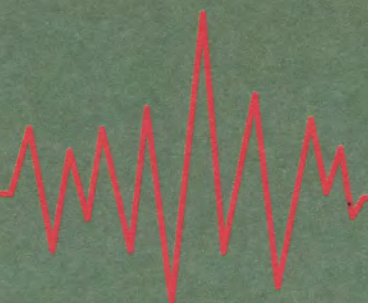




ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ



2^ο



**ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
& ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ**



ΤΟΜΟΣ Β'

**Θ Ε Σ Σ Α Λ Ο Ν Ι Κ Η
Μ Α Κ Ε Δ Ο Ν Ι Α Π Α Λ Λ Α Σ
28 - 30, Νοεμβρίου, 2001**

ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ

Ο.Α.Σ.Π. - Ι.Τ.Σ.Α.Κ. - Σ.Π.Μ.Ε.

Πειραματική διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Shaking table testing of two-storied RC frames designed for different ductility classes and using different types of reinforcement

ΚΑΡΥΔΗΣ, Π. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
ΜΟΥΖΑΚΗΣ, Χ. Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΕΤΕΠ Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Προκειμένου να διαπιστωθεί πειραματικά η επίδραση της πλαστιμότητας και του δείκτη συμπεριφοράς στην απόκριση μιας κατασκευής, εννέα συνολικά διώροφα επίπεδα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα διαστασιολογημένα με τον Ευρωκώδικα 8 (CEN, 1994) υποβλήθηκαν σε σεισμική καταπόνηση με τη χρήση του σεισμικού προσομοιωτήρα του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. Τα πειράματα έγιναν για 2 διαφορετικές εντάσεις που αντιστοιχούν σε σεισμό σχεδιασμού 0.15g και 0.30g. Επιπλέον διερευνήθηκε η επιρροή της ποιότητας του χάλυβα στη συμπεριφορά των πλαισίων με τη διεξαγωγή πειραμάτων σε δοκίμια οπλισμένα με χάλυβα ποιότητας S500s και S400.

ABSTRACT: An extensive experimental investigation aiming at calibrating the EC8 provisions concerning ductility and behavior factor of RC frames has been carried out using the earthquake simulation facilities at the Laboratory for Earthquake Engineering at NTUA. For this investigation, totally 9 two-storied RC frames were designed into three ductility classes in accordance to EC8. Apart from the three ductility classes, parameters being investigated also included two different types of reinforcement (Tempcore S500s and hot-rolled S400).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σύγχρονοι κανονισμοί προβλέπουν την πλάσιμη συμπεριφορά των κτηρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα όταν καταπονούνται από σεισμικές δράσεις, αποδεχόμενοι κάποιες βλάβες λόγω της ανελαστικής συμπεριφοράς τους. Αυτό επιτυγχάνεται διαστασιολογώντας τα με μειωμένη αντοχή για λόγους οικονομίας. Έτσι η πλαστιμότητα και η αντοχή είναι δύο παράμετροι οι οποίες είναι αλληλοεξαρτώμενες όταν αναπτύσσεται ανελαστική συμπεριφορά.

Ο Ευρωκώδικας 8 επιτρέπει στους μελετητές να επιλέξουν ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες πλαστιμότητας, οι οποίες είναι: DC-L (μικρή πλαστιμότητα), DC-M (μεσαία πλαστιμότητα) και DC-H (μεγάλη πλαστιμότητα), ενώ παρέχει επίσης λεπτομερείς κατασκευαστικές διατάξεις, έτσι ώστε να καλύπτονται οι αντίστοιχες απαιτήσεις πλαστιμότητας.

Συνολικά εννέα διώροφα επίπεδα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιάστηκαν και καταπονήθηκαν με σεισμό. Λόγω της διαφορετικής σεισμικής επικινδυνότητας που επικρατεί από περιοχή σε περιοχή, ο σχεδιασμός των δοκίμιων έγινε για δύο διαφορετικές εντάσεις του σεισμού σχεδιασμού με εδαφική επιτάχυνση 0.15g και 0.30g αντίστοιχα. Για κάθε μια από τις τιμές αυτές σχεδιάστηκαν τρία πλαίσια κατά αντιστοιχία των τριών προβλεπόμενων κατηγοριών πλαστιμότητας. Τα έξι αυτά πλαίσια σχεδιάστηκαν με ποιότητα χάλυβα S500s για το διαμήκη οπλισμό, ο οποίος είναι ευρύτατα διαδεδομένος, ενώ τρία επανασχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας χάλυβα S400 για το διαμήκη οπλισμό. Σε όλα τα δοκίμια ο οπλισμός διάτμησης ήταν χάλυβας ποιότητας St-IV.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του

Ε.Μ.Π. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα κύρια πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα αυτή.

