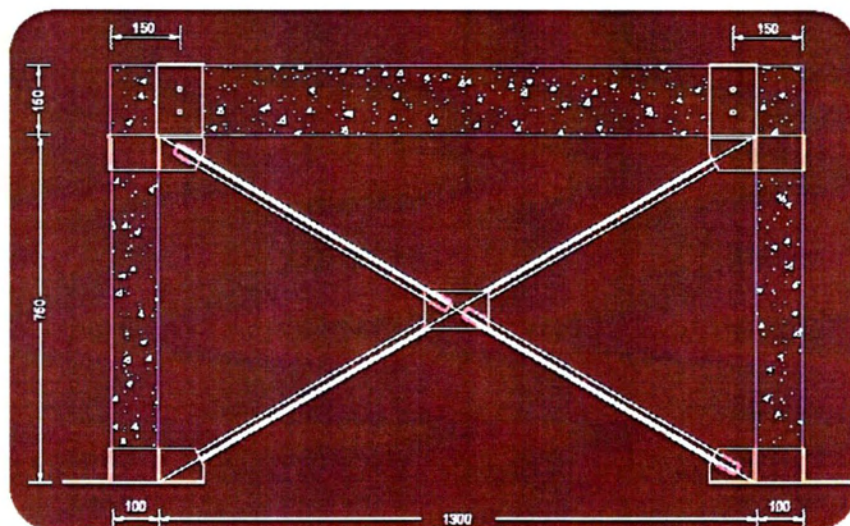




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ



Συμπεριφορά πλαισίων από Ο/Σ με ενίσχυση μέσω
μη έκκεντρων χαλύβδινων χιαστί συνδέσμων

δυσκαμψίας

Σκρουμπέλου Γεωργία

Επιβλέπων Καθηγητής:

Τσόπελας Παναγιώτης

Βόλος 2014



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 12940/1
Ημερ. Εισ.: 22-08-2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ
2014
ΣΚΡ

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1	Ευχαριστίες	4
1.2	Αντικείμενο εργασίας	5
2	ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	6
2.1	Γενικά.....	6
2.2	Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίου	8
2.3	Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων	8
2.4	Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια των υποστυλωμάτων	10
3	ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	12
3.1	Hemant B. Kaushik; Durgesh C. Rai; Sudhir K. Jain (ASCE, 2009)	12
3.2	Robert Tremblay (Journal of Constructional Steel Research, 2002)	17
3.3	Δ. Σοφιανόπουλος (ΤΕΠ ΟΑΣΠ, 2012)	23
3.4	Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	31
4	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Χ-4.....	35
4.1	Αντοχή υλικών	37
4.1.1	Χάλυβας οπλισμού	38

2		
4.1.2	Μίγμα σκυροδέματος	39
4.2	Παράμετροι Δοκιμίων.....	40
4.2.1	Διαμήκης οπλισμός υποστυλωμάτων πλαισίου	41
4.2.2	Διαμήκης οπλισμός δοκού πλαισίου	41
4.2.3	Συνδετήρες στοιχείων πλαισίου	41
4.2.4	Οπλισμός στοιχείου θεμελίωσης.....	42
5	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΤΟ SeismoStruct	43
5.1	Απλό (γυμνό) πλαίσιο (Πλαίσιο A-1).....	44
5.2	Πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους, ελεύθερους να ολισθήσουν ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση στη βάση των υποστυλωμάτων (Πλαίσια X-1 και X-3).....	50
5.3	Πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους με διπλές ράβδους, ελεύθερους να ολισθήσουν ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση στη βάση των υποστυλωμάτων (Πλαίσιο X-2)	57
5.4	Πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους δυσκαμψίας, πλήρως πακτωμένους (Πλαίσιο X-4)	61
5.5	Συμπεράσματα	63
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα είναι μια χώρα που βρίσκεται στη ζώνη υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας στην Ευρώπη, επομένως απαιτείται σχεδιασμός και κατασκευή κτιρίων, τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής συμπεριφορά των κατασκευών έναντι σεισμικών καταπονήσεων. Λόγω αυτής της απαίτησης έχουν θεσμοθετηθεί, τα τελευταία χρόνια, νέοι και αυστηρότεροι κανονισμοί, όμως στον ελλαδικό χώρο υφίστανται αρκετά κτίρια τα οποία σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν πριν το 1985, σύμφωνα με τον Κανονισμό του 1954, οι απαιτήσεις του οποίου δεν είναι συμβατές με αυτές που προτείνονται από τους σύγχρονους (ΕΚΩΣ, ΕΑΚ, ΕΚ2, ΕΚ8). Προκύπτει, έτσι, η ανάγκη της αποτίμησης της συμπεριφοράς παλαιών κτιρίων, ούτως ώστε να καταστεί εφικτή η ενίσχυσή τους με βάση τα σύγχρονα πρότυπα. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στη δημιουργία του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ. ΕΠΕ.), ο οποίος ασχολείται με θέματα αποτίμησης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι σεισμικών δράσεων και ενίσχυση αυτών. Πρόκειται για τον πρώτο κανονισμό επεμβάσεων που έχει συνταχθεί ποτέ στην Ελλάδα και αποτελεί σημαντικό εργαλείο για το μηχανικό αλλά και αντικείμενο έρευνας.

1.1 Ευχαριστίες

Η περάτωση αυτής της εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς τη συμμετοχή ανθρώπων οικείων, αλλά και ανθρώπων που γνώρισα μέσα από αυτήν τη διαδικασία.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Τσόπελα που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και πρακτικό θέμα, με βοήθησε σε όποια δυσκολία συνάντησα και, κυρίως, με εμπιστεύτηκε και με ενθάρρυνε να ασχοληθώ και με το πειραματικό κομμάτι αυτής της μελέτης, στο εργαστήριο Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Η εμπειρία μου στο εργαστήριο δε θα ήταν η ίδια αν δεν είχα γνωρίσει και δεν είχα συνεργαστεί με τον κ. Θεοχάρη Παπαθεοχάρη, ο οποίος ήταν πρόθυμος να προσφέρει κάθε πρακτική και θεωρητική βοήθεια, καθώς και τον κ. Αλέξανδρο Κουτσελίνη που με υποδέχτηκε στο εργαστήριο και είχαμε μια άψογη συνεργασία. Εξαιρετικός συνεργάτης ήταν, επίσης, και ο συμφοιτητής μου, Τάσος, με τον οποίο ανακαλύψαμε μαζί τον κόσμο του εργαστηρίου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τις φίλες και τους φίλους που με στήριξαν και με βοήθησαν όλο αυτό το διάστημα και, κυρίως, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Δήμητρα και Βασίλη, και την αδερφή μου Νατάσα, που με κάθε τρόπο

ήταν δίπλα μου κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων, με βοήθησαν να φτάσω στο σημείο που είμαι σήμερα και μου προσφέρουν κάθε στήριξη να συνεχίσω ακόμα παραπέρα.

1.2 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένων με χαλύβδινους μη έκκεντρους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας, πακτωμένους πάνω και κάτω στις δοκούς και τα υποστυλώματα του πλαισίου. Επιπλέον, αναλύονται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από προηγούμενες πειραματικές εργασίες, όπου οι χιαστί χαλύβδινοι σύνδεσμοι δεν είναι πλήρως πακτωμένοι στα κάτω άκρα των υποστυλωμάτων. Παρουσιάζονται συγκρίσεις αναλυτικών αποτελεσμάτων (έχουν προκύψει από ανάλυση μοντέλων στο πρόγραμμα SeismoStruct) με τα πειραματικά αποτελέσματα. Επίσης, γίνεται σύγκριση μεταξύ των πακτωμένων και στα τέσσερα άκρα τους χιαστί συνδέσμων και των χιαστί συνδέσμων, όπου επιτρέπεται τα κάτω άκρα των συνδέσμων να ολισθήσουν καθ' ύψος των υποστυλωμάτων.

Η ιδέα της εργασίας αυτής προέκυψε ως συνέχεια ερευνητικού προγράμματος που έχει ανατεθεί από τον Ο.Α.Σ.Π. στο εργαστήριο Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2 ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

2.1 Γενικά

Μετά από ένα σεισμό, κάποιες κατασκευές μπορεί να έχουν υποστεί βλάβες. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη ενίσχυσης των κατασκευών αυτών, είτε συνολικά είτε σε μερικά από τα φέροντα στοιχεία της, ανάλογα με την έκταση των βλαβών.

Με βάση την επιθυμητή συμπεριφορά του κτιρίου, επιλέγεται κάποιος από τους παρακάτω τύπους ενίσχυσης:

- **Τύπος I:** Βελτίωση της πλαστιμότητας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας, μέσω ενίσχυσης υφιστάμενων στοιχείων (π.χ. λεπτοί μανδύες στους στύλους, περίσφιγξη με ελάσματα κ.ά.) καθώς και μέσω ενσωμάτωσης παθητικών, μηχανικών συστημάτων απορρόφησης ενέργειας στην κατασκευή
- **Τύπος II:** Αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας, η οποία επιτυγχάνεται με ενίσχυση υφιστάμενων στοιχείων (π.χ. αύξηση πάχους κατακόρυφων στοιχείων) ή με την προσθήκη νέων στοιχείων
- **Τύπος III:** Αύξηση της αντοχής, της ακαμψίας και της πλαστιμότητας, με συνδυασμό των προτάσεων των παραπάνω τύπων ενίσχυσης (π.χ. προσθήκη νέων στοιχείων σε συνδυασμό με μανδύες στα υφιστάμενα υποστυλώματα)

- **Τύπος IV:** Μείωση εισαγόμενης σεισμικής δράσης στην κατασκευή (σεισμική μόνωση)

Οι κυριότερες μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την ενίσχυση ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι των σεισμικών δράσεων είναι:

- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων
 - Μεγάλη αύξηση της ακαμψίας και της αντοχής
- Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων
 - Μεγάλη αύξηση της ακαμψίας και της πλαστιμότητας της κατασκευής.
 - Μέτρια αύξηση της αντοχής.
- Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων
 - Αύξηση πλαστιμότητας.
 - Μέτρια αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας.
- Επικάλυψη υποστυλωμάτων με μανδύα
 - Αύξηση της πλαστιμότητας.
 - Μέτρια αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας.
- Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων
 - Μεγάλη αύξηση της ακαμψίας, της αντοχής αλλά και της πλαστιμότητας.
- Ενσωμάτωση συστημάτων απορρόφησης ενέργειας (σεισμική μόνωση)
 - Μείωση εισαγόμενης ενέργειας από το σεισμό.

2.2 Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίου

Με σκοπό την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του φορέα, μπορεί να γίνει προσθήκη τοιχωμάτων εντός των υφιστάμενων πλαισίων. Η θέση και ο αριθμός των νέων τοιχωμάτων είναι κρίσιμης σημασίας για την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου ενίσχυσης. Η προσθήκη αυτή πρέπει να πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί η απότομη μεταβολή της δυσκαμψίας καθ' ύψος. Η προσθήκη τοιχωμάτων μπορεί να γίνει με τους εξής τρεις τρόπους:

- Τοιχώματα από σκυρόδεμα κατασκευαζόμενα επί τόπου
- Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels)
- Τοιχοποιία από συμπαγείς οπτόπλινθους ή τσιμεντόπλινθους.

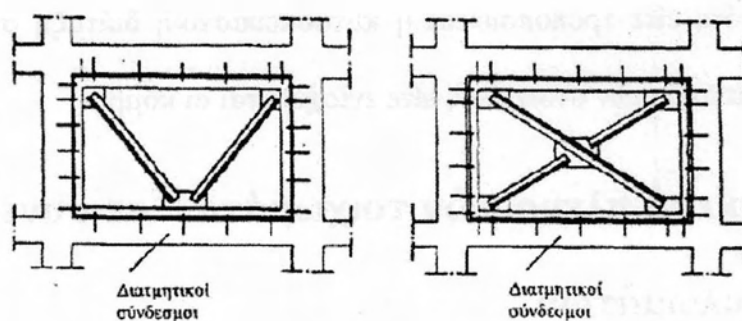
2.3 Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων

Προσθέτοντας δικτυωτά συστήματα εντός των πλαισίων του φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας αλλά και της πλαστιμότητας της κατασκευής. Τα στοιχεία αυτά είναι, συνήθως, μεταλλικά και η δυνατότητα ανελαστικής παραμόρφωσής τους συνεισφέρει σημαντικά στην απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας. Η χρήση δικτυωμάτων εντός πλαισίων μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία σε βιομηχανικούς χώρους και σε ισόγειους μαλακούς ορόφους κτιρίων, με βασικά πλεονεκτήματα το μικρό ίδιο βάρος και την ταχύτητα κατασκευής.

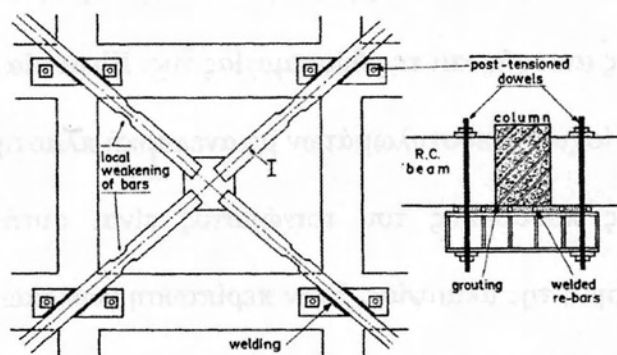
Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις δικτυωμάτων (π.χ. με σχήμα Κ, ρόμβου ή χιαστί διαγωνίων που είναι και η συνηθέστερη).

Σε μερικές περιπτώσεις, η σύνδεση με τον φέροντα οργανισμό της κατασκευής γίνεται:

- μέσω ενός μεταλλικού πλαισίου στο οποίο είναι προσαρμοσμένες οι ράβδοι του δικτυώματος (Εικόνα 2.1)
- με απευθείας εφαρμογή των ράβδων του δικτυώματος στον φέροντα οργανισμό. (Εικόνα 2.2)



Εικόνα 2.1 Μεταλλικά δικτυώματα εντός πλαισίων



Εικόνα 2.2 Λεπτομέρεια έδρασης χιαστί μεταλλικών ράβδων επί του φέροντος οργανισμού

Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου πρέπει να δοθεί προσοχή στα εξής:

- Στο λυγισμό των ράβδων των δικτυωμάτων. Για τη μείωση του κινδύνου λυγισμού των μεταλλικών ράβδων, στην περίπτωση των χιαστί διαγωνίων, έχει προταθεί τοπικό «αδυνάτισμα» της διατομής κοντά στα σημεία σύνδεσης με τα πλαίσια.
- Στην ανακατανομή της έντασης στο φορέα. Η εισαγωγή νέων εντατικών μεγεθών στο φορέα, ιδιαίτερα στα στοιχεία του περιβάλλοντος πλαισίου, ενδέχεται να οδηγήσει σε υπερβολική καταπόνηση των κόμβων. Αν προκύπτει ανεπάρκεια των κόμβων, τότε είτε τροποποιείται η κατασκευαστική διάταξη σύνδεσης των μεταλλικών στοιχείων, είτε ενισχύονται οι κόμβοι.

2.4 Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια των υποστυλωμάτων

Με την κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια των υποστυλωμάτων επιτυγχάνεται αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής και μέτρια αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της. Είναι μία τεχνική που συχνά συνδυάζεται με ενίσχυση υποστυλωμάτων με ανεπαρκή πλαστιμότητα και αντοχή. Η διεύθυνση της προσθήκης του τοιχώματος είναι αυτή κατά την οποία επιδιώκεται η αύξηση της ακαμψίας. Στην περίπτωση γωνιακών υποστυλωμάτων, συχνά γίνεται προσθήκη τοιχωμάτων και στις δύο διευθύνσεις. Τα νέα κατακόρυφα στοιχεία θα πρέπει να θεμελιώνονται. Με σκοπό τα νέα στοιχεία να

παραλάβουν μέρος των κατακόρυφων φορτίων, συνιστάται αποφόρτιση και υποστύλωση πλακών και δοκών πριν την επέμβαση.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα εξής:

- Σύνδεση των παλαιών και των νέων στοιχείων.
- Καμπτική ένταση στις δημιουργούμενες νέες παρειές στήριξης των δοκών, καθώς και έλεγχος επάρκειας της πλαστιμότητας της περιοχής.

3 ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται σημαντικές πειραματικές έρευνες από τη διεθνή βιβλιογραφία στην ενίσχυση πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτές.

3.1 Hemant B. Kaushik; Durgesh C. Rai; Sudhir K. Jain (ASCE, 2009)

Στη μελέτη αυτή διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα μερικών μεθόδων ενίσχυσης σε πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα με τοιχοπλήρωση, με ανοιχτό πρώτο όροφο. Πραγματοποιήθηκαν αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των διατάξεων ενίσχυσης ως προς τη βελτίωση της αντοχής και της πλαστιμότητας των μελετούμενων πλαισίων. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SAP2000 και σε αντικατάσταση των συντελεστών που προτείνονται από τον κώδικε, αναπτύχθηκε μια μέθοδος για τον υπολογισμό της απαιτούμενης αύξησης της αντοχής των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου.

Το πλαίσιο που μελετήθηκε αποτελούνταν από 4 ορόφους. Τα υποστυλώματα θεωρήθηκαν πακτωμένα στη βάση. Ως προς τα υλικά χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα M25(αντοχή κύβου $f_{ck}=25\text{MPa}$, μέτρο ελαστικότητας $E_c=25.000\text{MPa}$) και χάλυβας Fe415(τάση διαρροής $f_{sy}=415\text{MPa}$). Σε ό, τι αφορά τις φορτίσεις, θεωρήθηκαν κινητά φορτία $q_1=2,0\text{kN/m}^2$ σε κάθε στάθμη πλην της οροφής, όπου θεωρήθηκε $q_2=0,75\text{kN/m}^2$. Στο σεισμικό

συνδυασμό φορτίσεων λήφθηκε υπόψη το 25% των κινητών φορτίων και συμπεριελήφθη και το ίδιο βάρος των πλίνθων (18kN/m^3).

