

National Technical University of Athens

School of Civil Engineering

Department of Structural Engineering

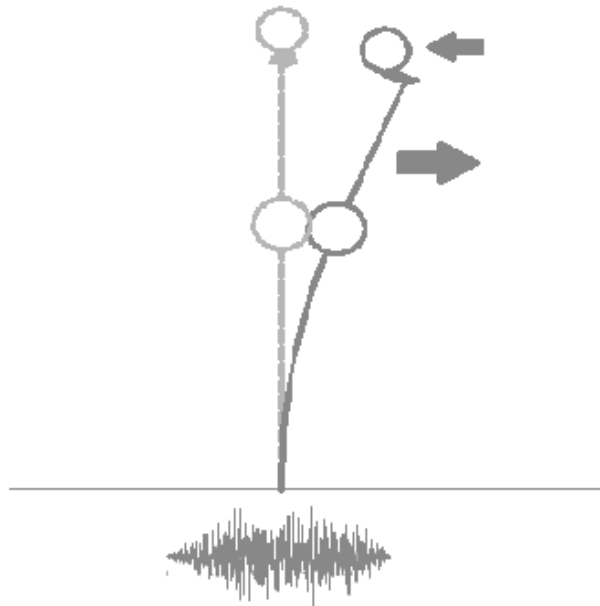
MSc in Analysis and Design of Earthquake resistant structures

Tuned Mass Based system in the field of structural engineering

*The thesis was carried out in collaboration with “La Sapienza” University of
Rome, Italy*

Master Student::

Gkagka Eleftheria



Supervisors:

Ch. Gantes
Nicola Nistico

Athens, October 2009

Εισαγωγή

Ο σεισμός αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα στον τομέα των κατασκευών. Οι εικόνες κατεστραμένων δομημάτων, φυσικό επακόλουθο ενός σεισμικού γεγονότος, μας υπενθυμίζουν πόσο τρωτοί είμαστε απέναντι στις δυνάμεις της φύσης. Οι σεισμικές δράσεις, ανάλογες των υπάρχοντων μαζών, σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των κατασκευών και τις απαιτήσεις μεγεθών της εποχής μας, καθιστούν το πρόβλημα πιο πολύπλοκο με μεγάλο όμως ενδιαφέρον. Η μη ομαλή μορφή του φαινομένου και τα απρόβλεπτα χαρακτηριστικά του, καθιστά τον αντισεισμικό σχεδιασμό δέλεαρ για τους πολιτικούς μηχανικούς. Ακολουθώντας την αναπτυξη της τεχνολογίας, καινούριες μέθοδοι σεισμικής προστασίας έχουν κάνει την εμφάνισή τους τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Ένα από τα πιο συζητημένα συστήματα, που σταδιακά έχει αρχίσει να επικρατεί ανάμεσα στις καινοτόμες συσκευές αποσβέσεως, είναι το λεγόμενο Σύστημα Ρυθμιζόμενης Μάζας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια εισαγωγής στη γενική έννοια του «συστήματος απομόνωσης οροφής» και παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη διαδικασία μελέτης σχεδιασμού, η οποία περιλαμβάνει αναλύσεις μοντέλων (ενός-πολλαπλών βαθμών ελευθερίας), βελτιστη επιλογή των παραμέτρων της συσκευής, ανάλυση μιας απλής ρεαλιστικής κατασκευής για τον έλεγχο του επιλεχθέντος αποσβεστήρα. Τελικός στόχος αυτής της εργασίας είναι η διαμόρφωση γραφημάτων με τις βέλτιστες τιμές των αποτελεσμάτων, αποτελώντας χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του σχεδιαστή για μια απλή προ-μελέτη ενός συστήματος απόσβεσης.

Ακολουθώντας τον αντισεισμικό σχεδιασμό πίσω στο παρελθόν, βρίσκουμε τις ρίζες του στα αρχαία ακόμη χρόνια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται με μια σύντομη αναδρομή η ιστορία σεισμικής προσέγγισης και προστασίας των κατασκευών, ξεκινώντας από τα πολύ παλιά χρόνια και φτάνοντας στις σύγχρονες, καινοτόμες εφαρμογές. Έχοντας να αντιμετωπίσουμε ένα τυχηματικό στοιχείο της φύσης, η γνώση για τη σωστή αντιμετώπιση στον κατασκευαστικό τομέα στηρίζεται σε βάσεις δεδομένων σεισμών που προηγήθηκαν, την προσεκτική παρατήρηση των μετασεισμικών επιδράσεων καθώς και σε ερευνητικές προσπάθειες. Χάρη στην προσεκτική μελέτη της συλλογής παλιών βάσεων δεδομένων, η Ευρωπαϊκή κοινότητα προχώρησε στη σύνταξη μια σειράς κωδικών που κέρδισαν σημαντική θέση στο αντισεισμικό σχεδιασμό προστασίας των κατασκευών. Η βασική ιδέα δεν είναι να παραμένει ανέπαφη η κατασκευή αλλά να αποφεύγεται η κατάρρευσής της, αποδεχόμενοι ζημίες ενός ορίου. Σύμφωνα με την παραδοσιακή μεθόδους προσέγγισης, η πλαστιμότητα και η ακαμψία της κατασκευής αποτελούν τη βάση στην προστασία των κατασκευών. Σύμφωνα με τις σύγχρονες προσεγγίσεις, με την εισαγωγή των δυναμικών χαρακτηριστικών του σεισμικού γεγονότος, εισάγεται και η έννοια της απορρόφησης ενέργειας.

