είναι μεγαλύτερη.
4. Η πρόσφυση παλαιού και νέου σκυροδέματος είναι ικανοποιητική αφού δεν παρατηρήθηκε ολίσθηση μεταξύ τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Sprayed Concrete.** Repair of concrete structures 1987. pp 72-87
2. **European Specification for Sprayed Concrete.** EFNARC 1996
3. **Guidelines for Sprayed Concrete.** EFNARC 1999
4. **Strengthening of RC beams by using sprayed concrete:** experimental approach.
Y.G Diab . Engineering Structures . Vol 20 No 7 pp 631-643 1998
5. **Health and safety in Shotcreting.** ITA Working Group Report
Tunneling and underground Space technology. Vol 11, No 4, pp391-395 1996