

Διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων ενισχυμένων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων

Αντώνης Ζαμπογιάννης

Πτυχ. Μηχανικός Δομικών Έργων Τ.Ε., azampog@gmail.com

Κωνσταντίνος Ρεπαπής

Επίκουρος Καθηγητής, Δρ. Πολ. Μηχ., MSc, DIC, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ., creparis@puas.gr

Κωνσταντίνος Δημάκος

Καθηγητής, Δρ. Πολ. Μηχ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ., cdem@puas.gr

Εκτενής περίληψη

Ένα σημαντικό ποσοστό των υφιστάμενων κατασκευών της χώρας είναι μελετημένα και κατασκευασμένα σύμφωνα με τους παλαιότερους κανονισμούς. Μια συνήθης μορφή ενίσχυσης αυτών των κτιρίων, τα οποία έχουν συνήθως φέροντα οργανισμό πλαισιακής μορφής, είναι η προσθήκη τοιχωμάτων. Η προσθήκη τοιχωμάτων βελτιώνει την σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής, μειώνει πιθανά προβλήματα λόγω ακανονικότητας σε κάτοψη ή καθ' ύψος, αυξάνει σημαντικά την δυσκαμψία της, μειώνει τις μετακινήσεις και ανακουφίζει τα υπόλοιπα στοιχεία της κατασκευής. Τα τοιχώματα αυτά σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς πρέπει να είναι συνεχή καθ' ύψος. Ωστόσο, η τοποθέτηση τοιχωμάτων καθ' ύψος μπορεί να προκαλέσει λειτουργικά προβλήματα και να μην είναι εφικτή από αρχιτεκτονικής πλευράς.










Στην βιβλιογραφία έχει προταθεί η λύση της ενίσχυσης μέσω κατακόρυφων μετατεταγμένων δίσκων κατασκευασμένων από τοιχώματα Ω.Σ. ή μέσω μεταλλικών δικτυωτών συνδέσμων. Οι Αθανατοπούλου και Παπαδόπουλος (1996), οι Μπάμπουκας και Αβραμίδης (2006), οι Μπάμπουκας κ.α. (2006, 2009) με μια σειρά τόσο ελαστικών όσο και ανελαστικών αναλύσεων σε επίπεδα πλαίσια, πρότυπα κτίρια αλλά και σε υφιστάμενο κτίριο, έδειξαν ότι η εν λόγω τεχνική δεν υστερεί έναντι της συνεχούς διάταξης. Αντίθετα, οι αναλύσεις έδειξαν ότι τόσο η μετακίνηση των ορόφων όσο και τα εντατικά μεγέθη τέμνουσας και ροπής των τοιχωμάτων παρουσιάζουν σημαντική μείωση. Από τον διεθνή χώρο οι Kameshwari *et al.* (2011), οι Shamsai *et al.* (2012), οι Madan *et al.* (2015), οι Gurta & Madan (2015), οι Kim *et al.* (2016), διερεύνησαν την επιρροή διαφόρων μετατάξεων τοιχωμάτων σε ποικίλων ειδών και αριθμού ορόφων κτίρια. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι οι μετακινήσεις και οι σχετικές μετακινήσεις παρουσιάζουν την μεγαλύτερη μείωση όταν τα τοιχώματα τοποθετούνται σε διαγώνια διάταξη ή σε μορφή X και Z.

Σημαντικό στοιχείο στην μελέτη και εφαρμογή μιας εμφάνωσης είναι η γνώση της συμπεριφοράς ενός τέτοιου στοιχείου. Ο Στρεπέλιος (2012) και οι Περγικάρης κ.α. (2012) διερεύνησαν την συμπεριφορά της εμφάνωσης, εξετάζοντας τρόπους σύνδεσης του τοιχώματος με το περιβάλλον πλαίσιο, το βαθμό μονολιθικότητας του σύνθετου στοιχείου και την αξιοπιστία των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των εμφανιζόμενων τοιχωμάτων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται αναλυτική και πειραματική διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής με μετατεταγμένα τοιχώματα. Πραγματοποιήθηκαν ελαστικές αναλύσεις ιστορίας με χρήση του λογισμικού ETABS. Για τις δυναμικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν επτά καταγραφές σεισμών τόσο του Ελλαδικού χώρου όσο και διεθνείς.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φαίνονται στον Πίνακα 1. Δυσμενέστερη μορφή μετάταξης είναι η STAG_WITH2 στην οποία η αύξηση των μετακινήσεων φτάνει έως 103% για τον σεισμό της Κορίνθου. Αποδοτικότερες μορφές μετάταξης οι STAG_DIAG και STAG_DIAG2 με μείωση των μετακινήσεων που φτάνει το 81%. Στη βάση του τοιχώματος ισογείου, οι ροπές παρουσιάζουν σημαντική μείωση ενώ οι τέμνουσες εμφανίζουν αυξομειώσεις ανάλογα της διάταξης και της σεισμικής διέγερσης. Συμπληρωματικά έγιναν αναλύσεις σε παραλλαγές του πλαισίου με ακανονικότητες καθ' ύψος (αύξηση μαζών σε κάποιες στάθμες, εσοχή των ανωτέρων ορόφων), από τις οποίες φάνηκε ότι η ενίσχυση μέσω μετάταξης τοιχωμάτων παραμένει εξίσου αποδοτική σε ότι αφορά στην μέγιστη μετακίνηση οροφής.

