

**Πειραματική διερεύνηση τρόπων επέμβασης για την
αντιμετώπιση του προβλήματος της πιλοτής σε
υφιστάμενα κτίρια**
Experimental evaluation of the effectiveness of rehabilitation
measures for existing buildings with pilotis

Παναγιώτης ΚΑΡΥΔΗΣ¹, Χάρης ΜΟΥΖΑΚΗΣ², Λουσία ΚΑΡΑΠΙΤΤΑ³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Οκτώ διώροφα επίπεδα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάστηκαν σε φυσική κλίμακα για τη διερεύνηση των επεμβάσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος των κτιρίων με πιλοτή τα οποία μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του '59. Τρία δοκίμια αποτέλεσαν τα δοκίμια αναφοράς: πλαίσιο, πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις και πλαίσιο πιλοτή. Στα υπόλοιπα πέντε δοκίμια εφαρμόστηκαν στο ισόγειο οι ακόλουθες επεμβάσεις: κατασκευή περιορισμένης έκτασης πρόσθετης τοιχοπλήρωσης από συμπαγή τούβλα, κατασκευή μανδυνών στα υποστυλώματα ισογείου, κατασκευή πολυμελούς τοιχώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα στο ισόγειο, κατασκευή μεταλλικού πλαισίου στο ισόγειο και κατασκευή μεταλλικού πλαισίου μορφής Λ μετά ελαστομερούς εφεδράνου. Οι δοκιμές έγιναν με τη χρήση του σεισμικού προσομοιωτήρα του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας. Τα δοκίμια υπέστησαν διαδοχικές κλιμακωτές σεισμικές διεγέρσεις μέχρι την 'αστοχία' τους χρησιμοποιώντας την E-W συνιστώσα του Σεισμού Γρίβα. Τα αποτελέσματα των δυναμικών δοκιμών και η αξιολόγηση των επεμβάσεων παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

ABSTRACT : Eight two- storied plane reinforced concrete frames were constructed in real scale for the evaluation of the effectiveness of rehabilitation measures for buildings with pilotis that were designed and constructed according to Greek Seismic Code of 1959. Three of them, bare frame, frame with infilled walls and one frame with piloti, were comprised the reference specimens. While rehabilitation measures were applied on the ground floor of the remaining specimens as follows: masonry wall of limited length, mantles of in situ cast concrete, sliced shear wall, bracing steel frame, steel frame of Λ shape with high damping rubber. The tests were performed using the shaking table facility of Laboratory for Earthquake Engineering. The specimens were excited by the E-W component of Griva Earthquake that was increased step-wise up to their failure. This paper presents the experimental results and the evaluation of rehabilitations measures.

¹ Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., email: pcarydis@central.ntua.gr

² Επίκ. Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., email: harrismo@central.ntua.gr

³ Πολιτικός Μηχανικός, ΙΔΑΧ, Ε.Μ.Π., email: klucia@central.ntua.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαμόρφωση του ισογείου πολυώροφων κτιρίων σε ελεύθερο χώρο (πilotή) είναι πολύ διαδεδομένη στη Χώρα μας. Ο Γ.Ο.Κ. παρέχει δυνατότητες και διευκολύνσεις για την εφαρμογή τέτοιων λύσεων από το 1973. Στις περιπτώσεις των κτιρίων με pilotή μπορούν να καταταγούν και άλλα κτίρια τα οποία δεν έχουν ελεύθερο ισόγειο, έχουν όμως πολύ μειωμένες τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο, σε σχέση με τους ορόφους, όπως π.χ. συμβαίνει στα καταστήματα, σε χώρους γραφείων στο ισόγειο με εύκαμπτα χωρίσματα ή μεγάλα χωρίσματα που δεν φθάνουν μέχρι την οροφή ισογείου κ.α. Pilotή μπορεί ακόμη να δημιουργηθεί και με τη διαμόρφωση εύκαμπτου (μαλακού) ισογείου σε σχέση με τους άλλους ορόφους χωρίς την ύπαρξη τοιχοπληρώσεων (π.χ. κτίριο γραφείων με ελαφρά κινητά χωρίσματα και μεγάλο ύψος ισογείου σε σχέση με τους υπόλοιπους ορόφους).

Η συμπεριφορά αυτού του είδους των κατασκευών κατά τους σεισμούς είναι γενικώς προβληματική. Μεγάλες, συχνά ανελαστικές, οριζόντιες μετακινήσεις παρατηρούνται στο ισόγειο, που οδηγούν σε σημαντικές ζημιές. Η παρουσία ισχυρών δοκών στην οροφή του ισογείου προκαλεί βαρύτατες ζημιές στην pilotή. Με ασθενέστερες δοκούς οροφής ισογείου οι ζημιές επεκτείνονται και στον δεύτερο όροφο, μειώνοντας την ένταση των ζημιών στο ισόγειο.

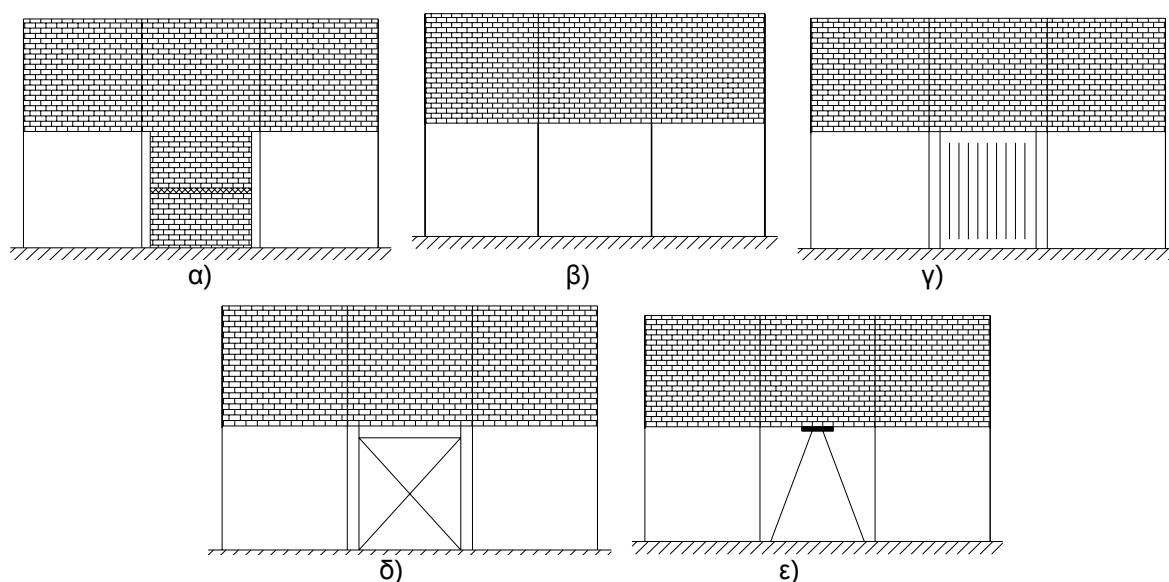
Συνηθισμένες είναι οι ζημιές σε πολυώροφα κτίρια με pilotή κατά τους σεισμούς της Θεσσαλονίκης (1978), Ηγουμενίτσας (1979), Αλμυρού (1980), Αλκυονίδων (1981), Καλαμάτας (1986), Πύργου (1993), Αιγίου (1995) και Αθηνών (1999). Σε αρκετές περιπτώσεις κτίρια κατοικιών με διαχωριστικούς τοίχους πλινθοδομές σε όλο το ύψος τους παρουσίασαν πολύ μειωμένες ζημιές στο επίπεδο των απλών ρηγματώσεων, ενώ γειτονικά κτίρια με pilotή παρουσίασαν βαριές βλάβες. Μάλιστα διώροφα και τριώροφα κτίρια με pilotή κατέρρευσαν ή παρουσίασαν μεγάλες ζημιές εκτός δυνατότητας επισκευής. Επίσης υπήρξαν αρκετές περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκαν μερικές καταρρεύσεις κτιρίων, τα τμήματα που δεν κατέρρευσαν είχαν τοιχοποιίες στο ισόγειο.

Τα κτίρια με pilotή τα οποία έχουν μελετηθεί με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε σεισμικές καταπονήσεις. Ο κανονισμός αυτός στηριζόταν στη δομική τεχνολογία και τις κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους της εποχής της δεκαετίας του 1950. Την εποχή εκείνη τα κτίρια με pilotή και καταστήματα στο ισόγειο ήταν σύνθητες, ενώ οι επιπτώσεις του σεισμού σε αυτά ήταν άγνωστες.

Τα προβλήματα αυτά διαπιστώθηκαν και με την εφαρμογή των πρόσθετων άρθρων στον κανονισμό του 1984 (Αντισεισμικός Κανονισμός, Κείμενο, Τροποποιήσεις, Σχόλια, 1986) το φαινόμενο λήφθηκε υπόψη κατά τη μελέτη των κτιρίων. Το πρόβλημα όμως παραμένει στα ήδη υπάρχοντα κτίρια που έχουν μελετηθεί με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η επέμβαση για τη δραστική μείωση των βλαβών που παρουσιάζονται στα κτίρια αυτά από ισχυρούς σεισμούς.