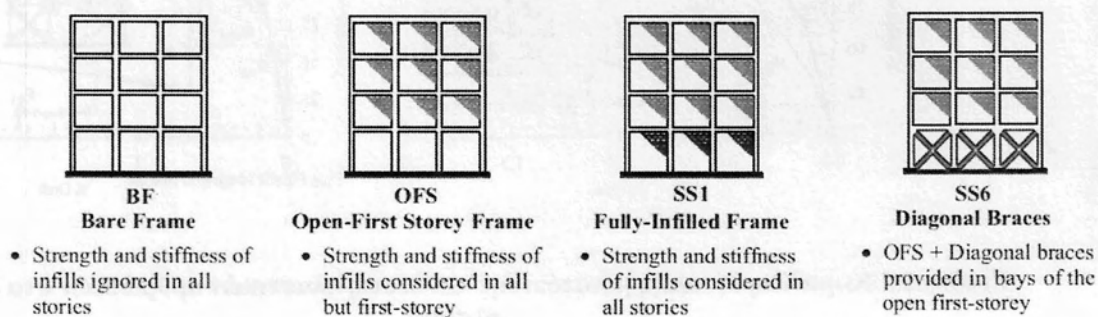
Οι τοιχοπληρώσεις μοντελοποιήθηκαν ως 3 διαγώνιοι θλιπτήρες κατά μήκος των φορτιζόμενων διαγωνίων. Οι πλαστικές αρθρώσεις θεωρήθηκε ότι θα αναπτυχθούν στο κέντρο των θλιπτήρων και το μήκος των ζωνών απόσβεσης θεωρήθηκε ως τα $\frac{3}{4}$ του μήκους των θλιπτήρων.

Μερικές από τις διατάξεις ενίσχυσης πλαισίων που μελετήθηκαν (Εικόνα 3.1) είναι οι εξής:

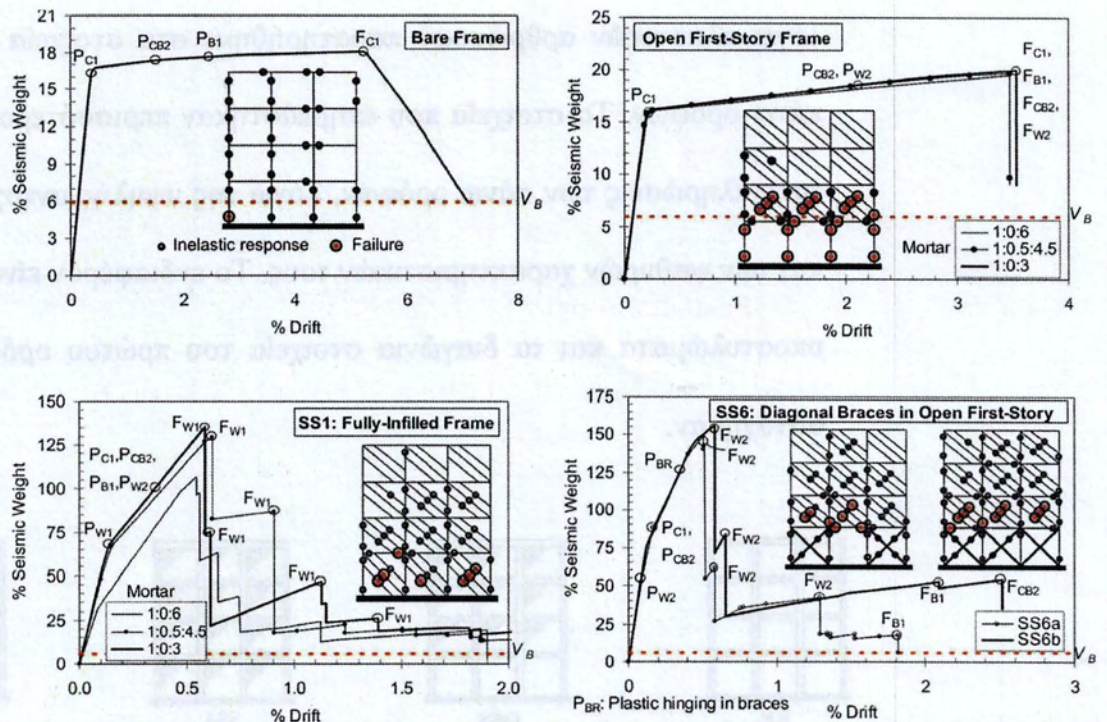
- **Γυμνό πλαίσιο (BF):** Αποτελεί την πιο συνηθισμένη πρακτική. Δε λαμβάνονται υπόψη η αντοχή και η δυσκαμψία της τοιχοπληρώσεως κατά την ανάλυση και το σχεδιασμό. Παρατηρήθηκε αστοχία του πρώτου ορόφου, διότι ακολουθήθηκε ο σχεδιασμός «ισχυρή δοκός-ασθενές υποστύλωμα», για να αντικατοπτρίσει το σχεδιασμό των υφιστάμενων κτιρίων που απαιτούν ενίσχυση.
- **Πλαίσιο με ανοιχτό πρώτο όροφο (OFS):** Ο πρώτος όροφος θεωρείται ανοιχτός, ενώ για τους παραπάνω ορόφους συμπεριλαμβάνονται η αντοχή και η δυσκαμψία της τοιχοπληρώσεως. Το μεγαλύτερο μέρος των πλευρικών παραμορφώσεων συσσωρεύτηκαν στον πρώτο μαλακό και αδύναμο όροφο, λόγω της παρουσίας μεγάλης μάζας των πάνω ορόφων και της απουσίας τοιχοπληρώσεως στον πρώτο όροφο.

- **Πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο (SS1):** Οι τοιχοπληρώσεις παρέχουν ένα βασικό μηχανισμό απορρόφησης ενέργειας. Παρατηρείται αύξηση της πλευρικής αντοχής και δυσκαμψίας, μέχρι τη στιγμή της αστοχίας της τοιχοπληρώσεως του πρώτου ορόφου, οπότε μειώνεται σημαντικά η πλευρική αντοχή. Μετά από την αστοχία αρκετών πληρωμένων τοίχων του πλαισίου, η συμπεριφορά αυτού του πλαισίου μοιάζει με αυτή του Γυμνού Πλαισίου. Η παρουσία τοιχοπληρώσεων στον πρώτο όροφο εμποδίζει την πρόιμη αστοχία των υποστυλωμάτων του ορόφου αυτού.
- **Ενισχυμένο πλαίσιο (SS6): Πλαίσιο με ανοιχτό πρώτο όροφο (OFS)+ Χιαστί διαγώνια δικτυώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα στα ανοίγματα του πρώτου ορόφου:** Τα διαγώνια στηρίγματα δε σχεδιάστηκαν επίσημα, γιατί η αντοχή τέτοιων στοιχείων είναι συνήθως πολύ υψηλή και η απαίτηση για αύξηση της αντοχής του πρώτου ορόφου ήταν μόλις 1,84 φορές. Έτσι, το μέγεθος της διατομής, η όπλιση αλλά και οι ιδιότητες των πλαστικών αρθρώσεων θεωρήθηκαν ίδιες με αυτές των υφιστάμενων υποστυλωμάτων. Επιπλέον, η διατμητική αντοχή και η πλαστιμότητα των δοκών του πρώτου ορόφου βελτιώθηκαν χρησιμοποιώντας οπλισμό περισφιγξης. Παρά το γεγονός ότι αναπτύχθηκαν πλαστικές αρθρώσεις σε όλα τα μέλη του πρώτου ορόφου (υποστυλώματα, διαγώνια στηρίγματα και δοκούς), αστοχία

λόγω πλαστικών αρθρώσεων παρατηρήθηκε στα στοιχεία των πιο πάνω ορόφων. Τα στοιχεία που επηρεάστηκαν περισσότερο ήταν οι τοιχοπληρώσεις των πάνω ορόφων, λόγω της υψηλής αντοχής τους και των ψαθυρών χαρακτηριστικών τους. Το ενδιαφέρον είναι ότι τα υποστύλωματα και τα διαγώνια στοιχεία του πρώτου ορόφου δεν αστόχησαν.



Εικόνα 3.1 Διάφορες διατάξεις ενίσχυσης



Εικόνα 3.2 Καμπύλες δύναμης-μετατόπισης και θέσεις πλαστικών αρθρώσεων στα διάφορα πλαίσια

Κύρια συμπεράσματα αυτής της μελέτης αποτελούν τα παρακάτω:

- Η απόκριση πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με ανοιχτό πρώτο όροφο σε πλευρικά φορτία (ιδίως της πλαστιμότητας) δε γίνεται να βελτιωθεί με χρήση των ενισχυτικών διατάξεων που προτείνονται από τους κώδικες (π.χ. σχεδιασμός των μελών του πρώτου ορόφου για μεγαλύτερες δυνάμεις. Τέτοιου είδους σχεδιασμός, μεταφέρει απλά την αδυναμία της κατασκευής στους παραπάνω ορόφους).
- Η απόδοση τέτοιων πλαισίων μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά χρησιμοποιώντας πρόσθετα υποστυλώματα και πλευρικά αντιστηρίγματα στον ανοιχτό πρώτο όροφο.

3.2 Robert Tremblay (Journal of Constructional Steel Research, 2002)

Πρόκειται για μελέτη παλαιότερων πειραματικών ερευνών, σχετικών με την ανελαστική απόκριση διαγώνιων χαλύβδινων συνδέσμων σε συμμετρικά πλαίσια που υποβάλλονται σε κυκλική ανελαστική φόρτιση, με στόχο τη συλλογή δεδομένων για τον κατάλληλο αντισεισμικό σχεδιασμό χαλύβδινων πλαισίων.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η μεταλυγισμική θλιπτική αντίσταση σε διάφορα επίπεδα πλαστιμότητας, η μέγιστη εφελκυστική αντοχή, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της κράτυνσης του χάλυβα και οι πλευρικές παραμορφώσεις κατά και μετά το λυγισμό. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων αυτών προτάθηκαν εξισώσεις.

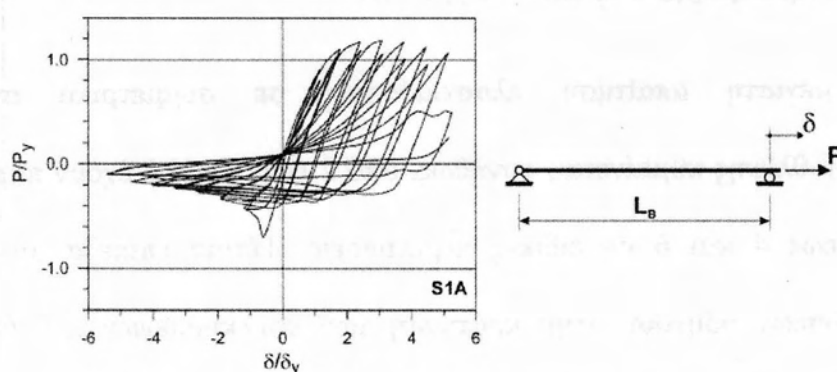
Οι κανονισμοί απαιτούν την προστασία των δοκών και των υποστυλωμάτων από διαρροή κατά τη διάρκεια του σεισμού, ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα του φέροντος οργανισμού. Έτσι, οι σύνδεσμοι πρέπει να διαρρεύσουν κατά τον εφελκυσμό και να υποστούν λυγισμό κατά τη θλίψη. Για αυτόν το λόγο, πρέπει να εκτιμώνται ρεαλιστικά οι αξονικές δυνάμεις των συνδέσμων δυσκαμψίας και να χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό. Ο προσδιορισμός αυτών των δυνάμεων είναι εξίσου χρήσιμος κατά τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση ανελαστικών συνδέσμων. Στους σύγχρονους κανονισμούς, προτείνεται η χρήση της ονομαστικής αντοχής των δικτυωμάτων, για τον υπολογισμό της μέγιστης θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής των συνδέσμων.

Πειραματικά αποτελέσματα, όμως, δείχνουν ότι στην πραγματικότητα οι αντοχές είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες ονομαστικές κι έτσι οι απαιτήσεις του κανονισμού οδηγούν σε μη συντηρητικό σχεδιασμό. Για αρκετές διατάξεις χαλύβδινων συνδέσμων, υφίσταται συνθήκη κρίσιμης φόρτισης όταν ένα στοιχείο υπό θλίψη υποστεί λυγισμό και χάνει μέρος της φέρουσας ικανότητάς του. Στους κανονισμούς υπάρχουν απλοποιημένες εκφράσεις για τον υπολογισμό αυτής της μεταλυγισμικής αντοχής.

Κατά το λυγισμό, οι σύνδεσμοι παραμορφώνονται σημαντικά στο άνοιγμά τους κι εκτός του επιπέδου του χαλύβδινου πλαισίου, με αποτέλεσμα την αστοχία των διαχωριστικών τοίχων, κυρίως σε περίπτωση πλαισίων με διαγώνιους συνδέσμους σε πολυώροφα κτίρια. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αποφευχθεί, αν περιοριστεί εξωτερικά ο λυγισμός των στοιχείων εκτός του επιπέδου, ή αν υπάρξει ο απαραίτητος χώρος για αυτού του είδους το λυγισμό.

Η αντίσταση σε σεισμό, συμμετρικών χαλύβδινων πλαισίων με διαγώνιους συνδέσμους, εξαρτάται στην ικανότητα των συνδέσμων να υποβληθούν σε πολλαπλούς κύκλους ανελαστικών παραμορφώσεων. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.3), φαίνεται η τυπική υστερητική απόκριση ενός συνδέσμου υπό συμμετρική κυκλική φόρτιση. Σε αυτή τη δοκιμή, ο σύνδεσμος αρχικά εφελκύστηκε και στη συνέχεια υπέστη λυγισμό κατά τον πρώτο κύκλο, μετά την αναστροφή του φορτίου. Μετά το λυγισμό, η θλιπτική αντοχή μειώθηκε, καθώς σχηματίστηκε πλαστική άρθρωση κοντά στο μέσο του στοιχείου. Εν συνεχεία,

μετά την εναλλαγή της φοράς του φορτίου, το στοιχείο επανήλθε μέσω της ανελαστικής στροφής του γύρω από την πλαστική άρθρωση. Κατά τον δεύτερο και τους ακόλουθους κύκλους φόρτισης, η θλιπτική αντοχή μειώθηκε σημαντικά, εξαιτίας του φαινομένου Bauschinger και των εκτός επιπέδου παραμορφώσεων των προηγούμενων κύκλων. Στον εφελκυσμό, το μελετούμενο στοιχείο εξάντλησε την εφελκυστική του αντοχή και υπέστη κράτυνση. Τελικά, αναπτύχθηκε τοπικός λυγισμός της διατομής στην περιοχή της πλαστικής άρθρωσης. Η θραύση επήλθε αφού το στοιχείο υποβλήθηκε σε εφελκυσμό μετά τον τοπικό λυγισμό και συνέβη στη θέση της πλαστικής άρθρωσης.



Εικόνα 3.3 Υστερητική απόκριση τυπικού συνδέσμου υπό συμμετρική κυκλική φόρτιση

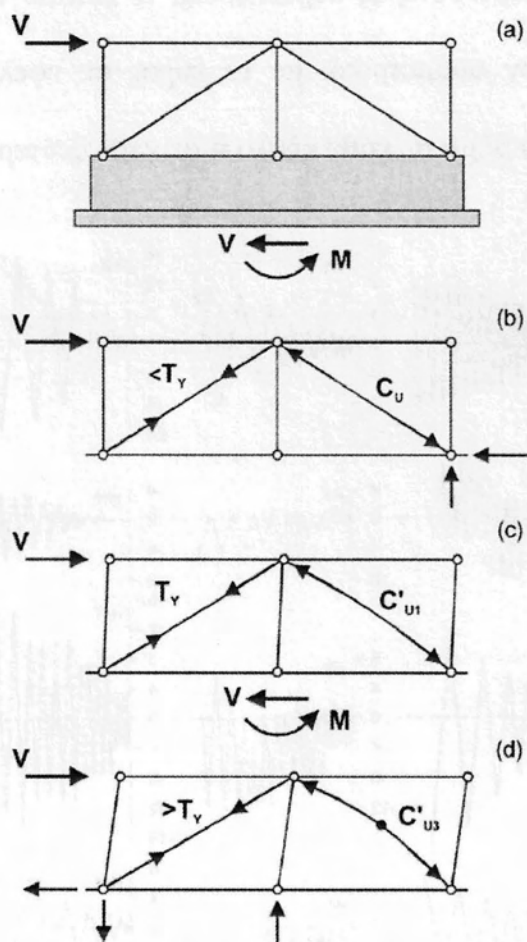
Στο επόμενο σχήμα (Εικόνα 3.4) απεικονίζονται οι διάφορες συνθήκες φόρτισης όπου μπορούν να αναπτυχθούν σε πλαίσια, όπου τα πλευρικά φορτία κάθε ορόφου και κάθε ανοίγματος παραλαμβάνονται από συνδέσμους ικανούς να παραλάβουν τόσο εφελκυστικά όσο και θλιπτικά φορτία, κάτι που απαιτείται από τους σύγχρονους κανονισμούς για την εξασφάλιση της απαραίτητης πλαστιμότητας. Στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού, η μη γραμμική απόκριση

ξεκινά, γενικά, όταν η θλιπτική δύναμη σε έναν από τους συνδέσμους φτάσει την τιμή της θλιπτικής αντοχής του στοιχείου αυτού και τότε συμβαίνει λυγισμός. Οι συνδέσεις των συνδέσμων πρέπει να μπορούν να υποστούν το μέγιστο θλιπτικό φορτίο των συνδέσμων. Η μέγιστη θλιπτική δύναμη αναπτύσσεται επίσης στη βάση του στύλου κατά τον πρώτο λυγισμό.

