

Εκτίμηση του συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς ακανονικού καθ' ύψος κτιρίου ΟΣ σχεδιασμένου με τον EC8

Βασιλική Αναγνωστοπούλου

Πολιτικός Μηχανικός Δ.Π.Θ., Υποψήφια Διδάκτωρ Ε.Μ.Π., vantua@central.ntua.gr

Ευστράτιος Βολάκος

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., stratis_v@live.com

Χρήστος Ζέρης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., zeris@central.ntua.gr

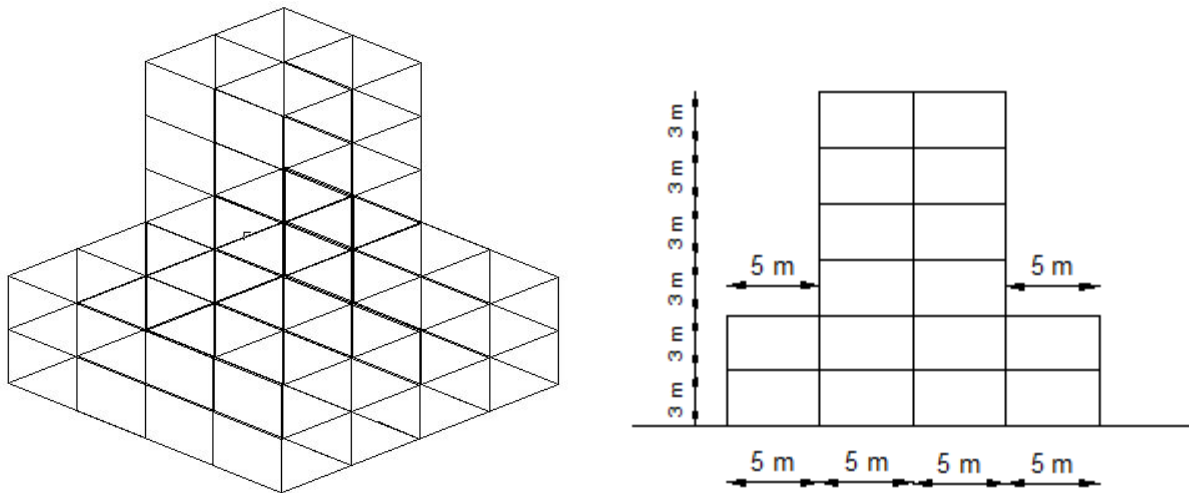
Εκτενής περίληψη

Οι αρχιτεκτονικές και λειτουργικές απαιτήσεις στην διαμόρφωση ενός κτιρίου επιβάλλουν την κατασκευή του με καθ' ύψος ακανονικότητες τόσο στην γεωμετρία, όσο και στη δυσκαμψία και μάζα κάθε ορόφου. Όταν τα κτίρια αυτά κατασκευάζονται σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας, απαιτείται από τον μηχανικό η πλήρη κατανόηση της σεισμικής συμπεριφοράς της ακανονικότητας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο ασφαλής, οικονομικός και αξιόπιστος σχεδιασμός κατά την ανελαστική ανάλυση. Τα ακανονικά κτίρια αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι της σύγχρονης ελληνικής αστικής υποδομής.

Οι σημαντικότεροι αντισεισμικοί κανονισμοί παγκοσμίως υιοθετούν δύο κατηγορίες ακανονικότητας: α) τις καθ' ύψος και β) σε κάτοψη. Περαιτέρω, οι ακανονικότητες καθ' ύψος διακρίνονται από τους κανονισμούς σε α) ακανονικότητα δυσκαμψίας, β) ακανονικότητα μάζας, γ) ακανονικότητα γεωμετρίας, δ) ασυνέχεια φέρουσας ικανότητας, ε) ασυνέχεια στοιχείων φέροντος οργανισμού, που παραλαμβάνουν την σεισμική φόρτιση. Η εκτενής αναφορά των κανονισμών στις ακανονικότητες και στις ρήτρες που υιοθετούνται από τον εκάστοτε, καθιστά σαφή την επιρροή και την σπουδαιότητα της ακανονικότητας στο σχεδιασμό του κτιρίου. Αντιστοίχως, διάφορες μελέτες έχουν εκπονηθεί (Zeris et al., 1992, Repapis et al., 2006, Anagnostopoulou et al., 2012) προκειμένου να διερευνηθεί η σεισμική συμπεριφορά ακανονικών κτιρίων.

