

Πειραματική διερεύνηση τοιχοπληρωμένων πλαισίων Ω/Σ με κεντρικά ανοίγματα υπο κυκλική φόρτιση

Χ.Γ. Καραγιάννης

Δρ Πολ. Μηχ. Καθηγητής. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Δ.Ι. Κακαλέτσης

Msc Πολ. Μηχ. Επίκουρος Καθηγητής. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών.

Λέξεις κλειδιά: Τοιχοπληρωμένα πλαίσια, τοιχοπληρώσεις, ανοίγματα, ανακύκλιση, πειραματικά αποτελέσματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Διερευνήθηκε η επιρροή των τοιχοποιιών πλήρωσης με κεντρικά ανοίγματα στη σεισμική συμπεριφορά πλαισίων ωπλισμένου σκυροδέματος που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις τρέχουσες διατάξεις των κανονισμών. Ελέγχθηκαν οκτώ μονώροφα ενός ανοίγματος δοκίμια πλαισίων κλίμακας 1:3 κάτω από κυκλική ψευδο-δυναμική οριζόντια φόρτιση μέχρι στάθμη πλευρικής απόκλισης 40%. Οι παράμετροι που διερευνήθηκαν ήταν η μορφή και το μέγεθος του ανοίγματος. Σ' όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν η διατμητική αντοχή των στύλων ήταν μεγαλύτερη από τη διατμητική αντοχή ρηγματώσης της πλήρους γυμνής (απερίσφιγκτης) τοιχοπλήρωσης. Από τα αποτελέσματα μπορεί να εξαχθεί ότι οι τοιχοποιίες πλήρωσης με κεντρικά τοποθετημένα ανοίγματα αποδεικνύονται ωφέλιμες για τη σεισμική ικανότητα των γυμνών πλαισίων ωπλισμένου σκυροδέματος σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ως προς την αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα και απόσβεση ενέργειας.

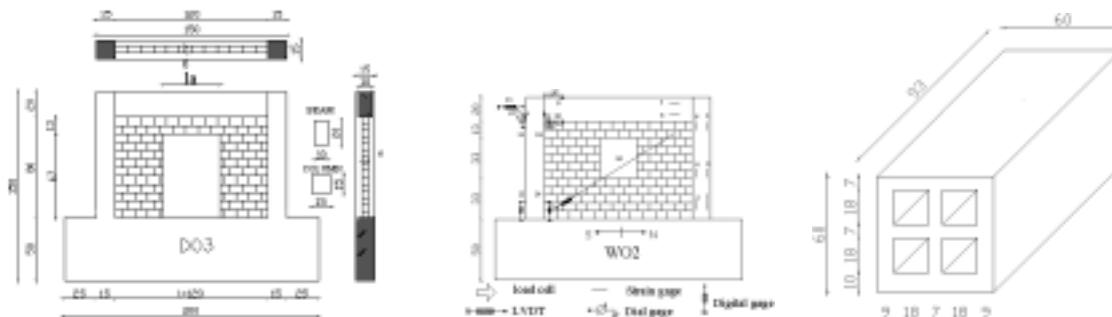
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τοιχοποιίες πλήρωσης διάφορων τύπων συνήθως υπάρχουν στα κτίρια για λειτουργικούς και αρχιτεκτονικούς λόγους. Η συνεισφορά τους στην πλευρική δυσκαμψία και αντοχή των πλαισίων, συνήθως παραλείπεται κατά το σχεδιασμό νέων κτιρίων. Η αποκατάσταση όμως παλαιότερων κτιρίων για σεισμική αντίσταση απαιτεί μια ακριβή αποτίμηση της κτιριακής απόκρισης που περιλαμβάνει και τη συνεισφορά υπαρχουσών πληρώσεων (Hamburger & Chakradeo 1993) διότι οι τοιχοποιίες πλήρωσης επειδή έχουν υψηλή εντός επιπέδου δυσκαμψία και μπορούν οικονομικά να την προσθέσουν στα υπάρχοντα πλαίσια του κτιρίου, είναι μια ελκυστική επιλογή για τον έλεγχο των πλευρικών αποκλίσεων σ' αυτά τα κτίρια (Dritsos 2005, Κακαλέτσης & Καραγιάννης 2003). Ως εκ τούτου, είναι ανάγκη να αναπτυχθούν κατάλληλα αναλυτικά εργαλεία για την ελαστική και ανελαστική ανάλυση των πλαισίων ωπλισμένου σκυροδέματος με τοιχοποιίες πλήρωσης και να επιβεβαιωθούν μέσω εργαστηριακών πειραμάτων. Επί του παρόντος τα πειραματικά δεδομένα πάνω στην αλληλεπίδραση τοιχοποιιών πλήρωσης με τα πλαίσια από σκυρόδεμα υπό πλευρική φόρτιση είναι πολύ περιορισμένα (CEB 1996, Maghaddam & Dowling 1987) και τα αναλυτικά προσομοιώματα των πληρώσεων δεν είναι ακόμη πλήρως ανεπτυγμένα (FEMA 356 2000) και δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία που να οδηγεί σε μια ενιαία προσέγγιση είτε για το σχεδιασμό είτε για την αποτίμηση της αντοχής και πλαστιμότητας. Η επιρροή των τοίχων πλήρωσης στη δομική συμπεριφορά είναι αμφισβητήσιμη και δεν υπάρχουν διαθέσιμες κανονιστικές διατάξεις ή ορθολογικές οδηγίες για σχεδιασμό και εκτίμηση της ασφάλειας αυτών των κατασκευών. Παράλληλα οι παρατηρηθείσες βλάβες από σεισμούς σε κτίρια με πλαίσια ωπλισμένου σκυροδέματος πληρωμένα με οπτοπλινθοδομές εκτείνονται από πολύ μικρές έως σημαντικές. Λόγω αυτής της αβεβαιότητας για το πώς οι τοιχοποιίες οπτοπλινθοδομών αλληλεπιδρούν με τα δομικά πλαίσια ωπλισμένου σκυροδέματος, τα κτίρια είναι δύσκολο να αποτιμηθούν με συμβατικές αναλυτικές διαδικασίες (FEMA 306 1999). Τα πειράματα που έχουν

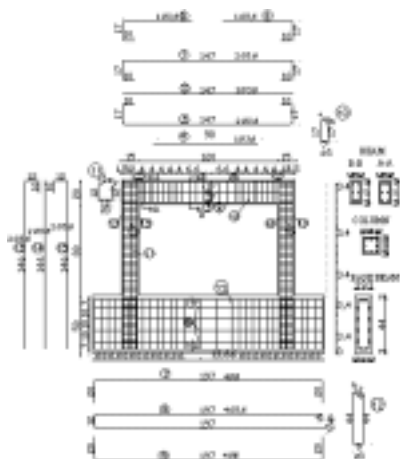
πραγματοποιηθεί σε πλαίσια ωπλισμένου σκυροδέματος με τοιχοποιίες πλήρωσης για τη διερεύνηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης τοιχοποιών πλήρωσης για βελτίωση της σεισμικής αντίστασης παλαιότερων κτιρίων έχουν δείξει ότι η αύξηση της πλευρικής δυσκαμψίας και αντοχής των πλαισίων εξαρτάται από το πάχος του τοίχου πλήρωσης, το λόγο όψεως του (Valiasis & Stylianidis 1989) και τη δυσκαμψία των μελών που τον περιβάλλουν (Mehrabi et al. 1996) και από τη παρουσία και το μέγεθος ανοιγμάτων (Fiorato et al. 1970). Υπάρχουν ακόμη μερικά εμπόδια για πλήρη κατανόηση του πώς δουλεύει το σύστημα. Για παράδειγμα πώς συμπεριφέρεται η διεπιφάνεια του τοίχου με το πλαίσιο; Υπάρχει μεταφορά τέμνουσας μεταξύ δοκού και τοίχου με συνάφεια ή τριβή ή είναι το υποστύλωμα αρκετά περισφιγμένο από τον τοίχο ώστε να είναι πλήρως συμπλεκόμενο; Ποιές είναι οι κατακόρυφες αντιδράσεις στους κόμβους δοκού-στύλου; Πώς τα ανοίγματα παραθύρου ή θύρας επηρεάζουν το δια μέσου του τοίχου φορτίο; Ποιά η διαφορά μεταξύ ενός πεσσού τοιχοποιίας που περικλείει ένα στύλο και ενός ενδιάμεσου πεσσού που δεν είναι πάνω στον άξονα στύλου; Οι τοίχοι πλήρωσης συνήθως προσομοιώνονται σαν διαγώνιες αντηρίδες που μπορούν να μεταφέρουν μόνο τη θλιπτική δύναμη μεταξύ των διαγωνίως απέναντι κόμβων. Επειδή η δυσκαμψία της πλήρωσης είναι συνάρτηση του μεγέθους της φόρτισης, το προσομοίωμα της αντηρίδας είναι απαραίτητα μη γραμμικό (Mander & Nair 1994, Gergely et al. 1994). Για να αποκτηθεί η επιρροή της πλήρωσης μόνης, η επιρροή του πλαισίου συνήθως αφαιρείται από την απόκριση δύναμης-παραμόρφωσης του συστήματος πλαισίου-τοίχου. Ένα στοιχείο - κλειδί σ' αυτή τη προσέγγιση είναι ο προσδιορισμός του ενεργού πλάτους της ισοδύναμης διαγώνιας θλιβόμενης αντηρίδας καθώς επίσης και ο προσδιορισμός των παραμέτρων των υστερητικών κανόνων του τοίχου πλήρωσης από πειράματα (Karayannis et al. 2005). Επίσης πρέπει να αναδειχθούν οι συνθήκες που απαιτούνται για να αναπτυχθεί μια θλιβόμενη αντηρίδα. Τα ανοίγματα, τα χάσματα της διεπιφάνειας και άλλες ασυνέχειες μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη της θλιβόμενης διαγώνιας (Mallick & Garg 1971). Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται και σχολιάζονται αποτελέσματα πειραματικού προγράμματος με στόχο την διερεύνηση της συμπεριφοράς υπό οριζόντια κυκλική καταπόνηση πλαισίων Ω/Σ με τοιχοποιίες πλήρωσης που έχουν κεντρικά ανοίγματα. Οι παράμετροι που διερευνήθηκαν είναι η μορφή και το μέγεθος του ανοίγματος.

2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Σ' αυτή τη μελέτη ελέγχθηκαν ένα γυμνό πλαίσιο αναφοράς (B) και για σύγκριση ένα πλαίσιο με πλήρη τοιχοποιία πλήρωσης (S). Ελέγχθηκαν επίσης τρία πλαίσια με τοιχοποιία πλήρωσης με κεντρικό παράθυρο μεταβαλλόμενου πλάτους (WO2, WO3, WO4) και τρία πλαίσια με τοιχοποιία πλήρωσης με κεντρική θύρα μεταβαλλόμενου πλάτους (DO2, DO3, DO4). Συνολικά ελέγχθηκαν οκτώ δοκίμια. Τα δοκίμια (Σχ. 1) ήταν προσομοιώματα υπό κλίμακα 1/3 μονώροφου ενός φαντώματος πλαισίου ωπλισμένου σκυροδέματος με λόγο όψεως $l/h = 1,5$ που σχεδιάστηκε

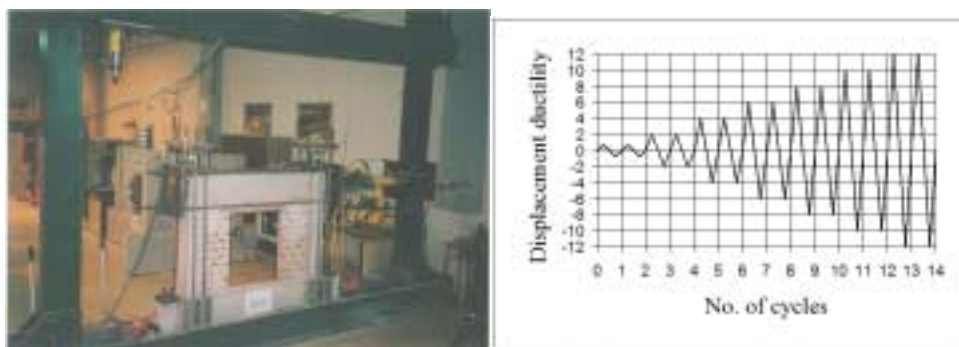


Σχήμα 1. Περιγραφή των δοκιμίων (cm στα δοκίμια, mm στο τούβλο)



Σχήμα 2. Οπλιση πλαισίου αναφοράς (cm στα μήκη, mm στις διαμέτρους)

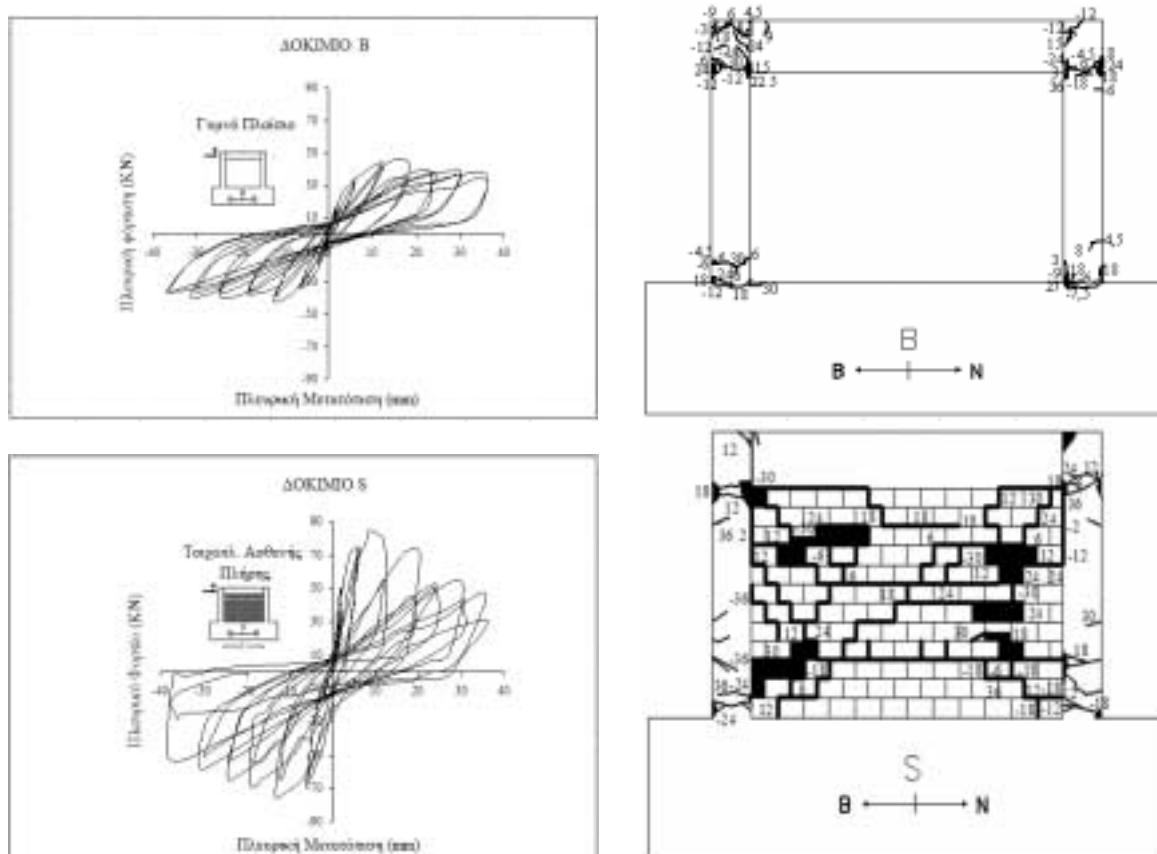
σύμφωνα με τις τρέχουσες διατάξεις των κανονισμών (Σχ. 2). Οι μέσες ροπές αστοχίας στύλου, άνω και κάτω ίνας άκρου δοκού είναι 7,7, 4,6 και 6.1kNm αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν μονάδες τοιχοποιίας για την πλήρωση κοινές οπτόπλινθοι, προερχόμενες από εξάοπα τούβλα 6*9*18,5 cm κομμένα κάθετα στις οπές σε δυο ημίση μετά από οριζόντια απότμηση της μιάς σειράς οπών, για να προσαρμοστούν στην κλίμακα 1/3 των δοκιμών. Έτσι η κύρια μονάδα τοιχοποιίας που χρησιμοποιήθηκε είχε διαστάσεις 6*6*9,30 cm (Σχ.1) και προσομοίωσε την τυπική εξωτερική τοιχοπλήρωση που συναντάται στη πράξη (τυπική μονάδα για υπάρχουσες κατασκευές π.χ. 15*18*30 cm). Η πλευρική αντοχή του πλαισίου σχεδιάσθηκε μεγαλύτερη από τη πλευρική αντοχή της πλήρους γυμνής τοιχοπλήρωσης. Εκτελέστηκαν συμπληρωματικές δοκιμές υλικών σε δείγματα τοιχοποιίας, σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού. Η τάση διαρροής των κατά μήκος και εγκάρσιων οπλισμών ήταν 390.47 και 212.2MPa αντίστοιχα. Προβλήματα κλίμακος δεν επέτρεψαν τη χρήση σκληρών χαλύβων της πράξης. Οι μέσες θλιπτικές αντοχές σκυροδέματος πλαισίου, τοιχοποιίας πλήρωσης παράλληλα στις οπές, τοιχοποιίας πλήρωσης κάθετα στις οπές, τούβλων και κονιάματος ήταν 28.51, 5.11, 2.63, 3.1 και 1.53MPa αντίστοιχα. Το μέτρο ελαστικότητας παράλληλα στις οπές, κάθετα στις οπές και το μέτρο διάτμησης της τοιχοποιίας πλήρωσης ήταν 670.3, 660.66, 259.39MPa αντίστοιχα. Η διατμητική αντοχή με ορθή τάση της τοιχοποιίας f_t/f_n ήταν 0.08/0.00, (0.38/0.25 για πλήρους μεγέθους τοιχοποιίες), 0.33/0.23, 0.39/0.30, 0.21/0.37, 0.20/0.73MPa αντίστοιχα. Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας αυτής του κομμένου τούβλου παρουσίασε αύξηση κατά 20% έναντι της αντοχής της τοιχοποιίας του πλήρους τούβλου και δεν μεταβλήθηκε από την οριζόντια ή κατακόρυφη θέση της απότμησης των οπών ενώ η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας δεν επηρεάστηκε από τη μορφή του τούβλου μετά την κοπή (Valiasis & Stylianidis 1989). Άρα η μορφή του τούβλου μετά την κοπή δεν αναμένεται να επηρεάσει τα πειραματικά αποτελέσματα. Κατά συνέπεια, αφού τα υλικά πλήρωσης των πλαισίων δεν είναι ευαίσθητα σε φαινόμενα κλίμακος, τα αποτελέσματα των δοκιμών στη κλίμακα 1/3, η οποία εξάλλου συναντάται ευρέως στη βιβλιογραφία (CEB 1996, Maghaddam & Dowling 1987), πρέπει να θεωρούνται αξιόπιστα. Η ανελαστική συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισίων μελετήθηκε με εντός επιπέδου επιβολή κυκλικής παραμόρφωσης με έλεγχο μετατόπισης. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συνολική πειραματική διάταξη, ο τρόπος επιβολής της ελεγχόμενης μετατόπισης και η μορφή της επιβαλλόμενης καταπόνησης. Τα δοκίμια υπέστησαν κυκλικές πλευρικές φορτίσεις συγχρόνως με κατακόρυφα φορτία που εφαρμόστηκαν μόνο επί των στύλων με σταθερή τιμή 50kN ανά στύλο. Οι κύκλοι άρχισαν από ένα εύρος πλαστιμότητας 0,8 που αντιστοιχούσε σε εύρος μετατόπισης ± 2 mm περίπου (η πλαστιμότητα 1 αντιστοιχούσε στη μετατόπιση διαρροής), ακολουθούμενοι διαδοχικά από στάθμες εύρους πλαστιμότητας 2, 4, 6, 8, 10, 12. Το μέγιστο εύρος μετατόπισης ήταν 36mm (γωνιακή παραμόρφωση 40%). Συνολικά εφαρμόστηκαν σε κάθε δοκίμιο 7 στάθμες μετατόπισης από δυο κύκλους εκάστη.



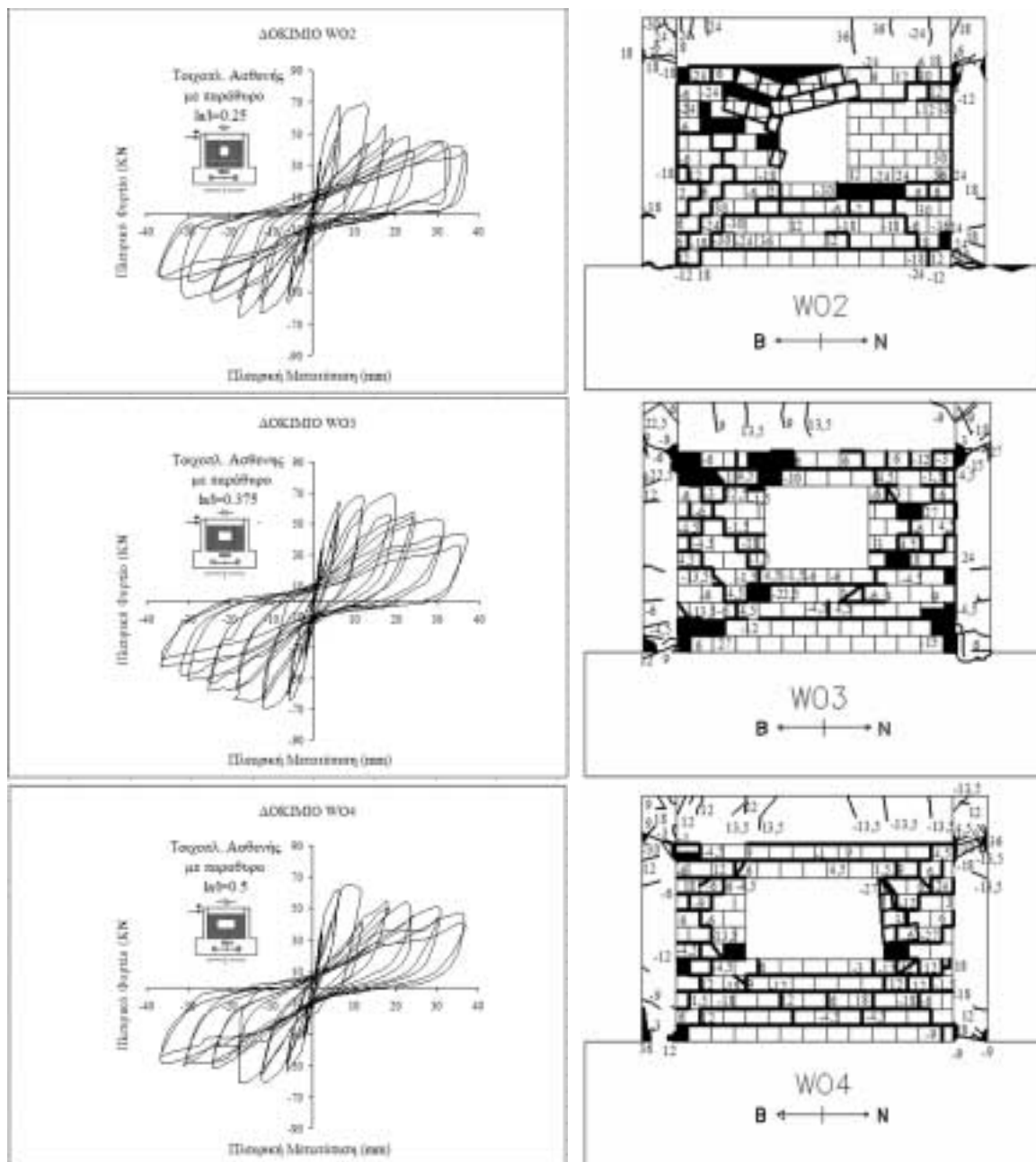
Σχήμα 3. Πειραματική διάταξη-επιβαλλόμενη καταπόνηση

3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα Σχήματα 4-6 παρουσιάζονται οι υστερητικοί βρόχοι απόκρισης φορτίου – μετατόπισης του πάνω κόμβου των δοκιμίων και οι εικόνες αστοχίας των δοκιμίων μετά το τέλος της φόρτισης. Το γυμνό πλαίσιο (B) ανέπτυξε μηχανισμό αστοχίας σύμφωνα με την παρατηρηθείσα εικόνα των κρίσιμων περιοχών. Η συμπεριφορά του χαρακτηρίστηκε από μία χαμηλή αρχική πλευρική δυσκαμψία η οποία μειώθηκε περαιτέρω με την απώλεια της δυσκαμψίας στους κόμβους λόγω της

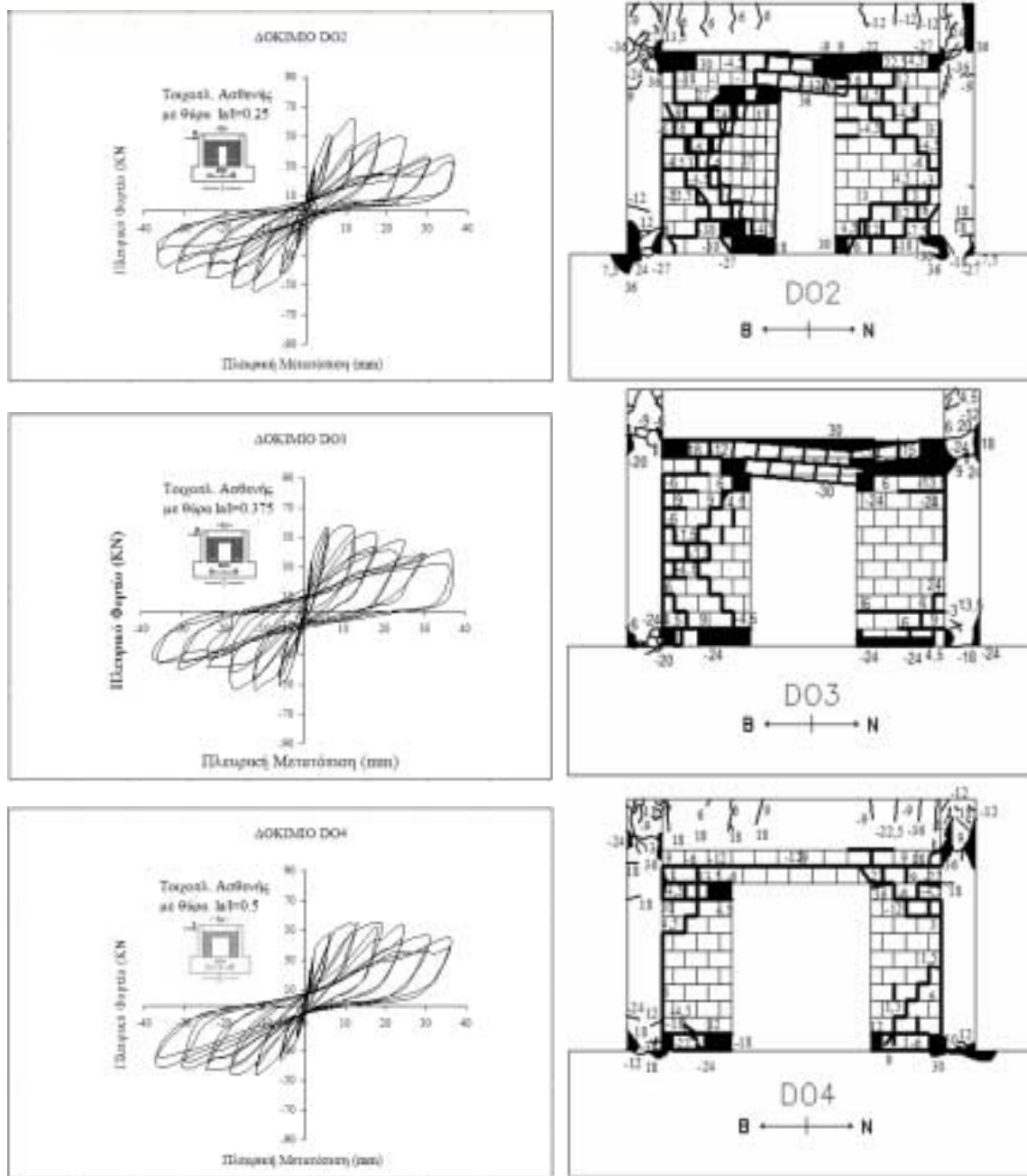


Σχήμα 4. Εικόνες αστοχίας και υστερητικές καμπύλες φορτίου-μετατόπισης των δοκιμίων αναφοράς.



Σχήμα 5. Εικόνες αστοχίας και υστερητικές καμπύλες φορτίου-μετατόπισης των δοκιμίων τοιχοπληρωμένων πλαισίων με κεντρικό άνοιγμα παραθύρου για διάφορα μεγέθη ανοίγματος.

δημιουργίας των πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των στύλων και της δοκού. Το τοιχοπληρωμένο με πλήρη τοιχοπλήρωση δοκίμιο (S) αρχικά συμπεριφέρθηκε σαν μονολιθική υμίκορμη δοκός. Η αστοχία του ρυθμιζόταν από ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των στύλων και εσωτερική συντριβή της ισοδύναμης διαγώνιας αντηρίδας της τοιχοποιίας. Στα δοκίμια που είχαν κεντρικό μεταβαλλόμενο πλάτους παράθυρο (WO2, WO3, WO4) η αστοχία ρυθμιζόταν από ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σ' αμφοτέρωτα τα άκρα των στύλων, ενώ οι πεσσοί της τοιχοποιίας μεταξύ στύλων και ανοιγμάτων αστόχησαν από εσωτερική συντριβή και οι ζώνες της τοιχοποιίας



Σχήμα 6. Εικόνες αστοχίας και υστερητικές καμπύλες φορτίου-μετατόπισης των δοκιμών τοιχοπληρωμένων πλαισίων με κεντρικό άνοιγμα θύρας για διάφορα μεγέθη ανοίγματος.

πάνω και κάτω από τα παράθυρα αστόχησαν από διατμητική ολίσθηση. Στα δοκίμια που είχαν κεντρική μεταβαλλόμενου πλάτους θύρα (DO2, DO3, DO4) η αστοχία ρυθμιζόταν από ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σ' αμφότερα τα άκρα των στύλων ενώ ο πεσσός της τοιχοποιίας μεταξύ στύλου και θύρας προς τη μεριά του φορτίου λικνίστηκε και αστόχησε από υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής στα άκρα της κεφαλής ή της βάσης, ο άλλος πεσσός της τοιχοποιίας, μεταξύ στύλου και θύρας αστόχησε απο εσωτερική συντριβή και η ζώνη της τοιχοποιίας πάνω από τη θύρα αστόχησε από διατμητική ολίσθηση.









Πίνακας 1. Κρίσιμα υστερητικά χαρακτηριστικά δοκιμών

Δοκίμια	Τέμνουσα αρχική δυσκαμψία	Μέγιστο πλευρικό φορτίο	Μετατόπιση στο μέγιστο πλευρικό φορτίο	Μέγιστη κανον/μένη απορρόφηση ενέργειας	Μετατόπιση στη μέγιστη κανον/μένη απορρόφηση ενέργειας	Αθροιστική απορρόφηση ενέργειας
	K_0 (kN/mm)	V_u (kN)	δ_u (mm)	$W/2\delta$ (kN.mm/mm)	δ_w (mm)	ΣW (kN.mm)
B	8.34	44.27	13.95	19.08	18	8316.35
S	20.71	81.46	8.31	51.36	12	13,101.14
WO2	14.55	66.56	10	36	12	11,931.82
WO3	14.56	66.46	12.13	38.55	18	13,944.30
WO4	16.6	64.9	8.12	30.99	12	11,583.44
DO2	13.1	61.56	10.82	24.67	12	8497.87
DO3	15	57.29	9.75	29.95	12	10,764.11
DO4	15	55.21	16.77	22.84	18	9345.76

Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι αρχικές δυσκαμψίες κρίσιμα φορτία, ικανότητες απορρόφησης ενέργειας και κρίσιμες μετατοπίσεις των οκτώ δοκιμών.

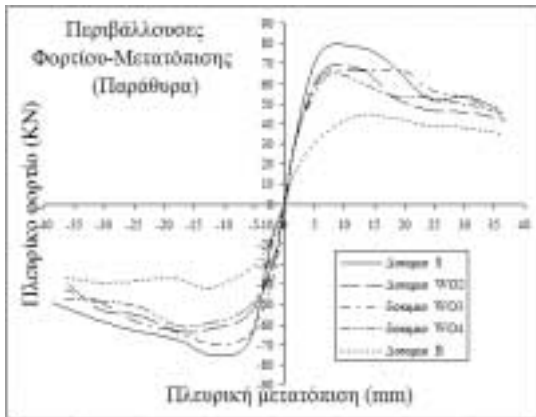
Από τον Πίνακα 2 όπου συγκρίνονται τα κρίσιμα μεγέθη μπορεί να εξαχθούν οι ακόλουθες παρατηρήσεις: Η πλευρική αντίσταση (v) σ' όλες τις περιπτώσεις των τοιχοπληρωμένων πλαισίων με ανοίγματα ήταν 1.25 έως 1.50 φορές εκείνης του αντίστοιχου γυμνού πλαισίου ενώ η πλευρική αντίσταση του πλαισίου με πλήρη τοιχοπλήρωση ήταν 1.84 φορές εκείνης του αντίστοιχου γυμνού πλαισίου. Η αντίσταση μειώνεται αναλόγως με τη μείωση της επιφάνειας του τοίχου που αντιστοιχεί στο άνοιγμα. Η παραμένουσα αντίσταση (β_{res}) των τοιχοπληρωμένων πλαισίων ήταν 1.06 έως 1.30 φορές εκείνης του γυμνού πλαισίου και δεν φαίνεται να επηρεάζεται από το μέγεθος του ανοίγματος. Η παρουσία της τοιχοπλήρωσης με ανοίγματα αυξάνει αξιοσημείωτα σ' όλες τις περιπτώσεις την αρχική δυσκαμψία (k) του συστήματος κατά 1.57 έως 1.99 φορές εκείνης του γυμνού πλαισίου ενώ η πλήρης τοιχοπλήρωση αυξάνει τη δυσκαμψία κατά 2.48 φορές εκείνης του γυμνού πλαισίου. Η δυσκαμψία μειώνεται με μεγαλύτερο ποσοστό από εκείνο της μείωσης της επιφάνειας της διατομής του τοίχου λόγω των ανοιγμάτων. Το όριο λειτουργικότητας (γ_y) παρατηρήθηκε σ' όλες τις περιπτώσεις των τοιχοπληρωμένων πλαισίων μεταξύ 2.68% και 3.87% και ήταν συνήθως μικρότερο από εκείνο του 3.44% που παρατηρήθηκε στη περίπτωση του γυμνού πλαισίου. Το όριο αστοχίας (γ_u) των τοιχοπληρωμένων πλαισίων εκτείνεται από 9.02% έως 18.63%. Το όριο λειτουργικότητας (γ_y) δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος ενώ το όριο αστοχίας (γ_u) παρατηρείται σε μεγαλύτερες αποκλίσεις στις περιπτώσεις των θυρών. Η παρουσία, συμπεριφορά και αστοχία των τοιχοπληρώσεων με ανοίγματα δεν μείωσε το συντελεστή πλαστιμότητας των τοιχοπληρωμένων πλαισίων ($\mu_{0,85}$) που αντιστοιχεί σε πλευρική δύναμη απόκρισης ίση με το 85% της μέγιστης. Ο συντελεστής πλαστιμότητας σ' αυτά τα πλαίσια κυμάνθηκε από 3.2 έως 5.83 ενώ για το γυμνό

Πίνακας 2. Σύγκριση υστερητικών χαρακτηριστικών των δοκιμών: (α) δοκίμια αναφοράς, (β) δοκίμια με παράθυρα, (γ) δοκίμια με θύρες