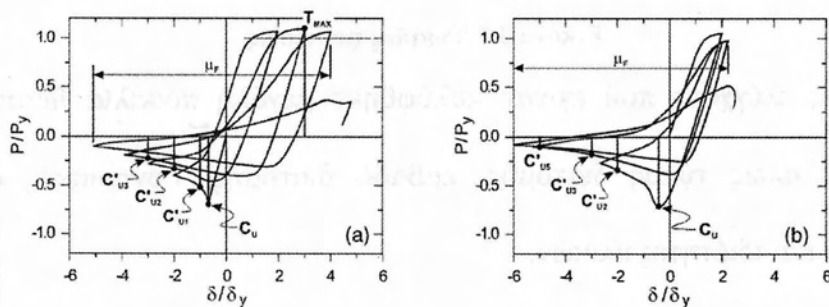
Εκτός από την περίπτωση κατά την οποία η θλιπτική δύναμη μειωθεί εξαιρετικά απότομα μετά το λυγισμό, η τέμνουσα ορόφου και η ροπή ανατροπής παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους όταν υπάρξει διαρροή κατά τον εφελκυσμό σε κάποιο επόμενο στάδιο κατά τη διάρκεια του σεισμού ($T=T_y=P_y$), για παράδειγμα όταν η πλαστιμότητα, $\mu=\delta/\delta_y$, είναι ίση με 1,0.

Η μέγιστη απαίτηση πλαστιμότητας σε συμμετρικά συστήματα εφελκυσμού-θλίψης κυμαίνεται, συνήθως, από 2 έως 3, αλλά έχουν παρατηρηθεί και τιμές έως 4 και 6 σε ειδικές περιπτώσεις. Τέτοια επίπεδα ανελαστικών παραμορφώσεων οδηγούν στην κράτυνση των εφελκυσμένων συνδέσμων, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες αντιδράσεις στις συνδέσεις των ράβδων και στις αγκυρώσεις στη θεμελίωση. Ταυτόχρονα, η μεταλυγισμική ικανότητα του θλιβόμενου στοιχείου έχει μειωθεί σημαντικά.

Παρόμοια σενάρια μπορούν να αναπτυχθούν και για άλλες διατάξεις εφελκυσμένων και θλιβόμενων συνδέσμων δυσκαμψίας, όπως X-συνδέσμους και πολυώροφα πλαίσια.

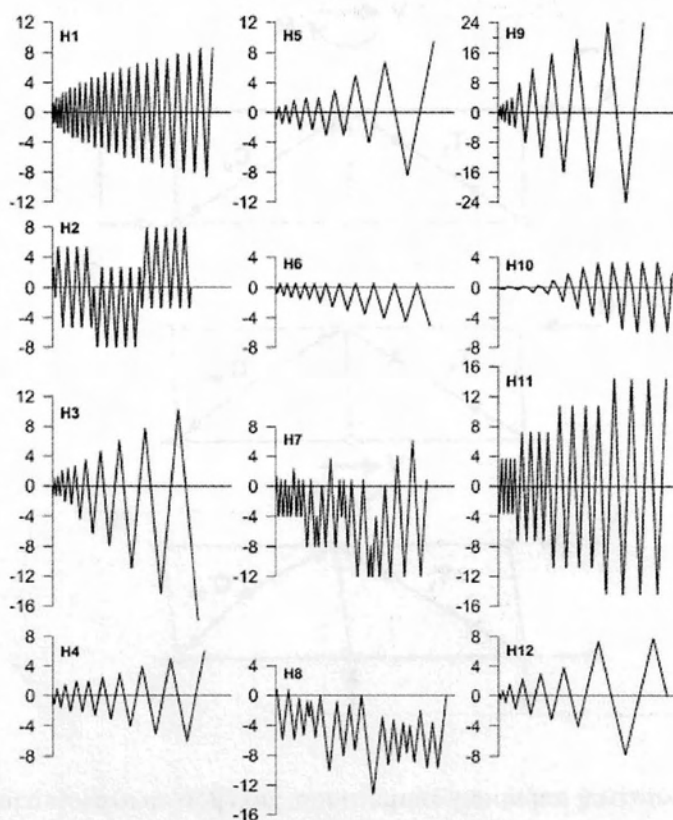


Εικόνα 3.4 Ανελαστική απόκριση συμμετρικού χαλύβδινου πλαισίου με διαγώνιους συνδέσμους



Εικόνα 3.5 Προσδιορισμός των παραμέτρων απόκρισης των συνδέσμων

Μελετήθηκαν στο σύνολο 76 έλεγχοι από 9 διαφορετικά πειραματικά προγράμματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το μοτίβο της μετατόπισης ήταν συμμετρικό, ή σχεδόν συμμετρικό, με το εύρος σε εφελκυσμό και θλίψη να αυξάνεται με σταθερό βήμα σε κάθε κύκλο ή σε κάθε δεύτερο κύκλο. (Εικόνα 3.6)



Εικόνα 3.6 Τυπικές φορτίσεις

Στους ελέγχους που έγιναν καλύφθηκε μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων των συνδέσμων, όπως τύπος διατομής, εμβαδό διατομής, συνοριακές συνθήκες, λυγηρότητα και ιδιότητες υλικών.

Κύρια συμπεράσματα της μελέτης αυτής είναι τα εξής:

- Η πραγματική τάση διαρροής του χάλυβα βρέθηκε μεγαλύτερη της ονομαστικής σε όλα τα δοκίμια, πλην ενός. Η επιρροή αυτού του φαινομένου αυτού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό.
- Η θλιπτική αντοχή των συνδέσμων κατά τον πρώτο λυγισμό, γενικά, ξεπέρασε την τιμή που προβλέφθηκε από τις καμπύλες σχεδιασμού υποστυλωμάτων.
- Σύνδεσμοι με λυγηρότητα ίση με 1,0 ή και λιγότερο, μπορούσαν να διατηρήσουν τη θλιπτική τους αντοχή σε επίπεδα παραμορφώσεων τέτοια, ώστε να διαρρεύσουν κατά τον εφελκυσμό.

3.3 Δ. Σοφιανόπουλος (ΤΕΠ ΟΑΣΠ, 2012)

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι να εκτιμηθεί το πώς επιδρά και το κατά πόσον είναι βιώσιμη η χρήση μη έκκεντρων χαλύβδινων ράβδων, μέσω θεωρητικών και παραμετρικών αναλύσεων, στη σημαντική μείωση ή εξάλειψη της σεισμικής τρωτότητας κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα με πυλωτή, κατασκευασμένες πριν το 1985.

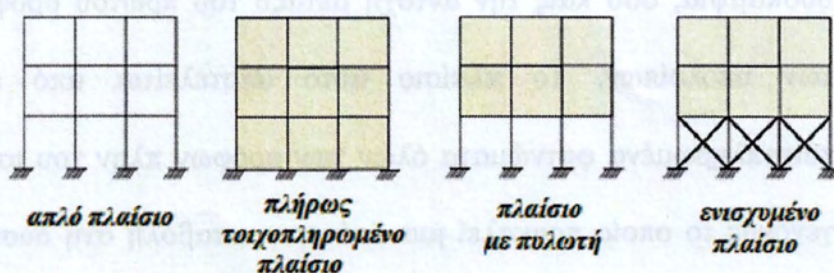
Η προσομοίωση της υστερητικής συμπεριφοράς των χαλύβδινων ενισχυτικών μελών έγινε μέσω του μοντέλου φυσικής θεωρίας του Remennikov. Οι τοιχοπληρώσεις (στην Ελλάδα συνήθως από οπτόπλινθους με ενδιάμεσο κονίαμα) προσομοιώθηκαν στο RUAUMOKO με στοιχείο τύπου ελατηρίου σε συνδυασμό με τον κανόνα υστέρησης τοίχου πλήρωσης διαγωνίου στοιχείου.

Μελετήθηκαν 4 τύποι πλαισίων (Εικόνα 3.7):

- **Απλό πλαίσιο:** Η κατασκευή αυτή αποτελεί τη συνήθη πρακτική σχεδιασμού, χωρίς να λαμβάνονται η δυσκαμψία και η αντοχή των τοιχοπληρώσεων στην ανάλυση. Αυτός ο σχεδιασμός οδηγεί σε κανονικότητα της δυσκαμψίας και της αντοχής καθ' ύψος (σύμφωνα με τους κώδικες), με αποτέλεσμα να κατανέμεται μάλλον ομοιόμορφα καθ' ύψος η μη γραμμική συμπεριφορά τους σε έντονες δυναμικές διεγέρσεις. Σε αυτήν την περίπτωση, παρατηρείται καμπτική αστοχία στους ασθενείς στύλους του ισογείου, κυρίως σε κατασκευές πριν το 1985, όπου με βάση τους κανονισμούς η συνήθης πρακτική ακολουθούσε την ιδέα «ισχυρή δοκός-ασθενές υποστύλωμα».
- **Πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο:** Σε αυτήν τη μορφή πλαισίου, όλα τα φαντώματα είναι τοιχοπληρωμένα καθ' ύψος, με αποτέλεσμα να διατηρείται η κανονικότητα δυσκαμψίας και αντοχής καθ' όλο το ύψος του φέροντος οργανισμού, επηρεάζοντας σημαντικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά του. Η ψαθυρότητα των τοιχοπληρώσεων παρ' όλ' αυτά, έχει ως συνέπεια τη σχετικά ταχεία αστοχία των τοίχων του ισογείου με ταυτόχρονη μείωση της πλευρικής αντοχής της κατασκευής. Σημειώνεται όμως ότι η ύπαρξη των τοίχων του ισογείου εμποδίζει την πρόιμη αστοχία των υποστυλωμάτων του.

- **Πλαίσιο με πυλωτή:** Η διαμόρφωση αυτή αποτελείται από ανοιχτό πρώτο όροφο, με τα φατνώματα των υπερκείμενων ορόφων πλήρως τοιχοπληρωμένα, Υφίσταται μια απότομη διαφοροποίηση τόσο στη δυσκαμψία, όσο και στην αντοχή μεταξύ του πρώτου ορόφου και των υπολοίπων. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από πλήρως τοιχοπληρωμένα φατνώματα όλων των ορόφων πλην του ισόγειου, γεγονός το οποίο προκαλεί μια απότομη μεταβολή στη δυσκαμψία και την αντοχή μεταξύ αυτού του ορόφου και των υπολοίπων. Οι πλευρικές μετατοπίσεις συσσωρεύονται κυρίως στους στύλους του πρώτου ορόφου, λόγω της απουσίας τοιχοπληρώσεως, με αποτέλεσμα την καμπτική και διατμητική αστοχία δοκών και στύλων στο επίπεδο της πυλωτής.
- **Ενισχυμένο πλαίσιο:** Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιείται δικτύωμα στο ανοιχτό ισόγειο, ενώ στους υπόλοιπους ορόφους γίνεται πλήρης τοιχοπήρωση με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μια σύνθετη δομή. Το πλαίσιο επικουρείται από πολύ δύσκαμπτους και ψαθυρούς τοίχους στους ανώτερους ορόφους και από τους όγκιμους και πλάστιμους χαλύβδινους συνδέσμους του κατώτερου ορόφου. οι σχέσεις δυσκαμψίας και αντοχής μεταξύ της πυλωτής και του αμέσως υπερκείμενου ορόφου του πλαισίου ρυθμίζουν τη συνολική

συμπεριφορά, καθώς και την κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων αλλά και τη γεωμετρία της αστοχίας εντός του πλαισίου.



Εικόνα 3.7 Είδη πλαισίων που αντιστοιχούν στο υπό μελέτη κτίριο

Οι παραμετρικές αναλύσεις ασχολήθηκαν κυρίως με δύο τυπικές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος –με 3 και με 5 ορόφους- με 3 ανοίγματα σε κάτοψη, οι οποίες είχαν μελετηθεί σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό που ίσχυε πριν το 1985. Το φάσμα σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκε αντιστοιχεί –σύμφωνα με τον ΕΑΚ- σε τύπο εδάφους Β και σεισμική ζώνη ΙΙ.

Οι παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

- **Παραμετρική έρευνα της δυσκαμψίας των Χ-συνδέσμων στο πλαίσιο με πυλωτή:** Ο σχεδιασμός έγινε αρχικά με τρόπο τέτοιο ώστε το δικτύωμα να έχει την ίδια δυσκαμψία με τις τοιχοπληρώσεις του δεύτερου ορόφου και στη συνέχεια την τριπλάσια αντίστοιχα. Με την αύξηση της δυσκαμψίας της πυλωτής μετατοπίζεται η

δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στους υπερκείμενους ορόφους, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η αντοχή και μειώνεται ο αριθμός τους.

- **Παραμετρική έρευνα της αντοχής των Χ-συνδέσμων στο πλαίσιο με πυλωτή:** Σε αυτήν την ανάλυση ο σχεδιασμός έγινε αρχικά με τρόπο τέτοιο ώστε το δικτύωμα να έχει την ίδια αντοχή με τις τοιχοπληρώσεις του δεύτερου ορόφου και στη συνέχεια την τριπλάσια αντίστοιχα. Καθώς η αντοχή αυξάνεται, οι πλαστικές αρθρώσεις μετακινούνται από το ισόγειο προς τους ανώτερους ορόφους, ενώ παράλληλα μειώνεται ο αριθμός τους. Η αύξηση της δυσκαμψία; δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα και θεωρείται ότι παραμένει σταθερή.

Σε όλες τις παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα RUAUMOKO, όταν η τοιχοποιία αστοχεί, τα σχετικά στοιχεία αφαιρούνται από τα επόμενα βήματα.

Η πειραματική διερεύνηση βασίστηκε σε τρεις γενικές αρχές, ώστε να γίνει ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του δικτύωματος.

- Η αντοχή του συστήματος των χαλύβδινων ράβδων να μην ξεπερνά το πενταπλάσιο της καμπτικής αντοχής του απλού (γυμνού) πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Η δυσκαμψία του συστήματος X-συνδέσμων να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτήν της τοιχοπληρώσεως, αν αυτή υπήρχε στο φάτνωμα του πλαισίου.
- Οι συνδέσεις των X-συνδέσμων μέσω κομβοελασμάτων τόσο στους κόμβους δοκών-στύλων του πλαισίου, όσο και στις βάσεις των υποστλωμάτων του να είναι εύκολα εφαρμόσιμες σε υφιστάμενα πλαίσια με πυλωτή.

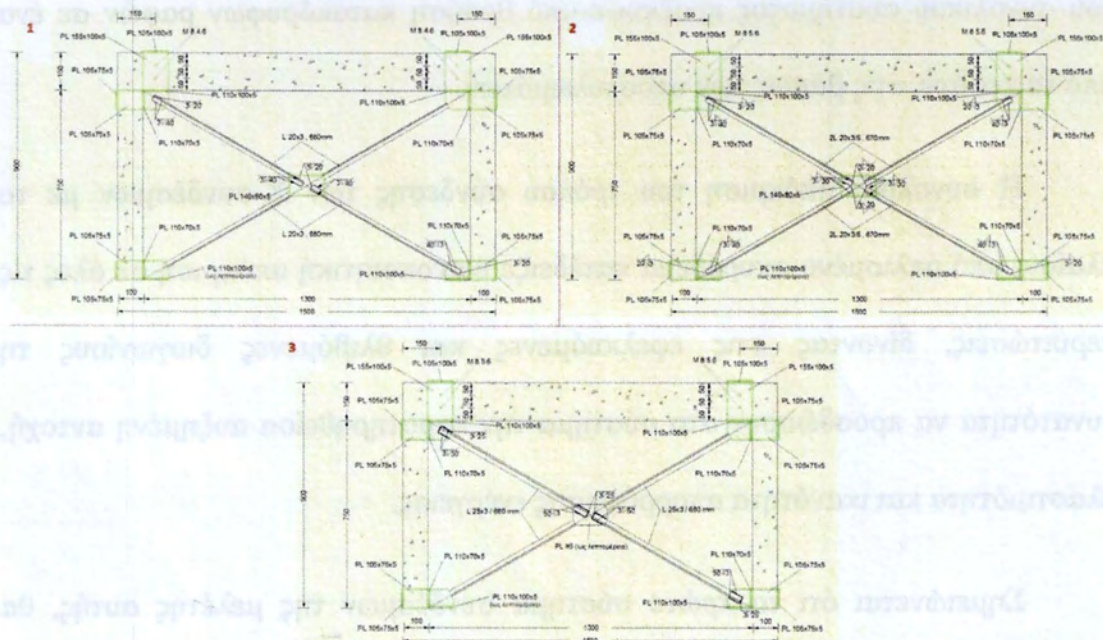
Επίσης σημειώνεται ότι οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας στις βάσεις των στύλων είχαν τη δυνατότητα ολίσθησης στον κατακόρυφο άξονα.

Ακολουθώντας τους ανωτέρω περιορισμούς, σχεδιάστηκαν τρία συστήματα X-συνδέσμων:

- Διαγώνια μέλη διατομής απλού ισοσκελούς γωνιακού L20x3. Το σύστημα, τελικά, διέθετε 2,6 φορές μεγαλύτερη αντοχή και 3,6 φορές μεγαλύτερη δυσκαμψία συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του απλού (γυμνού) πλαισίου (Πλαίσιο X-1) (Εικόνα 3.8-1)

- Διαγώνια μέλη διατομής διπλών γωνιακών 2L20x3/5. Το αποτέλεσμα ήταν 5 φορές μεγαλύτερη αντοχή από αυτή του απλού (γυμνού) πλαισίου (Πλαίσιο X-2) (Εικόνα 3.8-2)
- Διαγώνια μέλη διατομής L25x3 με αντοχή και δυσκαμψία 1,9 και 3 φορές, αντίστοιχα, μεγαλύτερες, σε σχέση με αυτές του απλού (γυμνού) πλαισίου. (Εικόνα 3.8-3)

Οι διαστάσεις και λεπτομέρειες των διατάξεων φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8 Προσόψεις των πειραματικών διατάξεων με X-συνδέσμους

Για τον αρχικό σχεδιασμό θεωρήθηκαν οι ονομαστικές τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα S235 (τάση διαρροής $f_y=235\text{MPa}$ και οριακή αντοχή $f_u=360\text{MPa}$).

