

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΑΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΚΑΙ ΕΝΦΑΤΝΟΥΜΕΝΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.

Καλλιάνη Ευδοκία –Πρωτονοτάριος Μιχαήλ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας έχει σαν σκοπό την παρουσίαση των δυο στρατηγικών ενίσχυσης (με τοιχώματα και με μεταλλικούς συνδέσμους) και την εφαρμογή τους σε ένα ιδεατό πλαισιακό φορέα για την κατανόηση των αποτελεσμάτων που έχει η χρήση τους σε πλαισιακές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Αρχικά παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους δημιουργούνται οι ανωτέρω ενισχύσεις και στη συνέχεια εκτιμάται η αντοχή του φέροντα οργανισμού με ανάλυση Πλευρικής Οριακής Ώθησης (Pushover Analysis) ,με χρήση του προγράμματος Sap2000 Nonlinear.Παρακάτω εφαρμόζονται οι δυο υπό εξέταση μέθοδοι στο ιδεατό πλαίσιο και γίνονται οι σχετικές αναλύσεις .Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για κάθε επιμέρους λύση σχολιάζονται και συγκρίνονται μεταξύ τους. Γίνεται μια εκτίμηση των λύσεων σε σχέση με τα κριτήρια αντοχής , της πλαστιμότητας και του επιθυμητού τρόπου αστοχίας της κατασκευής .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τοιχώματα είναι μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές για τον σκοπό ενίσχυσης κατασκευών ευαίσθητων σε δράσεις σεισμού και ίσως η καλύτερη. Εάν τα νέα τοιχώματα σχεδιασθούν και κατασκευαστούν σωστά, τα πλευρικά σεισμικά φορτία θα παραλειφθούν από αυτά τα επιπρόσθετα κατασκευαστικά στοιχεία και θα μεταφερθούν πρώτα στα θεμέλια και από εκεί στο έδαφος. Για αυτόν τον λόγο, όχι μόνο οι συνδέσεις μεταξύ του καινούργιου τοιχίου και της υφιστάμενης κατασκευής, που είναι τα υποτιθέμενα ευαίσθητα σημεία, αλλά και τα θεμέλια θα πρέπει να ελεγχθούν και να τροποποιηθούν αν είναι αναγκαίο. Ακόμα και στην περίπτωση που η ενσωμάτωση των τοιχωμάτων γίνεται με απόλυτη επιτυχία, παραμένουν κάποια προβλήματα που συνδέονται με την συνολική συμπεριφορά της κατασκευής. Για παράδειγμα, τα τοιχώματα μπορούν να έχουν αρνητική συνεισφορά στην κατανομή της διατμητικής δύναμης στα κορυφαία επίπεδα της πλαισιακής κατασκευής. Η μέθοδος ενίσχυσης με τοιχώματα είναι από τις πρώτες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν πρακτικά χωρίς όμως να υπάρχει το απαραίτητο τεχνικό υπόβαθρο. Αυτό άφησε την εφαρμογή της μεθόδου στην κρίση του εκάστοτε μηχανικού που επιδίωκε την μείωση των μετατοπίσεων με σκοπό να γίνει το κτίριο πιο δύσκαμπτο [1] .

Η χρήση μεταλλικών συνδέσμων είναι μια ακόμα αποτελεσματική στρατηγική αντισεισμικής ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η ενίσχυση με μεταλλικούς συνδέσμους έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνικές, όπως μειωμένη επιβάρυνση των κατακόρυφων φορτίων της υφιστάμενης κατασκευής και μειωμένη ενόχληση των ενοίκων αφού είναι δυνατή η τοποθέτηση των συνδέσμων εξωτερικά του κτιρίου [6].Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν υπάρχουν μεγάλα ανοίγματα. Η ένωση των μεταλλικών συνδέσμων με την κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος γίνεται συνήθως με τη χρήση κομβοελασμάτων. Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται πιο συχνά τα τελευταία χρόνια για σεισμική ενίσχυση στην Ιαπωνία και στις Ηνωμένες Πολιτείες[10].

2. ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Η πλήρωση αυτή μπορεί να γίνει, είτε με τοίχωμα από σκυρόδεμα κατασκευασμένο επί τόπου ή προκατασκευασμένο, είτε με τοιχοποιία από οπτόπλινθους ή τσιμεντόπλινθους.

Τοίχωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η προσθήκη τοιχώματος εντός του πλαισίου είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος, διότι δεν ενισχύει μόνο την κατασκευή, αλλά βελτιώνει και την κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη σύνδεση του πλαισίου με το τοίχωμα για να δρουν ως σύνολο. Η σύνδεση αυτή μπορεί να γίνει με χρήση βλήτρων αγκυρωμένων με σφήνωση, σφηνωμένων ή αγκυρωμένων βλήτρων στον υπάρχοντα οπλισμό, σφηνωμένων βλήτρων με μηχανικά αγκυρωμένη πλάκα, συγκολλημένων διατμητικών κλειδιών και κοχλιώσεων. Σε περίπτωση που υπάρχει άνοιγμα στο τοίχωμα, η υπολογισμένη δύναμη που παραλαμβάνει το τοίχωμα μειώνεται με βάση τους κανονισμούς για το σχεδιασμό ενισχυμένων κατασκευών από σκυρόδεμα του ΑΠ. Όταν το άνοιγμα ξεπερνά το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο, η αντοχή υπολογίζεται σα να είχαμε τοίχο με πτερύγια.

Α. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Τα τοιχώματα αυτά κατασκευάζονται σε επιλεγμένα πλαίσια της κατασκευής περιμετρικά της κάτοψης (όπως και στην περίπτωση των τοιχωμάτων δυσκαμψίας) έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του κανονισμού (Σχήμα 2.1)



Σχήμα 2.1 Κατάλληλες διατάξεις τοιχωμάτων κατά τον νέο αντισεισμικό κανονισμό [4]

Η σύνδεση γίνεται είτε με όλα τα μέλη του πλαισίου (υποστυλώματα-δοκοί) είτε μόνο με τους δοκούς (όταν επιδιώκεται μια περισσότερη πλάστιμη συμπεριφορά) οπότε στα πλάγια αφήνεται ένα μικρό κενό.

Β. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

Οι τεχνικές προσθήκης τοιχωμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους είναι οι ακόλουθες τρεις:

1) Τοιχώματα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευαζόμενα επί τόπου.(σχήμα 2.2)

Τα τοιχώματα αυτά τοποθετούνται σε επιλεγμένα πλαίσια εσωτερικά ή περιμετρικά της κάτοψης. Η πλήρωση αυτή γίνεται είτε κατά μήκος όλου του ανοίγματος είτε σε ένα μέρος αυτού, ενώ η σύνδεση γίνεται κατά μήκος της περιμέτρου. Με την τεχνική αυτή προσδίδεται αντοχή και δυσκαμψία στη κατασκευή, αν όμως απαιτείται πλάστιμη συμπεριφορά, η σύνδεση γίνεται μόνο στις δοκούς, αφήνοντας μικρά κενά μεταξύ τοιχώματος και υποστυλωμάτων.

2) Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels) (σχήμα 2.3)

Η τεχνική αυτή είναι πιο εύκολη κατασκευαστικά και οικονομικότερη σε σχέση με την προηγούμενη. Η τοποθέτηση των τοιχωμάτων γίνεται όπως και πριν, αλλά η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας είναι μικρότερη.

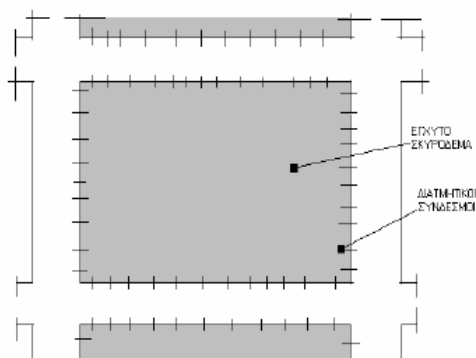
3) Πλευρικά τοιχώματα σε συνέχεια υποστυλωμάτων

Τα τοιχώματα αυτά προστίθενται με στόχο την αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής, με ταυτόχρονη μικρή αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της.

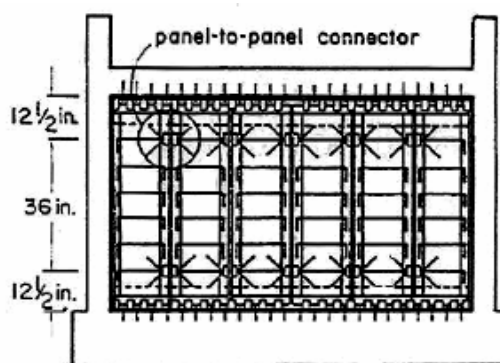
Τοποθετούνται σε γωνιακά υποστυλώματα σε δύο διευθύνσεις ή σε εσωτερικά υποστυλώματα κατά μία διεύθυνση. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ή ακόμη και προκατασκευασμένα στοιχεία .

3) Με ενισχυμένα μεταλλικά φύλλα

4) Με χρήση της ήδη υπάρχουσας τοιχοποιίας ή κατασκευή νέας οπλισμένης ή άοπλης



Σχήμα 2.2 Έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (panels) [9]



Σχήμα 2.3 Προκατασκευασμένα τοιχώματα [9]

Κάτι επίσης πολύ σημαντικό είναι η ανάγκη σε ενίσχυση των θεμελίων προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος. Αυτό παρουσιάζει δυσκολίες που μπορεί να οδηγήσουν σε μη επιλογή της μεθόδου ως λύσης ενίσχυσης. Μια τέτοια ενίσχυση θεμελίου μπορεί να πραγματοποιηθεί:

α) Με την αύξηση το μεγέθους του πεδίλου, έτσι ώστε να αυξηθεί το βάρος του και η αντίσταση του εδάφους ή με τη δημιουργία ενός ενιαίου πέδिलου με τα γειτονικά του (π.χ. πεδילוδοκός), μεταβάλλοντας τον τρόπο μεταβίβασης των κατακόρυφων φορτίων και ροπών στο έδαφος.

β) Συνδέοντας το νέο πέδιλο με τα διπλανά του με δύσκαμπτα μέλη ή με συνδετήρια δοκό.

γ) Χρησιμοποιώντας μικροπασσάλους, αγκύρια ή κάποια άλλη τεχνική με στόχο να αποφύγουμε το “σήκωμα” της θεμελίωσης.

Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι η εφαρμογή οποιασδήποτε από τις παραπάνω προτεινόμενες λύσεις είναι εξαιρετικά ακριβή και δύσκολη, τόσο υπολογιστικά όσο και κατασκευαστικά. Είναι ακόμη δυσκολότερη για κτίρια που δεν έχουν ήδη μία δύσκαμπτη συνδετήρια δοκό στην περίμετρο, στην οποία μπορεί το νέο τοίχωμα να συνδεθεί [4]. Στην παρούσα εργασία δεν μελετάται η θεμελίωση γιατί θα υπερέβαινε κατά πολύ των απαιτήσεων της παρουσίασης.

3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΑΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ

Μία από τις πιο συνήθεις μεθόδους ενίσχυσης κατασκευών με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό για ανάληψη σεισμικών φορτίων, είναι η τοποθέτηση δικτυωτών συνδέσμων σε προεπιλεγμένα φατώματα 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

κατά κανόνα μεταλλικοί, αφού ο χάλυβας λόγω των όλκιμων χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς του μπορεί να αναλάβει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις και κατά συνέπεια ενδείκνυται για την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας.

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο ενίσχυσης επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο αύξηση της δυσκαμψίας της κατασκευής, ενώ ανάλογα με το είδος των συνδέσμων μπορεί να επιτευχθεί και σημαντική αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας. Για το λόγο αυτό προστίθενται συνήθως σε 'μαλακούς' ορόφους δηλαδή ορόφους με μειωμένη δυσκαμψία, όπως είναι το ισόγειο κτιρίων τύπου pilotis. Στην περίπτωση που κανένας από τους ορόφους της κατασκευής δεν εμφανίζει μειωμένη δυσκαμψία σε σχέση με τους υπόλοιπους αλλά απαιτείται ενίσχυση του συνόλου της κατασκευής, συνιστάται η τοποθέτηση των δικτυωτών συνδέσμων σε κατακόρυφη σειρά φατνωμάτων των περιμετρικών κυρίως πλαισίων του φορέα.

Οι δικτυωτοί σύνδεσμοι παρουσιάζουν επίσης το πλεονέκτημα της μικρής επιβάρυνσης των κατακόρυφων φορτίων του φορέα, ενώ και από αρχιτεκτονικής πλευράς ελάχιστα αλλοιώνουν τη φυσιογνωμία του κτιρίου και επηρεάζουν το φωτισμό των εσωτερικών του χώρων. Επίσης σε περίπτωση που το φάτνωμα στο οποίο πρόκειται να τοποθετηθούν έχει τοιχοπλήρωση, είναι δυνατόν να τοποθετηθούν εξωτερικά του πλαισίου με κατάλληλη διάταξη, χωρίς να διαφοροποιείται η συμπεριφορά τους.

