

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Παναγιώτης Καρύδης

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

Βασίλειος Γιαννόπουλος

Πολιτικός Μηχανικός Δ.Π.Θ., bgiannop@tee.gr

Εγκόλφιος Αθανασίου

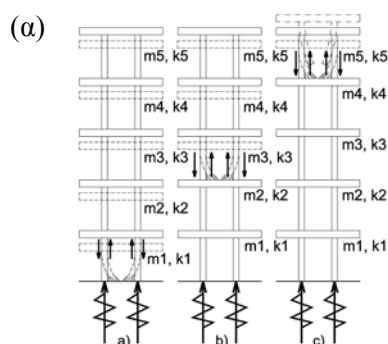
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., MSc., eg_athanasiou@yahoo.gr

Νικόλαος Λεμπέσης

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., niklempesis@teemail.gr

Ο σκοπός αυτής της ανακοίνωσης είναι, πρωτίστως, να παρουσιαστούν παραδείγματα με βλάβες, οι οποίες παρατηρήθηκαν σε διάφορες κατασκευές μετά από καταστρεπτικούς σεισμούς που συνέβησαν στην Ελλάδα και στο εξωτερικό, εστιάζοντας σε επικεντρικές μόνον περιοχές επιφανειακών σεισμών ανεξαρτήτως του μεγέθους τους, στη συνέχεια, να γίνει προσπάθεια ερμηνείας και τέλος, υποβολή κάποιων προτάσεων για προσπάθεια μείωσης των επιπτώσεών τους.

Οι βλάβες αυτές είναι απολύτως χαρακτηριστικές της επίδρασης της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας και διαφέρουν από τις βλάβες που οφείλονται στην οριζόντια συνιστώσα. Η κατακόρυφη σεισμική συνιστώσα πολλές φορές είναι συνδυασμός της συμβολής τόσο των κυμάτων χώρου (P), όσο και της απευθείας επιρροής του μηχανισμού γένεσης του σεισμού. Ως εκ τούτου η παρουσία της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας δεν είναι πάντοτε εξίσου καθολική, ενιαία και ισχυρή σε όλη την επικεντρική περιοχή, καθ' ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο κινήσεων δημιουργεί κατά τόπους μέγιστα και ελάχιστα. (Ως επικεντρική περιοχή θεωρούμε την περιοχή που περιλαμβάνεται μέσα σε μία θεωρητική περιφέρεια ακτίνας ίσης περίπου με το εστιακό βάθος του επιφανειακού σεισμού π.χ. μέχρι $10 \div 15\text{km}$). Επομένως, επικεντρικές περιοχές μπορεί να είναι και πόλεις ολόκληρες, οι οποίες



Σχ. 1 α) Δημιουργία στάσιμων κατακόρυφων κυμάτων. β) Ο Α' όροφος του κτιρίου συνεθλίβη, εκτινάσσοντας προς τα έξω τα περιμετρικά υποστυλώματα. Υπόλοιποι όροφοι σχεδόν ανέπαφοι. Δεν υπάρχει δείγμα ουσιαστικής οριζόντιας μετατόπισης, ούτε κάποιας κλίσης. Σεισμός L' Aquila, 2009, περιοχή Paganica

Σχ. 2 Κατακόρυφη μετατόπιση ολόκληρου του κτιρίου, περίπου 8 cm, χωρίς καμία ένδειξη οριζόντιας μετατόπισης ή απόκλισης από την κατακόρυφο. Κρουστικού τύπου ζημιές. Σεισμός Πάρνηθας, 1999

μπορεί να υφίστανται την επίδραση της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας όταν τύχει το επίκεντρο του σεισμού να συμβεί μέσα ή πολύ κοντά σε αυτές. Η επίδραση αυτού του είδους του σεισμικού κραδασμού στις κατασκευές έχει κυρίως κρουστικό χαρακτήρα με μορφή ασυνεχούς μη γραμμικότητας. Και αυτό διότι το όριο αυτής της ασυνέχειας είναι το 1.0 g, πράγμα που δεν συμβαίνει για την οριζόντια συνιστώσα.

