

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

ΔΙΓΕΝΗΣ ΣΠΥΡΟΣ

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η περιγραφή της συμπεριφοράς διαφόρων διατάξεων δικτυωτών συνδέσμων σε πλευρικά επιβαλλόμενα φορτία. Στο πρώτο μέρος γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των δικτυωτών συνδέσμων. Γίνεται αναφορά στον βασικό τρόπο λειτουργίας τους, στις κατηγορίες τις οποίες διακρίνονται και στους τρόπους σύνδεσής τους με το αρχικό πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στο δεύτερο και κύριο μέρος της εργασίας πραγματοποιείται στατική υπερωθητική ανάλυση στον αρχικό φορέα και σε 8 διαφορετικές διατάξεις μεταλλικών δικτυωτών συνδέσμων. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους και γίνεται και σχολιασμός τους.

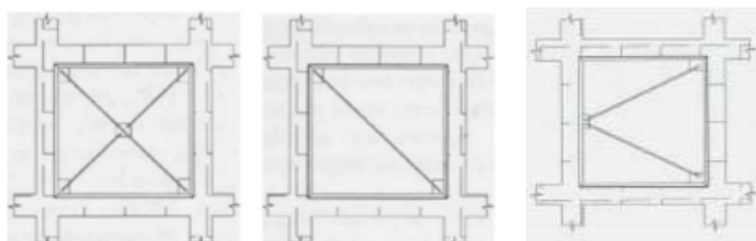
1. ΔΙΚΤΥΩΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

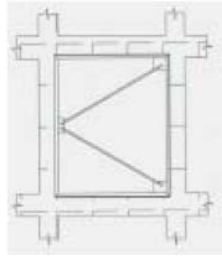
Μία από τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές ενίσχυσης των κατασκευών, με πλαισιακό φέροντα οργανισμό, για την ανάληψη των σεισμικών φορτίων, είναι η τοποθέτηση δικτυωτών συνδέσμων σε προεπιλεγμένα φατνώματα του φορέα. Με την προσθήκη των συνδέσμων οι σεισμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πλαίσιο αναλαμβάνονται κυρίως από τις αξονικές δυνάμεις των συνδέσμων. Οι δικτυωτοί σύνδεσμοι είναι κυρίως μεταλλικοί, αφού ο χάλυβας λόγω της όλκιμης συμπεριφοράς του μπορεί να αναλάβει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις και κατά συνέπεια ενδείκνυται για την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας. Ο ΚΑΝΕΠΕ [3] ωστόσο επιτρέπει και τη χρήση ραβδόμορφων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα αν και δεν καλύπτει το σχεδιασμό τους.

1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των διαγωνίων μελών με το ζύγωμα του φατνώματος, οι δικτυωτοί σύνδεσμοι διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: 1) Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα και 2) Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα. Η βασική διαφορά των συνδέσμων με εκκεντρότητα από εκείνους χωρίς εκκεντρότητα είναι ότι τουλάχιστον ένα από τα δύο άκρα της διαγωνίου συνδέεται με το ζύγωμα έκκεντρα ως προς τον αντίστοιχο κόμβο του υποστυλώματος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των δύο κατηγοριών φαίνονται παρακάτω.



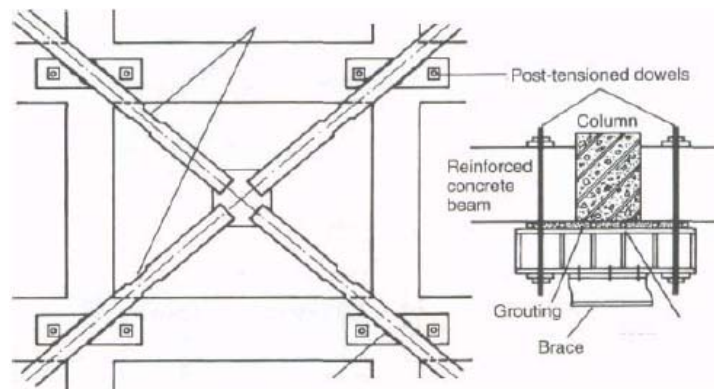
Σχήμα 1.1: Δικτυωτοί Σύνδεσμοι Χωρίς Εκκεντρότητα [1]



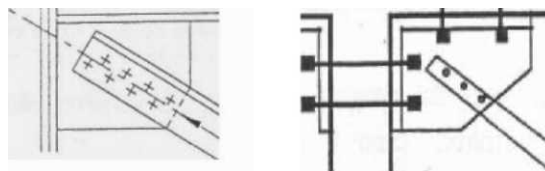
Σχήμα 1.2: Δικτυωτοί Σύνδεσμοι Με Εκκεντρότητα [1]

1.3 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Οι συνδέσεις των δικτυωτών συνδέσμων χωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές. Στις εσωτερικές συνδέσεις οι μεταλλικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας τοποθετούνται εσωτερικά του πλαισίου. Αυτοί διακρίνονται με το αν συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με το πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος [2]. Στην άμεση σύνδεση έχουμε την απευθείας σύνδεση των ράβδων με το πλαίσιο μέσω κομβοελασμάτων που τοποθετούνται στις γωνίες του. Στην έμμεση σύνδεση γίνεται η εισαγωγή στο δομικό σύστημα της κατασκευής, προκατασκευασμένων κλειστών πλαισίων με συνδέσμους δυσκαμψίας, τα οποία συνδέονται με το πλαίσιο με διατμητικούς συνδέσμους. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση των μεταλλικών ράβδων εσωτερικά του πλαισίου τοποθετούνται εξωτερικά αυτού και συνδέονται με τους κόμβους του. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται εξωτερική.



