

Συμπεριφορά Πλαισίων Ο/Σ Ενισχυμένων με Εμφατνούμενα Τοιχώματα Ο/Σ υπό Ανακυκλιζόμενη Οριζόντια Φόρτιση

Response of R/C Frames Strengthened with R/C Infill-Walls under Horizontal Cyclic Loading

Θεοχάρης Παπαθεοχάρης¹, Φύλιππος Κ. Περδικάρης², Μαρίνα Μωρέττη³

Λέξεις κλειδιά: ανακυκλιζόμενη φόρτιση, διατμητικός σύνδεσμος, εμφατνούμενο τοίχωμα Ο/Σ, πλαίσιο Ο/Σ

Keywords: cyclic loading; RC frame; RC infill-wall; shear connector

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα της συμπεριφοράς πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος (Ο/Σ) ενισχυμένα με εμφατνούμενα τοιχώματα Ο/Σ υπό οριζόντια επιβαλλόμενη ανακυκλιζόμενη μετακίνηση. Η έρευνα είχε ως στόχο τη μελέτη των προτεινόμενων διατάξεων στον ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) σχετικά με την ενίσχυση υφιστάμενων πλαισίων Ο/Σ με εμφατνούμενα τοιχώματα Ο/Σ με πάχος μικρότερο από το πλάτος της δοκού. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε δέκα (10) φυσικά προσομοιώματα πλαισίων υπό κλίμακα 1:3, επτά (7) με λόγο ύψους προς μήκος τοιχώματος, $h_w/l_w=0.58$, και τρία (3) με $h_w/l_w=0.83$. Εξετάστηκαν διάφοροι τρόποι σύνδεσης του εμφατνούμενου τοιχώματος Ο/Σ με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω διατμητικών συνδέσμων με δύο μήκη αγκύρωσης, όπως επίσης και η ενίσχυση των υποστλωμάτων με κλειστό μανδύα Ο/Σ που σκυροδετήθηκε ταυτόχρονα με το τοίχωμα.

ABSTRACT: In the present study, results of an experimental research on the performance of reinforced concrete (R/C) frames strengthened by R/C infill-walls under horizontal cyclic loading are presented. The main objective of the research was the evaluation of the provisions of the Greek Code (KAN.EPE.) for the rehabilitation of existing R/C structures on the design of R/C frames infilled with R/C infill-walls. Ten (10) 1/3-scale physical model RC frame specimens were tested: seven (7) with an infill of $h_w/l_w=0.58$ and three (3) with an infill of $h_w/l_w=0.83$. Different ways of connecting the R/C infill-wall to the frame using shear connectors of two (2) anchorage lengths and strengthening of the columns by R/C-jackets cast simultaneously with the R/C infill were investigated.

¹ Υπ. Διδάκτωρ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, email: th_papath@yahoo.gr

² Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, email: filperd@uth.gr

³ Επίκουρη Καθηγήτρια, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ, email: moretti@central.ntua.gr

