

Επιρροή του προσανατολισμού της σεισμικής δράσης στη βλάβη πολύροφων κτιρίων Ο/Σ

Κωνσταντίνος Κωστινάκης

Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., email: kkostina@civil.auth.gr

Κωνσταντίνος Μορφίδης

Εντεταλμένος Ερευνητής ΟΑΣΠ/ΙΤΣΑΚ, email: konmorf@gmail.com

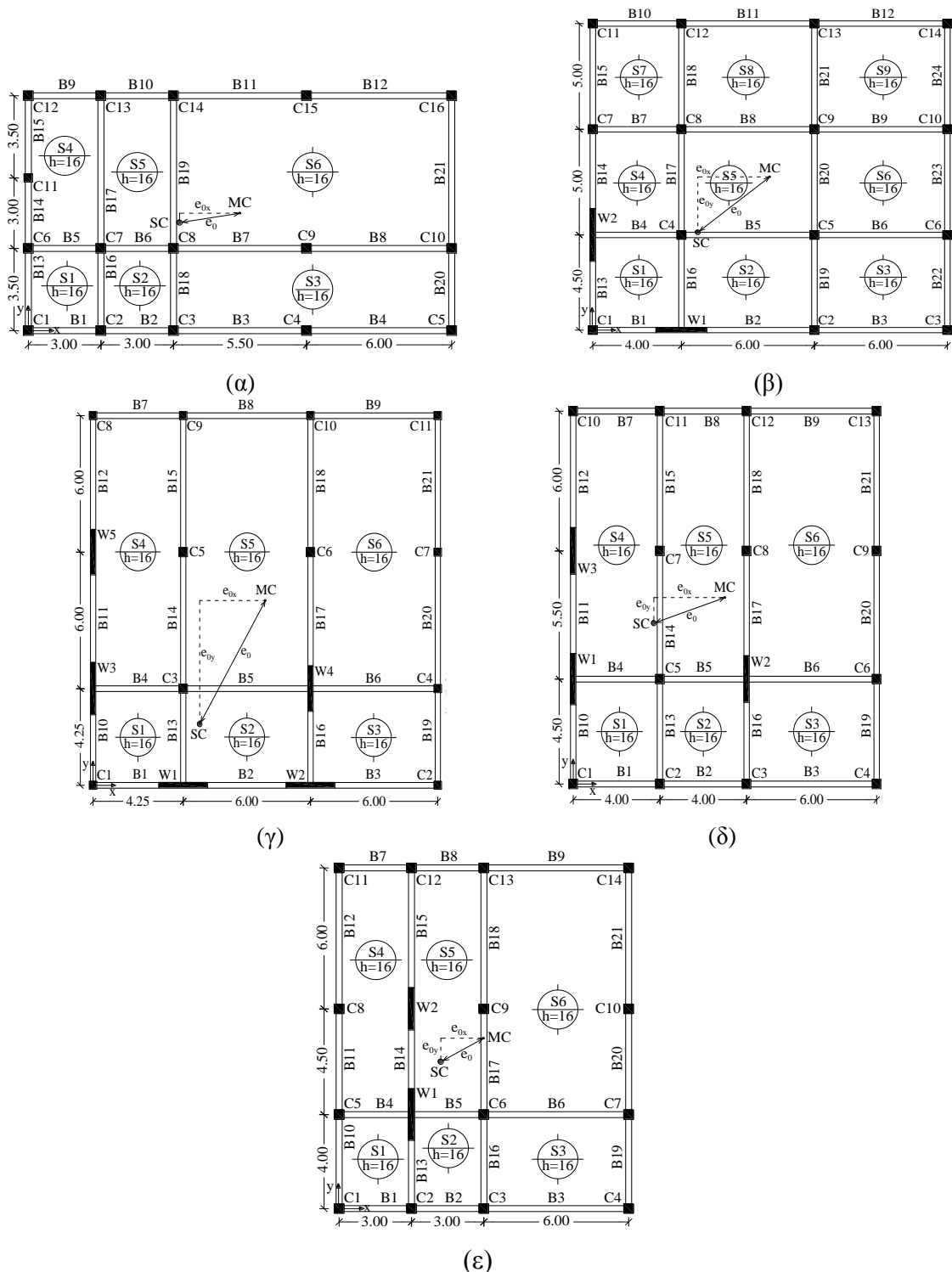
Εκτενής περίληψη

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών παρατηρείται παγκοσμίως μια προσπάθεια εκτίμησης της αντισεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων, καθώς και του επιπέδου των βλαβών που θα εμφανιστούν κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού γεγονότος, ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες αποφάσεις σχετικά με την αποκατάσταση ή την ενίσχυσή τους. Για την αποτίμηση της σεισμικής βλάβης των υφιστάμενων κτιρίων, καθώς και για τον σχεδιασμό των μέτρων ενίσχυσής τους όπως επίσης και για τον σχεδιασμό νέων, οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί (EC8, FEMA-356, ASCE/SEI 41-06) εισάγουν μεθοδολογίες που βασίζονται στη χρήση μη γραμμικών μεθόδων ανάλυσης, η ακριβέστερη από τις οποίες είναι η ανελαστική ανάλυση με χρονική ολοκλήρωση (Nonlinear Time History Analysis).

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου ανάλυσης επηρεάζεται σημαντικά από μια σειρά από παραμέτρους, όπως είναι τα ιδιαίτερα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα χαρακτηριστικά των σεισμικών καταγραφών που θα χρησιμοποιηθούν και η διεύθυνση εφαρμογής της σεισμικής δράσης. Η τελευταία παράμετρος είναι ιδιαίτερος κρίσιμη και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη διαδικασία εκτίμησης της σεισμικής βλάβης, καθώς, όπως αποδείχτηκε από παλιότερες έρευνες (Rigato and Medina, 2007; Kostinakis et al., 2013; Fontara et al., 2015), η επίδρασή της στην ανελαστική απόκριση των κτιρίων μπορεί να είναι πολύ σημαντική. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι οι συγκεκριμένες προσπάθειες που έχουν γίνει με στόχο να διερευνηθεί η επίδραση της διεύθυνσης της σεισμικής δράσης στο επίπεδο βλαβών κτιρίων Ο/Σ δεν εξέτασαν την επιρροή των δομικών χαρακτηριστικών των κτιρίων που καθορίζουν τη σεισμική τους συμπεριφορά (δομική εκκεντρότητα, ύπαρξη τοιχωμάτων, αριθμός ορόφων κ.τ.λ.), καθώς και τις μεθόδους ποσοτικοποίησης της βλάβης.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επίδραση του προσανατολισμού της σεισμικής δράσης στη βλάβη πολύροφων κτιρίων Ο/Σ με διάφορα δομικά συστήματα. Για τις ανάγκες της έρευνας επιλέχθηκαν πέντε ασύμμετρα κτίρια Ο/Σ μέσου ύψους, τα οποία σχεδιάστηκαν και διαστασιολογήθηκαν με τη βοήθεια του EC2 και του EC8. Οι κατόψεις των τυπικών ορόφων των κτιρίων απεικονίζονται στο σχήμα 1. Η επιλογή των κτιρίων έγινε με στόχο από τη μια να αποτελούν τυπικούς φορείς του ελλαδικού χώρου και από την άλλη να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα δομικών συστημάτων. Οι δομικές παράμετροι που εξετάστηκαν είναι η ύπαρξη ή όχι τοιχωμάτων, το ποσοστό της τέμνουσας βάσης που παραλαμβάνεται από τα τοιχώματα, η δομική εκκεντρότητα, καθώς και η ύπαρξη ή όχι στρεπτικής ευαισθησίας. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα εξής κτίρια:

- Κτίριο αμιγώς πλαισιακό
- Κτίριο με διπλό σύστημα ισοδύναμο προς πλαισιακό και στις δύο διευθύνσεις
- Κτίριο με διπλό σύστημα ισοδύναμο προς σύστημα τοιχωμάτων και στις δύο διευθύνσεις
- Κτίριο με διπλό σύστημα ισοδύναμο προς σύστημα τοιχωμάτων στη μια διεύθυνση και πλαισιακό στην άλλη
- Κτίριο στρεπτικώς ευαίσθητο



Σχ. 1: Κατόψεις τυπικών ορόφων των πέντε πολώροφων κτιρίων Ο/Σ (MC: κέντρο μάζας, SC: ίχνος πλασματικού ελαστικού άξονα)

(α) ΑΣΠκγ, (β) ΑΔΣΠκγ, (γ) ΑΣΤκγ, (δ) ΑΣΠκΣΤγ, (ε) ΑΣΕ

Τα κτίρια υποβλήθηκαν σε ανελαστικές αναλύσεις με χρονική ολοκλήρωση χρησιμοποιώντας 100 σεισμικές διεγέρσεις τόσο μακρινού (far-fault) όσο και κοντινού (near-fault) πεδίου, οι οποίες περιγράφονται από ζεύγη επιταχυνσιογραφημάτων κατά μήκος δύο ορθογωνίων, οριζοντίων αξόνων. Η επιλογή των καταγραφών έγινε με στόχο να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα σεισμικών