Για κάθε ένα παράδειγμα βλάβης, παρέχεται μία σύντομη –κατά το δυνατόν– ερμηνεία αυτής, και για κάποιες κατηγορίες βλαβών γίνεται συσχέτιση με αποτελέσματα αναλυτικών επιλύσεων στις οποίες η κύρια και ισχυρή σεισμική φόρτιση είναι η κατακόρυφη.

Στα Σχ. 1α και Σχ. 2 οι βλάβες είναι ως εάν είχαν τοποθετηθεί στα θεμέλια του κτιρίου εκρηκτικά. Οι βλάβες του Σχ. 3 χαρακτηρίζονται ως κλασικές, διότι έτσι προσδιορίζεται μακροσεισμικά το επίκεντρο του κάθε επιφανειακού σεισμού.

Οι παρουσιαζόμενες βλάβες μπορούν να καταχωριστούν σε παρόμοιες ομάδες ανεξαρτήτως τόπου, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και ανεξαρτήτως υλικού, ή επίσης και σε ακραίες περιπτώσεις ανεξαρτήτως ποιότητας κατασκευής, και ιδιαίτερα, μεγέθους σεισμού, μεγαλύτερου πάντως των 4.2÷4.5 Richter. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τοπικοί επιφανειακοί σεισμοί μικρού έως μετρίου μεγέθους είναι αχαρτογράφητοι και μπορούν να συμβούν οπουδήποτε, ανεξαρτήτως σεισμικής ζώνης.



Σχ. 3 Κλασικές συμμετρικές ζημιές περί κατακόρυφο άξονα, οριζόντιες και όχι χιαστί ρωγμές στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο. Σεισμός Dinar, Turkey 1995



Σχ. 4 Τα λίθινα τοξωτά υπέρθυρα συμπεριφέρονται πολύ καλά στη συμμετρική κατακόρυφη φόρτιση γενικά, και επομένως έναντι του κατακόρυφου σεισμικού κραδασμού. Σεισμός Κεφαλονιάς, 1953. Τα τοξωτά υπέρθυρα αντέχουν μέχρι σήμερα

Για την σεισμική προστασία των κατασκευών, βασική παράμετρος είναι η γνώση των χαρακτηριστικών των σεισμικών δράσεων, τα αποτελέσματα των οποίων ως Μηχανικοί καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε. Από την άλλη μεριά, ο διατιθέμενος αριθμός ενόργανων καταγραφών των ισχυρών σεισμικών δονήσεων στις επικεντρικές περιοχές επιφανειακών σεισμών, είναι εξαιρετικά περιορισμένος ώστε να μπορούν να συναχθούν στατιστικώς αξιόπιστα συμπεράσματα, ως προς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας. Καλούμεθα λοιπόν, κατά το δυνατόν, να συνάγουμε τα συμπεράσματα αυτά εμμέσως, παρατηρώντας και αναλύοντας την επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας στις κατασκευές, αφού ξεχωρίσουμε κατάλληλα την επίδραση της οριζόντιας συνιστώσας, που πολλές φορές συμβαίνει οι βλάβες από τις δύο αυτές συνιστώσες να συνυπάρχουν. Προς τούτο θεωρούμε τις κατασκευές ως ταλαντωτές, ή και ως σεισμοσκόπια, και μελετώντας-αναλύοντας την τελική τους σεισμική συμπεριφορά, που είναι παγιωμένη στην κατάσταση στην οποία την μελετούμε, καταλήγουμε σε συγκεκριμένα και όσο το δυνατόν πιο τεκμηριωμένα συμπεράσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των σεισμικών κραδασμών που προκάλεσαν την εν λόγω συμπεριφορά.