Σχήμα 1.3: Τοποθέτηση και Σύνδεση Εξωτερικών Δικτυωτών Συνδέσμων [1]



Σχήμα 1.3: Κομβοελάσματα για Άμεση Σύνδεση Δικτυωτών Συνδέσμων [1]

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την σύγκριση της συμπεριφοράς των διαφόρων διατάξεων μεταλλικών δικτυωτών συνδέσμων εφαρμόστηκε στατική υπερωθητική ανάλυση σε πλαίσιακό φορέα 3 μέτρων ύψος και 5 μέτρων άνοιγμα. Στο φορέα θεωρούμε ότι εφαρμόζεται ο σεισμικός συνδυασμός κατακόρυφων φορτίων $G+0,3Q$ και επιβάλουμε πλευρική μετατόπιση μέχρι τη δημιουργία μηχανισμού και την κατάρρευση του πλαισίου. Η κατανομή της πλευρικής φόρτισης έγινε στους κόμβους της κατασκευής κατά αναλογία των μαζών της. Η δυσκαμψία των στοιχείων από σκυρόδεμα περιορίστηκε στο 25% της δυσκαμψίας της αρηγμάτωτης διατομής τους. Επειδή κατά την ανάλυση τα στοιχεία θα συμπεριφερθούν μη γραμμικά, στα κρίσιμα σημεία (παρειές δοκών και υποστυλωμάτων, άκρα μεταλλικών συνδέσμων καθώς και σημεία σύνδεσης δοκών και υποστυλωμάτων με τα μεταλλικά στοιχεία) δημιουργούμε πλαστικές αρθρώσεις σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝΕΠΕ [3], [4], [5]. Οι πλαστικές αρθρώσεις που ανατέθηκαν στα μέλη του μοντέλου είναι οι παρακάτω:

1. Στα υποστυλώματα επιλέχθηκε πλαστική άρθρωση που η συμπεριφορά της περιγράφεται από διάγραμμα αλληλεπίδρασης αξονικής δύναμης - ροπής και γωνία στροφής χορδής.
2. Στα δοκάρια επιλέχθηκε πλαστική άρθρωση που η συμπεριφορά της περιγράφεται από διάγραμμα καμπτικής καταπόνησης στον κύριο άξονα και γωνία στροφής χορδής.
3. Στους δικτυωτούς συνδέσμους επιλέχθηκε πλαστική άρθρωση που η συμπεριφορά της περιγράφεται από διάγραμμα αξονικής δύναμης και αξονικής παραμόρφωσης.

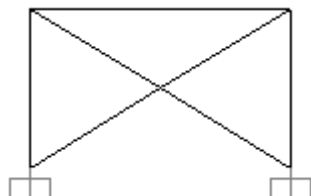
Όλες οι αναλύσεις έγιναν στο πρόγραμμα στατικής επίλυσης SAP2000 [6].

2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

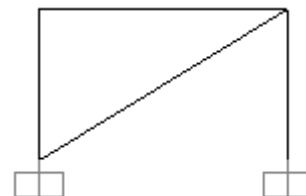
Οι αναλύσεις γίνονται για τα πλαίσια που φαίνονται παρακάτω.



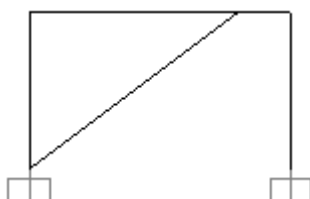
Σχήμα 2.1: Διάταξη [Π]



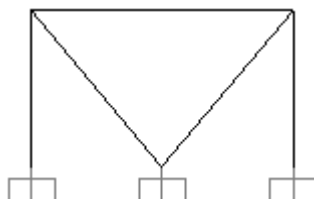
Σχήμα 2.2: Διάταξη [Χ]



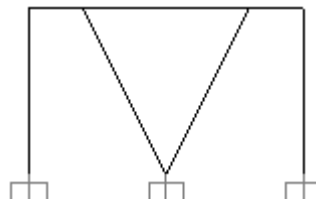
Σχήμα 2.3: Διάταξη [Λ]



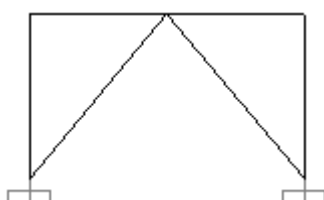
Σχήμα 2.4: Διάταξη [Λ_E]



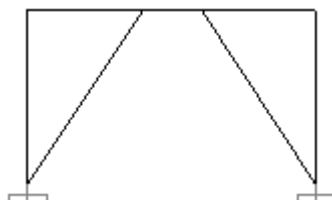
Σχήμα 2.5: Διάταξη [V]



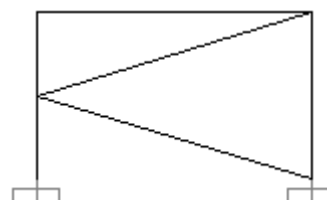
Σχήμα 2.6: Διάταξη [V_E]



Σχήμα 2.7: Διάταξη [Λ]



Σχήμα 2.8: Διάταξη [Λ_E]



Σχήμα 2.9: Διάταξη [Κ]

Πρώτα επιλύεται ο αρχικός φορέας (διάταξη [Π]). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες 8 φορές ενισχύοντας τον με διαφορετική διάταξη δικτυωτών συνδέσμων. Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι: 1) Ενίσχυση με χιαστή δικτυωτούς συνδέσμους [X], 2) Ενίσχυση με ένα δικτυωτό σύνδεσμο στην εφελκόμενη διαγώνιο [/], 3) Ενίσχυση με ένα δικτυωτό σύνδεσμο στην εφελκόμενη διαγώνιο με εκκεντρότητα [/_E], 4) Ενίσχυση με δύο δικτυωτούς συνδέσμους μορφής V [V], 5) Ενίσχυση με δύο δικτυωτούς συνδέσμους μορφής V με εκκεντρότητα [V_E], 6) Ενίσχυση με δύο δικτυωτούς συνδέσμους μορφής Λ [Λ], 7) Ενίσχυση με δύο δικτυωτούς συνδέσμους μορφής Λ με εκκεντρότητα [Λ_E], 8) Ενίσχυση με δύο δικτυωτούς συνδέσμους μορφής K [K].