2. ΔΟΚΙΜΙΑ

2.1 Σχεδιασμός δοκιμίων

Στόχος της έρευνας αυτής είναι η διερεύνηση της επιρροής της κατηγορίας πλαστιμότητας στο σχεδιασμό σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Η μορφή των δοκιμίων επιλέχθηκε να είναι απλή. Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι διαστάσεις και οι λεπτομέρειες όπλισης του δοκιμίου H30 (μεγάλη πλαστιμότητα και επιτάχυνση σχεδιασμού 0.30g). Η γεωμετρία και οι διαστάσεις των πλακοδοκών ήταν ίδιες για όλα τα δοκίμια, ενώ λίγο μεγαλύτερη διατομή υποστυλωμάτων επιλέχθηκε για τους φορείς που σχεδιάστηκαν για σεισμό 0.30g, προκειμένου το γεωμετρικό ποσοστό όπλισμού να παραμείνει σε λογικά επίπεδα.

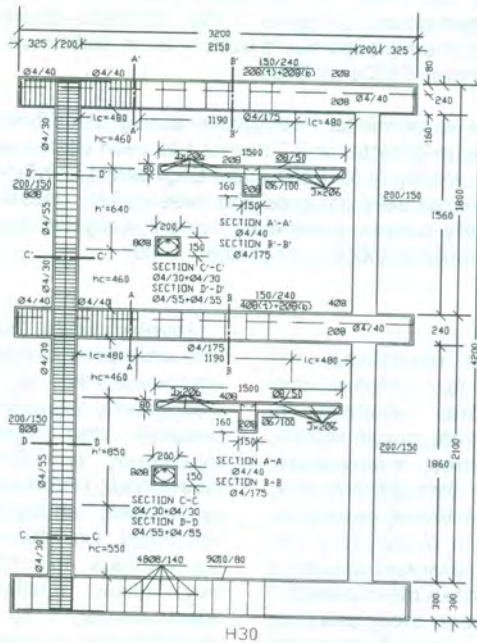
Τα δοκίμια σχεδιάστηκαν σε κλίμακα 0.6:1. Η κλίμακα αυτή επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις των πραγματικών κατασκευών. Ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε κατευθείαν στην κλίμακα των δοκιμίων, ενώ οι παράμετροι σχεδιασμού προσαρμόστηκαν ως προς τους αντίστοιχους μειωτικούς συντελεστές. Οι κύριες παραδοχές σχεδιασμού και οι συντελεστές που λήφθηκαν υπόψη είναι:

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού: 0.15g/0.30g

Κατηγορία εδάφους: B

Φορτία σχεδιασμού: 1.5kN/m² (μόνιμο) και 2.0kN/m² (κινητό)

Επισημαίνεται ότι όλα τα πλαίσια σχεδιάστηκαν ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη αντοχή όπως αυτή καθορίζεται από τον Κανονισμό. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν για κάθε δοκίμιο



Σχήμα 1.
Figure 1.

Γεωμετρία και όπλισμός για το δοκίμιο H30
Geometry and reinforcement arrangement for model H30

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά Δοκιμών
Table 1. Test structures designations and main features

Δοκίμιο	Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού (g)	Κατηγορία πλαστιμότητας	Διαμήκης οπλισμός	Διατομή δοκών (mm)	Διατομή υποστυλωμάτων (mm)
L30	0.30	Χαμηλή	S500s	150/240	150/200
M30	0.30	Μεσαία	S500s	150/240	150/200
H30	0.30	Μεγάλη	S500s	150/240	150/200
L15	0.15	Χαμηλή	S500s	150/240	150/150
M15	0.15	Μεσαία	S500s	150/240	150/150
H15	0.15	Μεγάλη	S500s	150/240	150/150
M30S400	0.30	Μεσαία	S400	150/240	150/200
H30S400	0.30	Μεγάλη	S400	150/240	150/200
M15S400	0.15	Μεσαία	S400	150/240	150/150

2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών

Τυπικά διαγράμματα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων για διάφορες ράβδους οπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή των δοκιμών φαίνονται στο Σχήμα 2. Για το διαμήκη οπλισμό στις δοκούς και τα υποστυλώματα χρησιμοποιήθηκε χάλυβας ποιότητας S500s ή S400 και διαμέτροι 6mm, 10mm και 12mm ενώ ως οπλισμός διάτμησης (συνδετήρες) χρησιμοποιήθηκε St-IV και ράβδοι με διάμετρο 4mm. Η τάση διαρροής του χάλυβα St-IV ήταν 488MPa. Στις πλάκες χρησιμοποιήθηκε χάλυβας ποιότητας S400, και ράβδοι με διάμετρο 6mm.

Η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ήταν περίπου 50MPa.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 Πειραματική διάταξη

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν πάνω στη σεισμική τράπεζα και στερεώθηκαν πάνω σ' αυτήν με την παγίωση της θεμελιωδοκού τους. Για να αποκρίνονται τα πλαίσια στη διεγερση βάσης μόνο εντός του επιπέδου τους, ένα μεταλλικό χωρικό πλαίσιο χρησιμοποιήθηκε ως πλευρική στήριξη για τον περιορισμό της εκτός επιπέδου κίνησης του πλαισίου. Το μεταλλικό πλαίσιο παγιώθηκε επίσης στο σεισμικό προσομοιωτήρα (Carydis, 1997).