Από τα πειράματα αυτά εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την αντοχή, την πλαστιμότητα των κατασκευών καθώς επίσης και για το σύνολο της συμπεριφοράς τους. Και στα τρία πειράματα, τόσο η αντοχή όσο και η πλαστιμότητα βελτιώνονται, συγκριτικά με αυτές του απλού (γυμνού) πλαισίου. Η ανελαστική συμπεριφορά των Χ-συνδέσμων (ανελαστικός λυγισμός και διαρροή λόγω εφελκυσμού) είχε ως συνέπεια τη μεγάλη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας με αξιόπιστο τρόπο. Αξιοσημείωτο είναι ότι στις περιπτώσεις πλήρους αστοχίας των Χ-συνδέσμων, η αντοχή του πλαισίου μειωνόταν και κατέληγε ίδια με αυτήν του απλού (γυμνού) πλαισίου. Σε όλες τις περιπτώσεις η μορφή αστοχίας του συνολικού συστήματος προέκυψε από θραύση κατακόρυφων ραφών σε ένα από τα κολάρα στις βάσεις των υποστυλωμάτων.

Η συνολική απόκριση του τρόπου σύνδεσης των Χ-συνδέσμων με το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα κατέδειξε ικανοποιητική απόκριση σε όλες τις περιπτώσεις, δίνοντας στις εφελκυόμενες και θλιβόμενες διαγωνίους τη δυνατότητα να προσδώσουν στο σύστημα την παρατηρηθείσα αυξημένη αντοχή, πλαστιμότητα και ικανότητα απορρόφησης ενέργειας.

Σημειώνεται ότι το πρώτο σύστημα συνδέσμων της μελέτης αυτής, θα μελετηθεί παραμετρικά στο SeismoStruct και θα συγκριθεί με την προτεινόμενη, από την παρούσα εργασία, μέθοδο ενίσχυσης.

3.4 Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Το κεφάλαιο 8 του Κανονισμού Επεμβάσεων αναφέρεται στη διαστασιολόγηση των επεμβάσεων και συγκεκριμένα στην §8.5 επικεντρώνεται στην εμφάνιση πλαισίων. Προτείνεται η πλήρωση επιλεγμένων φατνωμάτων πλαισίων είτε με τοιχώματα είτε με ράβδους δικτύωσης, ούτως ώστε να αυξηθούν η δυσκαμψία και η σεισμική αντίσταση του φορέα. Η μέθοδος αυτή συνιστάται να εφαρμόζεται σε ενιαία κατακόρυφη σειρά φατνωμάτων των πλαισίων, σε όλο το ύψος της κατακόρυφης σειράς. Στην περίπτωση μεμονωμένης συμπλήρωσης φατνώματος, ελέγχονται λεπτομερώς οι συνέπειες γύρω του φατνώματος, όχι μόνο καθ' ύψος αλλά και κατ' επέκταση.

Οι εναλλακτικές λύσεις που δίνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι οι ακόλουθες:

- **Προσθήκη απλού «γεμίματος»:** Σε αυτήν την περίπτωση δε λαμβάνονται ειδικά μέτρα σύνδεσης του γεμίματος με το πλαίσιο. Ένα «γεμισμένο» πολυώροφο πλαίσιο αυτής της κατηγορίας διαθέτει χαμηλή πλαστιμότητα, λόγω της συμπεριφοράς του ως διατεμνόμενος πολυώροφος πρόβολος.
- **Τοιχωματοποίηση πλαισίων:** Απαιτείται εξασφάλιση σύνδεσης του εμφανιζόμενου τοιχώματος με το περιβάλλον πλαίσιο, ώστε να διασφαλίζεται και η καθ' ύψος συνέχεια του δημιουργούμενου νέου πολυώροφου τοιχώματος. Το νέο τοίχωμα συνιστάται να κατασκευάζεται καθ' όλο το ύψος του δομήματος. Σε περίπτωση

διακοπής του σε ανώτερο όροφο, απαιτείται έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής των περιθωρίων αντοχή μεταξύ εντατικών μεγεθών και αντίστοιχων αποστάσεων για την αποφυγή δημιουργίας μαλακού ορόφου.

- **Ενίσχυση υφιστάμενης πλινθοπληρώσεως:** Είναι δυνατή η ενίσχυση υφιστάμενης πλινθοπληρώσεως πλαισίου μέσω αμφιτερόπλευρου μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μέσα στον οποίο έχουν τοποθετηθεί οριζόντιος και κατακόρυφος οπλισμός (σε ίσα ποσοστά $\rho_v = \rho_h$), υπό τον όρο ότι οι μανδύες έχουν στερεώς συνδεθεί με την τοιχοποιία μέσω διαμπερών κοχλιωτών συνδέσμων.
- **Προσθήκη ράβδων δικτύωσης, μετατροπή πλαισίων σε κατακόρυφα δικτυώματα:** Οι ράβδοι δικτύωσης μπορεί να προστεθούν σε έναν ή περισσότερους ορόφους οι οποίοι διαθέτουν σημαντικά μικρότερη αντοχή ή δυσκαμψία από τους λοιπούς (μαλακοί όροφοι, κτίρια με πυλωτή κτλ). Όταν δεν υπάρχει ουσιώδες πρόβλημα ορισμένων ορόφων και χρειάζεται να ενισχυθεί το σύνολο του δομικού συστήματος, προσφέρεται η τοποθέτηση των ραβδωτών δικτυώσεων σε ενιαία κατακόρυφη σειρά φατνωμάτων των πλαισίων, ιδίως των περιμετρικών σε όλο το ύψος του δομήματος. Οι συνήθεις και προσφορότερες μέθοδοι δικτύωσης είναι λοξά στοιχεία από χάλυβα κατά τη μία ή και τις δύο διαγωνίους ενός πλαισίου (απλή διαγώνιος ή δισδιαγώνιος X). Είναι

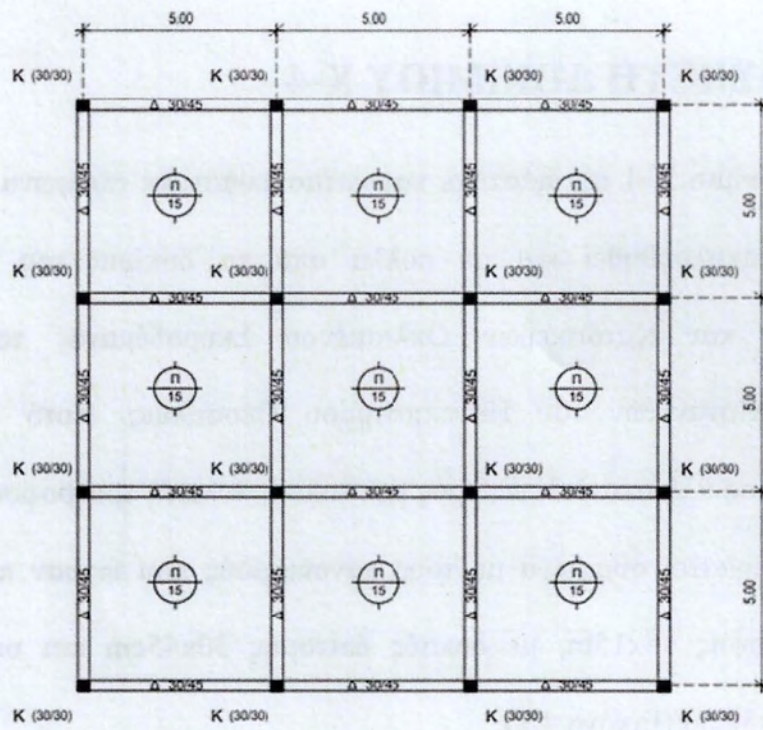
δυνατή η διάταξη δικτυώσεων της μορφής V ή Λ, των οποίων τα λοξά μέλη καταλήγουν σε κόμβους, ενώ η κορυφή τους συνδέεται με εκκεντρότητα σε ένα ενδιάμεσο σημείο των οριζόντιων μελών του πλαισίου. Η χρήση δικτυώσεων μορφής K με ενδιάμεση σύνδεση σε υποστυλώματα, γενικώς απαγορεύεται στις επεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια. Για τη σύνδεση των λοξών ράβδων με τα μέλη των πλαισίων, αλλά και για την ενίσχυση των τελευταίων, συνιστάται να τοποθετούνται στοιχεία από χάλυβα και κατά την περίμετρο κάθε φατνώματος που ενισχύεται (δημιουργία κλειστών εμφατνωμένων πλαισιωμάτων). Στα μέλη του δικτύωματος αυτού, η σεισμική διέγερση προκαλεί (σχεδόν αποκλειστικά) αξονικό εφελκυσμό. Ως ράβδοι δικτύωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ραβδόμορφα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτή η περίπτωση δεν καλύπτεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η διαστασιολόγηση και η κατασκευαστική διαμόρφωση των ράβδων δικτύωσης της ενίσχυσης θα πρέπει να στοχεύει στον έλεγχο της μεταλυγισμικής συμπεριφοράς τους και των δυσμενών επιπτώσεών της (στρέβλωση και τοπικός λυγισμός των στοιχείων του συνδέσμου, θραύση συγκολλήσεων, αστοχία βλήτρων, αγκυρίων κτλ) που ενδέχεται να τις εμποδίσουν να αναπτύξουν την πλήρη εφελκυστική τους αντοχή στον επόμενο ημίκυκλο της απόκρισης. Πρέπει να διασφαλίζεται ότι θα αποφευχθεί πρόωρη ψαθυρή θραύση των λοξών στοιχείων και

των συνδέσεων τους μετά από τυχόν πρόωρο λυγισμό των στοιχείων αυτών.

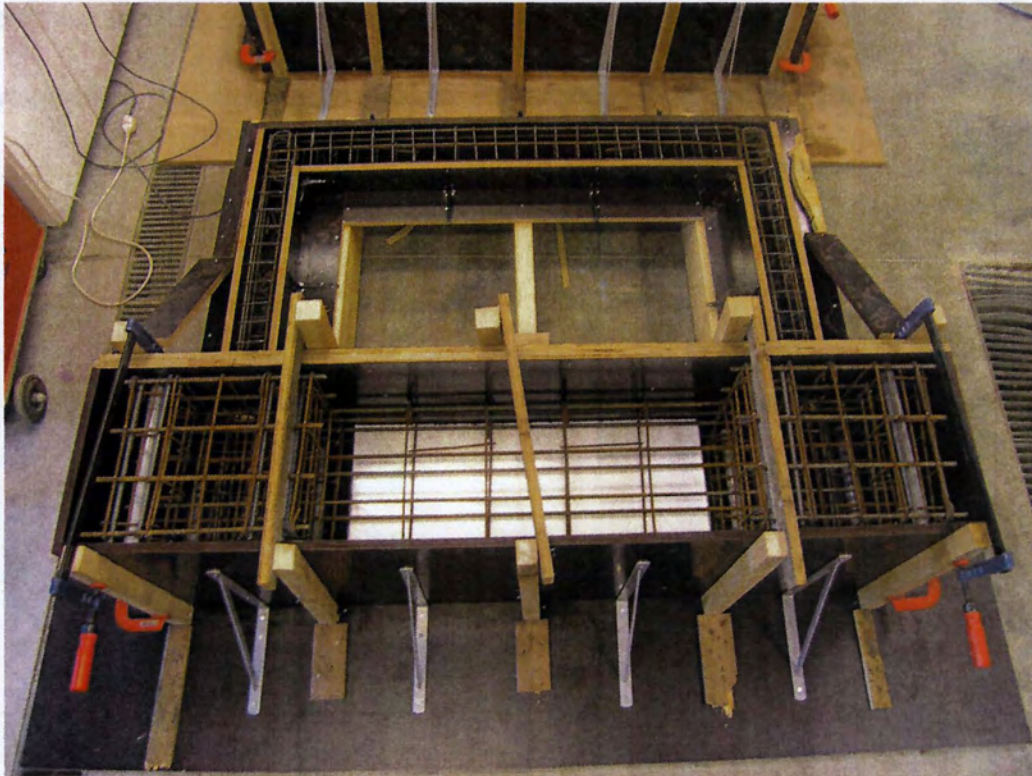
4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ X-4

Το δοκίμιο X-4 σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σύμφωνα με τις αρχές που έχουν ακολουθηθεί και σε πολλά από τα δοκίμια του Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αυτό σημαίνει ότι σχεδιάστηκε σε κλίμακα 1:3, ως προς μια τυπική πυλωτή τριώροφου κτιρίου που έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τους κανονισμούς που ίσχυαν πριν το 1985, τυπικής κάτοψης 15x15m, με δοκούς διατομής 30x45cm και υποστυλώματα διατομής 30x30cm (Εικόνα 4.1).

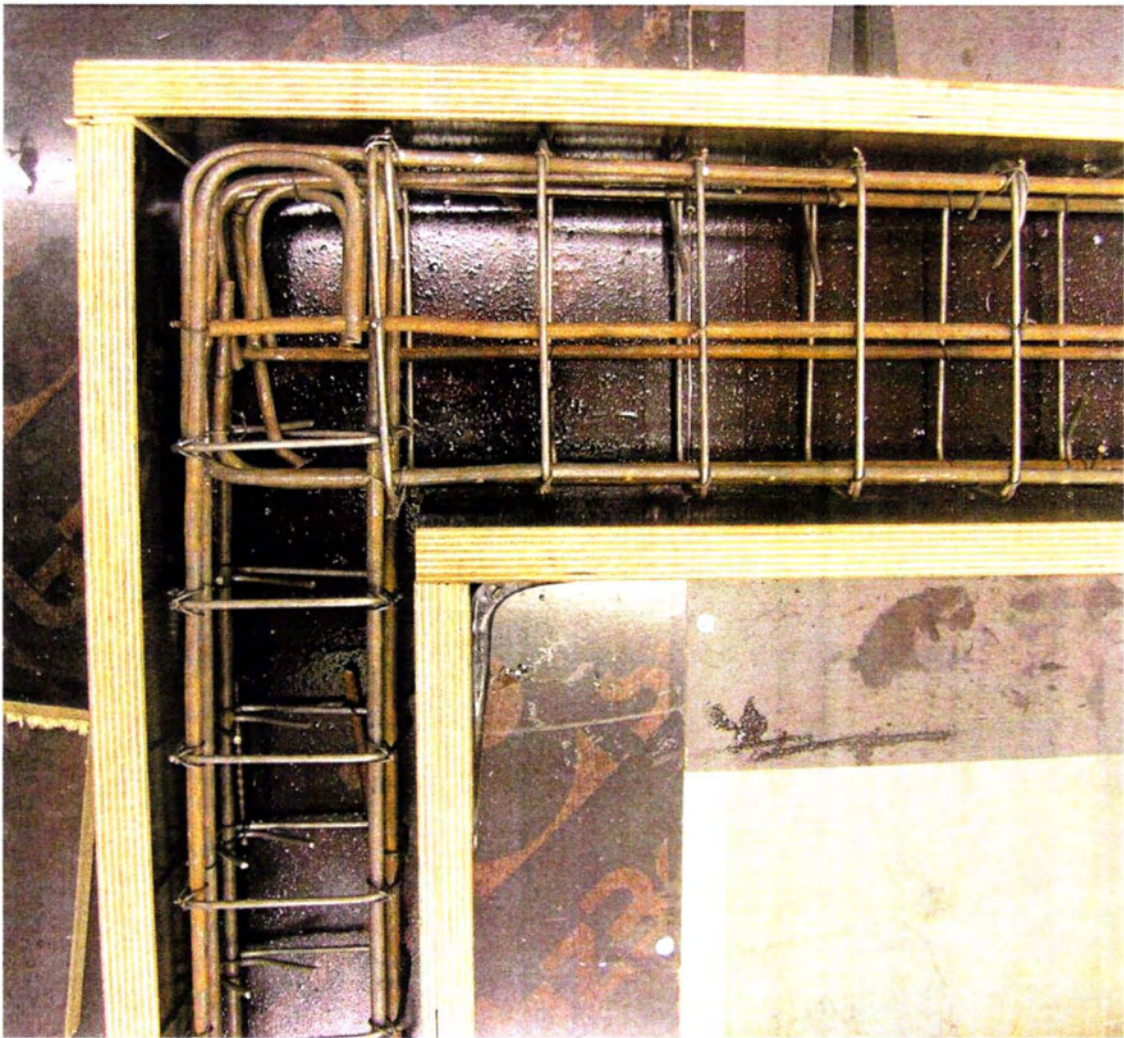
Μέχρι στιγμής, έχει κατασκευαστεί μόνο το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα και αναμένεται να προσαρτηθεί το σύστημα των μη έκκεντρων χαλύβδινων χιαστί συνδέσμων (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.1 Τυπική κάτοψη τριώροφου κτιρίου



Εικόνα 4.2 Δοκίμιο X-4



Εικόνα 4.3 Κόμβος δοκιμίου X-4

4.1 Αντοχή υλικών

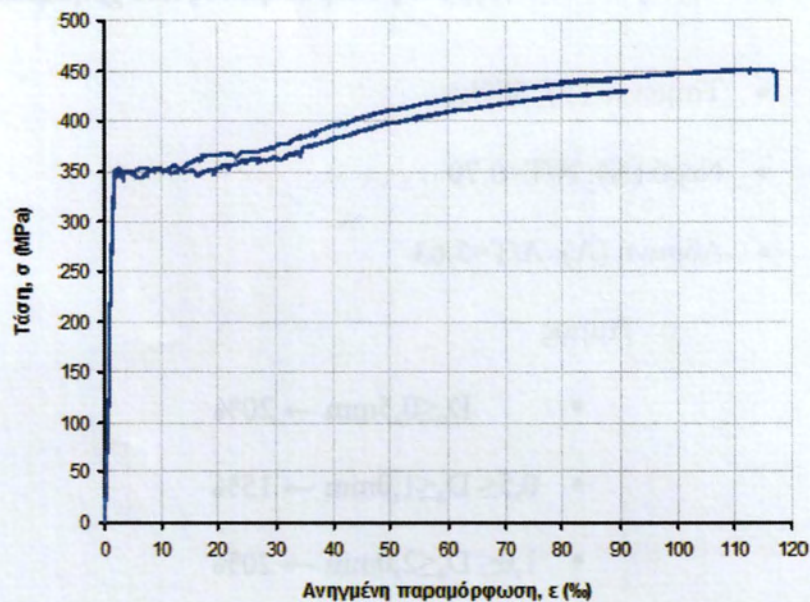
Η τάση διαρροής του χάλυβα τόσο των διαμήκων ράβδων της δοκού και των υποστυλωμάτων, όσο και των συνδετήρων των στοιχείων του πλαισίου επιλέχθηκε έτσι, ώστε να τηρούνται οι σχέσεις ομοιότητας για την αναλογία φυσικής κλίμακας 1:3.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος προσδιορίστηκε από δοκιμές σε κύβους 15x15x15cm, 28 ημέρες από τη σκυροδέτηση και θα πραγματοποιηθούν και δοκιμές την ημέρα του πειράματος. Εκτιμάται αντοχή κοντά στα 30MPa. Για την κοκκομετρία των αδρανών τηρήθηκε η σχέση ομοιότητας με βάση την κλίμακα 1:3.