Πρώτος ο Frahm εισήγαγε με εξισώσεις, την έννοια της απορρόφησης της ενέργειας στη λειτουργία των μηχανών, γνωστή ως «απόσβεστη δονήσεων». Ένα δευτερεύον σύστημα, αποτελούμενο από τη δική του μάζα και δυσκαμψία, συνδέεται με το κυρίως σύστημα. Η εγκατάσταση αυτή αποσκοπεί στο συντονισμό της σε μία συγκεκριμένη συχνότητα, στην οποία το κυρίως σύστημα παραμένει ακίνητο. Αμέσως μετά ακολουθεί ο Den Hartog, ο οποίος επέκτεινε την ιδέα αυτή στον τομέα των κατασκευών, θέτοντας τις βάσεις μιας νέας πορείας για την προστασία τους. Αυτές οι συσκευές, αποκαλούνται αλλιώς Αποσβεστήρες Ρυθμιζόμενης Μάζας, ώστε να διαχωρίζονται από τους συσκευές απόσβεσης άλλου τύπου. Από τότε, μεγάλος αριθμός ερευνητών έχει ασχοληθεί με το θέμα, ο καθένας προσπαθώντας να απλουστεύσει το πολύπλοκο πρόβλημα της δυναμικής

αποκρίσεως, χρησιμοποιώντας ως διεγέρτη μια ημιτονοειδής αρμονική συνάρτηση. Μια συνοπτική παρουσίαση των θεμελιωτών και ερευνητών των συστημάτων απόσβεσης παρατίθεται στο δεύτερο κεφάλαιο, σα δείγμα της δουλειάς που έχει προηγηθεί. Επίσης περιγράφεται λεπτομερώς μια προτεινόμενη φασματική ανάλυση.

Στο τρίτο κεφάλαιο, ένα σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας με APM, υποβάλεται σε μια σειρά από επιταχυνσιογραφήματα, για κάθε εδαφικό τύπο, σύμφωνα με τις συστάσεις του Ευρωκώδικα, βασιζόμενο στο γεγονός ότι ο αποσβεστήρας αυτού του τύπου είναι αποτελεσματικός ακόμα και αν η διέγερση δεν είναι απόλυτα αρμονική. Παρολαυτά, η απόκριση του διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του διεγέρτη. Επιπλέον, από αποτελέσματα πειραματικών αναλύσεων, παρατηρήθηκε ότι η οροφή ενός κτιρίου μπορεί να απορροφήσει μεγάλο ποσοστό της σεισμικής ενέργειας, μειώνοντας την ολική απόκριση, αντιμετωπίζοντας έτσι το πρόβλημα του «μαλακού ορόφου» και απομακρύνοντας τη συγκέντρωση της σεισμικής ενέργειας από τον πρώτο όροφο. Με βάση αποτελέσματα πολλών μελετών (Jagadish et al, 1979) αποδείχτηκε ότι, συντονίζοντας την οροφή στη συχνότητα του κτιρίου, έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση έως και του 80% της σεισμικής ενέργειας, υποθέτοντας ότι ο όροφος είναι ικανός, σε όρους δυσκαμψίας, πλαστιμότητας και προστιθέμενης μάζας, να αντισταθεί στις φορτίσεις. Έτσι, το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου επικεντρώνεται στην ανάλυση ενός απλού συστήματος, όπου η οροφή έχει απομονωθεί από την υπόλοιπη κατασκευή, εισάγοντας ένα σύστημα απόσβεσης ανάμεσα στα υποστηλώματα και την μάζα της. Στι σύστημα δε χρησιμοποιήθηκε επιπλέον μάζα ενώ μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις, της γραμμικής και της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του αποσβεστήρα αλλάζοντας το ποσοστό απόσβεσης και το σημείο αλλαγής της δυσκαμψίας αντίστοιχα.

Με βάση τις αναλύσεις αυτές και φτάνοντας σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο στην κατανόηση του προβλήματος, στο πέμπτο κεφάλαιο, σαν επόμενο βήμα, είναι η επιλογή των βελτιστων τιμών των παραμέτρων της συσκευής, ώστε να έχουμε μια ολοκληρωμένη μελέτη σχεδιασμού ενός συστήματος απόσβεσης. Αρκετές μέθοδοι που έχουν προταθεί καταλήγουν σε διαφορετικά αποτελέσματα, τα οποία εξαρτώνται από τη μέθοδο βελτιστοποίησης και τους περιορισμούς που τέθηκαν. Καθώς οι κατασκευές είναι στην πραγματικότητα πιο σύνθετα συστήματα από ένα βαθμό ελευθερίας, μια εξίσωση συνδυασμού των δύο συστημάτων προτείνεται (ενός-πολλών βαθμών ελευθερίας). Παράλληλα, παρατίθενται ήδη υπάρχοντες τύποι, με αποκλίσεις μέσα σε αποδεκτά όρια.

