

## Α. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Ι. ΣΥΝΟΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΑΘΕΝΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Για την ευκολότερη παρακολούθηση της παρούσας Τελικής Έκθεσης κρίνεται σκόπιμη μια συνοπτική παρουσίαση του προγράμματος, σύμφωνα με την ερευνητική πρόταση, την απόφαση ανάθεσης και τη σχετική Σύμβαση.

#### 1. Στόχοι

Σύμφωνα με την ερευνητική πρόταση και τη σχετική Σύμβαση, **αντικείμενο** του έργου είναι η πειραματική και αναλυτική διερεύνηση της αποτελεσματικότητας μεταλλικών διατάξεων υψηλής απόσβεσης για την αντισεισμική ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με πιλοτή και η ανάπτυξη μεθοδολογίας προεπιλογής και ελέγχου του κατάλληλου κατά περίπτωση σχήματος επέμβασης. Το έργο περιλαμβάνει τόσο πειραματικό όσο και αναλυτικό σκέλος.

Το αναμενόμενο **τελικό αποτέλεσμα** είναι η διατύπωση μιας απλοποιημένης μεθοδολογίας σταθμισμένης επέμβασης στα κτίρια αυτής της κατηγορίας, αλλά και γενικότερα σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Διερευνώνται δύο παραλλαγές μεταλλικών διατάξεων:

- Η πρώτη συντίθεται από δύο ράβδους δικτύωσης μορφής Λ υψηλής αντοχής και δυστένειας, οι οποίες καταλήγουν σε μικρής επιφάνειας σύνδεσμο, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με το πλαίσιακό σύστημα του υφισταμένου κτιρίου στο μέσον του υπερκειμένου ζυγώματος. Στην περίπτωση αυτή ο μικρής έκτασης αυτός σύνδεσμος αποτελεί στοιχείο πρόσθετης αντοχής και δυσκαμψίας, κυρίως όμως υψηλής απορρόφησης ενέργειας. Στην παραλλαγή αυτή δίδεται το κύριο βάρος της διερεύνησης.
- Η δεύτερη δεν διαθέτει στοιχεία δικτύωσης καθώς συντίθεται από ένα επιφανειακό μεταλλικό έλασμα, ύψους όσο το ύψος του ορόφου, το οποίο συνδέεται με το μέσον του υπερκειμένου ζυγώματος και του υποκειμένου στοιχείου θεμελίωσης (συνδετήρια δοκός ή πεδιλοδοκός). Η πρόσθετη αντοχή, δυσκαμψία και απορρόφηση ενέργειας προσδίδεται από το στοιχείο αυτό. Στην παραλλαγή αυτή δεν δίδεται μεγάλο βάρος και βάθος διερεύνησης. Χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους σύγκρισης με την προηγούμενη διάταξη.

Με τους συνδέσμους αυτού του τύπου αφενός αναβαθμίζεται η διαθέσιμη αντοχή και δυσκαμψία του συστήματος, συγχρόνως όμως μειώνεται δραστικά η απαίτηση αντοχής του συστήματος έναντι σεισμού λόγω της υψηλής απόσβεσής τους.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει:

- **Πειραματικό σκέλος**, συντιθέμενο από 12 δοκίμια.

- **Αναλυτική προσομοίωση** των εκτελεσθέντων πειραμάτων με στόχο την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του φορέα στο σύνολό του (υφιστάμενο πλαίσιο Ο.Σ. και στοιχεία ενίσχυσης).
- **Ανάπτυξη** πλήρους **μεθοδολογίας χρήσης** των προτεινόμενων διατάξεων σε πρακτικές εφαρμογές αντισεισμικής ενίσχυσης κτιρίων Ο.Σ. με πιλοτή.

## 2. Πειραματικό σκέλος

Το πειραματικό σκέλος προβλέπεται να εκτελεσθεί στο Εργαστήριο Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. και περιλαμβάνει συνολικά 12 δοκίμια:

- Γυμνά πλαίσια: 2 δοκίμια αναφοράς, ένα χωρίς αξονική και ένα με αξονική δύναμη στους στύλους, περίπου στο 20% του οριακού αξονικού φορτίου τους.
- Σύνδεσμοι τύπου Λ: 8 συνολικά ( $=2^3$ ), για τη μελέτη τριών παραμέτρων με δύο τιμές η καθεμιά, με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς:
  - (α) Αξονική δύναμη, δύο τιμές, όπως στα αντίστοιχα γυμνά.
  - (β) Τύπος παραμόρφωσης συνδέσμου, δύο μορφές: καμπτικός, διατμητικός (με κατάλληλη επιλογή της γεωμετρίας όψης).
  - (γ) Επίπεδο ενίσχυσης συνδέσμου, δύο τιμές: μια συγκρίσιμη με την αντοχή του πλαισίου και μια υπερδιπλάσια.
- Διατμητικά πετάσματα: 2 δοκίμια, ένα σχετικά μικρού μήκους όψης και ένα μεγάλου μήκους όψης, με μηδενική αξονική στους στύλους. Εκτιμάται ότι με τον τρόπο αυτό συνεκτιμώνται οι μορφές αστοχίας και η σχετική αντοχή πλαισίου και πετάσματος.

## 3. Αναλυτικό σκέλος

Το αναλυτικό σκέλος προβλέπεται να εκτελεσθεί στο Εργαστήριο Ανάλυσης και Σχεδιασμού Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και περιλαμβάνει τα εξής επί μέρους αντικείμενα:

1. Αναλυτική προσομοίωση των πειραμάτων με στόχο την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του φορέα στο σύνολό του (υφιστάμενο πλαίσιο Ο.Σ. και στοιχεία ενίσχυσης). Η προσομοίωση γίνεται με εξειδικευμένο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων που μπορεί να λάβει υπόψη του το σύνολο των έντονα μη γραμμικών φαινομένων που αναμένεται να εμφανισθούν στις πειραματικές δοκιμές (διαρροή και ανάπτυξη της επιφάνειας διαρροής των μεταλλικών στοιχείων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, ρηγμάτωση και ανελαστική παραμόρφωση του σκυροδέματος, μερική εξόλκευση των οπλισμών σε περίπτωση ανεπαρκών αγκυρώσεων κλπ). Στόχος της προσομοίωσης των πειραμάτων είναι η ταυτοποίηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και ο εντοπισμός των μηχανισμών αστοχίας. Τέλος, μπορούν να αναπτυχθούν κανόνες για την αποφυγή εμφάνισης ανεπιθύμητων μηχανισμών αστοχίας.

2. Ανάπτυξη πλήρους μεθοδολογίας χρήσης των προτεινόμενων διατάξεων σε πρακτικές εφαρμογές αντισεισμικής ενίσχυσης κτιρίων Ο.Σ. με πιλοτή. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται να αναπτυχθούν:

- Μέθοδος προεκτίμησης των απαιτούμενων χαρακτηριστικών των ενισχυτικών διατάξεων (δυσκαμψία - δυσμησία, αντοχή, ικανότητα παραμόρφωσης) με βάση τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου κτιρίου και τους επιδιωκόμενους στόχους του αντισεισμικού σχεδιασμού. Σημειώνεται ότι οι προτεινόμενες ενισχυτικές διατάξεις έχουν το πλεονέκτημα, σε αντίθεση με άλλες λύσεις, να παρέχουν τη δυνατότητα πλήρους ανεξάρτητης ρύθμισης των χαρακτηριστικών τους (αντοχή - δυσκαμψία ή δυσμησία) μέσω μιας σειράς παραμέτρων (λόγος γεωμετρικών διαστάσεων, πάχος, επιλογή καμπτικής ή διατμητικής διαρροής κλπ). Ως προς την ικανότητα ανελαστικής παραμόρφωσης, έχει αποδειχτεί από τη διεθνή βιβλιογραφία ότι με τον κατάλληλο σχεδιασμό οι διατάξεις αυτές μπορούν να εμφανίσουν σταθερούς υστερητικούς βρόχους.
- Αρχές για την προσομοίωση των ενισχυτικών διατάξεων που θα μπορούν να εφαρμοσθούν σε κοινά λογισμικά στατικής ανάλυσης και διαστασιολόγησης.
- Μεθοδολογία ελέγχου του ενισχυμένου φορέα και τεκμηρίωσης της βελτιωμένης αντισεισμικής συμπεριφοράς του μετά την εισαγωγή των ενισχυτικών διατάξεων.

#### 4. Χρονοδιάγραμμα

Η εκτέλεση του προτεινόμενου έργου περιλαμβάνει επτά εν μέρει επικαλυπτόμενες φάσεις:

Μήνας Φάση		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ολοκλήρωση προετοιμασίας της πειραματικής διάταξης												
2	Προεκτίμηση των χαρακτηριστικών των ενισχυτικών διατάξεων												
3	Κατασκευή των συνδέσμων												
4	Σκυροδέτηση δοκιμών και εκτέλεση πειραμάτων												
5	Αναλυτική προσομοίωση πειραμάτων												
6	Ανάπτυξη μεθοδολογίας χρήσης των προτεινόμενων διατάξεων												
7	Τελική Έκθεση												

- Φάση 1: Ολοκλήρωση προετοιμασίας της πειραματικής διάταξης (1 μήνας). Περιλαμβάνει πρόσθετες ενέργειες σχεδιασμού και υλοποίησης της ενοργάνωσης των δοκιμών.
- Φάση 2: Προεκτίμηση των χαρακτηριστικών των ενισχυτικών διατάξεων απόσβεσης ενέργειας (1 μήνας). Περιλαμβάνει την εκτίμηση των διαστάσεων των συνδέσμων των 10 ενισχυμένων δοκιμών σύμφωνα με τους στόχους που έχουν τεθεί.
- Φάση 3: Κατασκευή των συνδέσμων (1 μήνας). Αναφέρεται στην υλοποίηση των συνδέσμων, σύμφωνα με την προεκτίμηση της προηγούμενης φάσης.
- Φάση 4: Σκυροδέτηση δοκιμών και εκτέλεση πειραμάτων (7 μήνες). Προβλέπεται η κατασκευή και δοκιμασία των 12 δοκιμών με ρυθμό περίπου ενός δοκιμίου ανά δύο εβδομάδες.
- Φάση 5: Αναλυτική προσομοίωση πειραμάτων (7 μήνες). Ακολουθεί την πειραματική διαδικασία με διαφορά φάσης ενός μήνα.
- Φάση 6: Ανάπτυξη μεθοδολογίας χρήσης των προτεινόμενων διατάξεων (8 μήνες). Περιλαμβάνει διαδικασίες προεκτίμησης, αρχών προσομοίωσης, ελέγχου ενισχυμένου φορέα.
- Φάση 7: Τελική Έκθεση (2 μήνες). Συγγραφή του ερευνητικού αποτελέσματος.

## **II. ΣΥΝΟΨΗ ΤΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΝΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ**

### **1. Φυσικό αντικείμενο του προγράμματος**

Σε γενικές γραμμές το πρόγραμμα εκτελέσθηκε σύμφωνα με τις προβλέψεις. Η μόνη απόκλιση συνίσταται στο γεγονός ότι κατά τη διεξαγωγή του πρώτου (εκ των δύο συνολικά προβλεπομένων) πειράματος διατμητικού πετάσματος, διαπιστώθηκαν σοβαρά προβλήματα τεχνικών λεπτομερειών κατασκευής του δοκιμίου, τα οποία σχολιάζονται στο οικείο κεφάλαιο παρακάτω. Παρόλο που η πειραματική διαδικασία ολοκληρώθηκε, κρίθηκε σκόπιμο να επαναληφθεί το ίδιο ακριβώς πείραμα με εξ ολοκλήρου νέο δοκίμιο, στο οποίο βελτιώθηκαν οι τεχνικές λεπτομέρειες συνδέσεων. Κατά συνέπεια, ενώ διατίθενται δύο δοκίμια, επί της ουσίας αξιοποιήσιμο είναι μόνον το δεύτερο, από το πρώτο όμως αποκτήθηκε πολύτιμη κατασκευαστική εμπειρία.

### **2. Χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης**

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος ανέκυψε πρόβλημα διαθεσιμότητας της κατάλληλης κατηγορίας αλουμινίου στην Ελλάδα για την κατασκευή των δύο ενισχυμένων δοκιμίων με πετάσματα αλουμινίου. Σημειώνεται ότι το υλικό του πετάσματος έπρεπε να είναι αρκούντως χαμηλής αντοχής ώστε να μη προκύπτει υπερβολική ενίσχυση του πλαισίου. Τελικώς βρέθηκε λύση, η οποία όμως καθυστέρησε την εκτέλεση του προγράμματος. Για το λόγο αυτό ζητήθηκε τετράμηνη παράταση, η οποία χορηγήθηκε. Κατά συνέπεια ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος ήταν συνολικά 16 μήνες έναντι του αρχικώς προβλεφθέντος των 12 μηνών.

### **3. Επιστημονικά επιτεύγματα**

Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται ότι η χρήση μεταλλικών διατάξεων υψηλής απόσβεσης διαθέτει εξαιρετικές προοπτικές προς την κατεύθυνση της ελεγχόμενης ενίσχυσης υφισταμένων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, κυρίως κτιρίων με πιλοτή. Τούτο καθίσταται σαφές από τις λεπτομέρειες που δίδονται στα επόμενα κεφάλαια της αξιολόγησης των πειραματικών και αναλυτικών στοιχείων. Ενθαρρυντική είναι επίσης η σύγκριση των πειραματικών με τα αναλυτικά αποτελέσματα, ιδίως των ενισχυμένων πλαισίων, γεγονός που εγγυάται την αξιοπιστία της αναπτυχθείσας υπολογιστικής μεθοδολογίας χρήσης των προτεινόμενων διατάξεων σε πρακτικές εφαρμογές αντισεισμικής ενίσχυσης κτιρίων.

### **4. Δημοσιεύσεις**

Μέχρι στιγμής έχουν γίνει οι εξής δημοσιεύσεις σε Ελληνικά και Διεθνή Συνέδρια, οι οποίες αντλούν στοιχεία από το παρόν πρόγραμμα:

1. Α. Καραλής - Θ. Σαλονικιός - Κ. Στυλιανίδης: "Πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με μεταλλικά στοιχεία δικτύωσης". Πρακτικά 16ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Πάφος, 2009.

2. Karalis A., Salonikios T., Stylianidis K.: "Experimental investigation of old R/C frames strengthened against earthquakes by high dissipation steel link elements".  
International Conference on Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, Napoli, Italy, September 2010.
3. K.A. Georgiadi - Stefanidi, E.S. Mistakidis: "Numerical investigation of old RC frames strengthened against earthquakes by high dissipation steel link elements".  
International Conference on Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, Napoli, Italy, September 2010.
4. A.A. Karalis, K.A. Georgiadi - Stefanidi, T.N Salonikios., K.C. Stylianidis, E.S. Mistakidis: "Experimental and numerical study of the behaviour of high dissipation metallic devices for the strengthening of existing structures".  
Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN), Corfu, Greece, May 2011.
5. Α. Καραλής "Πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με χαλύβδινους συνδέσμους υψηλής απόσβεσης".  
Διδακτορική διατριβή, υποβλήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, κρίση Ιούνιος 2011.
6. Ε. Μπάρλας, Κ. Γεωργιάδη-Στεφανίδη, Ε. Μυστακίδης, Κ. Στυλιανίδης "Ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με μεταλλικές διατάξεις υψηλής απόσβεσης" (υποβλήθηκε περίληψη και έγινε αποδεκτή).  
7ο Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών, Βόλος, 29-30 Σεπ. & 1 Οκτ. 2011.
7. Ε. Mistakidis, Κ. Stylianidis "Seismic strengthening of R/C buildings with soft story (pilotis) through dissipative metallic Devices" (υποβλήθηκε περίληψη και έγινε αποδεκτή).  
Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas 2012, Chile, 2012.

## 5. Επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό

Το επιστημονικό προσωπικό που εργάστηκε για την ολοκλήρωση του σύνθετου αυτού προγράμματος είναι το εξής:

- Κοσμάς Στυλιανίδης, Καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ., Επιστημονικός Υπεύθυνος, ο οποίος είχε τη γενική εποπτεία του σχεδιασμού και της εκτέλεσης του προγράμματος, κυρίως όμως του πειραματικού μέρους.
- Ευριπίδης Μυστακίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ο οποίος είχε την εποπτεία του σχεδιασμού και της εκτέλεσης του αναλυτικού κυρίως μέρους του προγράμματος.
- Απόστολος Καραλής, Πολιτικός Μηχανικός Msc, Υποψήφιος Διδάκτορας Α.Π.Θ., υπεύθυνος για την εκτέλεση του πειραματικού μέρους.
- Κυριακή Γεωργιάδη – Στεφανίδη, Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφια Διδάκτορας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, υπεύθυνη για την εκτέλεση των αναλύσεων.
- Θωμάς Σαλονικιός, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ, υπεύθυνος για τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης.

Το τεχνικό προσωπικό που εργάστηκε στο πρόγραμμα είναι το εξής:

- Φαίδωνας Τηλκερίδης, τεχνίτης του Εργαστηρίου Σκυροδέματος Α.Π.Θ. ο οποίος βοήθησε στη διαμόρφωση και τη σκυροδέτηση των δοκιμίων.
- Θωμάς Κουκουφτόπουλος, τεχνίτης του Εργαστηρίου Αντοχής Υλικών Α.Π.Θ., ο οποίος υλοποίησε τις επί τόπου τροποποιήσεις και προσαρμογές των μεταλλικών στοιχείων.
- Δημήτριος Ρήτος, ηλεκτρονικός του Εργαστηρίου Αντοχής Υλικών Α.Π.Θ., ο οποίος κάλυψε τον τομέα των ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών συστημάτων.
- Δήμητρα Κακουλίδου, Διοικητικός Υπάλληλος Α.Π.Θ., η οποία ασχολήθηκε με το διαχειριστικό μέρος του προγράμματος.

Το πρόγραμμα υποστηρίχθηκε οικονομικά και τεχνολογικά από τους εξής φορείς:

- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π), ο οποίος έφερε το κύριο βάρος χρηματοδότησης.
- Εργαστήριο Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας του Α.Π.Θ. το οποίο διέθεσε τον μηχανολογικό εξοπλισμό του και μια μικρή οικονομική υποστήριξη για τρέχουσες ανάγκες.
- ΣΙΔΕΝΟΡ - Βιομηχανία Κατεργασίας Σιδήρου Α.Ε., η οποία κάλυψε πλήρως τις ανάγκες πάσης φύσεως ράβδων οπλισμού.
- Όμιλος TITAN, ο οποίος διέθεσε την απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου.

## **B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1.1 Μέθοδοι επισκευής - ενίσχυσης κατασκευών**

##### **1.1.1 Γενικά**

Ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα, κατά την επέμβαση σε μια υφιστάμενη κατασκευή διατίθενται πολλών ειδών δυνατότητες επισκευής – ενίσχυσης. Κριτήριο πάντα για την αποδοχή μιας λύσης επέμβασης αποτελεί η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών έτσι ώστε τα μεγέθη έντασης ανασχεδιασμού πρέπει να είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη αντοχής στα επισκευασμένα δομικά στοιχεία ενός φορέα.

Πρώτο βήμα κατά την αποτίμηση μιας κατασκευής αποτελεί ο έλεγχος επάρκειας της φέρουσας ικανότητάς της. Στη συνέχεια, η εξέταση εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης αποτελεί το δυσκολότερο τμήμα ολόκληρης της διαδικασίας. Οι τρεις δυνατές επιλογές είναι η επισκευή, η ενίσχυση και η καθαίρεση. Η επισκευή επαναφέρει την κατασκευή στην αρχική της μορφή (προ βλάβης) ενώ η ενίσχυση αυξάνει τη σεισμική ικανότητα του φορέα σε επίπεδα υψηλότερα από τα αρχικά (Στυλιανίδης 2006).

Η σεισμική δράση εισάγει μια ποσότητα κινητικής ενέργειας στην κατασκευή, η οποία κατά την ταλάντωση, μετατρέπεται σε ενέργεια παραμόρφωσης και αντίστροφα. Έτσι, μια καμπύλη μορφής υπερβολής (s) (Σχήμα 1.1) αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα μιας κατασκευής. Η καμπύλη αυτή αποτελεί το όριο μεταξύ ασφαλούς και ανασφαλούς επιλογής της μεθόδου ενίσχυσης. Η περιοχή συνεπώς άνω της συγκεκριμένης καμπύλης αναφέρεται σε ασφαλή σχεδιασμό. Ανάλογα με τις ανάγκες, είναι δυνατή η αναβάθμιση μιας κατασκευής αυξάνοντας την αντοχή, τη δυσκαμψία, την πλαστιμότητα, την απορρόφηση ενέργειας ή και συνδυασμό των παραπάνω. Στο σχήμα 1.1 η καμπύλη (a) αναπαριστά τη συμπεριφορά μιας κατασκευής χωρίς ενίσχυση, η καμπύλη (b) τη συμπεριφορά μετά την ενίσχυση στην οποία αυξήθηκε η αντοχή, η (c) μια κατασκευή η οποία μετά την επέμβαση παρουσίασε αύξηση της πλαστιμότητας, την ικανότητα δηλαδή να παραμορφώνεται ακόμη και σε μεγάλες μετατοπίσεις χωρίς τη δραστική πτώση της αντοχής, και τέλος η (d) αποτελεί συνδυασμό επέμβασης με αύξηση αντοχής και πλαστιμότητας ταυτόχρονα.

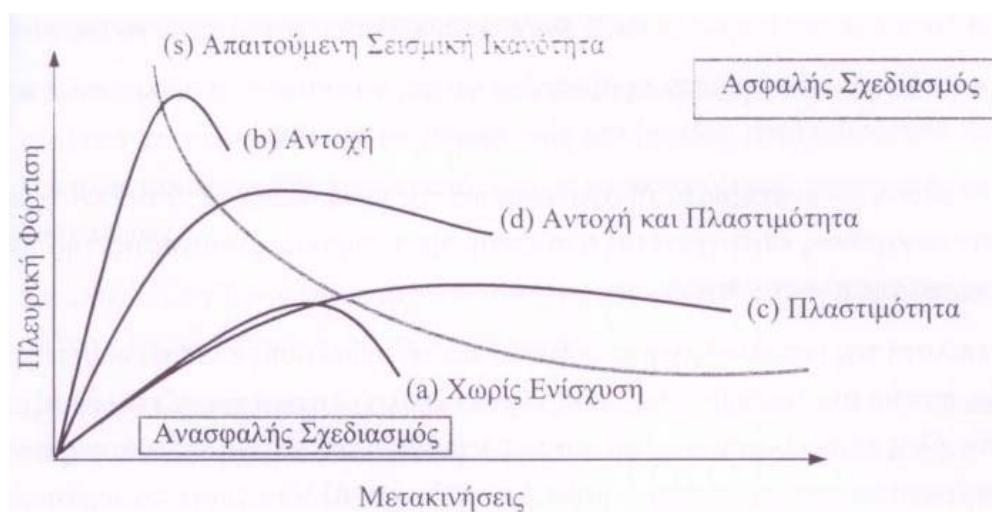
##### **1.1.2 Μορφές επέμβασης**

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν διαφόρων ειδών επεμβάσεις ή και συνδυασμός μεταξύ τους. Οι επεμβάσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με την πλήρωση πλαισίων Ο.Σ. ή ακόμη και με τις τοπικές επεμβάσεις σε συγκεκριμένα δομικά στοιχεία του φέροντα οργανισμού (Δρίτσος 2005).

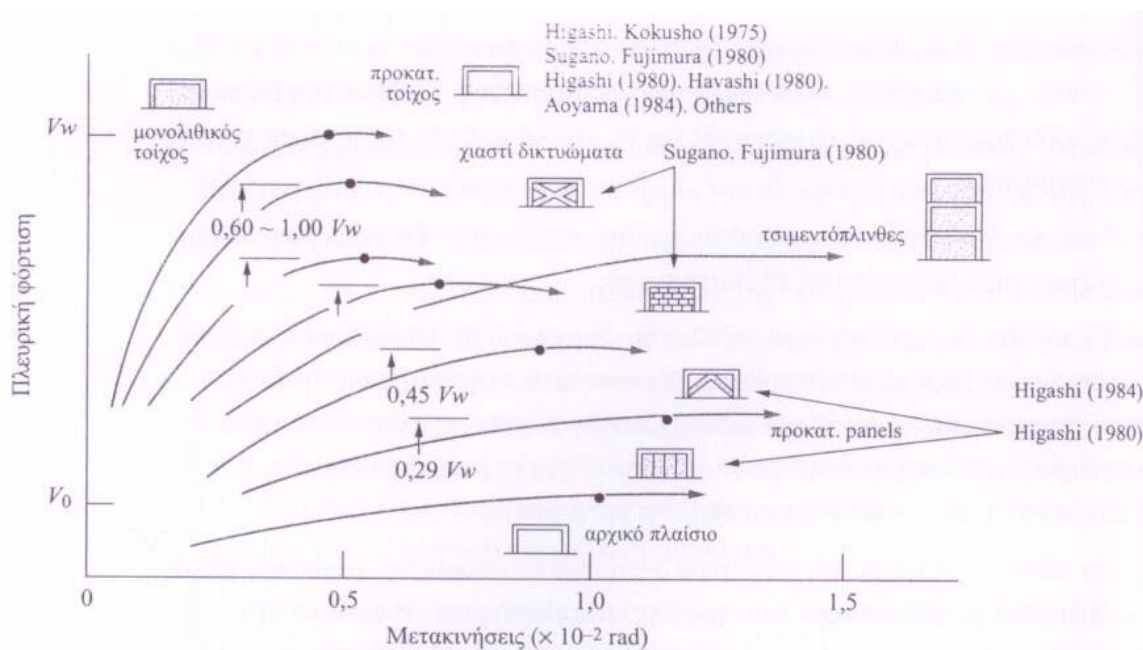
Σημαντικότερες μέθοδοι επέμβασης σε υφιστάμενους φορείς, αποτελούν η κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων η οποία στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του φορέα, η προσθήκη μεταλλικών δικτυωμάτων εντός των πλαισίων, η οποία αποσκοπεί στην αύξηση της αντοχής αλλά κυρίως στην αύξηση της δυσκαμψίας και της



πλαστιμότητας, η πλήρωση με τοιχοποιία, προκατασκευασμένα στοιχεία, πετάσματα αλουμινίου κ.α. Επίσης για αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής ενδείκνυται η χρήση μανδυνών Ο.Σ. σε επιλεγμένα δομικά στοιχεία του φέροντα οργανισμού (τοπικές επεμβάσεις). Λόγω όμως του γεγονότος ότι όλες οι παραπάνω μέθοδοι ενίσχυσης αποτελούν ουσιαστικά προσθήκες νέων στοιχείων (υλικών) επί της κατασκευής, ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στη σύνδεση υφισταμένων και νέων στοιχείων έτσι ώστε να επιτυγχάνονται κατά το δυνατό συνθήκες μονολιθικότητας. Το σχήμα 1.2 αναπαριστά αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην Ιαπωνία (Sugano S. 1996) και αφορούν την αποδοτικότητα διαφόρων μορφών πλήρωσης πλαισίων Ο.Σ. Παρατηρείται ότι υψηλές αντοχές και δυσκαμψίες συνοδεύονται από μικρές ανελαστικές παραμορφώσεις. Επίσης παρατηρείται ότι η υπό εξέταση μέθοδος επέμβασης (προσθήκη μεταλλικού δικτύωματος σχήματος Λ) επιφέρει αύξηση αντοχής, δυσκαμψίας αλλά κυρίως πλαστιμότητας.



Σχ. 1.1 Στρατηγικές ενίσχυσης (Δρίτσος 2005).



Σχ. 1.2 Αποτελεσματικότητα διαφόρων μορφών ενίσχυσης (Sugano 1996).

## 1.2 Μεταλλικές διατάξεις ενίσχυσης

### 1.2.1 Γενικά

Το πρόβλημα της ενίσχυσης υφισταμένων, παρελθούσης γενιάς, κτιρίων αλλά και σημερινών με πιλοτή, ιδίως στην περίπτωση αμιγώς πλαισιακών πολυώροφων κατασκευών, εξακολουθεί να παραμένει πάντα επίκαιρο λόγω της υψηλής τρωτότητας των συστημάτων αυτών, τα οποία ευλόγως θα πρέπει να έχουν προβάδισμα (μεταξύ άλλων) στις προτεραιότητες επέμβασης της πολιτείας αλλά και των ιδιωτών. Στο σχέδιο μάλιστα του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (τελικό κείμενο, Σεπτέμβριος 2010), ενθαρρύνεται η μέθοδος ενίσχυσης με μεταλλικά στοιχεία δικτύωσης, τα οποία στην παρούσα περίπτωση έχουν τον ειδικό χαρακτήρα των αποσβεστήρων. Η τοποθέτηση διαγωνίων μεταλλικών συνδέσμων σε φαντώματα πλαισιακών φορέων αποσκοπεί στην ανάληψη των σεισμικών φορτίων αυξάνοντας τη φέρουσα ικανότητα. Λόγω της ολκιμότητας του, ο χάλυβας παρουσιάζει ανοχή σε υψηλές πλαστικές παραμορφώσεις συμβάλλοντας αποτελεσματικά στην ικανότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας. Η κατάλληλη προεπιλογή της μορφής των διαγωνίων μεταλλικών συνδέσμων μπορεί να επιφέρει δραστική αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας, της πλαστιμότητας και της απορρόφησης ενέργειας. Η χρήση τους ενδείκνυται σε μαλακούς ορόφους πλαισιακών φορέων, μειωμένης δυσκαμψίας όπως οι ισόγειες πιλοτές κτιρίων. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στην προεπιλογή των φαντωμάτων εντός των οποίων θα τοποθετηθούν οι σύνδεσμοι, έτσι ώστε να αποφευχθεί τυχόν έκκεντρη ενίσχυση του πλαισιακού φορέα. Επιπλέον, οι συνδέσεις των μεταλλικών στοιχείων με το πλαίσιο Ο.Σ. αποτελούν νευραλγικό σημείο στην απόδοση μιας τέτοιας μορφής ενίσχυσης.

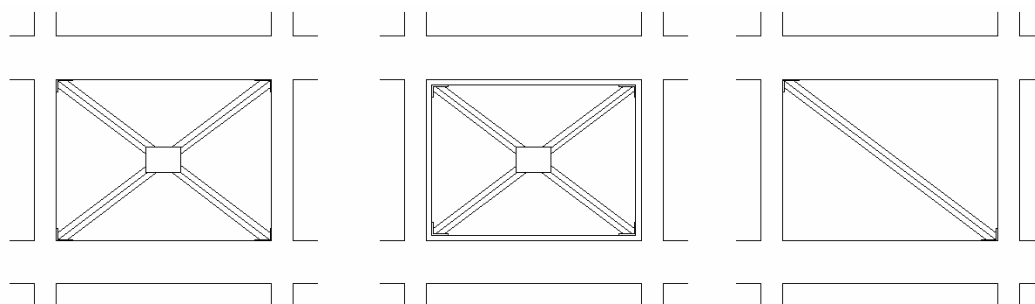
Οι δικτυωτοί αυτοί σύνδεσμοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα και β) Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν οι μονοί ή διπλοί διαγώνιοι χιαστί σύνδεσμοι (Σχήμα 1.3). Η ενίσχυση μιας κατασκευής με τέτοιου είδους μεταλλικούς συνδέσμους βασίζεται στην αντοχή της εφελκυόμενης ράβδου και περαιτέρω στη συνδεσμολογία της με τους κόμβους του πλαισίου Ο.Σ. Η επίδραση της θλιβόμενης ράβδου στην παραλαβή σεισμικών δράσεων είναι αμελητέα. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι σύνδεσμοι εκείνοι των οποίων τουλάχιστον ένα από τα δύο άκρα της διαγωνίου συνδέεται με το ζυγώμα έκκεντρα ως προς τον αντίστοιχο κόμβο του υποστυλώματος (Σχήμα 1.4). Το τμήμα του ζυγώματος μεταξύ των δύο έκκεντρα συνδεόμενων κόμβων ονομάζεται δοκός σύζευξης και καταπονείται έντονα σε κάμψη και σε διάτμηση από τις σεισμικές δράσεις και κατά συνέπεια έχει αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας. Ο τύπος ενίσχυσης ο οποίος κυρίως διερευνάται στην παρούσα εργασία και συντίθεται από μεταλλικά στοιχεία δικτύωσης μορφής Λ, ανήκει στην κατηγορία των συνδέσμων με εκκεντρότητα. Οι διαγώνιες ράβδοι αυτής της μορφής ενίσχυσης συνδέονται κεντρικά με τους κόμβους του πλαισίου. Αντίθετα, το τρίτο σκέλος συνδέει τις διαγώνιες αυτές ράβδους με το μέσο, του ζυγώματος. Οι οριζόντιες σεισμικές δράσεις παραλαμβάνονται κυρίως από το κατακόρυφο αυτό στοιχείο η συμπεριφορά του οποίου εξαρτάται από τη γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του. Ο άλλος τύπος του διατμητικού πετάσματος διαθέτει παρόμοια χαρακτηριστικά, συνδέεται όμως με το μέσον του υπερκείμενου ζυγώματος και της υποκείμενης δοκού, συνδετήριας ή πεδιλοδοκού.

Στην κατηγορία των έκκεντρων δικτυωτών συνδέσμων ανήκουν επίσης και μεταλλικές διατάξεις μορφής Λ, Υ και παραλλαγές αυτών (Σχήμα 1.4) οι οποίες αποτελούνται από δύο

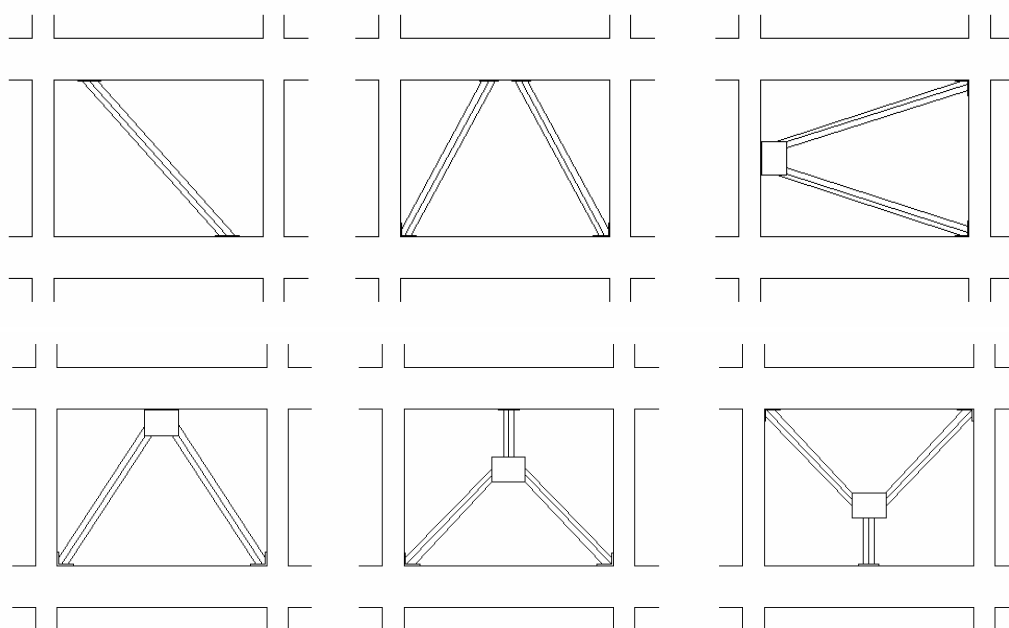
διαγώνια μεταλλικά στοιχεία, τα οποία συντρέχουν σε ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο των οριζοντίων μελών του πλαισίου. Τέλος στην ίδια κατηγορία ανήκει και η μεταλλική διάταξη μορφής Κ η οποία όμως συνιστάται να αποφεύγεται καθώς λόγω της κατασκευής της, υπό την επίδραση σεισμικών δράσεων μεταφέρει μεγάλο ποσοστό της έντασης στο υποστύλωμα περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την ικανότητα για πλάσσιμη συμπεριφορά της κατασκευής.

Επισημαίνεται ακόμη ότι λόγω των ψαθυρών μορφών αστοχίας των συνδέσεων των μεταλλικών στοιχείων με το πλαίσιο Ο.Σ., συχνά χρησιμοποιούνται μεταλλικά πλαίσια τα οποία τοποθετούνται εντός του φανώματος διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τη σύνδεση του μεταλλικού δικτυώματος με το πλαίσιο Ο.Σ. αυξάνοντας ταυτόχρονα επιπλέον τη δυσκαμψία και την αντοχή. Το μεταλλικό πλαίσιο συνδέεται με το πλαίσιο Ο.Σ. μέσω οπλισμένης τσιμεντοκονίας και βλήτρων περιμετρικά του πλαισίου και πάνω σε αυτό συγκολλούνται τα στοιχεία του μεταλλικού δικτυώματος (Σχήμα 1.5).

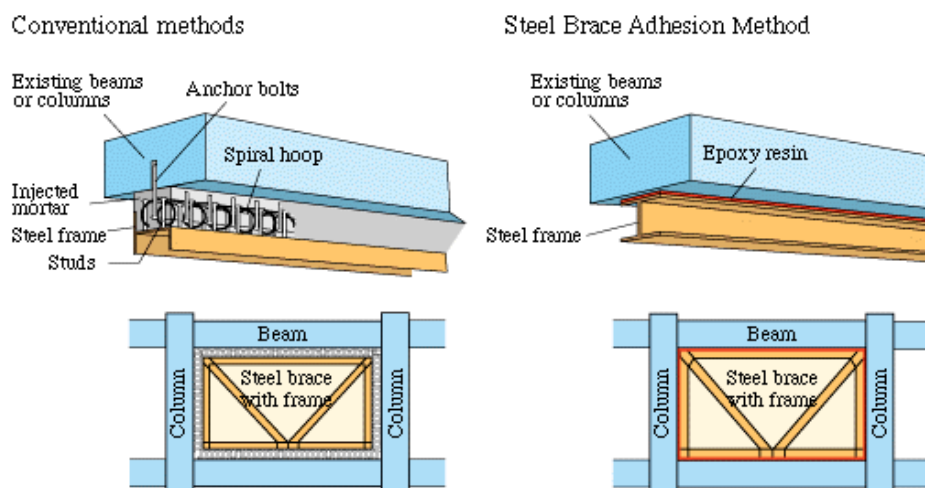
Η χρήση μεταλλικών στοιχείων δικτύωσης για την ενίσχυση κατασκευών από Ο.Σ. γενικά θεωρείται μια εύκολη και οικονομική λύση ενίσχυσης. Πρέπει πάντως να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό και την κατασκευή των στοιχείων αυτών έτσι ώστε να αποφεύγονται κατά το δυνατό πρώιμες αστοχίες.



Σχ. 1.3 Χιαστί και διαγώνιοι δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα (Σπυράκος 2004).



Σχ. 1.4 Διαγώνιοι δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα (Σπυράκος 2004).



Σχ. 1.5 Συνδεσμολογία μεταξύ πλαισίου Ο.Σ. και διαγωνίων μεταλλικών ράβδων μέσω μεταλλικού πλαισίου και οπλισμένης τσιμεντοκονίας (Takenaka T. 1999).

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθούν οι συνήθεις μορφές αστοχιών των δικτυωτών συνδέσμων όλων των ανωτέρω περιπτώσεων:

- Αστοχία της εφελκόμενης ράβδου λόγω θραύσης και της θλιβόμενης λόγω λυγισμού.
- Εξόλκευση των βλήτρων των συνδέσεων των μεταλλικών στοιχείων με τα διάφορα τμήματα του πλαισίου Ο.Σ.
- Αστοχία της συνδεσμολογίας των μεταλλικών ράβδων με τα κομβοελάσματα (θραύση ραφών συγκόλλησης ή κοχλιών).
- Τοπική μορφή αστοχίας του κομβοελάσματος στις περιοχές μεταξύ των βλήτρων σύνδεσης με το πλαίσιο Ο.Σ. (π.χ. σύνθλιψη άντυγας).
- Θραύση βλήτρων λόγω ανακυκλιζόμενης καταπόνησης.

### 1.2.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου ενίσχυσης μέσω μεταλλικών διατάξεων

Η χρήση μεταλλικών δικτυωμάτων για την αναβάθμιση πλαισιακών φορέων από Ο.Σ. έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα έναντι άλλων εναλλακτικών λύσεων, όπως για παράδειγμα η εμφάνιση τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος.

- Η ενσωμάτωση μεταλλικών στοιχείων σε υφιστάμενα κτίρια δημιουργεί ελάχιστη ενόχληση στη λειτουργία των κτιρίων, αποτελεί δε την πλέον «καθαρή» λύση. Υπό την έννοια αυτή είναι πιο εύκολα αποδεκτή από τους χρήστες έναντι άλλων λύσεων βαρέως τύπου.
- Η λύση αυτή ελαχιστοποιεί την αισθητική αλλοίωση, διατηρεί τις επιφάνειες φωτισμού αλλά και διέλευσης, έστω υπό όρους, προς την πιλοτή, συγχρόνως δε αποτρέπει τις παραβιάσεις της πολεοδομικής νομοθεσίας ως προς την μετατροπή τους σε απολύτως κλειστούς χώρους που δημιουργούνται από πλήρη φαντώματα σε χώρους κύριας χρήσης.
- Καθώς το προτεινόμενο υλικό είναι ο συνηθισμένος χάλυβας υπό μορφή διατομών, πλακών, λεπίδων, οι δε διαμορφώσεις στοιχειώδεις, το επίπεδο της απαιτούμενης τεχνολογίας εφαρμογής είναι χαμηλό και εύκολα προσβάσιμο. Υπό την έννοια αυτή οι

προτεινόμενες διατάξεις ανήκουν στην κατηγορία των εύκολα εφαρμόσιμων μεθόδων ενίσχυσης.

- Παρουσιάζουν σχεδόν μηδενική επιβάρυνση των υφισταμένων κατασκευών όσον αφορά τα κατακόρυφα μόνιμα φορτία λόγω του μικρού ιδίου βάρους τους.
- Οι προτεινόμενες διατάξεις διαθέτουν το χαρακτηριστικό της ευκολίας και της ταχύτητας όχι μόνον πρώτης εφαρμογής αλλά και αντικατάστασης μετά από σεισμό, όταν οι παραμορφώσεις των «αναλώσιμων» στοιχείων είναι μεγάλες.
- Οι λύσεις είναι γενικά χαμηλού κόστους καθώς το πρωτογενές υλικό είναι ιδιαίτερα φθηνό.

Η εφαρμογή παρόμοιων αντισεισμικών διατάξεων, τόσο για το σχεδιασμό νέων κτιρίων, μεταλλικών κυρίως, όσο και για την ενίσχυση υφισταμένων, δεν είναι νέα. Συνήθως πάντως χρησιμοποιούνται τόσο υλικά (π.χ. αλουμίνιο ή ειδικός χάλυβας χαμηλής αντοχής) όσο και διατάξεις υψηλής τεχνολογίας (π.χ. ειδικοί μονόπλευροι σύνδεσμοι). Η παρούσα εργασία δεν προτείνει τέτοια υλικά ή διατάξεις καθώς επικεντρώνεται στην πρακτική απαίτηση της άμεσης και ευρείας εφαρμοσιμότητας. Παρόλα αυτά διαθέτει στοιχεία πρωτοτυπίας καθώς είναι ιδιαίτερα προσανατολισμένη προς τις τοπικές συνθήκες. Γι' αυτό θα μελετηθούν αντιπροσωπευτικά συστήματα παλιών ελληνικών κατασκευών Ο.Σ. Τα πλαισιακά δοκίμια Ο.Σ. είναι κατασκευασμένα με τα συνήθη υλικά προηγούμενων δεκαετιών (λείος χάλυβας σχετικά χαμηλής αντοχής και σκυρόδεμα επίσης σχετικά χαμηλής αντοχής) και οπλισμένα σύμφωνα με τις προβλέψεις προηγούμενων κανονισμών (αραιοί συνδετήρες, χωρίς επιμέλεια στη διαμόρφωση αγκίστρων και μικρά μήκη αγκύρωσης). Έμφαση επίσης θα δοθεί στην αντιμετώπιση της ελληνικής ιδιοτυπίας της πιλοτής.

### 1.2.3 Εξεταζόμενες μορφές ενίσχυσης

Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα πλεονεκτήματα της χρήσης μεταλλικών δικτυωμάτων για την ενίσχυση των κατασκευών Ο.Σ., όσο και την επιθυμία για την ανάπτυξη μιας μεθόδου συμβατής με παλαιού τύπου αμιγώς πλαισιακούς φορείς, στο παρόν πρόγραμμα εξετάζεται κυρίως η χρήση μεταλλικού δικτυώματος σχήματος  $\Lambda$  (Σχήμα 1.6).

Τα διαγώνια σκέλη υπερδιαστασιολογήθηκαν σκοπίμως για την αποφυγή λυγισμού. Στόχος είναι η συγκέντρωση της βλάβης στον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο που συνδέει το ζύγωμα με τη μεταλλική διάταξη αποσκοπώντας στην απόσβεση ενέργειας. Οι συνδέσεις στους κόμβους καθώς επίσης και οι διαγώνιες ράβδοι δεν αποτελούν παραμέτρους υπό διερεύνηση.

Στη σειρά των πειραματικών δοκιμών κύρια παράμετρος διερεύνησης αποτέλεσε η διαφοροποίηση του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου, με στόχο την αποτίμηση αυτής της μορφής επέμβασης βάσει της επιθυμητής συμπεριφορά της ενίσχυσης (αντοχή, πλαστιμότητα, δυσκαμψία, απόσβεση ενέργειας) λαμβάνοντας πάντα υπόψη και το βαθμό βλάβης της κατασκευής.

Με τους συνδέσμους αυτού του τύπου αφενός αναβαθμίζεται η διαθέσιμη αντοχή και δυσκαμψία του συστήματος, συγχρόνως όμως μειώνεται δραστικά η απαίτηση αντοχής του συστήματος έναντι σεισμού λόγω της υψηλής απόσβεσής τους.

Ως εναλλακτική μέθοδος ενίσχυσης, όχι όμως σε μεγάλο βάθος, εξετάζεται η χρήση διατμητικού πετάσματος αλουμινίου (Σχήμα 1.7).