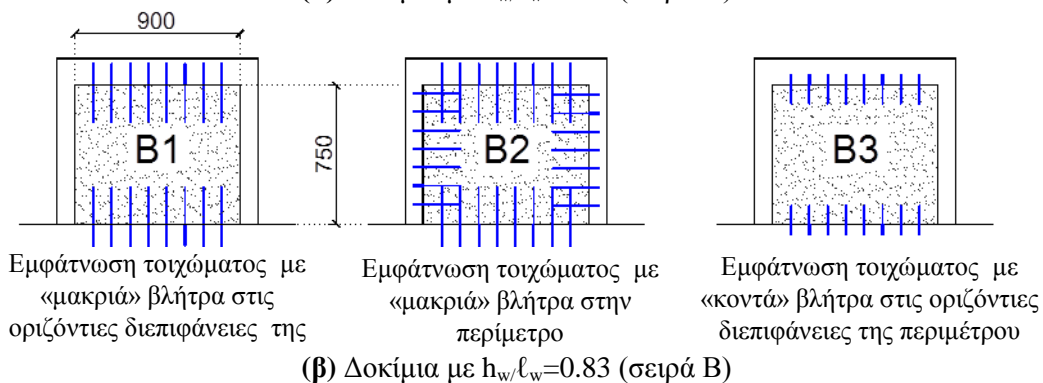
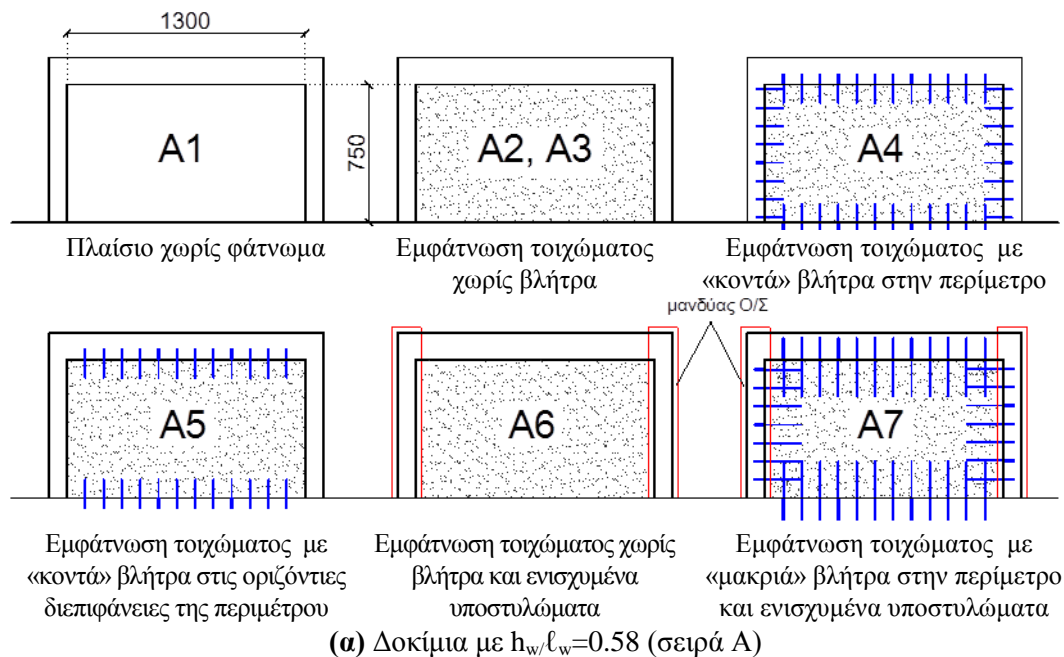
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενίσχυση ενός πλαισίου Ο/Σ μέσω της εμφάνωσης τοιχώματος Ο/Σ είναι μία αξιόπιστη και σχετικά οικονομική λύση που προτείνεται με στόχο την αύξηση τόσο της αντοχής όσο και της δυσκαμψίας του πλαισίου (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2012). Η πλειοψηφία των πειραματικών δοκιμών που έχουν διεξαχθεί κατά το παρελθόν (Higashi et al., 1980; Aoyama et al., 1984; Altin et al., 1992; Sonuvar et al., 2004; Altin et al., 2008) αναφέρονται σε δοκίμια με πάχος τοιχώματος μικρότερο από το πλάτος της δοκού υπό κλίμακα 1:2 ή 1:3. Επίσης, δοκιμές έχουν διεξαχθεί και σε δοκίμια υπό κλίμακα 3:4 με πάχος εμφανιζόμενου τοιχώματος Ο/Σ ίσο με το πλάτος της δοκού (Στρεπέλιας, 2011; Strepelias et al., 2014). Πολλές απ' αυτές τις πειραματικές έρευνες ασχολήθηκαν με τη δυσμενή επιρροή του ανεπαρκούς μήκους μάτισης των διαμήκων οπλισμών των υποστυλωμάτων στη συμπεριφορά του συστήματος πλαισίου – τοιχώματος. Στις περισσότερες δημοσιεύσεις δεν παρέχονται επαρκή στοιχεία για τις σχετικές μετακινήσεις στις διεπιφάνειες πλαισίου – τοιχώματος καθώς και τη συμπεριφορά των βλήτρων σύνδεσης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μέρος από τα πειραματικά αποτελέσματα ενός ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος για τη μελέτη των προτεινόμενων διατάξεων στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχετικά με την ενίσχυση υφιστάμενων πλαισίων Ο/Σ με εμφανιζόμενα τοιχώματα Ο/Σ (Περδικάρης, 2012) και την κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην ενεργοποίηση των μηχανισμών μεταφοράς δυνάμεων από το πλαίσιο στο εμφανιζόμενο τοίχωμα. Οι πειραματικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο «Τεχνολογίας και Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

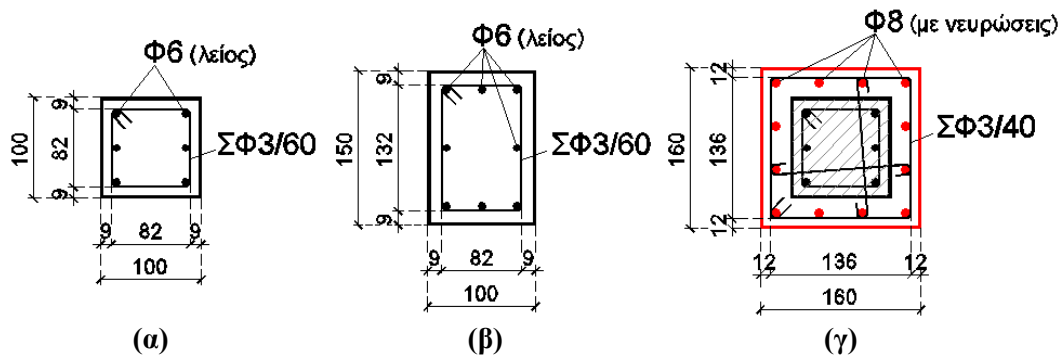
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δέκα (10) πειραματικές δοκιμές σε κλίμακα 1:3 υπό οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση: επτά (7) σε δοκίμια με $h_w/l_w = 0.58$ (σειρά Α), και τρεις (3) σε δοκίμια με $h_w/l_w = 0.83$ (σειρά Β). Γενική περιγραφή των δοκιμών παρουσιάζεται στο **Σχήμα 1**. Για το πρωτότυπο πλαίσιο οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων (30x30 cm) και της δοκού (30x45 cm), όπως και ο οπλισμός, προέκυψαν από την επίλυση ενός κτιρίου με βάση τους προ του 1985 ισχύοντες κανονισμούς για συνήθη φορτία χρήσης και σεισμικό συντελεστή $\varepsilon=0.06$.



Σχήμα 1. Γενικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων (διαστάσεις σε mm).