4.1.1 Χάλυβας οπλισμού

Για τους συνδετήρες της δοκού και των υποστυλωμάτων του πλαισίου χρησιμοποιήθηκε σύρμα διαμέτρου 3mm, το οποίο έχει υποστεί έλαση, με μέση τάση διαρροής $f_{sy}=560\text{MPa}$ και αντιστοιχεί σε διάμετρο 8mm, του πρωτότυπου πλαισίου.

Για το διαμήκη οπλισμό των στοιχείων του πλαισίου επιλέχθηκαν λείες ράβδοι διαμέτρου 6mm με μέση τάση διαρροής 350MPa, ως αντιστοιχία των λείων ράβδων διαμέτρου 18mm ή 20mm του πρωτοτύπου για παλιές κατασκευές, πριν το 1985. (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.4 Διάγραμμα σ - ϵ σε εφελκυσμό λείων ράβδων χάλυβα Φ6 που χρησιμοποιήθηκαν ως διαμήκης οπλισμός στα δοκίμια

4.1.2 Μίγμα σκυροδέματος

Επιλέχθηκε κοκκομετρική διαβάθμιση τέτοια, ώστε να τηρηθεί η κλίμακα 1:3 που έχει υιοθετηθεί. Προέκυψε γαρμπίλι με διάσταση μέγιστου κόκκου 10mm και άμμος με διάσταση μέγιστου κόκκου 4mm. Τα υλικά κοσκινίστηκαν ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη κοκκομετρική διαβάθμιση, ενώ ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο ποσοστό της παιπάλης, ώστε να μην υπερβαίνει το 10% του μίγματος.

Οι αναλογίες 1m^3 του μίγματος σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε είναι:

- Τσιμέντο (T): 300kg
- Νερό (N): $N/T=0,70$
- Αδρανή (A): $A/T=5,63$
 - Άμμος
 - $D_a \leq 0,5\text{mm} \rightarrow 20\%$
 - $0,5 \leq D_a \leq 1,0\text{mm} \rightarrow 15\%$
 - $1,0 \leq D_a \leq 2,0\text{mm} \rightarrow 20\%$
 - $2,0 \leq D_a \leq 4,0\text{mm} \rightarrow 25\%$
 - Γαρμπίλι
 - $4,0 \leq D_a \leq 10\text{mm} \rightarrow 20\%$

4.2 Παράμετροι Δοκιμών

Κατά την επιλογή των τελικών παραμέτρων των οπλισμών του δοκιμίου συνεκτιμήθηκαν οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Ικανοποίηση σχέσεων ομοιότητας με βάση την κλίμακα 1:3
- Διατάξεις των κανονισμών του 1954
- Ισχυρή δοκός και ασθενή υποστυλώματα ώστε να μην προηγηθεί αστοχία του ζυγώματος
- Εξασφάλιση καμπτικής, όχι διατμητικής, αστοχίας των υποστυλωμάτων

4.2.1 Διαμήκης οπλισμός υποστυλωμάτων πλαισίου

Στο πρωτότυπο πλαίσιο τα υποστυλώματα ήταν διαστάσεων 30x30cm, με οπλισμό 4Φ18 ($\rho_s=1,13\%$). Με βάση αυτά τα δεδομένα, τα υποστυλώματα του δοκιμίου έχουν διαστάσεις 10x10cm, με οπλισμό 6Φ6 ($\rho_s=1,70\%$).

4.2.2 Διαμήκης οπλισμός δοκού πλαισίου

Το βασικό κριτήριο όπλισης της δοκού ήταν να έχει υψηλότερη αντοχή από τα υποστυλώματα, ώστε να ακολουθείται η φιλοσοφία «ισχυρή δοκός-ασθενή υποστυλώματα» που, όπως έχει προαναφερθεί, είναι αυτή που ακολουθείται στα υπό μελέτη κτίρια. Έτσι, τελικά, επιλέχθηκαν λείες ράβδοι 8Φ6, με μέση τάση διαρροής $f_{sy}=350\text{MPa}$.

4.2.3 Συνδετήρες στοιχείων πλαισίου

Ο Κανονισμός του 1954, για την κατά μήκος απόσταση των συνδετήρων, e , προβλέπει:

$$e \leq \min \left\{ \begin{array}{l} - \text{μικρότερη διάσταση του υποστυλώματος} = 100\text{mm} \\ - 12\Phi_{L,\min} = 72\text{mm} \end{array} \right.$$

Ο ΕΚΩΣ, για την κατά μήκος απόσταση συνδετήρων εντός του κρίσιμου μήκους, s , προβλέπει:

$$s \leq \min \begin{cases} - 0,50(\min\{b,d\})=50\text{mm} \\ - 8\Phi_{L,\min}=48\text{mm} \\ - 100\text{mm} \end{cases}$$

Με βάση τους παραπάνω περιορισμούς, τελικά επιλέχθηκαν συνδετήρες $\Sigma\Phi 3/60\text{mm}$ με $f_{sy}=560\text{MPa}$, ούτως ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις:

- Τήρηση της κλίμακας 1:3
- Καμπτική αστοχία πριν τη διατμητική.

4.2.4 Οπλισμός στοιχείου θεμελίωσης

Τα στοιχεία θεμελίωσης οπλίστηκαν με ράβδους χάλυβα ποιότητας B500C. Η βάση των δοκιμών πακτώθηκε στο μεταλλικό πλαίσιο της πειραματικής διάταξης μέσω 8 αγκυρίων Dywidag. Κατά τη σκυροδέτηση εγκιβωτίστηκαν εντός του σκυροδέματος πλαστικοί σωλήνες $\Phi 25$ στις προβλεπόμενες θέσεις για τη χρήση των ^{αγκυρίων} αγκυρίων. Τοποθετήθηκαν επίσης πρόσθετοι συνδετήρες γύρω από τα αγκύρια για ^{την} την σ ανάληψη τυχόν δυνάμεων διάρρηξης. Η σκυροδέτηση τόσο του πλαισίου όσο και του ^{και} εμφατνούμενου τοιχώματος έγιναν σε οριζόντια διάταξη των δοκιμών στο δάπεδο του εργαστηρίου. Για τη βάση (θεμελίωση) των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε έτοιμο σκυρόδεμα (γαρμπιλομπετό) ονομαστικής αντοχής C25/30.

5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΤΟ

SeismoStruct

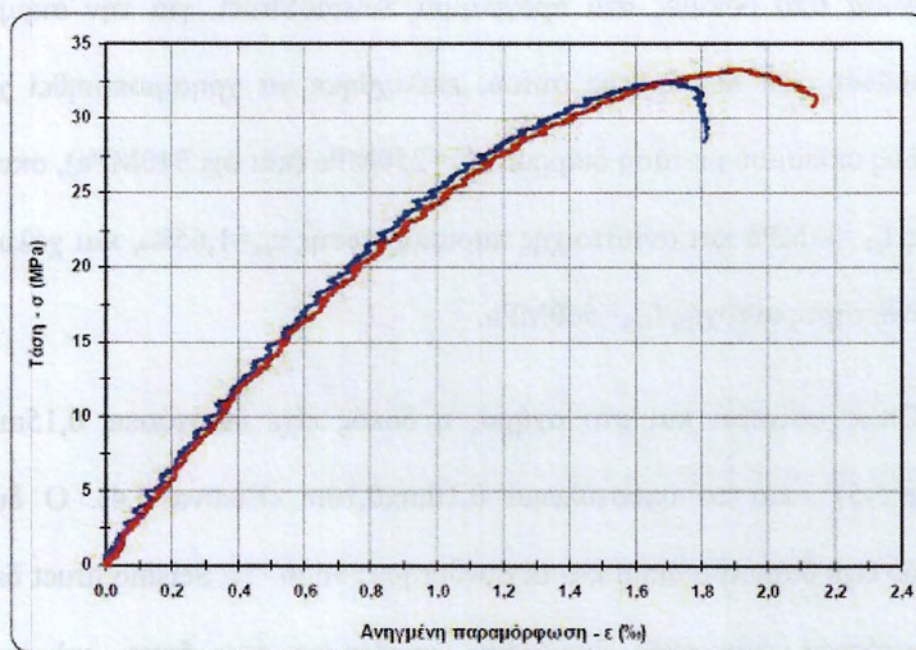
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία της προσομοίωσης και ανάλυσης των πλαισίων μέσω του προγράμματος SeismoStruct. Βασικός στόχος αυτής της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση μη έκκεντρων χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας, στην περίπτωση που το σύστημα δικτύωσης δεν μπορεί να στραφεί ή να μετατοπιστεί σε σχέση με το πλαίσιο. Για αυτό το λόγο, προσομοιώθηκαν στο SeismoStruct το απλό (γυμνό) πλαίσιο (Πλαίσιο A-1), το πλαίσιο με ελευθερία ολίσθησης των X-συνδέσμων στη βάση των υποστυλωμάτων ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση με δύο διαφορετικές διαστάσεις διατομής των ράβδων (Πλαίσια X-1 και X-3), πλαίσιο με χρήση διπλών ράβδων με ελευρία ολίσθησης στο κάτω μέρος ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση (Πλαίσιο X-2)μ καθώς και το υπό μελέτη σύστημα (Πλαίσιο X-4). Τα τρία πρώτα πλαίσια έχουν ήδη διερευνηθεί και πειραματικά και τα αποτελέσματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν ως αναφορά για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που πρέπει να εισαχθούν στο SeismoStruct. Για το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη διπλωματική εργασία του Σωτηριάδη Δημητρίου με θέμα «Συμπεριφορά Πλαισίων Ο/Σ Ενισχυμένα με Εμφατνούμενα Τοιχώματα Ο/Σ», στην οποία είχε πραγματοποιηθεί πείραμα σε πλαίσιο Ο/Σ ίδιο με αυτό της παρούσας εργασίας. Τα χαρακτηριστικά των X-συνδέσμων θεωρήθηκαν ίδια με

αυτά του πλαισίου X-1 της μελέτης του Δ. Σοφιανόπουλου που αναφέρθηκε ανωτέρω.

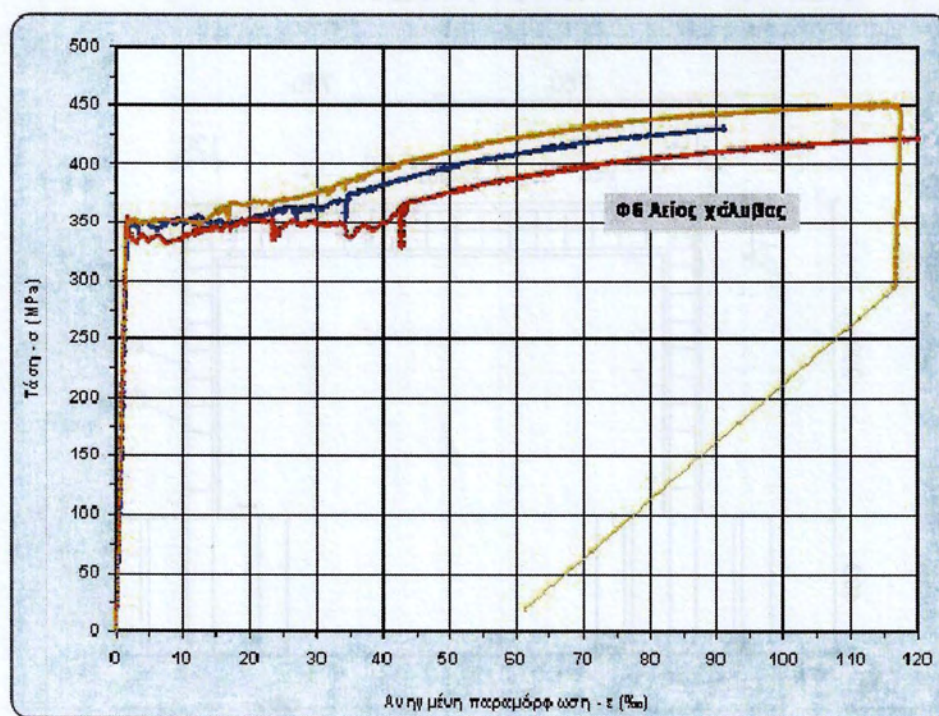
Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των πλαισίων αυτών βασίστηκε στους κανονισμούς που ίσχυαν πριν το 1985, ώστε να αντικατοπτρίζονται οι αδυναμίες των υφιστάμενων πλαισιωτών κατασκευών που χρήζουν ενίσχυσης. Έτσι, διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με τη φιλοσοφία «ισχυρή δοκός-ασθενές υποστύλωμα» και η διάταξη των συνδετήρων ήταν αραιή. Χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1:3 στις διαστάσεις των δοκών και των υποστυλωμάτων και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά (κοκκομετρία, διαστάσεις οπλισμών κτλ.) προέκυψαν με βάση αυτήν τη θεώρηση.

5.1 Απλό (γυμνό) πλαίσιο (Πλαίσιο A-1)

Για το απλό πλαίσιο, στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα αντοχής $f_{ck}=32,9\text{MPa}$ και αντίστοιχης παραμόρφωσης $\epsilon_{cu}=1,65\%$ (Εικόνα 5.1), στο διαμήκη οπλισμό χάλυβας με τάση διαρροής $f_{sy}=340\text{MPa}$ και στους συνδετήρες χάλυβας με τάση διαρροής $f_{sy}=560\text{MPa}$ (Εικόνα 5.2).



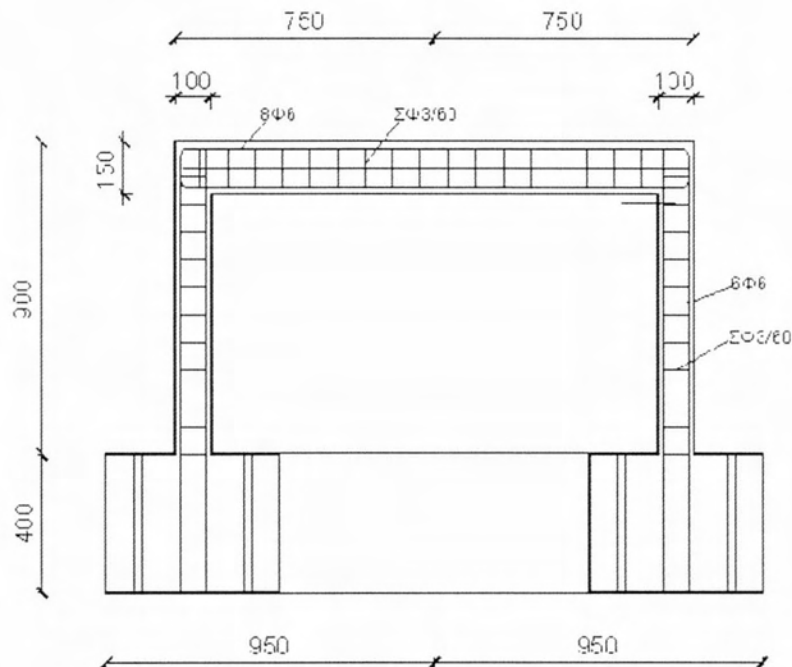
Εικόνα 5.1 Διάγραμμα θλιπτικής τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης κυλινδρικών δοκιμίων σκυροδέματος, διαστάσεων 15x30cm



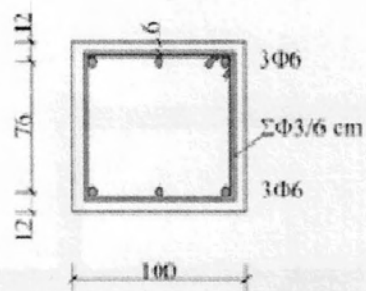
Εικόνα 5.2 Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα διαμήκουσ οπλισμού Φ6

Μετά από δοκιμές στο πρόγραμμα SeismoStruct, για την ακριβέστερη προσομοίωση του πειράματος αυτού, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί χάλυβας διαμήκους οπλισμού με τάση διαρροής $f_{sy}=250\text{MPa}$ (και όχι 340MPa), σκυρόδεμα αντοχής $f_{ck}=33\text{MPa}$ και αντίστοιχης παραμόρφωσης $\epsilon_{cu}=1,65\%$, και χάλυβας για τους συνδετήρες αντοχής $f_{syw}=560\text{MPa}$.