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, στο έκτο κεφάλαιο, εξετάστηκε με αριθμητικές μεθόδους, η περίπτωση ενός αληθινού δώροφου προκατασκευασμένου κτιρίου, με εγκατεστημένο αποσβεστήρα στο δεύτερο όροφο, ώστε να επιτευχθεί απομόνωση της οροφής του.

Τα παραρτήματα που ακολουθούν περιλαμβάνουν λεπτομερώς το σύνολο των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που εκτελέστηκαν καθώς και πίνακες των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η μελέτη του αναγνώστη.

Abstract

Earthquakes constitute one of the premier problems in the field of structural engineering. Images of devastated structures that follow an earthquake strike are reminders of how vulnerable we are to the forces of nature. Seismic actions, proportional to the existing masses, compiled with the complexity of the structures and the dimensional demands of our times, create a complicated problem of great interest. The irregular form of this phenomenon and its unpredictable characteristics makes the aseismic design a lure for structural engineers. Following the development of technology, new methods of seismic protection have been introduced during the last three decades. One of the most discussed, that has started gradually to prevail among the inventive dissipative devices, is the **Tuned Mass Based** system. In this essay an effort was made to introduce the concept of roof isolation system and the completion of a design procedure is presented that includes analyses of models (SDOF-MDOF), optimization of the device's parameters, control of the damper in a simple real case study. Final aim of this study is forming in graphs the results of the favorable parameters, in order to constitute a practical tool in preliminary passive system design.

Following the implementations of aseismic design back to the past, we find the roots to the ancient times. In the 1st chapter a "short passage" through the history of the seismic approach and structural protection is outlined, starting from the very old times to arrive in the present innovative implementations. Having to deal with an accidental element of nature, the knowledge of its confrontation in structural engineering is based on data of previous earthquakes, careful observation of the aftereffects and researches. Due to the close observation of a collection of all the old data records, European community proceeded to the syntax of a series of codes and earned its share in earthquake protection design. The concept is not keeping the structure untouched but preventing its failure, accepting a certain level of damages. In the traditional approach, ductility and strength of the structure are the bases of structural protection. In innovative design approach, with the introduction of dynamic characteristics of the seismic event, the concept of energy absorption is introduced.

First Frahm introduced with formulas, the concept of energy absorption in machines, known as vibration absorbers. A secondary system, consisted of a mass and stiffness, is attached to the main structure. The fundamental function of this installation is the tuning of the device in a particular frequency, in which the main mass does not vibrate. Den Hartog was followed extending this idea in the field of structural engineering, setting off the start of a new path for the protection of the structures. This mechanical device is also called **Tuned Mass Damper (TMD)** in order to be distinguished from other types of dampers. Till then numerous of researchers have been occupied with this topic, trying to simplify the complex problem of dynamic response using a periodic sinusoidal function as an excitation. A brief presentation of the founders in dissipation systems and their researches is quoted in the second chapter as a sample of the work that has foregone. A proposed modal approach is explained in details.

In chapter three, a SDOF system with a TMD is subjected to a series of ten accelerograms for each type of soil, compatible with the Euro code, based on the observation that vibration absorbers can also be used in cases where the excitation is, nearly, harmonic. However, its response differs depending on the type of excitation. Additionally, from experimental analysis, it was observed that

the top floor of the building can absorb a large portion of the seismic energy reducing the total response, confronting the problem of “soft first story” and dissociating the seismic energy from the first floor. From numerous studies (Jagadish et al., 1979) it was established that, tuning the top floor to the frequency of the building, it can absorb up to 80% of the seismic energy, supposing that the floor has adequate strength in terms of stiffness, ductility and supplemental damping to resist the loading. Thus, the second part of the chapter was concentrated on the analysis of a simple system, where the top floor was isolated from the substructure, introducing a dissipative system between the columns and the top mass. No additional mass was used and two cases of linear and bilinear response of the damper were taken into account changing the damping and the yielding force.

Based on these analyses and arriving to a satisfactory comprehension level, as next step in chapter five, comes the optimization of the device’s parameters, in order to have a complete design of a dissipative system. Numerous methods have been proposed that arrive to different results, depending on the optimization method and constrictions that are used. As the structures in naturally more complicated than a SDOF system, a correlation formula between SDOF-MDOF structures is proposed. Already existing formed equations with acceptable divergence are briefly presented.

In order to control the results of the analysis that have taken place, a real case of a 2-storey precast building with a damper installed at the second floor, isolating the roof, was examined numerically in the sixth chapter.

The annexes that follow comprise detailed report of the results for all the implemented analysis and tables of used parameters in order to facilitate the readers study.