Σχ. 5 α) Στο ολοκαίνουργιο κτίριο, με Φ.Ο. από ωπλισμένο σκυρόδεμα, το ισόγειο συνελθίβη. Σημειώνεται η προς τα έξω εκτίναξη των περιμετρικών υποστυλωμάτων του ισόγειου, το σχεδόν ανέπαφο των υπερκείμενων ορόφων και η οριζοντιότητα των πατωμάτων του κτιρίου. Τυπική περίπτωση, (πρβλ. με Σχ.1β). Σεισμός L' Aquila, 2009. β) Δείγμα της παραμόρφωσης τριώροφου πλαισίου για λόγο κατακόρυφης προς οριζόντιας επιτάχυνσης $a_v / a_h = 3.0$. Καθαρό άνοιγμα δοκού 4,0 (m)

Στο Σχ. 5α παρουσιάζεται μία τυπική βλάβη που πολλές φορές παρατηρείται στην επικεντρική περιοχή επιφανειακών σεισμών. Σε μία προσπάθεια ερμηνείας αυτού του τύπου βλαβών, αναλύθηκε χρησιμοποιώντας ένα τριώροφο πλαίσιο, το οποίο διεγέρθηκε με εισαγωγή στη βάση του, κάτω από τα θεμέλιά του τα οποία εδράζονται ελευθέρως επί του εδάφους, ταυτόχρονης δράσης της οριζόντιας και κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού της Κεφαλονιάς του 2014, που καταγράφηκε στο Αργοστόλι [4]. Η κατακόρυφη συνιστώσα πολλαπλασιάστηκε κατάλληλα έτσι ώστε ο λόγος a_v / a_h να είναι ίσος προς 3. Οι τιμές των μεγίστων επιταχύνσεων υπολογισμού ήσαν $a_h = 3,832 \text{ msec}^{-2}$ και της κατακόρυφης $a_v = 3 \times 3,832 = 11,496 \text{ msec}^{-2}$. Στην εικόνα 5β παρουσιάζεται η παραμορφωμένη κατάσταση του πλαισίου κατά τη φάση της πτώσης του μετά την αποκόλλησή του από το έδαφος. Έτσι, τα κατώτερα τμήματα των υποστυλωμάτων που είναι συνδεδεμένα με τα θεμέλια και δεν μπορούν να μετακινηθούν, εκτινάσσονται προς τα έξω, (πρβλ. Σχ. 1β και 5α).

Στα συμπεράσματα αυτά θα πρέπει να ληφθεί επί πλέον υπόψη και το γεγονός ότι σύμφωνα με μεγάλο αριθμό (άνω των 300) πειραμάτων σε σεισμικούς προσομοιωτήρες κατασκευών σε πραγματική ή μεγάλη κλίμακα, ουδέποτε παρατηρήθηκαν τέτοιου είδους βλάβες όσο μεγάλη και αν ήταν η διάρκεια και η ένταση της σεισμικής διέγερσης και όσο χαμηλή κι αν ήταν η ποιότητα της δοκιμαζόμενης κατασκευής. Και αυτά, με το δεδομένο ότι όλες οι δοκιμές έφθαναν μέχρι κατάρρευσης, δηλαδή μέχρι πλήρους εξάντλησης της αντίστασης της κατασκευής έναντι κυρίως οριζοντίων σεισμικών κραδασμών.

Βιβλιογραφία

- [1] Benedetti, D. and Carydis, P. (1999), "Influence of the vertical component on damage during shallow – near field earthquakes", *European Earthquake Engineering*, Vol. 3, pp. 3-12.
- [2] Carydis, P. (2002), "The vertical seismic component, 'The Columbus' egg in earthquake Engineering., *12th European Conference on Earthquake Engineering*, Elsevier Science Ltd. London, paper ref. 868.
- [3] Sali, T. (2002), "Greek traditional stone vault lintels and their response to earthquake environment", *Proceedings of the International Conference Hazards and Modern Heritage*, Rhodes, Greece, April 2-5.
- [4] http://www.gein.noa.gr/Documents/pdf/Cefalonia_20140203_preliminary_web.pdf