Λόγω του ότι τα δοκίμια κατασκευάστηκαν υπό κλίμακα (0.6:1), πρόσθετες μάζες τοποθετήθηκαν στην οροφή πρώτου και δεύτερου ορόφου έτσι ώστε η στατική ορθή τάση στο δοκίμιο να είναι η ίδια με αυτή της πρότυπης κατασκευής (Tassios, 1993). Αυτές οι πρόσθετες μάζες τοποθετήθηκαν ομοίμορφα σε κάθε όροφο χωρίς να

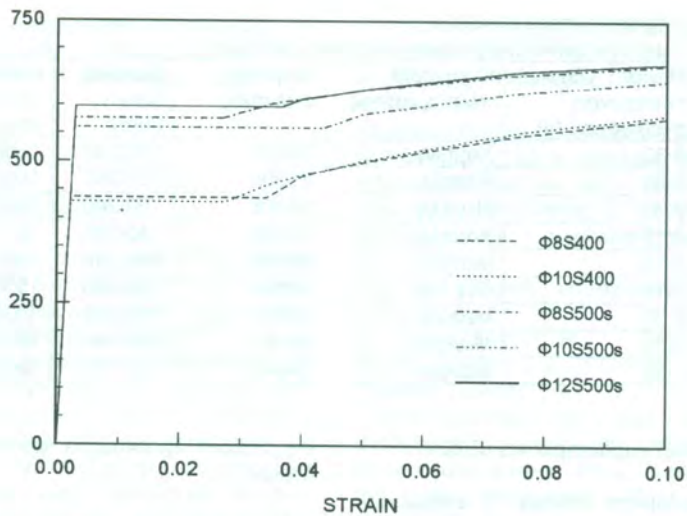
επηρεάζουν την ακαμψία των πλακών και των δοκών.

3.2 Όργανα μέτρησης

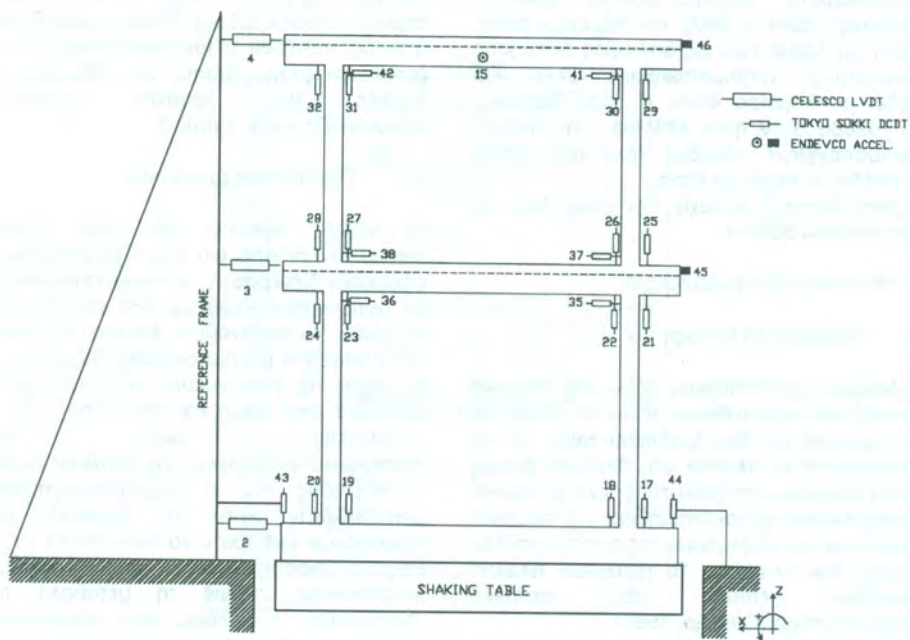
Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μετρήθηκαν οι μετακινήσεις και οι επιταχύνσεις σε κάθε όροφο και οι πλαστικές στροφές στους κόμβους. Επίσης μετρήθηκαν η εκτός επιπέδου μετακίνηση καθώς και οι μετακινήσεις της βάσης του δοκιμίου. Η διάταξη των οργάνων μέτρησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.