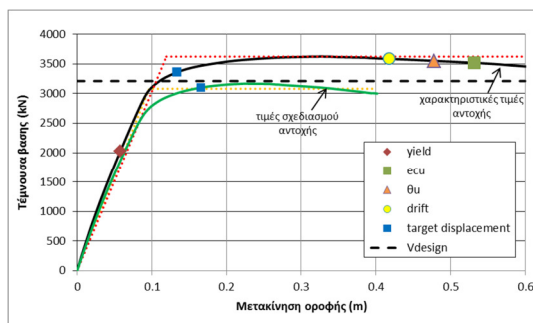
Εν προκειμένω, μελετάται η σεισμική συμπεριφορά μιας ακανονικής καθ' ύψος κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΣ) με διπλή εσοχή κατά την διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση. Αποτελείται από πέντε πλαίσια σε κάθε διεύθυνση, από τα οποία τα δύο ακραία έχουν ύψος δύο ορόφων και τα υπόλοιπα έχουν ύψος έξι ορόφων. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η γεωμετρία του κτιρίου.

Ο σχεδιασμός και μετέπειτα ο έλεγχος της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής βασίζονται στους Ευρωκώδικες 2 και 8 (EC2, EC8, 2004). Προς την κατεύθυνση αυτή, αναπτύχθηκε λογισμικό ΗΥ (Anagnostopoulou et al., 2012) επάνω στην πλατφόρμα OpenSees (McKenna et al., 2007) με αντικείμενο την κατά το δυνατόν αυτοματοποιημένη και άρα αντικειμενική μόρφωση, ανάλυση και κατόπιν σχεδιασμό και διαστασιολόγηση ενός χωρικού φορέα ΟΣ με βάση τις απαιτήσεις σχεδιασμού των παραπάνω Κανονισμών.

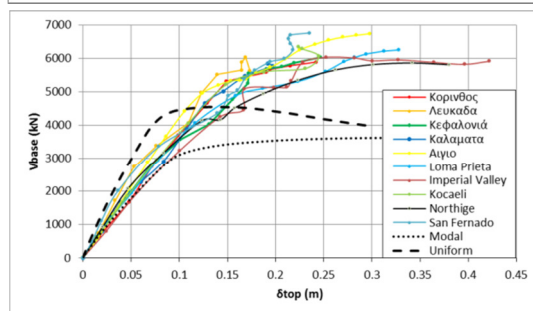


Σχ. 1 Γεωμετρία του κτιρίου.

Σύμφωνα με τη λογική του κώδικα που αναπτύχθηκε, οι ελάχιστες πληροφορίες που καθορίζουν το δόμημα είναι η βασική γεωμετρία (τοπολογία, διαστάσεις ανοιγμάτων και ύψη ορόφων), οι αρχικές διαστάσεις των δομικών στοιχείων (πλακών, δοκογραμμών και υποστυλωμάτων), οι κατηγορίες των υλικών, τα κατανεμημένα φορτία σχεδιασμού ορόφου (πρόσθετα μόνιμα και κινητά, περιμετρική τοιχοπλήρωση) και τα δεδομένα του αντισεισμικού σχεδιασμού (ζώνη, Κατηγορία Πλαστιμότητας). Ακολουθώντας, μορφώνονται τα ανάλογα προσομοιώματα (γεωμετρία και φορτία) και ο φορέας επιλύεται για όλους τους απαιτούμενους συνδυασμούς φόρτισης και τυχηματικής εκκεντρότητας, λαμβάνοντας υπόψη το φάσμα σχεδιασμού, την ακανονικότητα και την Κατηγορία Πλαστιμότητας που καθορίζονται από τον χρήστη. Τέλος, υπολογίζονται οι περιβάλλουσες και οι οπλισμοί και μορφώνεται το χωρικό ανελαστικό προσομοίωμα για περαιτέρω επίλυση σε στατική ανελαστική επίλυση αύξουσας έντασης και/ή εν χρόνω ολοκλήρωση με καθοριζόμενο επιταχυνσιογράφημα βάσης, σε χωρική απόκριση.



Σχ. 2 Καμπύλη ικανότητας υπό εγκάρσια φορτία κατανεμημένη κατά την ιδιομορφική κατανομή (προσομοίωμα με ή χωρίς τους επιμέρους συντελεστές υλικών)