Είναι προφανές ότι το πειραματικό σκέλος δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσει το σύνολο των υπεισερχομένων παραμέτρων. Επιλέγονται μόνον ορισμένες παράμετροι, οι οποίες θα προσφέρουν στοιχεία για την τροφοδότηση και την επαλήθευση των αναλυτικών προσομοιώσεων. Αυτές, για την ενίσχυση με μεταλλικά στοιχεία σχήματος  $\Lambda$ , είναι οι εξής:

- Το είδος και η γεωμετρία της διατομής του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου.
- Το μήκος του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου.
- Η ύπαρξη ή όχι αξονικού φορτίου στους στύλους.

Για το πέτασμα αλουμινίου εξετάσθηκε ένα μόνον τυπικό δοκίμιο, δεν υπήρχε συνεπώς δυνατότητα παραμετρικών διερευνήσεων.

### 1.3 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

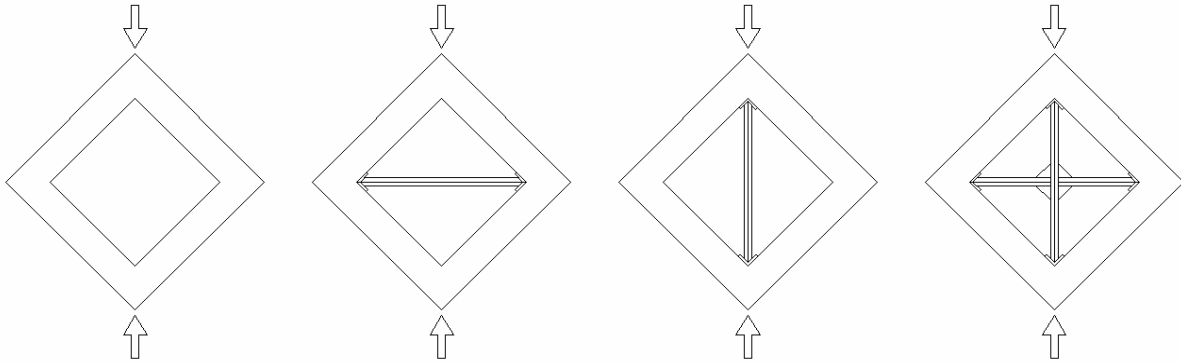
Οι **Maheri M.R. και Sahebi A. (1997)** ασχολήθηκαν σε πειραματικό επίπεδο με την ενίσχυση πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος με τη χρήση μεταλλικών στοιχείων. Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε μια σειρά πλαισιακών δοκιμών. Κύριος στόχος αυτής της σειράς των πειραματικών δοκιμών αποτέλεσε η διερεύνηση του βαθμού αποτελεσματικότητας ενισχύσεων με την εφαρμογή μεταλλικών δικτυωμάτων διαφόρων τύπων εντός των φανωμάτων, κατά πόσο δηλαδή μια τέτοιου είδους μορφή ενίσχυσης αυξάνει τη διατμητική αντοχή του πλαισίου και κατά πόσο τα μεταλλικά αυτά στοιχεία είναι ανθεκτικά σε θλίψη και εφελκυσμό. Επίσης σε αυτή την εργασία δίνεται ιδιαίτερη σημασία στις συνδέσεις μεταξύ μεταλλικών στοιχείων και οπλισμένου σκυροδέματος, ζήτημα το οποίο πολλές φορές όπως φαίνεται από τη διεθνή βιβλιογραφία αποτέλεσε μια από τις σημαντικές αιτίες αστοχίας τέτοιου είδους διατάξεων.

Κατασκευάστηκαν τέσσερα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος διαστάσεων (58X58)cm με διατομή στύλου και δοκού 10X10cm, κύριο οπλισμό 4Φ10 και συνδετήρες Φ6/6. Το πρώτο δοκίμιο αποτελεί το δοκίμιο αναφοράς, το οποίο δεν φέρει ενίσχυση και χρησιμοποιείται για τη συγκριτική αξιολόγηση με τα υπόλοιπα. Το δεύτερο δοκίμιο φέρει διαγώνια μεταλλική ράβδο εντός του φανώματος η οποία καταπονείται σε εφελκυσμό. Ακολουθεί το τρίτο δοκίμιο το οποίο είναι όμοιο με το δεύτερο με τη διαφορά ότι η διαγώνια ράβδος υποβάλλεται σε θλίψη. Τέλος το τέταρτο δοκίμιο φέρει χιαστί μεταλλικές ράβδους. Κατά την πειραματική δοκιμή χρησιμοποιήθηκε πρέσα σύνθλιψης και κατά συνέπεια τα δοκίμια τοποθετήθηκαν υπό γωνία  $45^{\circ}$  (Σχήμα 1.8). Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε κυκλική φόρτιση με διαδοχικά βήματα μέχρι την τελική αστοχία. Κατά τη φόρτιση ο κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος υποβάλλεται σε θλίψη ενώ αντίθετα ο οριζόντιος σε εφελκυσμό. Χρησιμοποιήθηκαν ταινίες μέτρησης της παραμόρφωσης επάνω στα μεταλλικά στοιχεία.

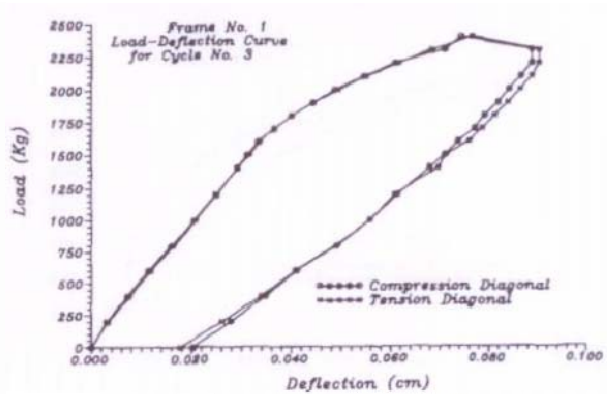
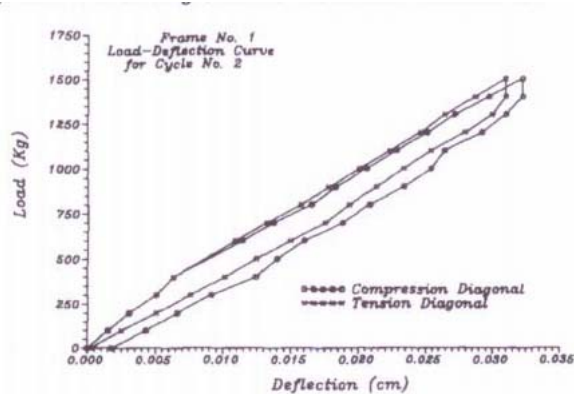
Στο σχήμα 1.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών. Το γυμνό πλαίσιο διατήρησε μια ελαστική συμπεριφορά μέχρι το 30% περίπου της αντοχής του. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις κύκλοι φόρτισης μέχρι την τελική αστοχία. Τα πρώτα έντονα ρήγματα εμφανίστηκαν λίγο πριν την πλήρη αστοχία του δοκιμίου.

Για το δοκίμιο με χιαστί μεταλλικό δικτύωμα μέχρι την αστοχία πραγματοποιήθηκαν εννιά κύκλοι φόρτισης. Όπως ήταν αναμενόμενο, το δοκίμιο παρουσίασε αύξηση της αντοχής (έως και τέσσερις φορές) και της δυσκαμψίας. Από τους δύο μεταλλικούς συνδέσμους του

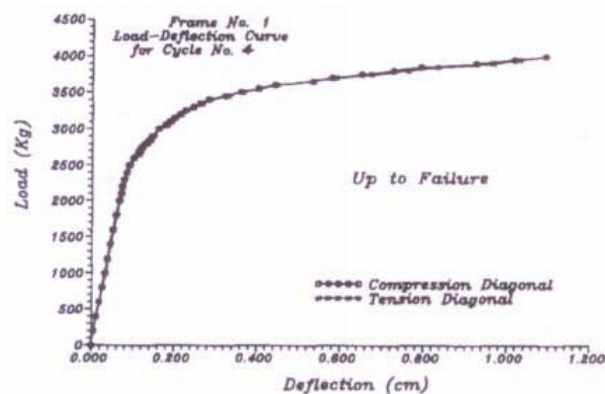
δικτυώματος ο εφελκόμενος είχε μεγαλύτερη συμμετοχή στην ανάληψη της έντασης σε σχέση με το θλιβόμενο. Η πλήρης αστοχία επήλθε αμέσως με την αστοχία της εφελκόμενης ράβδου στο σημείο σύνδεσης με τους κόμβους του δοκιμίου και ταυτόχρονο λυγισμό της θλιβόμενης.



Σχ. 1.8 Διαδικασία επιβολής φόρτισης των δοκιμίων.

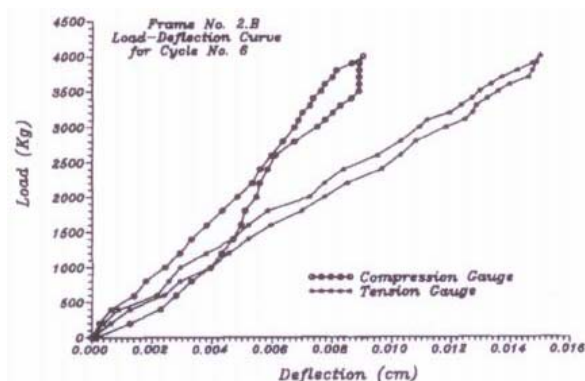


Γυμνό πλαίσιο 2<sup>ος</sup> κύκλος ( $p_{max}=0.3\rho u$ ) Γυμνό πλαίσιο 3<sup>ος</sup> κύκλος ( $p_{max}=0.6\rho u$ )

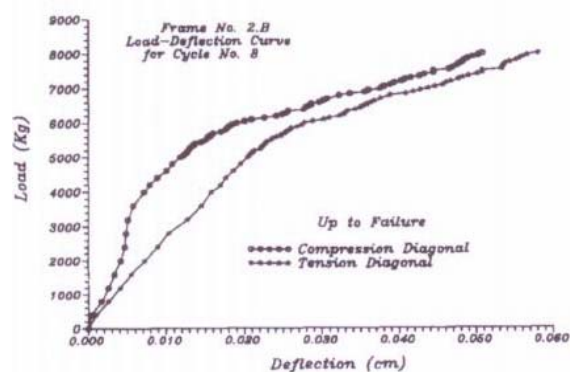


Γυμνό πλαίσιο τελευταίος κύκλος ( $p_{max}=\rho u$ )

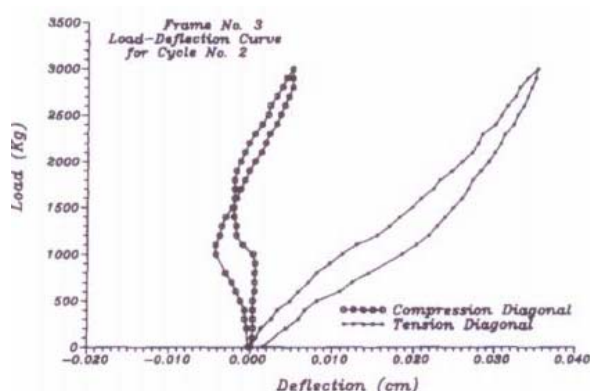




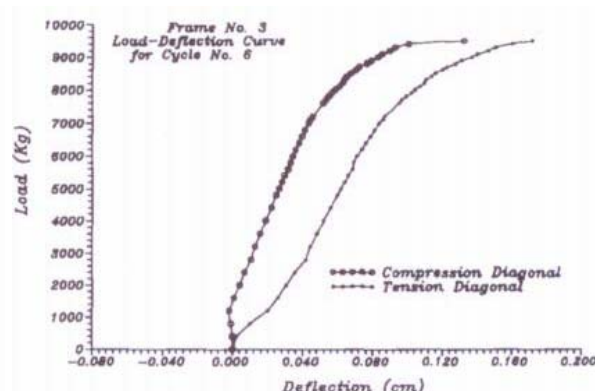
Χιαστί σύνδεσμοι τελευταίος κύκλος ( $p_{max}=p_u$ )



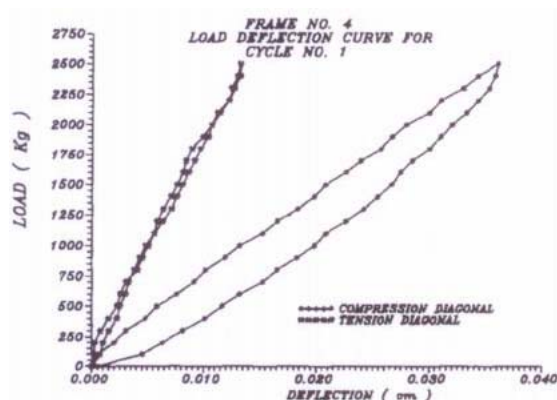
Χιαστί σύνδεσμοι τυπικός κύκλος φόρτισης



Θλιβόμενη ράβδος ( $p_{max}=0.3p_u$ )



Θλιβόμενη ράβδος ( $p_{max}=p_u$ )



Εφελκούμενη ράβδος ( $p_{max}=0.3p_u$ )

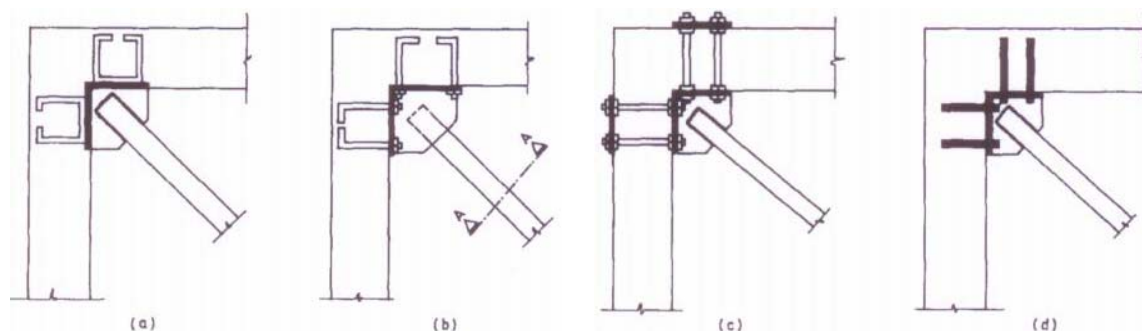
Frame	Stress	Ult. strength (ACI-design)	Elastic analysis ( $P=1000$ kg)	Estimated load at failure (tonne)
Unbraced	Bending	33 075	8485	3.9*
	Axial	2184	853	6.2
	Shear	2440	353	6.9
Comp.-braced	Bending	33 075	2237	14.8*
	Axial	2184	93.2	23.4
	Shear	2440	93.2	26.2
Tens.-braced	Bending	35 700	2523	14.1*
	Axial	11 550	602	19.2
	Shear	2440	93.2	26.2
X-braced	Bending	35 700	1314	27.2*
	Axial	11 550	313	32.0
	Shear	2400	54.7	44.6

Εκτίμηση αντοχής δοκιμών

Σχ. 1.9 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

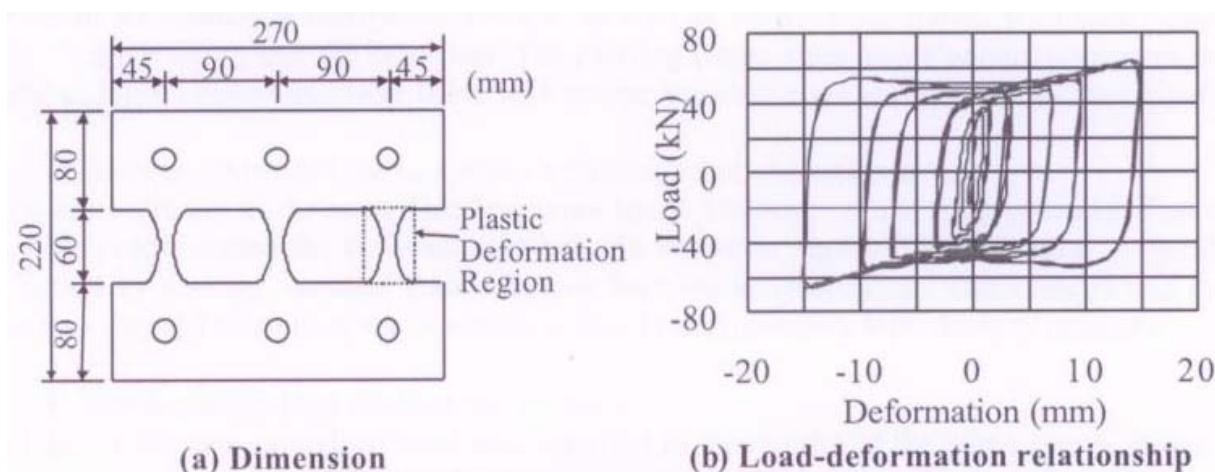
Το δοκίμιο με θλιβόμενο το μεταλλικό σύνδεσμο υποβλήθηκε σε έξι κύκλους φόρτισης μέχρι την αστοχία. Η αστοχία ξεκίνησε με την εμφάνιση ρηγματώσεων στους ελεύθερους κόμβους λόγω εφελκυστικών δράσεων. Με την περαιτέρω φόρτιση έλαβε χώρα λυγισμός της θλιβόμενης ράβδου του δοκιμίου με ταυτόχρονη πτώση της αντοχής του. Στο δοκίμιο με την εφελκούμενη μεταλλική ράβδο ολοκληρώθηκαν τέσσερις κύκλοι φόρτισης. Στον πρώτο κύκλο το δοκίμιο διατήρησε ελαστική συμπεριφορά. Η παραμόρφωση της εφελκούμενης ράβδου ήταν μικρότερη σε σχέση με τη θλιβόμενη ράβδο του προηγούμενου δοκιμίου.

Παρουσιάζονται επίσης διάφορων ειδών συνδεσμολογίες μεταλλικών στοιχείων με κόμβους σκυροδέματος (Σχήμα 1.10). Οι παρακάτω συνδεσμολογίες αποτελούν μια εύκολη και οικονομική λύση. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό και την κατασκευή αυτού του είδους των συνδέσεων διότι αποτελούν μια από τις σημαντικότερες αιτίες αστοχιών. Όπως διακρίνεται και από τις εικόνες, υπάρχουν συνδεσμολογίες οι οποίες τοποθετούνται πριν τη σκυροδέτηση (a,b) και άλλες οι οποίες τοποθετούνται επί υφισταμένων κατασκευών (c,d).



Σχ. 1.10 Διάφοροι τρόποι συνδεσμολογίας μεταλλικών διατάξεων σε κόμβους σκυροδέματος.

Οι **Kunisue et al (2000)** δοκίμασαν πλαίσια Ο.Σ. ενισχυμένα με μεταλλικά στοιχεία δικτύωσης και διατμητικά επιφανειακά στοιχεία (πετάσματα) τα οποία φέρουν σε συγκεκριμένες θέσεις ελαστοπλαστικούς αποσβεστήρες προκειμένου να επιτευχθεί η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απορρόφηση της έντασης. Η εφαρμογή αυτού του είδους των ενισχύσεων αφορά υφιστάμενες κατασκευές και αποσκοπεί στην αύξηση της αντοχής αλλά και την ταυτόχρονη αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας σε μια σεισμική δράση. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν ειδικής μορφής ελαστοπλαστικοί αποσβεστήρες τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οποίων καθώς και η συμπεριφορά τους σε συνθήκες ανακυκλιζόμενης φόρτισης απεικονίζονται στο σχήμα 1.11.



Σχ. 1.11 Ελαστοπλαστικοί αποσβεστήρες - Γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά.

Στο σχήμα 1.12 παρουσιάζονται αναλυτικά τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση δοκιμών. Κατασκευάστηκαν τέσσερα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος υπό κλίμακα 1:2 εκ των οποίων το πρώτο είναι το δοκίμιο αναφοράς, χωρίς ενίσχυση, το

δεύτερο και το τρίτο φέρουν εσωτερικά μεταλλικό πλαίσιο επί του οποίου εφαρμόζεται η μεταλλική διάταξη ενίσχυσης σχήματος Λ και V αντίστοιχα και το τέταρτο και τελευταίο δοκίμιο φέρει ενίσχυση τύπου μεταλλικού πετάσματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα δοκίμια τα οποία φέρουν ενίσχυση διαθέτουν σε συγκεκριμένα σημεία τους ελαστοπλαστικούς αποσβεστήρες που προαναφέρθηκαν. Τέλος το δεύτερο και το τρίτο δοκίμιο φέρουν όπως προαναφέρθηκε σε όλο το μήκος της εσωτερικής περιμέτρου μεταλλικό πλαίσιο το οποίο συνδέεται με το πλαίσιο Ο.Σ. μέσω οπλισμένης και άοπλης τσιμεντοκονίας αντίστοιχα. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση με αξονικό φορτίο στους στύλους. Η διάταξη επιβολής της ιστορίας φόρτισης φαίνεται στο σχήμα 1.13.

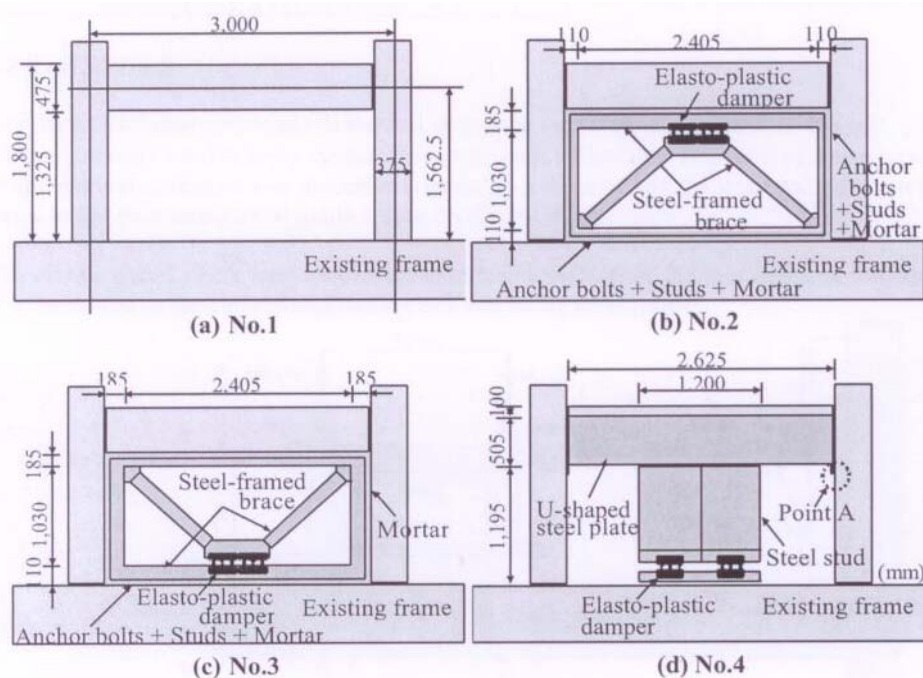


Fig.2: Test specimens

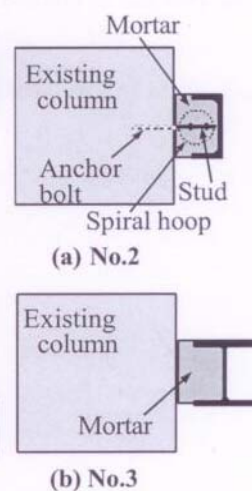


Fig.3: Detail of connection

Table 1: Member sections

Member	Column	Beam	
Section		End 	Mid 
Bar arrangement	20-13 $\phi$ Hoop: End 4 $\phi$ @50 Mid 4 $\phi$ @75	Top: 6-D13 Bot.: 4-D13 St: 4 $\phi$ @75	Top: 3-D13 Bot.: 3-D13 St: 4 $\phi$ @75

Table 2: Concrete strength

Concrete	Frame				Mortar		
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.2	No.3	No.4
Compressive(MPa)	20.7	21.6	20.8	21.7	52.7	59.6	76.4
Split Tensile(MPa)	2.33	2.26	1.93	1.86	---	---	---

Table 3: Material properties

Reinf. Bar & Steel	Size	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)
Column Long. Reinf.	13 $\phi$	No.1,2: 333 No.3,4: 336	458 473
Beam Long. Reinf.	D13	No.1,2: 343 No.3,4: 354	494 513
Hoop & Stirrup	4 $\phi$	No.1,2: 209 No.3,4: 222	317 320
Steel Frame	H-150 x 150 x 7 x 10 C-150 x 75 x 9 x 12.5	392 392	---
Brace	H-150 x 150 x 7 x 10	392	---
Damper	PL-9	No.2: 305 No.3,4: 314	432 447

Σχ. 1.12 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δοκιμίων.



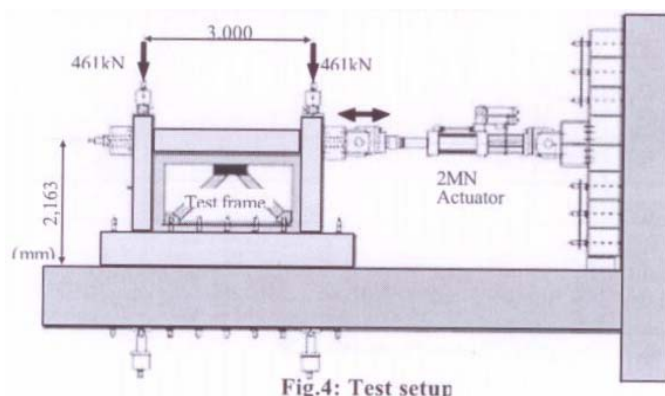
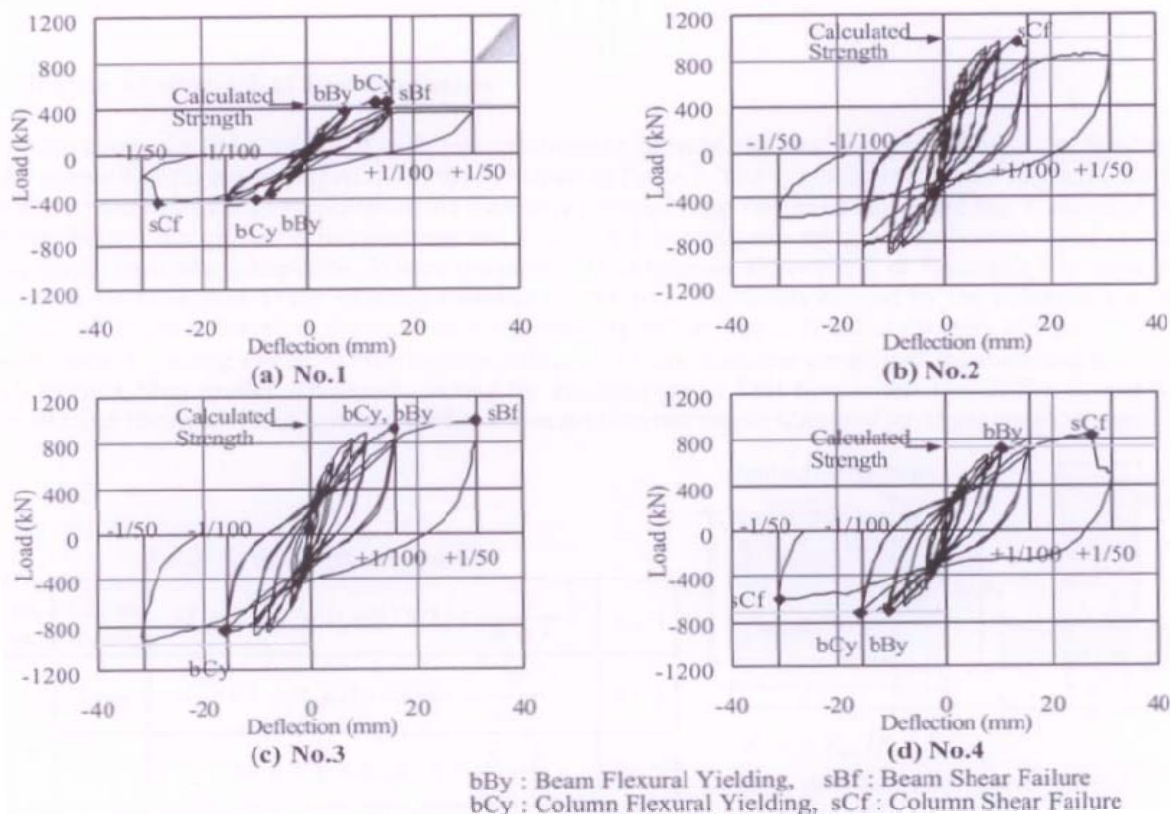


Fig.4: Test setup

Σχ. 1.13 Διαδικασία επιβολής ιστορίας φόρτισης.

Στα σχήματα 1.14 και 1.15 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών. Το πρώτο δοκίμιο (γυμνό) παρουσίασε ρηγματώσεις τόσο στη δοκό όσο και στους στύλους. Η αστοχία επήλθε σε μετατόπιση περίπου 30mm με γωνιακή παραμόρφωση 20‰. Γενικά η συμπεριφορά του αντιστοιχεί στην τυπική συμπεριφορά ενός υφισταμένου πλαισίου Ο.Σ.

Το δεύτερο δοκίμιο αστόχησε διατμητικά με γωνιακή παραμόρφωση 10‰. Παρόλα αυτά η αντοχή διατηρήθηκε. Γενικά το δοκίμιο συμπεριφέρθηκε ικανοποιητικά. Η αγκυρωμένη τσιμεντοκονία επί του πλαισίου δημιούργησε συνθήκες επαρκούς συνάφειας με αυτό. Τα μεταλλικά στοιχεία σε συνδυασμό με την άμεση λειτουργία του ελαστοπλαστικού αποσβεστήρα συνετέλεσαν στην απορρόφηση μεγάλης ποσότητας ενέργειας.



Σχ. 1.14 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

Στο τρίτο δοκίμιο παρατηρήθηκε καμπτοδιατμητική αστοχία της δοκού και κυρίως καμπτική των στύλων. Παρουσίασε γενικά παρόμοια συμπεριφορά με το δεύτερο δοκίμιο προσδίδοντας για μια ακόμη φορά μεγάλη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Επίσης ο βαθμός επιδείνωσης μετά την ανάπτυξη της μέγιστης αντοχής ήταν πιο ήπιος σε σχέση με το δεύτερο δοκίμιο. Δεν παρουσιάστηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά λόγω του διαφορετικού τρόπου σύνδεσης του μεταλλικού πλαισίου επί του πλαισίου Ο.Σ.

Στο τέταρτο δοκίμιο επήλθε αστοχία σε γωνιακή παραμόρφωση περίπου 20‰ με έντονες ρηγματώσεις κυρίως στο άνω και κάτω τμήμα του στύλου. Η μέγιστη τιμή της αντοχής είναι μεγαλύτερη του αθροίσματος της αντοχής του γυμνού πλαισίου και του αποσβεστήρα μαζί.

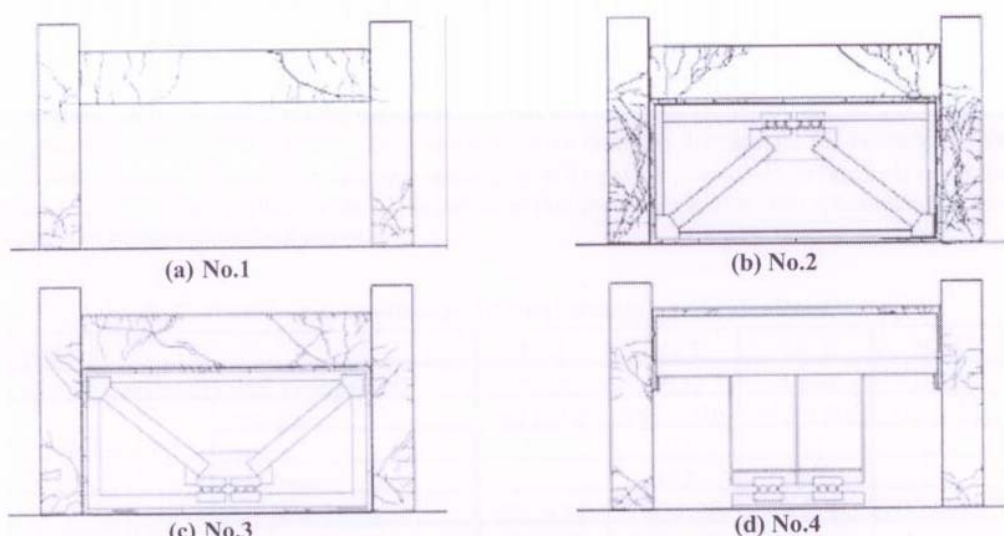


Fig.6: Crack distributions (Story drift angle: 1/100 rad)

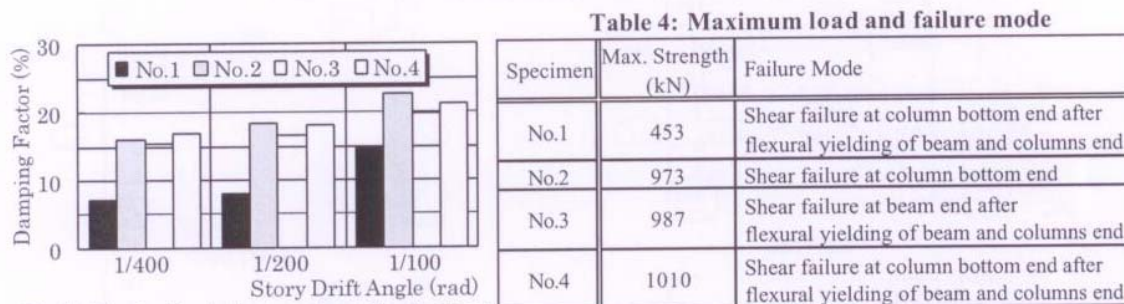
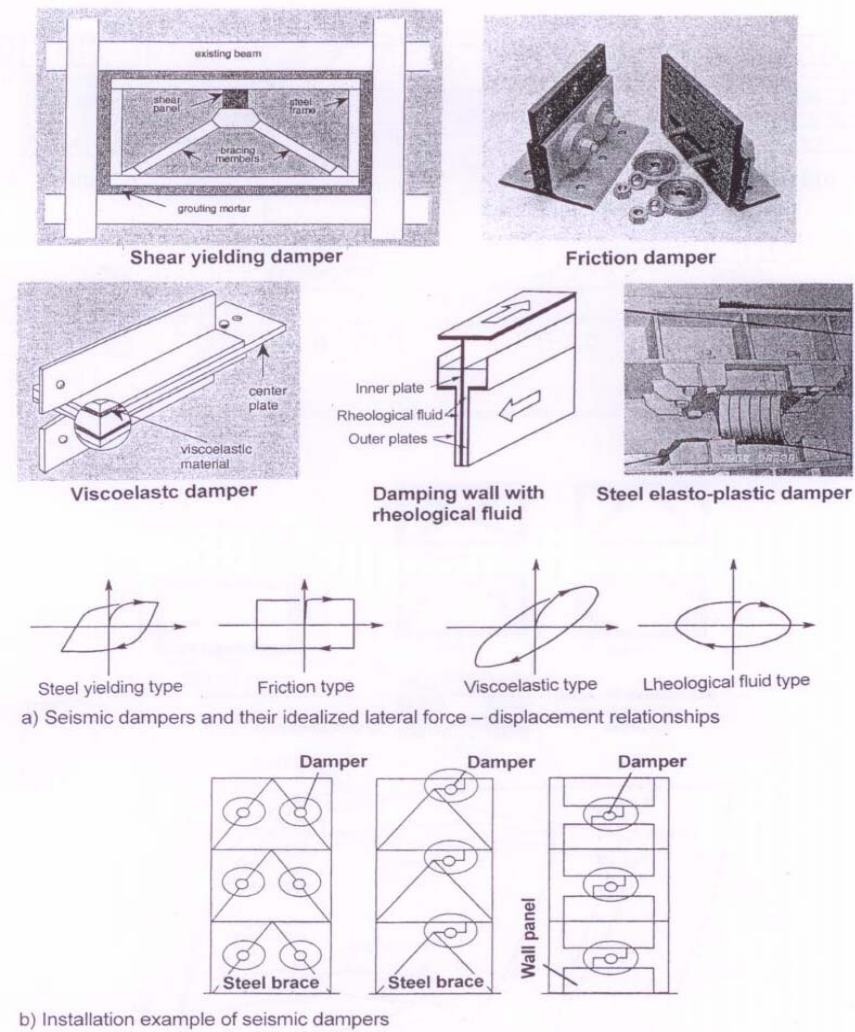


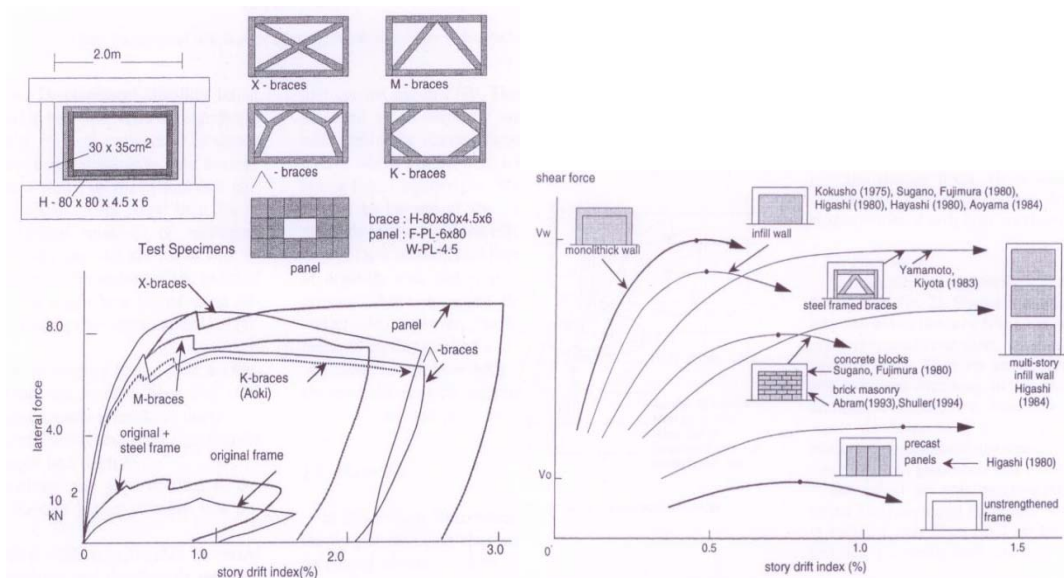
Fig.7: Equivalent viscous damping factors

Σχ. 1.15 Μορφές αστοχίας και αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

Οι **Fukuyama H. και Sugano S. (2000)** προσέγγισαν θεωρητικά ορισμένες μορφές ενισχύσεων δομικών στοιχείων. Μεταξύ αυτών αναφέρουν τα ευεργετικά αποτελέσματα τα οποία επιτυγχάνονται από την προσθήκη μεταλλικών στοιχείων δικτύωσης εντός των πλαισίων. Αναφέρουν ότι οι χιαστί σύνδεσμοι, οι σύνδεσμοι μορφής V, μορφής διπλού K και μορφής ανοιχτού πετάσματος είναι ικανοί να αυξήσουν αισθητά όχι μόνο την αντοχή, αλλά και την πλαστιμότητα ενός πλαισίου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης μεταλλικά δικτυώματα τύπου V τα οποία φέρουν ενός είδους άρθρωση στα σημεία σύνδεσης με το πλαίσιο Ο.Σ. σχήμα 1.16, τα οποία εκτός από αντοχή και πλαστιμότητα αυξάνουν δραστικά την ικανότητα για απορρόφηση ενέργειας του συστήματος.



Σχ. 1.16 Σεισμικοί αποσβεστήρες.



Σχ. 1.17 Συμπεριφορά πλαισίων Ο.Σ. ενισχυμένων με διαφόρων τύπων μεταλλικές διατάξεις.

Τα μονολιθικώς πληρωμένα πλαίσια δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τα απλώς πληρωμένα όσον αφορά κυρίως την αντοχή. Τα πολλαπλώς προκατασκευασμένα πετάσματα προσδίδουν πλαστιμότητα στο σύστημα με χαμηλή παρόλα αυτά μέγιστη αντοχή. Τα μεταλλικά δικτυώματα ως μέσο πλήρωσης ενός πλαισίου Ο.Σ. αυξάνουν τόσο την αντοχή όσο και την πλαστιμότητά του. Η πλήρωση επίσης μέσω οπτόπλινθων ή τσιμεντόπλινθων επιφέρει ουσιαστική αύξηση κυρίως στην αντοχή (Σχήμα 1.17).

Οι **Maheri M.R. και ο Hadjipour A. (2003)** ασχολήθηκαν σε πειραματικό επίπεδο με τις συνδέσεις μεταλλικών δικτυωμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση πλαισίων Ο.Σ., με τους κόμβους αυτών. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης έρευνας χρησιμοποιήθηκαν κόμβοι Ο.Σ. ενώ επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι σύνδεσης. Η διαστασιολόγηση και η κατασκευή των εν λόγω μεταλλικών συνδέσεων βασίζεται στους μέχρι τώρα ισχύοντες κανονισμούς για τις κατασκευές τόσο από Ο.Σ. όσο και τις μεταλλικές. Οι κόμβοι κατασκευάστηκαν σε φυσική κλίμακα (1:1).

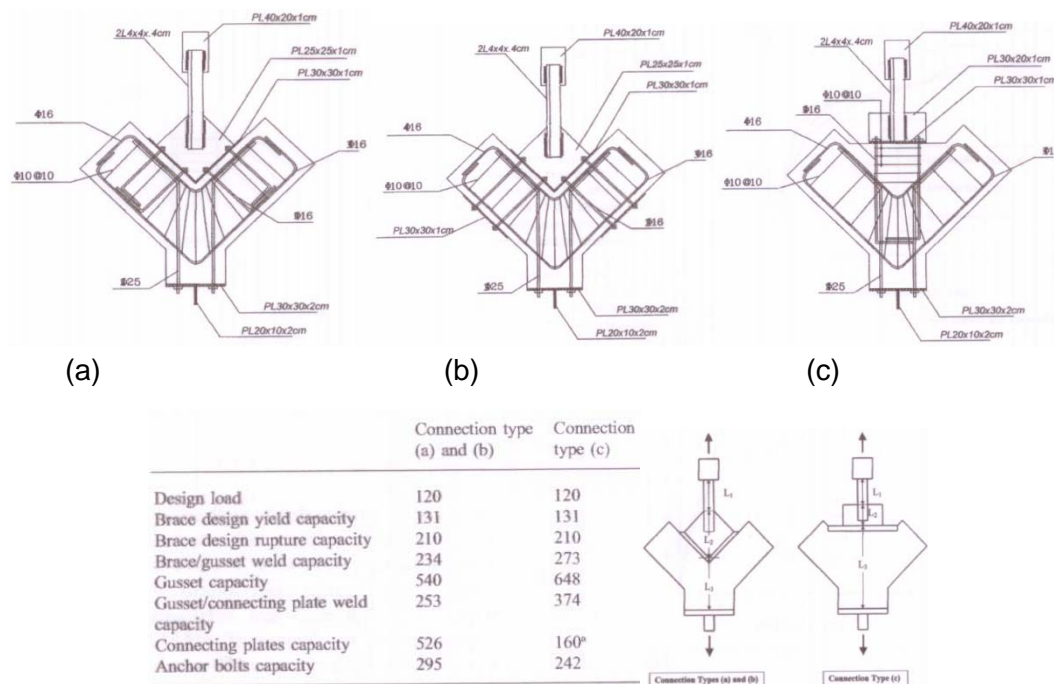
Σε υφιστάμενες κατασκευές μια συνήθης τεχνική σύνδεσης μεταλλικών στοιχείων επί του σκυροδέματος αποτελεί η διάτρηση οπών στο σκυρόδεμα και η τοποθέτηση βλήτρων στις οπές με χρήση ρητίνης για αύξηση της συνάφειας. Εναλλακτικά μπορεί να πραγματοποιηθεί διαμπερής διάτρηση οπών επί του σκυροδέματος έτσι ώστε διαμπερείς κοχλίες δια μέσου του σκυροδέματος να εφαρμόσουν σε μεταλλική πλάκα στο πίσω μέρος του κόμβου. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι σύνδεσης προκειμένου να διερευνηθεί η ανθεκτικότητά τους υπό εφελκυσμό. Σε κατάσταση θλίψης κατά την ανακυκλιζόμενη δράση μιας σεισμικής έντασης δεν τίθεται θέμα αστοχίας των συνδέσεων παρά μόνο των μεταλλικών ράβδων λόγω λυγισμού ή του κόμβου λόγω αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος. Κατασκευάστηκαν τρία δοκίμια κόμβων οπλισμένου σκυροδέματος διαστάσεων 30X30cm τόσο για το στύλο όσο και για τη δοκό, επί των οποίων εφαρμόσθηκαν τριών τύπων διαφορετικές συνδέσεις οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα 1.18.

*Συνδεσμολογία τύπου (α):* αποτελεί μια τυπικής μορφής συνδεσμολογία η οποία όμως δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε υφιστάμενες κατασκευές. Η μεταλλική ράβδος συγκολλάται σε μεταλλική πλάκα πάχους 10mm η οποία φέρει μεταλλική γωνιά πάχους 10mm για την προσαρμογή της στον κόμβο. Εντός του κόμβου έχουν τοποθετηθεί πριν τη σκυροδέτηση κοχλίες αγκυρωμένοι εντός του κόμβου δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο αναμονές για τη σύνδεση με τη μεταλλική διάταξη. Η σύνδεση ολοκληρώνεται με κοχλίες.