Όσον αφορά στη διαστασιολόγηση των δικτυωτών συνδέσμων, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις θέσεις των συνδέσεων με την υφιστάμενη κατασκευή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής μεταφορά δυνάμεων μεταξύ των στοιχείων που προστίθενται και αυτών που προϋπάρχουν. Επίσης πρέπει να επισημανθεί, ότι η χρήση δικτυωτών συνδέσμων μπορεί να μεταβάλλει εξ ολοκλήρου τη σεισμική συμπεριφορά του αρχικού φορέα και να απαιτήσει πληθώρα άλλων επεμβάσεων λόγω ανακατανομής των δυνάμεων στα διάφορα στοιχεία του φέροντα οργανισμού [7].

A. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των διαγώνιων μελών με το ζύγωμα του φατνώματος, οι δικτυωτοί σύνδεσμοι διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- *Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα.*
- *Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα.*

Μεταξύ των δικτυωτών συνδέσμων χωρίς εκκεντρότητα στην πράξη χρησιμοποιούνται κυρίως οι απλοί ή χιαστί διαγώνιοι (Σχήματα 3.1 και 3.2). Όπως υποδηλώνει η ονομασία τους, οι σύνδεσμοι αυτοί έχουν στοιχεία κατά τη διεύθυνση της μίας ή και των δύο διαγώνιων του φατνώματος, αντίστοιχα. Για τη διαστασιολόγηση των συνδέσμων αυτού του τύπου θεωρούμε ότι οι εναλλασσόμενης φοράς οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις αναλαμβάνονται από τις εκάστοτε εφελκυσόμενες διαγωνίους, ενώ η συνεισφορά των αντίστοιχων θλιβομένων διαγώνιων μπορεί να αγνοείται.

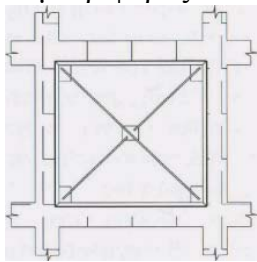
Η βασική διαφορά των συνδέσμων της δεύτερης κατηγορίας σε σχέση με αυτούς της πρώτης, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους αλλά και με τα οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία του πλαισίου χωρίς εκκεντρότητα, είναι ότι τουλάχιστον ένα από τα δύο άκρα της διαγωνίου συνδέεται με το ζύγωμα έκκεντρα ως προς τον αντίστοιχο κόμβο του υποστυλώματος (Σχήματα 3.3,3.4).

Άλλος τύπος δικτυωτών συνδέσμων με εκκεντρότητα έχει μορφή ορθού ή ανεστραμμένου Y σχ (3.8). Χαρακτηριστικό των συνδέσμων αυτών είναι ότι, ενώ τα λοξά σκέλη τους συνδέονται χωρίς εκκεντρότητα με τα στοιχεία του φατνώματος

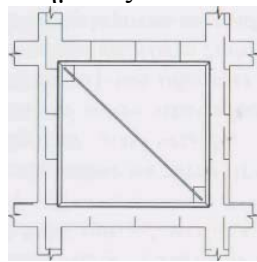
,το κατακόρυφο σκέλος καταλήγει σε ενδιάμεσο σημείο κατά κανόνα του ζυγώματος. Σ'αυτή τη περίπτωση η ανάληψη των σεισμικών δυνάμεων γίνεται σχεδόν αποκλειστικά από το κατακόρυφο σκέλος .

Μία άλλη συνήθης διάταξη δικτυωτών συνδέσμων είναι η χρήση δύο στοιχείων ανά φάτνωμα , τα οποία συντρέχουν σε ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο των οριζόντιων μελών του πλαισίου .Όπως φαίνεται στα (Σχήματα 3.5,3.6) οι σύνδεσμοι που διατάσσονται κατ'αυτό τον τρόπο ονομάζονται τύπου V ή Λ, ανάλογα με το αν το σημείο σύνδεσης τους βρίσκεται στο κάτω ή στο πάνω ζύγωμα του υπόψιν φαντώματος ,αντίστοιχα.

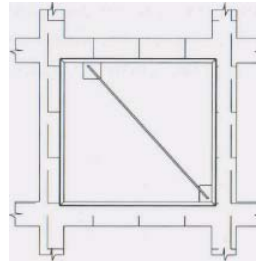
Το κυριότερο χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς των συνδέσμων τύπου V ή Λ είναι ότι, σε αντιδιαστολή με τις απλές ή χιαστί διαγωνίους, οι σεισμικές δυνάμεις αναλαμβάνονται τόσο από τις εφελκόμενες όσο και από τις θλιβόμενες ράβδους. Επίσης υπάρχει και μια άλλη παρόμοια διάταξη που όμως δεν είναι κατάλληλη για την ανάληψη σεισμικών δυνάμεων (Σχήμα 3.7).Η διάταξη αυτή ονομάζεται τύπου K και πρέπει να αποφεύγεται διότι απαιτεί τη συμμετοχή του υποστυλώματος στην ανάπτυξη του μηχανισμού διαρροής ενώ ταυτόχρονα προκαλεί εξαιρετικά δυσμενείς επιρροές 2ας τάξης , με αποτέλεσμα να περιορίζει αισθητά τη δυνατότητα πλαστικής συμπεριφοράς του συστήματος.



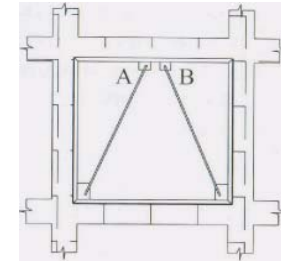
Σχ 3.1 Σύνδεσμος χιαστί χωρίς εκκεντρότητα [7]



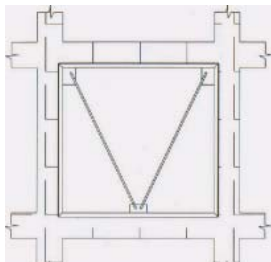
Σχ 3.2 Απλός σύνδεσμος χωρίς εκκεντρότητα [7]



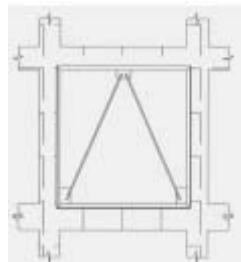
Σχ 3.3 Απλός σύνδεσμος με εκκεντρότητα [7]



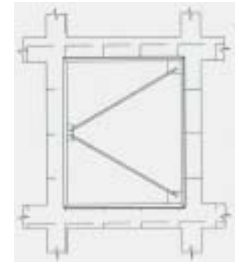
Σχ 3.4 Σύνδεσμος τύπου Λ με εκκεντρότητα [7]



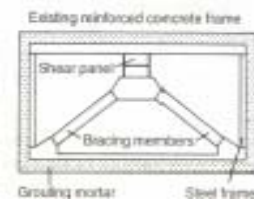
Σχ 3.5 Σύνδεσμος τύπου V χωρίς εκκεντρότητα [7]



Σχ 3.6 Σύνδεσμος τύπου Λ χωρίς εκκεντρότητα [7]



