

Συγκριτική προσέγγιση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών με τη μέθοδο της διάδοσης ελαστικών σεισμικών κυμάτων

Παναγιώτης Καρύδης

Ομότιμος Καθηγητής, Ε.Μ.Π., pkary@tee.gr

Σταύρος Μαρκαντώνης

Πολιτικός Μηχανικός, MSc Ε.Μ.Π., markantona@yahoo.gr

Εισαγωγή

Η εργασία στηρίζεται στη βασική παραδοχή ότι η σεισμική διέγερση των κατασκευών λαμβάνει χώρα σταδιακά (χρονικά και χωρικά), λόγω της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο έδαφος και την κατασκευή, έτσι επιχειρείται μία σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ της μεθόδου διάδοσης ελαστικών κυμάτων και αυτών που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου της δυναμικής φασματικής ανάλυσης (Modal Response Spectrum Method), η οποία θεωρείται ως μία αξιόπιστη μέθοδος που ακολουθείται τρεχόντως στην πράξη.

Τα σεισμικά κύματα διαδίδονται από τη θεμελίωση στο σώμα της κατασκευής. Στην κατασκευή, τα κύματα προκαλούν αφ' ενός μεν γενικές μετατοπίσεις αυτής και τα συνεπακόλουθα εντατικά μεγέθη, αφ' ετέρου δε τοπικά εντατικά μεγέθη στις θέσεις δημιουργίας κροσσών συμβολής των κυμάτων στα διάφορα φέροντα μέλη της κατασκευής. Τα σημεία εμφάνισης αυτών των κροσσών, όπου δημιουργούνται οι μέγιστες καταπονήσεις, δεν συμπίπτουν πάντοτε με τις θέσεις των μεγίστων οι οποίες προκύπτουν από συμβατικές αναλύσεις.

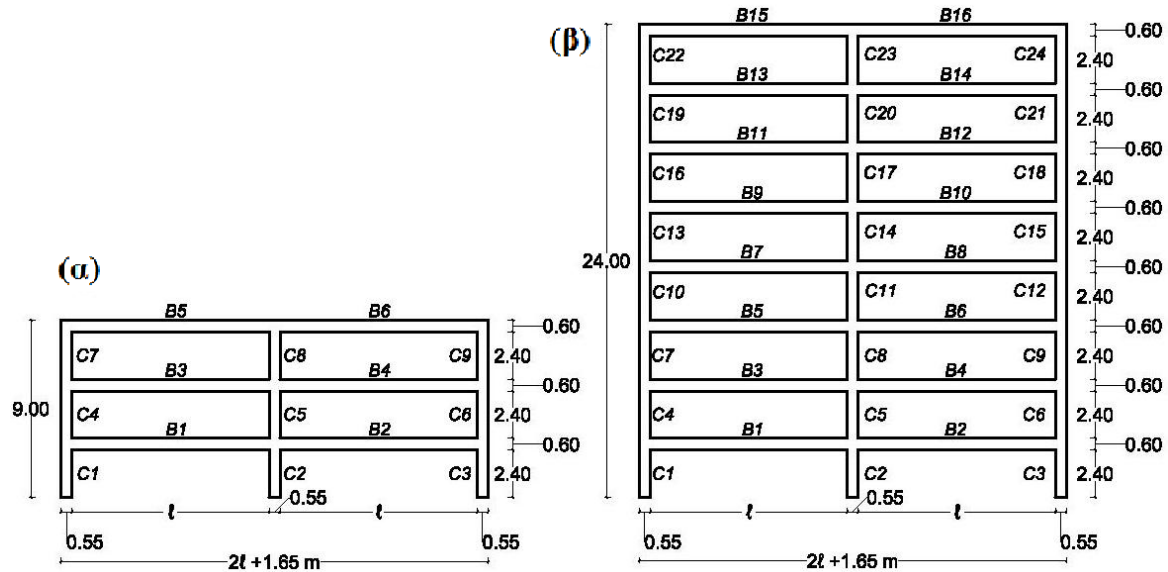