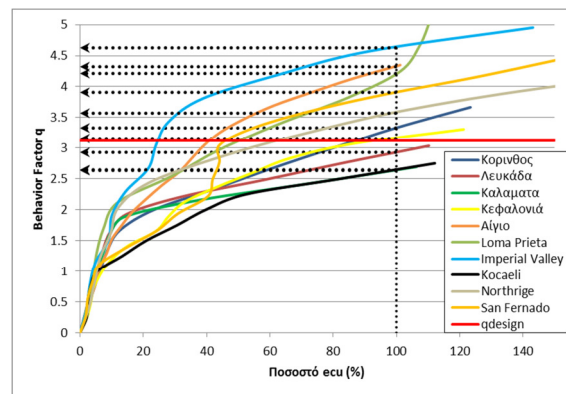


Σχ. 3 Το σύνολο των διαγραμμάτων ικανότητας για τις δέκα καταγραφές και σύγκριση με τα αντίστοιχα των στατικών ανελαστικών, για ιδιομορφική (Modal) και ομοιόμορφη (Uniform) κατανομές

Εφόσον ο σχεδιασμός έγινε με βάση τις επιβαλλόμενες δυνάμεις (Force-Based Design), επιδιώκεται η εκτίμηση του διαθέσιμου συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς (q), μέσω της διεξαγωγής τόσο στατικών ανελαστικών αναλύσεων (Σχ. 2), όσο και δυναμικών προσαυξητικών αναλύσεων σε χωρική απόκριση. Οι στατικές ανελαστικές αναλύσεις πραγματοποιούνται με ιδιομορφική (θεμελιώδης ιδιομορφή) και ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης, ενώ για τις δυναμικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν δέκα εδαφικές διεγέρσεις, πέντε καταγεγραμμένες τόσο στον Ελλαδικό χώρο και πέντε από το εξωτερικό, για λόγους σύγκρισης (Σχ. 3). Αναφορικά με τον συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς q , ο EC8 θέτει ποινή στα ακανονικά κτίρια, τα οποία σχεδιάζονται με μειωμένο συντελεστή κατά 20%. Για τον υπολογισμό του διατιθέμενου συντελεστή \bar{q} και, αρχικά, τον προσδιορισμό της συμβατικής κατάρρευσης της κατασκευής, υιοθετήθηκαν πολλαπλά κριτήρια αστοχίας, τόσο σε τοπικό επίπεδο (δομικό μέλος, κρίσιμη διατομή), όσο και σε καθολικό επίπεδο (όροφος).

Καταγραφή	q_{ecu}	$q_{\theta u}$	q_{esu}	$q_{\theta u}$	q_{dritt}
Κόρινθος	3.33	3.33	-	-	-
Λευκάδα	2.93	2.95	-	-	-
Καλαμάτα	2.58	2.61	-	-	-
Κεφαλονιά	3.16	3.30	-	-	-
Αίγιο	4.33	-	-	-	-
Loma Prieta	4.21	5.50	-	-	-
Imperial Valley	4.63	4.85	5.00	5.30	6.45
Kocaeli	2.65	2.73	-	-	-
Northrige	3.58	3.58	-	3.94	4.68
San Fernando	3.91	4.09	-	4.26	-

Πίν. 1 Τιμές του διαθέσιμου \bar{q} ανάλογα με το κριτήριο αστοχίας



Σχ. 4 Εξέλιξη του συντελεστή \bar{q} με εφαρμογή του κριτηρίου τοπικής αστοχίας e_{cu} για τις δέκα καταγραφές

Μέσω της παραπάνω πραγματοποιηθείσας μελέτης του κτιρίου, συγκρίνεται η σύγκλιση των δύο ειδών ανάλυσης ως προς την θέση και τον τύπο των αστοχιών που προκύπτουν. Επιπρόσθετα, εκτιμάται ο ελάχιστος διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς από το σύνολο των δυναμικών αναλύσεων (Πίν. 1 και Σχ. 4) και εξετάζεται η επάρκεια του Κανονισμού και της ρήτηρας που λαμβάνει υπόψη για τα ακανονικά κτίρια.

Βιβλιογραφία

- Anagnostopoulou V., Zeris C. and C. Karayannis, (2012), Evaluation of the q Factor of Irregular RC Buildings Designed According to EC8, Fifteenth World Conference in Earthquake Engineering, Lisbon.
- Zeris C., Tassios T., Lu Y., Zhang G., (1992), Influence of Irregularity on the q Factor of RC Frames, Proceedings, Tenth World Conference of Earthquake Engineering.
- EC2, Ευρωκώδικας 2. Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα. Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, CEN, Βρυξέλλες, 2004.
- EC8, Ευρωκώδικας 8. Σχεδιασμός κατασκευών για σεισμό. Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, CEN, Βρυξέλλες, 2004.
- McKenna F., Fenves G., Jeremic B., Scott M., (2007), OpenSees Command Language Manual.
- Repapis C., Zeris C., Vintzileou E., (2006), Evaluation of the Seismic Performance of Existing RC Buildings II: A Case Study for Regular and Irregular Buildings, Journal of Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.