3.3 Πειραματική Διαδικασία

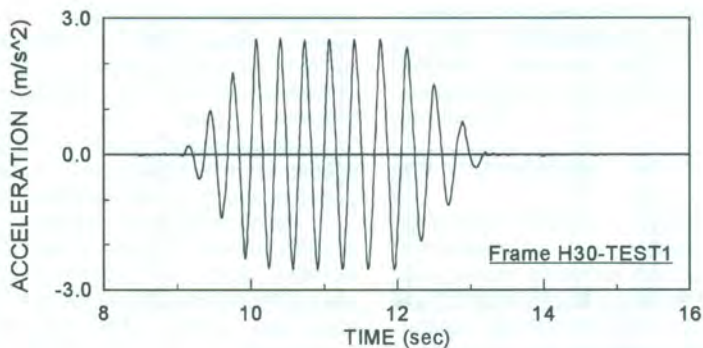
Οι κύριες δοκιμές για κάθε δοκίμιο αποτελούνταν από μια σειρά μονοαξονικών σεισμικών διεγέρσεων, η οποία επιβαλλόταν σε διεύθυνση παράλληλη στο επίπεδο του πλαισίου, με αυξανόμενη ένταση. Η κίνηση στη βάση ήταν μια ημιτονοειδής διεγερση, με το εύρος της επιτάχυνσης να μεταβάλλεται γραμμικά στην αρχή και στο τέλος, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα του επιταχυνσιογραφήματος είχε σταθερό εύρος. Η περίοδος του επιταχυνσιογραφήματος μεταβαλλόταν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων έτσι ώστε να είναι πάντα κοντά στην ιδιοσυχνότητα του δοκιμίου λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή της ιδιοπερίοδου του λόγω των αθροιστικών βλαβών. Τυπικό διάγραμμα της χρονιοστορίας της επιτάχυνσης που επιβλήθηκε στη βάση του δοκιμίου φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 2. Τυπικά διάγραμμα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων για ράβδους οπλισμού
 Figure 2. Typical stress-strain curves of reinforcing bars



Σχήμα 3. Τυπική διάταξη οργάνων
 Figure 3. Typical instrumentation arrangement



Σχήμα 4. Χρονοϊστορία επιτάχυνσης στη βάση του δοκιμίου
Figure 4. Achieved base acceleration time history

Η πρώτη σεισμική διέγερση για κάθε δοκίμιο είχε μέγιστη επιτάχυνση βάσης ίση με την αντίστοιχη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού. Στη συνέχεια η διέγερση διπλασιάστηκε. Αν κρινόταν απαραίτητο, η τελευταία δοκιμή επαναλαμβανόταν, αλλά με τροποποιημένη την περίοδο της διέγερσης. Πριν από κάθε σεισμική δοκιμή για τον υπολογισμό των ιδιομορφών και της απόσβεσης κάθε δοκιμίου γινόταν δοκιμή σάρωσης συχνότητας.

Εκτός από την απόκριση του δοκιμίου που καταγραφόταν μέσω των οργάνων, καταγράφονταν επίσης και οι ρωγμές που παρουσιάζονταν σε κάθε δοκίμιο μετά από κάθε σεισμική δοκιμή.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά

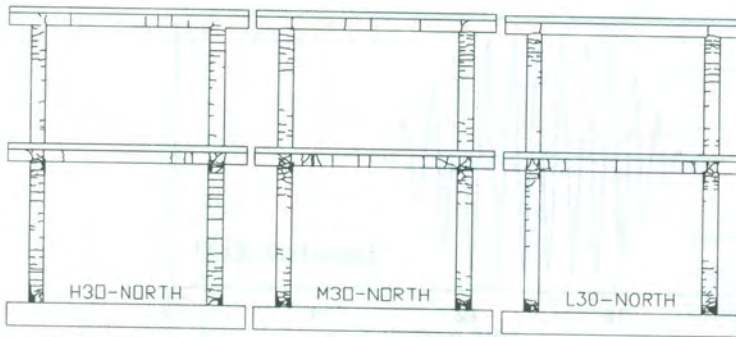
Τα κυριότερα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στην παράγραφο αυτή. Για την καλύτερη ερμηνεία τους κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν περαιτέρω διευκρινίσεις για το ποια είναι η επίδραση της χρήσης διαφορετικών κατηγοριών πλαστιμότητας στο σχεδιασμό των κατασκευών και ποιες είναι οι αναμενόμενες συνέπειες στη σεισμική συμπεριφορά τους.

Η εισαγωγή της κατηγορίας πλαστιμότητας στο σχεδιασμό επηρεάζει δύο παραμέτρους: την αντοχή και την πλαστιμότητα της κατασκευής. Στην περίπτωση που η κατασκευή σχεδιάζεται για μεγάλη κατηγορία πλαστιμότητας, η απαίτηση σε αντοχή είναι μειωμένη σε σχέση με μια κατασκευή