Για την αναλυτική προσέγγιση του θέματος, χρησιμοποιήθηκε αφ' ενός μεν ο προηγμένος σύγχρονος κώδικας H/Y Abaqus [1], διάδοσης ελαστικών κυμάτων σε κατασκευές, με χρήση πεπερασμένων στοιχείων, αφ' ετέρου δε ο κώδικας ScadaPro 16 [2] για τη δυναμική φασματική μέθοδο ανάλυσης. Η εφαρμογή έγινε σε επίπεδα πλαίσια και ως χρονοϊστορία διέγερσης λήφθηκαν οι δύο συνιστώσες, οριζόντια N160 και κατακόρυφη, του σεισμού της Κεφαλονιάς που καταγράφηκε ως επιταχυνσιογράφημα στο Αργοστόλι στις 3 Φεβρουαρίου 2014.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήσαν οι εξής: α) δύο ταχύτητες διάδοσης των εν λόγω χρονοϊστοριών, ήτοι: 200 και 800 (msec⁻¹), β) πέντε διαφορετικές δεσπόζουσες περίοδοι της οριζόντιας χρονοϊστορίας (κατ' αναλογίαν και της αντίστοιχης κατακόρυφης), ήτοι: 1.4 (sec), 1.0 (sec), 0.5 (sec) όσο η καταγραφείσα, 0.33 (sec) και 0.2 (sec), γ) τρεις διαφορετικές τιμές του λόγου της, κατακόρυφης προς την οριζόντια επιτάχυνση V/H, διατηρώντας πάντοτε σταθερή την οριζόντια, ήτοι: 0.59 όσο η καταγραφείσα, 2.0 και 3.0, δ) τέσσερις κατηγορίες πλαισίων, ήτοι: δύο επίπεδα τρίστυλα οκταώροφα και δύο επίπεδα τρίστυλα τριώροφα πλαίσια. Σε κάθε μία από αυτές τις δύο κατηγορίες πλαισίων, το ένα πλαίσιο έχει καθαρό άνοιγμα δοκών 4.0 (m) και το άλλο 10.0 (m) όπως φαίνεται στο Σχ. 1. Η δομική απόσβεση λήφθηκε ίση προς 5%.