Οι τρόποι επέμβασης μπορεί να αποσκοπούν:

- Στη διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των κτιρίων με πιλοτή με την κατασκευή περιορισμένης έκτασης πρόσθετων τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο διατμητικής συμπεριφοράς όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1α.
- Στην αύξηση της αντοχής έναντι κάμψης και διάτμησης των από οπλισμένο σκυρόδεμα μελών του ισογείου και του 1ου ορόφου (σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές επισκευών) όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1β.
- Στην αύξηση της ακαμψίας του ισογείου με την προσθήκη νέων στοιχείων (κυρίως τοιχωμάτων) από οπλισμένο σκυρόδεμα ή πλαισίων από χάλυβα, όπως φαίνεται στα Σχήματα 1γ και 1δ αντίστοιχα. Τα τοιχώματα αυτά μπορεί να είναι «πολυμελή» συνδεδεμένα με βλήτρα με τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου. Τα πολυμελή τοιχώματα διαιρούνται στην ουσία σε αμφίπακτα υποστύλωματα με αποτέλεσμα την αμφίπακτη λειτουργία τους και κατά συνέπεια την μηδενική στροφή στην κεφαλή και τον πόδα, που επιβάλλεται στην κατασκευή. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή συνεργασία μεταξύ του προστιθέμενου τοιχώματος και του υπάρχοντος φέροντα οργανισμού του κτιρίου.
- Στην αύξηση της απόσβεσης του κτιρίου ώστε να μειωθεί η απόκρισή του με αποτέλεσμα οι αναπτυσσόμενες εντάσεις στο κτίριο να μπορούν να παραληφθούν με ασφάλεια από τα υπάρχοντα στοιχεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1δ και 1ε. Στην περίπτωση του Σχήματος 1δ πέραν της αύξησης της δυσκαμψίας, με την πλαστικοποίηση των κοντών μεταλλικών προβόλων επιδιώκεται και η αύξηση της απόσβεσης.



Σχήμα 1. Τρόποι επέμβασης σε κτίρια με πιλοτή: α): προσθήκη διατμητικού τοιχώματος από τούβλα υψηλής αντοχής, β): κατασκευή μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα, γ): προσθήκη πολυμελών τοιχώματα, δ): προσθήκη πλαισίου από χάλυβα, ε): προσθήκη αποσβεστήρων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών δοκιμών και η αξιολόγηση των επιλεγμένων επεμβάσεων σε οκτώ διώροφα πλαίσια κατασκευασμένα

σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του '59. Οι πειραματικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Ε.Μ.Π. με χρήση του σεισμικού προσομοιωτήρα του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας.

Επισημαίνεται ότι σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η διερεύνηση των επεμβάσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος των κτιρίων με πιλοτή τα οποία κατασκευάστηκαν με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του '59 και όχι η συνολική ενίσχυση των κτιρίων της εποχής εκείνης (με ή χωρίς πιλοτή) για την αντιμετώπιση σεισμικών δράσεων όπως αυτές ορίζονται από τους σύγχρονους κανονισμούς [ΕΑΚ,1999].

ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ-«ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ»

Πρότυπο κτίριο

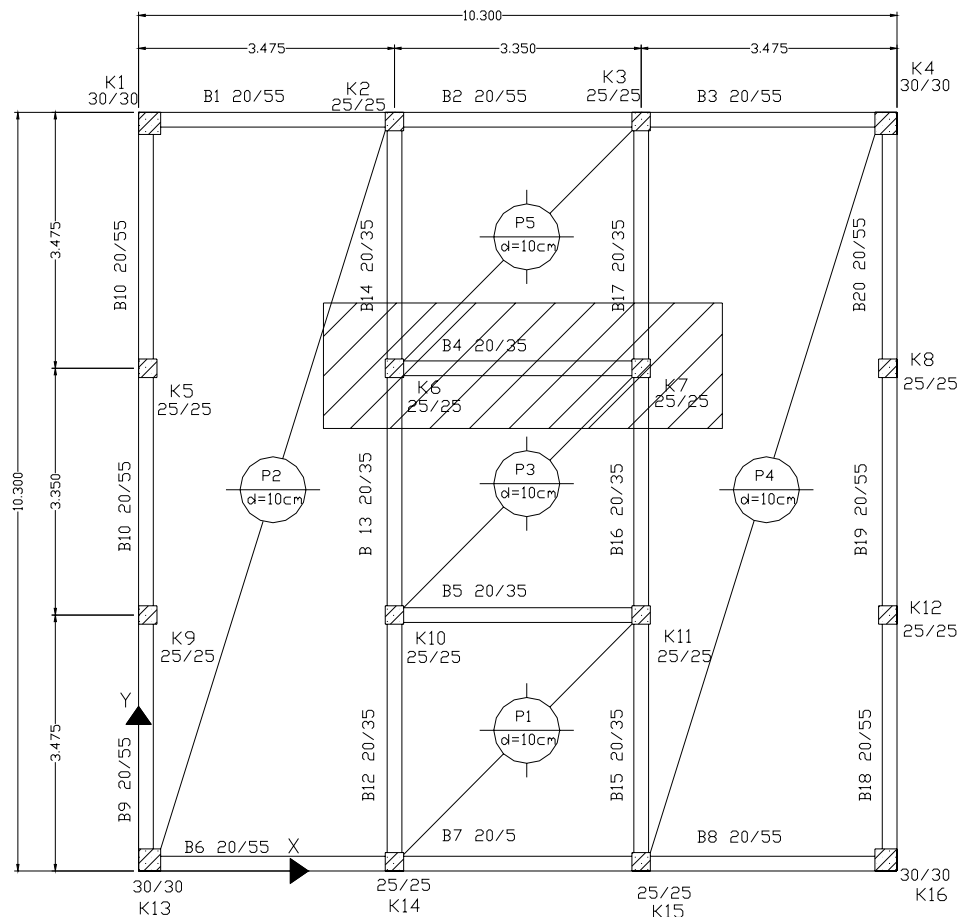
Η παρούσα έρευνα δεν θα είχε σημαντική αξία αν δεν συσχετιζόταν με κάποιο συμβατό τρόπο με μια πραγματοποιήσιμη κατασκευή της τότε εποχής. Η επιλογή των διαστάσεων της «πραγματικής» κατασκευής γίνεται έτσι ώστε να υπάρχει μια όσο το δυνατόν πιο πλήρης αντιστοιχία με το πειραματικό δοκίμιο.

Το πρότυπο κτίριο που επιλέγεται είναι διώροφο με διαστάσεις κάτοψης $10.30 \times 10.30 \text{m}^2$ και ύψος ισογείου και α' ορόφου 3.00m. Η κάτοψη του «πρότυπου» κτιρίου φαίνεται στο Σχήμα 2. Οι ξυλότυποι των δύο ορόφων (οροφή ισογείου και οροφή α' ορόφου) είναι πανομοιότυποι. Το προς έλεγχο δοκίμιο «αποκόπτεται» από ένα εσωτερικό τμήμα του ενός πρότυπου κτιρίου όπως φαίνεται με εστιγμένη γραμμή στον ξυλότυπο του Σχήματος 2, μεταξύ των υποστυλωμάτων K6 και K7. Τα υποστυλώματα του «πλαίσιου» - δοκιμίου είναι τετραγωνικής διατομής διαστάσεων $25 \times 25 \text{cm}^2$, τα δοκάρια πλακοδοκοί με πάχος κορμού $b_w = 20 \text{ cm}$, ύψος $d = 35 \text{ cm}$ και συνεργαζόμενο πλάτος $b_{\text{eff}} = 140 \text{ cm}$ (σύμφωνα με τον Κανονισμό του '54 [4] $12 \times d + b_w = 140 \text{ cm}$) και το πάχος της πλάκας $d = 10 \text{ cm}$. Το μικτό ύψος ισογείου και α' ορόφου του «πλαίσιου» είναι 3.00m και το καθαρό 2.65m, ενώ το εξωτερικό άνοιγμα του «πλαίσιου» είναι 3.60m (καθαρό άνοιγμα 3.10m). Το συνεργαζόμενο πλάτος με βάση τον Κανονισμό του '54 προκύπτει 80cm (για υπολογισμό υπερστατικών μεγεθών: $6d + b_w = 80 \text{ cm}$). Το πλάτος αυτό θεωρήθηκε πολύ μικρό για να μπορέσουν να εδραστούν πρόσθετες μάζες. Για το λόγο αυτό υιοθετήθηκε πλάτος 1.40m για την κατασκευή των δοκιμών.

Για να υπάρχει αντιστοιχία του εξεταζόμενου δοκιμίου με το πρότυπο κτίριο, (συνολικό αξονικό φορτίο υποστυλώματος, ιδιοπερίοδος κατασκευής), το δοκίμιο φορτίστηκε με πρόσθετες μάζες 4Mgr ανά όροφο και με πρόσθετο αξονικό θλιπτικό φορτίο 90kN σε κάθε υποστύλωμα. Το αξονικό φορτίο επιβλήθηκε μέσω προέντασης και δρούσε καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών

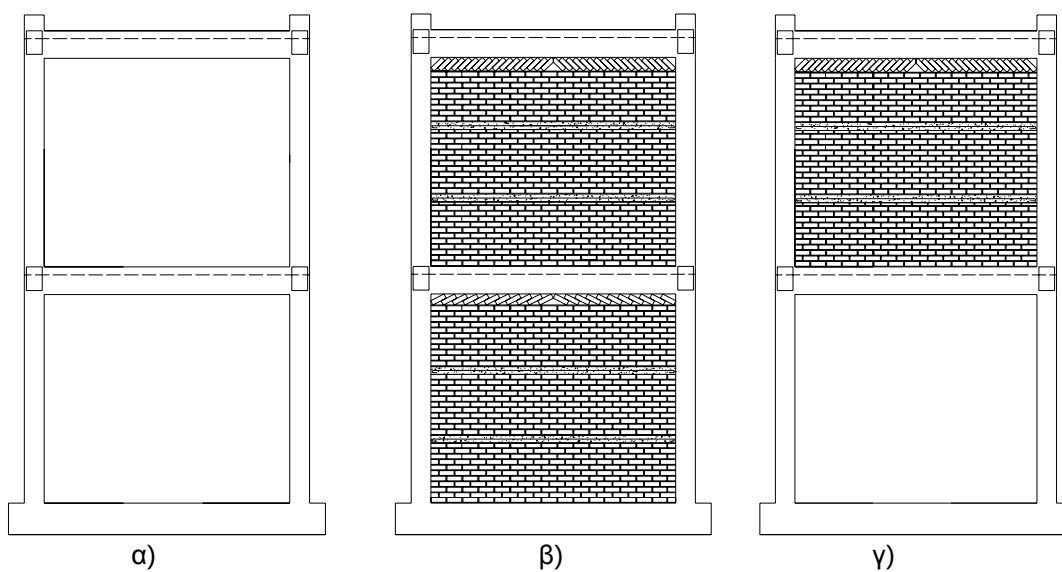
«Πλαίσια»-δοκίμια

Συνολικά κατασκευάστηκαν 8 (οκτώ) διώροφα επίπεδα πλαίσια σε φυσική κλίμακα. Τρία από αυτά αποτέλεσαν τα δοκίμια αναφοράς (γυμνό πλαίσιο, πλαίσιο πιλοτή και πλαίσιο με τοιχοπληρώσεις), ενώ στα υπόλοιπα πέντε δοκίμια εφαρμόστηκαν στο ισόγειο οι προτεινόμενες επεμβάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πιλοτής



Σχήμα 2. Κάτοψη «πρότυπου» κτιρίου.

. Σε όλα τα δοκίμια (πλην του γυμνού πλαισίου), στον α' όροφο κατασκευάστηκε δομική οπτοπλινθοδομή. Τα δοκίμια παρουσιάζονται στα Σχήματα 3 και 4 ενώ στον Πίνακα 1 δίδεται η κωδικοποίηση των δοκιμίων.



Σχήμα 3. Δοκίμια αναφοράς: α): Δ1 – R1 – BFR- .Γυμνό πλαίσιο, β): Δ2 – R2 – BWAB - Τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο και στον α' όροφο, γ): Δ3 – R3 – BWB - Πιλοτή

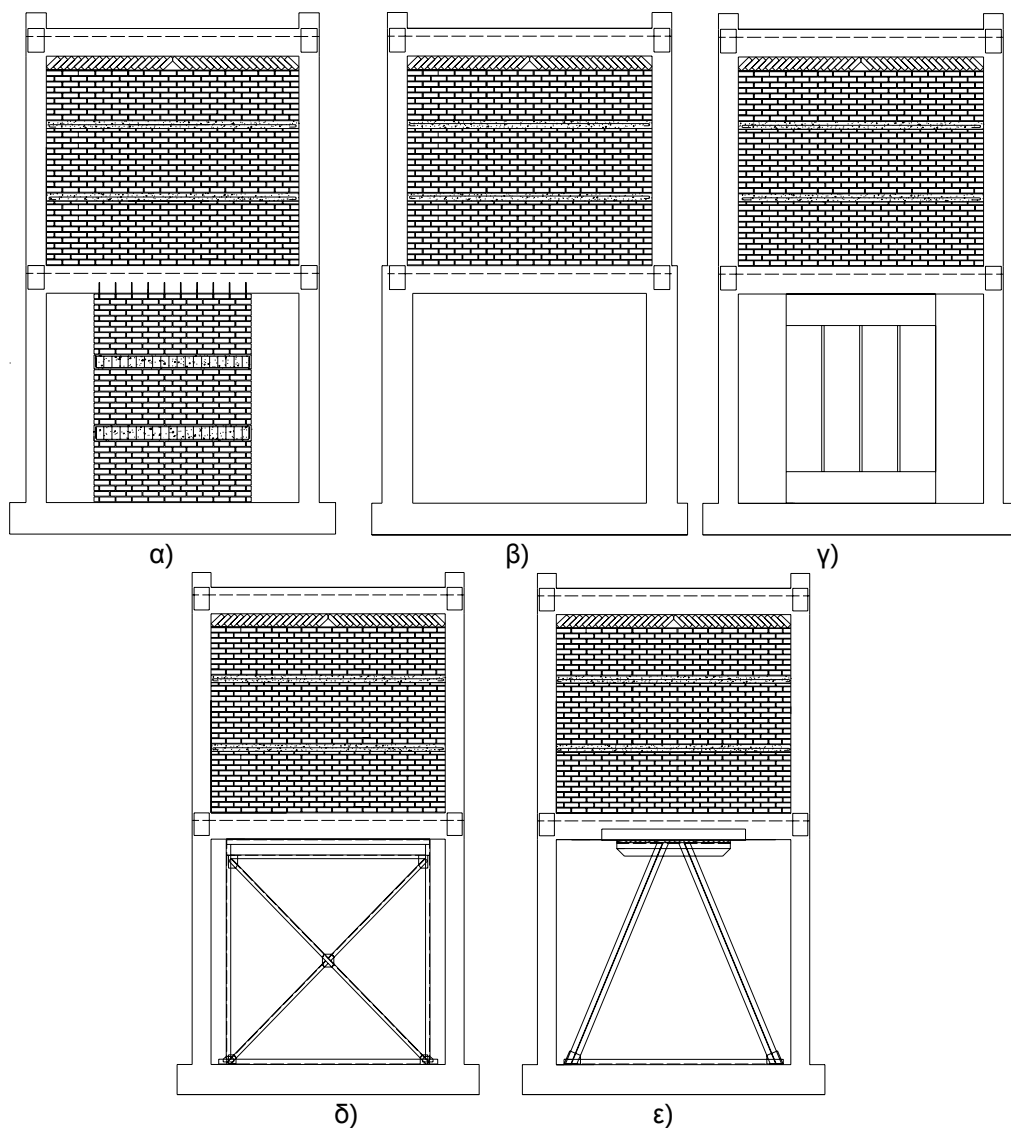
Πίνακας 1. Κωδικοποίηση δοκιμών.

Δοκίμιο	Περιγραφή Επέμβασης
Δ1 – R1 – BFR	Γυμνό πλαίσιο
Δ2 – R2 – BWAB	Οπτοπλινθοδομές στο ισόγειο και στον α' όροφο
Δ3 – R3 – BWB	Οπτοπλινθοδομή μόνο στον α' όροφο
Δ4 – T1 – BWA	Οπτοπλινθοδομή από συμπαγή τούβλα στο ισόγειο
Δ5 – T2 – MANA	Μανδύες στο ισόγειο
Δ6 – T3 – MMRCWA	Κατασκευή πολυμελούς τοιχώματος στο ισόγειο
Δ7 – T4 – SFA	Κατασκευή μεταλλικού πλαισίου στο ισόγειο
Δ8 – T5 – ΛSFRA	Κατασκευή μεταλλικού πλαισίου μορφής Λ στο ισόγειο μετά ελαστομερούς εφεδράνου

Διαστασιολόγηση δοκιμών- ο βασικός φέροντας οργανισμός

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται καθ' ύψος τομή του βασικού τυπικού «πλαισίου» όπου φαίνονται οι οπλισμοί υποστυλωμάτων/ δοκών /πλακών όπως προέκυψαν από την επίλυση. Τα δοκίμια διαστασιολογήθηκαν με σκυρόδεμα B160 και χάλυβα St I (Κανονισμός για την μελέτη και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ οπλισμένου σκυροδέματος, Διάταγμα 18-2-1954). Η σκυροδέτηση τους έγινε με σκυρόδεμα ποιότητας C16/20 λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος με την πάροδο του χρόνου. Τα υποστυλώματα έχουν διαμήκη οπλισμό κάμψης 4Φ14 σε όλο το ύψος του «πλαισίου», τα δοκάρια του ισόγειου και του ορόφου έχουν οπλισμό κάμψης 4Φ14, εκ των οποίων τα 2Φ14 τόσο στο ισόγειο όσο και στον όροφο, κάμπτονται διαδοχικά προς τα πάνω δίπλα στις στηρίξεις, ώστε να παραλάβουν τις αρνητικές ροπές και τέμνουσες στις περιοχές αυτές. Οι συνδετήρες τόσο στα υποστυλώματα όσο και στα δοκάρια είναι δίτητοι Φ6/20 (οι ελάχιστοι απαιτούμενοι). Στα δοκάρια οι συνδετήρες τοποθετούνται ανοικτοί, ενώ στα υποστυλώματα είναι κλειστοί με ένα διπλό άγκιστρο 135⁰ στο ένα άκρο προς τον πυρήνα της διατομής. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες της εποχής του Κανονισμού του '59, το μήκος αναμονής του οπλισμού των υποστυλωμάτων είναι περίπου 90cm με ένα άγκιστρο στο άκρο του και στο άκρο του οπλισμού κάμψης των δοκαριών υπάρχει άγκιστρο.