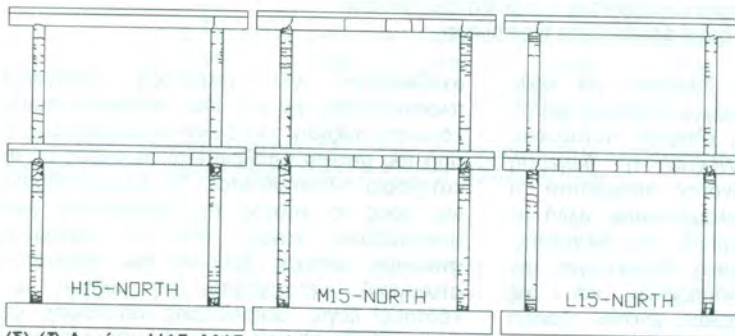
σχεδιασμένη για μικρότερη κατηγορία πλαστιμότητας για την ίδια σεισμική ένταση, λόγω της αύξησης του δείκτη συμπεριφοράς, η τιμή του οποίου υπολογίζεται σε σχέση με τη κατηγορία πλαστιμότητας. Τα πλεονεκτήματα ως προς το κόστος της κατασκευής που απολαμβάνει κανείς από τη μειωμένη απαίτηση αντοχής (μείωση του ποσοστού σπλισμού), μετατρέπεται σε αύξηση του κόστους λόγω μεγαλύτερης απαίτησης σε πλαστιμότητα. Χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η οικονομική πτυχή του θέματος και χωρίς να παραβιάζονται τα κριτήρια λειτουργικότητας που ορίζονται από τον Κανονισμό, μια κατασκευή που είναι σχεδιασμένη για μεγαλύτερη κατηγορία πλαστιμότητας τείνει να συμπεριφερθεί με ένα πιο πλαστικό τρόπο και να παρουσιάσει εκτεταμένες βλάβες, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η συμπεριφορά είναι πιο ψαθυρή και παρουσιάζει περιορισμένη μετελαστική απόκριση.

4.2 Μορφές αστοχίας και ρηγματώσεις

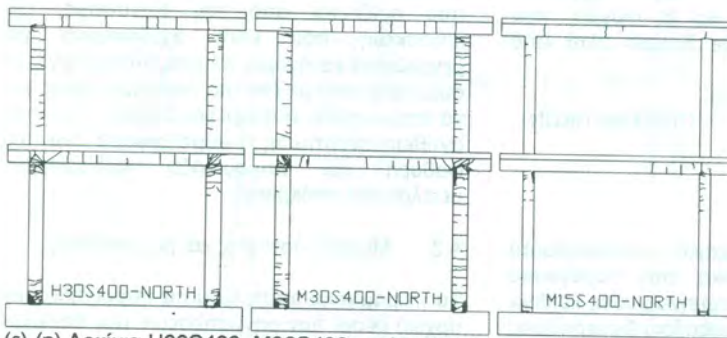
Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται αρχικά μέσω των ρηγματώσεων των δοκιμίων στα Σχήματα 5(α)-(γ). Στα σχήματα αυτά παρουσιάζονται οι τελικές ρηγματώσεις των τριών δοκιμίων τα οποία σχεδιάστηκαν με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.30g και κατηγορία πλαστιμότητας μεγάλη, μεσαία και μικρή αντίστοιχα. Από τα σχήματα αυτά μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι οι ρωγμές ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένες στο ισόγειο και στον πρώτον όροφο πριν από το σχηματισμό του μηχανισμού κατάρρευσης, ο οποίος όπως παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια των πειραμάτων, δημιουργήθηκε στο ισόγειο σε



(α)-(γ) Δοκίμια H30, M30 και L30



(δ)-(ζ) Δοκίμια H15, M15 και L15



(ε)-(η) Δοκίμια H30S400, M30S400 και M15S400

Σχήμα 5. Ρηγματώσεις δοκίμιων
Figure 5. Crack patterns of test frames

όλα τα δοκίμια. Μέχρι το σχηματισμό του μηχανισμού, παρατηρήθηκε αποφλοιώση του

σκυροδέματος και κατεπέκταση λυγισμός ή και ακόμα θραύση του οπλισμού των

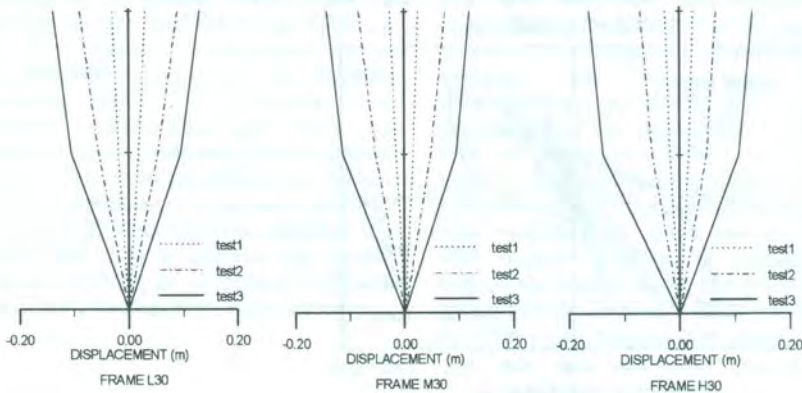
υποστυλωμάτων στη βάση του δοκιμίου. Πέρα από τη φιλοσοφία του σχεδιασμού, οι δοκοί υπέστησαν γενικά μικρότερες βλάβες από ότι τα υποστυλώματα, αν και σχεδιάστηκαν ακολουθώντας την αρχή «Ισχυρά υποστυλώματα – ασθενείς δοκοί» σύμφωνα με τον Κανονισμό. Στο φαινόμενο αυτό μεταξύ των άλλων συνέβαλε και η συμμετοχή των πλακών στην ροπή αντίσταση των δοκών.