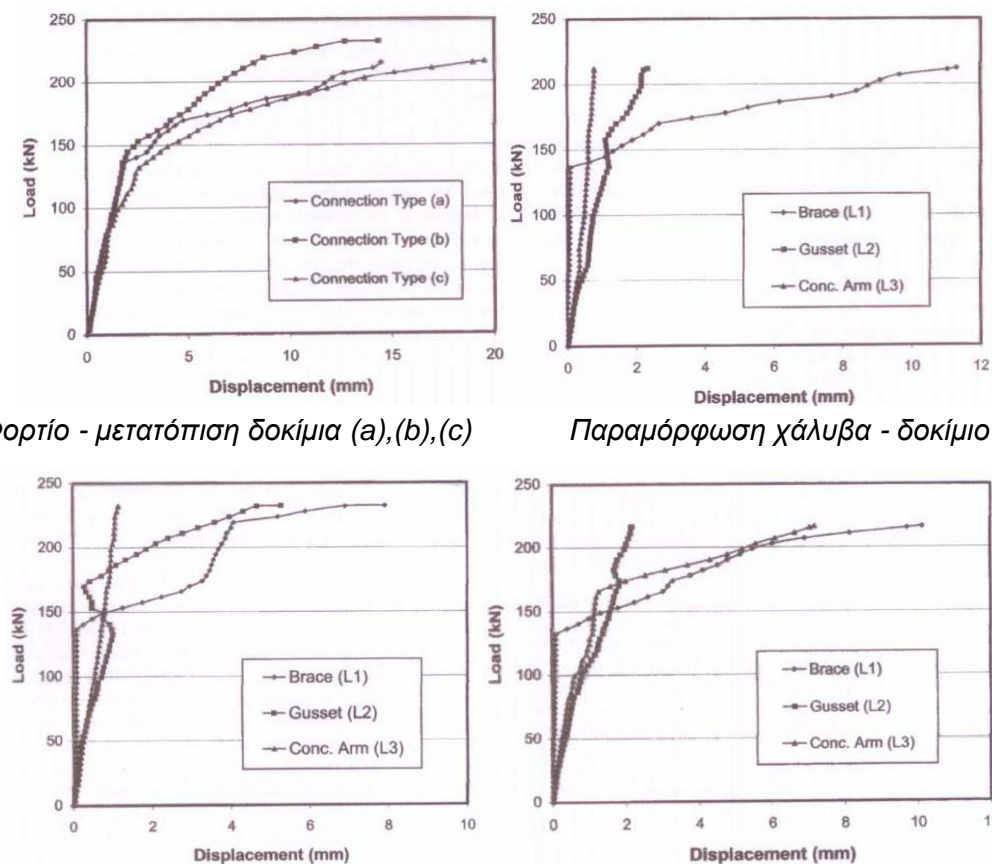
*Συνδεσμολογία τύπου (β):* Είναι όμοια με τη συνδεσμολογία (α) με τη διαφορά ότι οι κοχλιώσεις σύνδεσης του μεταλλικού δικτυώματος με το σκυρόδεμα διαπερνούν τον κόμβο και συνδέονται με μια εξωτερική πλάκα στην απέναντι παρειά του κόμβου. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε υφιστάμενες κατασκευές με τη διάτρηση οπών επί του κόμβου, με την προϋπόθεση ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα λόγω του πυκνού οπλισμού του κόμβου.

*Συνδεσμολογία τύπου (γ):* Αποτελεί και πάλι μια συνδεσμολογία αγκυρωμένων βλήτρων η οποία όμως αυτή τη φορά απαιτεί τη σκυροδέτηση τμήματος της γωνιάς του κόμβου έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί μια μόνο πλάκα η οποία θα μεταφέρει την ένταση στον κόμβο. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και το μήκος αγκύρωσης των κοχλιών επί του κόμβου.





Σχ. 1.18 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες συνδεσμολογίας μεταλλικών στοιχείων με κόμβους σκυροδέματος και διάταξη φόρτισης.



Σχ. 1.19 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

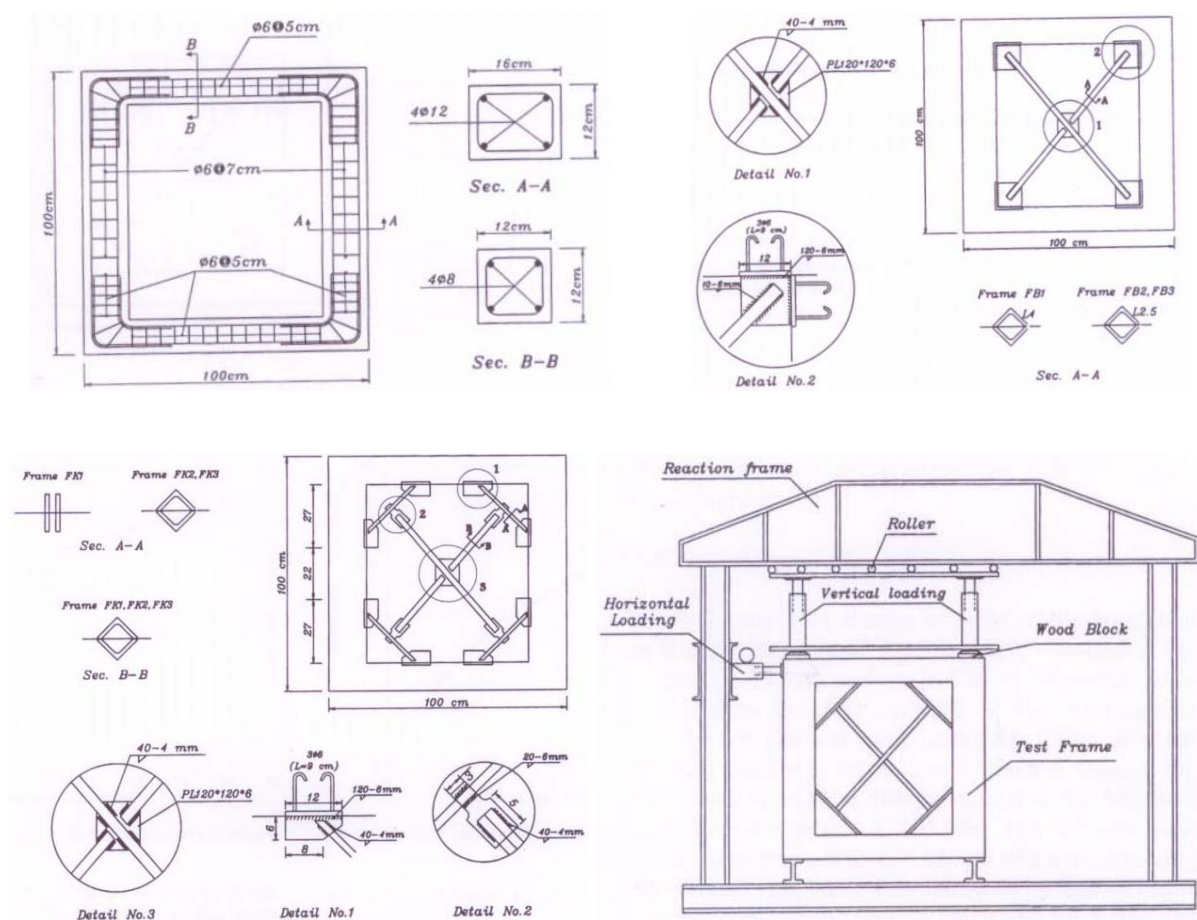


Η πειραματική δοκιμή περιελάμβανε εξόλκευση της μεταλλικής ράβδου δικτύωσης διατηρώντας σταθερό τον κόμβο του σκυροδέματος. Υποβλήθηκε αργή μονότονη φόρτιση. Κατά την πειραματική δοκιμή μετρήθηκαν η μετατόπιση της μεταλλικής ράβδου αλλά και πιθανή παραμόρφωση των επιμέρους μεταλλικών στοιχείων της συνδεσμολογίας εφαρμόζοντας ταινίες μέτρησης της παραμόρφωσης σε διάφορα τμήματα των μεταλλικών στοιχείων L1, L2, L3 όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.18.

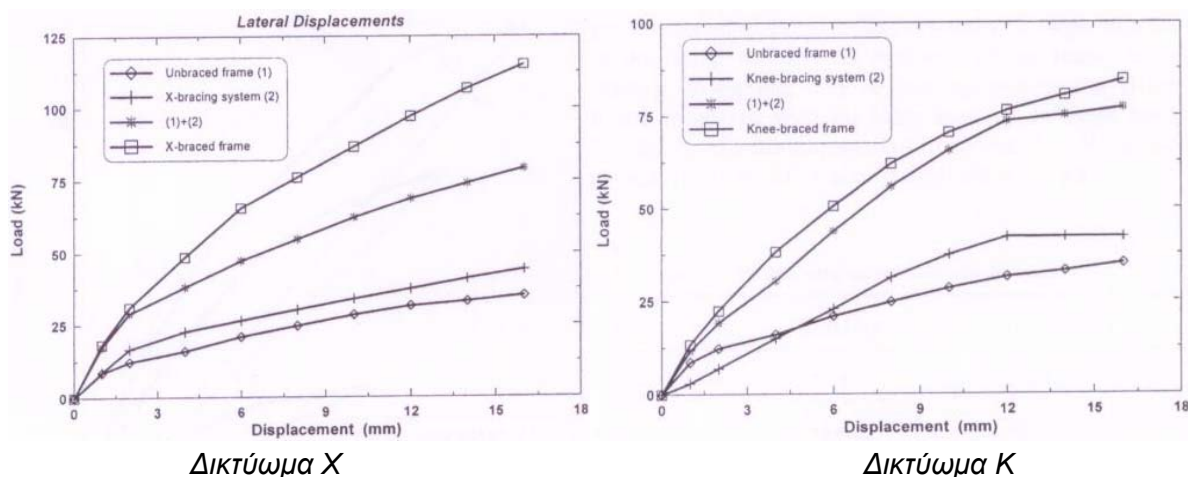
Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών απεικονίζονται στο σχήμα 1.19. Φαίνεται ότι οι συνδέσεις τύπου (a), (b) παρουσιάζονται ισχυρότερες λόγω της μεταλλικής πλάκας η οποία συνδέει τη μεταλλική ράβδο με το γωνιακό μεταλλικό στοιχείο. Η δύσκαμπτη αυτή πλάκα απορροφά μεγάλο μέρος της έντασης μεταφέροντας το υπόλοιπο στον κόμβο του σκυροδέματος. Ωστόσο, στη συνδεσμολογία τύπου c, παρατηρείται αύξηση της πλαστιμότητας του συστήματος. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται με την αύξηση της συνολικής ανελαστικής παραμόρφωσης αυτής της συνδεσμολογίας (19mm έναντι 14mm των (a), (b)).

Οι **Maheri M.R., Kousari R. και Razazan M. (2003)** ασχολήθηκαν με την ευεργετική επίδραση που έχει η προσθήκη διαφόρων ειδών δικτυωμάτων εντός πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος. Κατασκευάστηκαν έξι πλαίσια Ο.Σ. εκ των οποίων δυο όμοια γυμνά, δύο με ενίσχυση μορφής Χ και άλλα δύο με ενίσχυση τύπου Κ. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες και η διαδικασία φόρτισης φαίνονται στο σχήμα 1.20. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε αργή μονότονη φόρτιση. Τα συγκριτικά αποτελέσματα απεικονίζονται στο σχήμα 1.21. Συγκρίνοντας τα δοκίμια αναφοράς (γυμνά) με τα ενισχυμένα φαίνεται ότι είναι εφικτό μέσω τέτοιου είδους μεταλλικών δικτυωμάτων να επιτευχθεί ικανοποιητική αναβάθμιση των υφισταμένων κατασκευών χωρίς να έχει προηγηθεί επιπλέον επέμβαση επί του πλαισίου πριν την εφαρμογή των δικτυωμάτων. Από τα δύο γραφήματα φαίνεται ότι η φέρουσα ικανότητα του ενισχυμένου πλαισίου (με μεταλλικούς συνδέσμους Χ ή Κ) είναι υψηλότερη από το άθροισμα της φέρουσας ικανότητας του γυμνού πλαισίου και του μεταλλικού δικτυώματος χωριστά. Και τα δύο αυτά μεταλλικά δικτυώματα είναι φανερό ότι αυξάνουν αισθητά τη φέρουσα ικανότητα του πλαισίου.

Λόγω του δικτυώματος, οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις του σκυροδέματος εμφανίστηκαν σε μεγάλες παραμορφώσεις σε σχέση με το γυμνό πλαίσιο. Επιπλέον η συνδεσμολογία των μεταλλικών αυτών διατάξεων με το σκυρόδεμα και κυρίως με τους κόμβους, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μήκους τόσο των στύλων όσο και των δοκών και την αύξηση της δυσκαμψίας, μετατοπίζοντας τις πλαστικές αρθρώσεις σε απόσταση από τους κόμβους. Τέτοιου είδους δικτυώματα λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας τους δεν προδίδουν πλαστιμότητα στο σύστημα παρά μόνο αυξάνουν τη δυσκαμψία τους. Ωστόσο με κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να υποστηρίξουν μια πλάστιμη κατασκευή. Μεταξύ των δικτυωμάτων τύπου Χ και Κ για απαιτήσεις πλαστιμότητας συνιστάται η διάταξη τύπου Κ. Ιδιαίτερη σημασία για την αποδοτικότητα μιας τέτοιας μεθόδου ενίσχυσης πρέπει να δίνεται στα σημεία σύνδεσης των μεταλλικών στοιχείων με το σκυρόδεμα. Σε νέες κατασκευές υπάρχουν περισσότερες δυνατότητες συνδέσεων απ' ό,τι σε υφιστάμενες κατασκευές.

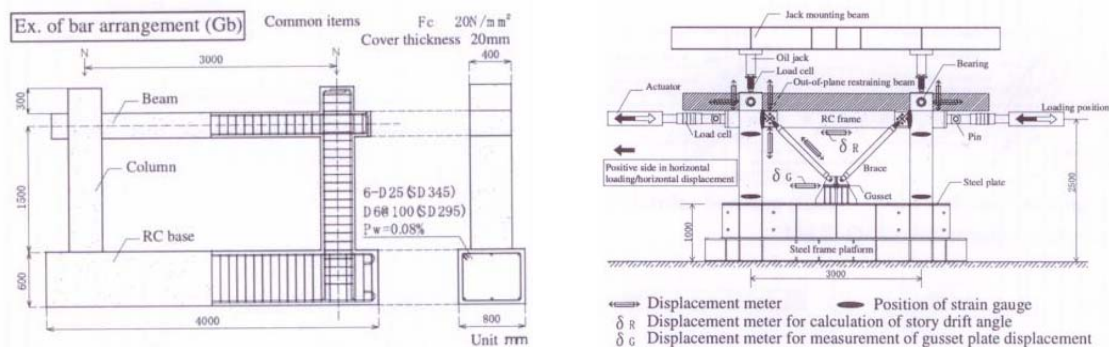


Σχ. 1.20 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δοκιμών και διάταξη επιβολής φόρτισης.



Σχ. 1.21 Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

Οι **Ishi T. et al (2004)** διερεύνησαν πειραματικά την ενίσχυση πλαισίων Ο.Σ. με την προσθήκη μεταλλικού δικτύωματος σχήματος Υ με στόχο την αναζήτηση μιας εύκολης μεθόδου ενίσχυσης με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Κατασκευάστηκαν τρία δοκίμια υπό κλίμακα 1:2 τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους στον τύπο αστοχίας τον οποίο θα παρουσιάσουν.

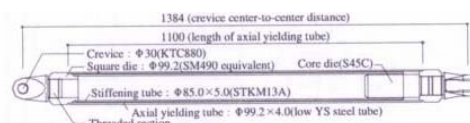


Σχ. 1.22 Γεωμετρικά στοιχεία πλαισίου και διάταξη επιβολής φόρτισης.

Specimen	Girder bending yielding (Gb)	Column bending yielding (Cb)	Column shear yielding (Cs)
Initial axial tensioning (kN)	320	245	320
Beam section			
Mu (kN·m)	69.6	224	119
Qu (kN)	97.6	249	124
bxD	200x300	250x500	200x300
Top/bottom side reinforcement	6-D19(SD345)	6-D25(SD345)	6-D25(SD345)
Rib reinforcement	D6 @100(SD295)	D6 @100(SD345)	D6 @100(SD295)
Pw(%)	0.48	0.38	0.48
Column section			
Mu (kN·m)	217	139	329
Qu (kN)	250	246	199
bxD	400x400	350x350	400x400
Main reinforcement	8-D22(SD345)	6-D22(SD345)	8-D29(SD345)
Hoop reinforcement	D6 @100(SD295)	D6 @50(SD295)	D6 @100(SD295)
Pw(%)	0.32	0.55	0.16
Mu: Ultimate bending strength Qu: Ultimate shear strength b x D: Width x height			

Specimen	Concrete			Grout
	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (x 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )
Gb	1.50	15.6	1.58	45.2
Cb	1.42	15.5	1.85	35.9
Cs	1.72	17.1	1.85	39.8

Tube diameter (mm)	Tube thickness ave (mm)	Yield stress (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Yield ratio (%)
99.2	3.95	96.4	240	53.8	40.2



Σχ. 1.23 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δοκιμίων.

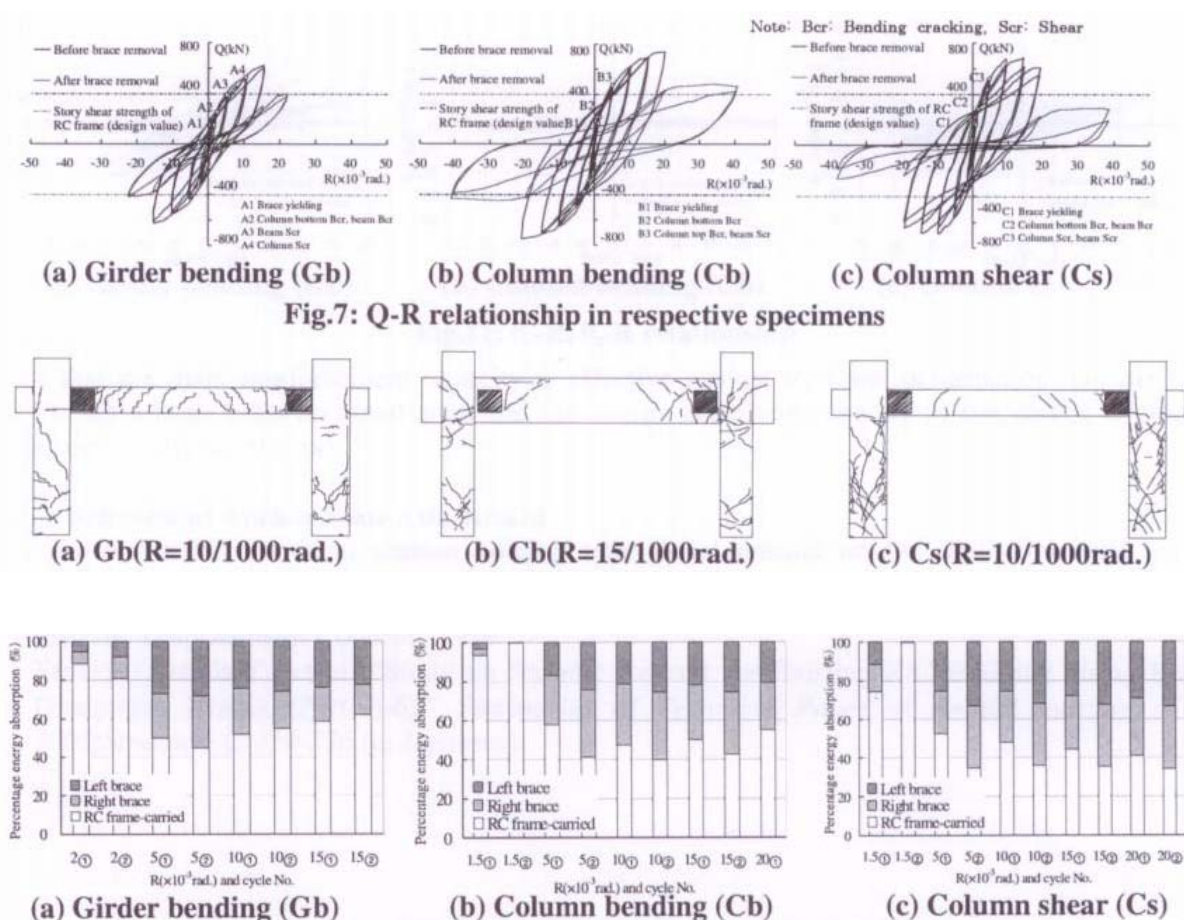
Το δοκίμιο Gb διαθέτει ισχυρό οπλισμό στους στύλους με σκοπό να μετατοπιστεί η βλάβη κυρίως στη δοκό. Το δοκίμιο Cb, αντίθετα με το πρώτο, διαθέτει ισχυρή δοκό με σκοπό να προηγηθεί η αστοχία των στύλων. Τέλος το δοκίμιο Cs σχεδιάστηκε έτσι ώστε να προηγηθεί διατμητική αστοχία των στύλων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες καθώς επίσης και η διαδικασία επιβολής της φόρτισης φαίνονται στα σχήματα 1.22 και 1.23.

Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση με αυξανόμενο βήμα φόρτισης και με ένα κύκλο σε κάθε βήμα, με την ταυτόχρονη επιβολή αξονικού φορτίου στους στύλους. Σε διάφορα σημεία του δοκιμίου έχουν τοποθετηθεί όργανα μέτρησης μετατοπίσεων για την επαρκή παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δοκιμίου. Όπως διακρίνεται και στο σχήμα 1.22 τα δοκίμια φέρουν ενίσχυση μεταλλικού δικτύωματος τύπου Υ. Το δικτύωμα αυτό φέρει μεταλλικές διαγώνιες ράβδους ειδικής κατασκευής οι οποίες έχουν την ιδιότητα να παραμορφώνονται έτσι ώστε να απορροφούν ενέργεια κατά τη σεισμική δράση. Πρόκειται δηλαδή για αποσβεστήρες ενέργειας οι οποίοι καταλήγουν σε μια μεταλλική πλάκα η οποία συνδέει τις ράβδους αυτές με το μέσον της κάτω δοκού. Στο επάνω μέρος οι δύο ράβδοι αγκυρώνονται στην πρόσοψη της δοκού. Σε προχωρημένες μετατοπίσεις, πριν την πλήρη αστοχία του πλαισίου, απομακρύνονταν οι μεταλλικές ράβδοι και με το πλαίσιο γυμνό πλέον συνέχιζε η πειραματική δοκιμή για δυο επιπλέον κύκλους φόρτισης.



Σε όλες τις πειραματικές δοκιμές αξίζει να σημειωθεί ότι η μετακίνηση της μεταλλικής πλάκας σύνδεσης των διαγώνιων ράβδων ήταν μηδενική. Κατά την πειραματική δοκιμή υπήρχε η δυνατότητα μέτρησης των παραμορφώσεων και των δύο, μεταλλικών ράβδων προκειμένου να αξιολογηθεί η συνεισφορά της κάθε μιας στο τελικό αποτέλεσμα. Επιπλέον διερευνήθηκε η συμπεριφορά κάθε μιας από τις διαγώνιες ράβδους αυτοτελώς εκτός πλαισίου υποβάλλοντας την σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Οι αναμενόμενες πλέον βλάβες καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών απεικονίζονται στο σχήμα 1.24. Παρουσιάζονται οι βρόχοι υστέρησης ολόκληρου του συστήματος (πλαίσιο Ο.Σ. συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης) με βάση τις μετατοπίσεις που παρουσίασαν κατά την πειραματική δοκιμή. Επίσης παρουσιάζεται και η ποσοστιαία κατανομή της απορροφώμενης ποσότητας ενέργειας μεταξύ Ο.Σ. και μεταλλικών στοιχείων.



Στους δύο πρώτους κύκλους φόρτισης υπερισχύει αισθητά το πλαίσιο όσον αφορά την απορροφώμενη ενέργεια. Στη συνέχεια της πειραματικής δοκιμής το άθροισμα της συνεισφοράς των δύο μεταλλικών ράβδων όσον αφορά και πάλι την απορρόφηση ενέργειας υπερισχύει αυτής του πλαισίου Ο.Σ. Στο πρώτο δοκίμιο με την ασθενή δοκό, λόγω της εκτεταμένης βλάβης της δοκού τείνει να μειωθεί η αποτελεσματικότητα της συνεισφοράς των μεταλλικών ράβδων. Στο δεύτερο δοκίμιο με τον ασθενή στύλο λόγω της επαρκούς αντοχής της δοκού εξασφαλίζεται η πλούσια συμπεριφορά των μεταλλικών ράβδων. Στο τρίτο δοκίμιο

με διατμητική αστοχία της δοκού παρατηρήθηκε μια σχετικά ικανοποιητική συμπεριφορά της ενίσχυσης παρόλα αυτά μικρότερη όσον αφορά την αντοχή σε σχέση με το δεύτερο δοκίμιο. Τέλος λόγω της τοποθέτησης της μεταλλικής διάταξης στην πρόσοψη του πλαισίου (έκκεντρα) και όχι μέσα στο πλαίσιο (κεντρικά) δημιουργούνται φαινόμενα στρέψης με το δοκίμιο να παρουσιάζει στροφή. Το γεγονός αυτό μειώνει την εφελκυστική ικανότητα των μεταλλικών ράβδων. Παρόλα αυτά λόγω της μικρής στροφής των πλακών συνδεσμολογίας εξασφαλίστηκε επαρκής αντοχή στις συνδέσεις.

Οι **Antonucci et al (2006)** περιγράφουν πειραματικές δοκιμές σε σεισμική τράπεζα, ενός διώροφου πλαισίου Ο.Σ. ενός φατνώματος σε κλίμακα 1:1 όπως φαίνεται στο σχήμα 1.25α. Τα ανοίγματα ενισχύθηκαν με απλές διαγώνιες μεταλλικές ράβδους αλλά και με δικτύωμα σχήματος Λ. Η ιδιαιτερότητα των μεταλλικών δικτυωμάτων Λ έγκειται στο γεγονός ότι φέρουν αποσβεστήρα ιξώδους υγρού για την απόσβεση των μετακινήσεων κατά την πειραματική δοκιμή (σχήμα 1.25β). Σκοπός των πειραματικών δοκιμών είναι να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα των αποσβεστήρων σε ένα πλήρους κλίμακας χωρικό πλαίσιο.



α) Δοκίμιο

β) Αποσβεστήρας

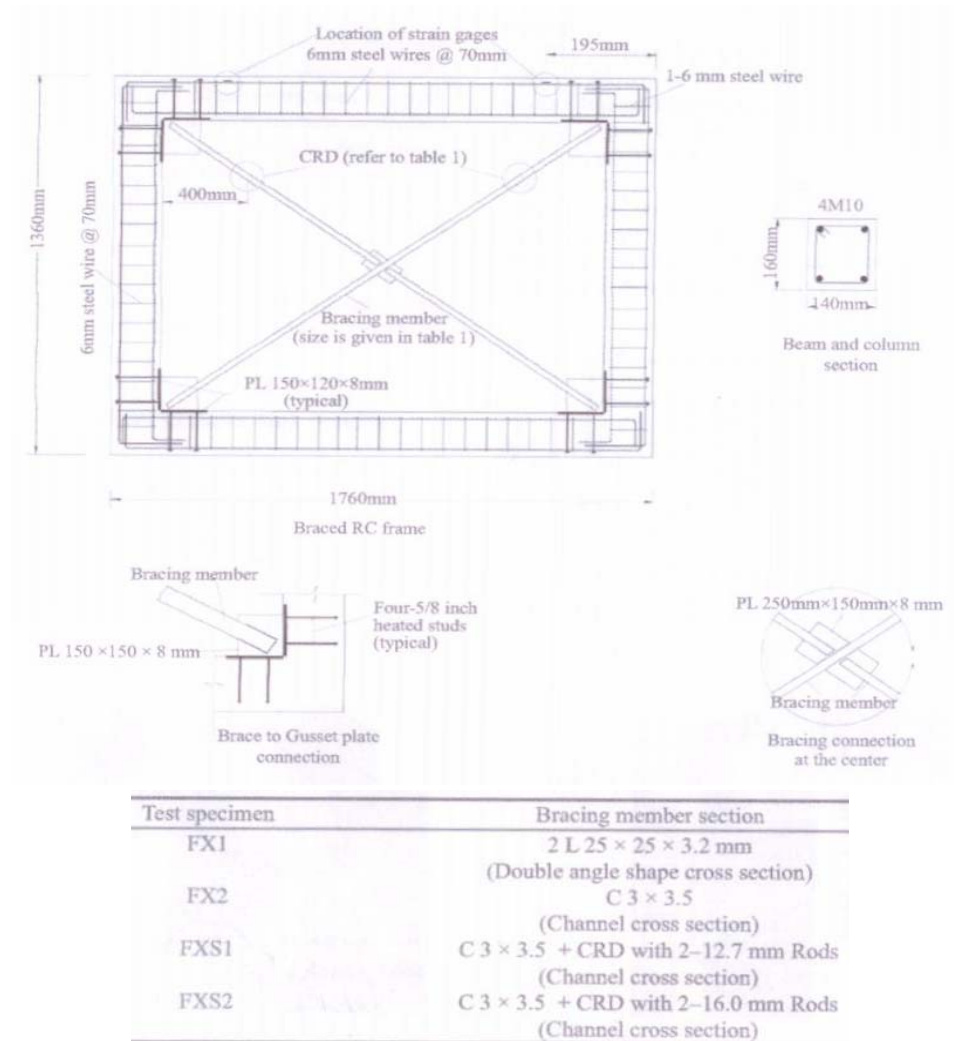
Σχ. 1.25 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών και μορφές βλάβης δοκιμών.

Το δοκίμιο έχει διαστάσεις κάτοψης 4,00X4,00μ. και ύψος 7,00μ., διαστάσεις στύλων 26X26cm σε κάναβο 4,00X4,00μ., δοκών 26X40cm, πλάκα πάχους 12cm, καθαρό ύψος 3,30μ., σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 17Μpa και χάλυβας αντοχής 500Μpa. Μετά τη λήξη της πειραματικής δοκιμής, το δοκίμιο υποβλήθηκε εκ νέου σε φόρτιση χωρίς τις ενισχύσεις.

Η συνολική ενέργεια που αποσβεσθήκε από τους ιξώδεις αποσβεστήρες είναι μεγαλύτερη από 70%, 83% και 95% της συνολικής εισαγόμενης ενέργειας στις αντίστοιχες φορτίσεις. Μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας αποσβεσθήκε από τους ιξώδεις αποσβεστήρες του πρώτου ορόφου. Επίσης επήλθε σημαντικός περιορισμός της σχετικής μετακίνησης του ορόφου.

Η εισαγωγή συνεπώς των ιξωδών αποσβεστήρων για την ενίσχυση των πλαισίων βελτιώνουν τη σεισμική απόκριση, απορροφώντας μεγάλη ποσότητα της σεισμικής έντασης λόγω των ιδιοτήτων του ιξώδους υγρού.

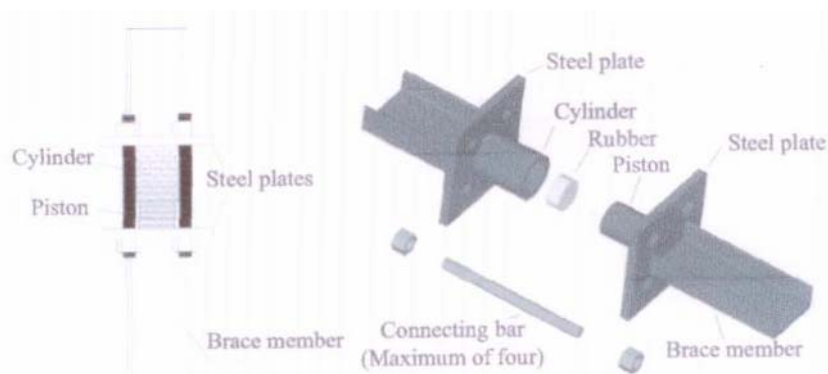
Οι **Ghaffarzadeh και Maheri (2006)** ασχολήθηκαν με τη συμπεριφορά πλαισίων Ο.Σ. με την προσθήκη μεταλλικού δικτυώματος τύπου Χ. Η καινοτομία σε αυτή την πειραματική διερεύνηση έγκειται στην εφαρμογή ειδικής μορφής αποσβεστήρα επί των μεταλλικών ράβδων οι οποίοι απορροφούν ενέργεια με στόχο την αποφυγή φαινομένων λυγισμού κατά την ανακύκλιση. Κατασκευάστηκαν τέσσερα δοκίμια των οποίων οι διαστάσεις και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες απεικονίζονται στο σχήμα 1.26.



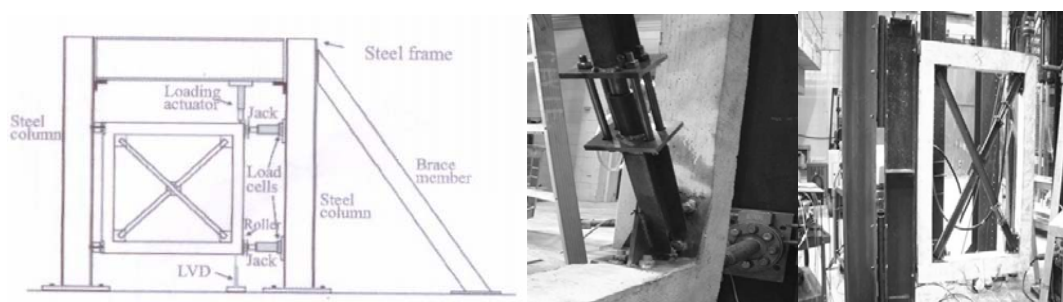
Σχ. 1.26 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες δοκιμών.

Όλα τα δοκίμια φέρουν μεταλλική ενίσχυση τύπου Χ εκ των οποίων τα δύο διαθέτουν επιπλέον αποσβεστήρες διαφορετικού τύπου μεταξύ των και τα άλλα δύο διαφέρουν ως προς τη διατομή των μεταλλικών ράβδων. Λεπτομέρεια του αποσβεστήρα φαίνεται στο σχήμα 1.27. Οι μεταλλικές ράβδοι ουσιαστικά διακόπτονται σε ένα σημείο. Το κενό αυτό πληρούται μέσω κοχλιών για την ανάληψη των εφελκυστικών δράσεων. Η διατομή των ράβδων σε αυτό το διάκενο γίνεται κυκλική διαφορετικού πάχους έτσι ώστε να εισχωρεί ο ένας στον άλλο ενώ μεταξύ τους τοποθετείται ελαστικό παρέμβλημα για απορρόφηση της έντασης κατά τη θλίψη. Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση με την ταυτόχρονη επιβολή αξονικού φορτίου στους στύλους. Η διάταξη φόρτισης και ορισμένες λεπτομέρειες των δοκιμών απεικονίζονται στο σχήμα 1.28.





Σχ. 1.27 Λεπτομέρεια αποσβεστήρα.



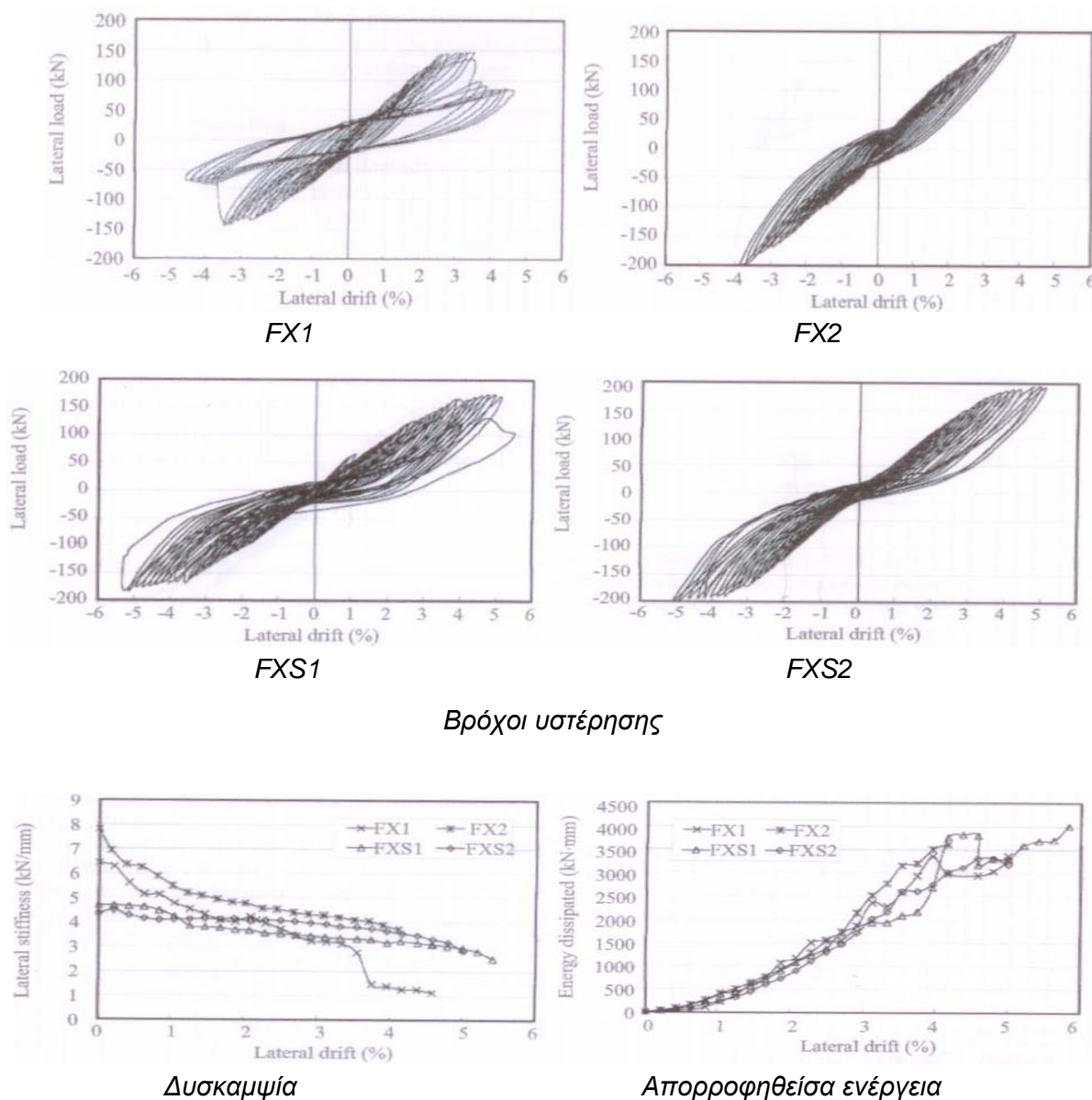
Σχ. 1.28 Διάταξη επιβολής φόρτισης.

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών απεικονίζονται στο σχήμα 1.29. Στο δοκίμιο FX1 τα μεταλλικά στοιχεία συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά μέχρι παραμόρφωση της τάξεως των 3,5% και με αντοχή 140kN. Στη συνέχεια επήλθε αστοχία του μεταλλικού δικτυώματος λόγω λυγισμού των ράβδων. Στο εξής η ανάληψη του φορτίου γινόταν αποκλειστικά και μόνο από το πλαίσιο το οποίο αστόχησε με το σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών και των στύλων.

Η συμπεριφορά του δοκιμίου FX2 ήταν σχεδόν γραμμική, οφειλόμενη στην ελαστική συμπεριφορά των μεταλλικών ράβδων. Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι αυτής της διατομής απέδωσαν μεγαλύτερη αντοχή από τους αντίστοιχους του δοκιμίου FX1. Στο δοκίμιο FXS1 λόγω της ύπαρξης των αποσβεστήρων επί των μεταλλικών ράβδων η πρώτη πλαστική άρθρωση εμφανίστηκε σε παραμόρφωση 1,2% με φορτίο 65kN. Η αστοχία των κοχλιών του αποσβεστήρα κατά τον εφελκυσμό σε παραμόρφωση 4,8% με φορτίο 182kN επέφερε και την ολοκληρωτική αστοχία του πλαισίου. Η συμπεριφορά του τελευταίου δοκιμίου FXS2 είναι παρόμοια με αυτή του FXS1. Η πειραματική δοκιμή τερματίστηκε λόγω αστοχίας του σκυροδέματος στα σημεία στήριξης.

Από το διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των δυσκαμψιών φαίνεται ότι τα δοκίμια FX1 και FX2 είναι πιο δύσκαμπτα από τα αντίστοιχα τα οποία φέρουν αποσβεστήρες. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα των αποσβεστήρων να παραμορφώνονται επιτρέποντας μεγάλες μετακινήσεις. Η ευεργετική επίδραση των αποσβεστήρων φαίνεται στη συνέχεια όπου διατηρούν σταθερή σχετικά τη δυσκαμψία, μιας και τα πρώτα ρήγματα επήλθαν σε μεγάλες μετατοπίσεις. Αντίθετα, στα δύο δοκίμια χωρίς αποσβεστήρες επήλθε γρήγορα απότομη πτώση της δυσκαμψίας λόγω της έντονης ρηγμάτωσης. Όσον αφορά την απορρόφηση

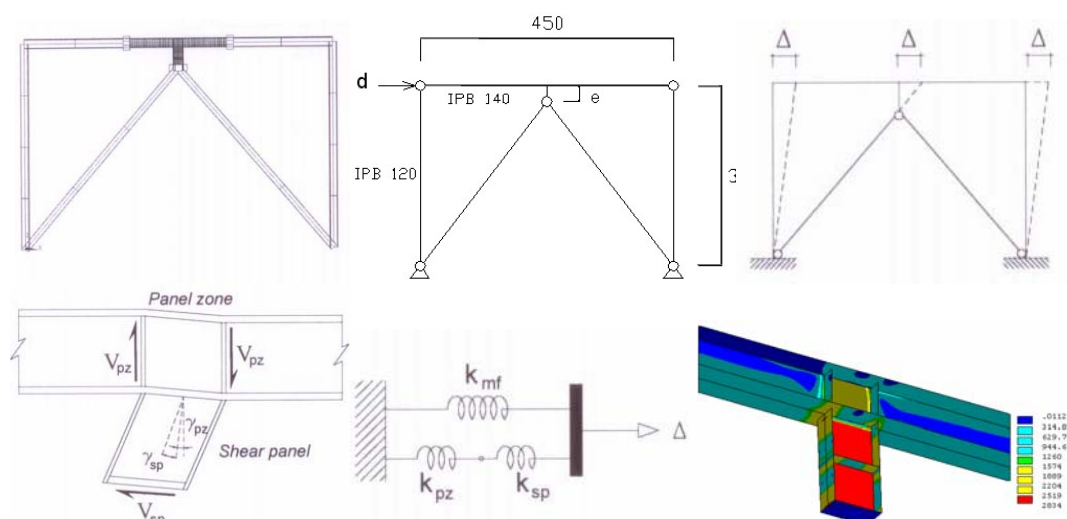
ενέργειας στους πρώτους κύκλους υπερτερούν ελάχιστα τα δοκίμια χωρίς αποσβεστήρες. Σε προχωρημένες ωστόσο μετατοπίσεις η δυσκαμψία των δοκιμών με τους αποσβεστήρες αυξήθηκε πολύ σε σχέση με τα υπόλοιπα.



Σχ. 1.29 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

Οι **Zahrai S.M. και Moslehi (2006)** προσέγγισαν αναλυτικά τη συμπεριφορά του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου ενίσχυσης μορφής Λ, εντός μεταλλικού πλαισίου χρησιμοποιώντας μη γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία. Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό πλαίσιο ενισχυμένο το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 1.30. Η αποδοτικότητα της ενίσχυσης προσεγγίστηκε χρησιμοποιώντας πλευρική οριζόντια φόρτιση στην κεφαλή του δοκιμίου με στόχο τη διατμητική παραμόρφωση του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου κατά την ανακύκλιση.





Σχ. 1.30 Βασικά χαρακτηριστικά δοκιμίου - Μοντέλο προσομοίωσης.

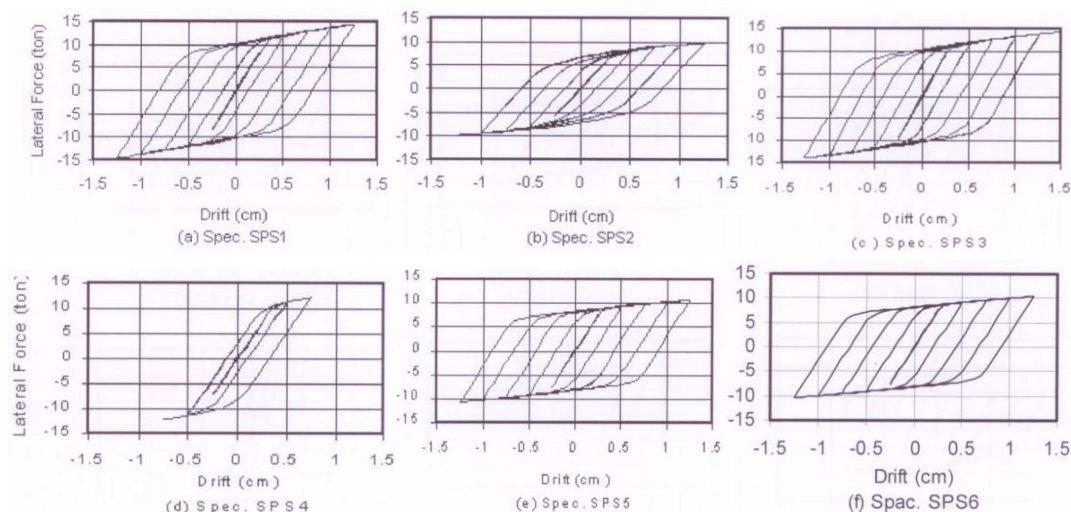
Χρησιμοποιήθηκαν έξι τύπων δοκίμια τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον τρόπο σύνδεσης της δοκού με τον στύλο (μονολιθική ή ενδόσιμη), ως προς τη διατομή και το μήκος του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου και ως προς την ύπαρξη ή όχι εγκάρσιων ενισχύσεων επί της διατομής του κατακόρυφου συνδέσμου. Αναλυτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των δοκιμών φαίνεται στο σχήμα 1.31.

Spec.	Beam-to-column Connection Type	Braces	SPS	e* (cm)	Web stiffeners
SPS1	Rigid	2UNP100	IPE160	37	A pair at mid-height
SPS2	Pinned	2UNP100	IPE160	37	A pair at mid-height
SPS3	Pinned	2UNP100	IPE160	27	A pair at mid-height
SPS4	Pinned	2UNP60	IPE160	27	A pair at mid-height
SPS5	Pinned	2UNP80	IPE140	27	A pair at mid-height
SPS6	Pinned	2UNP80	IPE140	27	With no stiffeners

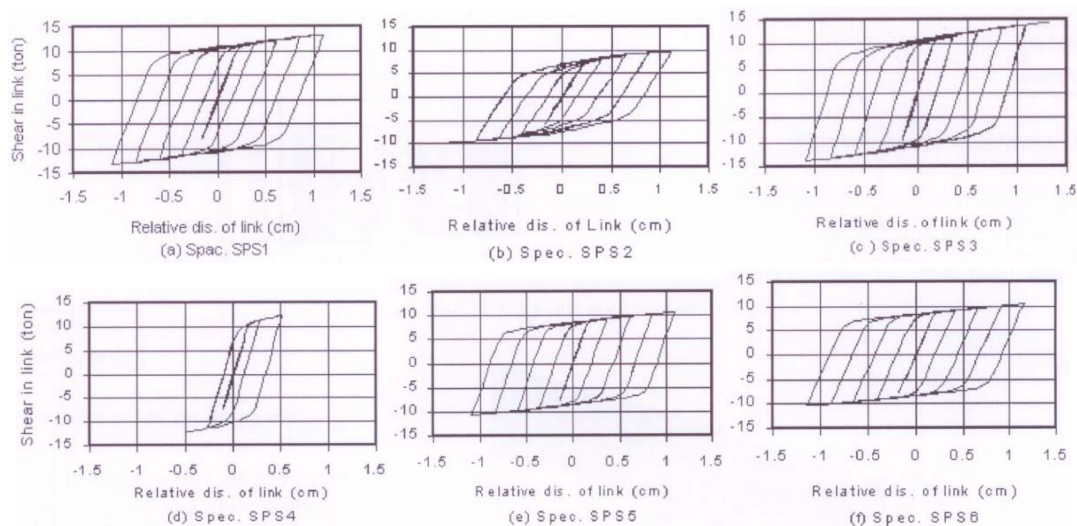
Eccentricity (e) is measured from the floor beam centreline. The net length of link equals the eccentricity less half of the beam depth.

Σχ. 1.31 Μηχανικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά δοκιμών.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτού του αναλυτικού μοντέλου φαίνονται στο σχήμα 1.32 όπου όλα τα δοκίμια παρουσίασαν μια σταθερή αύξουσα εξέλιξη όσον αφορά τη φέρουσα ικανότητα χωρίς να περιοριστεί η δυσκαμψία σε προχωρημένες μετατοπίσεις. Η μονολιθική σύνδεση των μεταλλικών στοιχείων αποδίδει μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα του πλαισίου.



Κύκλοι φόρτισης πλαισίου

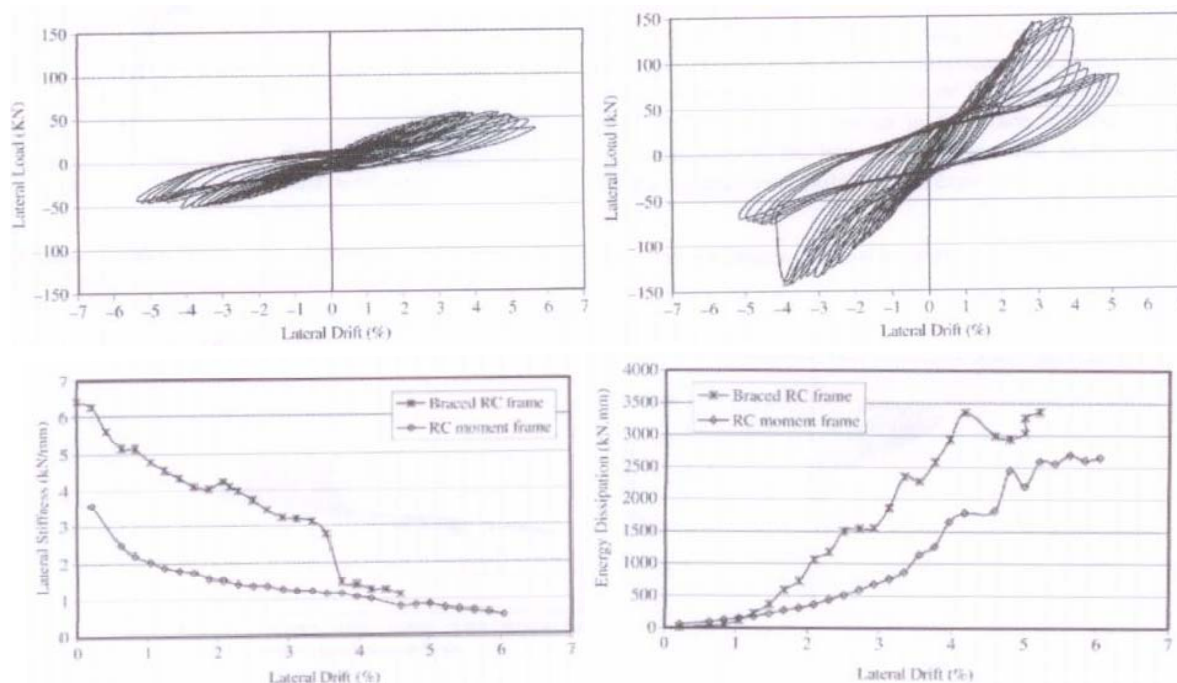


Κύκλοι φόρτισης κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου

Σχ. 1.32 Αποτελέσματα αναλυτικής εφαρμογής.

Η χρήση κοντύτερου κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου βελτιώνει δραστικά την απόδοση της ενίσχυσης αυξάνοντας την ικανότητα για απορρόφηση ενέργειας κατά 50% περίπου σε σχέση με μια ενίσχυση η οποία φέρει κατακόρυφο σύνδεσμο μεγαλύτερου μήκους. Επίσης οι εγκάρσιες ενισχύσεις στη διατομή του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου, βελτιώνουν τη συμπεριφορά του κατά τη σεισμική δράση και κατ' επέκταση βελτιώνεται και η συνολική απόκριση του πλαισίου ειδικά σε μεγάλες παραμορφώσεις. Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας μπορεί να βελτιωθεί επιπλέον αυξάνοντας το πάχος και το βάθος των εγκάρσιων ενισχύσεων ή μειώνοντας το ύψος του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου. Από τη σύγκριση των κύκλων φόρτισης που αφορούν τόσο το συνολικό δοκίμιο όσο και τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο προκύπτει το συμπέρασμα ότι η συμβολή του κατακόρυφου αυτού στοιχείου είναι ουσιαστική μιας και σ' αυτόν αποδίδεται η αναβάθμιση τόσο της φέρουσας ικανότητας του πλαισίου όσο και η ικανότητά του να απορροφά ενέργεια.

Οι **Youssef M. et al (2007)** ως συνέχεια της προαναφερθείσας εργασίας των Ghaffarzadeh και Maheri (2006), χρησιμοποίησε και ένα γυμνό δοκίμιο ως δοκίμιο αναφοράς έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης προκειμένου να διαπιστωθεί επακριβώς η απόδοση της εν λόγω ενίσχυσης. Χρησιμοποιήθηκαν δυο πλαίσια Ο.Σ. το ένα εκ των οποίων φέρει διαγώνιους μεταλλικούς συνδέσμους ως ενίσχυση ενώ το άλλο είναι γυμνό. Οι γεωμετρικές διαστάσεις καθώς επίσης και κατασκευαστικές λεπτομέρειες των δοκιμών απεικονίζονται στο σχήμα 1.26. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών καθώς επίσης και η διάταξη επιβολής φόρτισης διακρίνονται στο σχήμα 1.33.



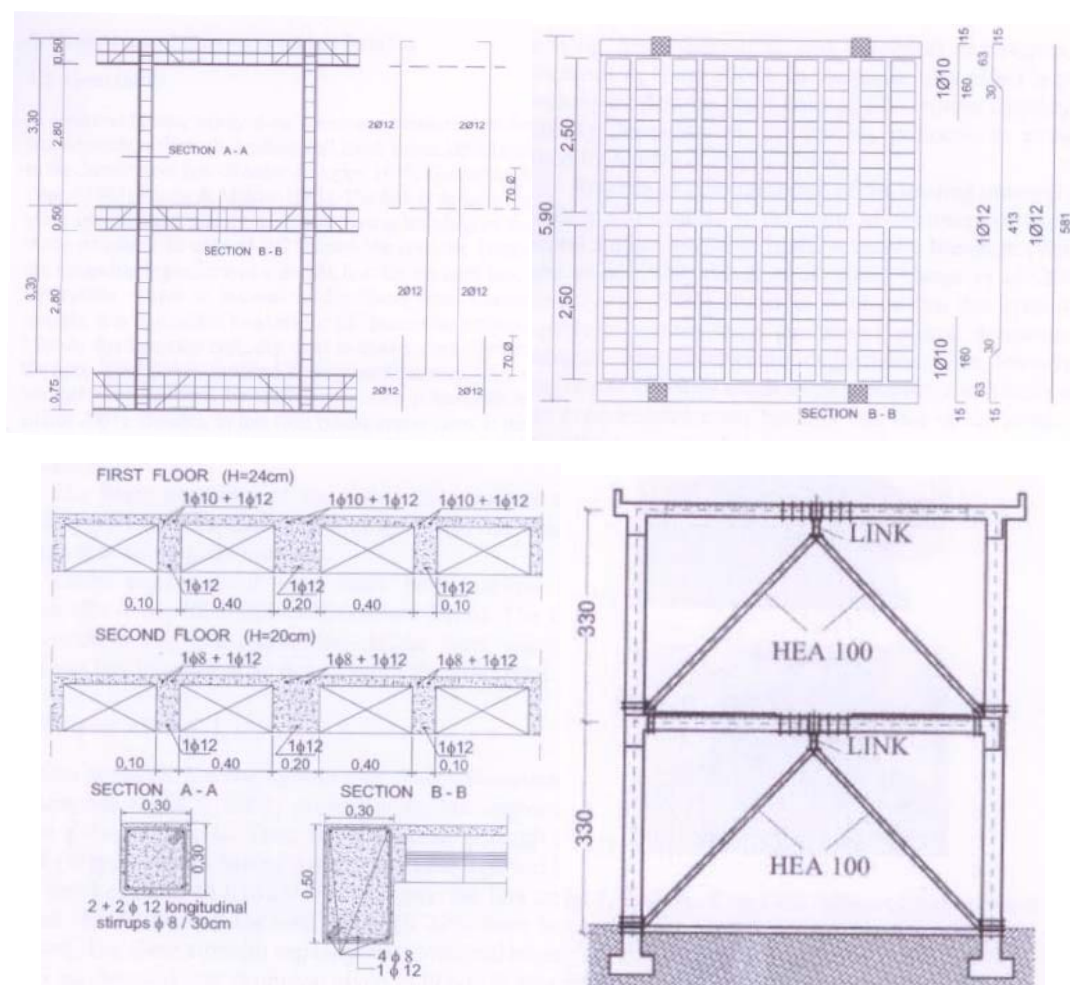
Σχ. 1.33 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.

Για το γυμνό πλαίσιο το πρώτο ρήγμα εμφανίστηκε σε φορτίο 30kN ενώ η ρηγμάτωση πύκνωσε σε προχωρημένες μετατοπίσεις. Το δοκίμιο διέρρευσε σε φορτίο 37,5kN και η αστοχία επήλθε στα 55kN με πλαστικές αρθρώσεις να σχηματίζονται στη δοκό. Αντίθετα το ενισχυμένο δοκίμιο απέδωσε όπως ήταν αναμενόμενο μεγαλύτερη αντοχή με τη ρηγμάτωση να ξεκινάει στα 90kN, τη διαρροή στα 105kN και την πλήρη αστοχία στα 140kN. Η αστοχία οφείλεται σε λυγισμό της θλιβόμενης μεταλλικής ράβδου. Αξίζει να σημειωθεί πως οι συνδέσεις των μεταλλικών στοιχείων με το σκυρόδεμα, τύπου βλητρωμένων κοχλιών, συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά.

Η αρχική δυσκαμψία του ενισχυμένου δοκιμίου υπερτερούσε 2,5 φορές έναντι του γυμνού. Στη συνέχεια, μετά την αστοχία της θλιβόμενης ράβδου, οι δυσκαμψίες των δύο δοκιμών σχεδόν ταυτίζονται. Η διαρροή και η αστοχία εμφανίστηκαν σε παραμορφώσεις 1,67% και 5% για το γυμνό και 2,08% και 4% για το ενισχυμένο αντίστοιχα. Η προσθήκη του μεταλλικού δικτυώματος πάντως επέφερε μείωση της πλαστιμότητας λόγω του αυξημένου φορτίου και την πρώιμη ρηγμάτωση του πλαισίου.



Οι **Mazzolani et al (2009)** ασχολήθηκαν πειραματικά με τη σεισμική αναβάθμιση υφιστάμενων κατασκευών Ο.Σ. χρησιμοποιώντας μια σειρά από ειδικές μεθόδους ενίσχυσης. Μεταξύ αυτών ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσθήκη μεταλλικού δικτύωματος τύπου Λ. Πρόκειται για πειραματικές δοκιμές οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε υφιστάμενες διώροφες κατασκευές πλήρους κλίμακας (1:1) λεπτομέρειες των οποίων απεικονίζονται στο σχήμα 1.34. Διερευνάται η ευεργετική επίδραση των μεταλλικών αποσβεστήρων υπό σεισμικές δράσεις. Χρησιμοποιήθηκε έκκεντρο μεταλλικό δικτύωμα επί πλαισίου Ο.Σ. αποτελούμενο από διαγώνιες μεταλλικές ράβδους οι οποίες καταλήγουν στους κάτω κόμβους του πλαισίου ενώ στο σημείο τομής τους κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος συνδέει τις διαγώνιες αυτές ράβδους με το μέσο του ζυγώματος.

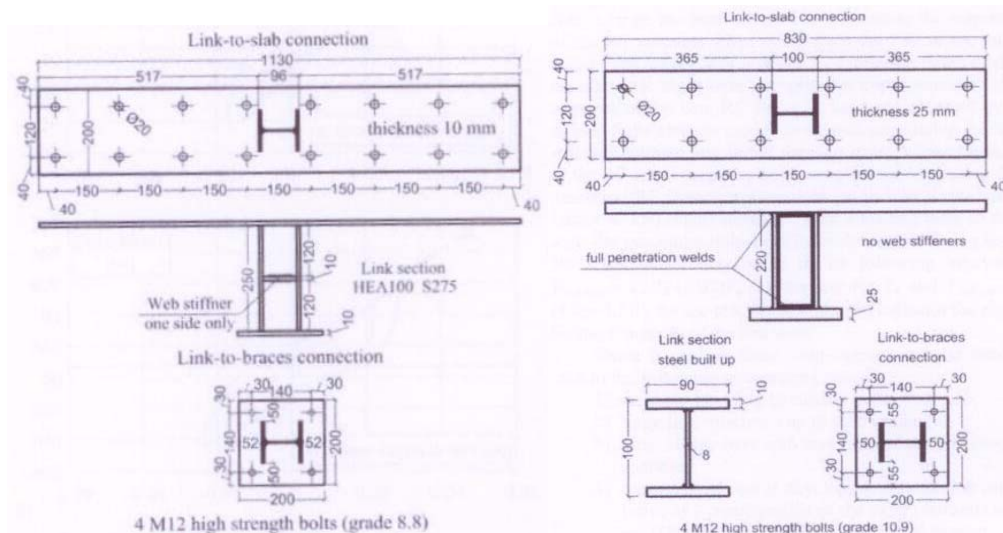


Σχ. 1.34 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες όπλισης.

Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη οριζόντια φόρτιση με αυξανόμενο βήμα φόρτισης. Πραγματοποιήθηκαν τρεις πειραματικές δοκιμές. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών απεικονίζονται στο σχήμα 1.35.

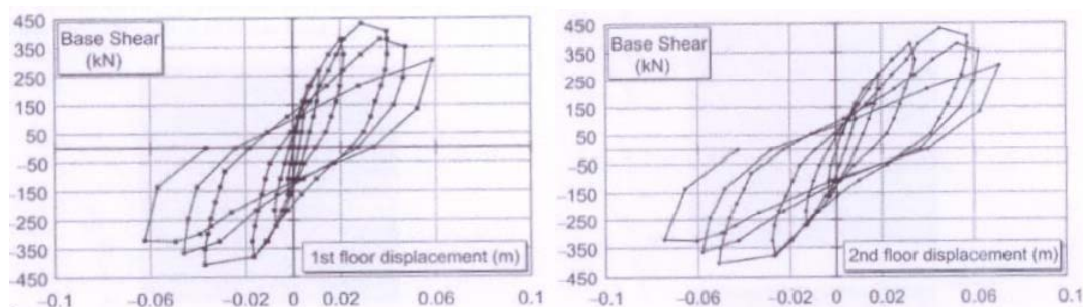
Κατά την πρώτη πειραματική δοκιμή παρουσιάστηκε αστοχία της συνδεσμολογίας του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου με τη μορφή απόσχισης των συγκολλήσεων του

μεταλλικού συνδέσμου και τις άνω πλάκας. Παράλληλα η κάτω πλάκα του συνδέσμου αστόχησε με σύνθλιψη άντυγας των οπών των κοχλιών.

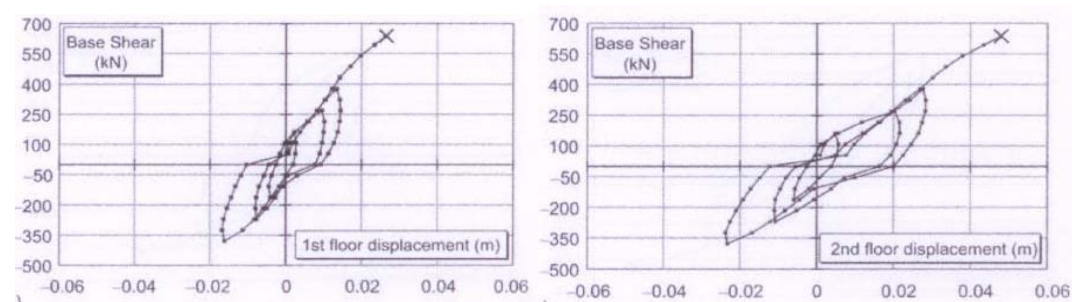


Κατακόρυφος σύνδεσμος (πείραμα 1)

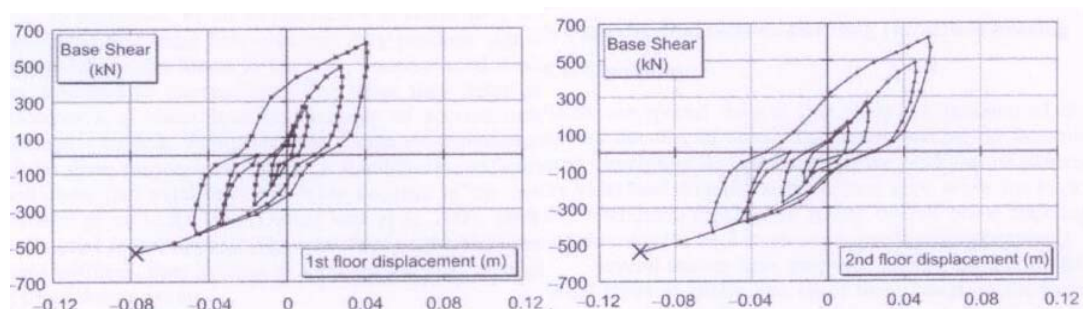
Κατακόρυφος σύνδεσμος (πείραμα 3)



Πείραμα 1



Πείραμα 2



Πείραμα 3

Σχ. 1.35 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες και αποτελέσματα δοκιμών.

Προκειμένου να αποφευχθούν οι παραπάνω αστοχίες επανασχεδιάστηκε ο κατακόρυφος σύνδεσμος. Ενισχύθηκαν κατά πολύ οι συγκολλήσεις του κατακόρυφου κορμού με τις μεταλλικές πλάκες. Επίσης αυξήθηκε το πάχος της κάτω πλάκας στην οποία εδράζεται ο σύνδεσμος από 10mm σε 25mm. Η αστοχία αυτή τη φορά εμφανίστηκε στους κοχλίες σύνδεσης του μεταλλικού κορμού με την κάτω μεταλλική πλάκα λόγω εφελκυσμού.

Στην τρίτη πειραματική δοκιμή ο κατακόρυφος σύνδεσμος σχεδιάστηκε έτσι ώστε να αυξήσει την πλαστιμότητα του συστήματος. Παράλληλα ενισχύθηκαν εκ νέου οι περιοχές στις οποίες επήλθε αστοχία στα δύο προηγούμενα πειράματα. Επίσης αυξήθηκε και η αντοχή των κοχλιών προκειμένου να αποφευχθεί πρόωρη αστοχία λόγω εφελκυσμού. Το δοκίμιο παρουσίασε πλάστιμη συμπεριφορά με τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο να παραμορφώνεται κατά την ανακύκλιση προσδίδοντας στο σύστημα αύξηση της αντοχής αλλά και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας. Σε μεγάλες μόνο παραμορφώσεις του κατακόρυφου συνδέσμου επήλθε και πάλι αστοχία των κοχλιώσεων σύνδεσης του συνδέσμου με τις διαγώνιες ράβδους.

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι σε μεγάλες παραμορφώσεις του κατακόρυφου συνδέσμου, αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις εφελκυσμού του συνδέσμου μέσω των διαγώνιων μεταλλικών ράβδων. Στο σχήμα 1.36 διακρίνεται η παραμόρφωση του κατακόρυφου συνδέσμου σε σχετικά προχωρημένες μετατοπίσεις.

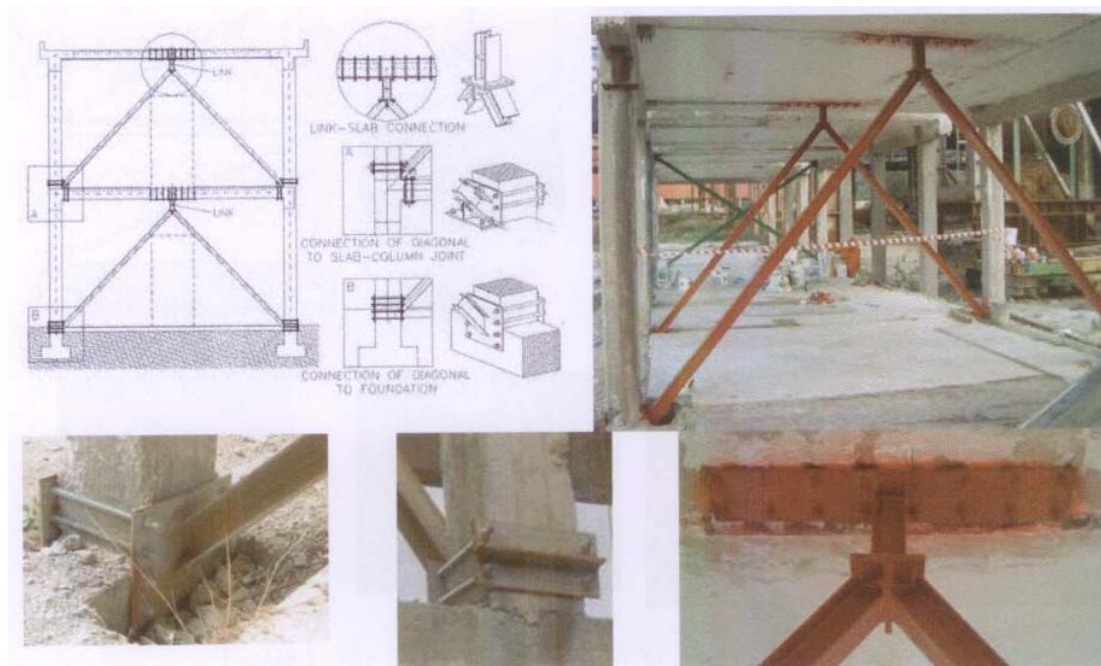


Φωτ. 1.1 Παραμόρφωση κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου.

Μια τέτοιου τύπου ενίσχυση αποτελεί μια ικανοποιητική μορφή ενίσχυσης μιας κατασκευής προσδίδοντας στο σύστημα αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας μέσω της παραμόρφωσης του κατακόρυφου συνδέσμου, αναβαθμίζοντας ταυτόχρονα την κατασκευή όσον αφορά τη μέγιστη φέρουσα ικανότητα και τη δυσκαμψία της. Για να επιτευχθούν όμως τα παραπάνω πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη διαστασιολόγηση και την κατασκευή έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα αστοχίας των μεταλλικών συνδέσεων (π.χ. αστοχία κοχλιών, σύνθλιψη άντυγας πλακών). Επίσης ένα αδύναμο σημείο αποτελεί και η συνδεσμολογία των μεταλλικών ράβδων με τους κόμβους του σκυροδέματος. Για την αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας (π.χ. εξόλκευση βλήτρων) συνιστάται η περιμετρική περίσφιξη του κόμβου όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.37.

Η ίδια πειραματική δοκιμή προσεγγίστηκε αναλυτικά από τον **D' Aniello M. (2006)** χρησιμοποιώντας κατάλληλο προσομοίωμα που απέδωσε ικανοποιητική ταύτιση.



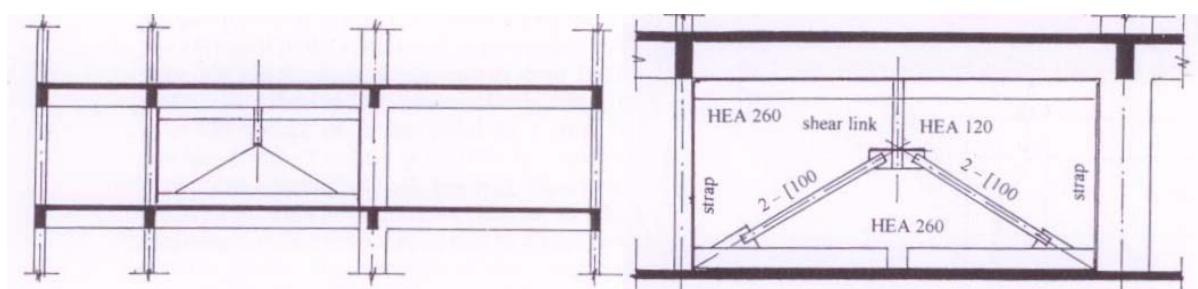
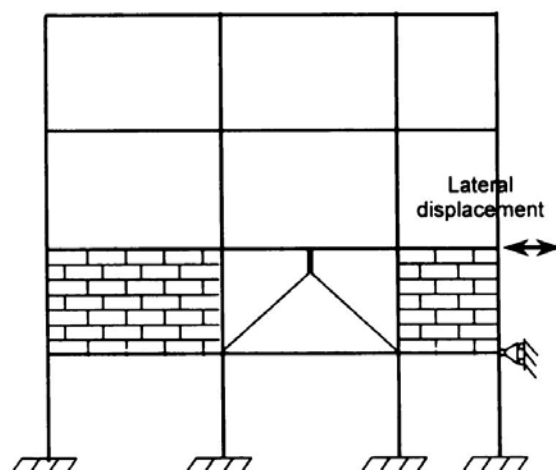
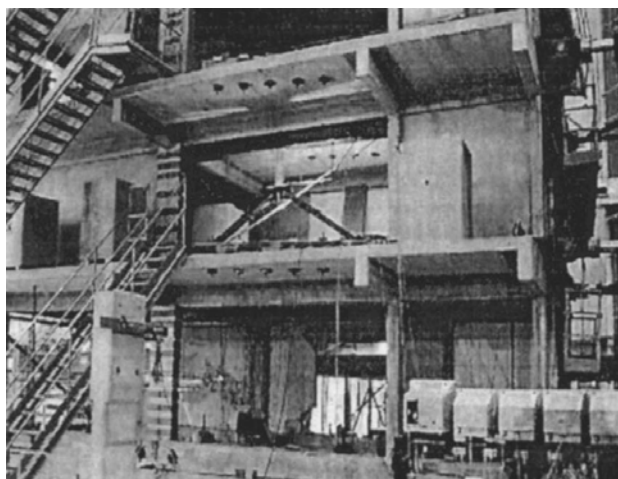


Σχ. 1.37 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες συνδεσμολογίας μεταλλικών στοιχείων με τους κόμβους σκυροδέματος.

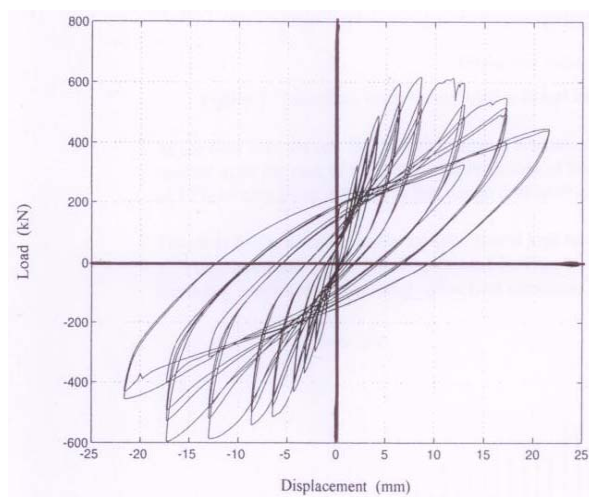
Ο **Bouwkamp J.** (2000) αναφέρεται σε πειραματική δοκιμή που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διαπιστωθούν τα αποτελέσματα ενίσχυσης πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος με τη χρήση μεταλλικής ενίσχυσης σχήματος Λ. Για την πειραματική δοκιμή χρησιμοποιήθηκε τετραώροφη κατασκευή τριών ανοιγμάτων πληρωμένη με τοιχοποιία, στο ένα άνοιγμα της οποίας η τοιχοποιία έχει αντικατασταθεί από την υπό εξέταση μεταλλική διάταξη. Η μεταλλική διάταξη που προτείνεται αποτελείται από δυο διαγώνιες ράβδους και ένα κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο ο οποίος συνδέει τις δύο διαγώνιες ράβδους με το μέσον της επάνω δοκού. Επιπλέον τοποθετούνται δύο μεταλλικές δοκοί στην άνω και κάτω δοκό αντίστοιχα επάνω στις οποίες εφαρμόζει το μεταλλικό αυτό δικτύωμα. Λεπτομέρειες αυτής της μεθόδου ενίσχυσης απεικονίζονται στο σχήμα 1.38.

Ο δεύτερος όροφος του δοκιμίου ο οποίος φέρει τη μεταλλική ενίσχυση υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση με τη βοήθεια εμβόλων. Οι κύκλοι φόρτισης ολόκληρου του ορόφου φαίνονται στο σχήμα 1.39α από το οποίο διακρίνεται ότι η μέγιστη φέρουσα ικανότητα έφτασε τα 600kN. Σε παραμόρφωση 0,5% η αντοχή δεν αυξάνει περαιτέρω. Σε προχωρημένες μετατοπίσεις παρουσιάστηκαν βλάβες στους στύλους με αποκόλληση τμήματος της επικάλυψης. Η αστοχία επέφερε πτώση της αντοχής κατά 15% περίπου (από 600kN σε 500kN). Στο σχήμα 1.39β φαίνονται οι κύκλοι φόρτισης του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια τυπική πλαστική συμπεριφορά με την αντίσταση του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου να αυξάνεται συνεχώς κατά την ανακύκλιση.

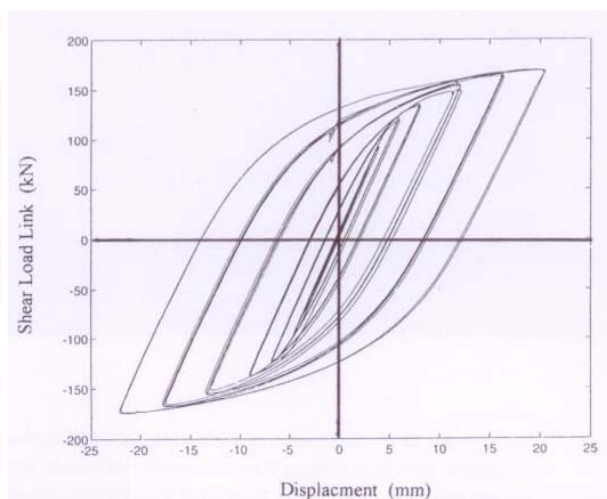
Η μέγιστη αντοχή του αναπτύχθηκε σε θέση παραμόρφωσης 3,5% και έφτασε τα 170kN. Σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του είδους της ενίσχυσης αποτελεί η μεγάλη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο με ικανότητα παραμόρφωσης πάνω από 9%.



Σχ. 1.38 Έκκεντρο μεταλλικό δικτύωμα ενίσχυσης πλαισίων.



α) Όροφος

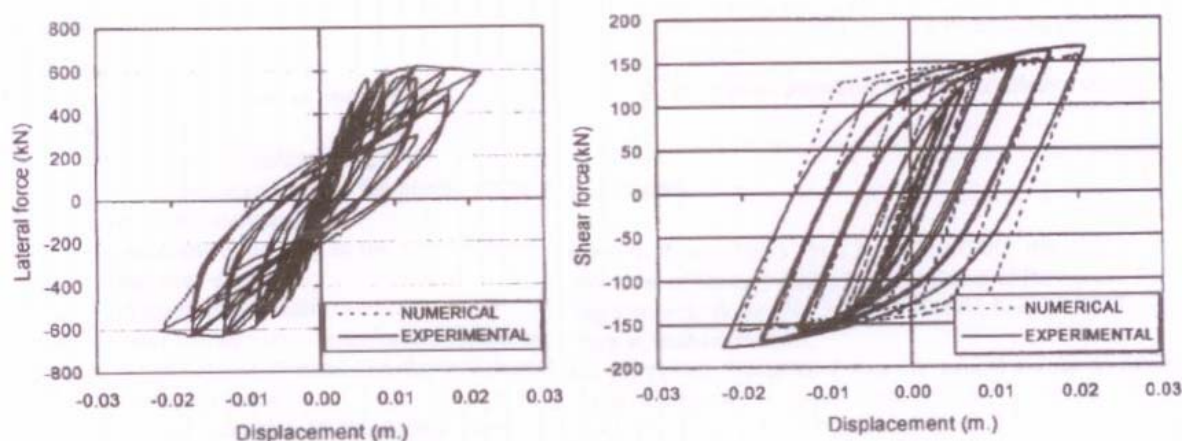


β) Κατακόρυφος σύνδεσμος

Σχ. 1.39 Κύκλοι φόρτισης.

Χρησιμοποιώντας την ίδια πειραματική δοκιμή οι **Perera R. et al (2004)** διερεύνησαν αναλυτικά τη συμπεριφορά της κατασκευής. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ειδικό προσομοίωμα. Υπήρξε ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ αναλυτικών και πειραματικών αποτελεσμάτων όπως φαίνεται από το σχήμα 1.40 τόσο όσον αφορά τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο μεμονωμένο όσο και ολόκληρου του ορόφου.





α) Κύκλοι φόρτισης ορόφου.

β) Κύκλοι φόρτισης κατακόρυφου συνδέσμου.

Σχ. 1.40 Κύκλοι φόρτισης.

Με την ενίσχυση πλαισίων Ο.Σ. με τη χρήση μεταλλικών δικτυωμάτων ασχολήθηκαν επίσης οι Chen S. et al (2001), Dolce M. et al (2005), Bartera F. and Giacchetti R. (2004), Maheri M.R. (2005), Pinto A. and Taucer F. (2006), Pinto A. et al (2002), Dolce M. et al (2004), Maheri M.R. and Akbari R. (2003), Masri A.C. and Goel S.C. (1996), Antonucci R. et al (2004).

Με την αναλυτική προσέγγιση πλαισίων ενισχυμένων με μεταλλικά δικτυώματα ασχολήθηκαν εκτενώς οι Ghobarah A. and Abou Elfath H. (2001), Sabelli R. et al (2003), Rai D.C. and Goel S.G. (2003), Sorace S. and Terenzi G. (2008), Vezina S. and Pall R.T. (2004).

Με τη γενική προσέγγιση των μεθόδων ενίσχυσης με τη χρήση μεταλλικών δικτυωμάτων ασχολήθηκαν οι Martinez-Rodrigo M. and Romero M.L. (2003), Kit Miyamoto H. (2000), Jara J.M. et al (2001), Kazem H. and Nateghi F. (2006), Bush T.D. et al (1991), Dorka U.E. and Schmidt K. (2002), Bruneau M. and Sarraf M. (2000), Symans M.D. et al (2008), Martinez Romero E. (1993), Pincheira J.A. (1993), Pall A. et al (1993), Malhotra A. et al (2004), Dorka U.E. and Gleim S. (2006), Di Sarno L. and Elnashai A.S. (2005), Martinez-Rueda J-E. (2002), Solá L-J. (2007), Sugano S. (2006), Aiken I. et al (1999), Butterworth J.W. (1999), Popov E.P. and Engelhardt M.D. (1988), Mitchell D. et al (2003), Di Sarno L. and Elnashai A.S. (2002), Nateghi-A F. (1995), Whittaker A.S. et al (1991), Molina F.J. et al (2004), Xie Q. (2005), Badoux M. and Jirsa J.O. (1990), Aiken I.D. et al (1993), Richards P.W. and Uang C-M. (2006).

Με την ανάλυση μεταλλικών πλαισίων ενισχυμένων με εμφαννόμενα μεταλλικά δικτυώματα ασχολήθηκαν οι Tsai K.C. et al (1993 β), Vulcano A. and Mazza F. (2000), Bruneau M. and Sarraf M. (2000), Ciampi V. et al (2000), Sarraf M. and Bruneau M. (1998), Lu X. and Zhou Q. (2002), Ozhendekci D. and Ozhendekci N. (2008), Lotfollahi M. and Mofid M. (2008), Foti D. et al (1998), Tremblay R. and Robert N. (2000), Kim J. and Seo Y. (2004), Di Sarno L. et al (2008), Perry C.L. et al (1993), Field C.J. (2003).

Πειραματική διερεύνηση μεταλλικών πλαισίων ενισχυμένων με μεταλλικά στοιχεία δικτύωσης πραγματοποιήθηκε από τους Zahrai M. and Bruneau M. (1999), Bubela R.K. et al (2002), Zahrai M. and Bruneau M. (2000), Butterworth J. and Clifton C. (2000), Mardinez-

Rueda J-E. (2004), Mualla I.H. et al (2002), Mualla I. and Belev B. (2002), Molina F. et al (2006), Lin P.Y. et al (2002), Bairrao R. et al (2004), Renzi E. et al (2004), Tsai K-C et al (1993 α), Sam M-T et al (1995), Berman J.W. and Bruneau M. (2007), Schmid K. and Dorka U.E. (2004), Aiken I.D. et al (1993), Tehranizadeh M. (2001), Sarraf M. and Bruneau M. (2004), Tsai K-C et al (2004), Infanti S. et al (2004), Carden L.P. et al (2006), Tremblay R. et al (2006), Inoue K. et al (2001).

Με την ενίσχυση πλαισίων μέσω συνδέσμων αλουμινίου ασχολήθηκαν οι Rai D. and Wallace B. (1998, 2000).

Τη χρήση διατμητικών πετασμάτων για την ενίσχυση πλαισίων εξέτασαν οι Hitaka T. et al (2007).

Η προσθήκη συνδέσμων Ο.Σ. για την ενίσχυση πλαισίων Ο.Σ. εξετάσθηκε από τους Osanai Y. and Watanabe F. (2000), Watanabe F. Et al (2004).

Η παραμόρφωση μεταλλικών στοιχείων αυτοτελώς για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς τους έγινε από τους Okazaki T. and Engelhardt M. (2007), De Oliveira J-C et al (2008), Chao S-H et al (2005), Okazaki T. et al (2004), Uang C-M. et al (2005), Bruneau M. et al (2005), Astaneh-Asl A. (1998), Kim W-b. (2001).

## 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

### 2.1 Προβληματισμοί και αποφάσεις

Από τη διερεύνηση της διεθνούς βιβλιογραφίας επί της ενίσχυσης πλαισίων Ο.Σ. με μεταλλικά στοιχεία δικτύωσης υψηλής απόσβεσης, φάνηκε ότι υπάρχει ευρύ πεδίο κυρίως πειραματικής έρευνας, τόσο σε διεθνή όσο και σε εθνική κλίμακα. Οι παροτρύνσεις του τελικού σχεδίου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την υιοθέτηση αυτής της μορφής ενίσχυσης, σε συνδυασμό με την έλλειψη πειραματικών αποτελεσμάτων στη χώρα μας, προσδίδει στο παρόν πρόγραμμα πρόσθετο ενδιαφέρον.

Για τη διαμόρφωση και την επιλογή του ακριβούς περιεχομένου της μελέτης, οι προβληματισμοί κάλυψαν τα εξής επιμέρους αντικείμενα:

- Το είδος της μεταλλικής ενίσχυσης, όσον αφορά το σχήμα και τη γεωμετρία.
- Τον τρόπο εφαρμογής των ενισχύσεων επάνω στο πλαίσιο Ο.Σ. Οι δυνατότητες εφαρμογής ήταν δύο. Μια εντός του πλαισίου, συνεπίπεδη και εμφανιζόμενη, και μια εξωτερική σε παράλληλο επίπεδο, σε επαφή με το υπό ενίσχυση πλαίσιο.
- Την ιστορία φόρτισης και τον τρόπο επιβολής της (ύπαρξη αξονικού φορτίου στους στύλους, επιβολή ανακυκλιζόμενου φορτίου).
- Τις λεπτομέρειες όπλισης του πλαισίου Ο.Σ.
- Τις λεπτομέρειες σύνδεσης. Σε τέτοιου είδους πειραματικές διατάξεις υπάρχει ευρύτατο πεδίο εναλλακτικών λύσεων στις συνδέσεις των μεταλλικών στοιχείων μεταξύ τους και με το σκυρόδεμα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, σε συνδυασμό με τη διεθνή έρευνα επί του αντικειμένου και βέβαια τις δυνατότητες του εργαστηρίου αποφασίσθηκαν τα εξής:

- Ως προς την επιλογή του είδους της μεταλλικής ενίσχυσης, η διερεύνηση μεταλλικών δικτυωμάτων σχήματος Λ αποτελεί την πιο ενδιαφέρουσα μορφή ενίσχυσης, δεδομένου ότι λειτουργεί επιπλέον ως αποσβεστήρας ενέργειας και προσδίδει στο σύστημα πλαστιμότητα πέραν της αντοχής και της δυσκαμψίας. Συμβατικοί διαγώνιοι ή χιαστί σύνδεσμοι έχουν περιορισμένο ενδιαφέρον καθώς η αστοχία τους προέρχεται από τη θραύση και το λυγισμό του εφελκυσμένου και θλιβόμενου σκέλους αντίστοιχα.
- Η ιδέα για διερεύνηση της συμπεριφοράς της εν λόγω ενίσχυσης εφαρμοζόμενης εξωτερικά πάνω στην πρόσοψη του πλαισίου απορρίφθηκε λόγω των δυσμενών συνθηκών που θα προκαλούσαν φαινόμενα στρέψης κατά τη φόρτιση, δεδομένου ότι μια ενίσχυση τέτοιου είδους εφαρμόζεται έκκεντρα στον άξονα της φόρτισης. Επιπλέον, η συνδεσμολογία με το πλαίσιο θα ήταν εφικτή μόνο μέσω βλήτρων τα οποία συνήθως αστοχούν πρόωρα με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία. Κατά συνέπεια το ενδιαφέρον θα επικεντρωνόταν στην επάρκεια των συνδέσεων και όχι στη συνολική συμπεριφορά της ενίσχυσης.
- Καθώς είναι αδύνατον να διερευνηθεί όλο το πλήθος των παραμέτρων, επιλέχθηκε η υπερδιαστασιολόγηση των διαγωνίων μεταλλικών στοιχείων (σχήματος Λ) και των συνδέσεων με τους κόμβους του πλαισίου με σκοπό την καθοδήγηση της αστοχίας στο κατακόρυφο μεταλλικό στοιχείο που συνδέει τις διαγώνιες ράβδους με το μέσον του πλαισίου.
- Επιλέχθηκε οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση με αυξανόμενο εύρος μετακινήσεων και με δύο κύκλους φόρτισης για κάθε βήμα. Λόγω του ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, υιοθετήθηκε επίσης ως παράμετρος η ύπαρξη ή όχι αξονικού φορτίου στους στύλους.

- Δεδομένης της ανάγκης ενίσχυσης παλαιών κυρίως κατασκευών, επιλέχθηκαν μια μορφή όπλισης του πλαισίου Ο.Σ., συνήθης σε προγενέστερες κατασκευές που περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.
- Μια άλλη μορφή ενίσχυσης υπό μορφή πετασμάτων αλουμινίου φαίνεται ενδιαφέρουσα και ερευνάται επίσης, ετεροβαρώς όμως, με μικρό αριθμό δοκιμών.

Με βάση τα παραπάνω αποφασίστηκε η διερεύνηση τόσο γυμνών όσο και ενισχυμένων πλαισίων με τις παρακάτω παραμέτρους μελέτης:

- Αξονική δύναμη στους στύλους των πλαισίων. Δύο τιμές, η μια εκ των οποίων μηδενική.
- Μορφή παραμόρφωσης κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου (καμπτική ή διατμητική) με κατάλληλη επιλογή της γεωμετρίας του.
- Επίπεδο ενίσχυσης συνδέσμου, δύο τιμές: μια συγκρίσιμη με την αντοχή του πλαισίου και μια υπερδιπλάσια.

Στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά το πλήθος, η ονοματολογία και τα χαρακτηριστικά των δοκιμών που έχουν διερευνηθεί.