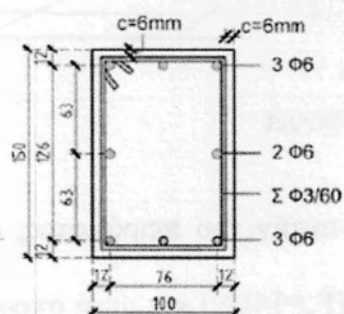
Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η δοκός είχε διαστάσεις $0,15\text{m}\times 0,10\text{m}$ (Εικόνα 5.5) και το υποστύλωμα $0,10\text{m}\times 0,10\text{m}$ (Εικόνα 5.4). Ο διαμήκους οπλισμός είχε διάμετρο 6mm και οι συνδετήρες 3mm . Το SeismoStruct δεν έδινε τη δυνατότητα εισαγωγής διαμέτρου μικρότερης των 5mm , γι' αυτό και επιλέχθηκε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων, τέτοια ώστε να προκύπτει παρόμοιος συντελεστής περίσφιγξης ($\sim 1,05$).



Εικόνα 5.3 Διαστάσεις και οπλισμός απλού (γυμνού) πλαισίου A-1

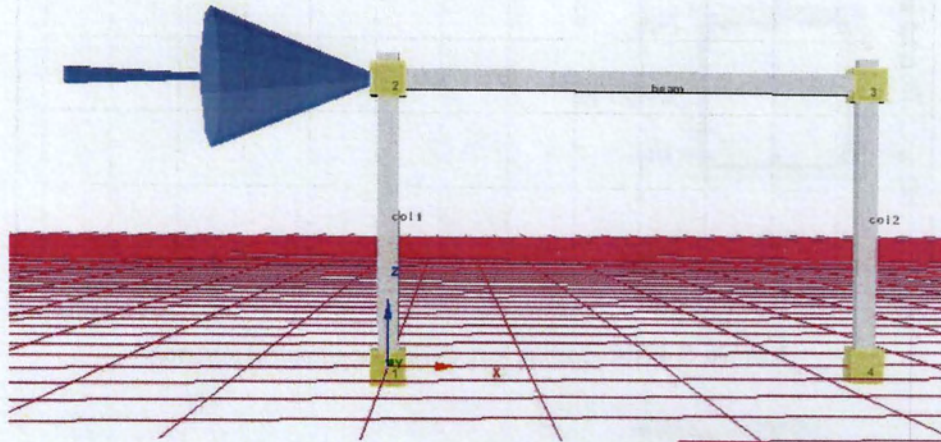


Εικόνα 5.4 Διαστάσεις και οπλισμός υποστλωμάτων



Εικόνα 5.5 Διαστάσεις και οπλισμός δοκού

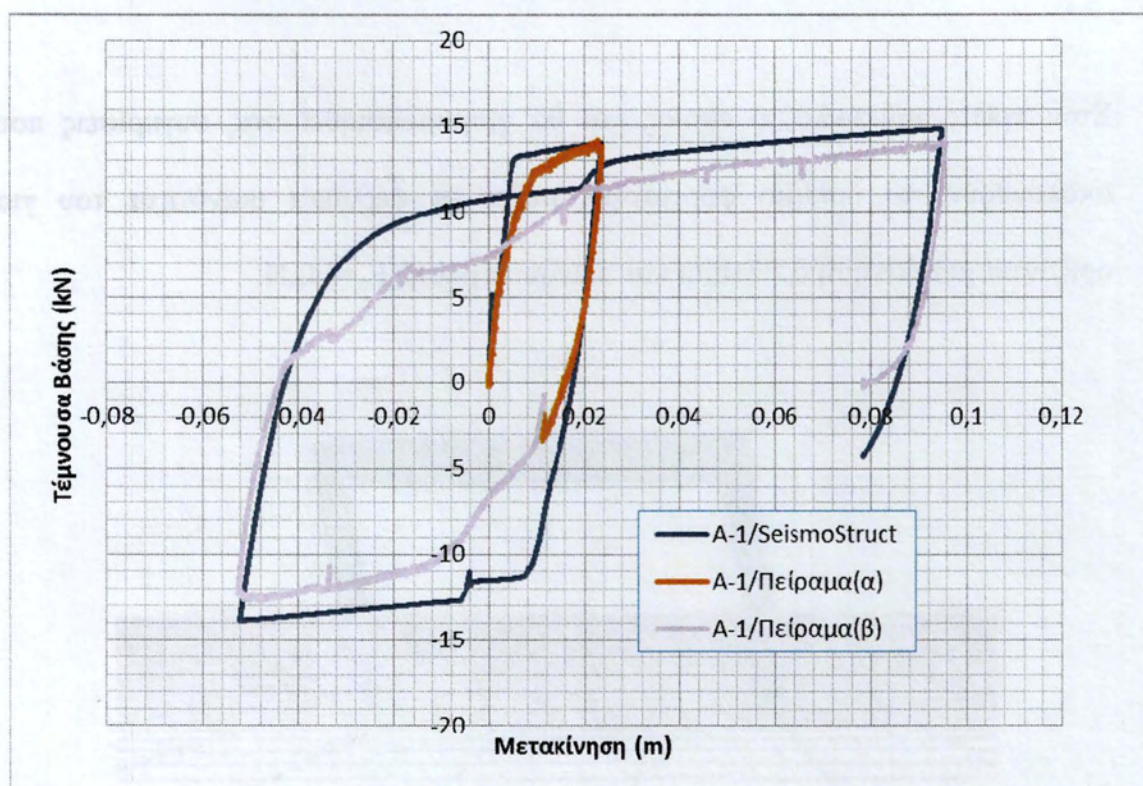
Οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα σημεία τομής των αξόνων των δοκών και των στύλων (Κόμβοι 1, 2, 3, 4) (Εικόνα 5.6). Οι κόμβοι στις βάσεις των υποστλωμάτων (Κόμβοι 1, 4) ήταν πλήρως πακτωμένοι, ενώ οι κόμβοι στα άκρα της δοκού (Κόμβοι 2, 3) δεν είχαν κανέναν εξωτερικό περιορισμό.



Εικόνα 5.6 Πλαίσιο A-1 στο SeismoStruct

Η φόρτιση που επιλέχθηκε ήταν ίδια με αυτήν του πειράματος, δηλαδή μονοτονική φόρτιση $0,005\text{mm/sec}$ έως $\delta_u=21\text{mm}$ ($F_u=14\text{kN}$) και μετά αποφόρτιση και φόρτιση του δοκιμίου προς την άλλη κατεύθυνση μέχρι την πλήρη αστοχία του.

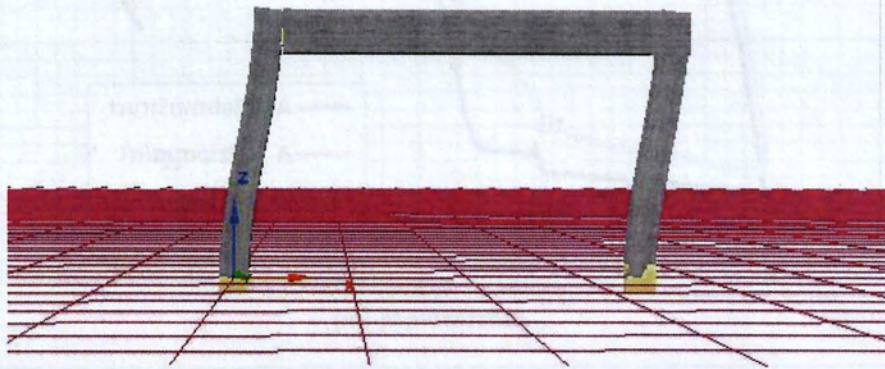
Η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα από το SeismoStruct φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.7).



Εικόνα 5.7 Καμπύλη υστέρησης πλαισίου A-1 από πειραματική ανάλυση και ανάλυση μέσω SeismoStruct

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα ακολουθούν αρκετά ικανοποιητικά τα πειραματικά αποτελέσματα κατά τη φάση της φόρτισης και της αποφόρτισης, παρουσιάζουν, όμως, απόκλιση από τη στιγμή φόρτισης προς την αντίθετη κατεύθυνση και μετά. Αυτή η απόκλιση οφείλεται στο γεγονός ότι το SeismoStruct δε λαμβάνει υπόψη την απώλεια συνάφειας διαμήκους οπλισμού και σκυροδέματος στις ρηγματωμένες βάσεις των υποστλωμάτων, με αποτέλεσμα να υπερεκτιμάται η αντοχή του δοκιμίου σε σχέση με την πραγματική.

Στον πρώτο ημικύκλο, ο οποίος και θα χρησιμοποιηθεί στις συγκρίσεις που ακολουθούν, το δοκίμιο φορτίστηκε μέχρι τη φέρουσα ικανότητα του για οριζόντια μετακίνηση $\delta_u=21\text{mm}$ και τέμνουσα βάση $F_u=14\text{kN}$.

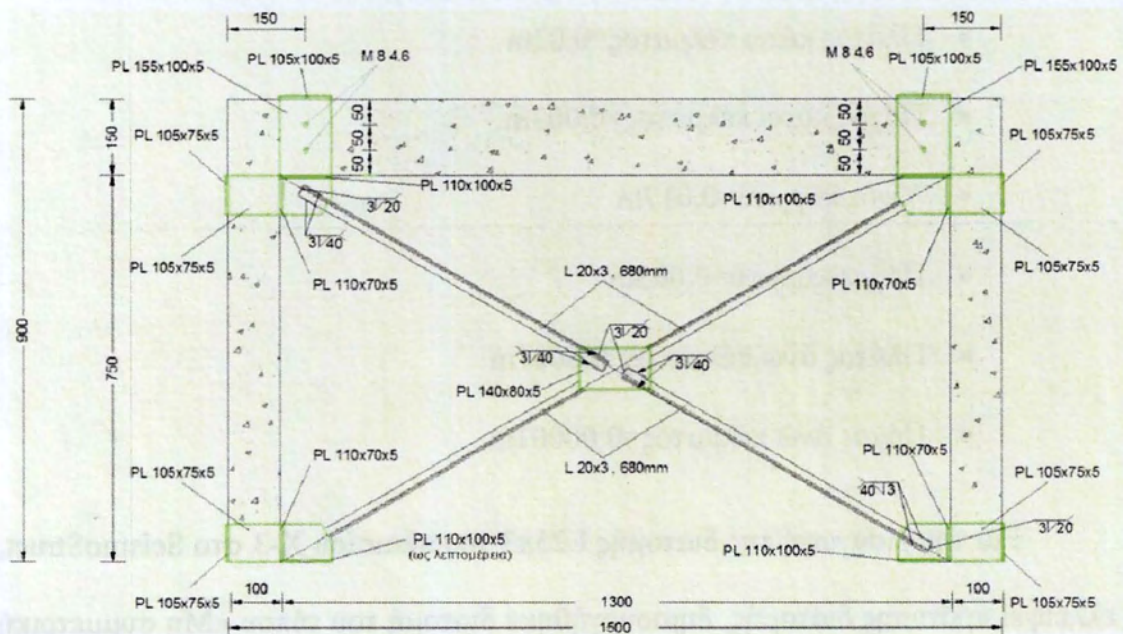


Εικόνα 5.8 Παραμόρφωση πλαισίου A-1

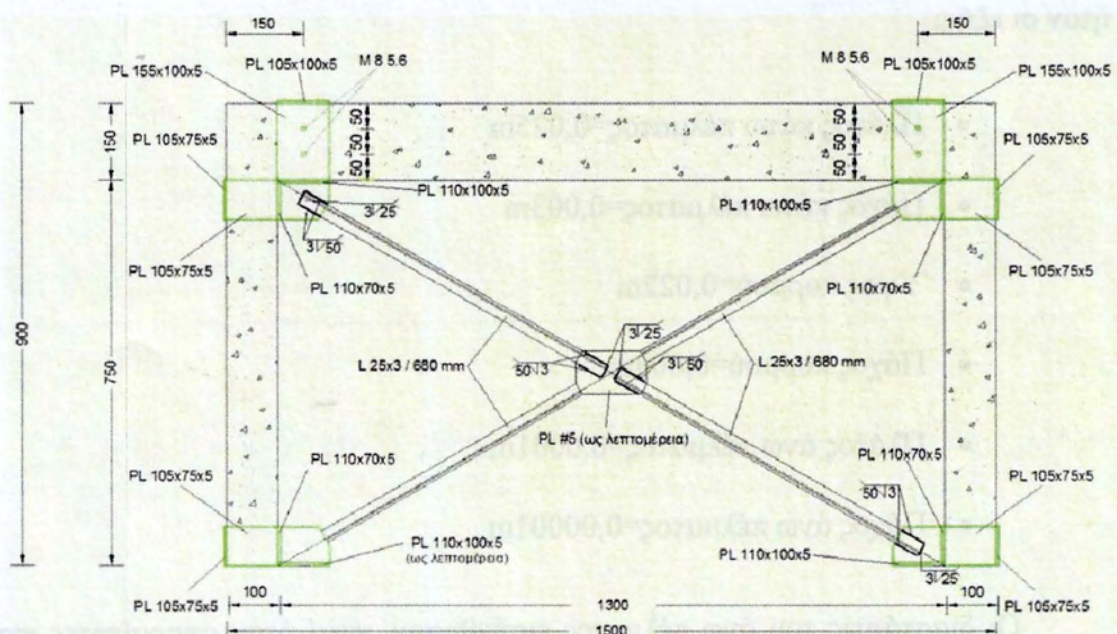
5.2 Πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους, ελεύθερους να ολισθήσουν ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση στη βάση των υποστυλωμάτων (Πλαίσια X-1 και X-3)

Τα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές τις περιπτώσεις μελέτης ήταν ίδια με το απλό πλαίσιο. Σε αυτά προσαρτήθηκε το σύστημα X-συνδέσμων δυσκαμψίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι ράβδοι ήταν διατομής ισοσκελούς L20x3 (για το πλαίσιο X-1) (Εικόνα 5.9) και L25X3 (για το πλαίσιο X-3) (Εικόνα 5.10), από χάλυβα ονομαστικής τάσης διαρροής $f_{sy}=235\text{MPa}$. Από τα πειράματα φάνηκε ότι η πραγματική τάση

διαρροής του χάλυβα ήταν $f_{sy}=325\text{MPa}$ και στο SeismoStruct, εν τέλει, χρησιμοποιήθηκε τάση διαρροής $f_{sy}=340\text{MPa}$.



Εικόνα 5.9 Διαστάσεις πλαισίου X-1



Εικόνα 5.10 Διαστάσεις πλαισίου X-3

Για την εισαγωγή της διατομής L20x3 του πλαισίου X-1 στο SeismoStruct, ελλείπει πρότυπης διατομής, δημιουργήθηκε διατομή του τύπου «Μη συμμετρική διατομή γενικού σχήματος» (διατομή τύπου I) και οι διαστάσεις που δόθηκαν ήταν οι εξής:

- Πλάτος κάτω πέλματος=0,02m
- Πάχος κάτω πέλματος=0,003m
- Ύψος κορμού=0,017m
- Πάχος κορμού=0,003m
- Πλάτος άνω πέλματος=0,0001m
- Πάχος άνω πέλματος=0,00001m

Για την εισαγωγή της διατομής L25x3 του πλαισίου X-3 στο SeismoStruct, ελλείπει πρότυπης διατομής, δημιουργήθηκε διατομή του τύπου «Μη συμμετρική διατομή γενικού σχήματος» (διατομή τύπου I) και οι διαστάσεις που δόθηκαν ήταν οι εξής:

- Πλάτος κάτω πέλματος=0,025m
- Πάχος κάτω πέλματος=0,003m
- Ύψος κορμού=0,022m
- Πάχος κορμού=0,003m
- Πλάτος άνω πέλματος=0,0001m
- Πάχος άνω πέλματος=0,00001m

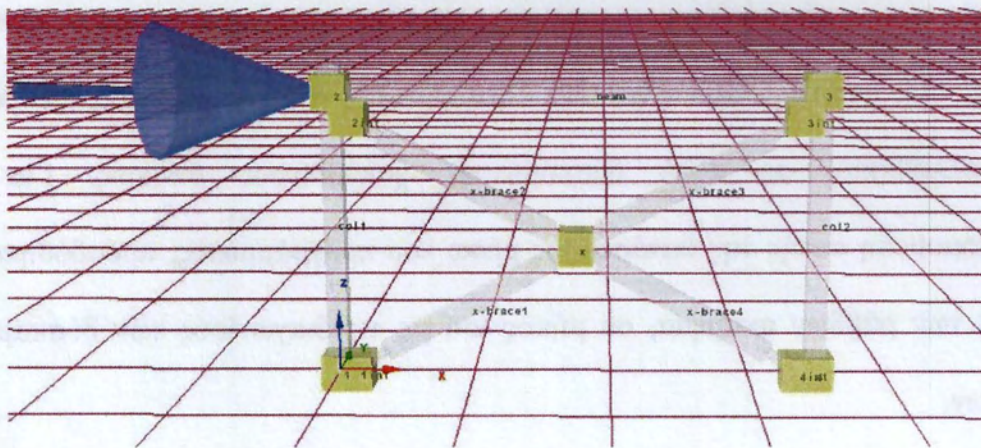
Οι διαστάσεις του άνω πέλματος εισήχθησαν, γιατί ήταν απαραίτητες για την ανάλυση. Για να τηρηθεί, όμως, η σωστή γεωμετρία των ράβδων, δόθηκαν

τιμές τέτοιες, ώστε να μην επηρεάζονται ουσιαστικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Για την εισαγωγή του δικτύματος εντός του φατνώματος, δημιουργήθηκαν 5 νέοι κόμβοι, 4 στις εσωτερικές γωνίες του φατνώματος (Κόμβοι 1int, 2int, 3int, 3int) και 1 στο κέντρο του φατνώματος (Κόμβος x) (Εικόνα 5.11). Ο προσανατολισμός των στοιχείων έγινε με τρόπο τέτοιο που να υπάρχει εναλλαγή στη θέση των πελμάτων της διατομής L, για αποφυγή λυγισμού εκτός του επιπέδου του πλαισίου. Στο πλαίσιο του πειράματος, οι ράβδοι συγκολλήθηκαν σε πολύ δύσκαμπτους χαλύβδινους δίσκους. Για την προσομοίωση αυτής της κατάστασης μέσω του προγράμματος, προσδόθηκε στα άκρα των ράβδων ακαμψία, σε μήκος ίσο με τις διαγωνίους των δύσκαμπτων δίσκων.