Συγκρινόμενα τα δοκίμια L30 και H30, οι βλάβες εμφανίστηκαν να είναι λιγότερο εκτεταμένες στο δοκίμιο L30 από το H30 για το ίδιο επίπεδο σεισμικής έντασης. Αυτό ήταν αναμενόμενο σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1. Την ίδια μορφή παρουσιάζουν και τα Σχήματα 5(δ)-(ζ) στα οποία φαίνονται οι ρηγματώσεις των δοκιμίων L15, M15 και H15 (σχεδιασμένα με μέγιστη

εδαφική επιτάχυνση ίση με 0.15g). Αν και τα δοκίμια σχεδιάστηκαν με διαφορετικούς βαθμούς πλαστιμότητας, οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στις βλάβες δεν ήταν γενικά σημαντικές.

4.3 Μετακινήσεις

Οι τυπικές περιβάλλουσες μετακινήσεων όπως καταγράφηκαν στην διάρκεια των σεισμικών διεγέρσεων φαίνονται στο Σχήμα 6. Από το σχήμα αυτό μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια μάλλον ομοιόμορφη κατανομή των σχετικών μετακινήσεων στους δύο ορόφους σε σεισμικές δοκιμές μικρής έντασης, ενώ η εμφάνιση του μηχανισμού κατάρρευσης στο ισόγειο είναι εμφανής στα διαγράμματα αυτά.



Σχήμα 6. Περιβάλλουσες μετακινήσεων
Figure 6. Typical displaced shapes

4.4 Υστερητική συμπεριφορά δοκιμίων

Το διάγραμμα αλληλεπίδρασης τέμνουσας βάσης – μετακίνηση οροφής για τα πλαίσια H30, M30 και L30 όπως καταγράφηκαν σε τρεις διαδοχικές σεισμικές δοκιμές φαίνονται στο Σχήμα 7. Σημειώνεται ότι για την τελική δοκιμή η οποία είχε μέγιστη επιτάχυνση βάσης δύο φορές την επιτάχυνση σχεδιασμού, μόνο οι τρεις πρώτοι κύκλοι παρουσιάζονται στα διαγράμματα.

Από τα διαγράμματα αυτά, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι τα τρία πλαίσια αν και σχεδιάστηκαν για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας, παρουσιάζουν συγκρίσιμη υστερητική συμπεριφορά. Ο ρυθμός μείωσης της ακαμψίας μετά το τέλος κάθε δοκιμής, ήταν ο ίδιος και για τα τρία πλαίσια. Με μια πιο

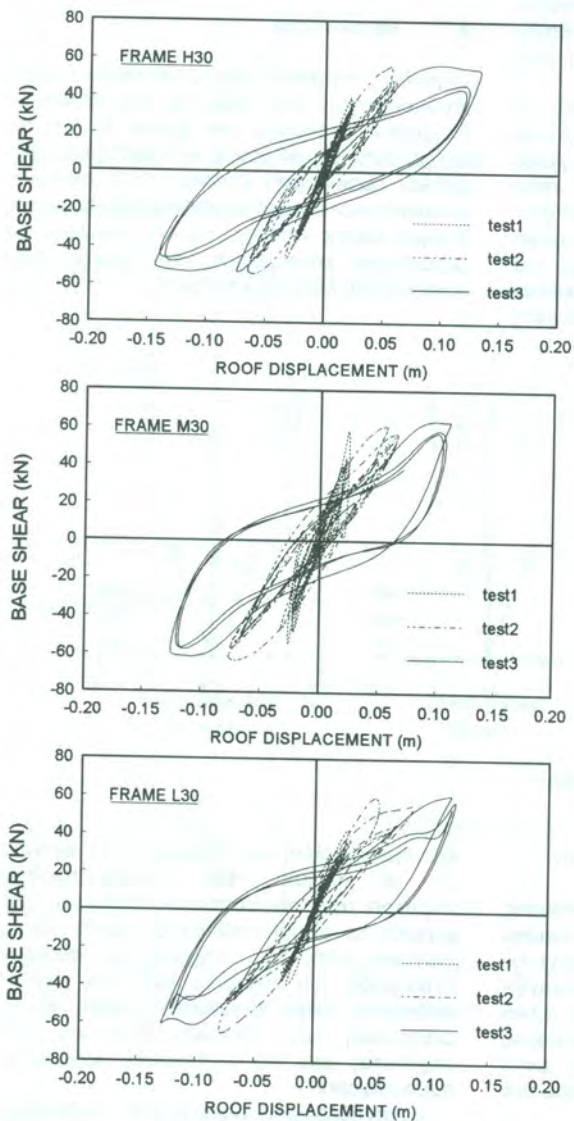
λεπτομερή μελέτη των διαγραμμάτων, φαίνεται ότι το πλαίσιο H30 πλαστικοποιήθηκε νωρίτερα από ότι τα πλαίσια M30 και L30, γεγονός το οποίο ήταν αναμενόμενο. Όπως φαίνεται από τα σχήματα, η συνολική μετακίνηση του πλαισίου H30 στη μέγιστη απόκριση ήταν μεγαλύτερη από ότι η μετακίνηση των πλαισίων M30 και L30, δείχνοντας μια πιο εκτεταμένη μετελαστική συμπεριφορά.