Οι διατομές έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Οι πλακοδοκοί έχουν κρέμαση 60cm, beff=90cm, πλάτος κάτω πέλματος 25cm και πάχος πλάκας 15cm. Ο διαμήκης οπλισμός των δοκών άνω και κάτω είναι 2Φ16 και 3Φ16 αντίστοιχα ενώ ο εγκάρσιος Φ10/25. Ο οπλισμός της πλάκας είναι Φ8/150. Η επικάλυψη των οπλισμών είναι 3cm.
- Τα υποστυλώματα είναι διαστάσεων 30x30cm. Ο διαμήκης οπλισμός τους είναι 8Φ20 περιμετρικά και ο εγκάρσιος Φ10/20. Η επικάλυψη των οπλισμών είναι 3cm.
- Οι ράβδοι δικτύωσης είναι πλατύπελμα HEA-300.

Τα φορτία του πλαισίου είναι:

- Ίδιο βάρος σκυροδέματος: 25 kN/m³
- Βάρη τοιχοπληρώσεων & επικάλυψης πλακών: 15 kN/m
- Ωφέλιμο δαπέδων: 10 kN/m

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

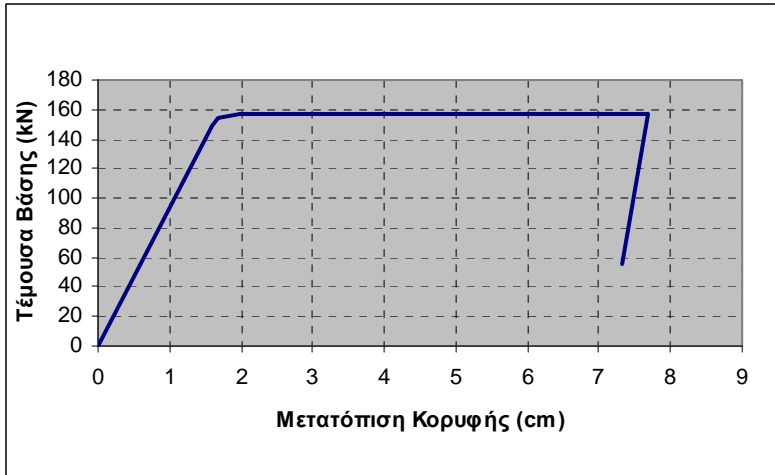
- Σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20
- Χάλυβας οπλισμού κατηγορίας S400
- Δομικός χάλυβας ράβδων δικτύωσης κατηγορίας Fe360.

2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για κάθε διάταξη ξεχωριστά. Παρατίθενται σχήματα τα οποία παρουσιάζουν γραφικά το φορέα λίγο πριν την κατάρρευση καθώς και η καμπύλη τέμνουσα βάσης – μετατόπιση κορυφής.

ΔΙΑΤΑΞΗ [Π]

Η κατάρρευση στον αρχικό φορέα, επήλθε για μικρή τέμνουσα, από την καμπτική αστοχία των υποστυλωμάτων στη βάση και στην κορυφή τους. Στην πλακοδοκό δεν είχαμε δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων. Ο συγκεκριμένος τρόπος αστοχίας είναι ανεπιθύμητος, αφού κατά τη σεισμική διέγερση πρέπει η ενέργεια να καταναλώνεται από όλους τους φορείς της κατασκευής και οι κύριες ζημιές να εμφανίζονται στα δοκάρια που η αστοχία τους δεν σημαίνει και άμεση κατάρρευση.



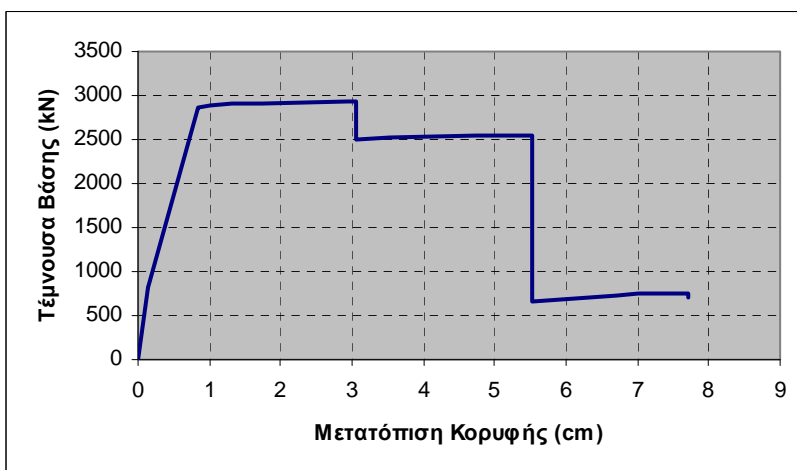
Σχήμα 2.10: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



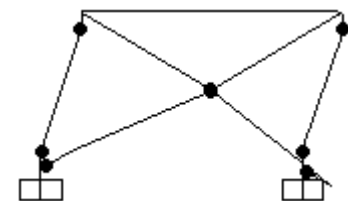
Σχήμα 2.11: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

