

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκαν αρχικά παραμετρικές αναλύσεις για τη διερεύνηση της επιρροής της διεύθυνσης διέγερσης στα μεγέθη απόκρισης λόγω δύο οριζόντιων συζευγμένων συνιστωσών του σεισμού κατά τη μέθοδο ανάλυσης με χρονική επαλληλία των ιδιομορφών (response history ή time history analysis). Η διερεύνηση αυτή καθίσταται απαραίτητη καθώς στους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς δε διευκρινίζεται για τέτοιου είδους αναλύσεις, η διεύθυνση που πρέπει να εφαρμοσθούν οι δύο οριζόντιες και κάθετες μεταξύ τους σεισμικές συνιστώσες. Αναφέρεται μόνον επιγραμματικά ότι τα επιταχυνσιογραφήματα επιτρέπεται να εφαρμοσθούν κατά τους άξονες  $x$  και  $y$  που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή της γεωμετρίας του φορέα (structural axes), εφόσον αυτοί υπάρχουν, ενώ όταν το κτίριο έχει ακανόνιστη κάτοψη δεν αναφέρονται συγκεκριμένες διευθύνσεις εφαρμογής των συνιστωσών του σεισμού. Στη συνέχεια της Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκαν περαιτέρω παραμετρικές αναλύσεις για τη σύγκριση τριών διαφορετικών μεθόδων διαστασιολόγησης ως προς το ποσοστό του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού ενός δομικού στοιχείου. Αξίζει εδώ να τονιστεί ότι στις διατάξεις των αντισεισμικών κανονισμών δε διευκρινίζεται ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να γίνει η διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων στην περίπτωση που εφαρμόζεται η ανάλυση με χρονική επαλληλία των ιδιομορφών.

Για τις παραμετρικές αναλύσεις μελετήθηκε μια σειρά φορέων οι οποίοι διαφοροποιούνται ως προς τη συμμετρία της κάτοψης και τον αριθμό των ορόφων τους. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν συνολικά δέκα φορείς: διπλά συμμετρικό σε κάτοψη κτίριο (μονώροφο, πενταώροφο και δεκαώροφο), μονοσυμμετρικό σε κάτοψη κτίριο (μονώροφο, πενταώροφο και δεκαώροφο), ασύμμετρο σε κάτοψη κτίριο (πενταώροφο και δεκαώροφο), μη κανονικό σε κάτοψη και τομή κτίριο (πενταώροφο και δεκαώροφο). Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγινε χρήση του προγράμματος SAP2000 Nonlinear v7.44 και εφαρμόστηκε γραμμική ελαστική μέθοδος.

Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν οι δύο οριζόντιες καταγραφές των επιταχύνσεων από οκτώ (8) διαφορετικούς σεισμούς: El Centro, Loma Prieta, Kobe, Northridge, Landers, Mexico, Αίγιο και Καλαμάτα. Οι δύο οριζόντιες καταγραφές του κάθε σεισμού εφαρμόστηκαν κατά μήκος δύο οριζόντιων και κάθετων μεταξύ τους διευθύνσεων που σχηματίζουν γωνία με τους άξονες του κτιρίου η οποία μεταβάλλεται από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  ανά  $10^\circ$ .

Τα μεγέθη απόκρισης που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της επιρροής της διεύθυνσης διέγερσης είναι το αξονικό φορτίο  $N$  και οι ροπές  $M_x$  και  $M_y$  (ή  $M_2$  και  $M_3$  αντίστοιχα) υπολογισμένες στον πόδα ενός συγκεκριμένου κατακόρυφου στοιχείου καθώς και η μετακίνηση  $\delta$  στην κορυφή του ίδιου στοιχείου στον ανώτατο όροφο. Για κάθε μέγεθος απόκρισης η μεγαλύτερη από αυτές τις τιμές εμφανίζεται για κάποια γωνία η οποία ονομάζεται κρίσιμη. Η μεταβολή της μέγιστης τιμής των μεγεθών απόκρισης με τη γωνία για τους διάφορους σεισμούς δίνεται σε μορφή πίνακα και διαγράμματος. Επίσης, υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε μορφή ραβδογράμματος οι αποκλίσεις Relative Variation X (RVX) και Maximum Relative Variation (MRV). Η RVX ισούται με το ποσοστό απόκλισης (%) της μέγιστης τιμής του μεγέθους απόκρισης (για την κρίσιμη γωνία) από την τιμή του ίδιου μεγέθους που προκύπτει για διεύθυνση διέγερσης παράλληλη με τους άξονες  $x$  και  $y$  του κτιρίου (γωνία  $0^\circ$ ). Η MRV ισούται με το ποσοστό απόκλισης (%) της μέγιστης τιμής του μεγέθους απόκρισης (για την κρίσιμη γωνία) από την ελάχιστη κατά απόλυτο τιμή του ίδιου μεγέθους που προκύπτει για τυχούσα γωνία.

Μετά τον υπολογισμό μέσω του SAP2000 της κρίσιμης γωνίας και της μέγιστης τιμής του μεγέθους απόκρισης που αντιστοιχεί στη γωνία αυτή, τα αποτελέσματα επαληθεύθηκαν

θεωρητικά με τη βοήθεια τύπων. Ειδικά για τους τέσσερις από τους δέκα τύπους κτιρίων έγιναν επιπλέον αναλύσεις για τον έλεγχο της επιρροής της μεταβολής της ιδιοσυχνότητας των κτιρίων καθώς και της μεταβολής του πολλαπλασιαστή  $c$  των επιταχυνσιογραφημάτων στην τιμή της κρίσιμης γωνίας και στις μέγιστες τιμές των εντατικών μεγεθών.