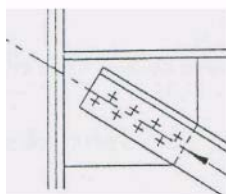
Σχ 3.7 Σύνδεσμος τύπου K [7]



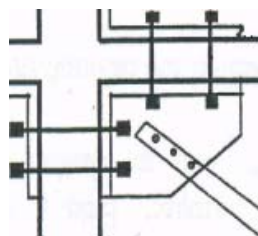
Σχ 3.8 Σύνδεσμος ανεστραμμένου Υ [6]

Β. ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ Ο.Σ

Για τη σύνδεση των δικτυωτών συνδέσμων με το πλαίσιο γίνεται χρήση κυρίως γωνιακών κομβοελασμάτων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σύνδεση της διαγώνιας ράβδου με το υποστύλωμα και τη δοκό (σχήμα 3.9). Η σύνδεση του κομβοελάσματος με τη ράβδο γίνεται με συγκόλληση ή με κοχλίωση. Με τον ίδιο τρόπο το κομβοέλασμα συνδέεται με μεταλλικά γωνιακά ελάσματα τα οποία είναι επικολλητά ή αγκυρωμένα ή και τα δύο [9] (σχήμα 3.10).

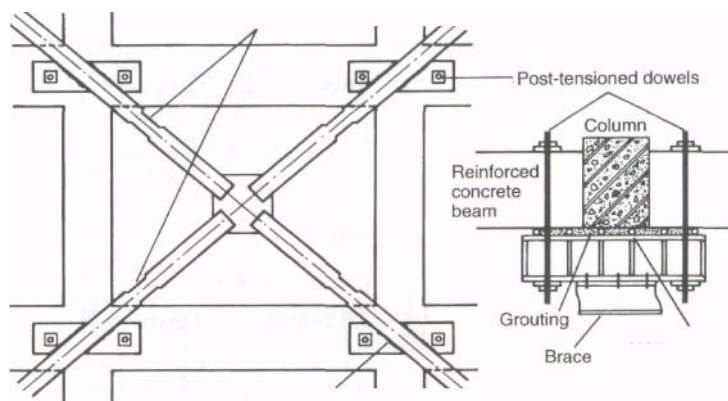


Σχ 3.9 Γωνιακό κομβοέλασμα [8]



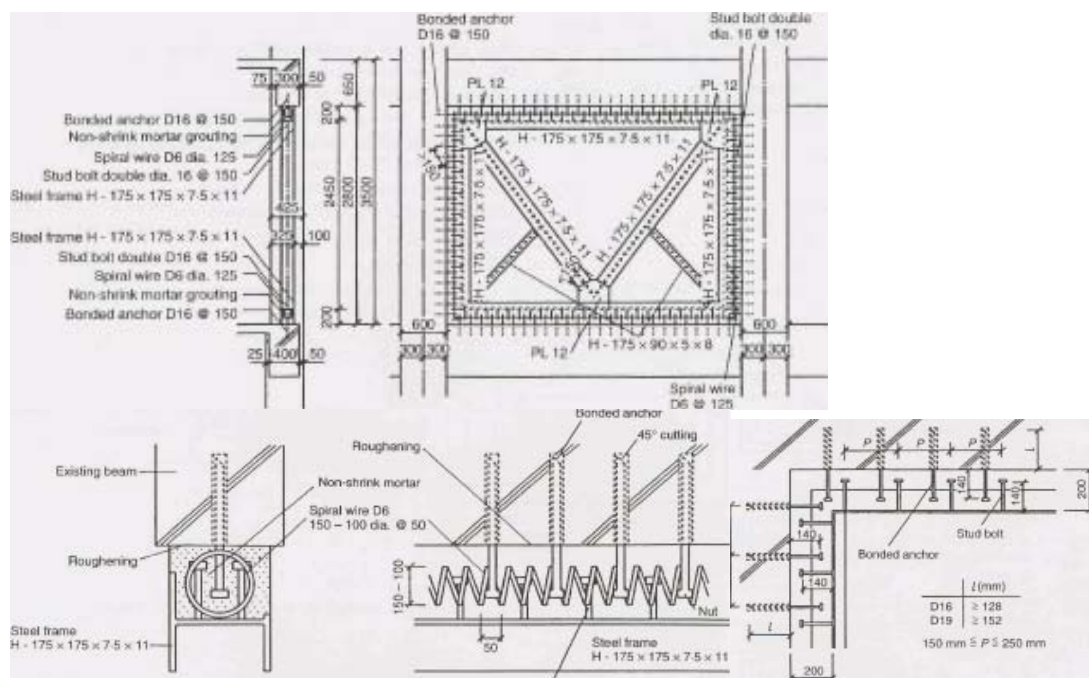
Σχ 3.10 Γωνιακό επικολλητό και αγκυρωμένο κομβοέλασμα [8]

Ένας άλλος τρόπος σύνδεσης που χρησιμοποιείται συχνά είναι, η τοποθέτηση στην περίμετρο του φανώματος μεταλλικών στοιχείων που σχηματίζουν ένα μεταλλικό πλαίσιο στο οποίο συνδέονται τα διαγώνια μέλη των συνδέσμων. Στην περίπτωση που η χρήση του μεταλλικού πλαισίου δεν είναι εφικτή, λόγω π.χ τοιχοπλήρωσης, είναι δυνατή η απευθείας σύνδεση των συνδέσμων στο φέροντα οργανισμό μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων διατάξεων εξωτερικά του τοίχου πλήρωσης [6] (σχήμα 3.11).



Σχ 3.11 Σύνδεσμος χιαστί τοποθετημένος εξωτερικά του τοίχου πλήρωσης [6]

Μία εναλλακτική τεχνική, η οποία τυγχάνει ευρείας χρήσης στην Ιαπωνία, περιλαμβάνει την χρήση προκατασκευασμένων χαλύβδινων πλαισίων με τους διατημητικούς συνδέσμους συγκολλημένους εξ αρχής. Αντίστοιχοι διατημητικοί σύνδεσμοι αγκυρώνονται (μέσω εποξειδικής ρητίνης) και στα στοιχεία σκυροδέματος, ενώ το κενό μεταξύ του εξωτερικού του χαλύβδινου πλαισίου και του σκυροδέματος γεμίζεται με μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής. Στα παρακάτω σχήματα δείχνονται κατασκευαστικές λεπτομέρειες αυτής της μεθόδου [6].