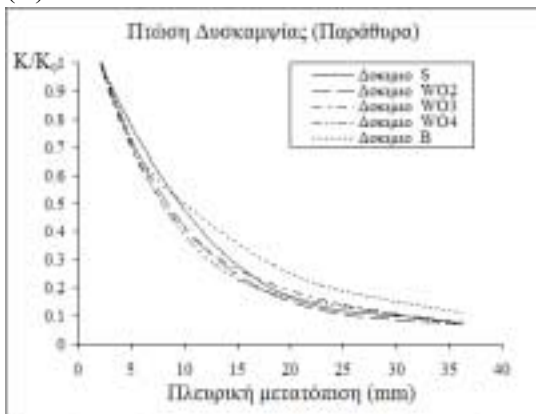
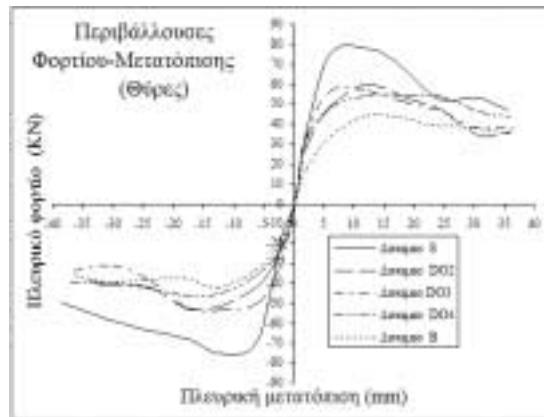
Δοκ.	Μορφολογία δοκιμίου	ν	γ_y (‰)	γ_u (‰)	k	ν_{lim}	$\mu_{0,85}$	β_{res}	V_2/V_1 (m.v.)	W_2/W_1 (m.v.)	$\Sigma W/\Sigma W_B$
(α)											
B	Γυμνό 	1.00	3.44	15.50	1.00	0.54	3.97	1.00	0.90	0.70	1.00
S	πλήρες 	1.84	2.82	9.23	2.48	0.65	4.24	1.34	0.87	0.85	1.57
(β)											
WO2	με παραθυρο $l_a/l=0,25$ 	1.50	3.87	11.11	1.74	0.76	3.89	1.19	0.85	0.72	1.43
WO3	με παραθυρο $l_a/l=0,375$ 	1.50	3.38	13.48	1.75	0.67	5.28	1.18	0.87	0.75	1.68
WO4	με παραθυρο $l_a/l=0,5$ 	1.47	2.96	9.02	1.99	0.68	3.56	1.30	0.86	0.67	1.39
(γ)											
DO2	με θύρα $l_a/l=0,25$ 	1.39	2.76	12.02	1.57	0.53	3.20	1.06	0,87	0.69	1.02
DO3	με θύρα $l_a/l=0,375$ 	1.29	2.68	10.83	1.80	0.63	5,83	1.11	0.89	0.79	1.29
DO4	με θύρα $l_a/l=0,5$ 	1.25	2.68	18.63	1.80	0.65	5.79	1.26	0.90	0.71	1.12

ν : πλευρική αντίσταση, β_{res} : παραμένουσα αντίσταση, $\nu_{lim} = V_y/V_u$, γ_y : όριο λειτουργικότητας, γ_u : όριο αστοχίας, k : αρχ.δυσκαμψία, $\mu_{0,85}$: συντ. πλαστιμότητας, ΣW : συνολική αθροιστική ενέργεια, 1/2: 1^{ος}/2^{ος} κύκλος.

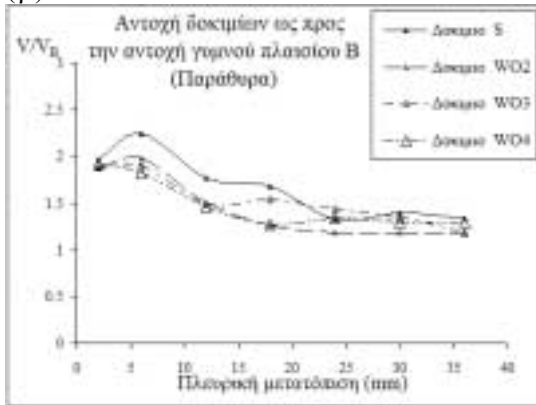
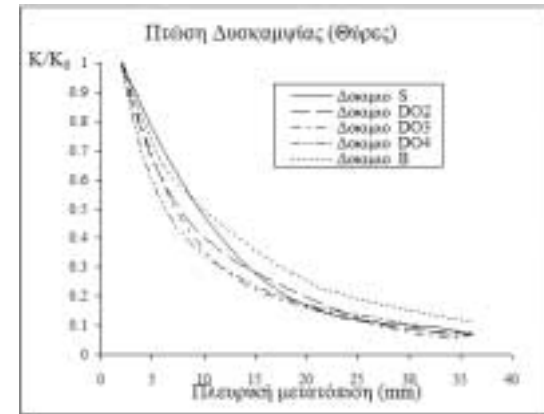
πλαίσιο ήταν 3.97 και για το πλαίσιο με πλήρη τοιχοπλήρωση ήταν 4.24 αντίστοιχα. Με την αύξηση του μεγέθους του παραθύρου η πλαστιμότητα δεν μειώθηκε σημαντικά ενώ με την αύξηση



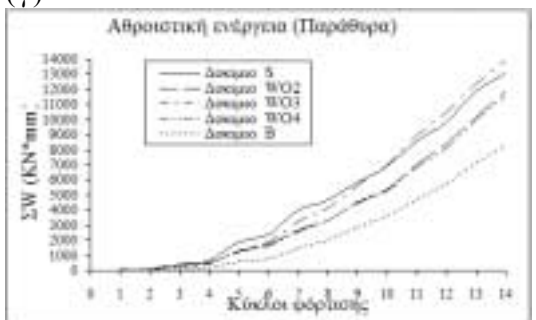
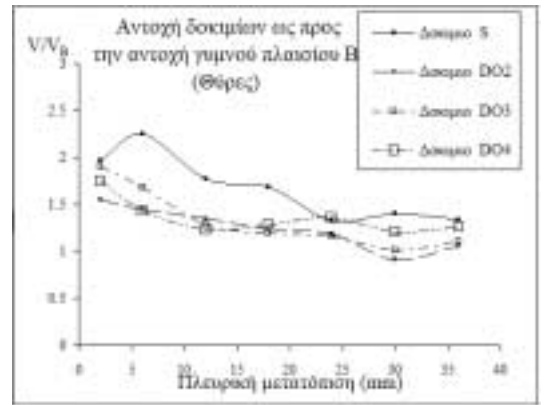
(α)



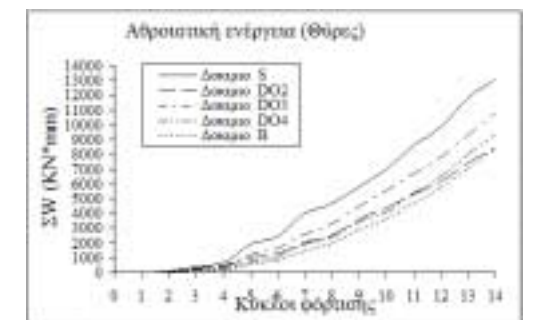
(β)

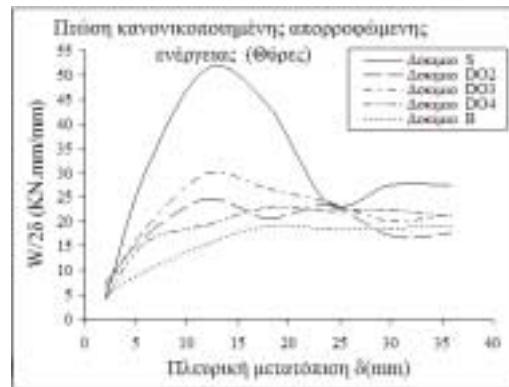
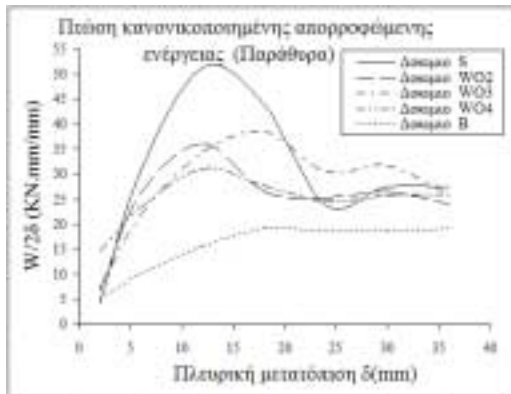


(γ)