A/A	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	ΑΞΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΟΥΣ ΣΤΥΛΟΥΣ
1	F1	ΟΧΙ	Γυμνό με τη μεταλλική διάταξη Λ, χωρίς τον κατακόρυφο σύνδεσμο	ΟΧΙ
2	F1,N	ΟΧΙ	Γυμνό με τη μεταλλική διάταξη Λ, χωρίς τον κατακόρυφο σύνδεσμο	ΝΑΙ
3	F2	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο μορφής λεπίδας (6X70X100)mm	ΟΧΙ
4	F2,N	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο μορφής λεπίδας (6X70X100)mm	ΝΑΙ
5	F3	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο διατομής Ι (6X60X30X100)mm	ΟΧΙ
6	F3,N	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο διατομής Ι (6X60X30X100)mm	ΝΑΙ
7	F4	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο διατομής Ι (6X80X40X200)mm	ΟΧΙ
8	F4,N	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο διατομής Ι (6X80X40X200)mm	ΝΑΙ
9	F5	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο διατομής Ι (6X120X60X200)mm	ΟΧΙ
10	F5,N	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο σύνδεσμο διατομής Ι (6X120X60X200)mm	ΝΑΙ
11	P1	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο πέτασμα αλουμινίου	ΟΧΙ
12	P2	ΝΑΙ	Ενισχυμένο με κατακόρυφο πέτασμα αλουμινίου	ΟΧΙ

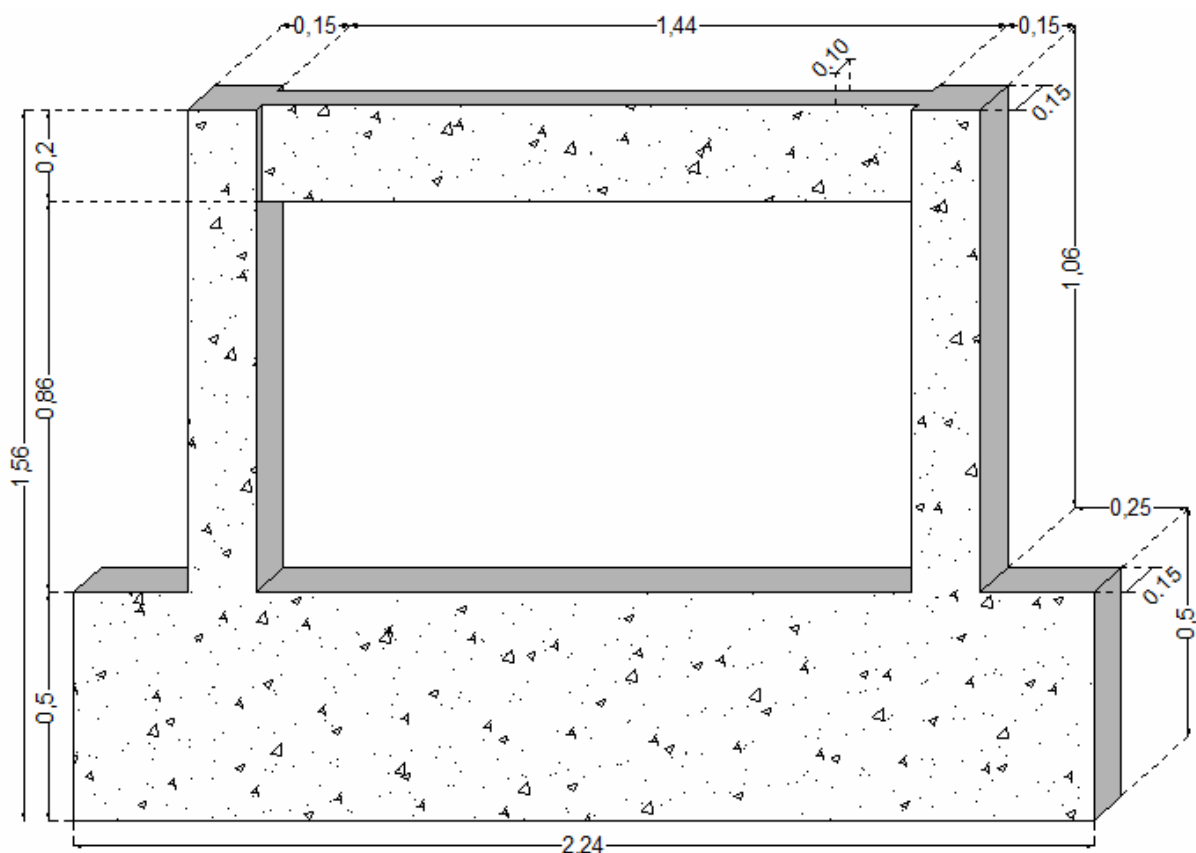
Πίν. 2.1 Ονοματολογία δοκιμών.

## 2.2 Πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει την κατασκευή 15 δοκιμών υπό κλίμακα 1:3, τα περισσότερα εκ των οποίων φέρουν την υπό διερεύνηση μεταλλική ενίσχυση στο εσωτερικό τους. Η εργαστηριακή διάταξη και το εύρος των φορτίων των εμβόλων δεν επέτρεψε την κατασκευή δοκιμών υπό κλίμακα 1:1.

### 2.2.1 Γεωμετρία δοκιμών

Η γεωμετρία των δοκιμών κρατήθηκε ίδια για όλα τα δοκίμια (Σχήμα 2.1). Επιλέχθηκε λόγος ανοίγματος προς ύψος  $l/h=1,5$ . Οι διατομές των στύλων και του ζυγώματος αντιστοιχούν στον κατώτατο όροφο ενός τετραώροφου πολύστυλου πλαισίου.



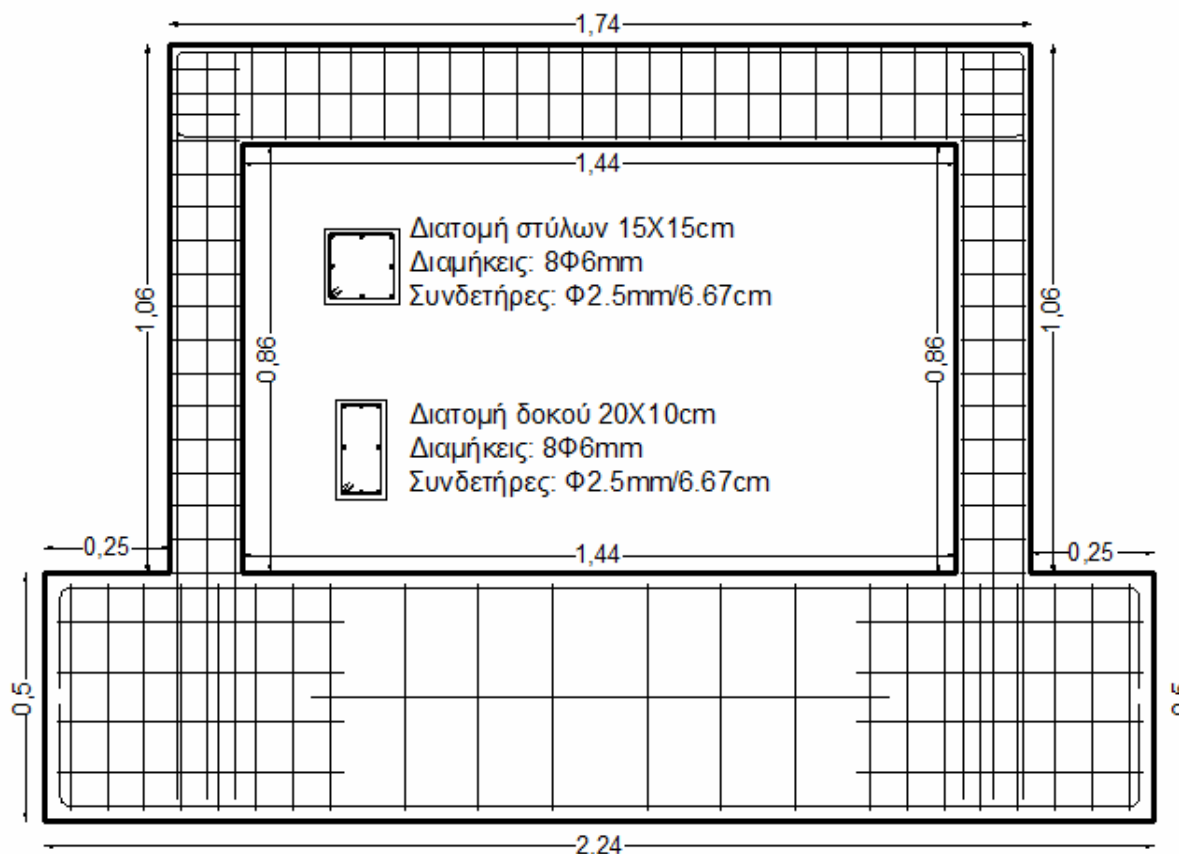
Σχ. 2.1 Γεωμετρία πλαισίου Ο.Σ. (διαστάσεις σε m).

Επιλέχθηκε διατομή στύλων 15X15cm και δοκού 10X20cm, που αντιπροσωπεύουν στύλους και δοκό 45X45cm και 30X60cm αντίστοιχα σε πραγματική κλίμακα.

Η διατομή της βάσης (15X50cm) επιλέχθηκε έτσι ώστε να αποτελεί ένα πολύ δύσκαμπτο δομικό στοιχείο σε σχέση με τους στύλους και το ζύγωμα και κατά συνέπεια να μπορεί να παραλάβει όλη την ένταση της φόρτισης χωρίς να αστοχεί, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο συνθήκες πλήρους πάκτωσης για τους στύλους των δοκιμών.

## 2.2.2 Όπλιση δοκιμίων

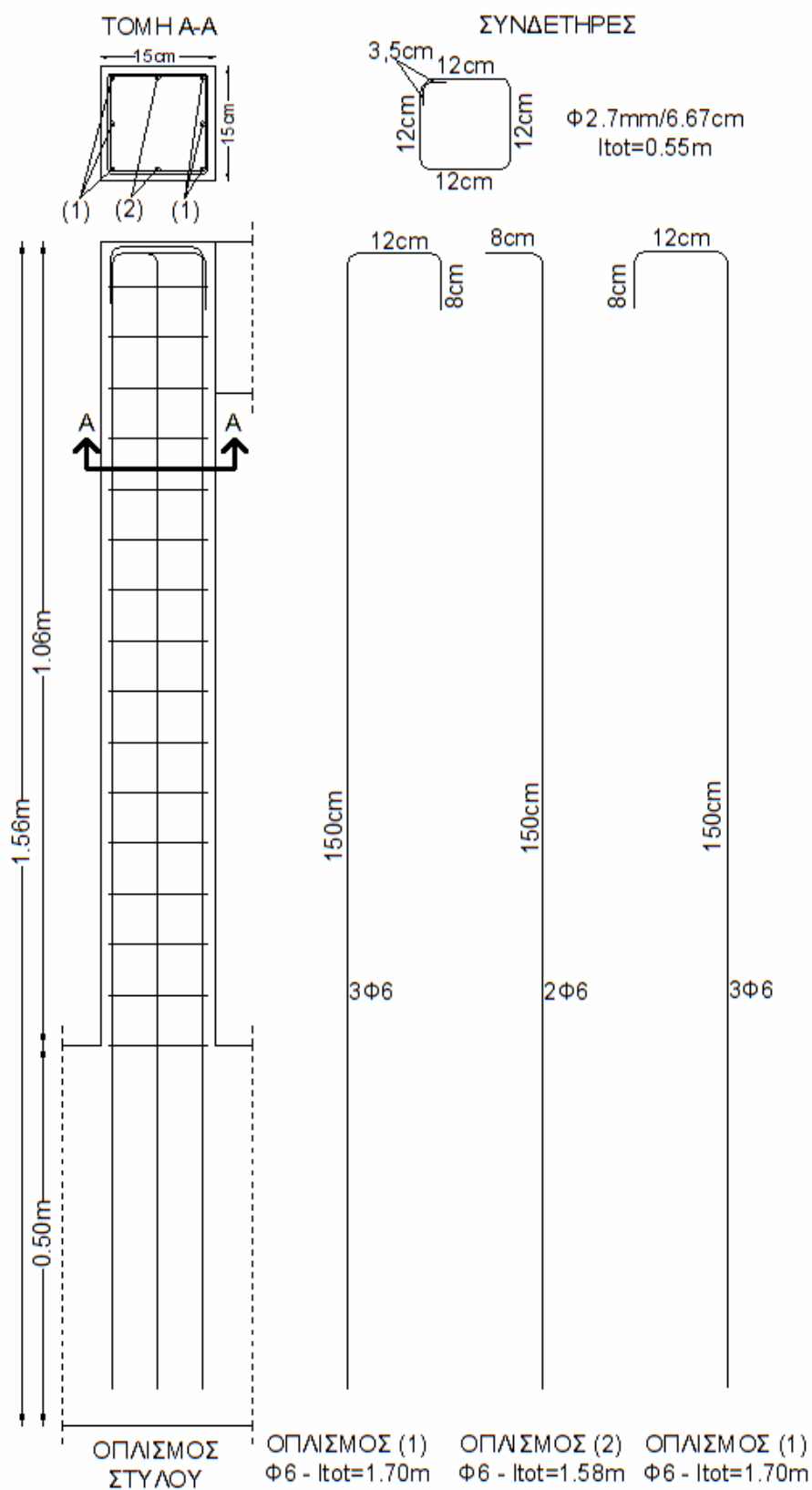
Τα δοκίμια σχεδιάστηκαν βάσει παλαιών κανονισμών και με χαμηλής κατά το δυνατόν ποιότητας υλικά προκειμένου να επιτευχθεί η προσομοίωση των προς ενίσχυση παρωχημένων κατασκευών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε λείος χάλυβας αντοχής  $f_y/f_u = 450/540$  (δεν βρέθηκε στο εμπόριο λείος χάλυβας χαμηλότερης αντοχής στις συγκεκριμένες διαμέτρους) για το διαμήκη και 265/390 για τον εγκάρσιο οπλισμό. Οι οπλισμοί ακολουθούν τις παλιές διατάξεις, με κύριο χαρακτηριστικό τους αραιούς συνδετήρες ακόμη και στις κρίσιμες περιοχές, καθώς και μικρά μήκη αγκύρωσης, το επίπεδο όμως ποιότητας της εκτέλεσης είναι υψηλό. Χρησιμοποιήθηκαν μια μορφή διάταξης οπλισμών για το σύνολο των δοκιμίων ο οποίος απεικονίζεται στο σχήμα 2.2. Όπως φαίνεται, ακολουθήθηκε μια τυπική μορφή όπλισης πλαισίου με ευθύγραμμους διαμήκεις οπλισμούς τόσο στην δοκό, όσο και στους στύλους, με τους συνδετήρες των στύλων να συνεχίζονται εντός του κόμβου.



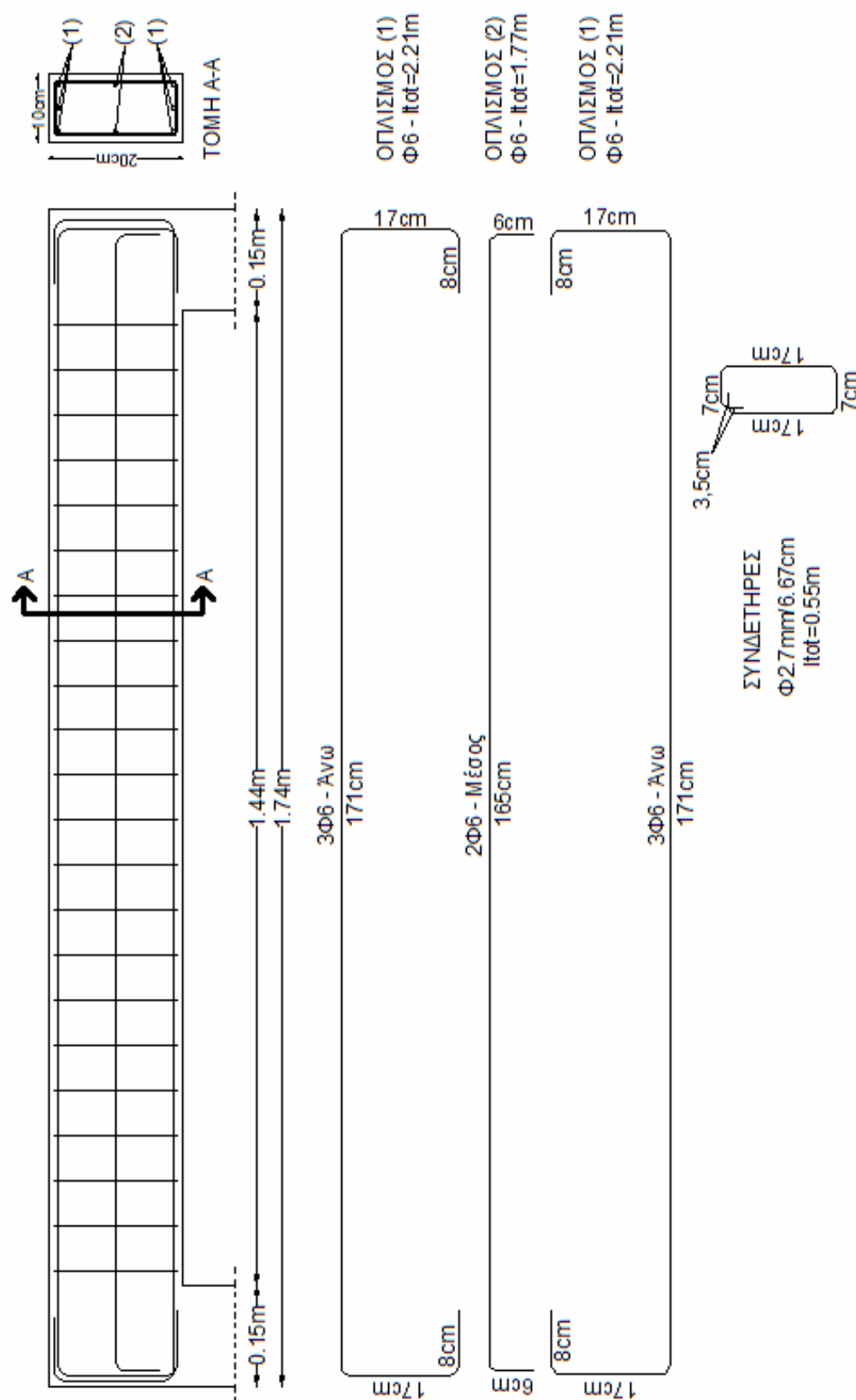
Σχ. 2.2 Όπλιση πλαισίου Ο.Σ.

Στη βάση του δοκιμίου αυξήθηκε αισθητά το ποσοστό οπλισμού για την αποτροπή αστοχίας του συγκεκριμένου δομικού στοιχείου κατά τη φόρτιση. Τα μήκη αγκύρωσης των οπλισμών των στύλων στη βάση ήταν επαρκή. Οι βραχείς πρόβολοι εκατέρωθεν του υπό εξέταση πλαισίου σχεδιάστηκαν και οπλίστηκαν έτσι ώστε να παραλάβουν με άνεση την ένταση.

Στα παρακάτω σχήματα 2.3, 2.4 και 2.5 απεικονίζεται η διάταξη όπλισης των στύλων, της δοκού αλλά και της βάσης του υπό εξέταση δοκιμίου.

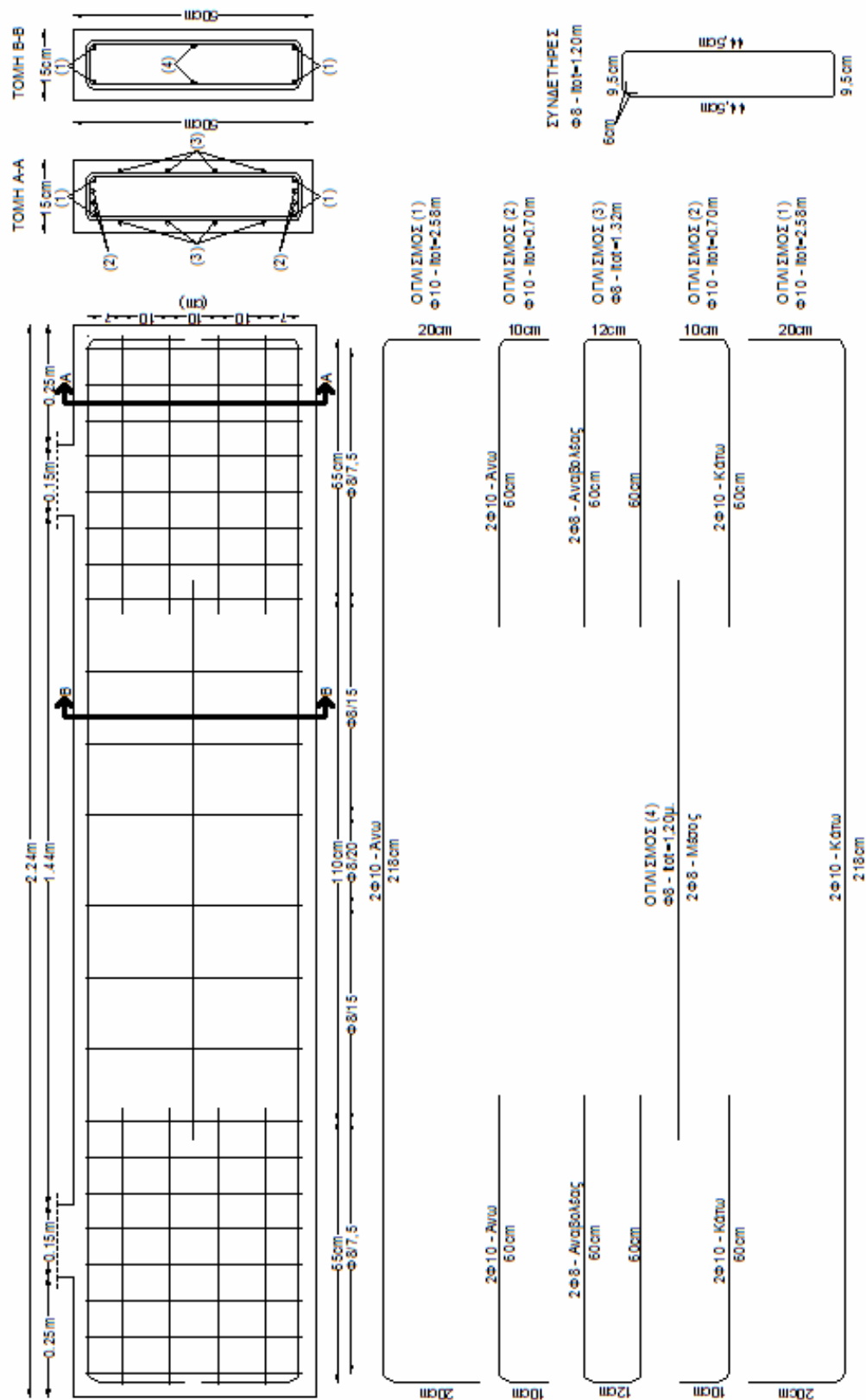


Σχ. 2.3 Οπλισμός στύλου.



#### Σχ. 2.4 Οπλισμός δοκού.

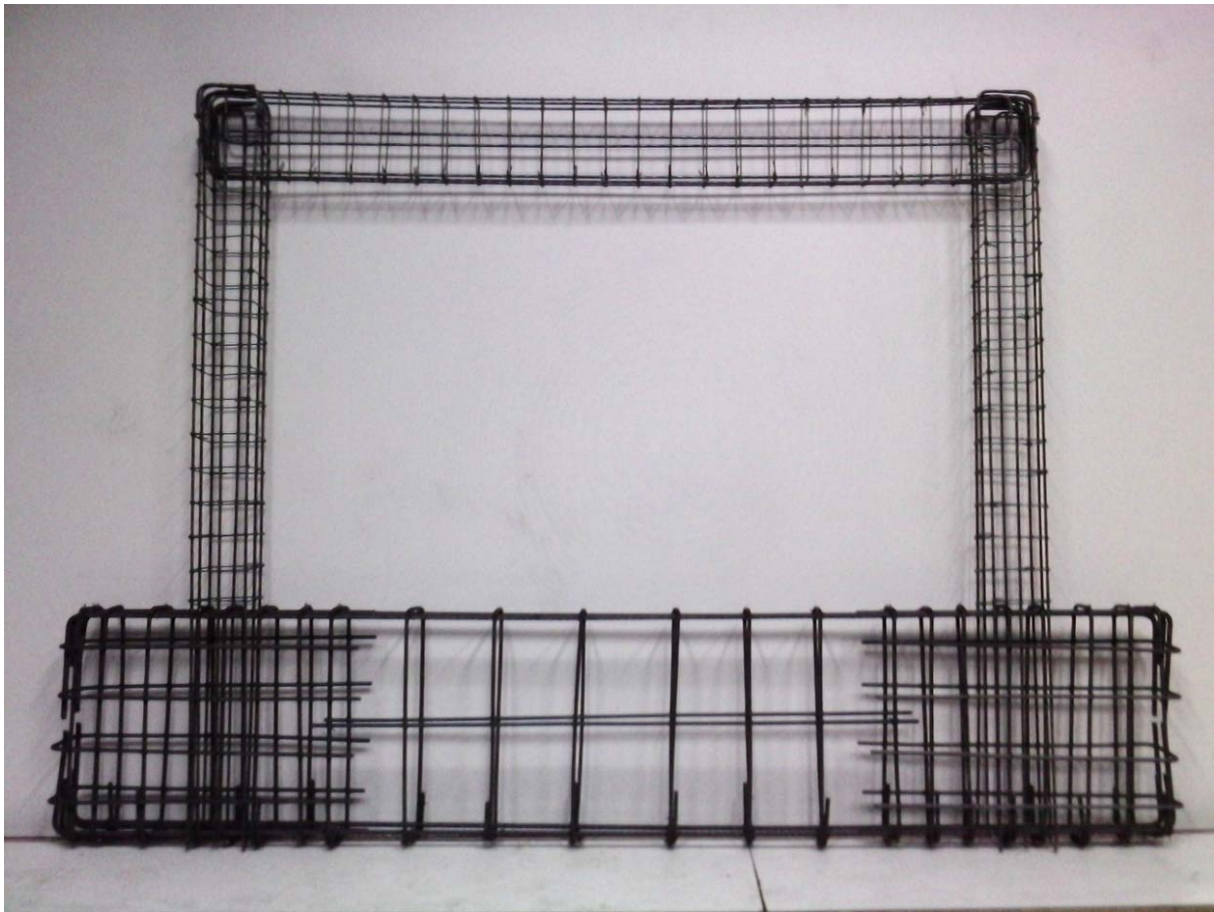




Σχ. 2.5 Οπλισμός βάσης.

Στις παρακάτω φωτογραφίες (2.1 έως 2.5) απεικονίζεται η διάταξη των οπλισμών του δοκιμίου πριν από τη σκυροδέτηση. Όπως προαναφέρθηκε, η βάση πάκτωσης του δοκιμίου χαρακτηρίζεται από αυξημένο ποσοστό οπλισμού σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του δοκιμίου (διαμήκεις  $\Phi 10$ , συνδετήρες και αναβολείς  $\Phi 8$ ).

Οι διαμήκεις οπλισμοί των στύλων και του ζυγώματος είναι λείοι  $\Phi 6$  με συνδετήρες επίσης λείους  $\Phi 2.7\text{mm}/6.67\text{cm}$ , χωρίς πύκνωση στις κρίσιμες περιοχές. Οι συνδετήρες των στύλων εκτείνονται και εντός της περιοχής του κόμβου. Η αγκύρωση των στύλων στη βάση εξασφαλίζεται με επαρκές ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης.



Φωτ. 2.1 Διάταξη όπλισης.

Ο διαμήκης οπλισμός των στύλων κρατήθηκε σε χαμηλά ποσοστά. Ο αντίστοιχος οπλισμός του ζυγώματος διατάχθηκε συμμετρικά στην επάνω και κάτω ίνα. Η διατομή της βάσης επιλέχθηκε πολύ δύσκαμπτη σε σχέση με τους στύλους έτσι ώστε να εξασφαλιστούν οι συνθήκες πλήρους πάκτωσης του πλαισίου.



Φωτ. 2.2 Οπλισμός κόμβου.



Φωτ. 2.3 Οπλισμός στύλου.



Φωτ. 2.4 Οπλισμός βάσης.



Φωτ. 2.5 Αγκυρώσεις στύλου.

Στον παρακάτω πίνακα 2.2 παρουσιάζεται αναλυτικά η προμέτρηση των οπλισμών ανά δομικό στοιχείο και ανά διατομή οπλισμού.

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ							
ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	Φ (mm)	ΜΗΚΟ Σ (m)	ΤΕΜΑ- ΧΙΑ	ΣΥΝΟ- ΛΟ (m)	ΣΥΝΟΛΟ ΜΗΚΟΥΣ ΑΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗ (m)	ΒΑΡΟΣ (kg)
ΣΤΥΛΟΣ 1	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (1)	6,00	1,70	6	10,20	13,36	2,26
	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (2)	6,00	1,58	2	3,16		0,70
	ΣΥΝΔΕΤΗΡΑΣ	2,70	0,55	16	8,80	8,80	0,40
ΣΤΥΛΟΣ 2	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (1)	6,00	1,70	6	10,20	13,36	2,26
	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (2)	6,00	1,58	2	3,16		0,70
	ΣΥΝΔΕΤΗΡΑΣ	2,70	0,55	16	8,80	8,80	0,40
ΔΟΚΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (1)	6,00	2,21	6	13,26	16,80	2,94
	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (2)	6,00	1,77	2	3,54		0,79
	ΣΥΝΔΕΤΗΡΑΣ	2,70	0,55	22	12,10	12,10	0,54
ΒΑΣΗ	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (1)	10,00	2,58	4	10,32	13,12	6,36
	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (2)	10,00	0,70	4	2,80		1,73
	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (3)	8,00	1,32	8	10,56	39,36	4,16
	ΔΙΑΜΗΚΗΣ (4)	8,00	1,20	2	2,40		0,95
	ΣΥΝΔΕΤΗΡΑΣ	8,00	1,20	22	26,40		10,41
Συνολικό βάρος οπλισμών (kg)							34,60

Πίν. 2.2 Προμέτρηση οπλισμών δοκιμίου.

### 2.2.3 Όγκος σκυροδέματος δοκιμών

Στον πίν. 2.3 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του όγκου του σκυροδέματος που απαιτείται για κάθε σκυροδέτηση ενός δοκιμίου.

ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ					
ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	b (m)	h (m)	l (m)	V (m <sup>3</sup> )	Vπλαισίου (m <sup>3</sup> )
ΣΤΥΛΟΣ 1	0,15	0,15	1,06	0,02385	0,245
ΣΤΥΛΟΣ 2	0,15	0,15	1,06	0,02385	
ΔΟΚΟΣ	0,10	0,20	1,44	0,0288	
ΒΑΣΗ	0,15	0,50	2,24	0,1680	

ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΞΙ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ				
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΚΤΙΝΑ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	Vκυλ.δοκ. (m <sup>3</sup> )
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ	0,075	0,30	6	0,032

Πίν. 2.3 Προμέτρηση όγκου σκυροδέματος δοκιμών.

## 2.2.4 Μεταλλότυπος σκυροδέτησης

Η σκυροδέτηση των δοκιμών έγινε σε ειδικής μορφής μεταλλότυπο (Σχήμα 2.6), προσαρμοσμένο στις ανάγκες των εν λόγω δοκιμών. Για διευκόλυνση της διαδικασίας σκυροδέτησης επιλέχτηκε η οριζόντια σκυροδέτηση των δοκιμών, στο πάτωμα του εργαστηρίου. Η ακριβής διαστασιολόγηση του μεταλλότυπου φαίνεται στο σχήμα 2.7 ενώ στη φωτογραφία 2.6 απεικονίζεται η τελική του μορφή.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.6, ο μεταλλότυπος αποτελείται από ένα σύνολο μεταλλικών διατομών διατομής Γ κατάλληλα σχεδιασμένων έτσι ώστε η συναρμολόγησή τους να εξασφαλίζει τις ακριβείς διαστάσεις του υπό εξέταση δοκιμίου. Στο πάτωμα του εργαστηρίου τοποθετήθηκε πλακάς με επικάλυψη μελαμίνης. Τα μεταλλικά τμήματα του μεταλλότυπου προσαρμόστηκαν επάνω στο πλακάς με αυτοδιάρτητες βίδες για την εξασφάλιση της σταθερότητάς του.

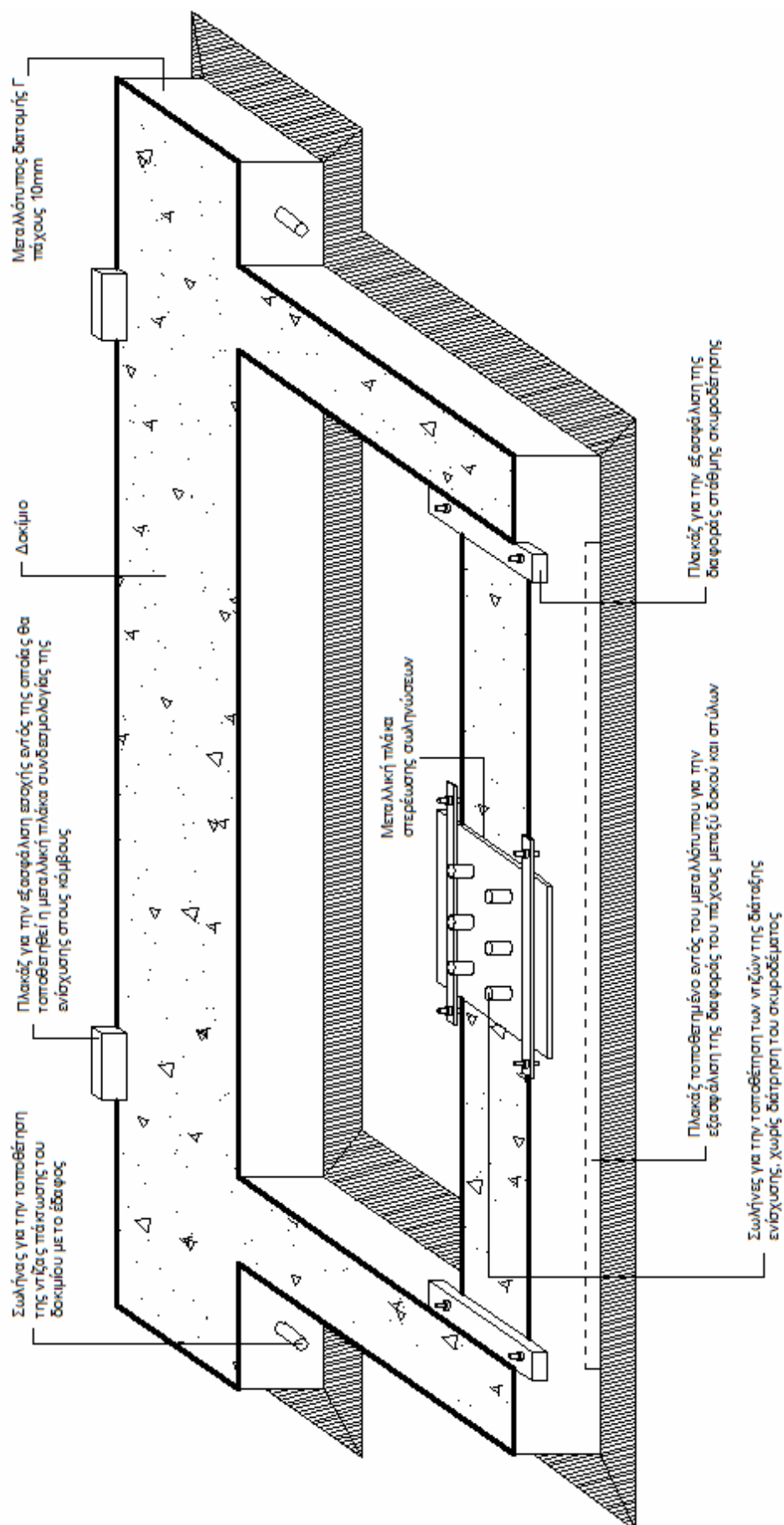
Εντός του μεταλλότυπου στην περιοχή της δοκού τοποθετήθηκε επιπλέον φύλλο πλακάς πάχους 25mm, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η διαφορετική διατομή μεταξύ στύλου και δοκού (Φωτ. 2.6). Για την αποφυγή της εκ των υστέρων διάτρησης του οπλισμένου σκυροδέματος, προσαρμόστηκαν πριν τη σκυροδέτηση τμήματα σωληνώσεων για τη διασφάλιση των οπών διαμέσου των οποίων θα διέλθουν οι ντίζες τόσο του μεταλλικού στοιχείου στο μέσο του ζυγώματος, όσο και αυτές οι οποίες θα εξασφαλίσουν την πάκτωση του δοκιμίου στο πάτωμα.

Η σταθερότητα των σωληνώσεων στο ζύγωμα κρίθηκε αναγκαία για την αποφυγή μετακινήσεων κατά τη σκυροδέτηση και τη δόνηση. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε μεταλλική πλάκα η οποία στηρίζεται μέσω ήλων στο μεταλλότυπο εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα στο άνω τμήμα των σωληνώσεων, ενώ στο κάτω τμήμα προβλέφθηκαν οπές στο πλακάς του πατώματος εντός των οποίων εισέρχεται τμήμα των σωληνώσεων εξασφαλίζοντας μ' αυτό τον τρόπο την πλήρη ακινητοποίηση των σωληνώσεων. Επιπλέον τοποθετήθηκαν στη βάση του μεταλλότυπου τμήματα πλακάς για τη διευκόλυνση της συνδεσμολογίας της μεταλλικής ενίσχυσης στους κάτω κόμβους του δοκιμίου (Σχήμα 2.6).

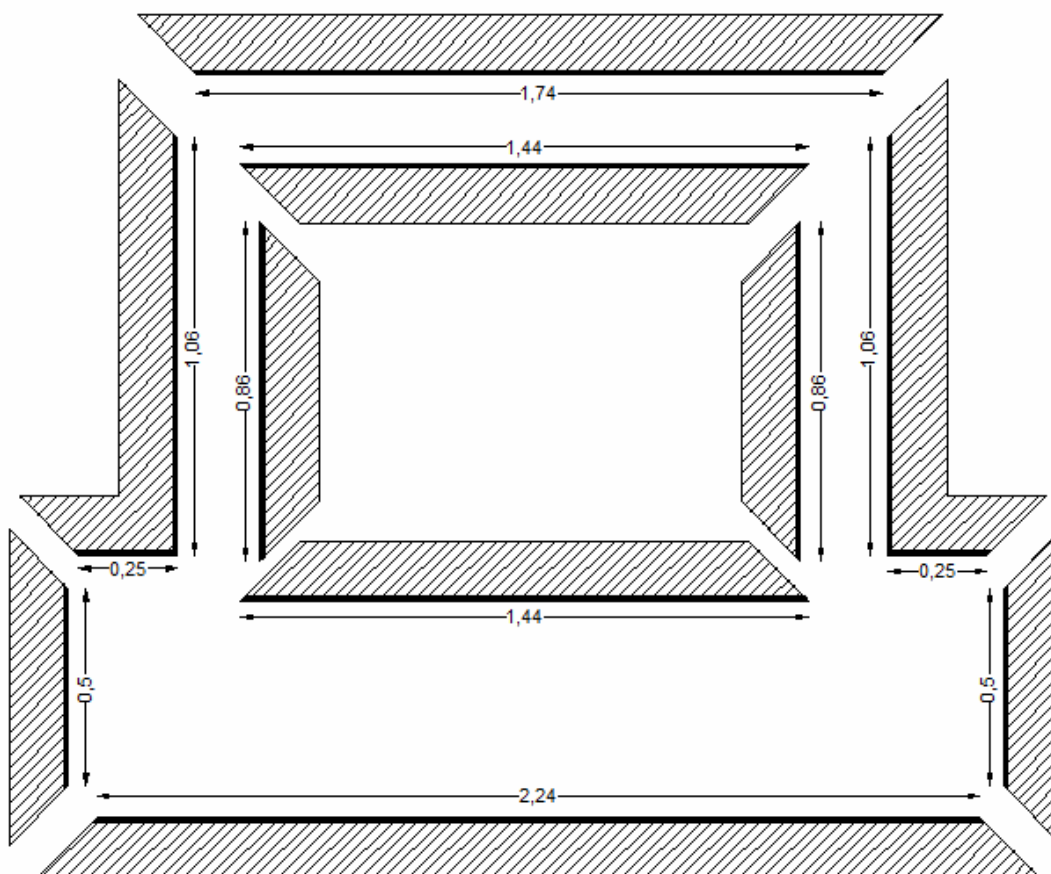
## 2.2.5 Υλικά - εξοπλισμός σκυροδέτησης

Λόγω της ανάγκης προσομοίωσης παλαιού τύπου κατασκευών, σκοπίμως επιλέχτηκε η χρήση σκυροδέματος σχετικά χαμηλής θλιπτικής αντοχής (κατηγορία C16/20). Η μικρή κλίμακα των δοκιμών (1:3) οδήγησε σε χαμηλή τιμή επικάλυψης (1,5cm) με άμεσο αποτέλεσμα τον αποκλεισμό της χρήσης γαρμπιλιού και σκύρων. Επομένως για τη σκυροδέτηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε κατάλληλα επιλεγμένη αναλογία για τα υλικά τσιμέντο, νερό, άμμο, ρύζι αλλά και ρευστοποιητή για την εξασφάλιση της πλαστικότητας σε συνδυασμό με την επιθυμητή αντοχή του σκυροδέματος. Επιλέχτηκε αναλογία ανάμειξης κατά βάρος: τσιμέντο : άμμος : ρύζι : νερό = 1 : 3,2 : 2,8 : 0,58. Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε αυτόματος αναδευτήρας (Φωτ. 2.7) με χρήση ρευστοποιητή.

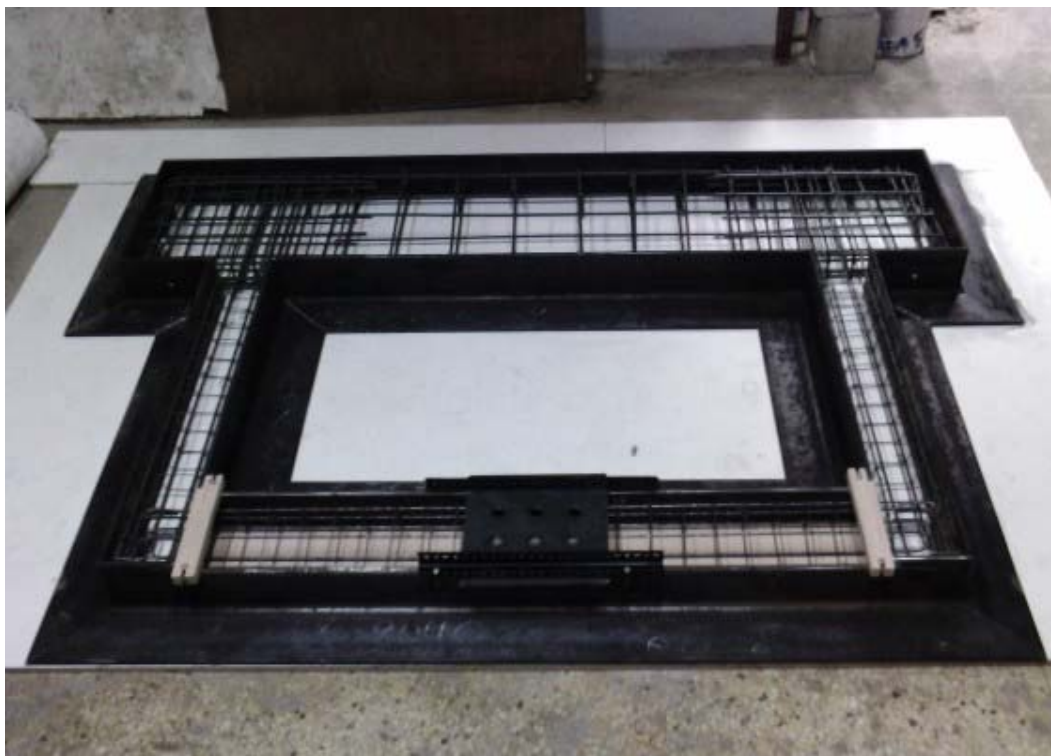




Σχ. 2.6 Μεταλλότυπος σκυροδέτησης.



Σχ. 2.7 Διαστάσεις μεταλλότυπου σκυροδέτησης.



Φωτ. 2.6 Μεταλλότυπος σκυροδέτησης με τον οπλισμό του δοκιμίου.



Φωτ. 2.7 Αναδευτήρας σκυροδέματος.

Για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, σε κάθε δοκίμιο σκυροδετήθηκαν επιπλέον έξι κύλινδροι σε μεταλλικές χυτοσιδηρές μήτρες διαστάσεων  $d=15\text{cm}$  και ύψους  $h=30\text{cm}$  (Φωτ. 2.8). Η θραύση των κυλινδρικών δοκιμών έγινε σε πρέσα 200tn (Φωτ. 2.9). Η θραύση πραγματοποιήθηκε για τους τρεις πρώτους κυλίνδρους στις 28 ημέρες ακριβώς από την ημερομηνία σκυροδέτησης, ενώ των υπολοίπων τριών την ημέρα της δοκιμής του αντίστοιχου πλαισίου.

Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο πόρτλαντ CEMIV. Πριν τη σκυροδέτηση ο αναδευτήρας καθαριζόταν επιμελώς ενώ δινόταν ιδιαίτερη σημασία στη σωστή αποθήκευση των υλικών (αδρανή, τσιμέντο) προστατεύοντάς τα από την υγρασία.



Φωτ. 2.8 Μήτρες δοκιμών.