Σε αντίθεση, το δοκίμιο L30 παρουσίασε μεγαλύτερη αντίσταση, ενώ η πλαστιμότητα ως προς τη μέγιστη μετακίνηση του δοκιμίου που υπολογίστηκε κατά την τελευταία σεισμική δοκιμή ήταν ιδιαίτερα μικρότερη από αυτή του δοκιμίου H30. Το δοκίμιο M30 το οποίο αποτελεί την ενδιάμεση κατάσταση,

παρουσίασε συμπεριφορά μεταξύ της συμπεριφοράς των δοκιμών H30 και L30.

Η σύγκριση μεταξύ των πλαισίων L15, M15 και H15 (σχεδιασμένα με μέγιστη εδαφική

επιτάχυνση ίση με 0.15g), όσο αφορά την πλαστιμότητα ήταν παρόμοια με αυτή των δοκιμών L30, M30 και H30.



Σχήμα 7.
Figure 7.

Βρόχοι υστέρησης για τα πλαίσια M30, M30 και L30
Measured hysteretic relations for frames L30, M30 and L30

4.5 Επιρροή της ποιότητας χάλυβα στη υστερητική συμπεριφορά.

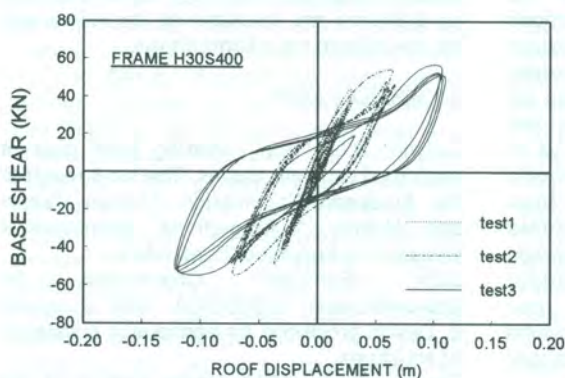
Η συνολική υστερητική συμπεριφορά των δοκιμών επηρεάζεται από τη διαρροή των κρίσιμων κόμβων δοκών- υποστυλωμάτων. Στη συνέχεια, η μεταλαστική συμπεριφορά των κόμβων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από το ποσοστό και τα χαρακτηριστικά του κύριου σπλισμού. Στο θέμα αυτό, η χρήση σπλισμού S400 οδηγεί σε βελτιωμένη ανελαστική και υστερητική συμπεριφορά. Στο Σχήμα 8 φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης τέμνουσας βάσης-μετακίνηση οροφής για το δοκίμιο H30S400, το οποίο σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας χάλυβα S400 σε αντίθεση με το δοκίμιο H30 της παραγράφου 4.4 που χρησιμοποιήθηκε σπλισμός S500s.

Συγκρίνοντας το δοκίμιο H30S400 με το αντίστοιχο H30 που σχεδιάστηκε με S500 και φαίνεται στο Σχήμα 7, παρατηρείται ότι το δοκίμιο H30S400 παρουσίασε πιο σταθερή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια των ανελαστικών παραμορφώσεων, ενώ το ποσοστό υστερητικής ενέργειας ήταν αυξημένο σε σχέση με αυτό που μετρήθηκε στο δοκίμιο H30 της προηγούμενης παραγράφου. Επίσης, στο δοκίμιο H30 παρατηρήθηκε θραύση του σπλισμού S500 κατά τη διάρκεια της τελικής δοκιμής, σε αντίθεση με το δοκίμιο H30S400 στο οποίο δεν παρατηρήθηκε καμία αστοχία.

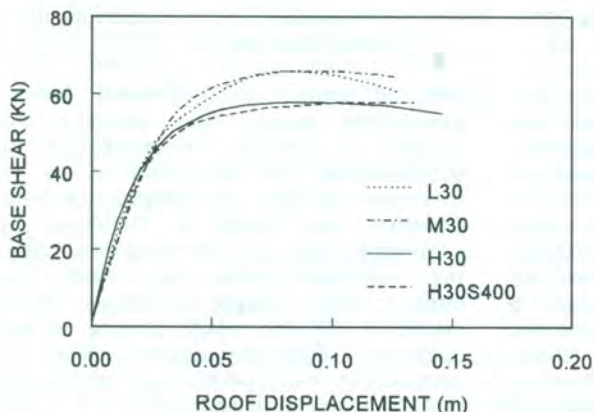
4.6 Υπολογισμός της πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων.