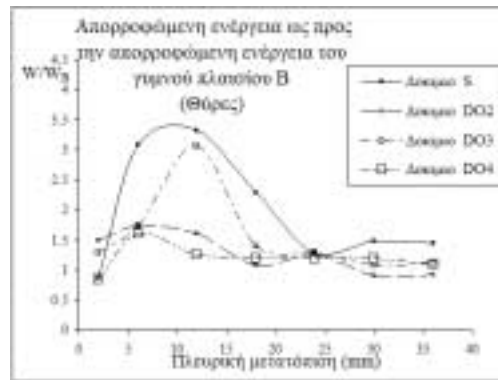
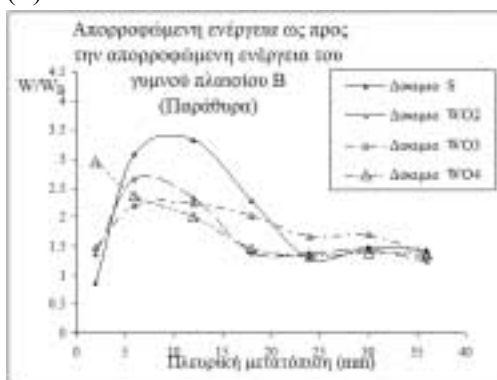


(δ)

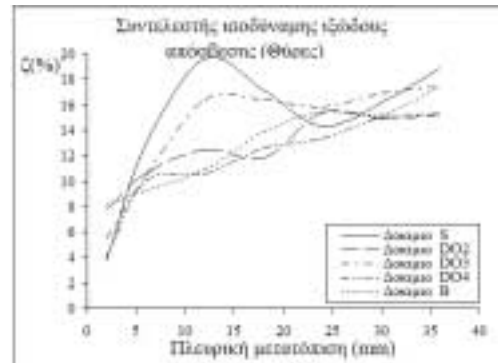
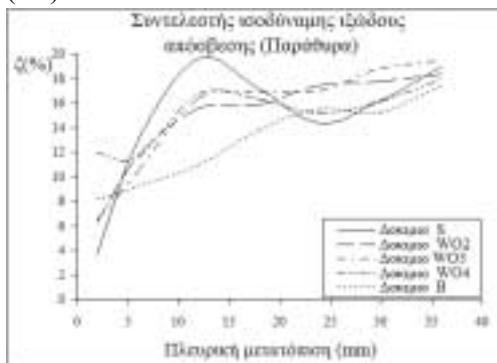




(ε)



(στ)



(ζ)

Σχήμα 7. Σύγκριση μεταβολής των υστερητικών χαρακτηριστικών από τις επιβαλλόμενες μετατοπίσεις των πειραματικών δοκιμίων.

του μεγέθους της θύρας η πλαστιμότητα αυξήθηκε. Γενικά τα δοκίμια με παράθυρα παρουσίασαν μικρότερη πλαστιμότητα από αυτά με θύρες. Η συνολική ικανότητα απορρόφησης ενέργειας (ΣW) των τοιχοπληρωμένων πλαισίων με ανοίγματα ήταν 1.02 έως 1.68 φορές την ικανότητα του αντίστοιχου γυμνού πλαισίου και το μέγεθος του ανοίγματος δεν επηρέασε στην πραγματικότητα τις τιμές του λόγου απορρόφησης στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι συνέβει ένας υποβιβασμός της δύναμης απόκρισης κατά τη διάρκεια του δεύτερου κύκλου φόρτισης (V_2) με μέση τιμή ίση προς 10% έως 15% σ όλα τα δοκίμια που εξετάστηκαν. Τέλος συνέβει ένας δραστικός υποβιβασμός της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας κατά τη διάρκεια

του δεύτερου κύκλου φόρτισης (W_2) με μέση τιμή ίση προς 15% έως 33% σ όλα τα δοκίμια που εξετάστηκαν λόγω της προφανούς επιρροής της στένωσης.

Από τα Σχήματα 7α, 7β μπορεί να εξαχθεί ότι η απώλεια δυσκαμψίας είναι μεγαλύτερη μετά τη μέγιστη αντίσταση. Στις μικρές αποκλίσεις (από 2mm έως 12mm) η απώλεια δυσκαμψίας των τοιχοπληρωμένων πλαισίων με μεγάλα ανοίγματα είναι μεγαλύτερη συγκρινόμενη με την αντίστοιχη απώλεια του γυμνού πλαισίου. Σε πολύ μεγάλες αποκλίσεις (από 18mm έως 36mm) η απώλεια δυσκαμψίας τείνει ασυμπτωτικά σ' αυτή του γυμνού πλαισίου διότι δεν παρατηρήθηκε διατμητική αστοχία των στύλων. Από το Σχήμα 7γ μπορεί να εξαχθεί ότι η αύξηση της αντοχής του συστήματος που οφείλεται στις πληρώσεις είναι πιο σημαντική στις περιοχές μικρών μετατοπίσεων από ότι σε περιοχές μεγαλύτερων μετατοπίσεων. Η μέση προστιθέμενη αντοχή που οφείλεται στη πλήρη πλήρωση ήταν 2.00/1.44 φορές στις μικρές / μεγάλες περιοχές μετατοπίσεων αντίστοιχα. Η μέση προστιθέμενη αντοχή που οφείλεται στις πληρώσεις παραθύρου ήταν 1.76/1.30 φορές αντίστοιχα και δεν φαίνεται να επηρεάζεται από το μέγεθος του παραθύρου. Η μέση προστιθέμενη αντοχή που οφείλεται σε πληρώσεις θύρας ήταν 1.51/1.17 φορές αντίστοιχα και επίσης δεν φαίνεται να επηρεάζεται από το μέγεθος της θύρας. Από το Σχήμα 7δ μπορεί να εξαχθεί ότι κατά τη διάρκεια των κύκλων φόρτισης σ' όλες τις περιοχές μετατόπισης τα τοιχοπληρωμένα πλαίσια με ανοίγματα απορρόφησαν πολύ περισσότερη αθροιστική ενέργεια από εκείνη του γυμνού πλαισίου. Από το Σχήμα 7ε φαίνεται αμέσως, ότι σ' όλες τις στάθμες αναστροφής της παραμόρφωσης, όλα τα τοιχοπληρωμένα πλαίσια με ανοίγματα απορρόφησαν πολύ περισσότερη ενέργεια κανονικοποιημένη στη συνολική από κορυφή σε κορυφή μεταβολή της παραμόρφωσης του κύκλου, από εκείνη του γυμνού πλαισίου και αρκετά λιγώτερη ενέργεια από εκείνη του πλαισίου με πλήρη τοιχοπλήρωση. Από το Σχήμα 7στ φαίνεται ότι η μέση προστιθέμενη απορρόφηση ενέργειας που οφείλεται στη πλήρη πλήρωση ήταν 2.42/1.63 φορές στις μικρές/μεγάλες περιοχές, μετατοπίσεων αντίστοιχα. Η μέση προστιθέμενη απορρόφηση ενέργειας που οφείλεται στις πληρώσεις παραθύρου ήταν 2.17/1.47 φορές αντίστοιχα και δεν φαίνεται να επηρεάζεται από το μέγεθος του παραθύρου. Η μέση προστιθέμενη απορρόφηση ενέργειας που οφείλεται στις πληρώσεις θύρας ήταν 1.62/1.15 φορές αντίστοιχα και μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους της θύρας. Από το Σχήμα 7ζ είναι προφανές ότι υπάρχει μια αυξανόμενη υστερητική απόσβεση με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων. Η απορρόφηση ενέργειας αυξάνεται αρκετά πιο απότομα σε σχετικά μικρές στάθμες μετατόπισης. Αφού φθάνει σε μια μεγάλη τιμή σε απόκλιση περίπου $\gamma = 13\%$ συνεχίζει να αυξάνει με ένα πιο ομαλό κλάδο.