Στη συνέχεια για τους τέσσερις τύπους πενταώροφου κτιρίου που μελετήθηκαν, πραγματοποιήθηκε σύγκριση του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού ενός υποστυλώματος όπως προκύπτει από τρεις διαφορετικές μεθόδους διαστασιολόγησης. Κατά την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοαποκρίσεις των εντατικών μεγεθών  $N$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  που προέκυψαν από ανάλυση με συνιστώσες της σεισμικής διέγερσης παράλληλες με τους κατασκευαστικούς άξονες του κτιρίου (structural axes). Συγκεκριμένα για την 1<sup>η</sup> μέθοδο υπολογίστηκαν οι χρονοαποκρίσεις των τάσεων στις τέσσερις γωνίες της διατομής του γωνιακού υποστυλώματος που μελετήθηκε και με βάση τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους προέκυψαν οι τιμές των εντατικών μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν στη διαστασιολόγηση. Κατά την 2<sup>η</sup> μέθοδο προσδιορίστηκαν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή όλων των εντατικών μεγεθών ( $\max N$ ,  $\min N$ ,  $\max M_2$ ,  $\min M_2$ ,  $\max M_3$ ,  $\min M_3$ ) ο συνδυασμός των οποίων έδωσε τις αντίστοιχες τριάδες εντατικών μεγεθών. Κατά την 3<sup>η</sup> μέθοδο υπολογίστηκε η κρίσιμη γωνία για κάθε τάση (μέγιστη και ελάχιστη) καθώς και η τιμή της τάσης που αντιστοιχεί στη γωνία αυτή. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι τριάδες των εντατικών μεγεθών που αντιστοιχούν στη χρονική στιγμή που εμφανίζεται η κάθε μέγιστη και ελάχιστη τάση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για κάθε μέθοδο διαστασιολόγησης σε μορφή πίνακα και οι αποκλίσεις μεταξύ τους σε μορφή ραβδογράμματος.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων τα σημαντικότερα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα εξής:

- Για κάθε τύπο κτιρίου η τιμή της κρίσιμης γωνίας ενός μεγέθους απόκρισης είναι διαφορετική για κάθε σεισμό.
- Για κάθε τύπο κτιρίου η τιμή της κρίσιμης γωνίας για έναν συγκεκριμένο σεισμό είναι διαφορετική για κάθε μέγεθος απόκρισης.
- Η τιμή ενός μεγέθους απόκρισης που αντιστοιχεί στην κρίσιμη γωνία μπορεί να είναι έως και 180% μεγαλύτερη από την τιμή του συγκεκριμένου μεγέθους που προκύπτει όταν οι σεισμικές συνιστώσες εφαρμοστούν παράλληλα με τους κατασκευαστικούς άξονες (structural axes) του κτιρίου. (απόκλιση  $RVX \approx 180\%$ )
- Η τιμή ενός μεγέθους απόκρισης που αντιστοιχεί στην κρίσιμη γωνία μπορεί να είναι έως και 340% μεγαλύτερη από την ελάχιστη κατά απόλυτο τιμή του συγκεκριμένου μεγέθους που μπορεί να προκύψει όταν οι σεισμικές συνιστώσες εφαρμοστούν με τυχούσα γωνία. (απόκλιση  $MRV \approx 340\%$ )
- Η διακύμανση των αποκλίσεων  $RVX$  και  $MRV$  των μεγεθών απόκρισης δεν είναι πάντοτε ανάλογη με τον αριθμό των ορόφων ούτε και με το βαθμό ασυμμετρίας του κτιρίου.
- Η διαφοροποίηση της ιδιοσυχνότητας των κτιρίων δίνει τυχαίες και ακανόνιστες μεταβολές της κρίσιμης γωνίας και της μέγιστης τιμής των εντατικών μεγεθών.
- Η μεταβολή του πολλαπλασιαστή  $c$  των επιταχυνσιογραφημάτων έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή των μέγιστων τιμών των μεγεθών απόκρισης αναλογικά με τον πολλαπλασιαστή  $c$ , ενώ η τιμή της κρίσιμης γωνίας παραμένει αμετάβλητη.
- Η μέθοδος διαστασιολόγησης που θα επιλεγεί επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον απαιτούμενο διαμήκη οπλισμό ενός δομικού στοιχείου. Οι αποκλίσεις μεταξύ των διάφορων μεθόδων μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές και σε κάποιες περιπτώσεις να ξεπερνούν και το 100%.
- Η 3<sup>η</sup> μέθοδος διαστασιολόγησης που είναι και η πιο ορθολογιστική από όλες, δίνει σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερο ή ίσο ποσοστό απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού σε σχέση με την 1<sup>η</sup>, παρά το γεγονός ότι και οι δύο χρησιμοποιούν για τον προσδιορισμό

του απαιτούμενου οπλισμού ακραίες τάσεις. Το γεγονός αυτό εξηγείται αν ληφθεί υπόψη ότι οι τάσεις από τις οποίες προκύπτουν τα εντατικά μεγέθη της 3<sup>ης</sup> μεθόδου αναφέρονται στην κρίσιμη γωνία και συνεπώς είναι μεγαλύτερες από αυτές της 1<sup>ης</sup> μεθόδου που αναφέρονται σε γωνία 0°.

- Μεταξύ της 2<sup>ης</sup> και της 3<sup>ης</sup> μεθόδου δεν είναι σίγουρο για ποια από τις δύο θα προκύψει μεγαλύτερο ποσοστό απαιτούμενου οπλισμού. Συνεπώς η 2<sup>η</sup> μέθοδος διαστασιολόγησης που προσεγγίζει περισσότερο τη φιλοσοφία και το περιεχόμενο των κανονισμών, αφενός μεν δεν είναι πάντα προς την πλευρά της ασφάλειας, αφετέρου δε μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση.