

Εκτίμηση Σεισμικής Τρωτότητας Μνημειακών Κατασκευών από Τοιχοποιία

Μ. Γ. Δουβίκα

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια, Εργαστήριο Υπολογιστικής Μηχανικής, Ανώτατη Σχολή Παιδαγωγικής & Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, mariadounika7@gmail.com

Μ. Αποστολοπούλου

Υποψήφια Διδάκτωρ, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., mairi_apostol@hotmail.com

Α. Μοροπούλου

Καθηγήτρια, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., amoropul@central.ntua.gr

Π. Γ. Αστερής

Αν. Καθηγητής, Εργαστήριο Υπολογιστικής Μηχανικής, Ανώτατη Σχολή Παιδαγωγικής & Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, panagiotisasteris@gmail.com

Εκτενής περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει μία μεθοδολογία για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας (seismic vulnerability) των ιστορικών/μνημειακών κατασκευών από τοιχοποιία. Αυτό το είδος των κατασκευών μεταξύ των οποίων κυρίως συγκαταλέγονται θρησκευτικά μνημεία (εκκλησίες, μιναρέδες) αλλά και άλλες κατασκευές όπως φρούρια/κάστρα, φάροι και υδραυλικά έργα, σε κάποιες περιπτώσεις, επιδεικνύουν υψηλή τρωτότητα υπό σεισμικές καταπονήσεις. Για το σκοπό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντική η διατύπωση μιας αναλυτικής μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας αυτών των κατασκευών. Η αξιολόγηση αυτή κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την περίπτωση όπου πρέπει να ληφθούν αποφάσεις για την επισκευή και αποκατάσταση αυτών. Η αρμολόγηση των μνημείων και των ιστορικών κατασκευών, είναι ίσως η πιο συνήθης διαδικασία κατά την αποκατάσταση, καθώς, πέραν του ότι επαναφέρει τη συνέχεια της τοιχοποιίας, θεωρείται και αντιστρέψιμη (reversibility). Το κονίαμα αποκατάστασης που εφαρμόζεται όμως πρέπει να πληροί κριτήρια συμβατότητας, καθώς και επιτελεστικότητας.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία για τον σχεδιασμό και την επιλογή συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης είναι η μεθοδολογία της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης (reverse engineering). Η μεθοδολογία αυτή ξεκινάει με τον χαρακτηρισμό και την κατηγοριοποίηση των ιστορικών κονιαμάτων μιας κατασκευής. Τα αποτελέσματα αυτά, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του επί τόπου μη καταστρεπτικού ελέγχου του μνημείου, λειτουργούν σαν οδηγός για την αποτίμηση της συμβατότητας διαφόρων συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης, οι οποίες σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν για χρήση σε βυζαντινά μνημεία.

Στους κύριους στόχους της προτεινόμενης μεθοδολογίας συγκαταλέγεται εκτός της εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και η ποσοτική αξιολόγηση των προτεινομένων επισκευαστικών σεναρίων και η επιλογή του βέλτιστου αυτών. Κύριο εργαλείο της μεθοδολογίας αποτελούν οι καμπύλες θραυστότητας (fragilities curves) για την εξαγωγή των οποίων γίνεται χρήση αναλυτικών καταστατικών νόμων για την προσομοίωση της αστοχίας της τοιχοποιίας (failure criteria). Η όλη μεθοδολογία παρουσιάζεται διεξοδικά και σε βάθος μέσω της παρουσίασης της εφαρμογής αυτής σε

μια πραγματική μνημειακή κατασκευή από τοιχοποιία όπως είναι η Μονή Καισαριανής η οποία έχει κτισθεί σε διαδοχικές και διακριτές φάσεις στα τέλη του 11^{ου} - αρχές 12^{ου} αιώνα.

Στα κυριότερα συμπεράσματα της εργασίας συγκαταλέγεται η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας τόσο ως προς την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας των ιστορικών/μνημειακών κατασκευών από τοιχοποιία όσο και ως προς την επιλογή του βέλτιστου επισκευαστικού σεναρίου για την αποκατάσταση αυτών.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΘΑΛΗΣ υπό τον τίτλο "Αντισεισμική Προστασία Μνημείων και Ιστορικών Κατασκευών" το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο- ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ).

Βιβλιογραφία

- Aggelakopoulou, E. (2006). Criteria and methodology for the evaluation of physico - chemical and mechanical characteristics of restoration mortars addressed to historic masonries restoration interventions. (PhD thesis), NTUA.
- Aliabdo, A.A.E., Elmoaty, A.E.M.A. (2012). Reliability of using nondestructive tests to estimate compressive strength of building stones and bricks. *Alexandria Engineering Journal*, 51, 193-203.
- Asteris, P.G., Tzamtzis, A.D., Vouthouni P.P., Sophianopoulos, D.S. (2005). Earthquake Resistant Design and Rehabilitation of Masonry Historical Structures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, (ASCE), 10(1), 49-55.
- Asteris, P.G. (2008). On the structural analysis and seismic protection of historical masonry structures. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2(1), 124-133.
- Asteris, P.G. (2010). A simple heuristic algorithm to determine the set of closed surfaces of the cubic tensor polynomial. *The Open Applied Mathematics Journal*, 4, 1-5.
- Asteris, P.G. (2013). Unified yield surface for the nonlinear analysis of brittle anisotropic materials. *Nonlinear Sci Lett A*, 4(2), 46-56.
- Asteris, P.G., Chronopoulos, M.P., Chrysostomou, C.Z., Varum, H., Plevris, V., Kyriakides, N., & Silva, V. (2014). Seismic vulnerability assessment of historical masonry structural systems. *Engineering Structures*, 62-63, 118-134. doi: 10.1016/j.engstruct.2014.01.031
- Asteris, P.G., Sarhosis, V., Mohebkah, A., Plevris, V., Papaloizou, L., Komodromos, P., Lemos, J.V. (2015). Numerical Modeling of Historic Masonry Structures. *Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures* (V. P. Panagiotis G. Asteris Ed.).
- Asteris, P.G., Plevris, V. (2016). Anisotropic Masonry Failure Criterion Using Artificial Neural Networks. *Neural Computing and Applications* (NCAA). doi: DOI: 10.1007/s00521-016-2181-3
- Asteris, P.G., Douvika, M., Karakitsios, P., Moundoulas, P., Apostolopoulou, M., Moropoulou, A. (2016). A Stochastic Computational Framework for the Seismic Assessment of Monumental Masonry Structures. *5th International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, Porto, Portugal.
- Binda, L., Saisi, A. (2005). Research on historic structures in seismic areas in Italy. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 7(2), 71-85. doi: 10.1002/pse.194
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 3: Assessment and retrofitting of buildings En 1998-3: 2005 EN (2005).
- FEMA-273. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency (1997).
- ICOMOS1931. (1931). The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments. Paper presented at the First International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Athens, Greece. http://www.icomos.org/athens_charter.html

- ICOMOS1964. (1964). The Venice Charter for the Restoration of Historic Monuments. Paper presented at the Second International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, Italy. http://www.international.icomos.org/charters/venice_e.htm
- Lourenço, P.B. (2006). Recommendations for restoration of ancient buildings and the survival of a masonry chimney. *Construction and Building Materials*, 20(4), 239-251. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2005.08.026
- Lourenço, P.B. (2006). Structural Restoration of Monuments: Recommendations and Advances in Research and Practice. Paper presented at the 1st International Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures Cairo, Egypt.
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (1995). Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal analysis and X-ray diffraction techniques. *Thermochimica Acta*, 269/270, 779-795.
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (2000). Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1(1), 45-58.
- Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A. (2006). Earthquakes and monuments – The role of materials in the earthquake protection of monuments. Paper presented at the V Int. Conf. on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi.
- Moropoulou, A., Apostolopoulou, M., Moundoulas, P., Aggelakopolulou, E., Siouta, L., Bakolas, A., Douvika, M., Karakitsios, P., Asteris, P.G. (2016). The role of restoration mortars in the earthquake protection of the kaisariani monastery, ECCOMAS Congress 2016, VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 5 - 10 JUNE 2016, Crete Island, Greece.
- Moundoulas, P. (2004). Design and evaluation methodology of compatible restoration mortars for historic monuments according to their mineralogic - physicochemical and physicomechanical characteristics. (PhD thesis), NTUA.
- Onaka T. (2009). A study of the documentation process for conservation of architectural heritage sites: illustrated by examples from Egypt and Belgium. In: 22nd CIPA symposium, October 11–15, 2009, Kyoto, Japan.
- Reinhorn AM, Barron-Corverra R, Ayala AG. (2001). Spectral evaluation of seismic fragility of structures. In: Proceedings ICOSSAR 2001, Newport Beach CA. Silva, V., Crowley, H., Varum, H., Pinho, R., Sousa, R. (2014). Evaluation of analytical methodologies used to derive vulnerability functions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43(2), 181-204.
- Silva, V., Crowley, H., Varum, H., Pinho, R., Sousa, R. (2014). Evaluation of analytical methodologies used to derive vulnerability functions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43(2), 181-204.
- Syrmakezis, C., Sophocleous, A., Asteris, P., Liolios, A. A. (1995). Earthquake resistant design of masonry structural systems (Vol. 2).
- Syrmakezis, C.A., Asteris, P.G. (2001). Masonry failure criterion under biaxial stress state. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 13(1), 58-64. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2001)13:1(58).
- Syrmakezis, C.A., Asteris, P.G., Sophocleous, A. A. (1997). Earthquake resistant design of masonry tower structures. *Proceedings, 5 STREMA Conference on Structural Studies*, 1, 377-386.
- Tassios, T.P.(2010). Seismic engineering of monuments. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(6), 1231-1265.