Τα υποστρώματα των πλαισίων διατομής 10×10 cm είχαν διαμήκη οπλισμό λείες ράβδους $6\Phi 6$ ($\rho_s = 1,70\%$, $f_{sy} = 350$ MPa), που αντιστοιχεί στο πρωτότυπο σε λείες ράβδους $4\Phi 18$ ($\rho_s = 1,13\%$, $f_{sy} = 400$ MPa), ενώ η δοκός του πλαισίου διατομής 10×15 cm είχε διαμήκη οπλισμό $8\Phi 6$ από λείο χάλυβα. Ο εγκάρσιος οπλισμός τόσο των υποστρωμάτων όσο και της δοκού αποτελείται από συνδεδητές $\Sigma\Phi 3/60$ (στο πρωτότυπο $\Sigma\Phi 8/180$). Οι διαμήκεις οπλισμοί των υποστρωμάτων και του κλειστού μανδύα ενίσχυσης αγκυρώθηκαν στη βάση των δοκιμίων. Η σκυροδέτηση του μανδύα πάχους 3 cm περιμετρικά των υποστρωμάτων στα δοκίμια A6 και A7 έγινε ταυτόχρονα με το αντίστοιχο τοίχωμα σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Εκτράχυνση των διεπιφανειών σκυροδέματος έγινε μόνο στα δοκίμια A6 και A7. Οι διατομές των υποστρωμάτων και της δοκού παρουσιάζονται στο Σχήμα 2 και τα χαρακτηριστικά των οπλισμών στον Πίνακα 1.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστικά οπλισμού των μελών του πλαισίου των δοκιμών: (α) αρχικό υποστύλωμα, (β) δοκός, (γ) ενισχυμένο υποστύλωμα με κλειστό μανδύα Ο/Σ.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ράβδων οπλισμού.

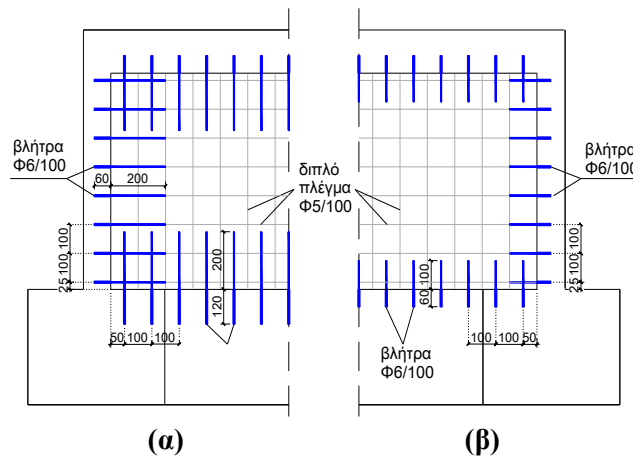
Θέση	Διάμετρος (mm)	Τύπος	Διάταξη	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy} (%)
Διαμήκης οπλισμός					
Δοκός	6	λείες ράβδοι	8Φ6	350	1.75
Υποστυλώματα	6	λείες ράβδοι	6Φ6	350	1.75
Μανδύας	8	ράβδοι με νευρώσεις	12Φ8	450	2.25
Τοίχωμα	5	ράβδοι με νευρώσεις	2Φ5/100 ^(β)	500	2.50
Εγκάρσιος οπλισμός					
Δοκός	3	λείο σύρμα	Φ3/60	560	-(^α)
Υποστυλώματα	3	λείο σύρμα	Φ3/60	560	-(^α)
Μανδύας	3	λείο σύρμα	Φ3/40	560	-(^α)
Βλήτρα					
Διεπιφάνεια πλαισίου -	6	ράβδοι με νευρώσεις	Φ6/100	470	2.35

(^α) δεν υπάρχουν μετρήσεις

(^β) διπλό δομικό πλέγμα

Στα εμφανιζόμενα τοιχώματα Ο/Σ πάχους 5 cm τοποθετήθηκαν 2 μεταλλικά πλέγματα Φ5/100 ($\rho_v = \rho_h = 0.39\%$) χωρίς να αγκυρωθούν στο περιβάλλον πλαίσιο. Για τη σύνδεση του τοιχώματος με το πλαίσιο χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι με νευρώσεις Φ6/100 ($f_{sy} = 470$ MPa) που αντιστοιχούν σε Φ18/300 (B500) στο πρωτότυπο. Η αγκύρωση των βλήτρων στο περιβάλλον πλαίσιο έγινε με εποξειδική ρητίνη. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά μήκη βλήτρων (**Σχήμα 3**): τα «κοντά» βλήτρα (δοκίμια A4, A5, B3) με μήκος έμπηξης 50 mm ($8d_b$) στα υποστυλώματα, στη βάση και στη δοκό και μήκος αγκύρωσης στο τοίχωμα 100 mm ($16d_b$), και τα «μακριά» βλήτρα (δοκίμια A7, B1, B2) με μήκος έμπηξης 120 mm ($20d_b$) στη βάση, 60 mm ($10d_b$) στα υποστυλώματα και στη δοκό και μήκος αγκύρωσης στο τοίχωμα 200 mm ($33d_b$). Σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Model Code 2010 (2012) για την πλήρη ενεργοποίηση των βλήτρων απαιτείται βάθος έμπηξης, $\ell \geq 8d_b$. Η υιοθέτηση μεγαλύτερου μήκους αγκύρωσης σε ορισμένα

δοκίμια (A7, B1 και B2) κρίθηκε σκόπιμη καθώς παρατηρήθηκε εξόλκευση των ακραίων βλήτρων του τοιχώματος στο δοκίμιο A4 με την πρόοδο της ανακυκλιζόμενης φόρτισης.



Σχήμα 3. Θέση των βλήτρων και οπλισμού του τοιχώματος: (α) «μακριά» βλήτρα, (β) «κοντά» βλήτρα.