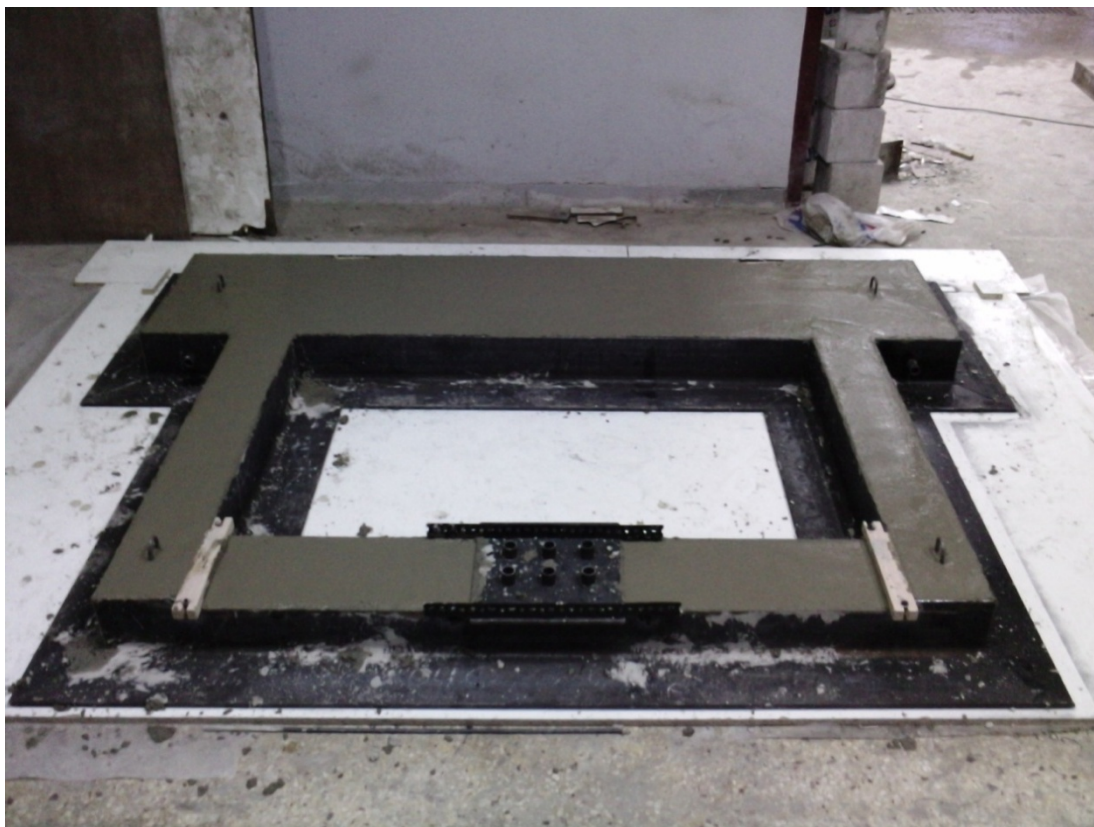
Φωτ. 2.9 Πρέσα σύνθλιψης.

Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζεται η διαδικασία σκυροδέτησης (Φωτ. 2.10 και 2.11), συντήρησης (Φωτ. 2.12), καθαίρεσης μεταλλότυπου (Φωτ. 2.13) και η τελική μορφή του δοκιμίου (Φωτ. 2.14).





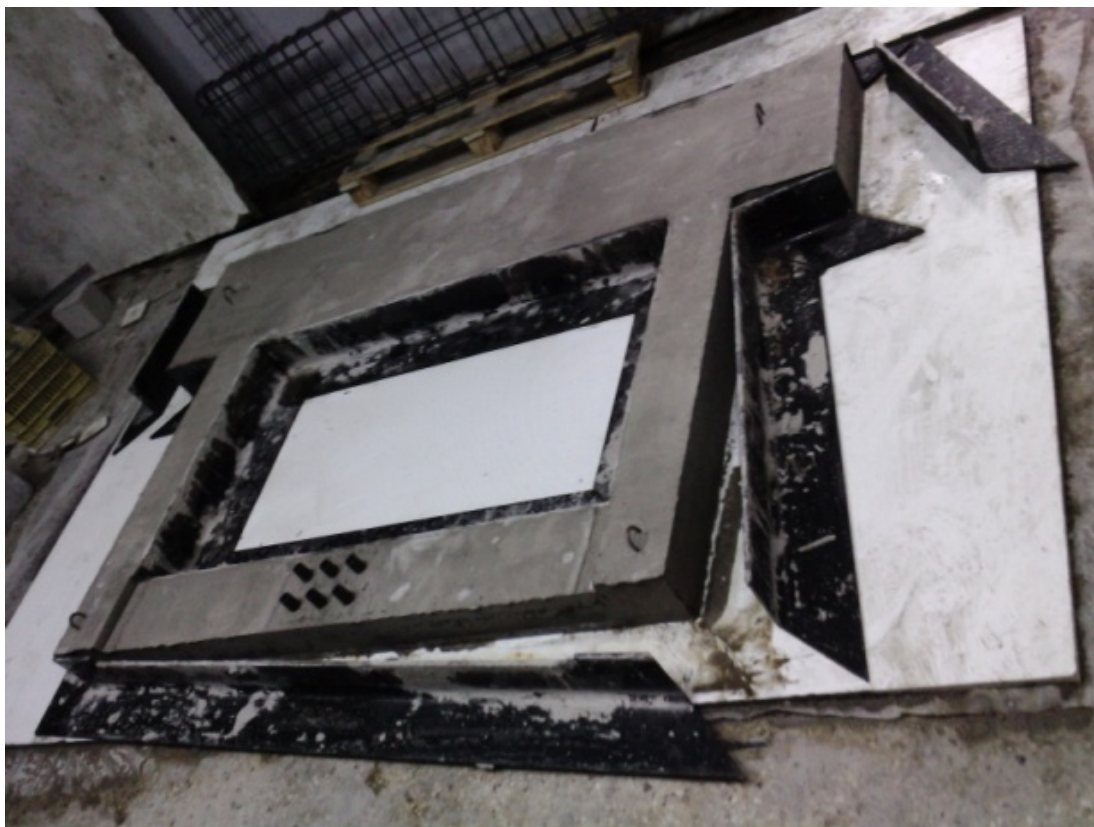
Φωτ. 2.10 Σκυροδέτηση δοκιμίου.



Φωτ. 2.11 Ολοκλήρωση σκυροδέτησης.



Φωτ. 2.12 Συντήρηση δοκιμίου (κάλυψη με λινάτσα και καθημερινή διαβροχή).



Φωτ. 2.13 Αποσυναρμολόγηση μεταλλότυπου.





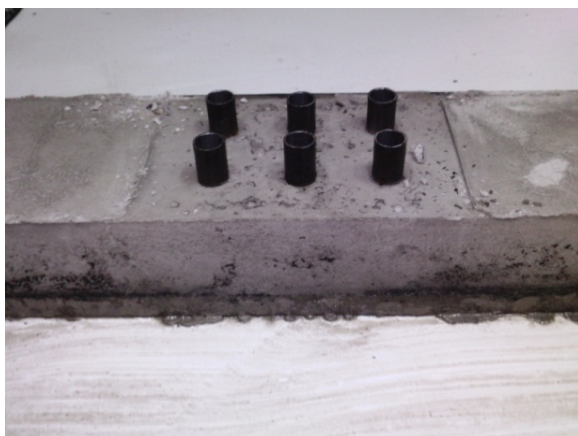
Φωτ. 2.14 Τελική μορφή δοκιμίου.



Φωτ. 2.15 Λεπτομέρειες σκυροδέτησης.

Στη φωτογραφία 2.15 διακρίνονται οι γάντζοι μεταφοράς του δοκιμίου, η πρόβλεψη εσοχών στη βάση για την εφαρμογή της ενίσχυσης, η εξασφάλιση της διαφοράς μεταξύ διατομής στύλου και ζυγώματος και η διάταξη στερέωσης των σωληνώσεων στο μέσο του ζυγώματος.

Στις φωτογραφίες 2.16 και 2.17 απεικονίζονται οι σωλήνες πρόβλεψης οπών τόσο στο μέσο του ζυγώματος για την εφαρμογή της μεταλλικής διάταξης, όσο και στη βάση για τη στερέωση του δοκιμίου στο πάτωμα μέσω ντιζών.



Φωτ. 2.16 Πρόβλεψη οπών στο ζύγωμα.



Φωτ. 2.17 Πρόβλεψη οπών στη βάση.

## 2.3 Διάταξη ενίσχυσης με μεταλλικούς συνδέσμους μορφής Λ

Όπως προαναφέρθηκε, στην παρούσα μελέτη διερευνάται η ενίσχυση πλαισίων κυρίως με την προσθήκη μεταλλικών συνδέσμων μορφής Λ. Κύριο αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε ο κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος ο οποίος συνδέει τη μεταλλική διάταξη με το μέσον του ζυγώματος του πλαισίου. Μελετάται επίσης και η ενίσχυση με πετάσματα αλουμινίου, η οποία περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο 2.4.

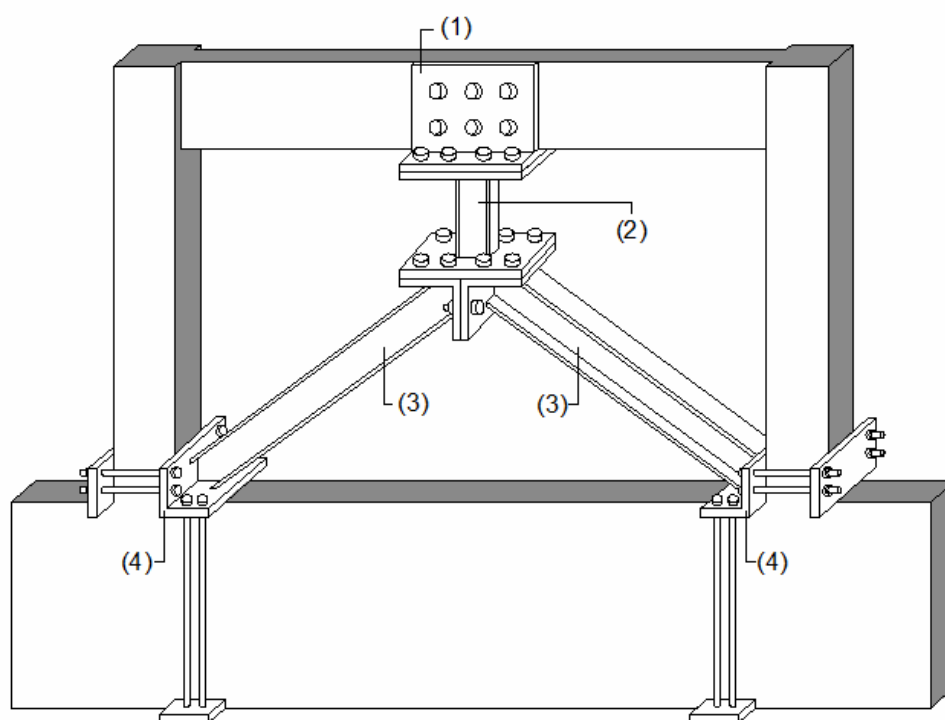
### 2.3.1 Μεταλλική διάταξη ενίσχυσης

Καθώς η μελέτη περιορίζεται πρακτικά στον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο, σχεδιάστηκε μια μόνιμη κατασκευή διαγωνίων ράβδων οι οποίες παρέμειναν ίδιες σε όλες τις πειραματικές δοκιμές, ενώ παράλληλα προβλέφθηκε κατάλληλος μηχανισμός έτσι ώστε σε κάθε πειραματική δοκιμή να αντικαθίσταται μόνο ο κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος. Στα σχήματα 2.8 και 2.9, απεικονίζεται αναλυτικά η διάταξη ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκε.

Στο σχήμα 2.10 απεικονίζεται το μεταλλικό στοιχείο σχήματος Π το οποίο προσαρμόστηκε στο μέσον του ζυγώματος για τη σύνδεση της διάταξης ενίσχυσης με τη δοκό. Το στοιχείο αυτό σχεδιάστηκε δύσκαμπτο έτσι ώστε να μη παραμορφώνεται κατά τη φόρτιση και να μην υφίσταται βλάβες κατά τις πειραματικές δοκιμές. Η συνδεσμολογία, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε μέσω έξι διαμπερών ντιζών οι οποίες διαπερνούν τη δοκό. Για να αποφευχθεί η εκ των υστέρων διάτρηση του σκυροδέματος και η πιθανή πρόκληση ρηγματώσεων, τοποθετήθηκαν όπως προαναφέρθηκε, έξι σωλήνες στις κατάλληλες θέσεις πριν από τη σκυροδέτηση (Φωτ. 2.16).

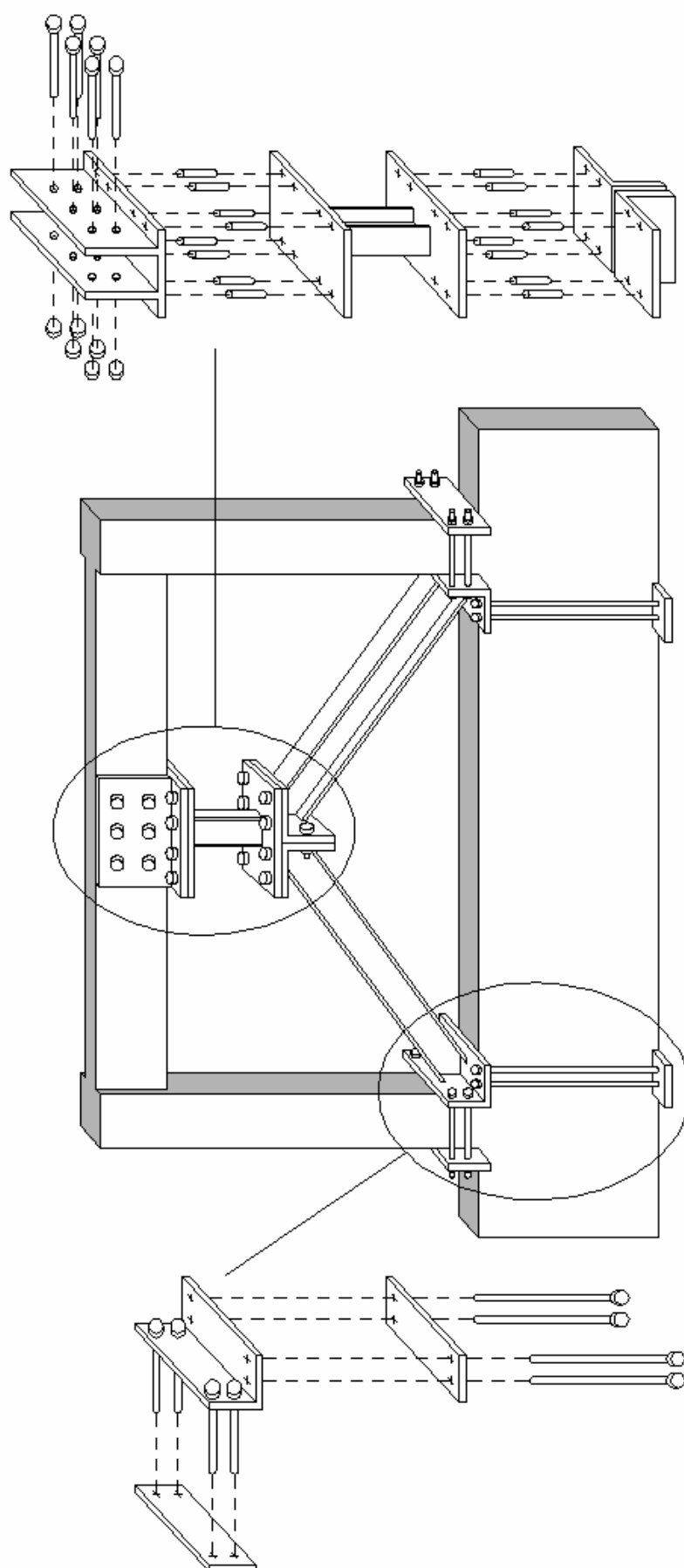
Στο σχήμα 2.11 απεικονίζεται ο κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος, που αποτελεί το επίκεντρο της παρούσας έρευνας, ο οποίος πρακτικώς απορροφά όλη την ένταση της φόρτισης. Ο σύνδεσμος αυτός έχει συγκολληθεί στην κεφαλή και στον πόδα του σε πλάκες πάχους 20mm οι οποίες φέρουν οπές (Φωτ. 2.20), μέσω των οποίων γίνεται η σύνδεση του άνω και κάτω τμήματος του κορμού με την υπόλοιπη διάταξη της ενίσχυσης. Διερευνάται η συμπεριφορά του στοιχείου αυτού με κυριότερες παραμέτρους τη μορφή της διατομής του (ορθογωνικής διατομής λεπίδα ή διατομή Ι), το ύψος του στοιχείου (10 ή 20cm) και το μέγεθος της διατομής του.

Τα διαγώνια στοιχεία της ενίσχυσης συντίθενται από δύο ράβδους HEA100, σκοπίμως υπερδιαστασιοποιημένες, έτσι ώστε να μην αστοχούν κατά την επιβολή ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι τόσο οι διαγώνιες ράβδοι, όσο και οι λεπτομέρειες της συνδεσμολογίας στους κόμβους του δοκιμίου δεν αποτελούν παραμέτρους της παρούσας έρευνας. Κατασκευάστηκαν δύο ζεύγη διαγωνίων ράβδων για να εξυπηρετούν τις γεωμετρικές ανάγκες κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου ύψους 10 και 20cm αντίστοιχα (Σχήμα 2.12 και 2.13). Τα δύο αυτά ζεύγη χρησιμοποιήθηκαν για όλη τη σειρά των πειραματικών δοκιμών.

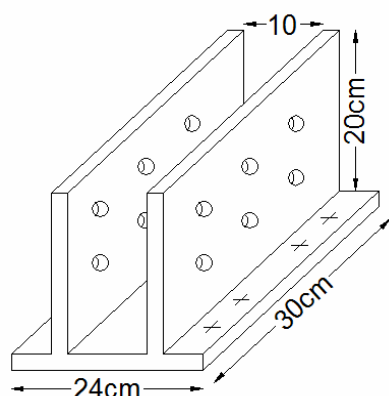


Σχ. 2.8 Μεταλλική διάταξη ενίσχυσης μορφής Λ.

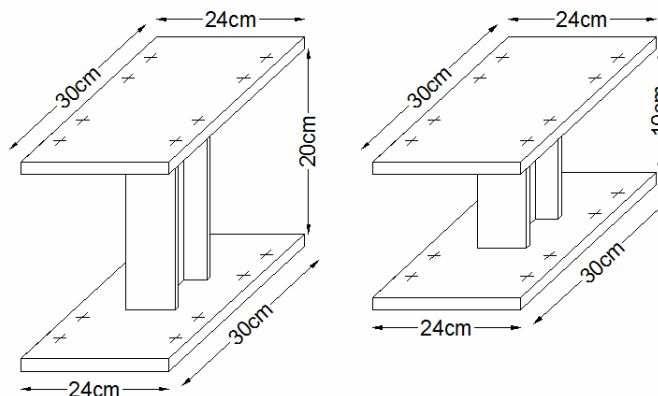
- (1): Μεταλλικό στοιχείο σχήματος Π το οποίο συνδέει τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο με το μέσον του ζυγώματος.
- (2): Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος του οποίου διερευνάται η συμπεριφορά. Αποτελεί το μοναδικό αναλώσιμο στοιχείο της ενίσχυσης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.
- (3): Διαγώνιοι μεταλλικοί σύνδεσμοι υψηλής δυστένειας HEA100.
- (4): Συνδεσμολογία μεταλλικής διάταξης ενίσχυσης με τους κόμβους του πλαισίου μέσω εξωτερικών περιμετρικών ντιζών.



Σχ. 2.9 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενίσχυσης.

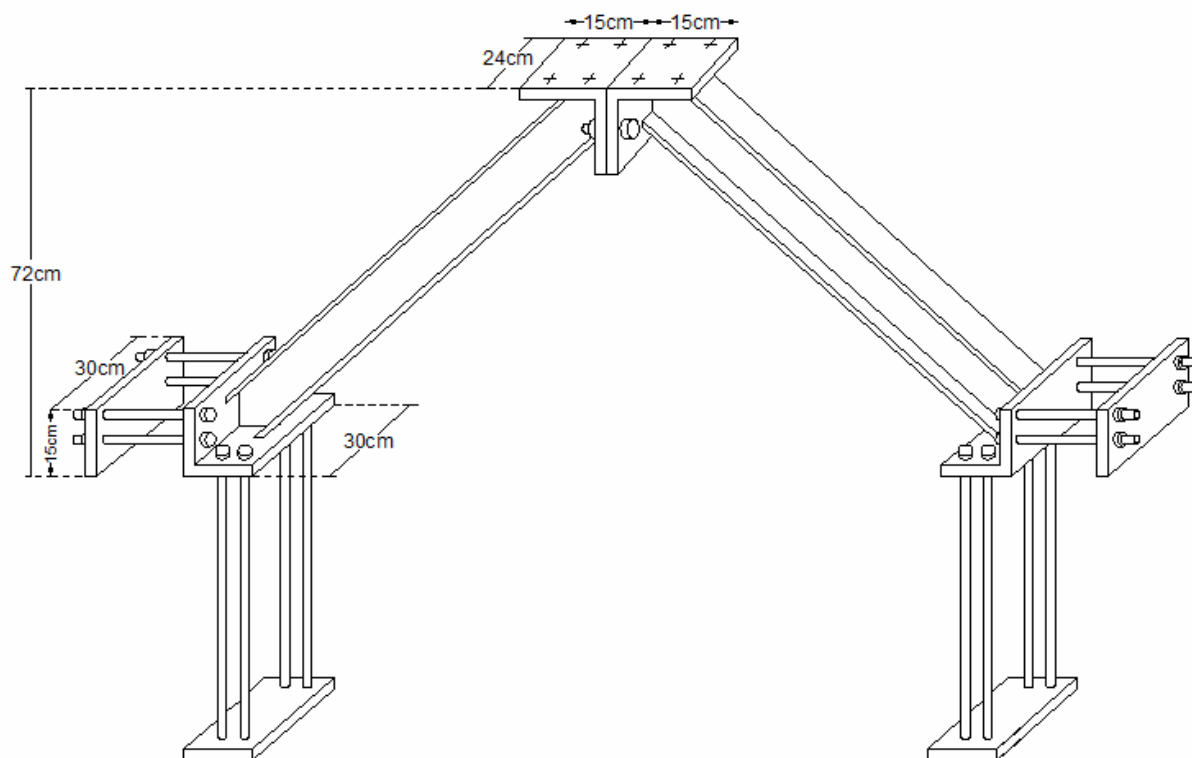


Σχ. 2.10 Στοιχείο σχήματος Π



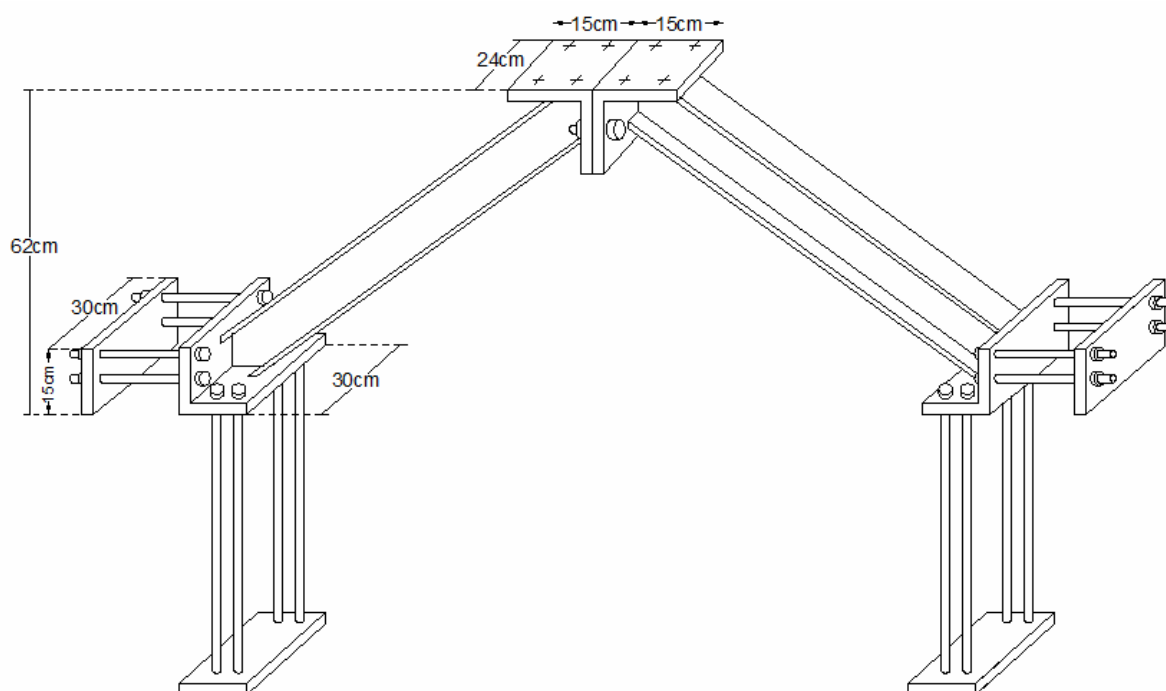
Σχ. 2.11 Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος

Τα διαγώνια στοιχεία της ενίσχυσης συντίθενται από δύο ράβδους HEA100, σκοπίμως υπερδιαστασιολογημένες, έτσι ώστε να μην αστοχούν κατά την επιβολή ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι τόσο οι διαγώνιες ράβδοι, όσο και οι λεπτομέρειες της συνδεσμολογίας στους κόμβους του δοκιμίου δεν αποτελούν παραμέτρους της παρούσας έρευνας. Κατασκευάστηκαν δύο ζεύγη διαγωνίων ράβδων για να εξυπηρετούν τις γεωμετρικές ανάγκες κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου ύψους 10 και 20cm αντίστοιχα (Σχήμα 2.12 και 2.13). Τα δύο αυτά ζεύγη χρησιμοποιήθηκαν για όλη τη σειρά των πειραματικών δοκιμών.



Σχ. 2.12 Διαγώνια μεταλλική κατασκευή για ύψος κατακόρυφου συνδέσμου 10cm.





Σχ. 2.13 Διαγώνια μεταλλική κατασκευή για ύψος κατακόρυφου συνδέσμου 20cm.

Στο άνω και κάτω τμήμα αυτών των ράβδων, συγκολλήθηκαν δύσκαμπτες μεταλλικές γωνιές Γ από πλάκες πάχους 20mm, για να εξασφαλισθεί η συνδεσμολογία τόσο με τους κόμβους του δοκιμίου όσο και με τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο. Η συνδεσμολογία με τους κόμβους επιλέχθηκε να γίνει με εξωτερικές περιμετρικές ντίζες για την αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας, φαινόμενο το οποίο παρατηρήθηκε συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία με τη χρήση βλήτρων. Στα σχήματα 2.12 και 2.13 αλλά και στις φωτογραφίες 2.18 και 2.19, απεικονίζεται η διάταξη των δύο ζευγών διαγωνίων μεταλλικών ράβδων για κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο ύψους 10 και 20cm αντίστοιχα.

Παρακάτω παρουσιάζονται λεπτομέρειες των μεταλλικών στοιχείων ενίσχυσης (Φωτ. 2.20, 2.21).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονισθεί ότι για την αποφυγή απρόβλεπτων αστοχιών όπως αποκόλληση συγκολλήσεων, θραύση κοχλιών, στρέβλωση και λυγισμός πλακών οι οποίες εμφανίστηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία, επιλέχθηκε σκοπίμως η υπερδιαστασιολόγηση όλων των συνδέσεων (Φωτ. 2.22), προκειμένου να συγκεντρωθεί η αστοχία στον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο.

Η μορφή αυτή των συνδέσεων στους κόμβους (Φωτ. 2.23) επελέγη για την αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχιών, οι οποίες προκαλούνται από άλλου είδους συνδεσμολογίες, όπως π.χ. βλητρώσεις (εξόλκευση υλών). Εκτεταμένες πειραματικές δοκιμές στη διεθνή βιβλιογραφία απέδειξαν ότι η συνδεσμολογία μέσω περιμετρικής περίσφιξης του κόμβου, παρουσίασε εξαιρετική συμπεριφορά ακόμη και σε προχωρημένα στάδια φορτίσεων.



Φωτ. 2.18 Μεταλλική ενίσχυση με ύψος κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου 10cm.



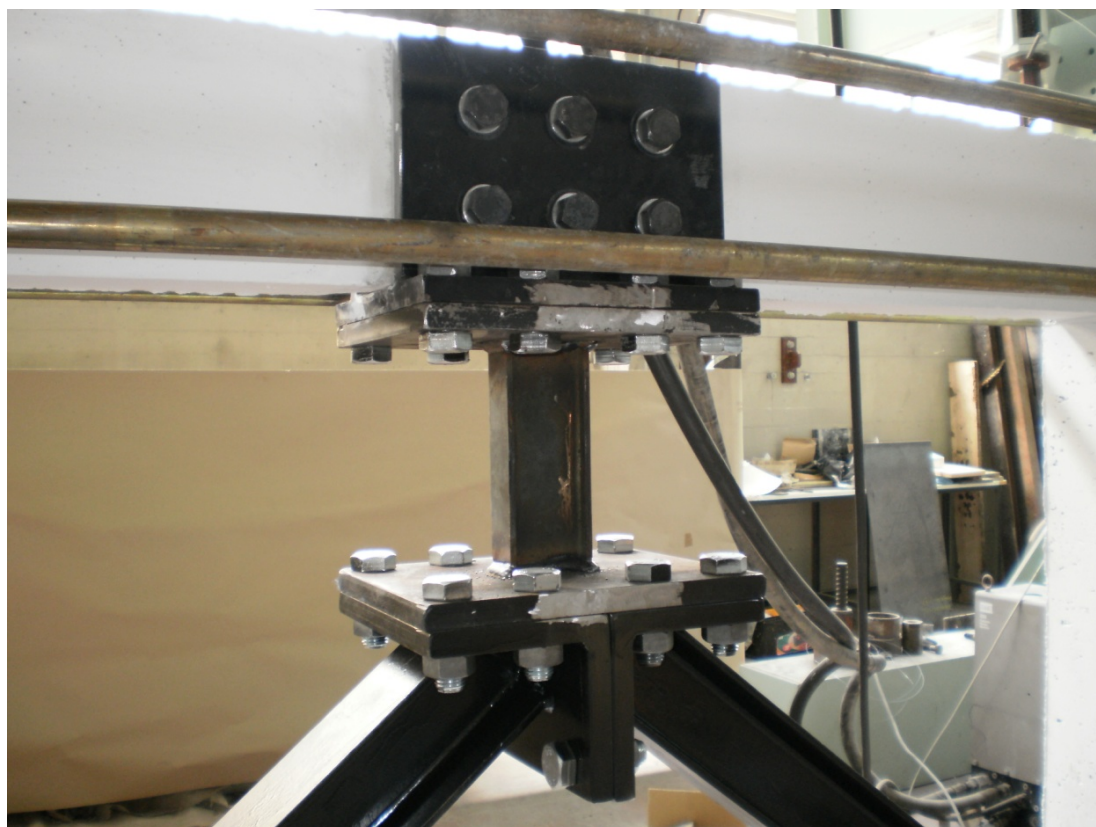
Φωτ. 2.19 Μεταλλική ενίσχυση με ύψος κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου 20cm.



Φωτ. 2.20 Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος  
ύψους 20cm.

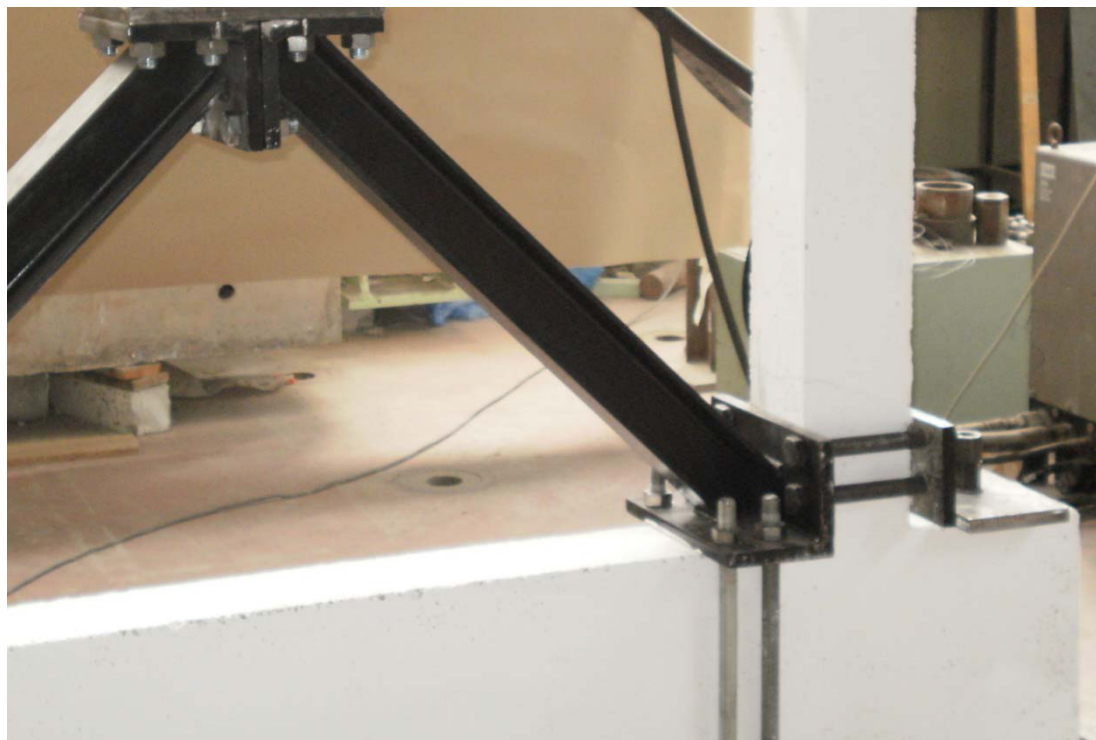


Φωτ. 2.21 Κατακόρυφος μεταλλικός  
σύνδεσμος ύψους 10cm.



Φωτ. 2.22 Συνδεσμολογία ζυγώματος - μεταλλικού στοιχείου Π - κατακόρυφου μεταλλικού  
συνδέσμου - διαγωνίων ράβδων.





Φωτ. 2.23 Συνδεσμολογία διαγωνίων μεταλλικών ράβδων με τον κόμβο μέσω γωνιακών συγκολλημένων πλακών και ντιζών περιμετρικά του κόμβου.

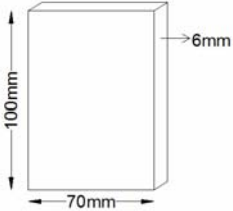
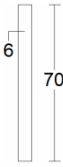
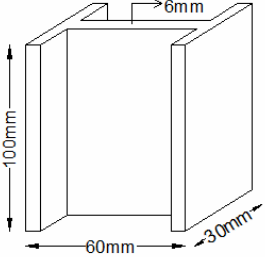
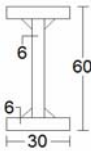
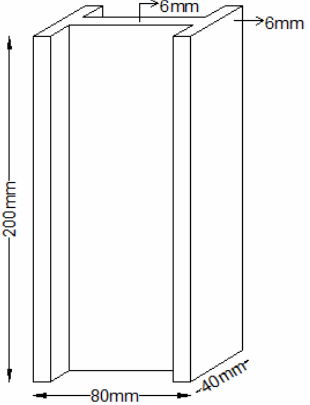
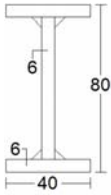
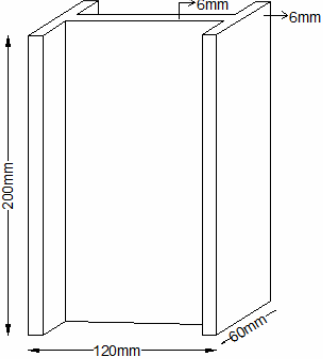
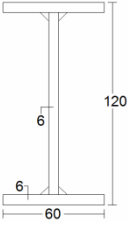
### 2.3.2 Σχεδιασμός κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου

Η ανάγκη για διερεύνηση της συμπεριφοράς του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου κατά την ανακύκλιση οδήγησε στην προεπιλογή τόσο των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού αυτού, όσο και της κατάλληλης γεωμετρίας του. Η χρήση έτοιμων μεταλλικών διατομών του εμπορίου απορρίφθηκε εξ αρχής μιας και για τη μικρή κλίμακα διερεύνησης που χρησιμοποιείται (1:3), οι διαθέσιμες διατομές είναι μεγάλες και αναντίστοιχες σε σχέση με το πλαίσιο Ο.Σ. Προέκυψε λοιπόν η ανάγκη για την κατασκευή ειδικών διατομών, αποτελούμενων από ειδικής κατασκευής λαμαρίνα πάχους 6mm με πιστοποιημένα μηχανικά χαρακτηριστικά  $f_y/f_u = 300/375\text{Mpa}$ . Κατασκευάστηκαν τεσσάρων ειδών κατακόρυφοι σύνδεσμοι (Πίν. 2.4).

Αρχικά επιλέχθηκε μεταλλικός σύνδεσμος ορθογωνικής διατομής 6X70mm και ύψους 100mm ως πρώτο βήμα ενίσχυσης. Στη συνέχεια ακολούθησε μια σειρά διατομών Ι διαφόρων διαστάσεων όπως φαίνεται στον πίνακα 2.4. Όπως προαναφέρθηκε οι διατομές αυτές λόγω των μικρών διαστάσεων δεν υπάρχουν αυτοτελείς στο εμπόριο. Κατά συνέπεια προέκυψαν με τη σύνθεση τριών τεμαχίων λαμαρίνας με ηλεκτροσυγκόλληση (Φωτ. 2.24). Ο σχεδιασμός των συγκεκριμένων στοιχείων έγινε έτσι ώστε να επιτυγχάνεται συγκεκριμένου επιπέδου ενίσχυση των υφισταμένων πλαισίων Ο.Σ. ως προς διάφορες παραμέτρους (φέρουσα ικανότητα, δυσκαμψία, πλαστιμότητα, ικανότητα απορρόφησης ενέργειας).

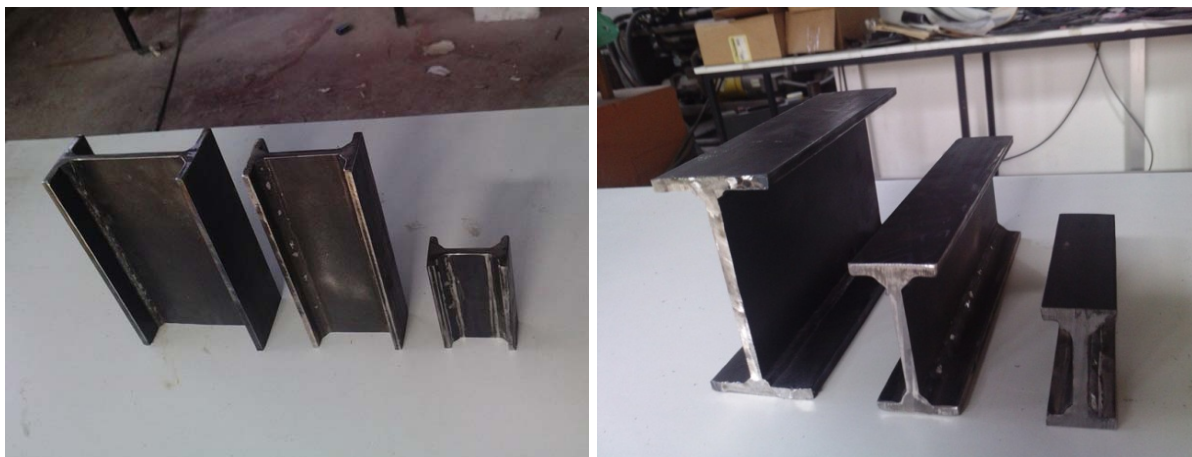
Ο αναλυτικός σχεδιασμός των μεταλλικών συνδέσμων, η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς τους, όπως επίσης και η αναλυτική προσομοίωση ολόκληρων των δοκιμών πραγματοποιήθηκε από τον κ. Μυστακίδη Ε., Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου

Θεσσαλίας και τους συνεργάτες του, στα πλαίσια της συνεργασίας των δύο ομάδων, Α.Π.Θ. και Θεσσαλίας, στο πλαίσιο του παρόντος ερευνητικού και περιλαμβάνεται στο κεφάλαιο του αναλυτικού μέρους.

A/ A	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	h (mm)	b (mm)	s (mm)	t (mm)	l (mm)	ΔΟΚΙΜΙΑ
1			70	-	-	6	100	F2 F2,N
2			60	30	6	6	100	F3 F3,N
3			80	40	6	6	200	F4 F4,N
4			120	60	6	6	200	F5 F5,N

Πίν. 2.4 Γεωμετρικά στοιχεία κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου.





Φωτ. 2.24 Διατομές Ι κατακόρυφου συνδέσμου.

## 2.4 Διάταξη ενίσχυσης με πετάσματα αλουμινίου

Η διάταξη αυτή αποτελεί μια υπό εξέταση εναλλακτική μορφή ενίσχυσης των πλαισίων, η μελέτη όμως δεν προχώρησε σε βάθος αντίστοιχο των μεταλλικών συνδέσμων μορφής Λ, έχει δηλαδή απλώς διερευνητικό χαρακτήρα.

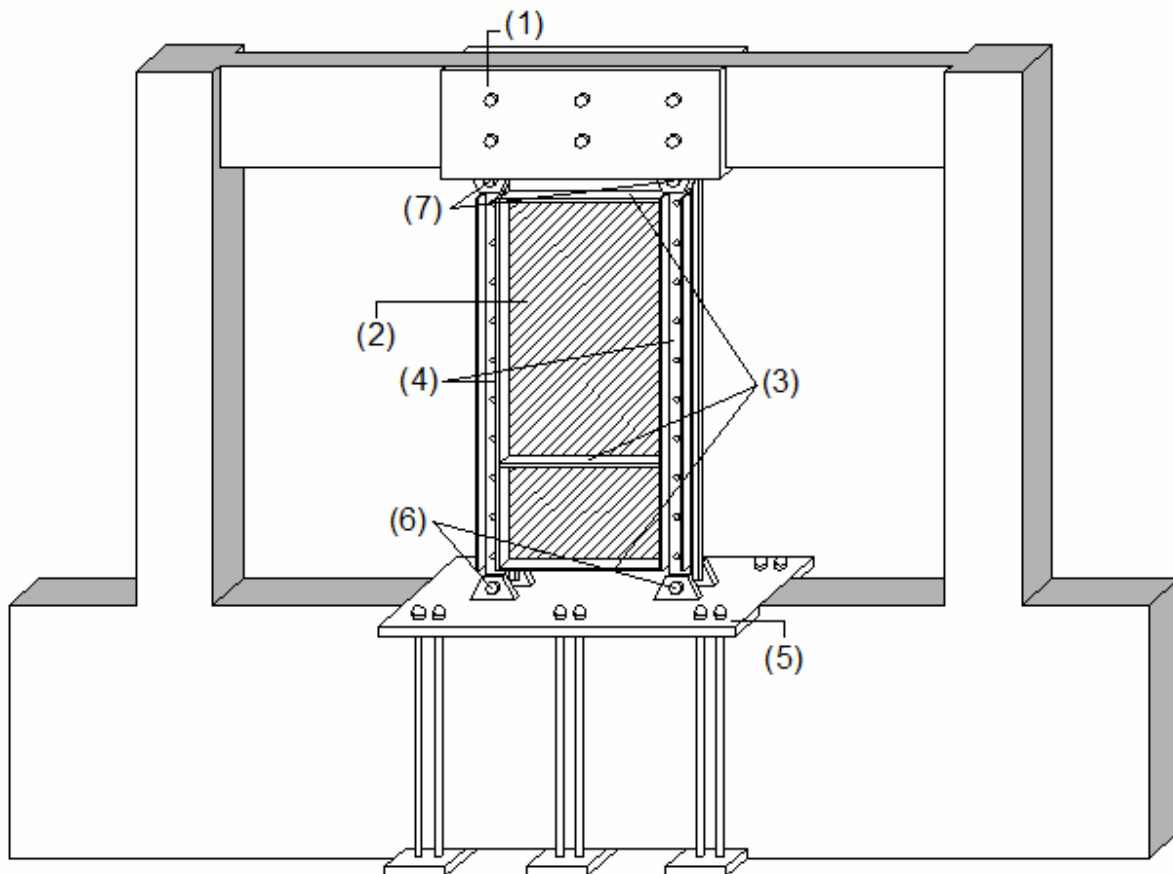
### 2.4.1 Μεταλλική διάταξη ενίσχυσης

Κατασκευάστηκε ειδικής μορφής πέτασμα αλουμινίου ορθογωνικής όψης το οποίο προσαρμόστηκε με κατάλληλο τρόπο στο δοκίμιο έτσι ώστε να αποτελεί το μοναδικό αναλώσιμο στοιχείο κατά την πειραματική δοκιμή. Στα σχήματα 2.14 και 2.15, απεικονίζεται αναλυτικά η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.

Όπως διακρίνεται, όσον αφορά τον τρόπο σύνδεσης της ενίσχυσης με το μέσον της δοκού, διατηρήθηκε η ίδια μεθοδολογία με αυτήν της ενίσχυσης σχήματος Λ, με το μεταλλικό στοιχείο σχήματος Π το οποίο προσαρμόστηκε στο μέσον του ζυγώματος. Το στοιχείο αυτό σχεδιάστηκε δύσκαμπτο έτσι ώστε να μην παραμορφώνεται κατά τη φόρτιση και να μην υφίσταται βλάβες κατά τις πειραματικές δοκιμές. Η μοναδική διαφορά έναντι της διάταξης των στοιχείων Λ αφορά την οριζόντια διάσταση του στοιχείου Π (55cm έναντι 30cm της διάταξης Λ) αλλά και την οριζόντια απόσταση των οπών (18cm έναντι 8cm). Η οριζόντια διάσταση του πετάσματος οδήγησε στο σχεδιασμό μεγαλύτερου σε μήκος στοιχείου Π. Επίσης, για την αποφυγή απόσχισης του σκυροδέματος μέσω των κοχλιών, παράλληλα με την επιλογή μεγαλύτερου μήκους του στοιχείου Π, προβλέφθηκε και αύξηση της απόστασης των οπών.