Στον Πίνακα 4 γίνεται σύγκριση των βασικών χαρακτηριστικών των δοκιμίων με αντίστοιχα αποτελέσματα πειραμάτων της βιβλιογραφίας (CEB 1996)

Ερευνητής	Ανοίγμα % τοιχοπλήρωσης	Μείωση αντοχής %	Μείωση δυσκαμψίας %
Polyakov(1956)	Παράθ.5.4% - 35.3%	38%-	-
Benjamin and Williams (1958)	Παράθ.11.11%	50%	Μικρή
Holmes (1961)	-	40%	-
Coul (1966)	-	Ναι	Ναι
Fiorato et al., (1970)	Παράθ.25.8%	17%	62%
	Θύρα 25.8%	32%	49%
Mallick and Garg (1971)	Παρ.6.25% άκρο (μέσο)	75%(50-25%)	85-90%(50-25%)
Liau and Lee (1977)	Θύρα 13.5% - 26.5%	50% - 41.5%	64% - 73%
Dawe and Young (1985)	Θύρα 17.5%	Μικρή	Ναι
Dawe and Seah (1988)	Θύρα 19.4%	50%	50%
Παρούσα Εργασία	Παράθ.10.4% - 20.8%	18.7%	26.3%
	Θύρα 20.8% - 41.7%	28.7%	30.3%

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκαν αποτελέσματα πειραματικών διερευνήσεων της σεισμικής συμπεριφοράς δοκιμίων τοιχοπληρωμένων πλαισίων ωπλισμένου σκυροδέματος τα οποία ήταν: δοκίμια πλαισίων αναφοράς (γυμνό πλαίσιο και πλαίσιο με πλήρη τοιχοποιία) και δοκίμια τοιχοπληρωμένων πλαισίων με τοιχοποιία που φέρει κεντρικό άνοιγμα παραθύρου ή θύρας μεταβαλλόμενου πλάτους.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνεισφορά των τοιχοποιιών πλήρωσης με κεντρικά τοποθετημένα ανοίγματα μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη συμπεριφορά των πλαισίων ωπλισμένου σκυροδέματος ως προς την αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα και ικανότητα απόσβεσης ενέργειας. Αφού αποκλείστηκε η διατμητική αστοχία των στύλων και οι τοιχοπληρώσεις απαγόρευσαν στις δοκούς να καμφθούν, η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς συνέβη κοντά στο τέλος των δοκιμών.

Τα ανοίγματα μορφής κεντρικού παραθύρου σε ποσοστό 10.4% έως 20.8% της επιφάνειας της πλήρωσης προκαλούν μέση μείωση της πλευρικής αντίστασης κατά 18.7% και της αρχικής δυσκαμψίας κατά 26.3%. Τα ανοίγματα μορφής κεντρικής θύρας σε ποσοστό 20.8% έως 41.7% της επιφάνειας της πλήρωσης προκαλούν μέση μείωση της πλευρικής αντίστασης κατά 28.7% και της αρχικής δυσκαμψίας κατά 30.3%.

Οι τοιχοπληρώσεις που φέρουν ανοίγματα ρηγματώθηκαν και αποχωρίστηκαν από το περιβάλλον πλαίσιο αρκετά νωρίς, σε γωνιακές παραμορφώσεις κάτω της τιμής πρώτης διαρροής του οπλισμού των στύλων. Καθώς η ρηγμάτωση των τοιχοπληρώσεων αρχίζει να συμβάλλει στην απορρόφηση ενέργειας σε χαμηλά επίπεδα πλευρικής μετακίνησης ενώ η ανελαστική συμπεριφορά του πλαισίου αρχίζει να συμβάλλει στην απορρόφηση ενέργειας σε υψηλά επίπεδα πλευρικής μετακίνησης, η συνεισφορά των τοιχοπληρώσεων που φέρουν ανοίγματα στην απορρόφηση ενέργειας μειώνεται με την αύξηση της επιβαλόμενης μετακίνησης ενώ εκείνη του πλαισίου παραμένει σταθερή. Τελικά το ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας που απορροφάται μέσω υστέρησης αυξάνει με την αύξηση της μετατόπισης επειδή αυξάνει η απορρόφηση ενέργειας στα στοιχεία Ω/Σ. Στη πραγματικότητα οι τοιχοπληρώσεις και όχι τα πλαίσια θέτουν ένα πάνω όριο στην απορρόφηση ενέργειας το οποίο εξαντλείται σε μικρού εύρους μετατοπίσεις.

5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Comite Euro - International du Beton. 1996. *Reinforced Concrete Infilled frames (Chapter 5). RC Frames under Earthquake Loading – State of the art report*. London: Thomas Telford: 231-284

Dritsos, S.E. 2005. Seismic Retrofit of Buildings. A Greek Perspective. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol.38, No. 3, September: 165-181

FEMA 306. 1999. *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings - Basic Procedures Manual. Chapter 8: Infilled Frames*. prepared by ATC, California: 183-213

FEMA 356. 2000. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Chapter 7: Masonry*. Washington, DC: 7.23-7.29

Fiorato, A.E. et al. 1970. *An investigation of the interaction of reinforced concrete frames with masonry filler walls*. University of Illinois, Urbana. IL: Civil Engineering Studies, Struct. Res. Series No. 370: 117

Gergely, P., White, R.N., & Mosalam, K.M. 1994. Evaluation and Modeling of Infilled Frames. *Proceedings of the NCEER Workshop on Seismic Response of Masonry Infills*, D.P. Abrams editor. National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-94-0004: 1-51 to 1-56

Hamburger, R.O. & Chakradeo, A.S. 1993. Methodology for seismic capacity evaluation of steel-frame buildings with infill unreinforced masonry. *Proceedings of the 1993 National Earthquake Conference, Earthquake Hazard Reduction in the Central and Eastern United States: A Time for Examination and Action, Memphis, Tennessee*, II: 173-182

Κακαλέτσης, Δ.Ι. & Καραγιάννης, Χ.Γ. 2003. Πειραματική Διερεύνηση υπό κυκλική φόρτιση πλαισίων Ω/Σ με τοιχοπλήρωση με άνοιγμα. *14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως*: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος, Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου, Τόμ. Α: 474-483

Karayannis, C.G., Kakaletsis D.J. & Favvata M.J. 2005. Behavior of bare and masonry infilled R/C frames under cyclic loading. Experiments and analysis. *Proceedings of the Fifth International Conference on Earthquake Resistant Engineering Structures, Skiathos*: Wessex Institute of Technology, Un. of Patras, Aristotele Un. of Thessaloniki, National Technical Un. of Athens: 429-438

Maghaddam, H.A. & Dowling, P.J. 1987. *The State of the Art in Infilled Frames*. London: Civil Engineering Department, Imperial College, ESEE Research Report No, 87-2 : 231-284.3

Mallick, D.V. & Garg, R.P. 1971. Effect of openings on the lateral stiffness of infilled frames. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, 49: 193-209

Mander, J.B. & Nair, B. 1994. Seismic Resistance of Brick-Infilled Steel Frames With and Without Retrofit. *The Masonry Society Journal*, V12, N2: 24-37

Mehrabi, A.B. et al. 1996. Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 122: 228-237

Valiasis, T. & Stylianidis, K. 1989. Masonry infilled R/C frames under horizontal loading. Experimental results. *Europ. Earthq. Engng*, III, 3: 10-20