Για κάθε μία από τις ως άνω πέντε χρονοϊστορίες του οριζόντιου σεισμικού κραδασμού υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα φάσματα, με βάση τα οποία έγιναν οι ονομαζόμενες επιλύσεις “αναφοράς” με ενιαία οριζόντια διέγερση των κατασκευών στη βάση τους, όπως συνήθως συμβαίνει στην πράξη και περιγράφεται από τους ισχύοντες κανονισμούς, για συνήθη κτιριακά έργα όπως συμβαίνει να είναι τα εξεταζόμενα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της

μεθοδολογίας διάδοσης ελαστικών κυμάτων, οι αντίστοιχες τιμές καλούνται ως “τιμές δοκιμών”. Η σύγκριση γίνεται χρησιμοποιώντας τους λόγους των “τιμών δοκιμών” προς τις “τιμές αναφοράς”.

Για κάθε μία από τις αναλύσεις που έγιναν, καταγράφονται σε προεπιλεγμένες κρίσιμες θέσεις ελέγχου (βλ. Σχ. 1), οι παραμορφώσεις και τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη.



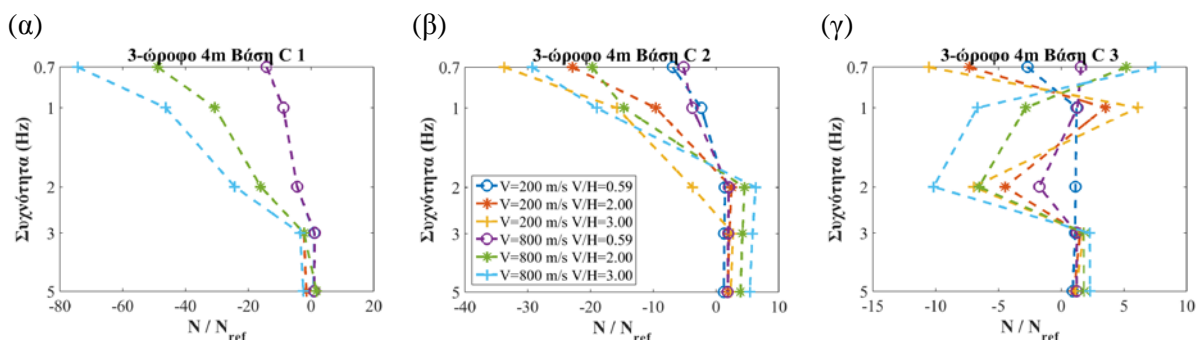
Σχ. 1 Σχηματική παράσταση των τεσσάρων επιπέδων πλαισίων που επιλύθηκαν με $l = 10.0$ και 4.0 m και των αλφαριθμητικών θέσεων ελέγχου.

Οι επιλύσεις “δοκιμών” που έγιναν με τη μέθοδο της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων ανέρχονται σε $2(\text{ταχύτητες διάδοσης}) \times 5(\text{χρονοϊστορίες}) \times 3(\text{λόγοι } V/H) \times 4(\text{είδη πλαισίων}) = 120$. Επί πλέον, οι επιλύσεις “αναφοράς” ανέρχονται σε $5(\text{χρονοϊστορίες}) \times 4(\text{είδη πλαισίων}) = 20$.

Το πλήθος των αποτελεσμάτων από τις επιλύσεις είναι εξαιρετικά μεγάλο. Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα ουσιαστικότερα εξ αυτών να παρουσιαστούν σε εποπτικά διαγράμματα, τα οποία να είναι, κατά το δυνατόν ευκόλως κατανοητά. Σε αυτή την εκτεταμένη περίληψη παρουσιάζονται ολίγα ενδεικτικά μόνον διαγράμματα.

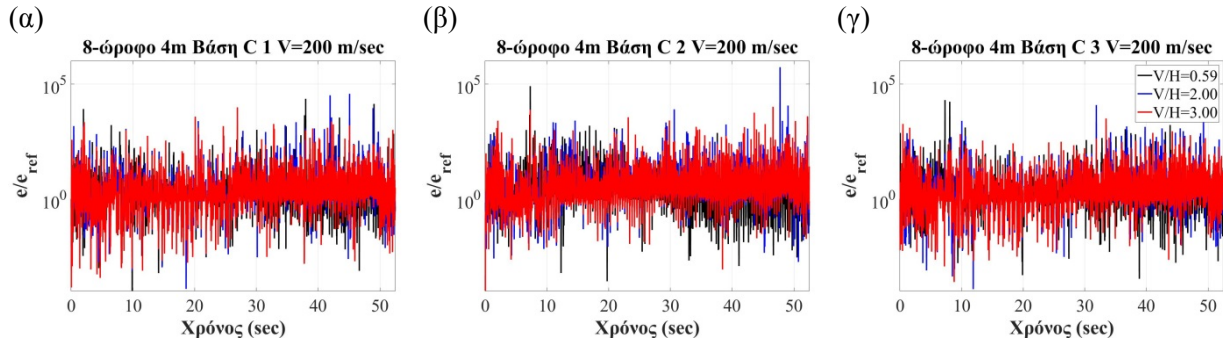
Αποτελέσματα

Στο Σχ. 2 παρουσιάζονται οι λόγοι των “τιμών δοκιμών” προς τις “τιμές αναφοράς” των αξονικών δυνάμεων N/N_{ref} για το τριστυλο τριώροφο επίπεδο πλαίσιο με καθαρό άνοιγμα δοκών 4.0 m.