Η απαιτούμενη κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος με βάση την κλίμακα 1:3 και η παρασκευή του πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο (Πίνακας 2). Για όλα τα δοκίμια, το πλαίσιο και το εμφανιζόμενο τοίχωμα σκυροδετήθηκαν σε οριζόντια θέση στο δάπεδο του εργαστηρίου. Μετά από συντήρηση 28 ημερών του κάθε πλαισίου ακολούθησε η σκυροδέτηση του τοιχώματος και, εάν απαιτείτο, του μανδύα ενίσχυσης του υποστυλωμάτων.

Πίνακας 2. Θλιπτική αντοχή κυλίνδρου (28 ημ.) σκυροδέματος, f_c (MPa).

Δοκίμιο	Πλαίσιο	Τοίχωμα	Μανδύας
A1	28.6	-	-
A2	28.6	22.3	-
A3	22.3	27.8	-
A4	22.3	27.8	-
A5	22.0	26.8	-
A6	24.2	20.6	20.6
A7	22.0	22.7	22.7
B1	23.4	24.6	-
B2	24.2	20.6	-
B3	23.4	24.6	-



(α)

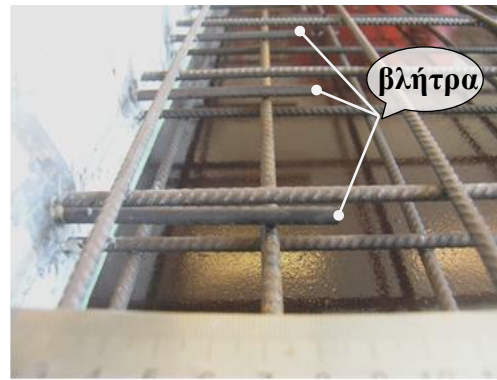


(β)

Σχήμα 4. Οπλισμός κλειστού μανδύα και οπές για έμπηξη βλήτρων στο υποστύλωμα του δοκιμίου A7: (α) γενική εικόνα, (β) λεπτομέρεια.



(α)

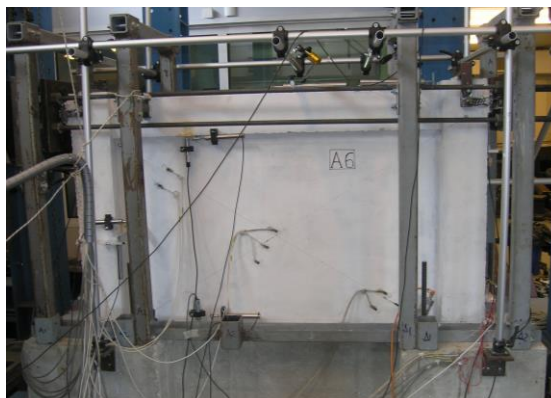


(β)

Σχήμα 5. Έμπηξη βλήτρων (Φ6) στο περιβάλλον πλαίσιο και βάση και τοποθέτηση των μεταλλικών πλεγμάτων οπλισμού του τοιχώματος: (α) γενική εικόνα, (β) λεπτομέρεια.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στο **Σχήμα 6**. Η βάση των δοκιμίων πακτώθηκε στο μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης με ράβδους προέντασης Dywidag, και επιβλήθηκε οριζόντια φόρτιση στον άξονα της δοκού μέσω υδραυλικού εμβόλου MTS ± 500 kN ελεγχόμενου από ψηφιακό σερβοϋδραυλικό σύστημα. Ειδικό αμφίπλευρο μεταλλικό σύστημα με ράουλα σε επαφή με τη δοκό του πλαισίου απέτρεπε τις εκτός επιπέδου μετακινήσεις. Η οριζόντια φόρτιση επιβλήθηκε μέσω αρθρωτής διάταξης μεταλλικών πλακών συνδεδεμένων με οριζόντιες ράβδους Dywidag και σε επαφή με τους δύο κόμβους του πλαισίου ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής επαφή της κεφαλής του εμβόλου με το δοκίμιο αλλά χωρίς να παρεμποδίζεται η ελεύθερη στροφή των κόμβων του. Στην παρούσα πειραματική έρευνα δεν ασκήθηκε αξονικό φορτίο στα υποστύλωματα.



Σχήμα 6. Πειραματική διάταξη για ανακυκλιζόμενη οριζόντια φόρτιση (δοκίμιο A6).

ΦΟΡΤΙΣΗ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το δοκίμιο A1 υποβλήθηκε σε μονοτονική φόρτιση ενός πλήρους κύκλου μέχρι την αστοχία σε κάθε κατεύθυνση. Το δοκίμιο A2 υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση μέχρι ένα επιβαλλόμενο φορτίο ± 60 kN και στη συνέχεια σε μονοτονική φόρτιση στην «αρνητική» κατεύθυνση μέχρι την αστοχία, ενώ τα υπόλοιπα δοκίμια σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση δύο (2) κύκλων ανά βήμα φόρτισης. Αρχικά, όλα τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση μέχρι ± 60 kN με έλεγχο του φορτίου και με βήμα φόρτισης ± 20 kN, εκτός από τα δοκίμια A6 και A7 που τους επιβλήθηκε φόρτιση μέχρι ± 100 kN. Οι δοκιμές συνεχίστηκαν με επιβολή οριζόντιας μετακίνησης σε βήματα πολλαπλάσια του $\delta_0=0.15$ mm.

Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν εκτός από την οριζόντια μετακίνηση των δοκιμίων σε σχέση με τη βάση τους και το επιβαλλόμενο φορτίο, την παραμόρφωση κατά μήκος των διαγωνίων του πλαισίου και του τοιχώματος και τις σχετικές μετακινήσεις στις οριζόντιες διεπιφάνειες του τοιχώματος με τη βάση και τη δοκό και στις κατακόρυφες διεπιφάνειες τοιχώματος/υποστυλωμάτων. Επίσης, μετρήθηκαν μέσω ηλεκτρομηκυσιομέτρων (strain gages) οι ανηγμένες παραμορφώσεις στην επιφάνεια του τοιχώματος, σε διαμήκεις ράβδους οπλισμού των υποστυλωμάτων, της δοκού και του μανδύα Ο/Σ, όπως και σε κάποια βλήτρα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η μέση φέρουσα ικανότητα, \bar{P}_{max} , και η μέση επιβαλλόμενη οριζόντια μετακίνηση, $\bar{\delta}_{P_{max}}$, και μέση σχετική μετακίνηση, $\bar{d}_{P_{max}}$ (%), στο μέγιστο φορτίο παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Ο Πίνακας 3 περιλαμβάνει επίσης, τη μέση τιμή του δείκτη πλαστιμότητας μετακινήσεων, μ_δ , το λόγο της μέσης απομένουσας αντοχής στο φθίνοντα κλάδο σε

οριζόντια μετακίνηση ± 18 mm ($d = \pm 2.2\%$) προς το μέσο φορτίο αστοχίας του κάθε δοκιμίου, $\bar{\lambda}_{res}$, και το λόγο της μέσης φέρουσας ικανότητας του κάθε δοκιμίου προς εκείνη του A3 για τα δοκίμια της σειράς A ή B3 για τα δοκίμια της σειράς B, $\bar{\lambda}_{p_{max}}$. Ο δείκτης πλαστιμότητας μετακινήσεων, μ_{δ} , ορίστηκε ως ο λόγος της οριζόντιας μετακίνησης που αντιστοιχεί σε πτώση απόκρισης 15% στον 2^ο κύκλο φόρτισης σε μία δεδομένη κατεύθυνση προς μία συμβατική μετακίνηση διαρροής, δ_y , ενός ισοδύναμου ελαστο-πλαστικού συστήματος με την ίδια απορρόφηση ενέργειας με το εκάστοτε δοκίμιο (Park, 1988).

Πίνακας 4. Μέση αντοχή (\bar{P}_{max}), οριζόντια μετακίνηση ($\bar{\delta}_{p_{max}}$) και σχετική μετακίνηση ($\bar{d}_{p_{max}}$) στο μέγιστο φορτίο, σχετική αντοχή ($\bar{\lambda}_{p_{max}}$), απομένουσα αντοχή ($\bar{\lambda}_{res}$) και μέσος δείκτης πλαστιμότητας μετακινήσεων (μ_{δ}).

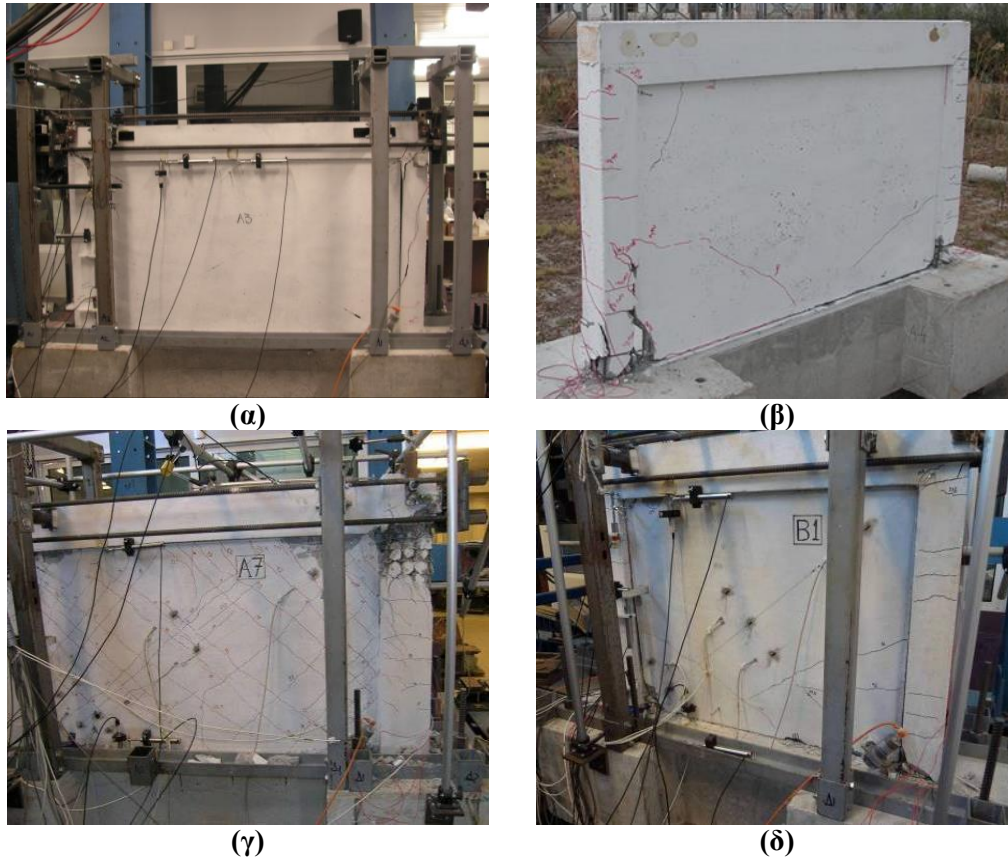
Δοκίμιο	\bar{P}_{max} (kN)	$\bar{\delta}_{p_{max}}$ (mm)	$\bar{d}_{p_{max}}$ (%)	$\bar{\lambda}_{p_{max}}$	$\bar{\lambda}_{res}$	μ_{δ}
A1	12.7	21.12	2.56	0.14	-	-
A2	67.7 ^(β)	1.08	0.13	0.82	-	1.7
A3	91.2	0.96	0.12	1.00	0.28 ^(α)	1.6
A4	148.4	1.38	0.17	1.63	0.32	2.0
A5	137.7	1.86	0.23	1.51	0.37	2.8
A6	268.9	3.08	0.37	2.95	0.55	3.1
A7	360.6	3.02	0.37	3.95	0.47	3.3
B1	117.9	2.68	0.32	1.18	0.22	3.4
B2	122.7	1.54	0.19	1.23	-	-
B3	99.5	2.52	0.31	1.00	0.65	3.9