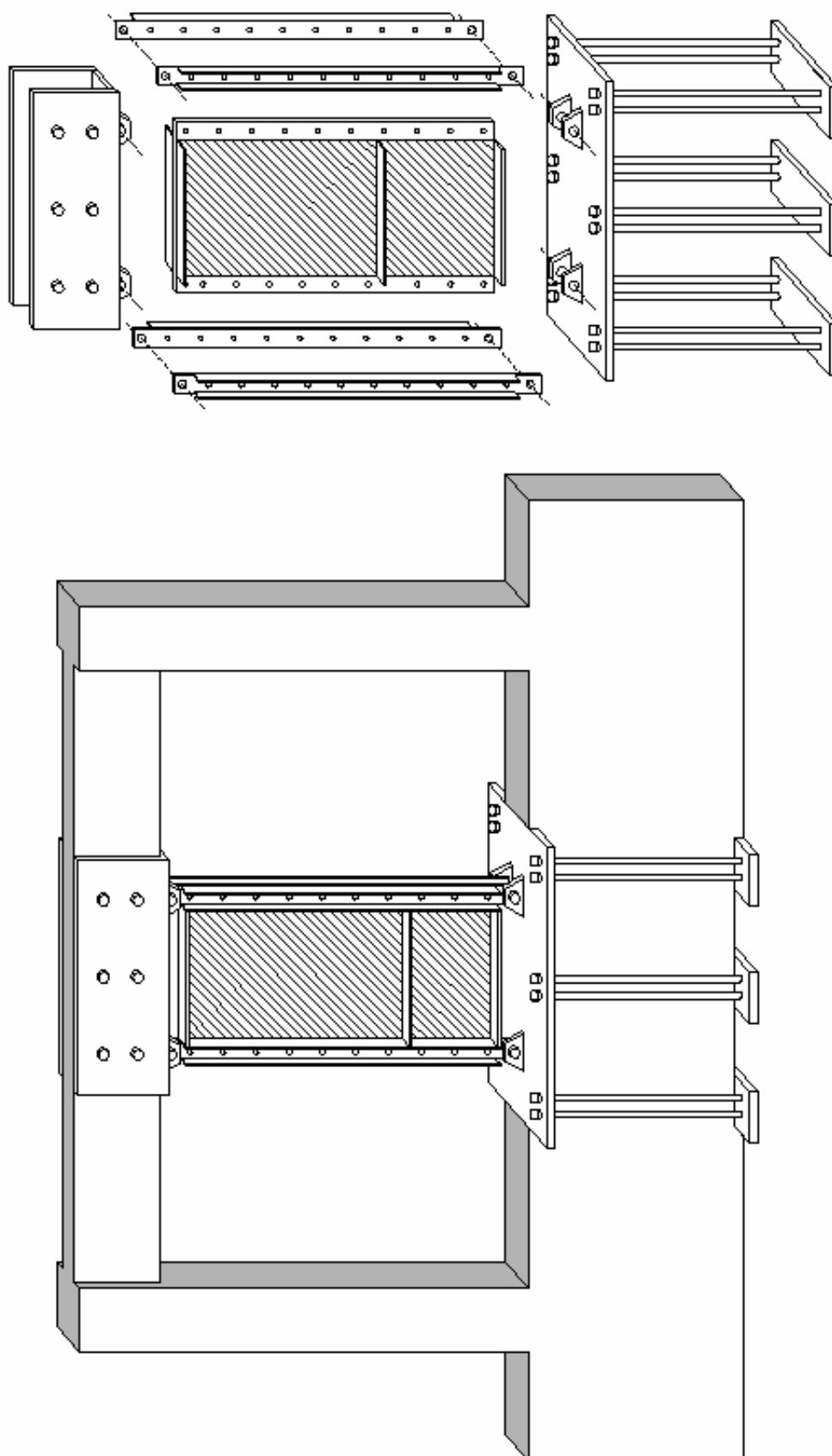
Κατασκευάστηκαν ειδικής μορφής χαλύβδινα στοιχεία διατομής U τα οποία φέρουν οπές σε όλο το μήκος τους και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκράτηση του πετάσματος δημιουργώντας στα σημεία αυτά συνθήκες εγκιβωτισμού και δημιουργίας πελμάτων. Τα στοιχεία αυτά όπως φαίνεται και στα σχήματα 2.14 και 2.15 χρησιμοποιούνται ανά δύο σε κάθε παρεία του πετάσματος περισφίγγοντάς το με τη βοήθεια σειράς κοχλιών.

Η συνδεσμολογία των μεταλλικών στοιχείων διατομής U με τη βάση αλλά και με τη δοκό του δοκιμίου επιτυγχάνεται μέσω κοχλιών M14 (8.8) για το δοκίμιο P1 και M20 (10.9) για το δοκίμιο P2. Η επιλογή ισχυρότερων κοχλιών στο δοκίμιο P2 οφείλεται στο γεγονός ότι παρατηρήθηκαν φαινόμενα σύνθλιψης άντυγας και διατμητική αστοχία των κοχλιών όπως θα περιγραφεί αναλυτικά παρακάτω.



Σχ. 2.14 Διάταξη ενίσχυσης με πέτασμα αλουμινίου.

- (1): Μεταλλικό στοιχείο σχήματος Π το οποίο συνδέει τη διάταξη ενίσχυσης με το μέσον του ζυγώματος.
- (2): Πέτασμα αλουμινίου. Αποτελεί το μοναδικό αναλώσιμο στοιχείο της ενίσχυσης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.
- (3): Εγκάρσιες νευρώσεις πετάσματος αλουμινίου.
- (4): Μεταλλικά στοιχεία σχήματος U για την περίσφιξη των παρειών του πετάσματος με τη βοήθεια κοχλιών οι οποίοι διαπερνούν το πέτασμα. (4 μεταλλικά στοιχεία U, 2 ανά παρειά).
- (5): Ισχυρή μεταλλική πλάκα πάκτωσης του κάτω τμήματος του πετάσματος.
- (6): Αρθρώσεις σύνδεσης του πετάσματος με τη βάση του δοκιμίου.
- (7): Συνδεσμολογία του άνω τμήματος του πετάσματος με το μεταλλικό στοιχείο (1) μέσω οπών σχήματος οβάλ προκειμένου να δημιουργηθούν συνθήκες κύλισης, ώστε να μην εφελκύνονται και να θλίβονται κατά την ανακύκλιση τα μεταλλικά στοιχεία σχήματος U.

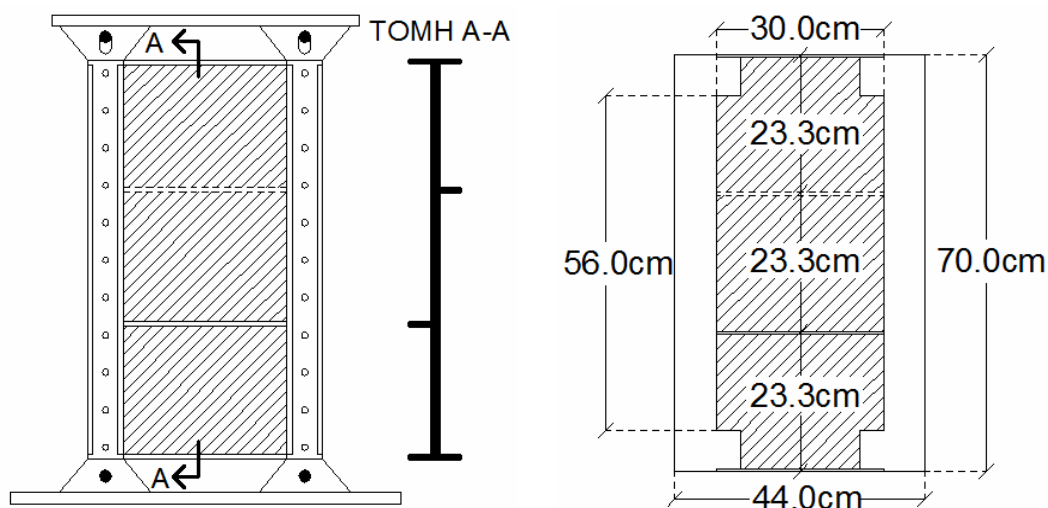


Σχ. 2.15 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενίσχυσης.

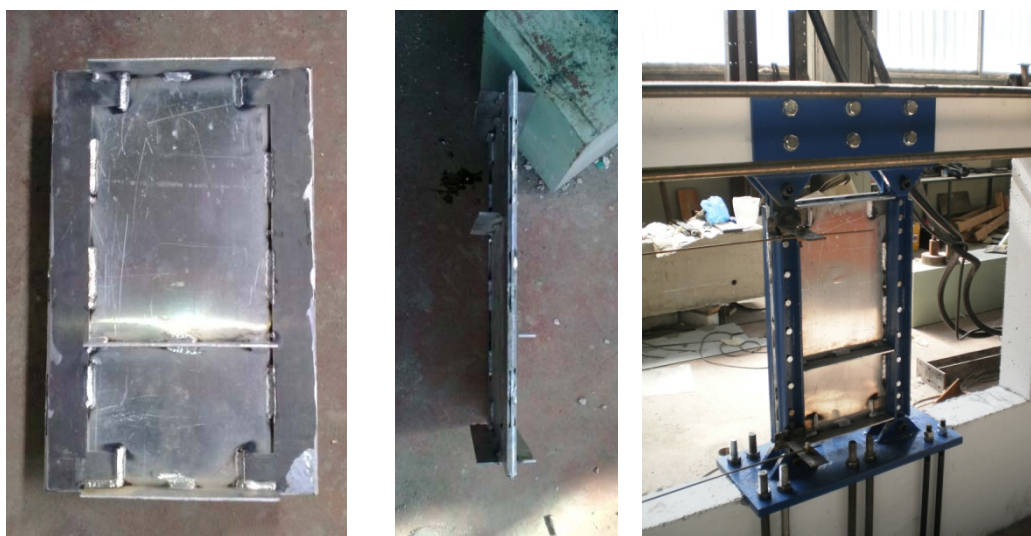
Ίσως το πιο κρίσιμο σημείο του σχεδιασμού αυτής της διάταξης αποτελεί η αποτροπή εφελκυσμού και θλίψης των μεταλλικών στοιχείων  $\cup$  κατά την ανακύκλιση ώστε το πέτασμα να λειτουργεί καθαρά διατμητικά. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν στο επάνω τμήμα οπές σχήματος οβάλ (Σχ. 2.14 και 2.16), ώστε οι συνθήκες κύλισης που δημιουργούνται να επιτρέπουν κατακόρυφες μικρομετακινήσεις οφειλόμενες στην οριζόντια ανακύκλιση του δοκιμίου.

#### 2.4.2 Σχεδιασμός πετάσματος

Το υπό διερεύνηση πέτασμα αλουμινίου (Σχ. 2.16, Φωτ. 2.25) έχει διαστάσεις (30X70)cm και πάχος 0,5cm. Το πέτασμα φέρει εγκάρσιες ενισχύσεις διατομής (5X50)mm, σε επιλεγμένα σημεία ώστε να περιορίζονται οι τοπικοί λυγισμοί, διατηρεί πάντως συμμετρικό σχεδιασμό. Στα κατακόρυφα άκρα εφαρμογής των μεταλλικών στοιχείων  $\cup$  το πέτασμα έχει ενισχυθεί με επιπλέον στρώσεις αλουμινίου για να αποτραπούν φαινόμενα απόσχισης στις κρίσιμες αυτές περιοχές.



Σχ. 2.16 Πέτασμα αλουμινίου



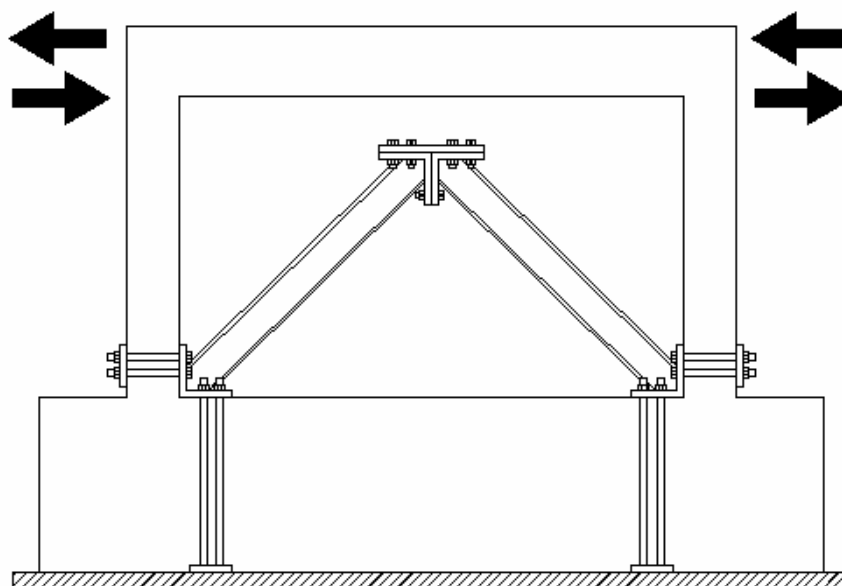
Φωτ. 2.25 Πέτασμα αλουμινίου

## 2.5 Αναλυτική παρουσίαση πειραματικών δοκιμών

Όπως προαναφέρθηκε, δοκιμάσθηκαν συνολικά 12 δοκίμια, τα 2 εκ των οποίων χωρίς ενίσχυση, τα 8 με μεταλλική ενίσχυση σχήματος  $\Lambda$  και τα 2 νε ενίσχυση πετάσματος αλουμινίου. Όλα τα δοκίμια ήταν ίδια όσον αφορά τη γεωμετρία του πλαισίου Ο.Σ. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των εν λόγω δοκιμών.

### 2.5.1 Δοκίμιο F1

Το δοκίμιο αυτό αποτελεί δοκίμιο αναφοράς. Δεν φέρει ενίσχυση στο εσωτερικό του, παρόλα αυτά όμως έχει τοποθετηθεί η μεταλλική διάταξη χωρίς να έχει προστεθεί ο κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος που συνδέει τη διάταξη αυτή με το ζύγωμα (Σχήμα 2.17).



Σχ. 2.17 Δοκίμιο F1.

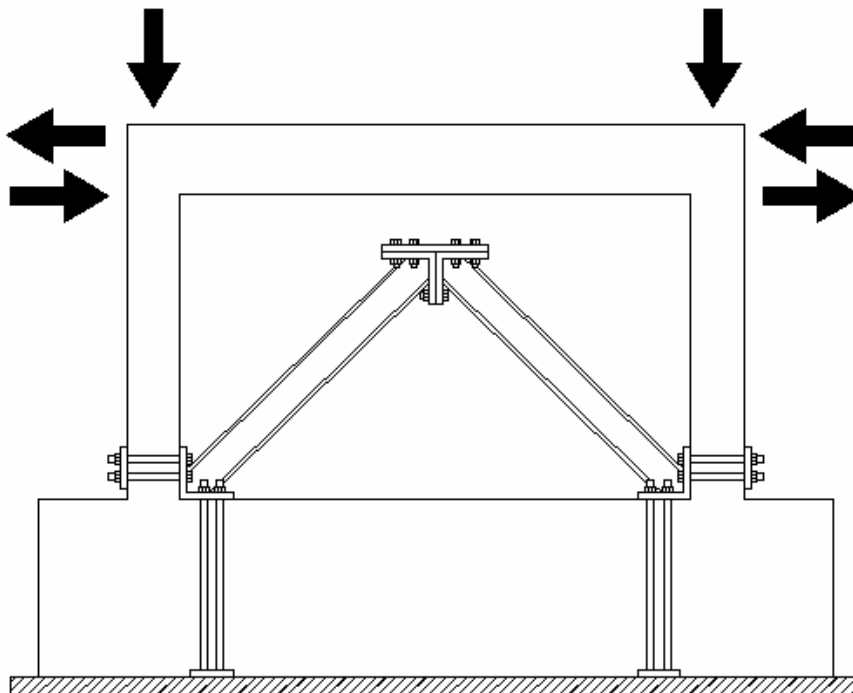
Η παρουσία και μόνο των διαγωνίων συνδέσμων χωρίς τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο, επηρεάζει τη συμπεριφορά αυτού του πλαισίου σε σχέση με το αντίστοιχο τελείως γυμνό πλαίσιο. Η συνδεσμολογία των μεταλλικών διατάξεων με τους κόμβους του πλαισίου μειώνουν το ελεύθερο ύψος του υποστυλώματος και επιπλέον δημιουργούν συνθήκες αυξημένης περίσφιξης στη βάση των στύλων. Το γεγονός αυτό μεταθέτει τη θέση εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων πάνω από τη μεταλλική σύνδεση, με άμεσο επακόλουθο τη μερική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του. Η επιλογή της τοποθέτησης της διάταξης ενίσχυσης μέσα στο γυμνό πλαίσιο, έναντι της επιλογής του τελείως γυμνού πλαισίου, έγινε για να είναι άμεσα ανιχνεύσιμη η καθαρή συνεισφορά των κατακόρυφων συνδέσμων απόσβεσης, δεδομένου ότι με την επιλογή αυτή το ύψος λειτουργίας των στύλων των πλαισίων σκυροδέματος παραμένει πλέον σταθερό.



Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι πριν από το δοκίμιο αυτό προηγήθηκε η κατασκευή και η δοκιμασία ενός γυμνού δοκιμίου τυπικού πλαισίου. Το δοκίμιο αυτό αποτέλεσε την πρώτη πιλοτική δοκιμή για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των πλαισίων και των πειραματικών διατάξεων. Στόχος της δοκιμής ήταν η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας, της δυσκαμψίας, της πλαστιμότητας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των γυμνών πλαισίων προκειμένου να δρομολογηθεί και ο σχεδιασμός των υπολοίπων πειραματικών δοκιμών. Παράλληλα, το πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για τη ρύθμιση - καλιμπράρισμα τόσο του συστήματος επιβολής της φόρτισης, όσο και της λειτουργίας των ηλεκτρονικών μηχανισιομέτρων μιας και η δοκιμή αυτή αποτέλεσε την πρώτη μετά την εγκατάσταση του αναβαθμισμένου, αυτόματου συστήματος ελέγχου στο εργαστήριο.

### 2.5.2 Δοκίμιο F1,N

Δοκίμιο χωρίς ενίσχυση το οποίο φέρει στο εσωτερικό του τη μεταλλική διάταξη Λ, όμοιο με το δοκίμιο F1 με τη διαφορά ότι έχει επιβληθεί κατακόρυφο αξονικό φορτίο στους στύλους (Σχ. 2.18). Η πειραματική αυτή δοκιμή, αποτέλεσε ουσιαστικά τη συνέχεια του δοκιμίου F1, με στόχο τη διερεύνηση της διαφοροποίησης της συμπεριφοράς του εν λόγω δοκιμίου με την επιβολή αξονικού φορτίου στους στύλους. Κατά την πειραματική δοκιμή διατηρήθηκε η ίδια ιστορία φόρτισης.

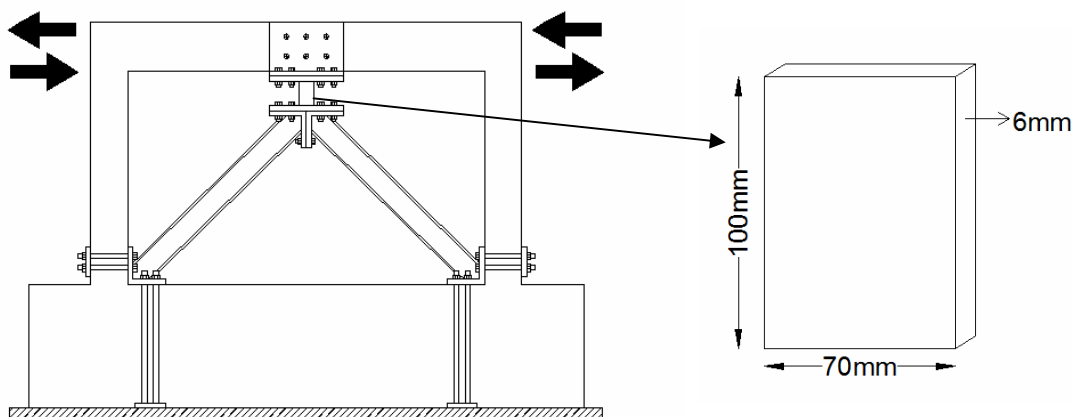


Σχ. 2.18 Δοκίμιο F1,N.

### 2.5.3 Δοκίμιο F2

Δοκίμιο με ενίσχυση το οποίο φέρει κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο μορφής μεταλλικής λάμας (Σχήμα 2.19) διατομής 70X6mm και ύψους 100mm χωρίς αξονικό φορτίο στους

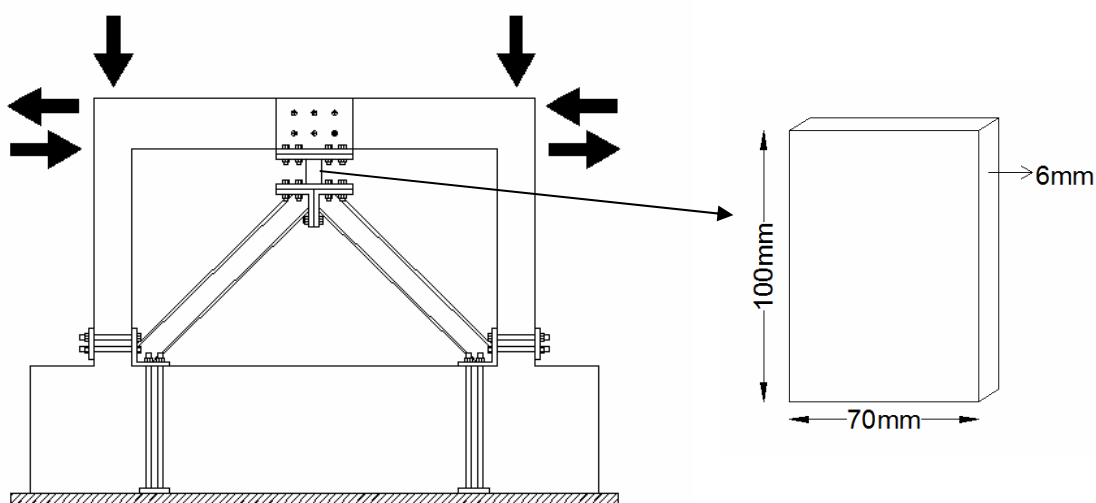
στύλους. Το δοκίμιο αυτό αποτέλεσε το πρώτο από τα δοκίμια τα οποία φέρουν ενίσχυση στο εσωτερικό τους. Ως πρώτο βήμα ενίσχυσης επιλέχθηκε κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος μορφής λάμας. Αναμένεται ότι η διατμητική παραμόρφωση της λάμας κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση θα συντελέσει στην αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας αλλά και της φέρουσας ικανότητας του πλαισίου.



Σχ. 2.19 Δοκίμιο F2 - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος μορφής λάμας.

#### 2.5.4 Δοκίμιο F2,N

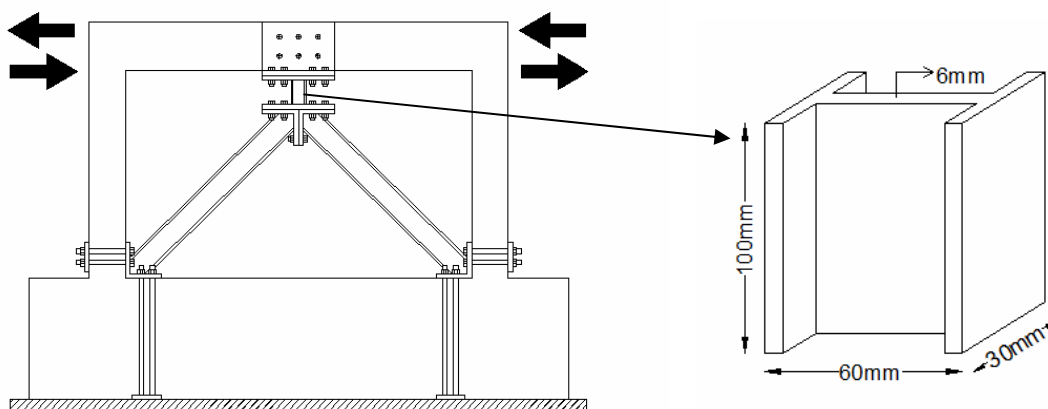
Συνέχεια του προηγούμενου δοκιμίου (F2) αποτελεί το εν λόγω δοκίμιο (F2,N) η διαφορά του οποίου έγκειται στην επιβολή αξονικού φορτίου στους στύλους (Σχήμα 2.20). Ο κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος είναι και πάλι μορφής μεταλλικής λάμας, ορθογωνικής διατομής 70X6mm και ύψους 100mm.



Σχ. 2.20 Δοκίμιο F2,N - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος μορφής λάμας.

### 2.5.5 Δοκίμιο F3

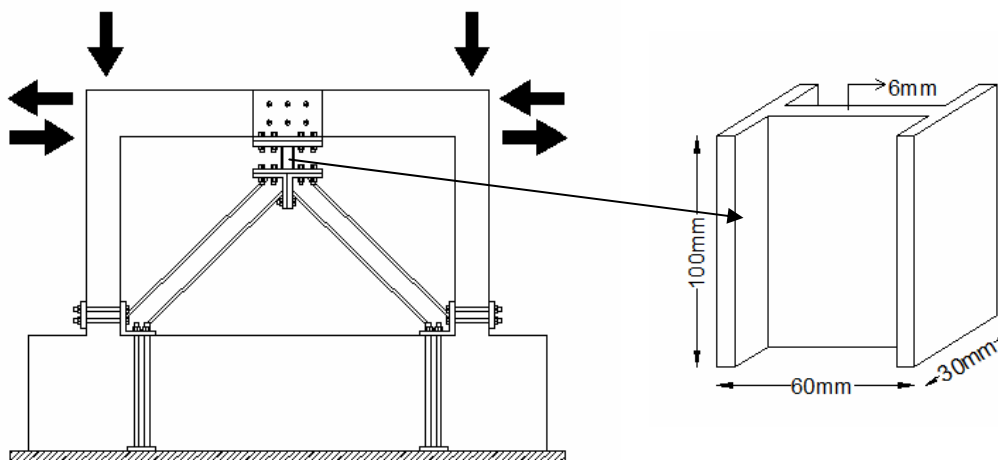
Πλαίσιο Ο.Σ. ενισχυμένο με κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο διατομής I οι διαστάσεις του οποίου φαίνονται στο σχήμα 2.21. Το ύψος διατηρήθηκε στα 100mm όπως και στην περίπτωση της μεταλλικής λάμας ενώ με τα πέλματα επιδιώχτηκε μια καλύτερης μορφής παραμόρφωση από τον κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο. Τα πέλματα της διατομής αποτρέπουν τη στρέβλωση του κορμού. Στόχος αυτής της επιλογής δοκιμίου αποτελεί η μικρή αύξηση της φέρουσας ικανότητας, κυρίως όμως η αύξηση της πλαστιμότητας του συστήματος.



Σχ. 2.21 Δοκίμιο F3 - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος διατομής I ύψους 100mm.

### 2.5.6 Δοκίμιο F3,N

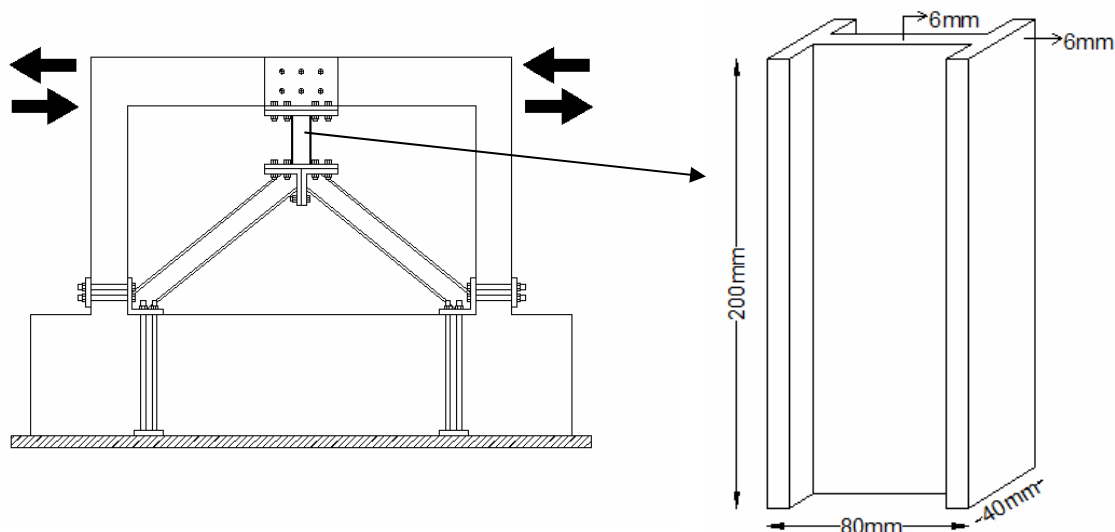
Όμοιο με το δοκίμιο F3 με την προσθήκη επιπλέον αξονικού φορτίου στους στύλους. Οι διαστάσεις του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου καθώς και το είδος της φόρτισης φαίνονται στο σχήμα 2.22.



Σχ. 2.22 Δοκίμιο F3,N - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος διατομής I ύψους 100mm.

### 2.5.7 Δοκίμιο F4

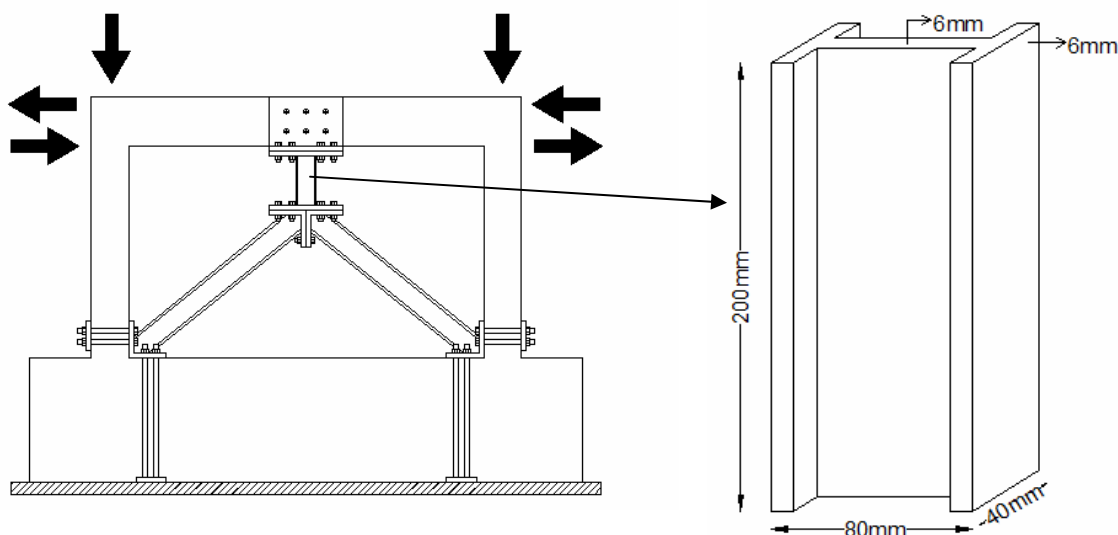
Πλαίσιο Ο.Σ. ενισχυμένο και πάλι με κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο διατομής I οι διαστάσεις του οποίου φαίνονται στο σχήμα 2.23. Επιλέχθηκε ελαφρά μεγαλύτερη διατομή, κυρίως όμως σημαντικά μεγαλύτερο (διπλάσιο) ύψος συνδέσμου 200mm με σκοπό την αύξηση της πλαστιμότητας του συστήματος λόγω κυρίαρχης καμπτικής λειτουργίας του συνδέσμου και την αύξηση των οριζόντιων μετατοπίσεων πριν την αστοχία του.



Σχ. 2.23 Δοκίμιο F4 - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος διατομής I ύψους 200mm.

### 2.5.8 Δοκίμιο F4,N

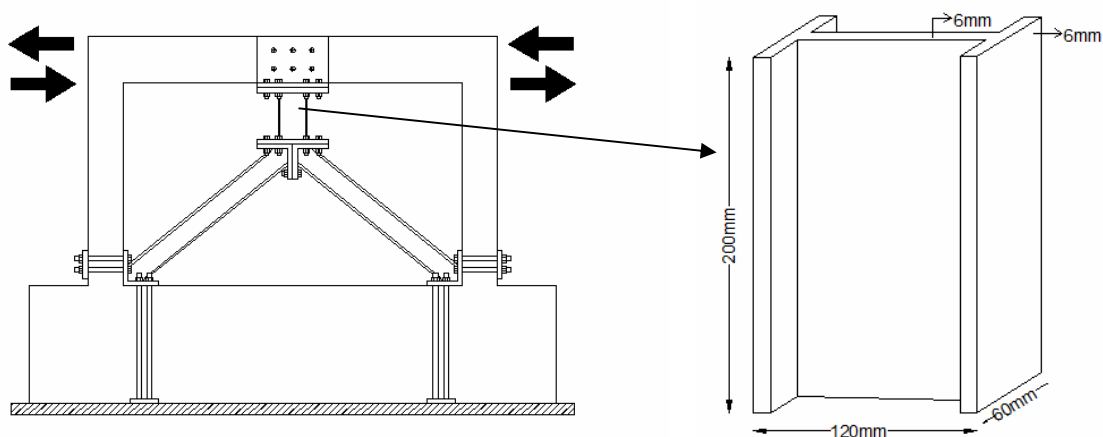
Συνέχεια του δοκιμίου F4 με την προσθήκη αξονικού φορτίου στους στύλους. Το είδος φόρτισης και οι διαστάσεις του κατακόρυφου συνδέσμου φαίνονται στο σχήμα 2.24.



Σχ. 2.24 Δοκίμιο F4,N - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος διατομής I ύψους 200mm.

### 2.5.9 Δοκίμιο F5

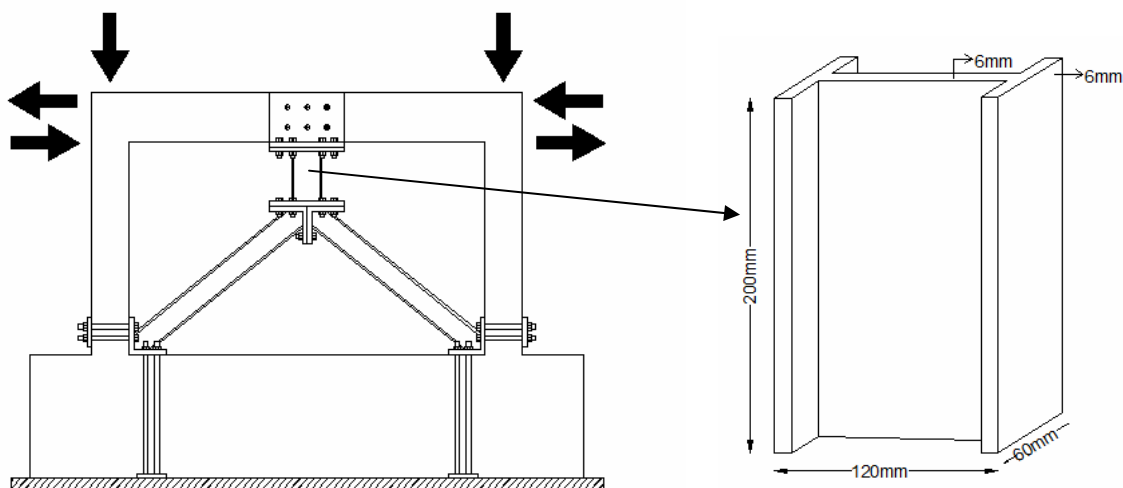
Δοκίμιο χωρίς αξονικό φορτίο στους στύλους, ενισχυμένο με κατακόρυφο μεταλλικό σύνδεσμο ακόμη μεγαλύτερης διατομής, ύψους όμως και πάλι 200mm (Σχήμα 2.25). Η σκόπιμη επιλογή ευμεγέθους κατακόρυφου συνδέσμου αποσκοπεί στη διερεύνηση των ορίων της φέρουσας ικανότητας του πλαισίου Ο.Σ. το οποίο εκτιμάται ότι θα αποτελεί τον ευαίσθητο κρίκο στην αλυσίδα παραλαβής φορτίων.



Σχ. 2.25 Δοκίμιο F5 - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος διατομής I ύψους 200mm.

### 2.5.10 Δοκίμιο F5,N

Όμοιο δοκίμιο με το F5 με την προσθήκη αξονικού φορτίου στους στύλους. Το είδος φόρτισης και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κατακόρυφου συνδέσμου απεικονίζονται στο σχήμα 2.26.

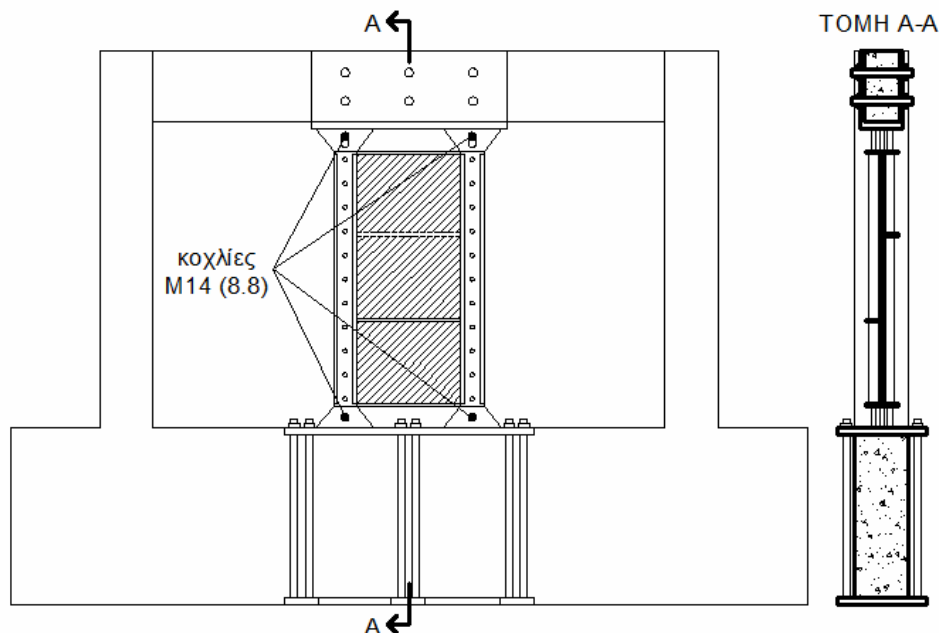


Σχ. 2.26 Δοκίμιο F5,N - Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος διατομής I ύψους 200mm.



### 2.5.11 Δοκίμιο P1

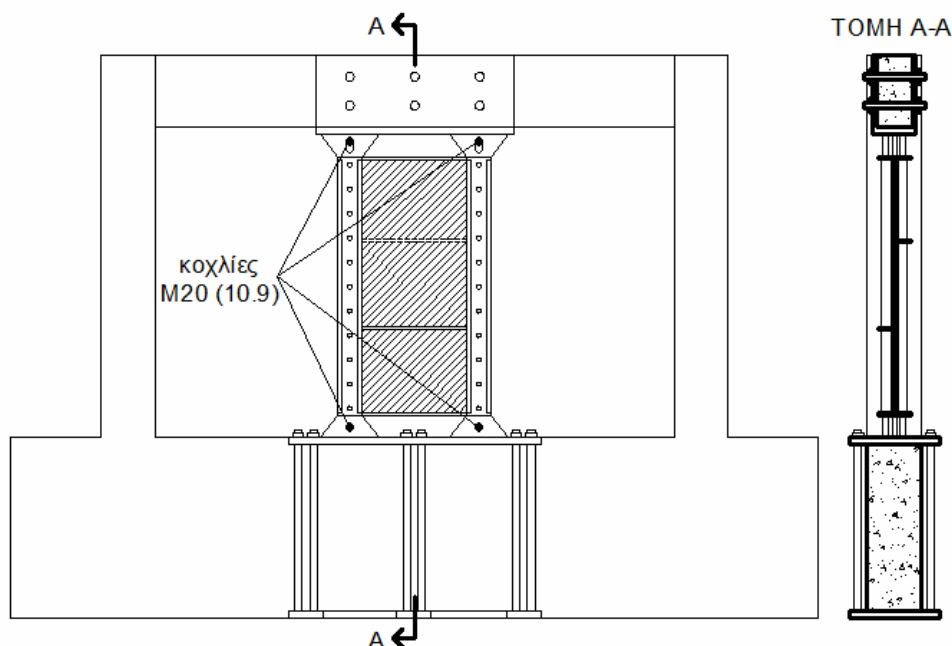
Αποτελεί το πρώτο δοκίμιο το οποίο φέρει ενίσχυση μορφής πετάσματος αλουμινίου, χωρίς αξονικό φορτίο (Σχ. 2.27). Στο δοκίμιο αυτό για τη σύνδεση του πετάσματος με το πλαίσιο σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν κοχλίες M14 (8.8).



Σχ. 2.27 Δοκίμιο P1 - Πέτασμα αλουμινίου με κοχλίες σύνδεσης του πετάσματος M14 (8.8).

### 2.5.12 Δοκίμιο P2

Αποτελεί το δεύτερο δοκίμιο το οποίο φέρει ενίσχυση μορφής πετάσματος αλουμινίου, επίσης χωρίς αξονικό φορτίο (Σχ. 2.28). Στο δοκίμιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν κοχλίες M20 (10.9).



Σχ. 2.28 Δοκίμιο P2 - Πέτασμα αλουμινίου με κοχλίες σύνδεσης του πετάσματος M20 (10.9).

## 2.6 Αντοχές και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών

### 2.6.1 Σκυρόδεμα

Όπως προαναφέρθηκε, επιλέχθηκε κατάλληλης σύνθεσης σκυρόδεμα προκειμένου να επιτευχθούν οι σχετικά χαμηλές αντοχές που διαθέτουν οι παλαιού τύπου κατασκευές, αλλά και με κατάλληλη επιλογή αδρανών για την εξασφάλιση ορθής σκυροδέτησης των επιλεγέντων δοκιμών μικρής κλίμακας (1:3).

Επιθυμητή θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου θεωρήθηκαν τα (16 - 20) Μpa. Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε κάθε δοκίμιο πλαισίου ελήφθησαν έξι κυλινδρικά δοκίμια εκ των οποίων η θραύση πραγματοποιήθηκε στις 28 ημέρες για τρεις κυλίνδρους και κατά την ημέρα της πειραματικής δοκιμής του πλαισίου οι υπόλοιποι τρεις. Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται αναλυτικά οι ημερομηνίες κατασκευής και πειραματικών δοκιμών των πλαισίων καθώς και οι θλιπτικές αντοχές των κυλινδρικών δοκιμών στις αντίστοιχες ημερομηνίες.

ΔΟΚΙ- ΜΙΟ	ΗΜΕΡΟ- ΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟ- ΔΕΤΗ- ΣΗΣ	ΗΜΕΡΟ- ΜΗΝΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑ- ΤΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (Μpa)							
			28 ΗΜΕΡΩΝ			ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ			Μ.Ο. 28 ΗΜΕΡΩΝ	Μ.Ο. ΠΕΙΡΑ- ΜΑΤΩΝ
			1	2	3	4	5	6		
F1	05/12/08	09/09/09	13,04	10,77	11,91	14,55	13,10	14,10	11,91	13,92
F1,N	15/01/09	25/11/09	21,52	15,29	19,25	23,78	26,61	23,78	18,69	24,72
F2	27/11/08	15/05/09	15,80	17,77	16,88	18,12	19,25	20,95	16,82	19,44
F2,N	29/01/09	11/12/09	23,21	19,82	20,95	23,78	23,78	20,95	21,33	22,84
F3	12/12/08	22/06/09	18,14	18,14	17,01	19,82	16,99	17,55	17,76	18,12
F3,N	23/01/09	04/12/09	19,82	19,82	18,12	23,21	22,08	23,21	19,25	22,83
F4	23/12/08	06/08/09	15,30	15,90	18,12	17,10	17,50	20,10	16,44	18,23
F4,N	06/02/09	21/12/09	23,78	19,82	16,42	32,27	23,21	22,65	20,01	26,04
F5	09/01/09	01/10/09	18,68	16,99	17,55	22,65	23,78	23,21	17,74	23,21
F5,N	18/12/09	04/02/10	17,80	17,55	17,55	18,12	16,99	16,99	17,63	17,37
P1	17/12/10	08/02/11	22,50	21,78	20,25	26,60	25,50	24,20	21,51	25,43
P2	28/12/10	04/04/11	18,55	19,58	19,30	19,93	23,11	22,55	19,14	21,86

Πίν. 2.5 Ημερομηνίες σκυροδέτησης και πειραματικής δοκιμής πλαισίων. Αντοχή σε σύνθλιψη του σκυροδέματος στις αντίστοιχες ημερομηνίες.

### 2.6.2 Οπλισμοί πλαισίων

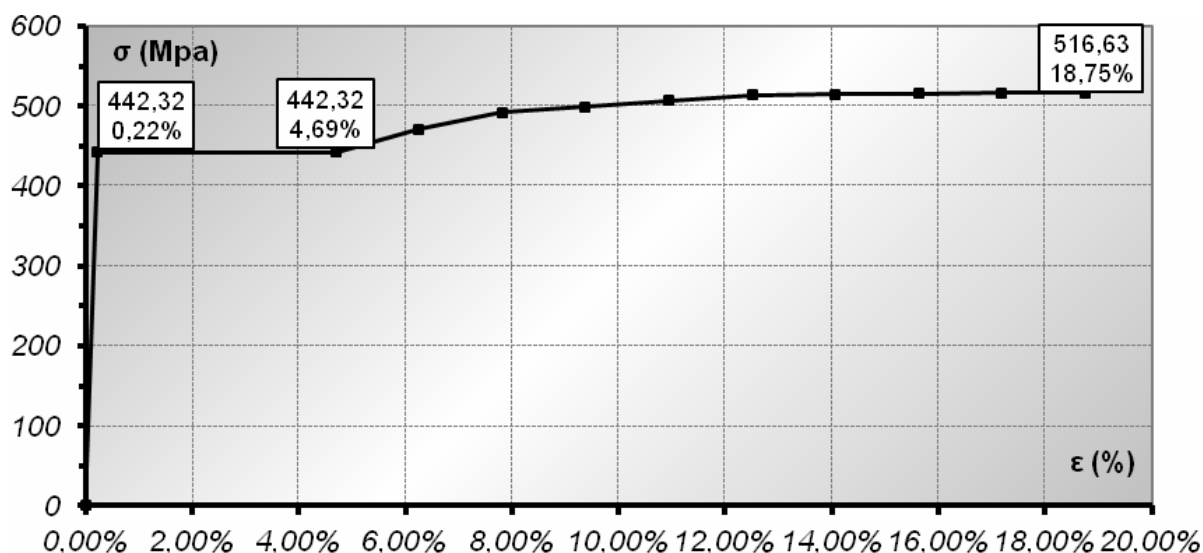
Η ανάγκη για διερεύνηση παλαιού τύπου κατασκευών και μικρής κλίμακας, οδήγησε στην αναζήτηση λείου οπλισμού, μικρής διαμέτρου με όσο το δυνατό χαμηλότερη αντοχή. Η προμήθεια έγινε από το εμπόριο και περιλαμβάνει λείες ράβδους των 6mm για τους διαμήκεις και των 2,7mm για τους συνδετήρες.