Πίνακας 1 Ποσοστό μεταβολής (%) της μέγιστης μετακίνησης οροφής των κτιρίων με διάφορες περιπτώσεις μετάταξης τοιχωμάτων σε σχέση με το κτίριο με την συνεχή καθ' ύψος διάταξη τοιχωμάτων (BASE). (θετικές τιμές για μείωση).

									
Σεισμική διέγερση	Stag_Storey2	Stag_Storey3	Stag_Storey4	Stag_Storey5	Stag_With1	Stag_With2	Stag_Diag	Stag_Diag2	Stag_Rand
ChiChi	0.27	16.11	16.64	23.62	36.78	-14.63	64.30	57.99	30.87
Θεσσαλον.	-4.69	13.84	30.20	29.00	53.91	-44.77	74.61	69.55	57.04
Λευκάδα	-13.28	1.67	7.54	6.91	54.20	-48.71	77.10	76.48	46.71
Κόρινθος	-22.23	9.77	13.31	15.46	60.38	-102.69	66.38	62.08	47.23
Αίγιο	-6.82	16.23	25.02	25.33	56.48	-27.35	56.03	60.27	48.26
Northridge	-16.16	21.72	28.01	30.27	59.74	11.42	81.03	80.83	60.91
Kobe	-14.50	7.59	12.10	13.13	39.27	-38.93	48.34	46.23	39.10

Πραγματοποιήθηκαν, επίσης, μικρής κλίμακας πειράματα σε σεισμική τράπεζα Quanser Shake Table II. Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων στην σεισμική τράπεζα κατασκευάστηκε προσομοίωμα επιπέδου πλαισίου 5 ορόφων και 4 φατνωμάτων. Το προσομοίωμα έχει μήκος 100 cm και ύψος 129 cm. Τα κατακόρυφα στοιχεία είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο διατομής 100mm x 1mm και ύψους 250mm, τα δε οριζόντια στοιχεία από μοριοσανίδα (MDF) πάχους 8mm. Στο παραπάνω προσομοίωμα δεν έχουν εφαρμογή οι απαιτήσεις ομοιότητας σύμφωνα με την διαστατική ανάλυση (Harris and Sabnis 1999; Μπούσιας 2015). Στόχος είναι η σύγκριση των παραμορφώσεων, μετακινήσεων και επιταχύνσεων μεταξύ των διαφόρων περιπτώσεων μετάταξης, η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της μετάταξης και ο εντοπισμός των παραγόντων που την επηρεάζουν.

Το προσομοίωμα υποβλήθηκε σε διέγερση βάσης με σάρωση ημιτόνου καθώς και προσομοίωση των σεισμικών διεγέρσεων του El Centro (1940), Kobe (1995) και Northridge (1994). Κατά την διάρκεια των πειραμάτων, τρεις επιταχυνσιογράφοι, τοποθετημένοι στην βάση της κατασκευής, στην οροφή του κτιρίου και στην οροφή του 2^{ου} ορόφου, κατέγραφαν τις επιταχύνσεις. Η πειραματική διερεύνηση βρίσκεται σε εξέλιξη. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την διερεύνηση των διατάξεων BASE, STAG_STOREY2 και STAG_RAND. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Καταγεγραμμένες μέγιστες επιταχύνσεις οροφής και υπολογιζόμενη μετακίνηση οροφής.

Σεισμική διέγερση	BASE		STAG_STOREY2		STAG_RAND	
	Μέγιστη επιτάχυνση οροφής (m/s ²)	Μέγιστη μετακίνηση οροφής (cm)	Μέγιστη επιτάχυνση οροφής (m/s ²)	Μέγιστη μετακίνηση οροφής (cm)	Μέγιστη επιτάχυνση οροφής (m/s ²)	Μέγιστη μετακίνηση οροφής (cm)
El Centro	21.40	9.05	17.60	5.91	20.35	5.45
Kobe	39.94	18.24	32.60	14.12	34.41	13.51
Northridge	19.87	9.31	23.51	10.43	21.60	6.78

Στις καταγραφές του El Centro και Kobe, στις μετατεταγμένες διατάξεις παρουσιάζεται μείωση των καταγεγραμμένων επιταχύνσεων από 4.9% έως 18.4% και των αντίστοιχων υπολογιζόμενων