Σχ.3.12 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες των προκατασκευασμένων χαλύβδινων πλαισίων [6]

Γ.ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Οι κυριότερες βλάβες που εμφανίζονται σε διαγώνια στοιχεία των δικτυωτών συνδέσμων είναι οι εξής:

- Αστοχία του διαγώνιου στοιχείου λόγω θράυσης όταν καταπονείται σε εφελκυσμό ή λυγισμό και αδυναμία επαναφοράς στην ευθεία θέση όταν καταπονείται σε θλίψη.
- Διαρροή του διαγώνιου στοιχείου. Εάν η πλαστική παραμόρφωση δεν είναι μεγάλη δεν απαιτείται η αντικατάσταση του στοιχείου.
- Ολίσθηση των κοχλιών τριβής. Για ολίσθηση έως 2mm συνιστάται να γίνονται πρόσθετες ραφές συγκόλλησης του διαγώνιου στοιχείου στο κομβοέλασμα.
- Θραύση των κοχλιών σύνδεσης του στοιχείου στο κομβοέλασμα. Συνιστάται η αντικατάσταση των κοχλιών με κοχλίες τριβής.
- Θραύση του κομβοελάσματος. Η βλάβη αποκαθίσταται με προσωρινή απομάκρυνση του στοιχείου του συνδέσμου, αντικατάσταση του κομβοελάσματος από άλλο μεγαλύτερου πάχους και επανατοποθέτηση του στοιχείου.

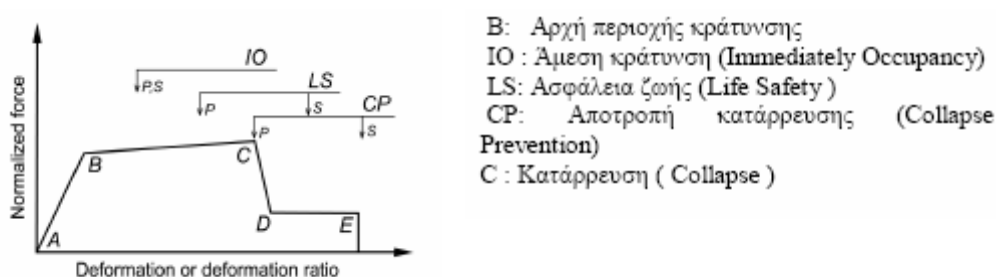
4.Static Pushover Analysis

Η μη γραμμική στατική ανάλυση Πλευρικής Οριακής Ωθησης είναι μια εξειδικευμένη διαδικασία που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό κατασκευών για επάρκεια σε σεισμικά φορτία. Η ακόλουθη γενική σειρά βημάτων περιλαμβάνεται στην εκτέλεση της Pushover analysis με την χρήση του SAP2000.

1. Δημιουργία του επιθυμητού μοντέλου: Στο σημείο αυτό δίνουμε στοιχεία για την γεωμετρία της κατασκευής και την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται.
 - Στην περίπτωση μας έχουμε ένα επίπεδο πλαισιακό φορέα που αποτελείται από πέντε ορόφους με ύψος $h=3\text{m}$ και από πέντε φαντώματα μήκους 4m το καθένα. Τα οριζόντια στοιχεία είναι πλακοδοκοί με τις εξής διαστάσεις: πάχος πλάκας $h_f = 0.15\text{m}$. κρέμαση $h_{\text{beam}} = 0.6\text{m}$ πάχος κάτω πέλματος κορμού $t_w = 0.25\text{m}$ και ενεργό πλάτος $b_{\text{eff}} = 1.40\text{m}$. Τα υποστυλώματα είναι διαστάσεων 30×30 ενώ τα εμφανιζόμενα τοιχώματα έχουν διαστάσεις κάτοψης 400×25 . Οι δικτυακοί σύνδεσμοι είναι πλατύπελμα HE-A300. Τα παραπάνω ισχύουν για όλες τις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν.
 - Τα υλικά που λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα ανάλυση αντιστοιχούν σε υλικά που χρησιμοποιούνταν σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίες είχαν σχεδιαστεί κυρίως κατά την διάρκεια των ετών 1960 έως 1985. Έτσι επιλέχθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 και χάλυβας κατηγορίας S220. Επίσης ο οπλισμός των φερόντων στοιχείων έχει ως εξής: $6\Phi 20$ για τα υποστυλώματα, για τα δοκάρια $2\Phi 16$ πάνω και $3\Phi 16$ κάτω και τέλος τα τοιχώματα είχαν $10\Phi 14$ στις ενισχυμένες περιοχές και $18\Phi 10$ στην ενδιάμεση περιοχή. Που για τις ανάγκες του προγράμματος τροποποιήθηκαν σε ομοιόμορφα κατανεμημένο οπλισμό $28\Phi 14$.
2. Προσδιορισμός των πλαστικών αρθρώσεων (hinges) στα στοιχεία. Εδώ χρησιμοποιήθηκαν τα default hinges που παρέχονται από το πρόγραμμα και βασίζονται στα FEMA-356 κριτήρια [5]. Πιο συγκεκριμένα στα άκρα των γραμμικών στοιχείων έχουμε
 - Για τα υποστυλώματα χρησιμοποιήθηκαν το P- M_y (P-M-M στο SAP). Δηλαδή λαμβάνουμε υπόψη ροπή ως προς τον y άξονα (κάθετος στο επίπεδο του πλαισίου). Το πλαίσιο εξετάζεται ως προς το x άξονα για την πλευρική μετατόπιση ενώ οι μετατοπίσεις ως προς τον y άξονα δεν λαμβάνονται υπόψη.
 - Τα δοκάρια έχουν εξιδανικευτεί ως γραμμικά μέλη παραμόρφωσης στα οποία λόγω της διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών έχουμε μικρές αξονικές παραμορφώσεις και για αυτό εφαρμόζουμε στα άκρα τους πλαστική άρθρωση M-θ ροπής στροφής (M_3).
 - Στους δικτυωτούς συνδέσμους χρησιμοποιήθηκε hinge P (αξονική παραμόρφωση καταπόνηση) το οποίο τοποθετήθηκε στο μέσο του μέλους.
 - Στα τοιχώματα επιλέχθηκε hinge P-M-M.
3. Καθορισμός στατικών και δυναμικών φορτίσεων. Οι τιμές των φορτίων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση είναι: I.B. σκυροδέματος $= 25 \text{ KN/m}^3$, επίστρωση δαπέδων $= 1 \text{ KN/m}^2$, ωφέλιμο φορτίο $= 2.0 \text{ KN/m}^2$. Η στατική ανάλυση έγινε σύμφωνα με τις διατάξεις του Ε.Κ.Ω.Σ, με συνδυασμό φόρτισης $1.35G + 1.50Q$ για τα κατακόρυφα φορτία. Η δυναμική φόρτιση περιλαμβάνει μόνιμα φορτία χωρίς συντελεστή επαύξησης κινητά με ποσοστό 30% ενώ ως σεισμική φόρτιση εισάγουμε το φάσμα σχεδιασμού συμφωνά με τον ΕΑΚ2000 (εξισώσεις ΕΑΚ2000, σελ. 51) [2].