ΔΙΑΤΑΞΗ [X]

Στη διάταξη [X] παρατηρούμε δραματική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας αλλά όχι και της πλαστιμότητας. Ο φορέας αρχικά συμπεριφέρεται ελαστικά μέχρι τη διαρροή της θλιβόμενης διαγώνιου. Στη συνέχεια παραλαμβάνει σταθερή πλευρική δύναμη μέχρι τη θραύση της οπότε και το φορτίο που φέρει πέφτει. Τώρα την πλευρική δύναμη την αναλαμβάνει, βρισκόμενη σε διαρροή, μόνο η εφελκυσόμενη διαγώνιος. Μετά τη θραύση και της τελευταίας το φορτίο πέφτει κατακόρυφα και τελικά επέρχεται η τελική κατάρρευση του πλαισίου.



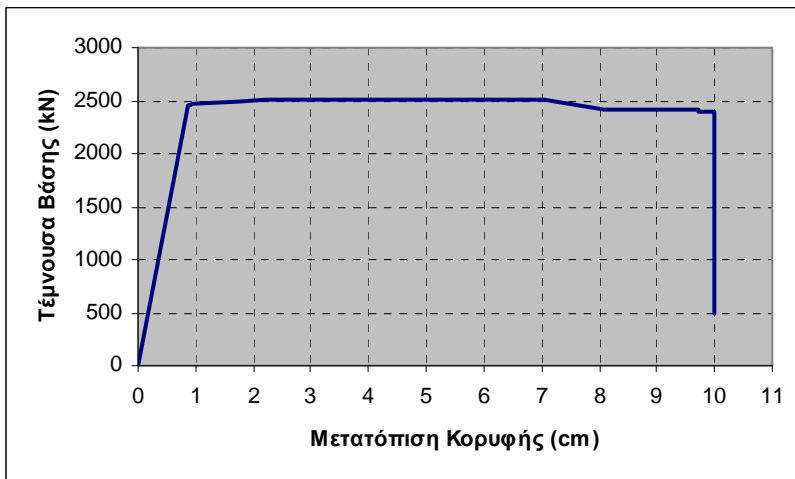
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



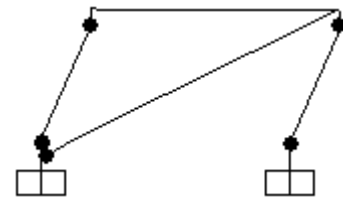
Σχήμα 2.13: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

ΔΙΑΤΑΞΗ [I]

Στη διάταξη [I] παρατηρούμε αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας αλλά και σημαντική βελτίωση της πλαστιμότητας σε σχέση με τον αρχικό φορέα. Πιο συγκεκριμένα το πλαίσιο συμπεριφέρεται ελαστικά και αυξάνει το πλευρικό φορτίο που μπορεί να παραλάβει μέχρι τη διαρροή της εφελκυσόμενης ράβδου. Στη συνέχεια παραλαμβάνει σταθερό φορτίο μέχρι και τη θραύση της, μετά την οποία επέρχεται η κατάρρευση του πλαισίου. Αξιοσημείωτο είναι ότι το μέγιστο φορτίο που φέρει η διάταξη [I] συμπίπτει με αυτό που φέρει η διάταξη [X] όταν έχει πλέον αστοχήσει η θλιβόμενη διαγώνιος και δουλεύει μόνο η εφελκυσόμενη.



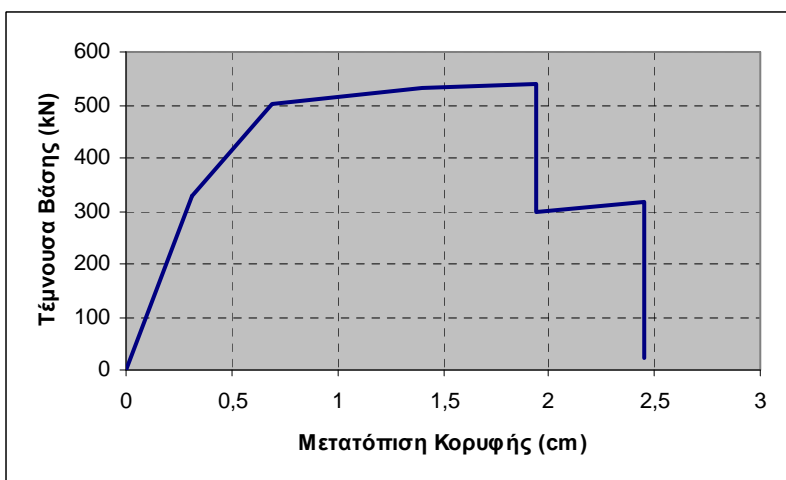
Σχήμα 2.14: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



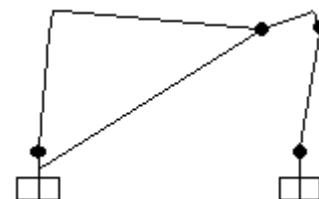
Σχήμα 2.15: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

ΔΙΑΤΑΞΗ [I_E]

Στη διάταξη [I_E] ενώ παρατηρούμε μια αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας σε σχέση με τον αρχικό φορέα έχουμε δραματική μείωση της πλαστιμότητας του. Αυτό οφείλεται σε πρόωρη αστοχία της πλακοδοκού στο σημείο που ενώνεται με το διαγώνιο μεταλλικό στοιχείο. Αιτία είναι η έντονη καμπτοδιατμητική καταπόνηση της που έχει σαν αποτέλεσμα να συσσωρεύεται εκεί όλη η ενέργεια του σεισμού και να μην καταναλώνεται από την όλκιμη μεταλλική διαγώνιο η οποία φυσικά δεν διαρρέει.