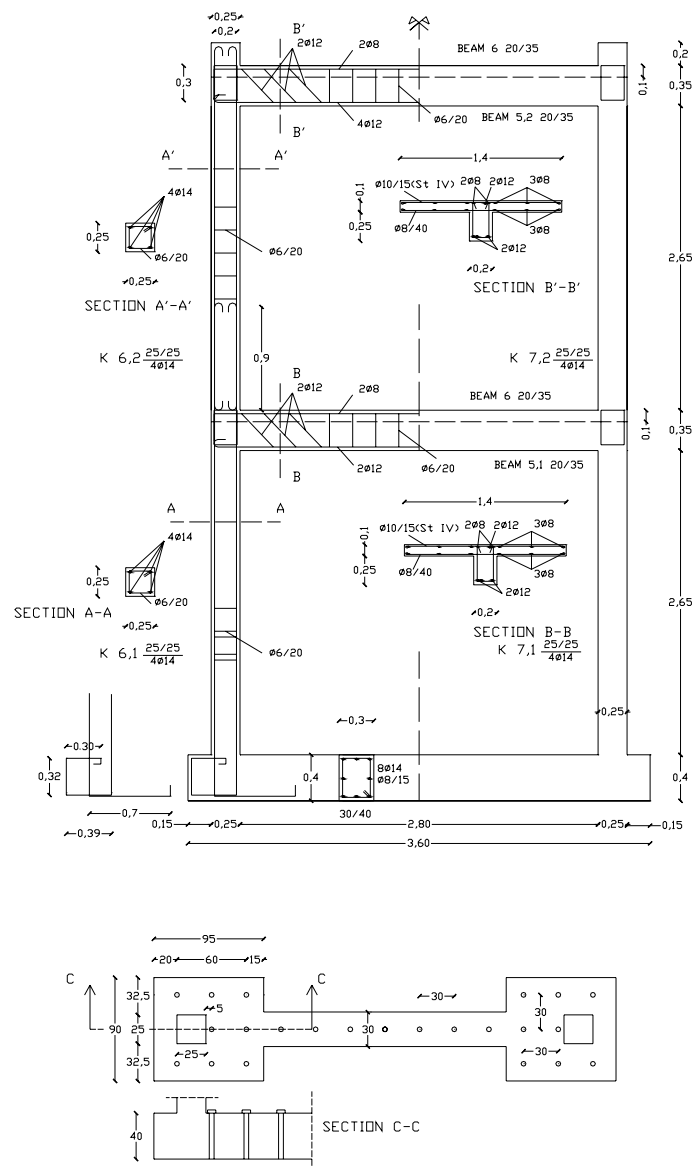
Οι διαχωριστικές οπτοπλινθοδομές (τοιχοπληρώσεις ορόφου) είχαν πάχος μισής πλίνθου (9.0cm) και αποτελούνταν από 6 –οπτό τούβλα διαστάσεων 6x 9x 19 cm³, καλής ποιότητας, τα οποία διατίθενται στο εμπόριο. Οι οπτοπλινθοδομές βρίσκονταν σε πλήρη επαφή με τα υποστυλώματα. Το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν μέτριας ποιότητας με σύνθεση: 175 kg τσιμέντο, 200kg ασβέστης και 1325kg άμμος. Στα τρίτα του ύψους κάθε τοιχοπλήρωσης κατασκευάστηκε σενάζ διαστάσεων 9/10 cm με οπλισμό 2Φ8 ποιότητας St I, χωρίς συνδετήρες το οποίο δεν χαντρώθηκε στα υποστυλώματα. Για την κατασκευή του σενάζ χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα ποιότητας C12/15.



Σχήμα 4. Δοκίμια με επεμβάσεις: α): Δ4 – T1 – BWA - .Οπτοπλινθοδομή από συμπαγή τούβλα στο ισόγειο, β): Δ5 – T2 – MANA – Μανδύες στο ισόγειο, γ): Δ6 – T3 – MMRCWA – Πολυμελές τοίχωμα στο ισόγειο, δ): Δ7 – T4 – SFA- Μεταλλικό πλαίσιο στο ισόγειο, ε): Δ8 – T5 – ΛSFRA- Μεταλλικό πλαίσιο μορφής Λ μετά ελαστομερούς εφεδράνου.

Στην βάση των υποστυλωμάτων του ισόγειου κατασκευάζεται συνδετήριο δοκάρι, ύψους 40cm. Κύριος ρόλος της δοκού αυτής, ήταν να προσδώσει την απαραίτητη δυσκαμψία στην περιοχή σύνδεσης της βάσης των υποστυλωμάτων με το σεισμικό προσομοιωτήρα, ώστε να εξασφαλιστούν συνθήκες πάκτωσης.

Στην Τεχνική Έκθεση, (2005) «Πειραματική Αναλυτική διερεύνηση τρόπων επέμβασης για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πιλοτής σε υφιστάμενα κτίρια», δίνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για τη διαστασιολόγηση του «πρότυπου» κτιρίου σύμφωνα με τον Κανονισμό του '59.



Σχήμα 5. Καθ' ύψος τομή πλαισίου δοκιμίου- Λεπτομέρειες όπλισης.

Διαστασιολόγηση επεμβάσεων

Σύμφωνα με τον ΝΕΑΚ, 1984, στα κτίρια με πιλοτή, η σεισμική δύναμη σχεδιασμού αυξάνεται κατά 50%. Συνεπώς οι επεμβάσεις σχεδιάζονται έτσι ώστε να παραλάβουν την επιπλέον κατά το δυνατόν σεισμική δύναμη και παράλληλα να αυξήσουν την πλαστικότητα της κατασκευής. Όλες οι προτεινόμενες επεμβάσεις σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να παραλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% της τέμνουσας βάσης του «πρότυπου κτιρίου» στο οποίο δεν έχει ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό η ακαμψία του οργανισμού πλήρωσης. Η δύναμη αυτή αντιστοιχεί σε 50 kN. Στη Τεχνική Έκθεση, (2005) «Πειραματική Αναλυτική διερεύνηση τρόπων επέμβασης για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πιλοτής σε υφιστάμενα κτίρια», δίνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για τη διαστασιολόγηση των επεμβάσεων.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ- ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η παγίωση των δοκιμίων στο σεισμικό προσομοιωτήρα έγινε χρησιμοποιώντας τον κατάλληλα διαμορφωμένο μεταλλότυπο της συνδετήριας δοκού, μέσω 7 κοχλιών M30 ποιότητας 8.8. Η ροπή σύσφιξης των κοχλιών ήταν 500Nm. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν κατά τη διεύθυνση Υ του σεισμικού προσομοιωτήρα.

Όπως έχει αναφερθεί, για την αντιστοιχία πρότυπου κτιρίου και δοκιμίου, τοποθετήθηκε στις πλάκες ισογείου και ορόφου πρόσθετη μάζα 4Mgr σε όλα τα δοκίμια. Στον Πίνακα 2 δίνεται η συνολική μάζα κάθε δοκιμίου. Για την ανάπτυξη αντίστοιχης αξονικής δύναμης μεταξύ υποστυλώματος δοκιμίου και υποστυλώματος πρότυπου κτιρίου από κατακόρυφα φορτία, πρόσθετη αξονική δύναμη 90kN επιβλήθηκε μέσω προέντασης σε κάθε υποστύλωμα. Η δύναμη αυτή παρέμενε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Για το σκοπό αυτό, τοποθετήθηκαν δύο κατακόρυφοι σωλήνες ύψους 6.60m και διαμέτρου 40mm, μία ανά υποστύλωμα, μέσα στους οποίους τοποθετήθηκαν οι τένοντες κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Η βάση κάθε δοκιμίου διαμορφώθηκε κατάλληλα για την εξασφάλιση αγκύρωσης του τένοντα. Χρησιμοποιήθηκε τένοντας προέντασης διαμέτρου 30mm, του συστήματος Morandi χωρίς την εφαρμογή ενεμάτων. Η προένταση επιβλήθηκε μέσω υδραυλικών εμβόλων ENERPAC ικανότητας 300kN.

Πίνακας 2. Ίδια Μάζα, Πρόσθετη Μάζα, Συνολική Μάζα δοκιμίων.

Δοκίμιο	Ίδια Μάζα (Mgr)	Πρόσθετη Μάζα (Mgr)		Συνολική Μάζα (Mgr)
		Ισόγειο	Όροφος	
Δ1 – R1 – BFR	7.03	4.00	4.00	15.03
Δ2 – R2 – BWAB	8.63	4.00	4.00	16.63
Δ3 – R3 – BWB	7.73	4.00	4.00	15.73
Δ4 – T1 – BWA	8.68	4.00	4.00	16.68
Δ5 – T2 – MANA	9.20	4.00	4.00	17.20
Δ6 – T3 – MMRCWA	9.24	4.00	4.00	17.24
Δ7 – T4 – SFA	8.12	4.00	4.00	16.12
Δ8 – T5 – ΛSFRA	8.11	4.00	4.00	16.11

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών καταγράφονταν οι επιταχύνσεις και οι απόλυτες μετακινήσεις στη στάθμη ισογείου και ορόφου, οι σχετικές μετακινήσεις δοκών – υποστυλωμάτων στο ισόγειο καθώς επίσης και οι μετακινήσεις σε κρίσιμα σημεία ανάλογα με την μορφή επέμβασης.

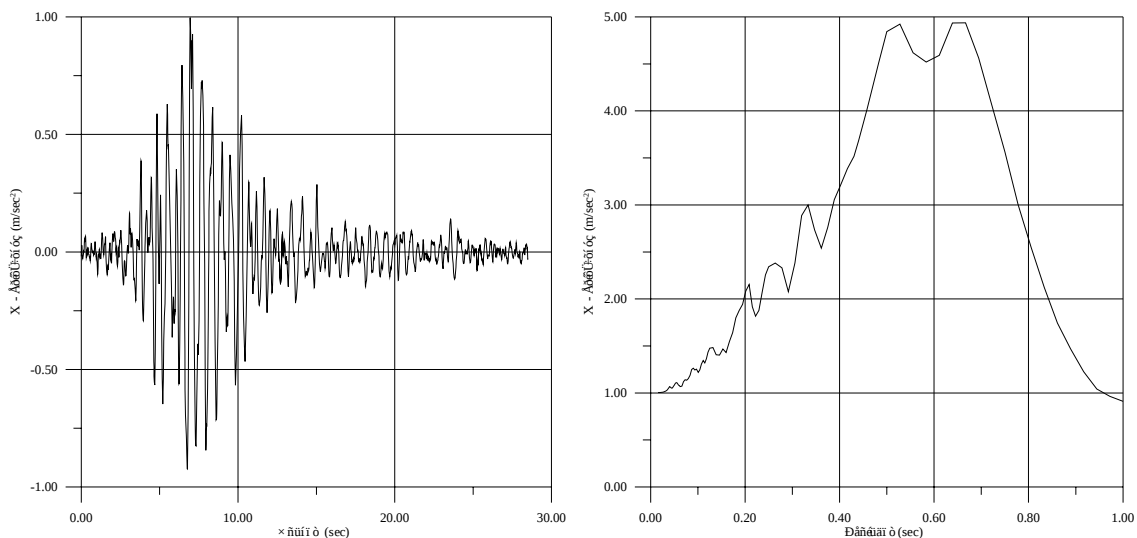
ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ

Ημιτονική διέγερση σάρωσης συχνοτήτων σταθερής επιτάχυνσης

Τα δοκίμια διεγέρθηκαν από μια χρονοϊστορία ημιτονικής μορφής σταθερής επιτάχυνσης 0.05g ή 0.10g με λογαριθμική σάρωση συχνοτήτων από 1-16Hz. Η ταχύτητα σάρωσης ήταν μία οκτάβα το λεπτό. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στη διεύθυνση Υ (εντός επιπέδου). Η δοκιμή αυτή γίνεται για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του δοκιμίου, ιδιοσυχνότητα f και λόγος απόσβεσης ζ .

Σεισμική διέγερση

Το κάθε δοκίμιο διεγέρθηκε από χρονοϊστορία επιτάχυνσης κατά τη διεύθυνση Υ (εντός επιπέδου), η οποία είναι η E-W συνιστώσα του Σεισμού Γρίβα (21/12/1990, M=5.9) ο οποίος καταγράφηκε στην Έδεσσα σε απόσταση 31km από το επίκεντρο. Τα επιταχυνσιογραφήματα καταγράφηκαν σε μαλακό έδαφος, η κίνηση είχε περίπου ημιτονοειδή μορφή, με περίοδο 0.60 sec και μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση 0.10g. Η E-W συνιστώσα του σεισμού καθώς και το αντίστοιχο φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5% παρουσιάζονται στο Σχήμα 6. Η διέγερση ήταν ίδια για όλα τα δοκίμια, ενώ το εύρος της αυξανόταν κλιμακωτά μέχρι την αστοχία του κάθε δοκιμίου.



Σχήμα 6. Χρονοϊστορία επιτάχυνσης E-W συνιστώσας του σεισμού Γρίβα και φάσμα επιταχύνσεων για απόσβεση 5%.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Προσδιορισμός δυναμικών χαρακτηριστικών δοκιμών

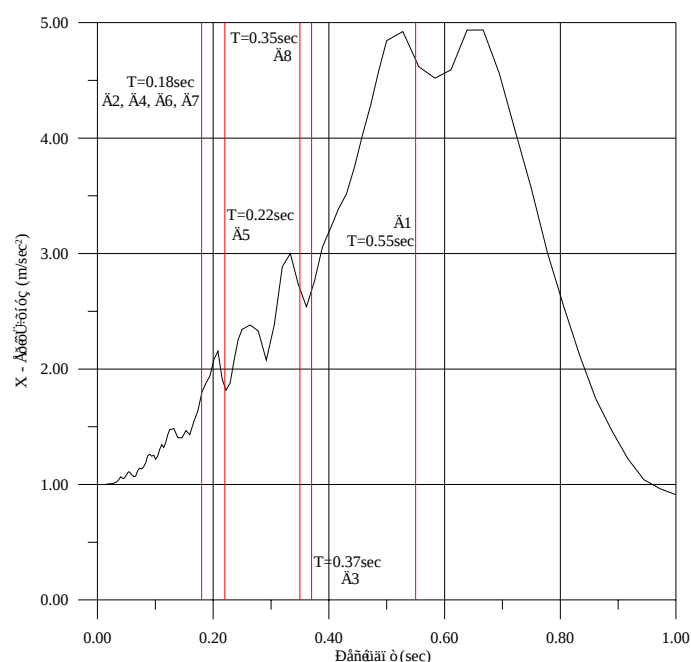
Τα δυναμικά χαρακτηριστικά των δοκιμών προσδιορίζονται από τις δοκιμές σταθερής επιτάχυνσης λογαριθμικής σάρωσης συχνοτήτων. Ο λόγος απόσβεσης ζ προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της λωρίδας ημιοχύος (Clough and Penzien, 1975). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά της δεσπόζουσας ιδιομορφής κατά την εντός επιπέδου διεύθυνση των δοκιμών. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η θέση κάθε δοκιμίου ως προς την ιδιοπερίοδο του στο φάσμα επιτάχυνσης της διέγερσης.

Καταγραφή ρωγμών

Στο Δοκίμιο Δ1-R1-BFR παρατηρήθηκε αστοχία όλων των κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων, θραύση του σκυροδέματος επικάλυψης και αποκάλυψη κατακόρυφου οπλισμού (Σχήμα 8).

Πίνακας 3. Δυναμικά χαρακτηριστικά δεσπόζουσας ιδιομορφής.

Δοκίμιο	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Απόσβεση (%)
Δ1 – R1 – BFR	1.82, 6.60	4.10, 1.70
Δ2 – R2 – BWAB	5.65	4.90
Δ3 – R3 – BWB	2.66	4.80
Δ4 – T1 – BWA	5.65	5.40
Δ5 – T2 – MANA	4.48	4.70
Δ6 – T3 – MMRCWA	5.65	4.50
Δ7 – T4 – SFA	5.65	5.00
Δ8 – T5 – ΛSFRA	2.80	9.00

**Σχήμα 7.** Ιδιοπερίοδος δοκιμών στο φάσμα απόκρισης της διέγερσης.

Στο Δοκίμιο Δ2-R2-BWBA παρατηρήθηκε λυγισμός στην κεφαλή των υποστυλωμάτων ισογείου, δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων στο ισόγειο λόγω σενάζ, αστοχία στον πόδα των υποστυλωμάτων λόγω διάτμησης και αστοχία στον πόδα και την κεφαλή των υποστυλωμάτων λόγω κάμψης. Επίσης παρατηρήθηκαν ρωγμές στην τοιχοπλήρωση ισογείου, θραύση λιθοσωμάτων και αποκόλληση της τοιχοπλήρωσης από το περιμετρικό πλαίσιο (Σχήμα 9).



Σχήμα 8. Δοκίμιο Δ1-R1-BFR: Αστοχία κόμβων δοκών - υποστυλωμάτων.



Σχήμα 9. Δοκίμιο Δ2-R2-BWBA: Αστοχία δοκιμίου μετά το πέρας των δοκιμών.

Στο Δοκίμιο Δ3-R3-BWB παρατηρήθηκε αστοχία των κόμβων ισογείου, διαρροή ή ολίσθηση του οριζόντιου οπλισμού δοκών και λυγισμός του κατακόρυφου οπλισμού υποστυλωμάτων. Αστοχία παρατηρήθηκε επίσης στον πόδα των υποστυλωμάτων λόγω κάμψης καθώς και λυγισμός του κατακόρυφου οπλισμού των υποστυλωμάτων στη βάση (Σχήμα 10).

Στο Δοκίμιο Δ4-T1-BWA παρατηρήθηκαν οριζόντια ρωγμή στην κεφαλή και στη βάση του τοίχου, αστοχία λιθοσωμάτων από θλίψη στη βάση του τοίχου, αποκόλληση της τοιχοπλήρωσης ορόφου, δημιουργία διαγώνιων και κατακόρυφων ρωγμών (Σχήμα 11).

Στο Δοκίμιο Δ5-T2-MANA παρατηρήθηκε αστοχία στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων στο ισόγειο, αστοχία στον πόδα των υποστυλωμάτων ισογείου λόγω κάμψης, διαρροή ή ολίσθηση του κάτω οπλισμού της δοκού ισογείου και κατακόρυφη ολίσθηση της τοιχοπλήρωσης του ορόφου ως προς τα υποστυλώματα (Σχήμα 12).



Σχήμα 10. Δοκίμιο Δ3-R3-BWB: Αστοχία δοκιμίου μετά το πέρας των δοκιμών.



Σχήμα 11. Δοκίμιο Δ4-T1-BWA: Οριζόντια ρωγμή στη βάση και στην κεφαλή της τοιχοπλήρωσης.

Στο Δοκίμιο Δ6-T3-MMRCWA παρατηρήθηκαν οριζόντια ρωγμή στη βάση του τοιχώματος και μερική αποκόλληση της τοιχοπλήρωσης ορόφου και αστοχία λιθοσωμάτων (Σχήμα 13).

Στο Δοκίμιο Δ7-T4-SFA παρατηρήθηκε αστοχία από θλίψη λόγω προέντασης, στους κόμβους ορόφου.

Στο Δοκίμιο Δ8-T5-ΛSFRA παρατηρήθηκε αστοχία των κόμβων ισογείου, διαρροή ή ολίσθηση του οριζόντιου οπλισμού δοκών και λυγισμός του κατακόρυφου οπλισμού υποστυλωμάτων. Αστοχία παρατηρήθηκε επίσης στον πόδα των υποστυλωμάτων λόγω κάμψης καθώς και λυγισμός του κατακόρυφου οπλισμού των υποστυλωμάτων στη βάση (Σχήμα 14).



Σχήμα 12. Δοκίμιο Δ5-T2-MANA: Αστοχία σε κόμβο δοκού- υποστυλώματος και πόδα υποστυλώματος ισογείου.



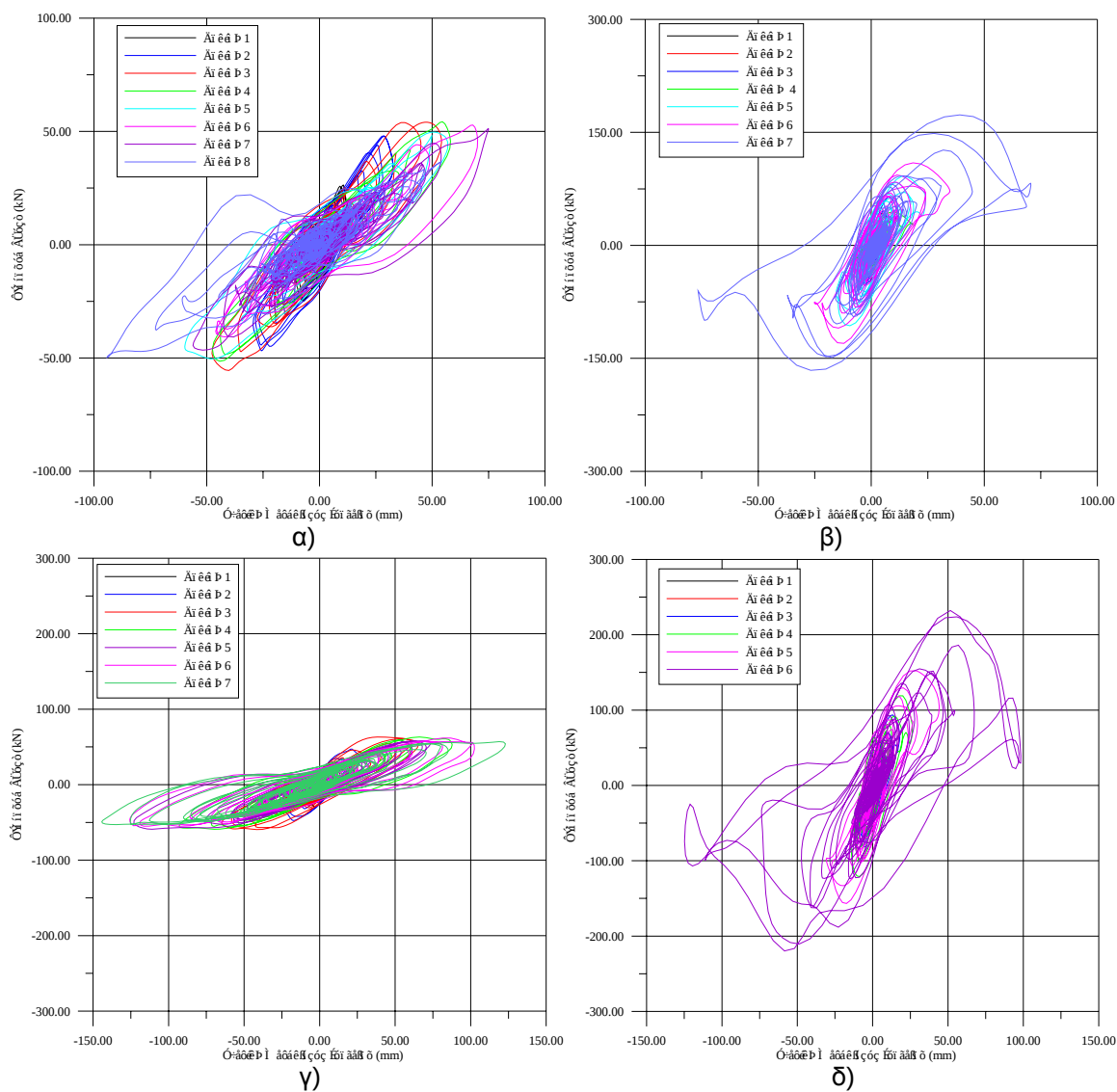
Σχήμα 13. Δοκίμιο Δ6- T3- MMRCWA: Αστοχία τοιχοπλήρωσης ορόφου, οριζόντια ρωγμή στη βάση του τοιχείου

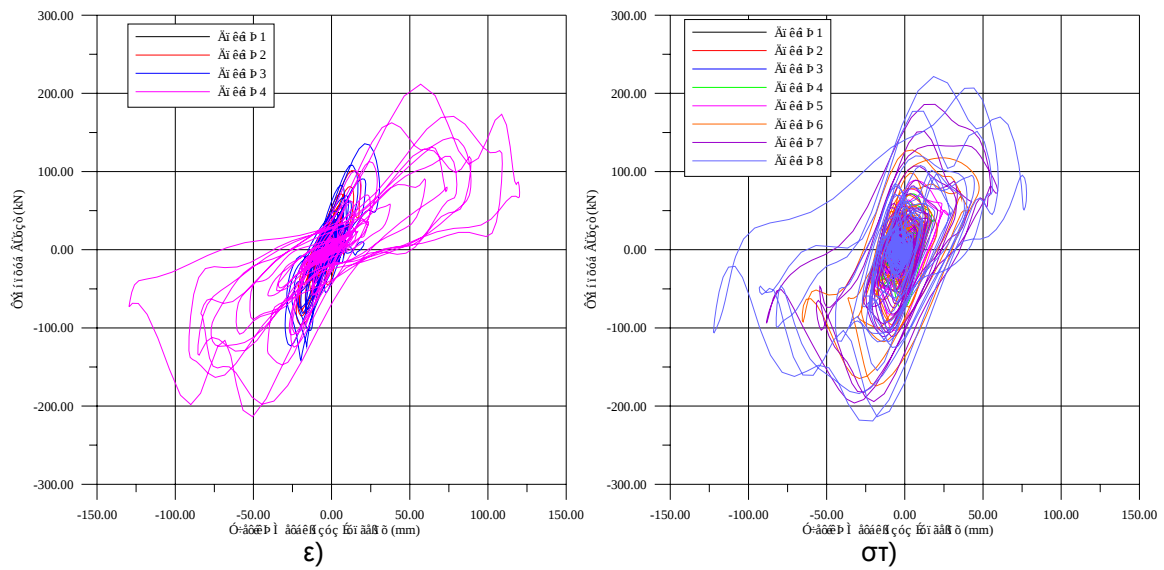


Σχήμα 14. Δοκίμιο Δ8- T5- ΛSFRA: Αστοχία στους κόμβους δοκών- υποστυλωμάτων, λυγισμός ε κατακόρυφο οπλισμό στον πόδα υποστυλώματος ισογείου.

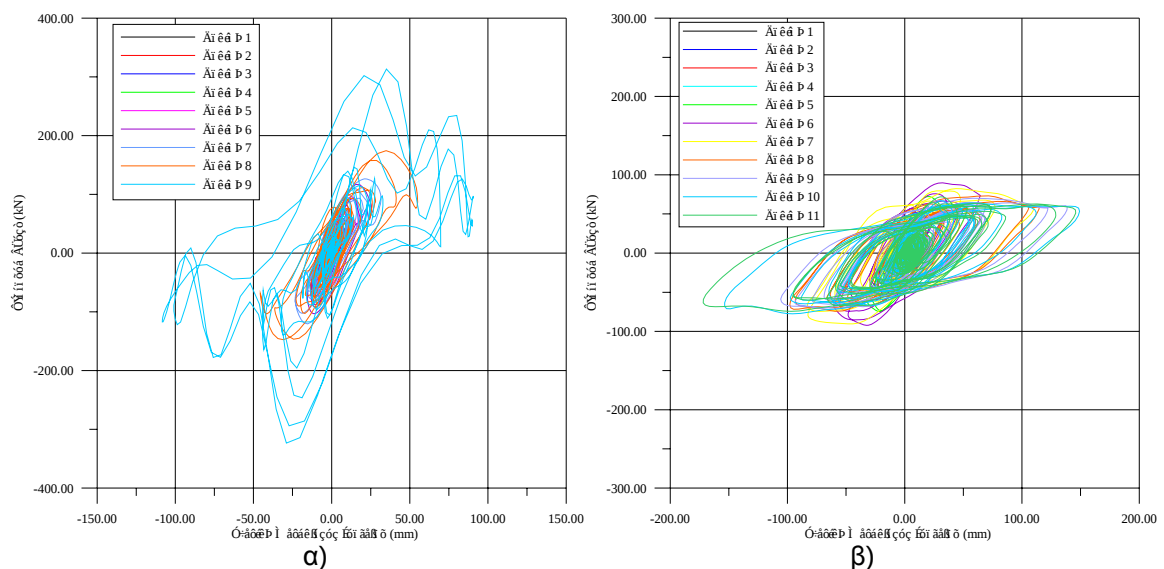
Βρόχοι Υστέρησης

Στα Σχήματα 15 και 16 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τέμνουσα βάση – σχετικής μετακίνησης ισογείου για κάθε δοκιμίου. Στον Πίνακα 4 δίνεται η αναπτυσσόμενη μέγιστη τέμνουσα βάση και η μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφου για κάθε δοκίμιο.