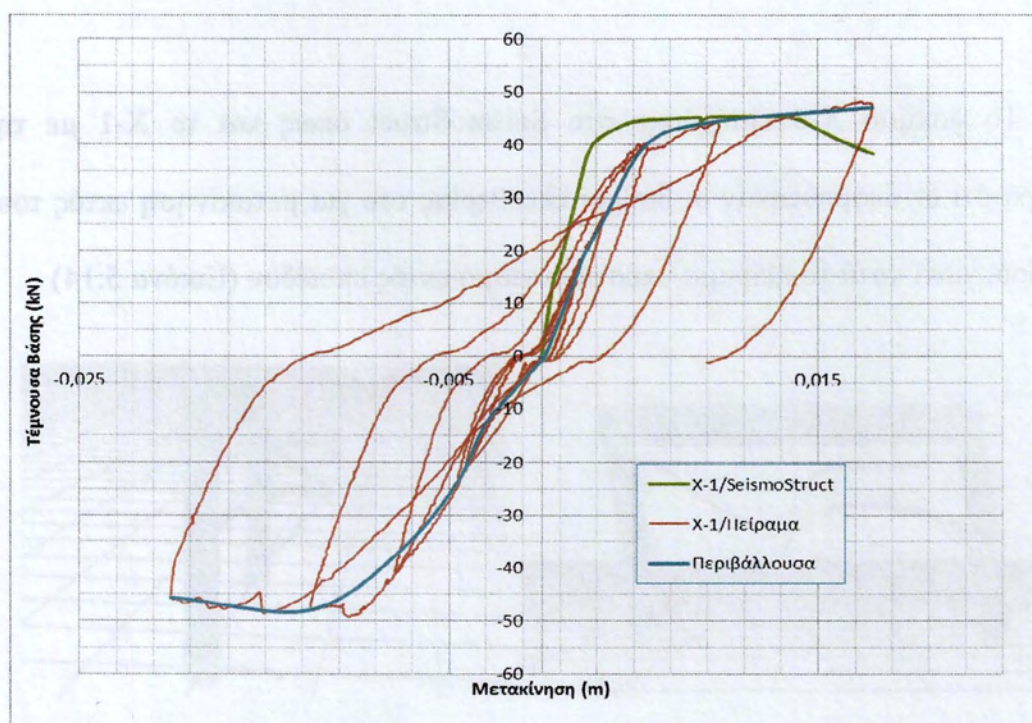
Λόγω της πάκτωσης των ράβδων στο πλαίσιο, οι κόμβοι ένωσης των ράβδων με τη δοκό (Κόμβοι 2int, 3int) δεσμεύτηκαν στους αντίστοιχους κόμβους στον άξονα της δοκού (Κόμβοι 2, 3), έτσι ώστε να παίρνουν τις ίδιες στροφές με τα άκρα της δοκού και μετατοπίσεις υπολογισμένες από το πρόγραμμα με βάση τη δέσμευση αυτή. Για τους κόμβους στους οποίους συνέτρεχαν οι ράβδοι και τα υποστυλώματα στη βάση του πλαισίου (Κόμβοι 1int, 4int), ο κόμβος που αναμενόταν να ανεβεί (Κόμβος 1int) αφέθηκε ελεύθερος προς την κατακόρυφη διεύθυνση, ενώ όλοι οι υπόλοιποι βαθμοί ελευθερίας του παγιώθηκαν. Ο άλλος κόμβος (Κόμβος 4int) πακτώθηκε, ώστε να μην κατέβει προς τα κάτω (κάτι που

δε θα συνέβαινε στο πείραμα). Για αυτό το λόγο μελετήθηκε μόνο η φόρτιση προς τη μία κατεύθυνση και δε μελετήθηκε η αποφόρτιση και φόρτιση προς την άλλη κατεύθυνση. Όλοι οι κόμβοι, και οι 9, δεσμεύτηκαν ως προς τη μετακίνησή τους (οριζόντια μετατόπιση κατά y και στροφή περί τον άξονα z) εκτός του επιπέδου του πλαισίου (προσομοίωση του πλαισίου ως δισδιάστατο).



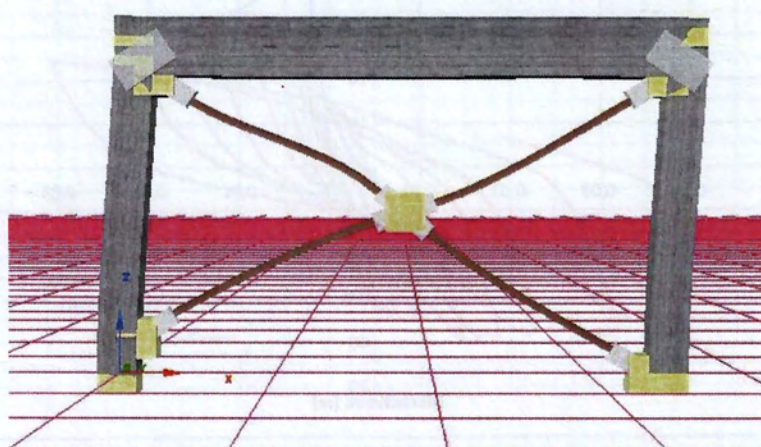
Εικόνα 5.11 Πλαίσιο X-1 στο SeismoStruct

Η φόρτιση που χρησιμοποιήθηκε ήταν ίδια με αυτήν του απλού (γυμνού) πλαισίου. Τα αποτελέσματα τόσο του πειράματος όσο και από την ανάλυση στο πρόγραμμα SeismoStruct φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.12).



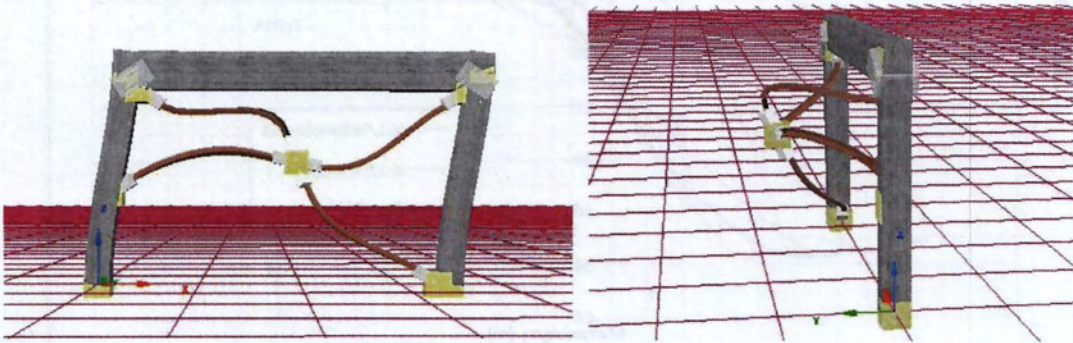
Εικόνα 5.12 Καμπύλη υστέρησης πλαισίου X-1 από πειραματική ανάλυση και ανάλυση μέσω SeismoStruct

Η παραμόρφωση του πλαισίου X-1 φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. (Εικόνα 5.13)



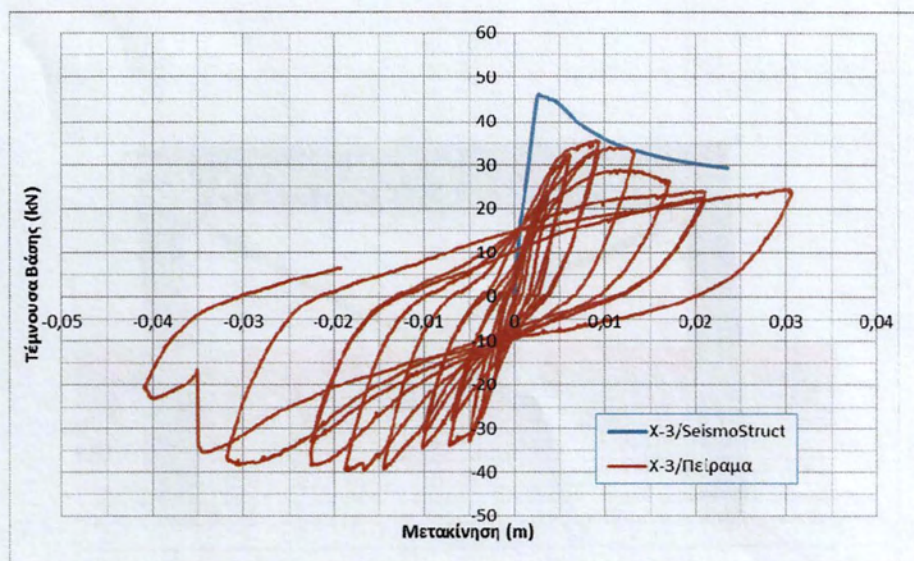
Εικόνα 5.13 Παραμόρφωση πλαισίου X-1

Το δοκίμιο X-3 εισήχθη στο SeismoStruct όπως και το X-1 με τη διαφορά ότι δε δεσμεύτηκαν οι βαθμοί ελευθερίας του για μετακίνηση εκτός του επιπέδου, γιατί κατά το πείραμα υπέστη λυγισμό εκτός επιπέδου (Εικόνα 5.14)



Εικόνα 5.14 Παραμόρφωση πλαισίου X-3

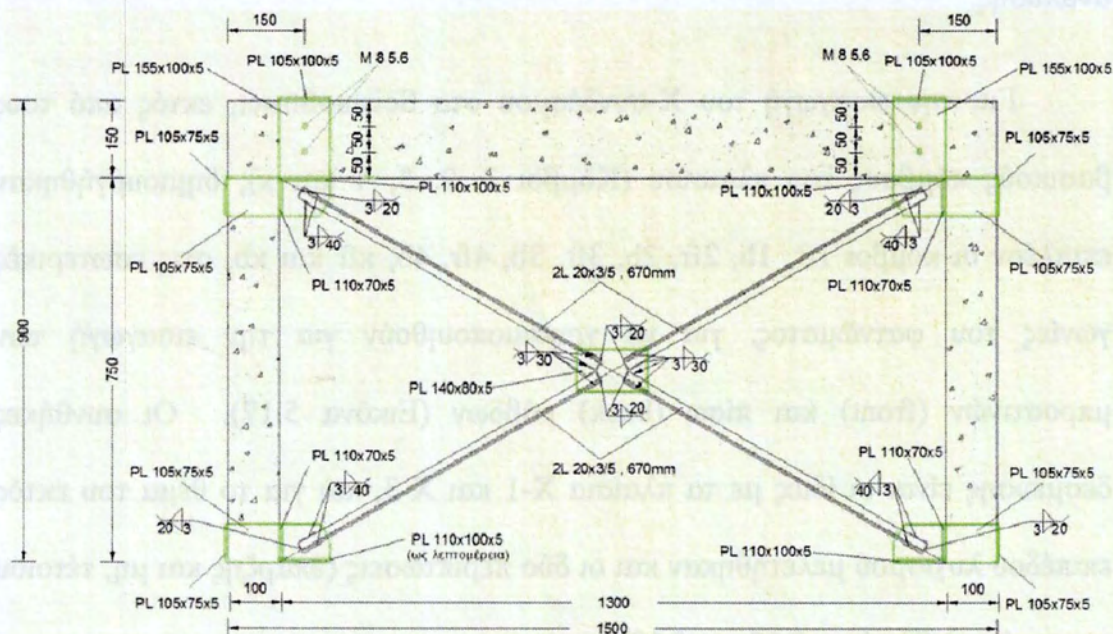
Η σύγκριση των πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων για το πλαίσιο X-3 φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.15 Καμπύλη υστέρησης πλαισίου X-3 από πειραματική ανάλυση και ανάλυση μέσω SeismoStruct

5.3 Πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους με διπλές ράβδους, ελεύθερους να ολισθήσουν ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση στη βάση των υποστυλωμάτων (Πλαίσιο X-2)

Το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την περίπτωση μελέτης ήταν ίδιο με το απλό πλαίσιο. Σε αυτό προσαρτήθηκε το σύστημα X-συνδέσμων δυσκαμψίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι ράβδοι ήταν διατομής ισοσκελούς 2L20x3/5, από χάλυβα ονομαστικής τάσης διαρροής $f_{sy}=235\text{MPa}$. Από τα πειράματα φάνηκε ότι η πραγματική τάση διαρροής του χάλυβα ήταν $f_{sy}=325\text{MPa}$ και στο SeismoStruct, εν τέλει, χρησιμοποιήθηκε τάση διαρροής $f_{sy}=340\text{MPa}$.



Εικόνα 5.16 Διαστάσεις δοκιμίου X-2

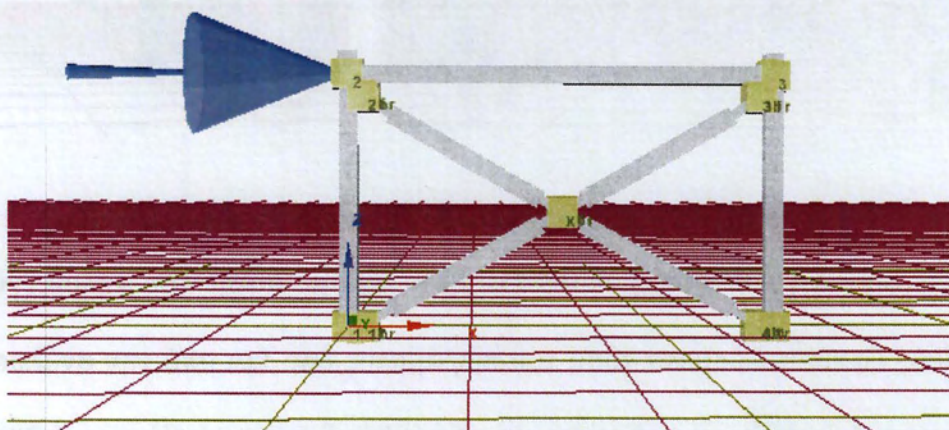
Όπως και στο πλαίσιο X-1, για την εισαγωγή της διατομής L20x3 του πλαισίου X-2 στο SeismoStruct, ελλείπει πρότυπης διατομής, δημιουργήθηκε διατομή του τύπου «Μη συμμετρική διατομή γενικού σχήματος» (διατομή τύπου I) και οι διαστάσεις που δόθηκαν ήταν οι εξής:

- Πλάτος κάτω πέλματος=0,02m
- Πάχος κάτω πέλματος=0,003m
- Ύψος κορμού=0,017m
- Πάχος κορμού=0,003m
- Πλάτος άνω πέλματος=0,0001m
- Πάχος άνω πέλματος=0,00001m

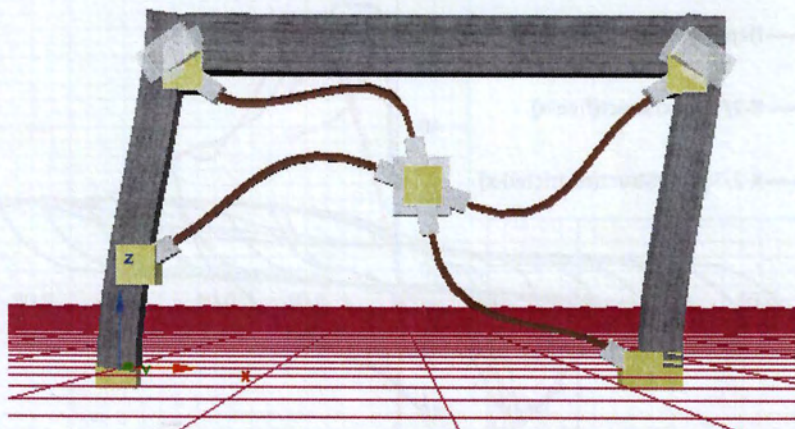
Οι διαστάσεις του άνω πέλματος εισήχθησαν, γιατί ήταν απαραίτητες για την ανάλυση. Για να τηρηθεί, όμως, η σωστή γεωμετρία των ράβδων, δόθηκαν τιμές τέτοιες, ώστε να μην επηρεάζονται ουσιαστικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Για την εισαγωγή του X-συνδέσμου στο SeismoStruct, εκτός από τους βασικούς κόμβους του πλαισίου (Κόμβοι 1, 2, 3, 4 και x), δημιουργήθηκαν επιπλέον οι κόμβοι 1fr, 1b, 2fr, 2b, 3fr, 3b, 4fr, 4b, xfr και xb, στις εσωτερικές γωνίες του φατώματος, για να χρησιμοποιηθούν για την εισαγωγή των μπροστινών (front) και πίσω (back) ράβδων (Εικόνα 5.17). Οι συνθήκες δέσμευσης είναι οι ίδιες με τα πλαίσια X-1 και X-3, και για το θέμα του εκτός επιπέδου λυγισμού μελετήθηκαν και οι δύο περιπτώσεις (ύπαρξης και μη, τέτοιου φαινομένου) (Εικόνες 5.18 και 5.19).