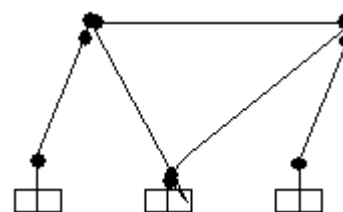
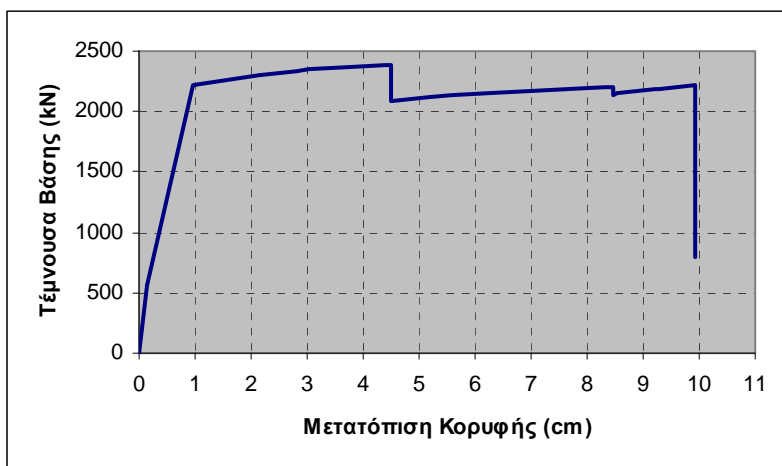
Σχήμα 2.16: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



Σχήμα 2.17: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

ΔΙΑΤΑΞΗ [V]

Στη διάταξη [V] παρατηρούμε αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας αλλά και σημαντική βελτίωση της πλαστιμότητας σε σχέση με τον αρχικό φορέα. Η καλή συμπεριφορά της συγκεκριμένης διάταξης οφείλεται στο ότι διαρρέουν όλα τα στοιχεία του πλαισίου (και η πλακοδοκός). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η σεισμική ενέργεια να μοιράζεται σωστά και να μην επικεντρώνεται σε κάποιο συγκεκριμένο στοιχείο. Η θραύση της θλιβόμενης διαγωνίου φαίνεται από την πτώση του πλευρικού φορτίου για μετατόπιση κορυφής 4,5 περίπου εκατοστά.

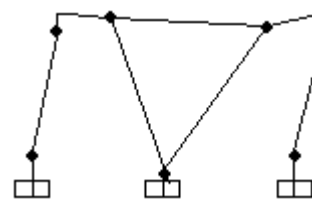
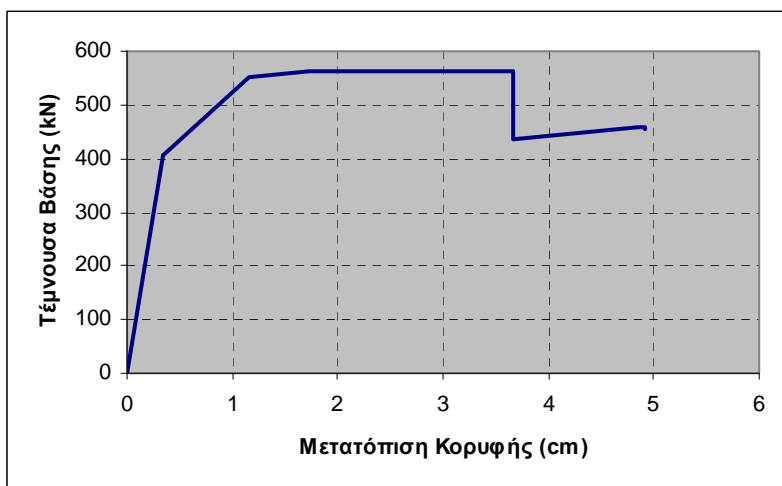


Σχήμα 2.19: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

Σχήμα 2.18: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης

ΔΙΑΤΑΞΗ [V_E]

Στη διάταξη [V_E] παρατηρούμε μια αρχική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας σε σχέση με τον αρχικό φορέα αλλά και μείωση της πλαστιμότητας του. Στα 3 μόλις χιλιοστά μετατόπισης διαρρέει η θλιβόμενη ράβδος και η πλακοδοκός στο σημείο σύνδεσης της με την εφελκόμενη. Ακολουθεί περαιτέρω πλαστικοποίηση των παραπάνω διατομών καθώς και διαρροή των υποστρωμάτων μέχρι την πρόωγη κατάρρευση. Η εφελκόμενη ράβδος δεν διέρρευσε ούτε κατά την τελική αστοχία του πλαισίου.

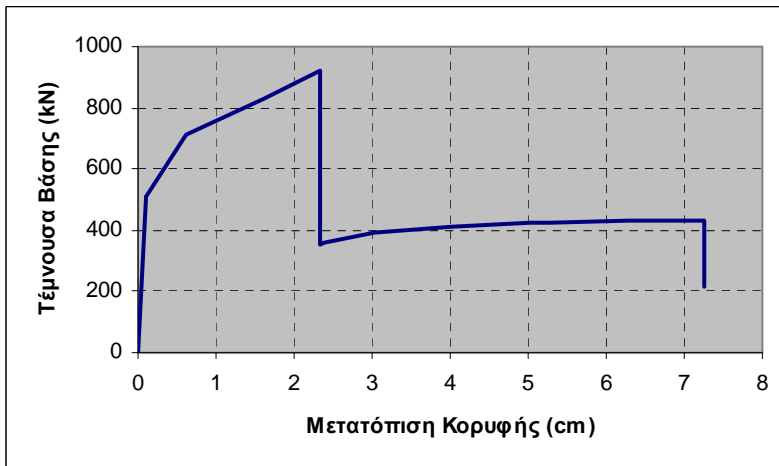


Σχήμα 2.21: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

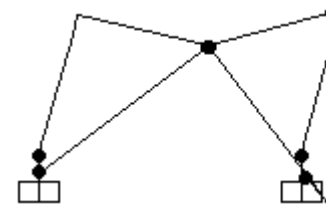
Σχήμα 2.20: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης

ΔΙΑΤΑΞΗ [Δ]

Στη διάταξη [Λ] παρατηρούμε μια αύξηση της αντοχής και της δυσκαμνίας σε σχέση με τον αρχικό φορέα και διατήρηση της πλαστιμότητας του. Αρχικά διαρρέει η θλιβόμενη ράβδος και η πλακοδοκός στο σημείο σύνδεσης της με τα μεταλλικά στοιχεία. Όταν η θλιβόμενη ράβδος εξαντλεί την πλαστιμότητά της έχουμε και απότομη πτώση του πλευρικού φορτίου που φέρει το πλαίσιο. Η περαιτέρω πλαστικοποίηση της πλακοδοκού αλλά και η διαρροή των υποστυλωμάτων οδηγεί στην κατάρρευση χωρίς πάλι να διαρρέει η εφελκόμενη ράβδος.



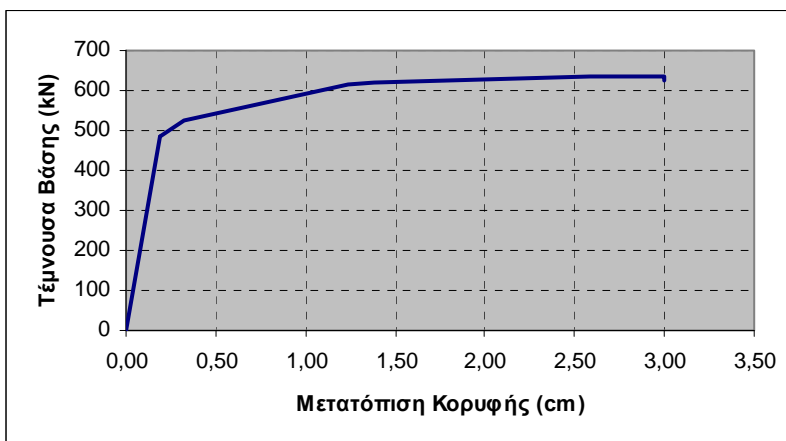
Σχήμα 2.22: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



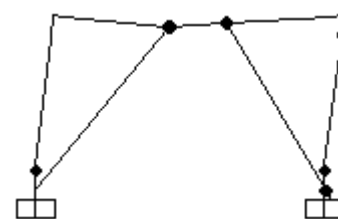
Σχήμα 2.23: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

ΔΙΑΤΑΞΗ [Λ_Ε]

Στη διάταξη [Λ_Ε] παρατηρούμε μια αύξηση της αντοχής και της δυσκαμνίας σε σχέση με τον αρχικό φορέα αλλά και δραματική μείωση της πλαστιμότητάς του. Πολύ νωρίς διαρρέει η θλιβόμενη ράβδος και η πλακοδοκός στο σημείο σύνδεσης της με την εφελκόμενη. Ακολουθεί περαιτέρω πλαστικοποίηση των παραπάνω διατομών καθώς και διαρροή των υποστυλωμάτων μέχρι την πρόωρη κατάρρευση. Η εφελκόμενη ράβδος δεν διέρρευσε ούτε κατά την τελική αστοχία του πλαισίου.



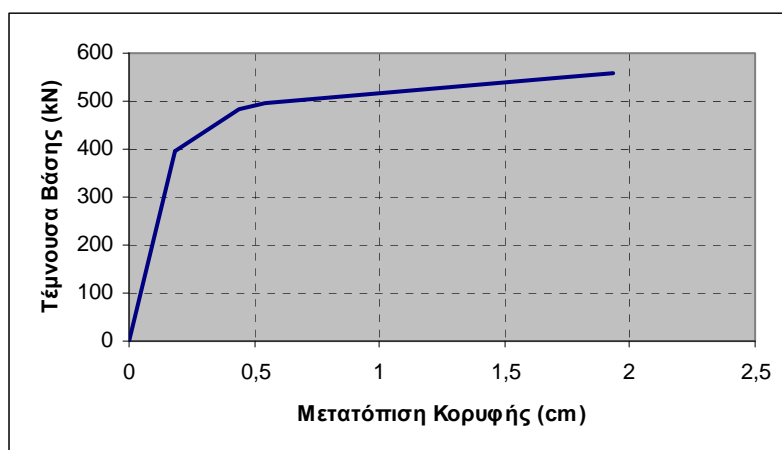
Σχήμα 2.24: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



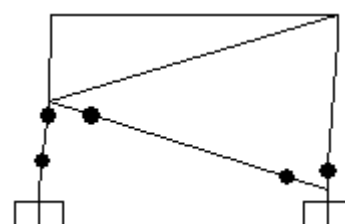
Σχήμα 2.25: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

ΔΙΑΤΑΞΗ [Κ]

Στη διάταξη [K] παρατηρούμε μια αρχική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας σε σχέση με τον αρχικό φορέα αλλά και δραματική μείωση της πλαστιμότητάς του. Η αρχική διαρροή του πλαισίου οφείλεται στην πρόωρη διαρροή της θλιβόμενης ράβδου (κάτω). Στη συνέχεια διαρρέουν τα υποστυλώματα στη βάση τους. Το αριστερό υποστύλωμα διαρρέει και στο σημείο σύνδεσής του με τα μεταλλικά στοιχεία. Η τελική αστοχία του πλαισίου προέρχεται από περαιτέρω πλαστικοποίηση αυτών των διατομών χωρίς τη συμμετοχή στην κατανάλωση της ενέργειας της εφελκυόμενης ράβδου ή της πλακοδοκού.