χαρακτηριστικών, όπως είναι το γεωτεκτονικό περιβάλλον, ο μηχανισμός γένεσης των σεισμών, το μέγεθος του σεισμού στην κλίμακα Mercalli και η απόσταση του σημείου καταγραφής από το ρήγμα. Ακολούθησε αναγωγή (scaling) των διεγέρσεων σε κοινό επίπεδο σεισμικής έντασης με τη χρήση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους, όπως ορίζει ο EC8. Επιπλέον, οι άξονες καταγραφής των σεισμικών διεγέρσεων στράφηκαν ως προς τους κατασκευαστικούς άξονες αναφοράς των κτιρίων από 0° έως 360° με βήμα 5°. Συνεπώς, στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν συνολικά 36.000 (5 κτίρια x100 σεισμικές καταγραφές x 72 γωνίες σεισμικής διέγερσης) ανελαστικές αναλύσεις με χρονική ολοκλήρωση. Για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς έναντι σεισμού των πέντε κτιρίων που μελετήθηκαν υπολογίστηκαν τα παρακάτω μεγέθη απόκρισης: Μέγιστη Σχετική Μετακίνηση Ορόφου (ΜΣΜΟ), Μέση Σχετική Μετακίνηση (ΜΣΜ) και Ολικός Δείκτης Βλάβης κατά Park & Ang (1985) (ΟΔΒ).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η διεύθυνση της σεισμικής διέγερσης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη διαδικασία εκτίμησης της σεισμικής βλάβης, καθώς, όπως έδειξαν οι αναλύσεις, η επίδρασή της στην ανελαστική απόκριση των κτιρίων μπορεί να είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δομικού συστήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι η επίδραση της γωνίας διέγερσης στη σεισμική βλάβη είναι ισχυρότερη όταν χρησιμοποιούνται καταγραφές κοντινού πεδίου, καθώς και όταν η αποτίμηση της σεισμικής βλάβης πραγματοποιείται με τη βοήθεια του ΟΔΒ.
- Η κοινή πρακτική εφαρμογής των επιταχυνσιογραφημάτων κατά μήκος των κατασκευαστικών αξόνων των κτιρίων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική υποεκτίμηση της σεισμικής βλάβης. Πιο συγκεκριμένα, η μέση υποεκτίμηση της βλάβης για τους σεισμούς που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία μπορεί να φτάσει τις τιμές 122%, 82% και 52% όταν για την εκτίμησή της χρησιμοποιείται ο ΟΔΒ, η ΜΣΜΟ και η ΜΣΜ αντιστοίχως.
- Όταν για την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης λαμβάνεται υπόψη μόνο μια διεύθυνση της διέγερσης, η επιλογή της συγκεκριμένης διεύθυνσης είναι ιδιαίτερος κρίσιμη, καθώς επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Αποδείχτηκε ότι λαμβάνοντας υπόψη τρεις μόνο διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης, τις γωνίες των 0°, 45° and 90°, η υποεκτίμηση της σεισμικής βλάβης μπορεί να περιοριστεί σημαντικά χωρίς ιδιαίτερο υπολογιστικό κόστος.

Βιβλιογραφία

- CEN (2003), "Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings", (EN-1998-1), Brussels.
- FEMA-356. "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings". Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., 2000.
- ASCE/SEI 41-06. "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings". American Society of Civil Engineers, ASCE, 2008.
- Rigato, A, Medina, R. (2007) "Influence of angle of incidence on seismic demands for inelastic single-storey structures subjected to bi-directional ground motions", *Engineering Structures*. Vol. 29, pp. 2593–2601.
- Kostinakis, K, Athanatopoulou, A. and Avramidis, I. (2013) "Evaluation of inelastic response of 3D single-story R/C frames under bi-directional excitation using different orientation schemes", *Bull Earthq Eng*. Vol. 11, pp. 637-661.
- Fontara, I-KM, Kostinakis, K. G, Manoukas, G. E. and Athanatopoulou, A. M. (2015) "Parameters affecting the seismic response of buildings under bi-directional excitation", *Structural Engineering and Mechanics* Vol. 53, No. 5, pp. 957-979.
- Park, Y. J. and Ang, A. H. S. (1985) "Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced-Concrete", *Journal of Structural Engineering-ASCE* Vol. 111, No. 4, pp. 722–739.