Σχήμα 15. Διαγράμματα τέμνουσας βάσης- σχετικής μετακίνησης ισογείου: α): Δοκίμιο Δ1, β): Δοκίμιο Δ2, γ): Δοκίμιο Δ3, δ): Δοκίμιο Δ4, ε): Δοκίμιο Δ5, στ): Δοκίμιο Δ6.



Σχήμα 16. Διαγράμματα τέμνουσας βάσης- σχετικής μετακίνησης ισογείου: α): Δοκίμιο Δ5, β): Δοκίμιο Δ8, .

Πίνακας 4. Μέγιστη Τέμνουσας Βάσης- Μέγιστη Σχετική Μετακίνηση Ορόφου.

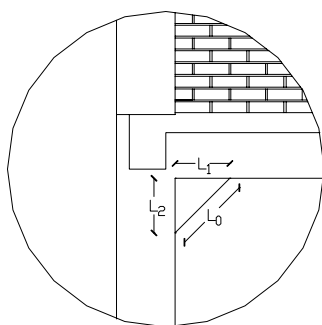
Δοκίμιο	Μέγιστη Τέμνουσας Βάσης (kN)		Μέγιστη Σχετική Μετακίνηση Ορόφου (mm)	
Δ1 – R1 – BFR	36.57	-49.82	53.95	-94.19
Δ2 – R2 – BWAB	173.22	-165.99	70.61	-76.63
Δ3 – R3 – BWB	57.01	-52.89	122.93	-144.22
Δ4 – T1 – BWA	232.13	-219.71	98.32	-124.87
Δ5 – T2 – MANA	211.80	-213.69	120.22	-129.53
Δ6 – T3 – MMRCWA	221.45	-218.90	77.92	-122.34
Δ7 – T4 – SFA	313.48	-323.43	90.71	-108.31
Δ8 – T5 – ΛSFRA	71.67	-74.21	145.79	-171.77

Μεταβολή γωνίας κόμβου δοκού- υποστυλώματος

Για τον υπολογισμό της μεταβολής της γωνίας κόμβου δοκού – υποστυλώματος, χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές των διαγώνιων βελομέτρων στους κόμβους ισογείου. τα οποία είχαν τοποθετηθεί στα δοκίμια Δ1-R1-BFR, Δ3-R3- BWB, Δ4-T1-BWA, Δ5-T2-MANA, Δ6-T3-MMRCWA, Δ7-T4-SFA και Δ8-T5-ΛSFRA. Η μεταβολή της γωνίας του κόμβου δοκού – υποστυλώματος υπολογίστηκε από τη σχέση των συνημίτονων ως ακολούθως:

$$(L_0 + \Delta L)^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\theta + \Delta\theta)$$
$$\Delta\theta = \text{Arcos}\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - (L_0 + \Delta L)^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}\right) - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

όπου L_0 η αρχική αξονική απόσταση του βελομέτρου, L_1 , L_2 η οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση αντίστοιχα του βελομέτρου από τον κόμβο και ΔL η καταγραφή του οργάνου (Σχήμα 17). Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η μεταβολή γωνίας κόμβου δοκού – υποστυλώματος συναρτήσει της δρώσας επιτάχυνσης (Kramer, 1996) η οποία αναπτύχθηκε από το σεισμικό προσομοιωτήρα σε κάθε δοκιμή.

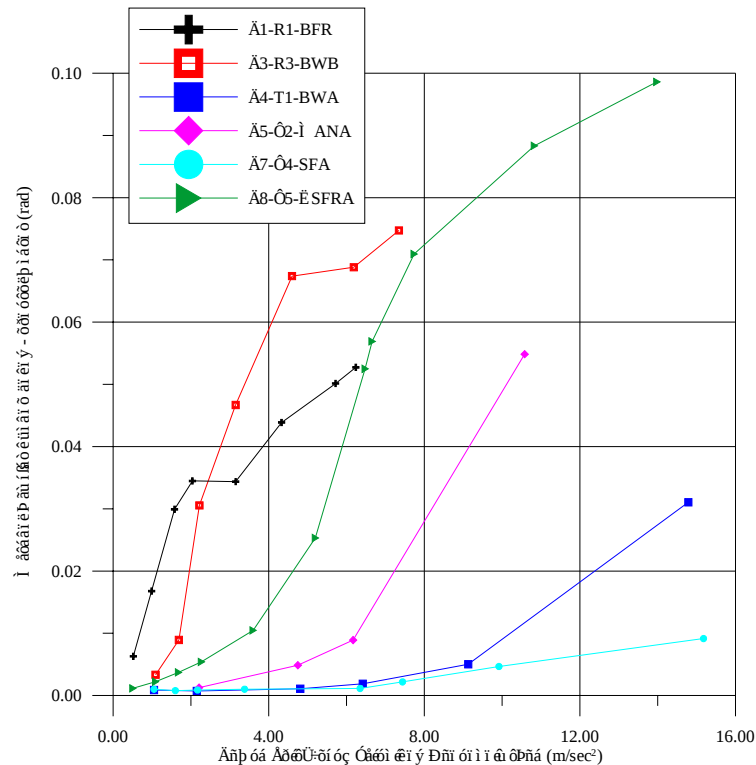


Σχήμα 17. Στοιχεία για τον υπολογισμό της μεταβολής γωνίας δοκού- υποστυλώματος.

Αποτίμηση ενισχύσεων

Για την αποτίμηση της ενίσχυσης και επισκευής μιας κατασκευής με βάση την οριακή κατάσταση αστοχίας (οιονεί κατάρρευση (NC), εμφάνιση σημαντικών βλαβών (SD) και εμφάνιση περιορισμένων βλαβών (DL)) τα δομικά στοιχεία διαχωρίζονται σε πλάστιμα και ψαθυρά σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 'Design of structures for earthquake resistance', Part 3: Strengthening and repair of Buildings (Eurocode 8, 1998-3:2004). Στην περίπτωση πλάστιμων δομικών στοιχείων (υποστυλώματα και δοκοί σε κάμψη, τοιχώματα σε κάμψη ή διάτμηση σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος) ο έλεγχος γίνεται σε όρους παραμορφώσεων, ενώ στην περίπτωση των ψαθυρών δομικών στοιχείων (υποστυλώματα, δοκοί και κόμβοι σε διάτμηση σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος), ο έλεγχος γίνεται σε όρους δυνάμεων. Ο έλεγχος σε όρους μετακινήσεων γίνεται με βάση τη γωνία στροφής χορδής του μέλους κατά τη διαρροή (θ_y) ή κατά την αστοχία (θ_{um}). Ως γωνία στροφής χορδής ορίζεται η γωνιακή παραμόρφωση του μέλους (drift ratio). Ως γωνιακή παραμόρφωση ορίζεται ο λόγος της αναπτυσσόμενης οριζόντιας μετακίνησης στην κεφαλή του υποστυλώματος προς το ελεύθερο ύψος του. Ο έλεγχος σε όρους δυνάμεων γίνεται με βάση

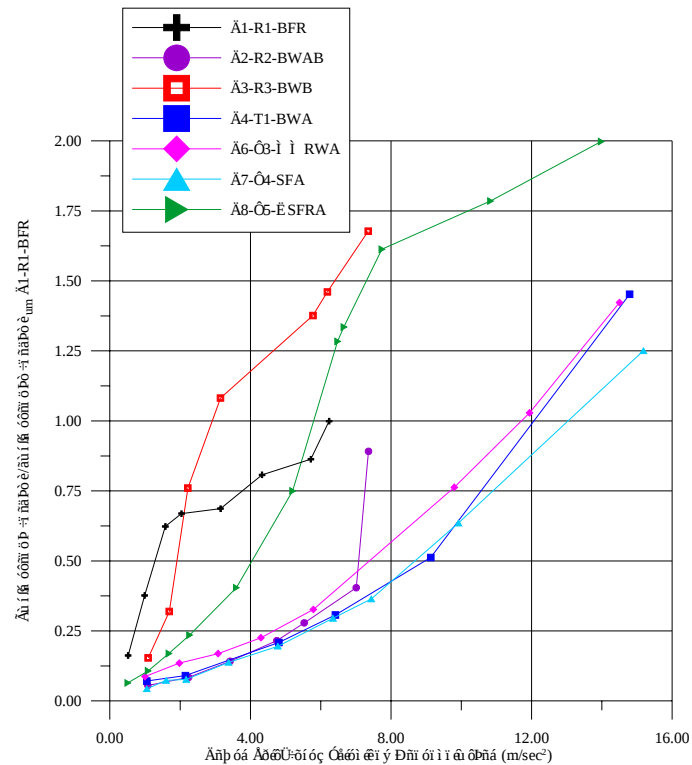
την διατμητική αντοχή των μελών. Στον Παράρτημα του EC8 για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα δίνονται σχέσεις υπολογισμού της γωνίας στροφής χορδής κατά τη διαρροή και κατά την αστοχία και τη διατμητική αντοχή.



Σχήμα 18. Μεταβολής γωνιάς δοκού- υποστυλώματος συναρτήσει δρώσας επιτάχυνσης σεισμικού προσομοιωτήρα

Για την αποτίμηση των επεμβάσεων υπολογίζεται για κάθε δοκίμιο η γωνία στροφής χορδής υποστυλώματος ισογείου η οποία προκύπτει από τη μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση του υποστυλώματος (σχετική μετακίνηση ισογείου/ ύψος). Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την γωνία στροφής χορδής στην αστοχία του υποστυλώματος ισογείου του γυμνού πλαισίου. Η γωνία στροφής χορδής υποστυλώματος ισογείου γυμνού πλαισίου υπολογίζεται για την μετακίνηση η οποία αντιστοιχεί στο 80% της μέγιστης τέμνουσας βάσης που αναπτύχθηκε στο δοκίμιο Δ1-R1-BFR (γυμνό πλαίσιο) και αντιστοιχεί σε $\theta_{um}=0.00306$.