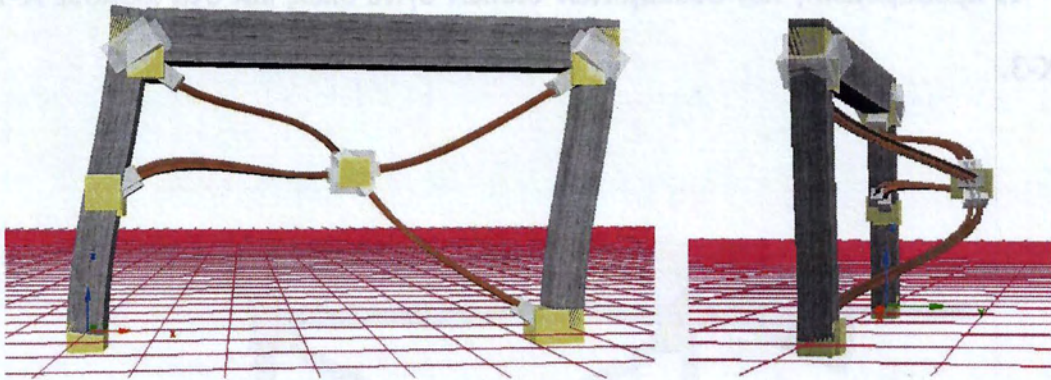
Η προσομοίωση των δύσκαμπτων δίσκων έγινε όπως και στα πλαίσια X-1 και X-3.



Εικόνα 5.17 Κόμβοι πλαισίου X-2

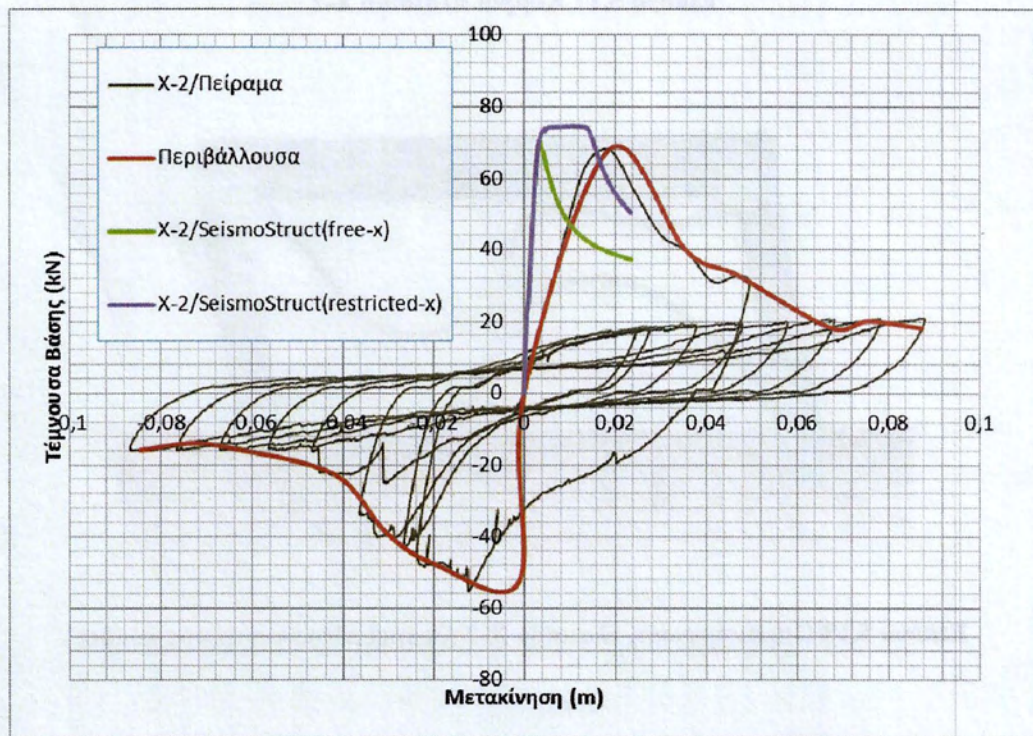


Εικόνα 5.18 Παραμόρφωση πλαισίου X-2 (δεσμευμένος κεντρικός κόμβος)



Εικόνα 5.19 Παραμόρφωση πλαισίου X-2 (ελεύθερος κεντρικός κόμβος)

Η φόρτιση που χρησιμοποιήθηκε ήταν ίδια με αυτήν του απλού (γυμνού) πλαισίου. Τα αποτελέσματα τόσο του πειράματος όσο και από την ανάλυση στο πρόγραμμα SeismoStruct φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.20).



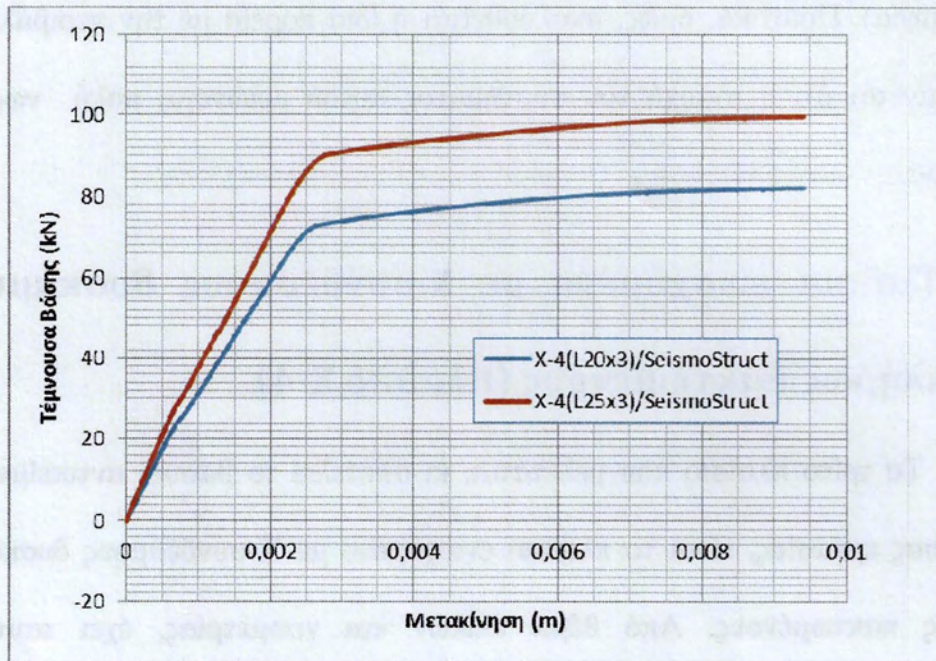
Εικόνα 5.20 Καμπύλη υστέρησης πλαισίου X-2 από πειραματική ανάλυση και ανάλυση μέσω SeismoStruct

Ποσοτικά, τα αποτελέσματα δεν είναι πολύ ικανοποιητικά ως προς την αντοχή και τη δυσκαμψία του πλαισίου αυτού (υπερεκτιμώνται η αντοχή και η δυσκαμψία). Ποιοτικά, όμως, ακολουθείται η ίδια πορεία με την περιβάλλουσα, και φαίνεται ότι η αντοχή του συστήματος αυτού μειώνεται πολύ νωρίς και απότομα.

5.4 Πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους δυσκαμψίας, πλήρως πακτωμένους (Πλαίσιο X-4)

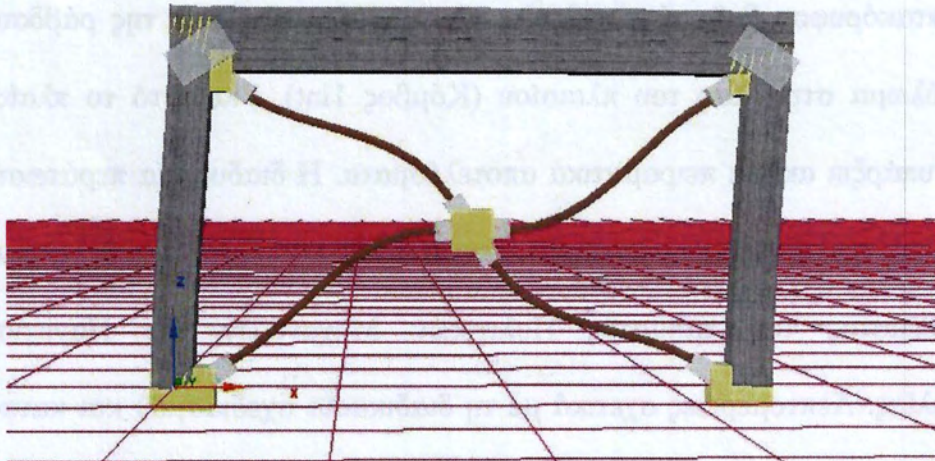
Το τρίτο πλαίσιο που μελετάται, κι αποτελεί το βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι το πλαίσιο ενισχυμένο με X-συνδέσμους δυσκαμψίας πλήρως πακτωμένους. Από θέμα υλικών και γεωμετρίας, έχει ταυτόσημα χαρακτηριστικά με το πλαίσιο X-1 της προηγούμενης παραγράφου. Η διαφορά τους είναι ότι στο πλαίσιο X-4 οι ράβδοι είναι πλήρως πακτωμένες στο πλαίσιο. Στο SeismoStruct, το μοντέλο ήταν ίδιο με αυτό του X-4, με επιπλέον δέσμευση του κατακόρυφου βαθμού ελευθερίας στον κόμβο σύνδεσης της ράβδου με το υποστύλωμα στη βάση του πλαισίου (Κόμβος 1int). Για αυτό το πλαίσιο δεν έχουν υπάρξει ακόμα πειραματικά αποτελέσματα. Η διαδικασία περάτωσής τους είναι υπό εξέλιξη στο εργαστήριο Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Λεπτομέρειες σχετικά με τη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής του συγκεκριμένου δοκιμίου υπάρχουν στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας μελέτης. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση αυτής της μεθόδου παρουσιάζονται στο

ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 5.21). Επιπλέον, προσομοιώθηκε πλαίσιο ίδιο με το X-4 με χρήση ράβδων διατομής ισοσκελούς L25x3.



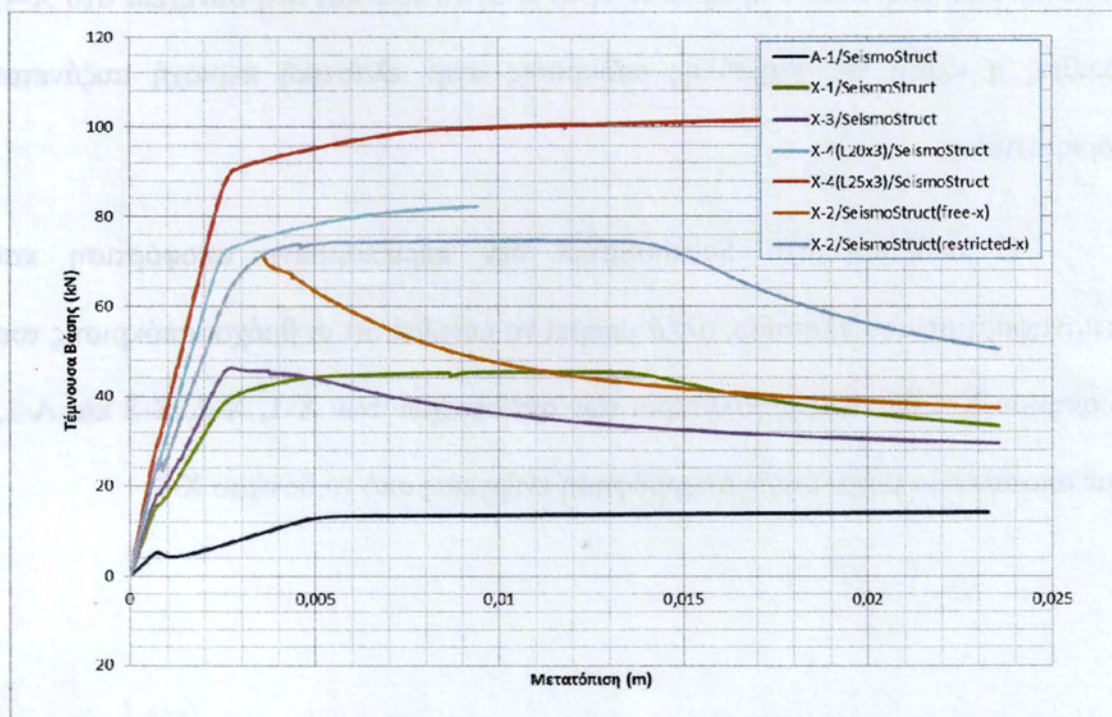
Εικόνα 5.21 Αποτελέσματα ανάλυσης πλαισίου X-4 μέσω SeismoStruct

Η παραμόρφωση του πλαισίου X-4 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (Εικόνα 5.22)



Εικόνα 5.22 Παραμόρφωση πλαισίου X-4

5.5 Συμπεράσματα



Εικόνα 5.23 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης στο SeismoStruct

Το παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 5.23) απεικονίζει την απόκριση των τριών πλαισίων που προσομοιώθηκαν και διερευνήθηκαν στο SeismoStruct.

Ως προς την αντοχή, το δοκίμιο A-1 προκύπτει ότι έχει φέρουσα ικανότητα περίπου 14kN, το δοκίμιο X-1 περίπου 45kN, το δοκίμιο X-3 περίπου 48kN, το δοκίμιο X-2 περίπου 72kN, ενώ το δοκίμιο X-4(L20x3), περίπου 83kN, δηλαδή 5,9 φορές μεγαλύτερη από αυτή του απλού πλαισίου A-1 και 1,8 φορές μεγαλύτερη της αντίστοιχης του X-1 και το πλαίσιο X-4(L25x3) περίπου 102kN, δηλαδή 7,3 φορές μεγαλύτερη του A-1.

Πέραν της αύξησης της αντοχής, είναι εμφανής και η αύξηση της δυσκαμψίας από το A-1 προς το X-1, το X-3, το X-2 και στη συνέχεια στο X-4, καθώς η κλίση της καμπύλης απόκρισης στην ελαστική περιοχή αυξάνεται δραματικά.

Η ανάλυση στο SeismoStruct δεν περιελάμβανε αποφόρτιση και επαναφόρτιση του πλαισίου, αλλά μπορεί να ειπωθεί ότι οι βρόχοι απόκρισης του δοκιμίου X-4 θα είναι μεγαλύτεροι των αντίστοιχων των X-1, X-2, X-3 και A-1, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας από το δοκίμιο X-4.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Erdem I., Akyuz U., Ersoy U., Ozcebe G. (2006), “An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames”, *Engineering Structures* 28, 1843 – 1851
2. Hayashi Y., Niwa H., Fukuhara M. (1980), “The Strengthening Method of Existing Reinforced Concrete Buildings”, *Proceedings of the 7th world conference on Earthquake Engineering*, v.4, Istanbul, Turkey, 89 – 96
3. Jain, A.K. (1985), “Seismic Response of RC Frames with Steel Braces.” *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 111(10), 2138 – 2148.
4. Badoux, M. and Jirsa, J.O. (1990), “Steel Bracing of RC Frames for Seismic Retrofitting.”, *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 116(1), 55 – 74.
5. Bush, T.D., Jones, E.A. and Jirsa, J.O. (1991), “Behavior of RC Frame Strengthened Using Structural Steel Bracing.” *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 117(4), 1115 – 1126.
6. Nateghi-A, F. (1995), “Seismic strengthening of eight-storey RC apartment building using steel braces.” *Engineering Structures* 17(6), 455 – 461.

7. Pincheira, J.A., Jirsa, J.O. (1995), "Seismic Response of RC Frames Retrofitted with Steel Braces or Walls." *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 121(8), 1225 – 1235.
8. Tremblay, R. (2002), "Inelastic seismic response of steel bracing members." *Journal of Constructional Steel Research* 58(5-8), 665 – 701.
9. Kaushik, H.B., Rai, D.C. and Jain, S.K. (2009). "Effectiveness of Some Strengthening Options for Masonry-Infilled RC Frames with Open First Story." *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 135(8), 925 – 937.
10. Remennikov AM, Walpole WR. (1997) "Modeling the inelastic cyclic behavior of a bracing member or work-hardening material." *Int. J. Solids Struct.*, 34(27), pp. 3491-3515
11. Περδικάρης, Φ. κ.α. (2011) «Διερεύνηση της Συμπεριφοράς Πλαισίων Ο.Σ. Ενισχυμένων με Εμφατνούμενα Τοιχώματα Ο.Σ.» Τελική Έκθεση Προόδου Ερευνητικού Προγράμματος ΟΑΣΠ, Σεπτέμβριος 2012.
12. Περδικάρης, Φ. κ.α. (2011) «Διερεύνηση της Συμπεριφοράς Πλαισίων Ο.Σ. Ενισχυμένων με Εμφατνούμενα Τοιχώματα Ο.Σ.» 2η Έκθεση Προόδου Ερευνητικού Προγράμματος ΟΑΣΠ, Ιούνιος 2011.

13. Σοφιανόπουλος Δ. κ.α. (2012) «Θεωρητική - Παραμετρική Διερεύνηση και Βελτιστοποίηση της Σεισμικής ενίσχυσης Συμβατικών Κτιριακών Κατασκευών με Φέροντα Οργανισμό από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Πυλωτή μέσω μη έκκεντρων Χαλύβδινων Χιαστών Συνδέσμων Δυσκαμψίας» Τελική Έκθεση Προόδου Ερευνητικού Προγράμματος ΟΑΣΠ, Αύγουστος 2012.
14. Σωτηριάδης Δ. (2011), «Συμπεριφορά Πλαισίων Ο/Σ Ενισχυμένα με Εμφατούμενα Τοιχώματα από Ο/Σ», Διπλωματική Εργασία.
15. Μωρέττη Μ. (2012), «Διδακτικές Σημειώσεις του μαθήματος Σιδηροπαγές Σκυρόδεμα ΙΙΙ», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124100