Από τα διαγράμματα τέμνουσα βάσης-μετακίνησης οροφής, που φαίνονται στα Σχήματα 7 και 8, κατασκευάζονται οι περιβάλλουσες των διαγραμμάτων για τα αντίστοιχα πλαίσια. Τα διαγράμματα αυτά φαίνονται στο Σχήμα 9. Ορίζοντας τη μετακίνηση διαρροής με ένα συμβατικό τρόπο, π.χ. στην τομή μεταξύ της ευθείας που διέρχεται από την αρχής των αξόνων και το σημείο με 75% της τελικής αντοχής και της οριζόντιας ευθείας στη μέγιστη απόκριση, η απαιτούμενη πλαστιμότητα για τα πλαίσια H30, M30 και L30 μετρήθηκε 4.3, 3.7 και 3.2 αντίστοιχα, ενώ για το πλαίσιο H30S400 μετρήθηκε 4.7.

Οι πιο πάνω τιμές είναι συμβατές με τις αναμενόμενες τιμές από το σχεδιασμό των πλαισίων. Για πλαίσιακές κατασκευές, ο EC8 καθορίζει για τους τρεις βαθμούς πλαστιμότητας του αντίστοιχους συντελεστές πλαστιμότητας ως ακολούθως: 5 για DC-H, 3.75 για DC-M και 2.5 DC-L. Η πραγματική αύξηση της απαιτούμενης πλαστιμότητας του δοκιμίου H30 σε σύγκριση με το δοκίμιο M30 ήταν περίπου 15%, όπως και για το δοκίμιο M30 συγκρινόμενο με το δοκίμιο L30. Η αύξηση της απαιτούμενης πλαστιμότητας με τη χρήση χάλυβα S400 αντί S500 ήταν της τάξης του 10% για τα συγκεκριμένα πλαίσια.



Σχήμα 8. Βρόχος υστέρησης για το πλαίσιο H30S400
Figure 8. Measured hysteretic relations for frame H30S400



Σχήμα 9. Περιβάλλουσες διαγραμμάτων τέμνουσας βάσης- μετατόπιση οροφής
 Figure 9. Typical base shear vs. roof displacement envelopes

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Α. Όλα τα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα που εξετάστηκαν, επέδειξαν μεγαλύτερη αντοχή από την αντίστοιχη απαίτηση αντοχής του σχεδιασμού. Ως συνέπεια αυτού, μπόρεσαν να αποκριθούν στο σεισμό σχεδιασμού χωρίς να υποστούν σημαντικές βλάβες.

Β. Τα πλαίσια που σχεδιάστηκαν για μεγάλη κατηγορία πλαστιμότητας υπέστησαν σχετικά εκτεταμένες βλάβες σε σεισμική διέγερση μεγάλης έντασης λόγω της μικρής αντίστασης που επέδειξαν, ως αποτέλεσμα της ψηλής τιμής του δείκτη συμπεριφοράς στο σχεδιασμό. Αυτό βρίσκεται σε αντίθεση με τα πλαίσια που σχεδιάστηκαν για μικρή κατηγορία πλαστιμότητας. Στην πραγματικότητα, λόγω της σχετικά μεγάλης αντίστασης, στα πλαίσια τα οποία σχεδιάστηκαν για μικρή κατηγορία πλαστιμότητας προκλήθηκαν μικρότερες διαρροές συγκρινόμενα με αυτά που σχεδιάστηκαν για μεγάλη κατηγορία πλαστιμότητας για την ίδια ένταση σεισμικής διέγερσης.

Γ. Μέχρι τη στιγμή εμφάνισης του μηχανισμού κατάρρευσης, τα πλαίσια που σχεδιάστηκαν για μεγαλύτερη κατηγορία πλαστιμότητας έδειξαν πιο σταθερή υστερητική

συμπεριφορά από τα πλαίσια με χαμηλή κατηγορία πλαστιμότητας.

Δ. Όπως ήταν αναμενόμενο, η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους μετακινήσεων είναι μεγαλύτερη σε πλαίσια για μεγάλη κατηγορία πλαστιμότητας σε σχέση με αυτά για μικρή κατηγορία. Για παράδειγμα, η πλαστιμότητα που προέκυψε από τα πειράματα για το πλαίσιο H30 ήταν της τάξης του 4.3 συγκρινόμενη με 3.7 και 3.2 για τα πλαίσια M30 και L30 αντίστοιχα.

Ε. Η χρήση του χάλυβα S400 αντί του χάλυβα ποιότητας S500 είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς και την αύξηση της πλαστιμότητας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Carydis, P.G. (1997) Shaking table tests of reinforced concrete frames. The No 8 report to the European Commission "Human Capital and Mobility " Programme: Prenormative Research in Support of Eurocode 8.
- CEN (European Commission for Standardization) TC250/SC8, 1994. Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures.
- Tassios, T., P. (1993) Model analysis of RC structures subjected to seismic or cyclic loading, In F. A. Noor (ed.) Small Scale Modelling of Concrete Structures. Elsevier Applied Science Publishers.