Στα Σχήμα 19 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των λόγων της μέγιστης γωνίας στροφής χορδής υποστυλώματος ισογείου των δοκιμών προς τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία του υποστυλώματος ισογείου γυμνού πλαισίου, συναρτήσει της δρώσας επιτάχυνσης που αναπτύχθηκε σε κάθε σεισμική δοκιμή από τον σεισμικό προσομοιωτήρα.



Σχήμα 19. Γωνία στροφής χορδής υποστυλώματος ισόγειου προς γωνία στροφής χορδής γυμνού πλαισίου συναρτήσει δρώσας επιτάχυνσης σεισμικού προσομοιωτήρα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Όλες οι επεμβάσεις οι οποίες προτάθηκαν κρίνονται ικανοποιητικές, αφού επιτυγχάνεται η αύξηση της τέμνουσας βάσης την οποία μπορεί να παραλάβει το κάθε δοκίμιο και η μείωση της γωνίας στροφής χορδής των υποστυλωμάτων του ισόγειου, συγκρινόμενα με την απόκριση του γυμνού δοκιμίου (Δ1-R1-BFR), του τοιχοπληρωμένου δοκιμίου (Δ2-R2-BWAB) και του δοκιμίου με πιλοτή (Δ3-R3-BWB).
- Η μεγαλύτερη μέγιστη τέμνουσα βάσης επιτεύχθηκε στο δοκίμιο Δ7-T4 – SFA το οποίο αντιστοιχούσε στην προσθήκη μεταλλικού πλαισίου στο ισόγειο. Η αύξηση αυτή ήταν της τάξης του 500% συγκρινόμενη με την τέμνουσα βάσης του δοκιμίου με πιλοτή (Δ3-R3-BWB).
- Οι επεμβάσεις στα δοκίμια Δ4-T1-BWA (τοιχοποιία στο ισόγειο), Δ5-T2-MANA (μανδύες στα υποστυλώματα ισόγειου), Δ6-T3-MMRCWA (κατασκευή πολυμελούς τοιχώματος) και Δ7-T4-SFA (κατασκευή μεταλλικού πλαισίου) είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μικρότερης γωνίας στροφής χορδής υποστυλώματος ισόγειου για την ίδια δρώσα σεισμική επιτάχυνση στο σεισμικό προσομοιωτήρα σε σχέση με την επέμβαση στο δοκίμιο Δ8-T5-ΛSFRA (μεταλλικό πλαίσιο τύπου Λ με τοποθέτηση ελαστομερούς υψηλής απόσβεσης).

- Η απόσβεση του δοκιμίου Δ8-T5-ΛSFRA (μεταλλικό πλαίσιο τύπου Λ με τοποθέτηση ελαστομερούς υψηλής απόσβεσης) ήταν μεγαλύτερη ($\zeta=10\%$) συγκρινόμενη με την απόσβεση των άλλων επεμβάσεων ($\zeta=5\%$).
- Η επέμβαση T4 η οποία αντιστοιχεί στη προσθήκη τοιχοπλήρωσης περιορισμένου μήκους από συμπαγείς οπτόπλινθους στο ισόγειο αντιμετωπίζει ικανοποιητικά το πρόβλημα των κτιρίων με πιλοτή ενώ παράλληλα αποτελεί μία οικονομική και εύκολα εφαρμοζόμενη λύση.

Επισημαίνεται ότι τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν από τα πειραματικά αποτελέσματα με σεισμική διέγερση των δοκιμίων στην E-W συνιστώσα του σεισμού της Έδεσσας και χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του «μέλους». Για τη γενίκευση των συμπερασμάτων και την εφαρμογή τους για το «όλον» κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω διερεύνηση του προβλήματος είτε πειραματικά, είτε αναλυτικά με την εφαρμογή τουλάχιστον τεσσάρων πρόσθετων σεισμικών διεγέρσεων διαφορετικών δυναμικών χαρακτηριστικών και την εκτέλεση τουλάχιστον ενός πειράματος σε μικρότερη κλίμακα που να περιλαμβάνει περισσότερα δομικά μέλη.

Οι επεμβάσεις κατατάσσονται κατά σειρά επιτελεστικότητας ως ακολούθως:

1. Συμπαγής τοιχοπλήρωση περιορισμένου μήκους.
2. Μεταλλικό πλαίσιο.
3. Πολυμελές τοίχωμα
4. Μεταλλικό πλαίσιο με ελαστομερές υψηλής απόσβεσης
5. Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Οι επεμβάσεις T1 (Συμπαγή τοιχοπλήρωση), T2 (Μανδύες) και T4 (Μεταλλικό πλαίσιο) κρίνονται και ως προς το γεγονός ότι διαθέτουν μεγάλη διάρκεια ζωής και δεν απαιτείται ο περιοδικός έλεγχος και η συντήρησή τους.

Γενικότερα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από την έρευνα:

- Στο κτίριο με πιλοτή η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης στον α' όροφο έχει ως συνέπεια την αδυναμία δημιουργίας των πλαστικών αρθρώσεων στα δοκάρια και τη μη επιθυμητή εμφάνισή τους στα υποστυλώματα. Η αστοχία αυτής της μορφής συνοδεύεται από λυγισμό των οπλισμών των υποστυλωμάτων.
- Η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων σε όλους τους ορόφους ενός κτιρίου έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ισχυρών υπεραντοχών (της τάξεως του τέσσερα). Λόγω της πρόσθετης ακαμψίας την οποία προσφέρουν οι τοιχοπληρώσεις μειώνονται οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων και κατά συνέπεια η γωνία στροφής των υποστυλωμάτων. Σε περίπτωση όμως κατά την οποία ξεπεραστεί η αντοχή των τοιχοπληρώσεων, τότε απότομα καλείται ο φέρων οργανισμός να παραλάβει τις αυξημένες δυνάμεις και μετακινήσεις, τις οποίες δεν μπορεί και η κατασκευή οδηγείται σε πολύ μεγάλες μετακινήσεις και ταχύτητες.
- Η ύπαρξη των διαζωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος (σενάζ) στη τοιχοποιία αν και δεν βρίσκονταν σε επαφή με τα υποστυλώματα, με την απότομη αστοχία των τοίχων μείωσαν το ελεύθερο ύψος των υποστυλωμάτων με αποτέλεσμα την εμφάνιση

σημαντικών ρωγμών στα υποστυλώματα από κάμψη στη στάθμη του διαζώματος και την παράλληλη εμφάνιση διατμητικών ρωγμών στη βάση των υποστυλωμάτων. Επίσης παρατηρήθηκαν καμπτικές ρωγμές στα υποστυλώματα με εφελκυστικές εξωτερικές ίνες λόγω διόγκωσης των τοιχοπληρώσεων κατά τη θραύση τους.

- Η ύπαρξη εγκάρσιων δοκών στους κόμβους βοηθά στην καλύτερη συμπεριφορά του κόμβου λόγω της τριαξονικής έντασης που αναπτύσσεται μέσα σε αυτούς.
- Η χρήση των συμπαγών τούβλων στο ισόγειο κρίνεται αναγκαία λόγω της μεγάλης αντοχής σε θλίψη την οποία εμφανίζουν, ενώ απαιτείται μεγάλη προσοχή στη άρρηκτη σφήνωση των εν λόγω τοίχων με το πλαίσιο ή την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος.
- Η αρχική στατική μελέτη με τον τρόπο που εφαρμόστηκε οδήγησε σε συντηρητικά εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη, με αποτέλεσμα ορισμένες επεμβάσεις να έχουν υπερδιαστασιολογηθεί.
- Κατά τη μελέτη εφαρμογής των επεμβάσεων θα πρέπει να γίνεται λεπτομερής εκτίμηση της επίπτωσης των επεμβάσεων τόσο στην αντοχή όσο και στην πλαστιμότητα της νέας κατασκευής. Π.χ. στην περίπτωση εφαρμογής μανδυνών, ο μελετητής μηχανικός πρέπει να ελέγχει αν η διατομή των δοκών μπορεί να ικανοποιήσει τη συμπεριφορά της νέας κατασκευής (αντοχή, πλαστιμότητα) εκ της αυξημένης δυσκαμψίας και αντοχής των υποστυλωμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το ερευνητικό έργο χρηματοδοτήθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντισεισμικός Κανονισμός 1959, Βασιλικό Διάταγμα «Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων»
- Αντισεισμικός Κανονισμός, Κείμενο, Τροποποιήσεις, Σχόλια, 1986, Β' Έκδοση, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ).
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ), 1999, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ).
- Κανονισμός για την μελέτη και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ οπλισμένου σκυροδέματος, Διάταγμα 18-2-1954, Υπουργείον Δημοσίων Έργων – Υπηρεσία Οικισμού – Διεύθυνση Στατικών Μελετών.
- Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ), 1995, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ).
- Τεχνική Έκθεση, (2005) «Πειραματική Αναλυτική διερεύνηση τρόπων επέμβασης για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πιλοτής σε υφιστάμενα κτίρια», Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Clough R.W. and Penzien J., (1975) 'Dynamic of Structures', McGraw Hill, New York.
- Eurocode 8 'Design of structures for earthquake resistance', Part 3: Strengthening and repair of Buildings (prEN 1998-3:2004).
- Kramer S.L. (1996) 'Geotechnical Earthquake Engineering', Prentice –Hall.