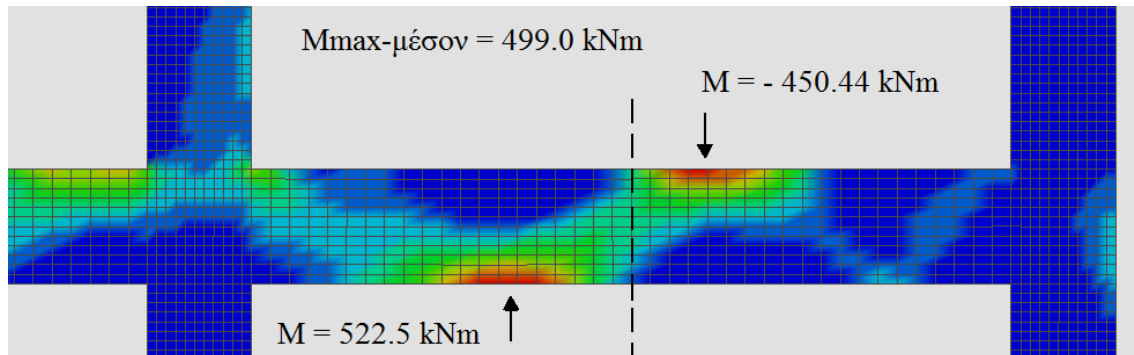
Σχ. 2 Λόγοι εντατικών μεγεθών για το τριώροφο τριστυλο πλαίσιο, με καθαρό άνοιγμα δοκών 4.0 m. Οι αλφαριθμητικές ενδείξεις εμφανίζονται στο Σχ. 1.

Στο Σχ. 3 εμφανίζονται οι λόγοι των εκκεντροτήτων $e/e_{ref} = (M/N)/(M/N)_{ref}$ για το οκτώροφο τρίστυλο πλαίσιο με καθαρό άνοιγμα δοκών 4.0 m για τους τρεις λόγους V/H και δεσπόζουσα συχνότητα 0.7 Hz. Προς αποφυγή λανθασμένων συμπερασμάτων στα εν λόγω διαγράμματα αποτυπώθηκαν μόνον οι λόγοι e/e_{ref} με $e_{ref} \geq 0.05$ m.



Σχ. 3 Λόγοι των εκκεντροτήτων $(M/N)/(M/N)_{ref}$ για το οκτώροφο τρίστυλο πλαίσιο με καθαρό άνοιγμα δοκών 4.0 m. Οι αλφαριθμητικές ενδείξεις των υποστρωμάτων εμφανίζονται στο Σχ. 1.

Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση μεταξύ της μέγιστης ροπής κάμψης $M = 499$ kNm που εμφανίζεται στο μέσον περίπου του ανοίγματος μετά την επίλυση “αναφοράς”, με την καταγεγραμμένη οριζόντια διέγερση (δεσπόζουσα συχνότητα $f = 2$ Hz) σε σχέση με τις ροπές από την επίλυση “δοκιμής” $M = 522.5$ kNm και $M = -450.44$ kNm που παρουσιάζονται σε διαφορετικές θέσεις.



Σχ. 4 Κροσσοί συμβολής και μεγέθη ροπών κάμψης σε “τυχαία” σημεία για το τριώροφο πλαίσιο, οροφή ισογείου, δεσπόζουσα συχνότητα $f = 2$ Hz, ταχύτητα διάδοσης κύματος στο έδαφος $V = 200$ m/sec, λόγος V/H = 3.0, καθαρό άνοιγμα δοκών 4.0 m.

Συμπεράσματα

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των επιλύσεων “δοκιμών” και “αναφοράς” προέκυψε ότι οι διαφορές μπορεί να είναι σημαντικές, τόσο ως προς τη θέση, το πρόσημο του εξεταζόμενου εντατικού μεγέθους, όσο και ως προς το απόλυτο αριθμητικό μέγεθός του. Σημαντικές διαφορές προέκυψαν στους λόγους των μεγεθών N/N_{ref} , M/M_{ref} και V/V_{ref} . Επιπλέον, εξαιρετικά σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν στους λόγους των εκκεντροτήτων $(M/N)/(M/N)_{ref}$, κάτι που έχει ιδιαίτερη σημασία σε υποστρώματα όταν οι διατομές τους έχουν περιορισμένες διαστάσεις.

Βιβλιογραφία

- [1] Abacus: <http://www.3ds.com>
- [2] ScadaPro16, <http://www.ace-hellas.gr/>
- [3] SeismoSignal, <http://www.seismosoft.com/>