^(α) μετακίνηση $\delta_h = \pm 10.5$ mm αντί ± 18 mm

^(β) αντοχή στην «αρνητική» κατεύθυνση

Όλα τα δοκίμια με εμφαννόμενο τοίχωμα παρουσίασαν ρωγμές λόγω κάμψης και εφελκυσμού καθ' ύψος των υποστυλωμάτων και αποκόλληση των διεπιφανειών πλαισίου – τοιχώματος. Τα δοκίμια A2, A3 και B3 αστόχησαν στους πάνω κόμβους του πλαισίου λόγω διάτμησης (**Σχήμα 7α**), τα δοκίμια A4 και A5 στη βάση των υποστυλωμάτων λόγω διάτμησης (**Σχήμα 7β**), τα A6 και A7 στην κορυφή των υποστυλωμάτων λόγω διάτμησης (**Σχήμα 7γ**) και τα B1, B2 στη βάση των υποστυλωμάτων λόγω κάμψης (**Σχήμα 7δ**). Στα δοκίμια που τοποθετήθηκαν βλήτρα και ιδιαίτερα σ' αυτά που ενισχύθηκαν τα υποστυλώματά τους με μανδύα παρατηρήθηκε σημαντική σχετική ολίσθηση κατά μήκος των οριζόντιων διεπιφανειών του τοιχώματος με τη δοκό ή τη βάση στο μέγιστο φορτίο. Έως το τέλος της δοκιμής, τα περισσότερα από τα βλήτρα στις κρίσιμες διεπιφάνειες υπέστησαν θραύση. Το δοκίμιο A1 (χωρίς τοίχωμα) αστόχησε καμπτικά στα άκρα των υποστυλωμάτων. Σημαντική ρηγμάτωση στο εμφαννόμενο

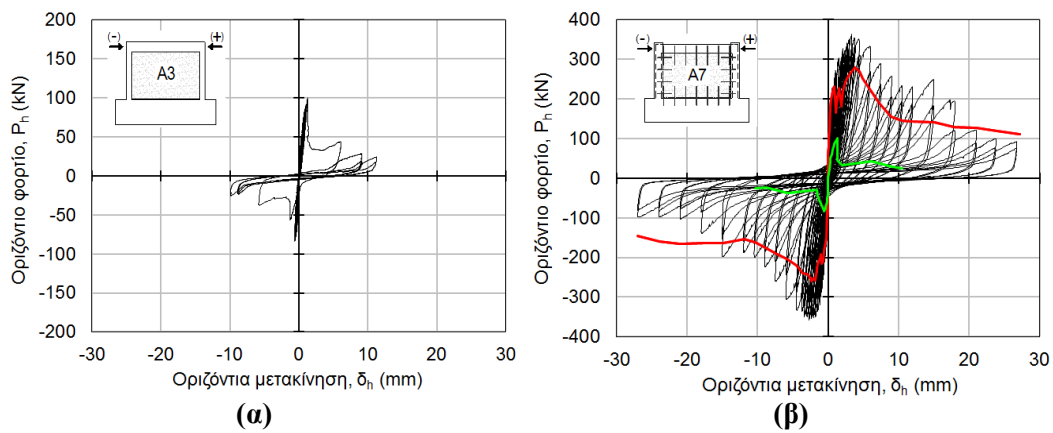
τοίχωμα παρατηρήθηκε μόνο στην περίπτωση ενίσχυσης των υποστρωμάτων με μανδύα Ο/Σ και σύνδεσης του τοιχώματος με «μακριά» βλήτρα στην περίμετρό του (δοκίμιο Α7). Περιορισμένη ρηγματώση στο τοίχωμα εμφανίστηκε και στα δοκίμια Α4, Β1 και Β2.



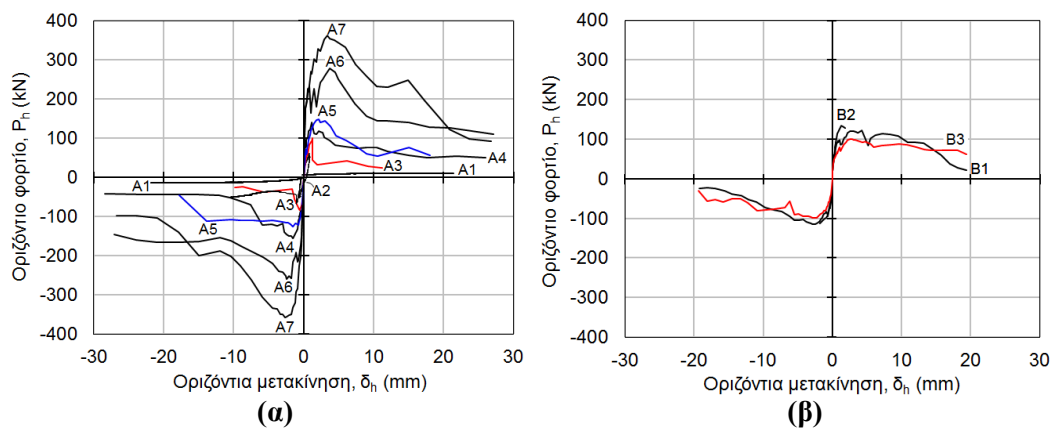
Σχήμα 7. Τελική εικόνα αστοχίας δοκιμίων: (α) Α3, (β) Α4, (γ) Α7, και (δ) Β1.

Η εμφάνιση του τοιχώματος Ο/Σ στο πλαίσιο οδήγησε σε σημαντική αύξηση της φέρουσας ικανότητας και της πλευρικής δυσκαμψίας στο επίπεδο του πλαισίου συγκριτικά με το πλαίσιο χωρίς φάτνωμα. Τα δοκίμια Α2 και Α3 με τοίχωμα σε απλή επαφή με το πλαίσιο επέδειξαν τη λιγότερο ικανοποιητική συμπεριφορά (**Σχήμα 8α**). Η αστοχία του κόμβου δοκού/υποστρώματος οδήγησε σε απότομη πτώση της φέρουσας ικανότητας του ενισχυμένου πλαισίου και υψηλές τιμές σχετικής μετακίνησης στις κρίσιμες επιφάνειες επαφής του πλαισίου με το τοίχωμα. Στο μέγιστο φορτίο το τοίχωμα αποκολλήθηκε από το περιβάλλον πλαίσιο και συμπεριφέρθηκε ως στερεό σώμα μεταφέροντας το οριζόντιο φορτίο κυρίως μέσω της θλιβόμενης διαγωνίου του, προκαλώντας τελικά αστοχία των κόμβων του πλαισίου.

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων και των κόμβων στα δοκίμια A6 και A7 μέσω κλειστού μανδύα Ο/Σ μονολιθικά συνδεδεμένου με το εμφαντούμενο τοίχωμα οδήγησε στη μεγαλύτερη αύξηση της φέρουσας ικανότητας, της απορροφώμενης ενέργειας και της πλαστιμότητας ($3 \leq \mu_{\delta} \leq 3,3$), αλλά και στις μικρότερες σχετικές μετακινήσεις στην κρίσιμη διεπιφάνεια πλαισίου – τοιχώματος για το ίδιο επίπεδο φορτίου (Moretti et al., 2014). Ειδικότερα, η επιλογή της ενίσχυσης των υποστυλωμάτων με μανδύα Ο/Σ και της πλήρους σύνδεσης του τοιχώματος με το πλαίσιο με «μακριά» βλήτρα υπήρξε η αποτελεσματικότερη μέθοδος ενίσχυσης (Σχήμα 8β). Οι περιβάλλουσες για τον 1^ο κύκλο φόρτισης των δοκιμίων της σειράς A και B παρουσιάζονται στο Σχήμα 9. Το διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης στον φθίνοντα κλάδο του δοκιμίου B2 είναι ημιτελές λόγω προβλημάτων κατά την διάρκεια της δοκιμής.

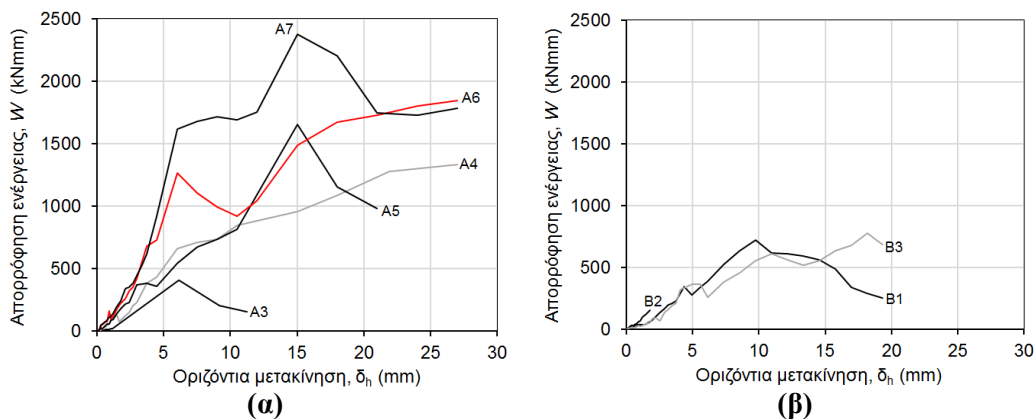


Σχήμα 8. Διάγραμμα φορτίου – οριζόντιας μετακίνησης: (α) δοκίμιο A3, (β) δοκίμιο A7 (με πράσινο και κόκκινο χρώμα η περιβάλλουσα του δοκιμίου A3 και A6, αντίστοιχα).



Σχήμα 9. Περιβάλλουσες φορτίου – οριζόντιας μετακίνησης 1^{ου} κύκλου φόρτισης: (α) δοκίμια σειράς A ($h_w/l_w=0.58$), (β) δοκίμια σειράς B ($h_w/l_w=0.83$).

Το δοκίμιο A4 με «κοντά» βλήτρα στην περίμετρο του τοιχώματος παρουσίασε αυξημένη μέση φέρουσα ικανότητα κατά περίπου 7% και παρόμοια ικανότητα απορρόφησης ενέργειας σε σχέση με το δοκίμιο A5 («κοντά» βλήτρα στην πάνω και κάτω διεπιφάνεια). Η ύπαρξη των επιπλέον βλήτρων με μήκος έμπηξης $8d_b$ στις κατακόρυφες διεπιφάνειες των υποστυλωμάτων στο δοκίμιο A4 περιορίσε σημαντικά τις σχετικές μετακινήσεις του τοιχώματος με το περιβάλλον πλαίσιο, αλλά οδήγησε σε αυξημένη βλάβη στις περιοχές αγκύρωσης των βλήτρων στις βάσεις των υποστυλωμάτων και σε μειωμένη πλαστιμότητα.



Σχήμα 10. Διαγράμματα απορρόφησης ενέργειας για τον 1^ο κύκλο φόρτισης: (α) δοκίμια σειράς A ($h_w/l_w=0.58$), (β) δοκίμια σειράς B ($h_w/l_w=0.83$).

Το δοκίμιο B2 με τα “μακριά” βλήτρα στην περίμετρο του τοιχώματος επέδειξε τη μεγαλύτερη μέση αντοχή μεταξύ των δοκιμίων της σειράς B. Η τοποθέτηση «μακριών» βλήτρων στο δοκίμιο B1 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης αντοχής του ενισχυμένου πλαισίου κατά περίπου 18% και την μείωση της πλαστιμότητας κατά περίπου 13% σε σχέση με το δοκίμιο B3. Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας όμως ήταν σε παρόμοια επίπεδα. Η πλαστιμότητα των δοκιμίων της σειράς B ($\mu_s = 3.5 \div 4$) ήταν σαφώς υψηλότερη από εκείνη των αντίστοιχων δοκιμίων της σειράς A χωρίς ενίσχυση των υποστυλωμάτων ($\mu_s = 2 \div 2.8$), το οποίο συμφωνεί με τον πιο καμπτικό τρόπο αστοχίας τους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πειραματική έρευνα χρηματοδοτήθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π. Εκφράζονται ευχαριστίες για την συμβολή του τεχνικού προσωπικού του Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Κατασκευών Ο/Σ του Π.Θ., του κ. Α. Κουτσελίνη στην προετοιμασία των δοκιμίων και της πειραματικής διάταξης και του κ. Δ. Καραμπερόπουλου στο σύστημα καταγραφής των πειραματικών μετρήσεων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Αντισεισμικός Κανονισμός, ΦΕΚ 36/19.2.1959, Εθν. Τυπ., Αθήνα (1959)
2. ΚΑΝ.ΕΠΕ., Κανονισμός Επεμβάσεων, ΟΑΣΠ, ΦΕΚ 42/Β/20-01-2012 (2012)
3. Κανονισμός δια την Μελέτην και Εκτέλεσιν Οικοδομικών Έργων εξ Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Υπ. Δημ. Έργων, Εθν. Τυπ., Αθήνα (1954)
4. Περδικάρης, Φ., Μωρέττη, Μ. & Παπαθεοχάρης Θ., "Διερεύνηση της συμπεριφοράς πλαισίων Ο/Σ ενισχυμένων με εμφατούμενα τοιχώματα Ο/Σ", Τμήμα Πολ. Μηχ., Παν. Θεσσαλίας, Έκθεση που υποβλήθηκε στον ΟΑΣΠ (2012), http://www.oasp.gr/assigned_program/2406
5. Στρεπέλιας Η., Παλιός Ξ., Μπούσιας Ε., Φαρδής Μ.Ν. & Μπισκίνης Δ., «Πειραματική διερεύνηση 4-ορόφων πλαισίων Ο/Σ ενισχυμένων με εμφατούμενα τοιχώματα Ο/Σ –Προτάσεις για τον ΚΑΝΕΠΕ, Τμήμα Πολ. Μηχ., Παν. Πατρών, Τελική Έκθεση (2011)
6. Altin, S., Anil, O. & Kara, M.E., "Strengthening of RC nonductile frames with RC infills: An experimental study", Cem. Concr. Comp., 30 (2008), 612-621.
7. Altin, S., Ersoy U. & Tankut T., "Hysteretic response of RC infilled frames", J. Str. Eng., ASCE, 118, 8 (1992) 2133-2150
8. Anil, O. & Altin, S., "An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames", Eng. Struct., 29 (2007) 449-460.
9. Aoyama, H., Kato D., Katsumata, H. & Hosokawa Y., "Strength and behavior of post-cast shear walls for strengthening of existing RC buildings", Proc. 8th WCEE, San Francisco, California (1984) 485-492
10. International Federation for Structural Concrete, fib Model Code 2010, First complete draft. Bull. 55 (1), Fédération intern. du béton, Lausanne (2012) 269
11. Higashi, Y., Endo, T., Ohkubo, M. & Shimizu, Y., "Experimental study on strengthening reinforced concrete structure by adding shear wall", Proc. 7th WCEE, Vol. 4, Istanbul, Turkey (1980) 173-180
12. Moretti, M.L., Papatheocharis, T. & Perdikaris, P.C., "Design of RC infilled frames", J. Str. Eng., ASCE, 140 (9) (2014), 04014062 (1-10)
13. Park, R., "Ductility evaluation from laboratory and analytical testing", Proc. of 9th World Conf. of Earth. Eng., VIII, Tokyo-Kyoto, Japan (1988) 605-616
14. Sonuvar, M.O., Ozcebe G., & Ersoy, U., "Rehabilitation of RC frames with RC infills", ACI Str. J., 101 (s49) (2004) 494-500
15. Strepelias, E., Palios, X., Bousias, S.N. & Fardis, M.N., "Experimental investigation of concrete frames infilled with RC for seismic rehabilitation", J. Struct. Eng., 139 (2014), DOI:10.1061/(ASCE) ST.1943-541X.0000817