Ο προσδιορισμός της αντοχής τους πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής Υλικών του Α.Π.Θ. με δοκιμή εφελκυσμού μετά από κατάλληλη προετοιμασία των

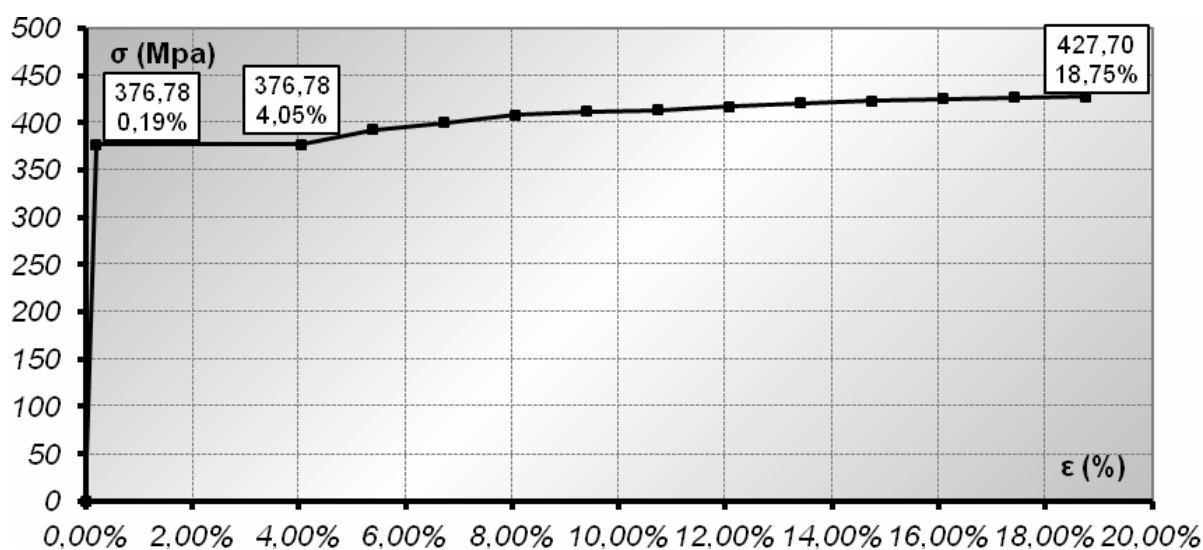
υπό εξέταση δοκιμών η οποία αφορούσε στένωση της διατομής για τη δημιουργία λαιμού με βάση το πρότυπο του κανονισμού. Τα διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων φαίνονται στα Σχ. 2.29, 2.30 ενώ παρακάτω συνοψίζονται τα όρια διαρροής και αστοχίας.

Εγκάρσιος οπλισμός διαμέτρου 2,7mm:  $f_y = 377\text{Mpa}$ ,  $f_u = 428\text{Mpa}$

Διαμήκης οπλισμός διαμέτρου 6,0mm:  $f_y = 442\text{Mpa}$ ,  $f_u = 517\text{Mpa}$



Σχ. 2.29 Διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων διαμήκη οπλισμού Φ6.



Σχ. 2.30 Διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων συνδετήρων Φ2,7.

### 2.6.3 Κατακόρυφος μεταλλικός σύνδεσμος

Λόγω της περιορισμένης κλίμακας σχεδιασμού των πλαισίων Ο.Σ. ήταν απαραίτητη και η προσαρμογή αντίστοιχα των μεταλλικών στοιχείων. Όπως προαναφέρθηκε οι πειραματικές δοκιμές αποσκοπούν στη διερεύνηση της συμπεριφοράς του κατακόρυφου μεταλλικού συνδέσμου. Κατά συνέπεια, παρόλο που ολόκληρη η μεταλλική κατασκευή της ενίσχυσης υπερδιαστασιολογήθηκε προκειμένου να παραμείνει χωρίς βλάβες στις πειραματικές

δοκιμές, ο κατακόρυφος σύνδεσμος ακολούθησε την κλίμακα σχεδιασμού του πλαισίου Ο.Σ. (1:3) προκειμένου να συγκεντρωθεί η βλάβη στο εν λόγω μεταλλικό στοιχείο.

Όπως προαναφέρθηκε, η έρευνα αγοράς απέδειξε ότι δεν υπήρχαν έτοιμες διατομές μορφής Ι τόσο περιορισμένων διαστάσεων και με συγκεκριμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Κατά συνέπεια αποτέλεσε μονόδρομο η κατασκευή αυτών των διατομών μέσω τριών τεμαχίων κατάλληλα επιλεγμένης λαμαρίνας (πάχους 6mm), κοπή στις συγκεκριμένες διαστάσεις και συγκόλληση των τριών τεμαχίων προς σύνθεση της επιλεχθείσας διατομής.

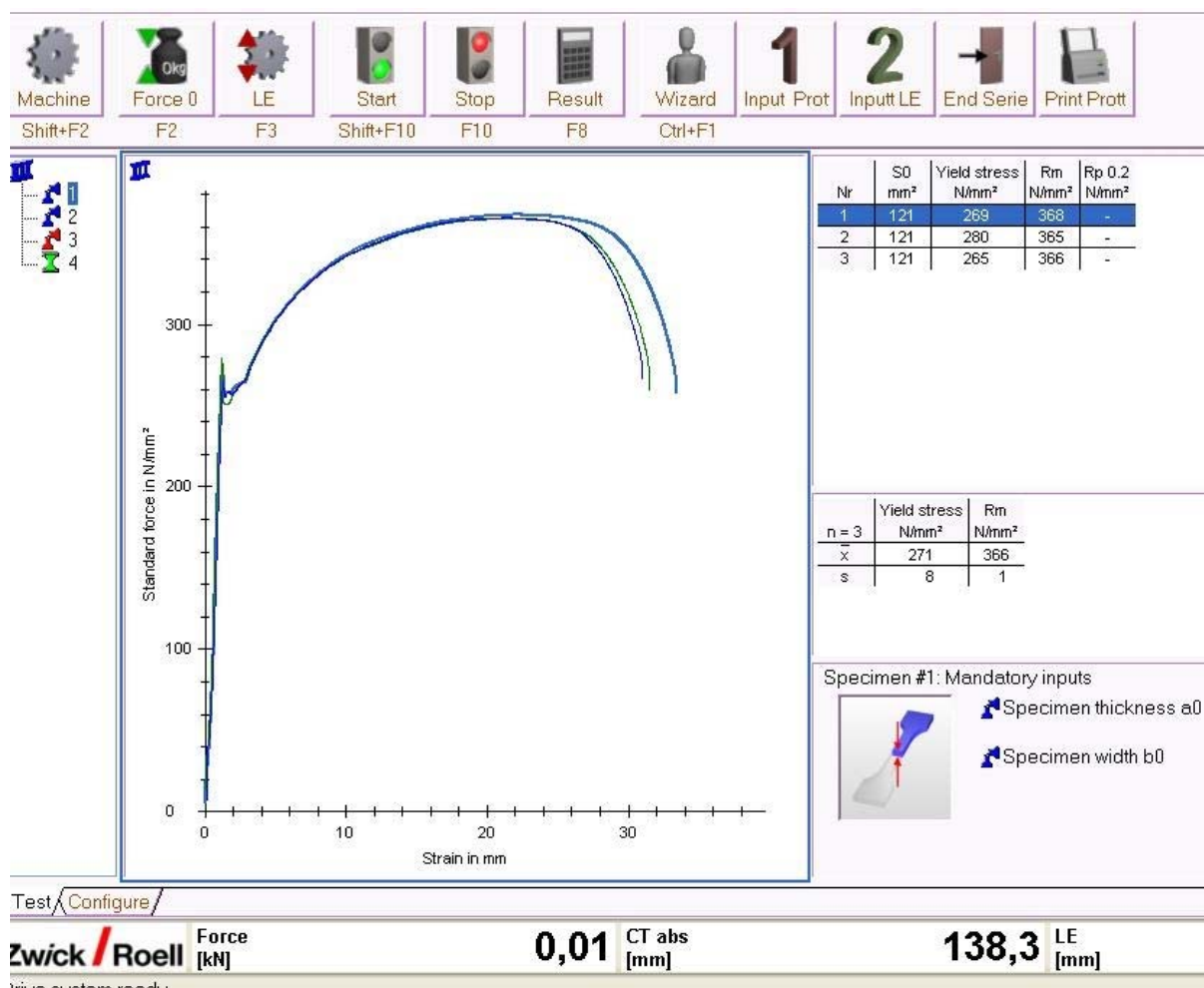
Η προμήθεια της λαμαρίνας έγινε από συγκεκριμένη εταιρεία εμπορίας μεταλλικών στοιχείων της Θεσσαλονίκης με τη χορήγηση των συνοδευτικών πιστοποιητικών του στοιχείου αυτού.

Από την εργαστηριακή έρευνα προέκυψε το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων (Σχ. 2.31 και 2.32) του υλικού και τα όρια διαρροής και αστοχίας αντίστοιχα:

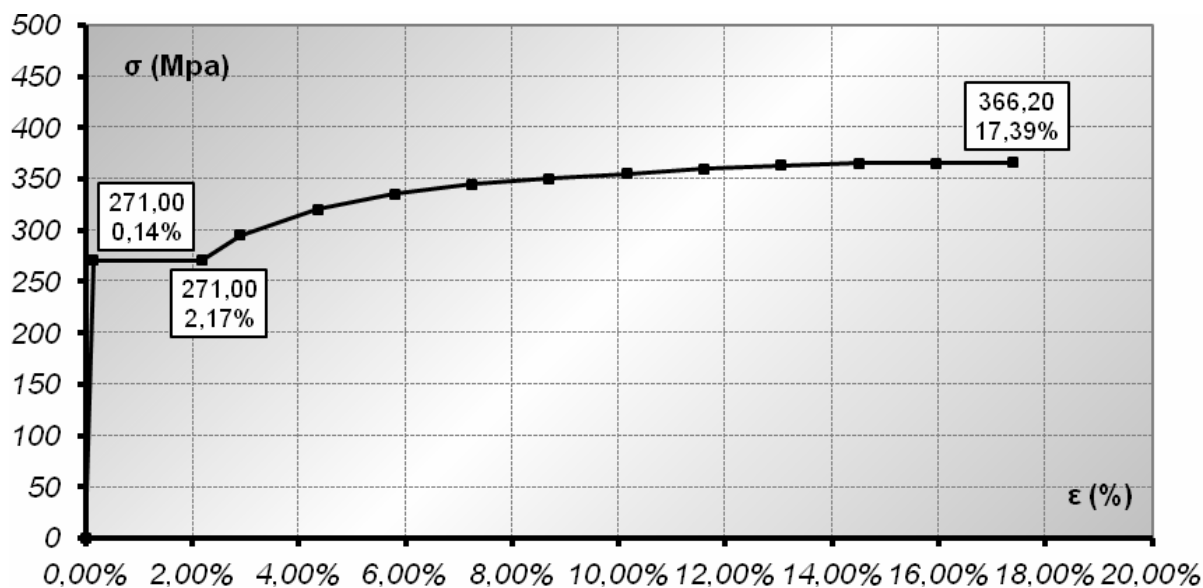
$$f_y = 271\text{Mpa} \quad \text{και} \quad f_u = 366\text{Mpa}$$

Οι τιμές αυτές υπολείπονται ελαφρώς των προβλεπόμενων από την πιστοποίηση (Σχ. 2.33) που ήταν:

$$f_y = 300\text{Mpa} \quad \text{και} \quad f_u = 375\text{Mpa}$$



Σχ. 2.31 Διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων χαλύβδινου συνδέσμου.



Σχ. 2.32 Διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων χαλύβδινου συνδέσμου.

Механические свойства Mechanical Properties					Технологические пробы Technological tests	Ударная вязкость Impact toughness	
Номер партии No. of Batch	Номера плавов Nos of Heats	Предел текуч. Yield strength	Предел прочности Tensile strength	Удлинение % Elongation %		КС	
		Н/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )			BENDING	J/cm <sup>2</sup> (kgf m/cm <sup>2</sup> )	
317	290035	300	375	40	SATISF		

Σχ. 2.33 Όρια διαρροής και αστοχίας χαλύβδινου συνδέσμου κατά την πιστοποίηση (απόσπασμα).

## 2.6.4 Πετάσματα αλουμινίου

Τα πετάσματα αλουμινίου συντίθενται από κράμα αλουμινίου AA1050A της Aalco, Amari Metals Ltd, Surrey, GB, με συμβατικό όριο διαρροής 0.2% και όριο αστοχίας ως εξής (βλέπε προδιαγραφή προμηθεύτριας εταιρείας στο Σχ. 2.34):

$$f_y = 85\text{MPa} \quad \text{και} \quad f_u = 100\text{MPa}$$

Το κράμα αυτό επελέγη επί τούτου χαμηλής αντοχής ώστε να προκύπτει πέτασμα με συγκρίσιμη αντοχή ως προς το υφιστάμενο πλαίσιο σκυροδέματος. Τα τμήματα του πετάσματος στα οποία χρησιμοποιήθηκε συμβατικός χάλυβας συντίθενται από χάλυβα με τα χαρακτηριστικά της προηγούμενης παραγράφου 2.6.3.



**Table 3.** Mechanical properties of selected aluminium alloys.

Alloy	Temper	Proof Stress 0.2% (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Shear Strength (MPa)	Elongation A5 (%)	Hardness Vickers (HV)
AA1050A	H12	85	100	60	12	30
	H14	105	115	70	10	36
	H16	120	130	80	7	-
	H18	140	150	85	6	44
	O	35	80	50	42	20
AA2011	T3	290	365	220	15	100
	T6	300	395	235	12	115
AA3103	H14	140	155	90	9	46
	O	45	105	70	29	29
AA4015	O	45	110-150	-	20	30-40
	H12	110	135-175	-	4	45-55
	H14	135	160-200	-	3	-
	H16	155	185-225	-	2	-
	H18	180	210-250	-	2	-
AA5083	H32	240	330	185	17	95
	O/H111	145	300	175	23	75
AA5251	H22	165	210	125	14	65
	H24	190	230	135	13	70
	H26	215	255	145	9	75
	O	80	180	115	26	46
AA5754	H22	185	245	150	15	75
	H24	215	270	160	14	80
	H26	245	290	170	10	85
	O	100	215	140	25	55
AA6063	O	50	100	70	27	35
	T4	90	160	110	21	50
	T6	210	245	150	14	80
AA6082	O	60	130	85	27	35
	T4	170	260	170	19	75
	T6	310	340	210	11	100
AA6262	T6	240	290	-	8	-
	T9	330	360	-	3	-
AA7075	O	105-145	225-275	150	9	65
	T6	435-505	510-570	350	5	160

**aalco**

© Copyright: Aalco, Amari Metals Ltd, The Herham Centre, Herham Green, Herham, Surrey KT12 4HP

Σχ. 2.34 Όρια διαρροής και αστοχίας του κράματος αλουμινίου κατά την πιστοποίηση AA1050A της Aalco (απόσπασμα).

### 3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Οι πειραματικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ.

#### 3.1 Έμβολα επιβολής φόρτισης

Το εργαστήριο διαθέτει δύο έμβολα επιβολής ανακυκλιζόμενης φόρτισης τα οποία έχουν τοποθετηθεί το ένα οριζόντια, για την επιβολή οριζόντιας μετακίνησης στην κεφαλή του πλαισίου, και το άλλο κατακόρυφα για την επιβολή αξονικού φορτίου στους στύλους. Για την οριζόντια φόρτιση χρησιμοποιήθηκε έμβολο τύπου MTS model 244 ικανότητας 250KN, ενώ αντίστοιχα για το κατακόρυφο αξονικό φορτίο έμβολο MTS model 243 ικανότητας 1000KN (Φωτ. 3.1 και 3.2). Όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες, και τα δυο έμβολα διαθέτουν σύστημα διπλών αρθρώσεων για την αποφυγή μεταφοράς ροπής λόγω αθέλητων εκκεντροτήτων.

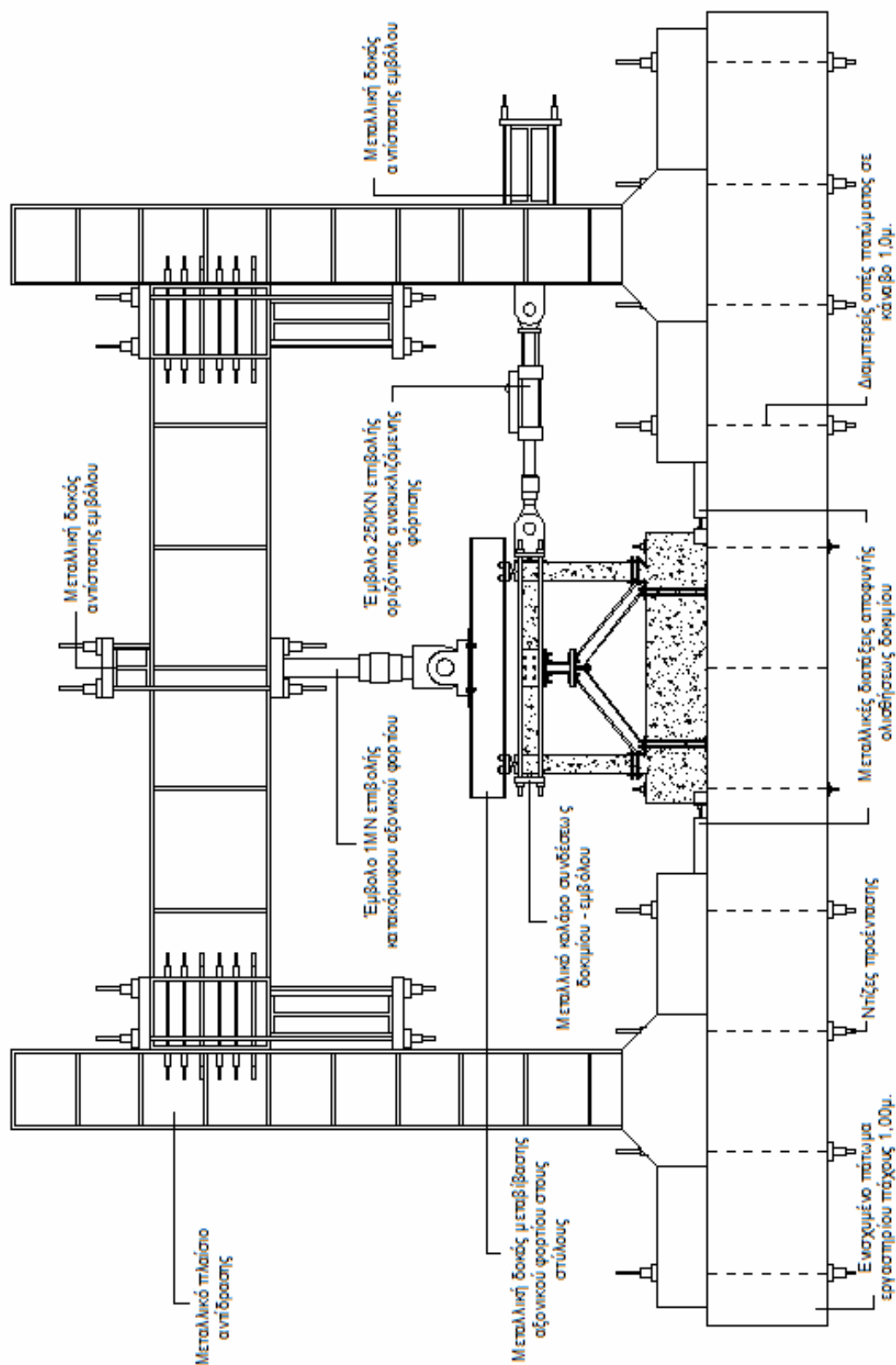


Φωτ. 3.1 Οριζόντιο έμβολο.



Φωτ. 3.2 Κατακόρυφο έμβολο.

Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται η διαδικασία επιβολής της φόρτισης. Το κατακόρυφο έμβολο επιβάλλει σταθερό συνεχές φορτίο 160KN, το οποίο διαμέσου της μεταλλικής δοκού μεταβιβάζεται στους στύλους. Το οριζόντιο έμβολο επιβάλλει οριζόντια ανακυκλιζόμενη μετατόπιση.



Σχ. 3.1 Προσαρμογή του πειραματικού δοκίμιου στο μεταλλικό πλαίσιο του εργαστηρίου.



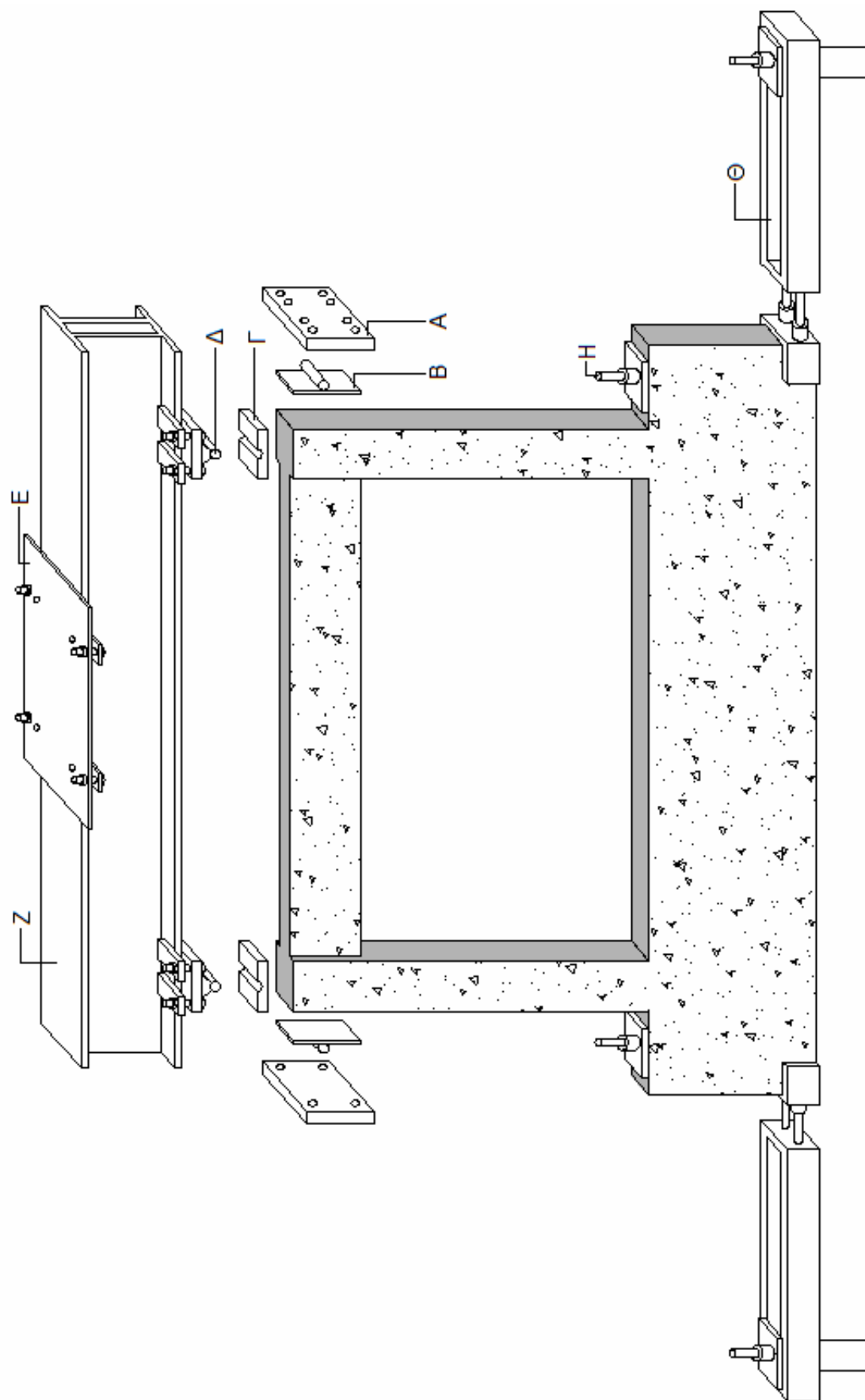
Φωτ. 3.3 Μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης.

### 3.2 Μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης

Χρησιμοποιήθηκε το μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης του εργαστηρίου (Φωτ. 3.3), το οποίο αναδιατάχθηκε κατάλληλα για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των συγκεκριμένων δοκιμών. Επάνω στο μεταλλικό πλαίσιο προσαρμόστηκαν σε κατάλληλες θέσεις τα δύο έμβολα επιβολής της φόρτισης. Το μεταλλικό πλαίσιο του εργαστηρίου είναι πακτωμένο στην πλάκα δαπέδου του εργαστηρίου μέσω διαμπερών προεντεταμένων ντιζών. Η πλάκα έχει πάχος 1.00m στην οποία έχουν προβλεφθεί οπές διαμέτρου 70mm σε ορθογωνικό κάναβο 1.00m. Μέσω του υπογείου του εργαστηρίου επιτρέπεται η πρόσβαση κάτω από την πλάκα. Το πλαίσιο έχει δυνατότητα αναδιάταξης για την κατάλληλη προσαρμογή σε διάφορες πειραματικές διατάξεις. Το κατακόρυφο έμβολο προσαρμόστηκε στις δύο μεταλλικές οριζόντιες δοκούς του πάνω τμήματος του πλαισίου αντίδρασης, ενώ για την οριζόντια αντίσταση του πλαισίου τοποθετήθηκε εγκάρσιως μεταλλική δοκός σε κατάλληλο ύψος έτσι ώστε ο άξονας του εμβόλου να συμπίπτει με τον άξονα του ζυγώματος.

Η διαδικασία συνδεσμολογίας του δοκιμίου τόσο με την πλάκα του εργαστηρίου όσο και με τα δύο έμβολα επιβολής της ιστορίας φόρτισης, έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν πληρέστερη προσομοίωση της συμπεριφοράς του υπό δοκιμή πλαισίου, με ένα συμβατικό πλαίσιο υφιστάμενου κτιρίου υπό πραγματικές συνθήκες σεισμικών φορτίσεων. Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται λεπτομερώς η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:





Σχ. 3.2 Μεθοδολογία πειραματικής δοκιμής.



Α: Δύο όμοιες μεταλλικές πλάκες εκατέρωθεν της κεφαλής του δοκιμίου οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους μέσω ντιζών και μεταβιβάζουν την ανακυκλιζόμενη φόρτιση του οριζοντίου εμβόλου στο ζύγωμα. Στη μια εκ των δύο πλακών υπάρχουν επιπλέον οπές για τη συνδεσμολογία του εμβόλου.

Β: Μεταλλικές πλάκες παρεμβαλλόμενες μεταξύ των εξωτερικών πλακών (Α) και του δοκιμίου. Οι πλάκες αυτές φέρουν στο μέσο τους κύλινδρο για τη δημιουργία συνθηκών άρθρωσης με στόχο την ελεύθερη στροφή της δοκού κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Γ: Μεταλλικές πλάκες οι οποίες φέρουν εσοχή ημικυλίνδρου στο μέσο τους για τη δημιουργία συνθηκών άρθρωσης κατά την εφαρμογή του αξονικού φορτίου στους στύλους, με ελεύθερη περιστροφή των στύλων, χωρίς να μεταβιβάζεται ροπή.

Δ: Μεταλλικές στηρίξεις μεταβίβασης του φορτίου του κατακόρυφου εμβόλου διαμέσου της μεταλλικής δοκού στους στύλους. Οι συγκεκριμένες στηρίξεις φέρουν κυλίνδρους στο κάτω τμήμα τους για την εφαρμογή τους στην εσοχή των πλακών Γ.

Ε: Μεταλλική πλάκα σύνδεσης του κατακόρυφου εμβόλου με τη μεταλλική δοκό.

Ζ: Μεταλλική δοκός μεταβίβασης του φορτίου του εμβόλου στους δύο στύλους.

Η: Διαμπερείς ντίζες εκατέρωθεν του δοκιμίου οι οποίες συνδέουν το δοκίμιο με το πάτωμα του εργαστηρίου.

Θ: Ειδικές μεταλλικές διατάξεις πακτωμένες στο πάτωμα για την αποτροπή ολίσθησης του δοκιμίου κατά την οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Στις φωτογραφίες 3.4 και 3.5 φαίνεται η εργαστηριακή διάταξη σε πλήρη ανάπτυξη καθώς επίσης και ο τρόπος σύνδεσης των εμβόλων φόρτισης στο δοκίμιο.



Φωτ. 3.4 Πειραματική διάταξη επιβολής φόρτισης στο πλαίσιο Ο.Σ.



Φωτ. 3.5 Πειραματική διάταξη επιβολής φόρτισης στο πλαίσιο Ο.Σ.

### 3.3 Καταγραφή αποτελεσμάτων

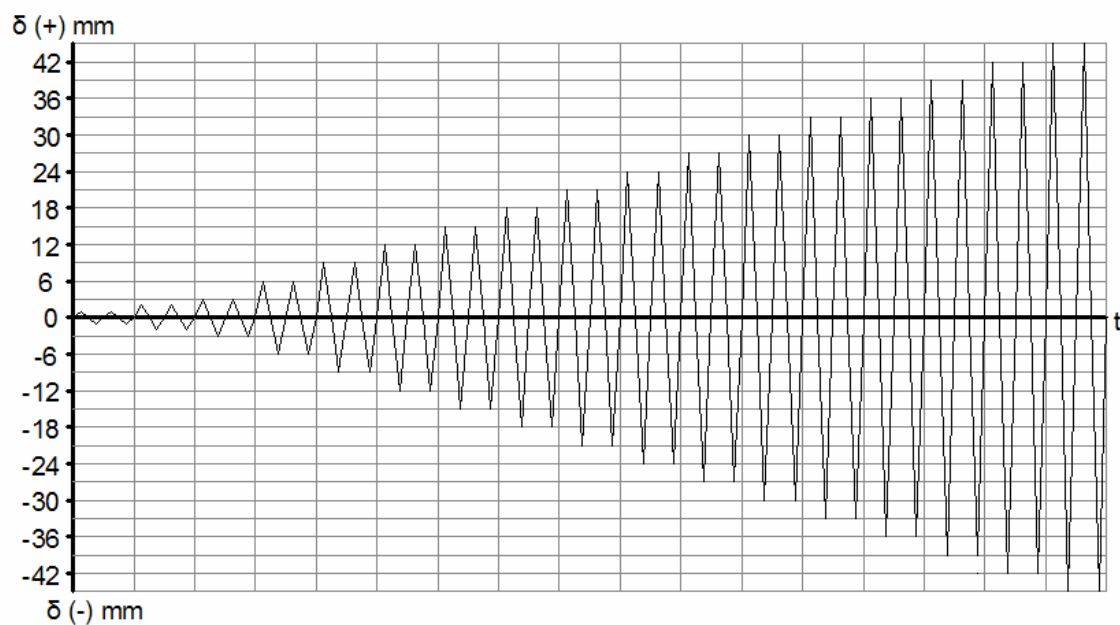
Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το αναβαθμισμένο σύστημα αυτόματης καταγραφής των αποτελεσμάτων το οποίο προμηθεύτηκε το Εργαστήριο το 2008 (Φωτ. 3.6). Πρόκειται για εξοπλισμό τύπου Flextest MTS ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εφαρμόζει και να ελέγχει αυτομάτως τη δοθείσα ιστορία φόρτισης με την τεχνική του κλειστού βρόχου και να αποθηκεύει ταυτόχρονα όλα τα αποτελέσματα με την επιθυμητή συχνότητα καταγραφής τιμών. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας φόρτισης απεικονίζεται στην οθόνη η μεταβολή των επιλεγέντων υπό διερεύνηση παραμέτρων ως συνάρτηση του επιβαλλόμενου φορτίου.

### 3.4 Πρόγραμμα φόρτισης

Η κεφαλή των πλαισίων υποβλήθηκε σε οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση πολλών πλήρων κύκλων με έλεγχο μετακίνησης (displacement control). Η ιστορία φόρτισης συμπεριλάμβανε από 12 έως 17 επίπεδα διαδοχικά αυξανόμενης μετακίνησης, το κάθε ένα εκ των οποίων αποτελούνταν από δύο κύκλους φόρτισης. Τα βήματα φόρτισης τα οποία επιβλήθηκαν είναι 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45mm (Σχήμα 3.3). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η προχωρημένη μορφή βλάβης σε ορισμένα δοκίμια επέβαλε τη διακοπή της πειραματικής διαδικασίας νωρίτερα για λόγους ασφάλειας, καθώς το δοκίμιο είχε ήδη φθάσει στη μέγιστη φέρουσα ικανότητά του.



Φωτ. 3.6 Αυτόματη επιβολή φόρτισης και καταγραφή αποτελεσμάτων.



Σχ. 3.3 Ιστορία ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό μορφή επιβαλλόμενων μετακινήσεων.

Το αξονικό φορτίο στους στύλους επιβλήθηκε πριν από την έναρξη της ανακυκλιζόμενης οριζόντιας φόρτισης και ρυθμίστηκε σε 80KN ανά στύλο, που ουσιαστικά αντιστοιχεί περίπου στο 20% της φέρουσας ικανότητάς του. Κατά συνέπεια με βάση τη διάταξη (Σχήμα 3.1 και



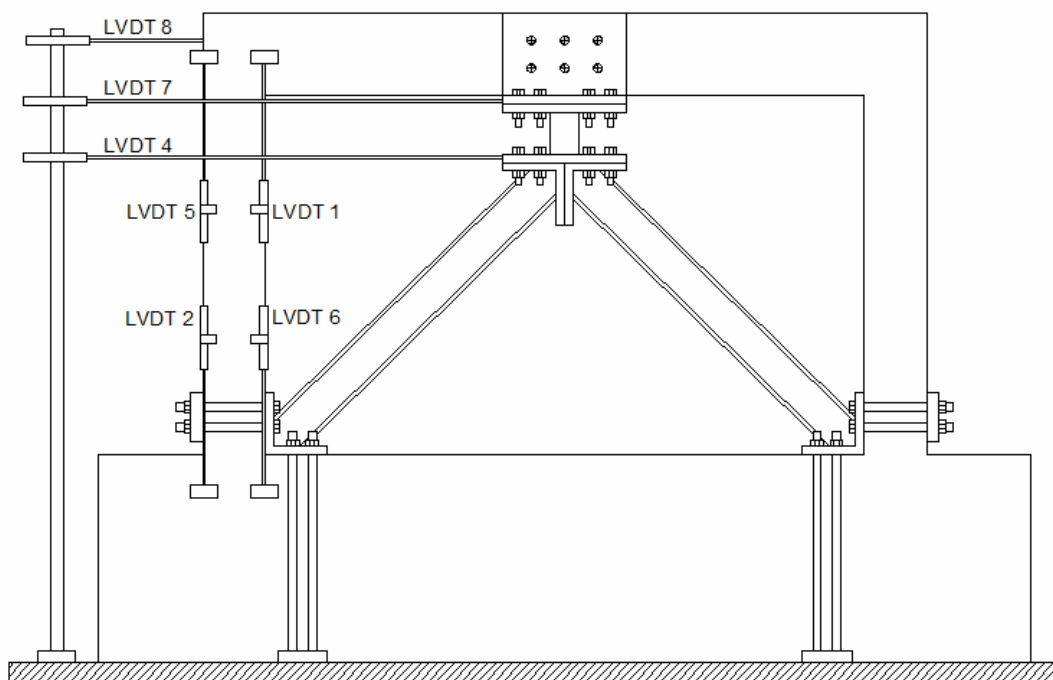
3.2) μέσω του αυτόματου συστήματος φόρτισης, αποθηκεύτηκε μια συγκεκριμένη ιστορία φόρτισης η οποία περιελάμβανε την αύξηση του φορτίου του κατακόρυφου εμβόλου μέχρι 160KN και εν συνεχεία την έναρξη της παραπάνω οριζόντιας ανακύκλισης.

Η ταχύτητα φόρτισης ρυθμίστηκε στα 1 ramp/min (1 κλάδος/min), δηλαδή μέσα σε ένα λεπτό φτάνει στη μέγιστη μετατόπιση του συγκεκριμένου βήματος φόρτισης. Κατά συνέπεια η επιβολή του φορτίου γίνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα όσο αυξάνεται η επιθυμητή μετατόπιση. Η μέγιστη διάρκεια του πειράματος στην περίπτωση εξάντλησης όλων των κύκλων μετατόπισης, είναι: 4 κλάδοι x 2 κύκλοι x 17 επίπεδα = 136 λεπτά. Για την πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς του δοκιμίου, η συχνότητα καταγραφής αποτελεσμάτων ρυθμίστηκε σε μια καταγραφή ανά δευτερόλεπτο.

### 3.5 Ενοργάνωση πειραμάτων ενίσχυσης με μεταλλικούς συνδέσμους Λ

- Δοκίμια χωρίς αξονικό φορτίο στους στύλους

Για την καταγραφή της απόκρισης χρησιμοποιήθηκαν επτά εξωτερικά ηλεκτρονικά μηχανοσυστοιχίες (LVDT) (Σχήμα 3.4). Καθώς η αναμενόμενη μορφή αστοχίας του πλαισίου συνίστατο στο σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στο στύλο και όχι στη δοκό, τα όργανα 1, 5, 2, 6 τοποθετήθηκαν κατάλληλα και κατέγραφαν τη μεταβολή του εύρους των ρωγμών στην κεφαλή και τον πόδα του στύλου. Το όργανο 8 κατέγραφε τη μετακίνηση της κεφαλής του δοκιμίου και τέλος τα όργανα 4 και 7 κατέγραφαν τις μετακινήσεις στο άνω και κάτω τμήμα του μεταλλικού συνδέσμου αντίστοιχα. Όλες οι ενδείξεις των οργάνων αποθηκεύονταν αυτόματα στο αναβαθμισμένο κεντρικό σύστημα ελέγχου του Εργαστηρίου συναρτήσει της ιστορίας φόρτισης.

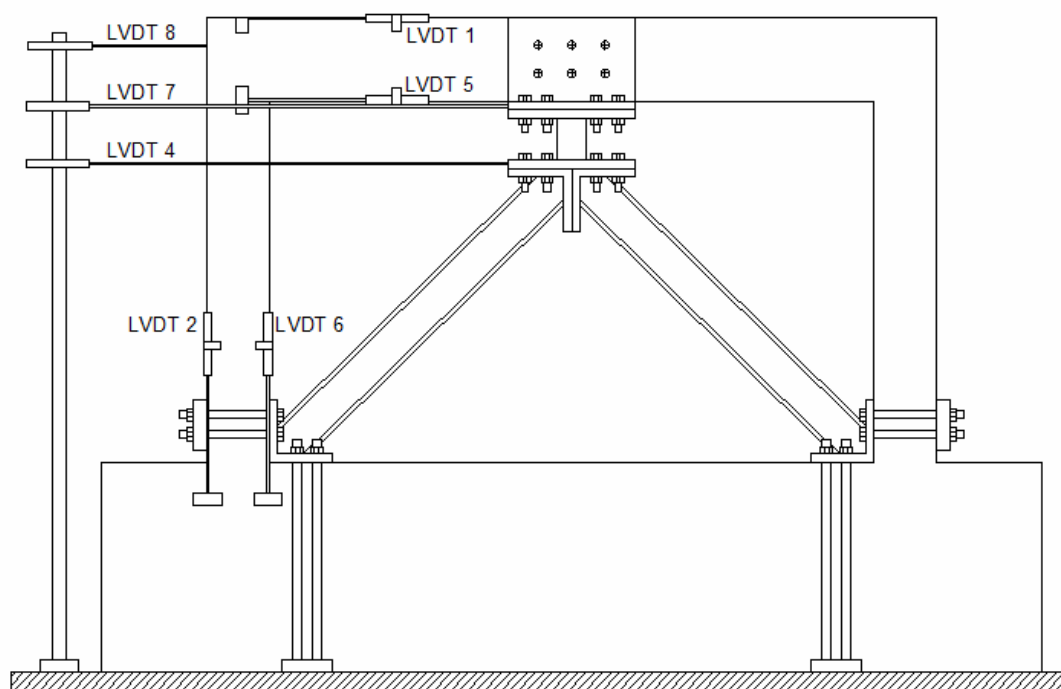


Σχ. 3.4 Θέσεις καταγραφής εξωτερικών ηλεκτρονικών μηχανοσυστοιχιών.  
(δοκίμια χωρίς αξονικό φορτίο στους στύλους).

- Δοκίμια με αξονικό φορτίο στους στύλους

Λόγω του αξονικού φορτίου στους στύλους ήταν ενδεχόμενη η δημιουργία αρθρώσεων στη δοκό κατά την ανακύκλιση. Για το λόγο αυτό, δύο εκ των επτά ηλεκτρονικών μηχανισιομέτρων τοποθετήθηκαν στις δύο παρειές της δοκού καταγράφοντας με αυτό τον τρόπο την παραμόρφωση της δοκού στην άνω και κάτω παρειά της κοντά στην περιοχή του κόμβου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5 τα όργανα 1 και 5 τοποθετήθηκαν στην άνω και κάτω παρειά της δοκού, σε σημεία δηλαδή στα οποία αναμένεται εκτεταμένη ρηγμάτωση και ενδεχομένως πλαστικές αρθρώσεις.



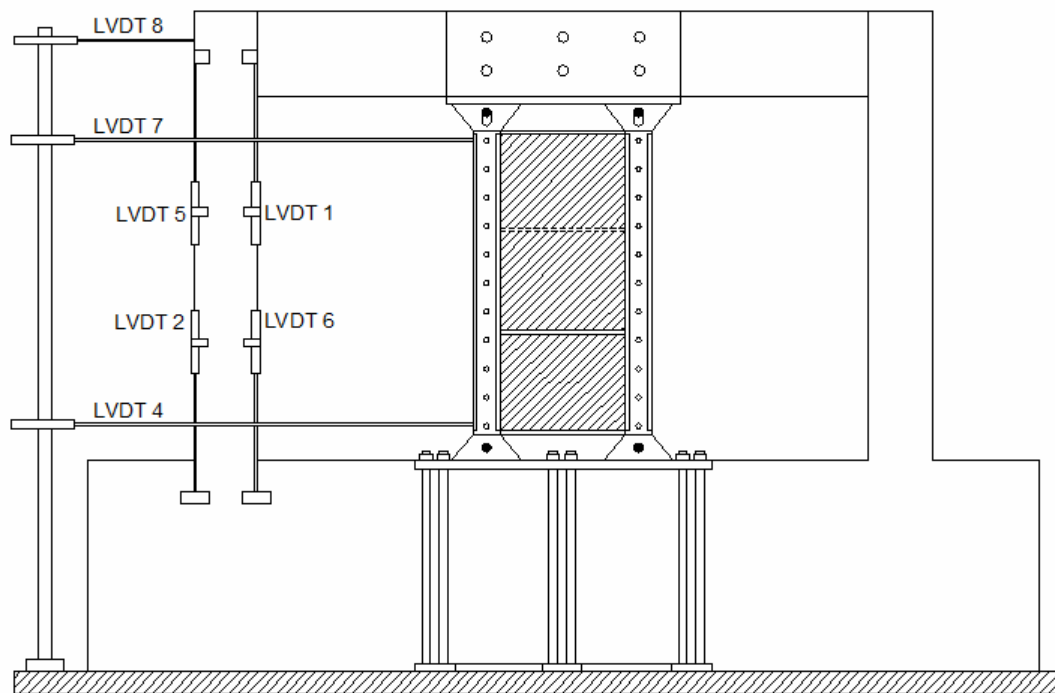
Σχ. 3.5 Θέσεις καταγραφής εξωτερικών ηλεκτρονικών μηχανισιομέτρων.  
(δοκίμια με αξονικό φορτίο στους στύλους).

### 3.6 Ενοργάνωση πειραμάτων ενίσχυσης με πετάσματα αλουμινίου

Κατ' αναλογία με αυτά που ισχύουν για τα δοκίμια με μεταλλικούς συνδέσμους  $\Lambda$  χωρίς αξονικό φορτίο, τοποθετήθηκε ένα ηλεκτρονικό μηχανισιομέτρο στο κέντρο της κεφαλής των δοκιμών (LVDT 8) για την καταγραφή των μετακινήσεων του άξονα της δοκού. Καθώς και πάλι η αναμενόμενη μορφή αστοχίας του πλαισίου συνίστατο στο σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στο στύλο και όχι στη δοκό λόγω της απουσίας αξονικού φορτίου στους στύλους, τοποθετήθηκαν δύο όργανα καταγραφής στην κεφαλή του στύλου (LVDT 1 & 5) και δύο στον πόδα (LVDT 2 & 6) (Σχ. 3.6).

Τέλος, για την καταγραφή της καθαρής μετατόπισης, απαλλαγμένης από ενδεχόμενες μικροολισθήσεις και τζόγους, τοποθετήθηκαν δύο ηλεκτρονικά μηχανισιομέτρα (LVDT 7 & 4) στην κεφαλή και τον πόδα του πετάσματος (Σχ. 3.6) ούτως ώστε η διαφορά των δύο οργάνων να απεικονίζει την καθαρή μετατόπιση του πετάσματος. Και πάλι, όλες οι ενδείξεις των οργάνων αποθηκεύονταν αυτόματα στο σύστημα ελέγχου του Εργαστηρίου.





Σχ. 3.6 Θέσεις καταγραφής εξωτερικών ηλεκτρονικών μηχανισιομέτρων.