Σχήμα 2.26: Διάγραμμα Τέμνουσας Βάσης-Μετατόπισης



Σχήμα 2.27: Ο Φορέας Πριν την Κατάρρευση

2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα κυριότερα στοιχεία από τα αποτελέσματα κάθε ανάλυσης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Διάταξη	V_y (kN)	Μέγιστη V_{max} (kN)	Μετακίνηση		Δυσκαμψία K (kN/cm)	Δείκτης πλαστιμότητας $\mu_{\delta u}$	$V_{max} / V_{max, αρχ.}$	$\delta_u / \delta_{u, αρχ.}$	$K / K_{αρχ.}$
			δ_v (cm)	δ_u (cm)					
[Π]	149,70	159,00	1,60	7,70	93,56	4,81	1,00	1,00	1,00
[X]	2888,14	2949,15	0,84	7,72	3438,26	9,19	18,55	1,00	36,75
[/]	2467,80	2520,70	0,87	10,00	2836,55	11,49	15,85	1,30	30,32
[/_E]	327,04	538,80	0,31	2,45	1054,97	7,90	3,39	0,32	11,28
[V]	2211,78	2380,32	0,98	9,94	2256,92	10,14	14,97	1,29	24,12
[V_E]	405,31	563,55	0,34	4,91	1192,09	14,44	3,54	0,64	12,74
[Λ]	512,64	920,10	0,10	7,25	5126,40	72,50	5,79	0,94	54,79
[Λ_E]	484,00	636,34	0,19	3,00	2547,37	15,79	4,00	0,39	27,23
[K]	397,00	559,40	0,18	1,93	2205,56	10,72	3,52	0,25	23,57

Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα Αναλύσεων

Θα χωρίσουμε τις διατάξεις σε 2 κατηγορίες προκειμένου να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΟΥΝ ΔΙΑΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

Τέτοιες διατάξεις από τις εξεταζόμενες σε αυτή την εργασία, είναι οι [X], [/] και [V]. Και οι τρεις διατάξεις δικτυωτών συνδέσμων αυξάνουν σημαντικά την αντοχή και τη δυσκαμψία ενώ επηρεάζουν θετικά εν γένει και την πλαστιμότητα του αρχικού πλαισίου. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι διαρρέουν οι εφελκυόμενοι ράβδοι. Είναι αυτές που με την όλκιμη συμπεριφορά τους καταναλώνουν κυρίως την σεισμική ενέργεια και καθιστούν αποδοτικές

τις ενισχύσεις. Στη διάταξη [X] η θλιβόμενη ράβδος δεν συνεισφέρει σημαντικά στην καλή συμπεριφορά του πλαισίου. Σε αυτή οφείλεται μόνο μια μικρή αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας μέχρι και τη θραύση της. Όταν αστοχεί, το πλευρικό φορτίο που φέρει ο φορέας, εξισώνεται με αυτό της διάταξης [/]. Γι αυτό και η ύπαρξη της θλιβόμενης διαγωνίου μπορεί να αγνοείται κατά τον σχεδιασμό σε σεισμική δράση. Ωστόσο στη διάταξη [V] η θλιβόμενη με την εφελκυσμένη διαγώνιο δείχνουν να συνεργάζονται καλύτερα αφού η θλιβόμενη αστοχεί σε μεγαλύτερη μετατόπιση από ότι στη διάταξη [X] και η πλαστιμότητα του πλαισίου βελτιώνεται σημαντικά. Αν το πλαίσιο που εφαρμόζεται η συγκεκριμένη διάταξη, δεν είναι ισογείου, χρειάζεται προσοχή, στον έλεγχο των δυνάμεων που αναπτύσσονται στο δοκάρι του κάτω ορόφου, όπου πλέον θα συνδέονται οι ράβδοι δικτύωσης. Πολύ πιθανή είναι η ανάγκη ενίσχυσής του. Επίσης η διάταξη [V] είχε την καλύτερη διασπορά ενέργειας αφού πλαστικοποιήθηκαν όλα ανεξαιρέτως τα μέλη της κατασκευής, συμπεριφορά επιθυμητή κατά τη διάρκεια του σεισμού.

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΠΙΤΡΕΠΟΥΝ ΔΙΑΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗΣ ΡΑΒΔΟΥ

Τέτοιες διατάξεις από τις εξεταζόμενες είναι οι [/_], [V_E], [Λ], [Λ_E] και [K]. Οι διατάξεις αυτές δικτυωτών συνδέσμων αυξάνουν μεν λίγο την αντοχή και τη δυσκαμψία του αρχικού πλαισίου, επηρεάζουν όμως αρνητικά την πλαστιμότητά του. Αυτό συμβαίνει λόγω της πρόωρης αστοχίας που προκαλεί η ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων στα μέλη με τα οποία συνδέονται έκκεντρα με τους κόμβους τους. Τα μέλη αυτά καταπονούνται έντονα σε κάμψη και διάτμηση. Είναι λοιπόν απαραίτητη η ενίσχυση των μελών αυτών ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους ή/και η μείωση της διατομής των δικτυωτών συνδέσμων ώστε να μειωθεί η ένταση που προκαλούν αυτοί στον αρχικό φορέα. Κύριο χαρακτηριστικό των διατάξεων της κατηγορίας είναι η μη διαρροή της εφελκυσμένης διαγωνίου, εξαιτίας του λόγου που προαναφέρθηκε. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του ρόλου που παίζει η ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων είναι η σύγκριση της απόδοσης των διατάξεων [/_] και [V_E] με τις αντίστοιχες χωρίς εκκεντρότητα. Υπολείπονται σε όλους τους τομείς και όπως προαναφέρθηκε μειώνουν δραματικά την πλαστιμότητα του αρχικού φορέα. Αντίστοιχη συμπεριφορά έχει και η διάταξη [Λ_E]. Ομοίως και η διάταξη [Λ] με τη μόνη διαφορά ότι δεν επιδρά τόσο αρνητικά στην πλαστιμότητα του αρχικού φορέα. Λύνοντας το φορέα της διάταξης [Λ] θεωρώντας ότι αντέχει την ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων, χωρίς δηλαδή την επιλογή πλαστικών αρθρώσεων στην πλακοδοκό στο σημείο σύνδεσης της με τους δικτυωτούς συνδέσμους, παίρνουμε εξαιρετικά αποτελέσματα σε αντοχή, δυσκαμψία και κυρίως πλαστιμότητα. Δηλαδή με κατάλληλο συνδυασμό μείωσης της διατομής των συνδέσμων και ενίσχυσης της δοκού μπορούμε να επιτύχουμε πολύ αποδοτικό φορέα αν και στο παρόν παράδειγμα φαίνεται το αντίθετο. Η διάταξη [K] δεν συνίσταται από τους κανονισμούς και ουσιαστικά απλά επιβεβαιώνεται η άσχημη συμπεριφορά της.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όλες οι διατάξεις ενίσχυσης του αρχικού φορέα αυξάνουν το μέγιστο πλευρικό φορτίο που μπορεί να φέρει και τη δυσκαμψία του. Αυτό δεν τις καθιστά όμως όλες αυτόματα κατάλληλες για την ενίσχυση ενός κτηρίου. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα το πιο κρίσιμο στοιχείο για τη συμπεριφορά κάθε διάταξης είναι αν οι εφελκυσμένες ράβδοι διαρρέουν. Αυτό εξαρτάται από το αν οι δοκοί και τα υποστυλώματα μπορούν να αντέξουν την καινούργια ένταση που δημιουργείται στο φορέα εξαιτίας των δικτυωτών συνδέσμων. Δηλαδή και διατάξεις που στην παρούσα εργασία μπορεί να φαίνονται ακατάλληλες προς ενίσχυση μπορούν με την κατάλληλη επιλογή ράβδων δικτύωσης αλλά και τη σωστή ενίσχυση των παλαιών μελών από σκυρόδεμα να είναι αποδοτικές. Σε όλες τις διατάξεις πρέπει να γίνεται

έλεγχος αν το αρχικό πλαίσιο μπορεί να αντέξει την ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων. Πιο κρίσιμες για αυτό τον έλεγχο είναι οι διατάξεις με εκκεντρότητα.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων αν και η ενίσχυση με δικτυωτούς συνδέσμους αυξάνει σημαντικά την αντοχή και τη δυσκαμψία του πλαισίου μόνο οι διατάξεις [V] και [/] αύξησαν κατά 30% την πλαστιμότητα του. Οι υπόλοιπες διατάξεις ή την έβλαψαν ή δεν την επηρέασαν καθόλου. Καθοριστικό για την αύξηση της πλαστιμότητας από τις διατάξεις [V] και [/] είναι η σωστή συνεργασία της θλιβόμενης διαγωνίου με την εφελκυστική στην παραλαβή του πλευρικού φορτίου στην πρώτη περίπτωση και η απουσία της στη δεύτερη που επέτρεψε στην εφελκυστική να λειτουργήσει καλύτερα από ότι στην διάταξη [X].

Τελικά, μέσα από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των αναλύσεων αποδεικνύεται ότι η διάταξη των δικτυωτών συνδέσμων που θα χρησιμοποιηθεί είναι καθοριστική για τη συμπεριφορά της ενισχυμένης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο μηχανικός, που έχει καταλήξει στη συγκεκριμένη μέθοδο ενίσχυσης, αφού προσδιορίσει ποια ιδιότητα του υφιστάμενου φορέα θέλει να βελτιώσει (αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα) πρέπει να επιλέξει την κατάλληλη διάταξη, σύμφωνα με τις παραπάνω παρατηρήσεις για τη συμπεριφορά τους. Η καλή συμπεριφορά κάθε διάταξης εξαρτάται από το αν το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα επιτρέπει τη διαρροή των (εφελκυστικών κυρίως) ράβδων. Για αυτό το λόγο επιβάλλεται ο έλεγχος αν τα παλαιά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος αντέχουν τη νέα ένταση που τους προκαλούν οι μεταλλικές ράβδοι.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αλεξιάκης Χ., (2005) Ενίσχυση φορέων οπλισμένου σκυροδέματος με μεταλλικούς δικτυωτούς συνδέσμους. Εφαρμογή push-over ανάλυσης για την περιγραφή της συμπεριφοράς τους σε σεισμό. Εργασία Νο 3, 11^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών Πανεπιστημίου Πατρών
- [2] Θυμνιανίδου Μ., (2009) Ενίσχυση πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος με μεταλλικές ράβδους δικτύωσης. Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- [3] ΚΑΝΕΠΕ, Τελικό σχέδιο κειμένου – 3
- [4] ΕΚΩΣ 2000
- [5] ΕΑΚ 2000
- [6] SAP2000 manual