4. “Τρέχουμε” αρχικά μια ανάλυση που είναι αναγκαία για τον σχεδιασμό με την στατική φόρτιση της κατασκευής και το φάσμα σχεδιασμού. Στην συνέχεια επειδή έχουμε χρησιμοποιήσει default hinges πραγματοποιούμε σχεδιασμό σκυροδέματος (concrete design) έτσι ώστε το πρόγραμμα να υπολογίσει τον οπλισμό.
5. Τέλος δημιουργούμε τα φορτία της Pushover analysis και τρέχουμε την ανάλυση μας για αυτά.

Παρακάτω γίνεται μια αναφορά στο διάγραμμα συμπεριφοράς υλικών:

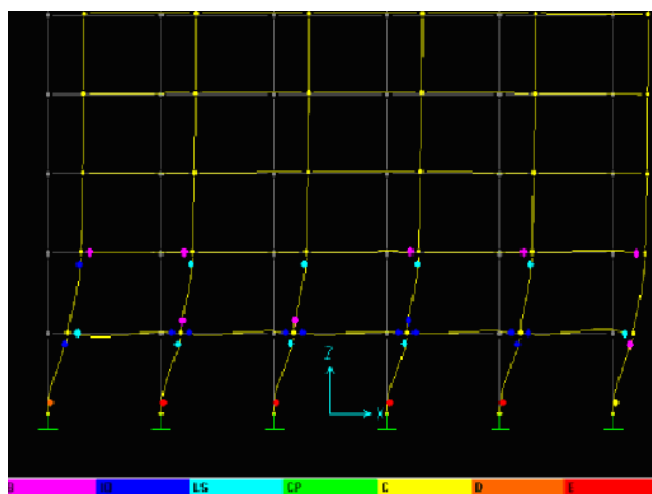


Σχήμα 4.1 Διάγραμμα συμπεριφοράς υλικών [5].

Έτσι για την κάθε διατομή το πρόγραμμα προσδιορίζει ανάλογα με την σχέση δύναμης παραμόρφωσης σε ποιο σημείο αρχίζει η περιοχή κράτυνσης (σημείο B), σε ποιο σημείο υπάρχει ασφάλεια ανθρώπινης ζωής (σημείο LS) και σε ποιο σημείο επέρχεται θράυση (σημείο C) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.

Στη συνέχεια τοποθετούνται τα μεταλλικά χιαστί και τα ενφατνούμενα τοιχώματα στο αρχικό πλαίσιο και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

A. Αρχικό πλαίσιο

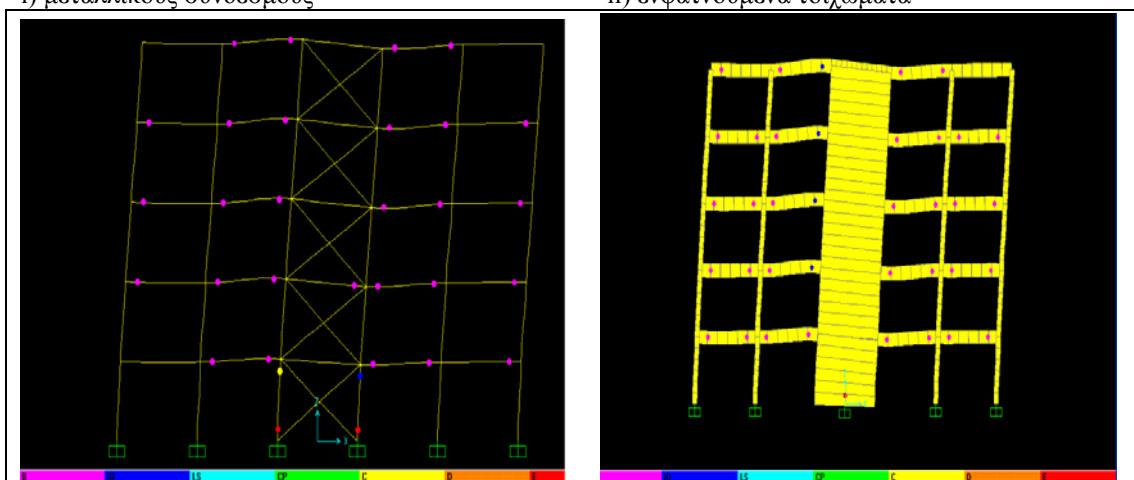


-Ο αρχικός φορέας αστόχησε σε μικρή τέμνουσα βάσης από κάμψη στη αρχή των υποστυλωμάτων. Αυτή η μορφή αστοχίας είναι ανεπιθύμητη στη καταπόνηση από σεισμό.

Β. Αρχικός φορέας ενισχυμένος στη μεσαία στήλη με:

i) μεταλλικούς συνδέσμους

ii) ενφαινούμενα τοιχώματα

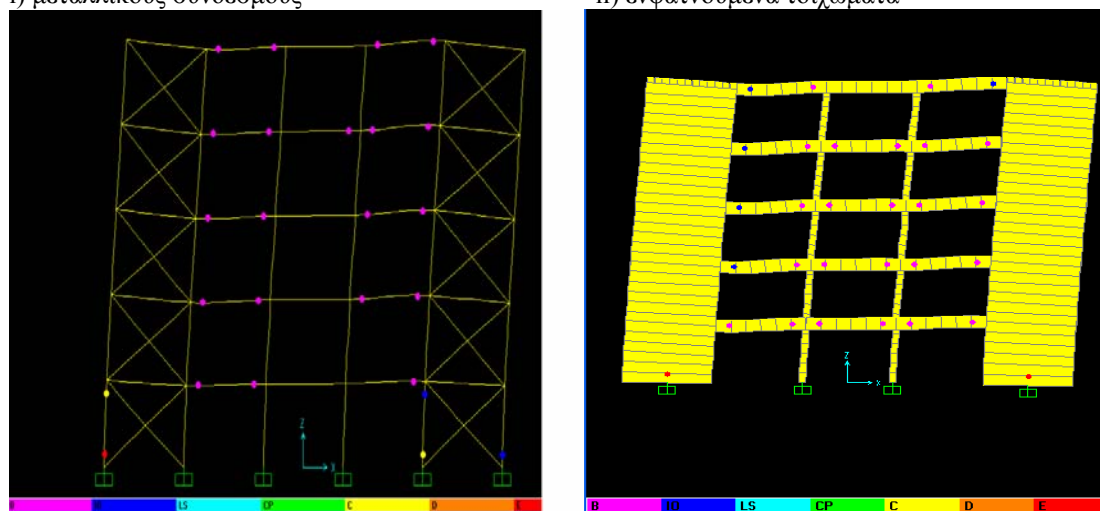


-Στη περίπτωση αυτή αλλάζει άρδην η συμπεριφορά του κτιρίου. Για την ενίσχυση με χιαστί η τέμνουσα βάσης όπως και η δυσκαμψία αυξάνονται ενώ η πλαστιμότητα παραμένει στα ίδια επίπεδα. Παρατηρείται η έντονη καταπόνηση από κάμψη στις παρειές των δοκών που βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά της δύσκαμπτης στήλης. Η αστοχία προήλθε από εφελκυσμό του υποστυλώματος βάσης της δύσκαμπτης στήλης. Το τοίχωμα μειώνει τις μετακινήσεις της κατασκευής στη βάση, ενώ το πλαίσιο μειώνει τις μετακινήσεις στην κορυφή. Στη περίπτωση με το τοίχωμα παρατηρείται αύξηση της αντοχής και δυσκαμψίας και μείωση της πλαστιμότητας σε σχέση με το αρχικό πλαίσιο. Η αστοχία προκαλείται από κάμψη στην βάση του τοιχώματος ίδια με εκείνη του αρχικού πλαισίου και άρα μη επιθυμητή. Σε σχέση με την ενίσχυση με χιαστί η αντοχή παραμένει στα ίδια επίπεδα, έχει αυξημένη δυσκαμψία, ενώ η πλαστιμότητα είναι μειωμένη.

Γ. Αρχικός φορέας ενισχυμένος στις δύο ακραίες στήλες με:

i) μεταλλικούς συνδέσμους

ii) ενφαινούμενα τοιχώματα



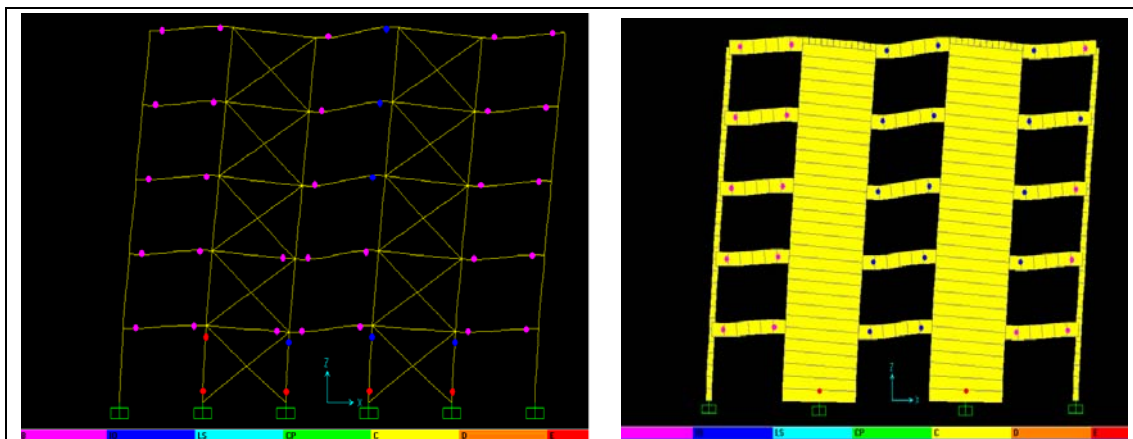
-Στη περίπτωση των 2 δύσκαμπτων στήλων περιμετρικά του κτιρίου παρατηρείται ότι τα εσωτερικά υποστυλώματα παραμένουν ανεπηρέαστα από την εξωτερική καταπόνηση. Για την ενίσχυση με χιαστί έχουμε μικρή αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας σε σχέση με την ΙΧ. Η αστοχία όπως και

παραπάνω προήλθε από εφελκυσμό του υποστυλώματος βάσης της δύσκαμπτης στήλης. Για την ενίσχυση με τοιχώματα η αντοχή και η δυσκαμψία αυξάνονται σε σχέση με την '1 τοίχωμα στη μέση' ενώ η πλαστιμότητα μειώνεται. Σε σχέση με την ενίσχυση με χιαστί παρατηρείται ελάχιστα αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία ενώ η πλαστιμότητα είναι μειωμένη.

Δ. Αρχικός φορέας ενισχυμένος σε δύο στήλες με:

i) μεταλλικούς συνδέσμους

ii) ενφαινούμενα τοιχώματα

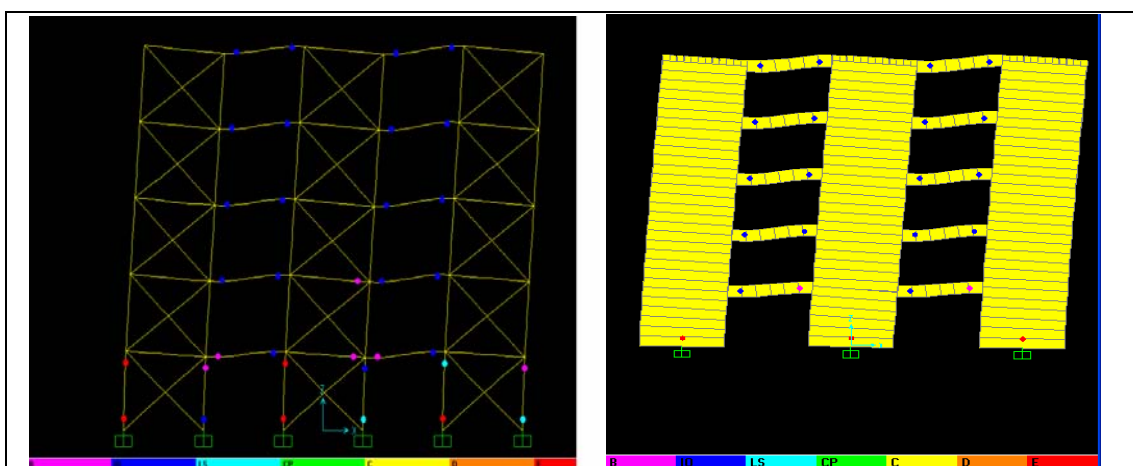


-Εδώ και στους δύο τρόπους ενισχύσεων παρατηρείται μεγάλη καταπόνηση στα περισσότερα στοιχεία του κτιρίου παρόλο που η αντοχή η δυσκαμψία και η πλαστιμότητα παρέμειναν στα ίδια επίπεδα με τα προηγούμενα.. Ειδικότερα στη ΙΧΙ η αστοχία δημιουργείται σε περισσότερα από ένα υποστυλώματα.