μετακινήσεων από 22.6% έως 39.8% σε σχέση με την συνεχή καθ' ύψος ενίσχυση. Αντίθετα, για την περίπτωση της καταγραφής του Northridge παρουσιάζεται αύξηση των επιταχύνσεων στις μετατεταγμένες διατάξεις. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων, τα οποία διερευνήθηκαν και αναλυτικά, επιβεβαιώνουν την βελτιωμένη συμπεριφορά που παρουσιάζουν στις αναλύσεις τα ενισχυμένα κτίρια με τοιχώματα τυχαίας καθ' ύψος τοπολογίας σε σχέση με εκείνα που έχουν συνεχή καθ' ύψος τοιχώματα.

Τόσο από τις αναλύσεις, όσο και από τα πειράματα μικρής κλίμακας προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ενίσχυση με την μέθοδο κατακόρυφων μετατεταγμένων δίσκων παρουσιάζει ενδιαφέρον, δείχνει να έχει πλεονεκτήματα έναντι των κλασσικών μεθόδων ενίσχυσης (όπως η ενίσχυση με μανδύες ή με συνεχή τοιχώματα καθ' ύψος) και αξίζει να διερευνηθεί περαιτέρω. Σε εξέλιξη είναι μη γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των υποστυλωμάτων που στηρίζουν μετατεταγμένα τοιχώματα και των δοκών στα επίπεδα μετάταξης.

Βιβλιογραφία

- Αθανατοπούλου Α. και Παπαδόπουλος Π. (1996), «Σεισμική συμπεριφορά κτιρίων με αντισεισμικά τοιχώματα τυχαίας καθ' ύψος τοπολογίας», *Πρακτικά 12^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος*, Λεμεσός, Τόμος II, 295 - 305.
- Μπάμπουκας Ε.Ν. και Αβραμίδης Ι.Ε. (2006), «Ενισχύσεις υφιστάμενων κτιρίων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων», *Πρακτικά 15^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος*, Αλεξανδρούπολη.
- Μπάμπουκας Ε.Ν., Αβραμίδης Ι.Ε. και Μορφίδης Κ.Ε. (2009), «Ανελαστική συμπεριφορά κτιρίων προσεισμικά ενισχυμένων με την τεχνική των μετατεταγμένων δίσκων», *Πρακτικά 16^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος*, Πάφος, Κύπρος.
- Μπάμπουκας Ε.Ν., Μορφίδης Κ.Ε. και Αβραμίδης Ι.Ε. (2008), «Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία», *Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας*, Αθήνα.
- Μπούσιας Ε. (2015), Σημειώσεις μαθήματος «Πειραματικές Μέθοδοι Σεισμικής Μηχανικής», Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Περδικάρης Φ., Μωρέττη Μ., Παπαθεοχάρης Θ. (2012), «Διερεύνηση της συμπεριφοράς πλαισίων Ο.Σ. Ενισχυμένων με εμφαντούμενα τοιχώματα Ο.Σ.», Τελική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα.
- Στρεπέλιας Η. (2012), «Ενίσχυση υφιστάμενων πλαισιακών κατασκευών με εμφάντωση από Ο.Σ. – Πειραματική και αναλυτική διερεύνηση», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ETABS (2015), User's Guide, Computers and Structures, Inc. (CSI), Berkeley, California, USA.
- Gupta, B. and Madan, S. K. (2015), "Study of Different Staggered Shear Wall Configurations on Seismic Performance of RCC Framed Buildings", *Proceedings of the 2nd World Congress on Disaster Management (WCDM)*, Visakhapatnam, India.
- Harris, H. and Sabnis, G. (1999), "Structural Modeling and Experimental Techniques", CRC Press.
- Kameshwari, B., Elangovan, G., Sivabala, P. and Vaisakh, G. (2011), "Dynamic response of high rise structures under the influence of discrete staggered shear walls", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(10), pp. 7789-7798.
- Kim, J., Jun, Y. and Kang, H. (2016), "Seismic Behavior Factors of RC Staggered Wall Buildings", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 10(3), pp. 355-371.
- Madan, S. K., Malik, R. S. and Sehgal, V. K. (2015), Seismic Evaluation with Shear Walls and Braces for Buildings, World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 9(2), pp. 185-188.
- Seismosignal (2016), Seismosoft, L.T.D. Pavia, Italy.
- Shake Table II (2007), User Manual, Quanser Inc., Canada.
- Shamsai, A., Rahemi, L., Rahmani, K. and Peroti, S. (2012), "Arrangements of Shear Walls in Control of Lateral Displacement of Concrete Frames", *World Applied Sciences Journal*, 17(10), pp. 1324-1330.