Ε. Αρχικός φορέας ενισχυμένος στις ακραίες στήλες και στη μεσαία με:

i) μεταλλικούς συνδέσμους

ii) ενφαινούμενα τοιχώματα

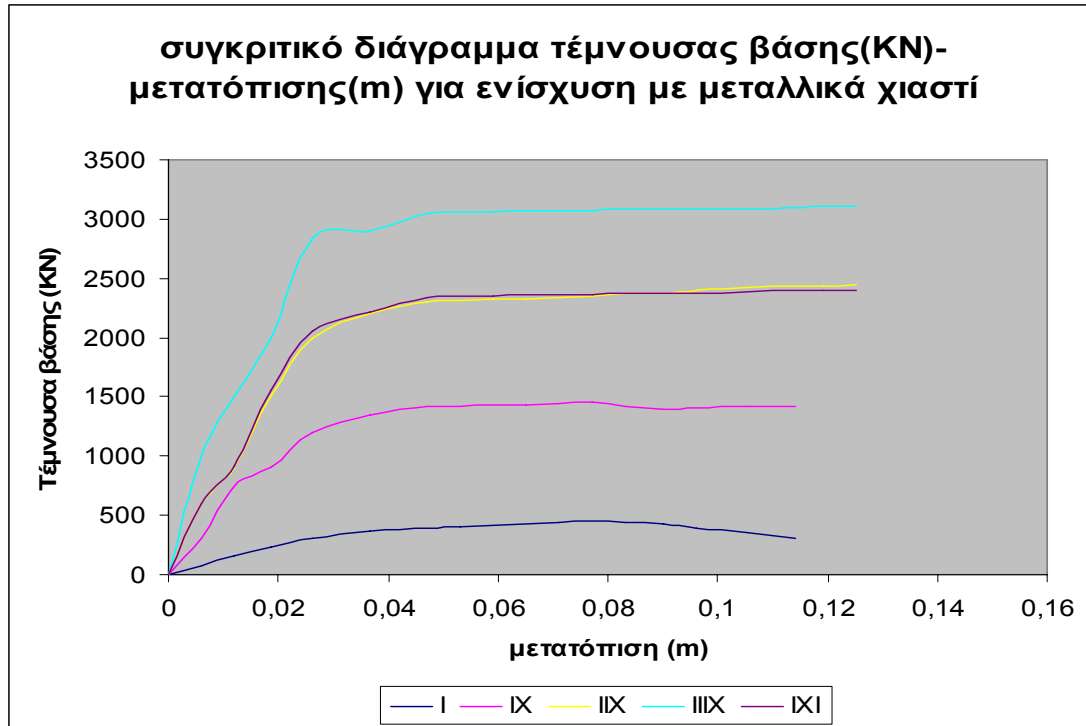


-Στη περίπτωση των τριών δύσκαμπτων στηλών παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση τάσεων στις παρειές των δοκών των δύο μη ενισχυμένων στηλών. Για τη 'IIIΧ' έχουμε σαφώς μεγαλύτερη αντοχή και δυσκαμψία ενώ η πλαστιμότητα παραμένει στα ίδια επίπεδα με τη 'IIΧ'. Η αστοχία προκαλείται και εδώ από εφελκυσμό των υποστυλωμάτων βάσης. Στη '3 τοιχώματα' η αστοχία εντοπίζεται στη βάση των τοιχωμάτων και είναι καμπτική. Η αντοχή και η δυσκαμψία είναι ακόμα μεγαλύτερες από τις προηγούμενες περιπτώσεις ενώ η πλαστιμότητα παραμένει στα ίδια επίπεδα.

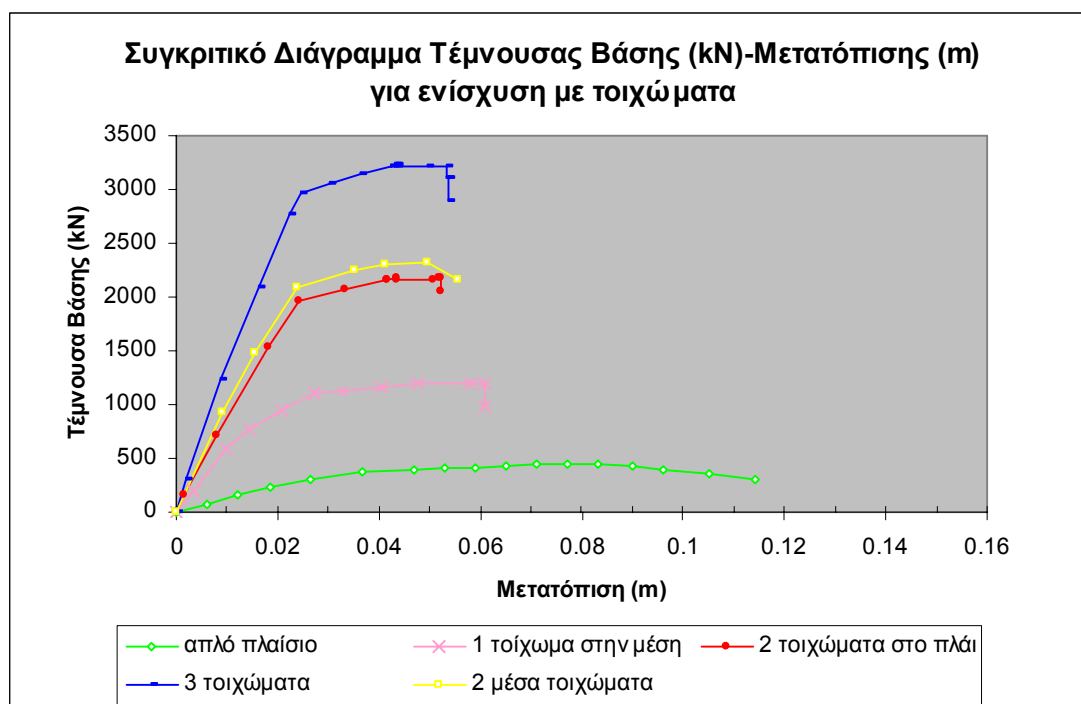
Σε σχέση με την ενίσχυση με χιαστί παρατηρείται λίγο μεγαλύτερη αντοχή και δυσκαμψία σε αντίθεση με την πλαστιμότητα που είναι πολύ μικρότερη.

Παρακάτω παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα Τέμνουσας Βάσης – Μετατόπισης για τις δυο μεθόδους ενίσχυσης.

Ενίσχυση με μεταλλικούς συνδέσμους:



Ενίσχυση με τοιχώματα:



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. New Zealand National Society for Earthquake Engineering, March-April 1995 Waikanae, Conference Technical Papers .
2. E.A.K. 2000
3. Sap2000 MANUAL
4. Μαθηματα οπλισμενου σκυροδεματος Μερως ΙΙ , Μ. Φαρδης. Εκδόσεις 2004 Πανεπιστημίου Πατρων.
5. FEMA 356 chapter 2
6. Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures: The state of the art. CEB
7. 13^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος , Τ.Ε.Ε Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος Οκτώβριος 1999
8. 11^ο Φοιτητικό Συνέδριο 2005
9. 10^ο Φοιτητικό Συνέδριο 2004
10. Strength and Ductility of Frames Strengthened with Steel Bracing Yamamoto Yasutoshi