

ΜΙΑ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.

ΜΠΟΥΛΙΕΡΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Περίληψη:

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση της τεχνικής της σεισμικής μόνωσης βάσης. Παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι εφεδράνων, ισχύουσες διατάξεις στις ΗΠΑ για την εφαρμογή της και οι στόχοι της τεχνικής, τόσο για τον σχεδιασμό καινούργιων κατασκευών όσο και για την προστασία υφιστάμενων. Ακόμα καταγράφονται σκέψεις για το μέλλον της, ως εναλλακτική μέθοδο αντισεισμικού σχεδιασμού. Τέλος παρουσιάζεται μία περίπτωση επιτυχούς εφαρμογής της τεχνικής στον σεισμό του Northridge (1994).

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, ειδικά μετά το 1990, η σεισμική μόνωση βάσης είναι μία ευρέως εφαρμοζόμενη τεχνική σχεδιασμού και ενίσχυσης για κτίρια και για γέφυρες σε σειсмоγόνες περιοχές. Σήμερα πολλές κατασκευές έχουν ολοκληρωθεί ενώ ακόμα περισσότερες είναι στη φάση σχεδιασμού ή υπό κατασκευή. Εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης συνίσταται στην αποδέσμευση της ανωδομής ενός κτιρίου από την θεμελίωση του, με σκοπό την μείωση της ποσότητας της ενέργειας που εισάγεται σε αυτό κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η αποδέσμευση γίνεται με τοποθέτηση ενός αριθμού κατασκευαστικών στοιχείων, εφεδράνων, στα υποστυλώματα του κτιρίου. Χαρακτηριστικό σε κτίρια με σεισμική μόνωση βάσης είναι η ύπαρξη σεισμικού αρμού, μιάς περιοχής ουσιαστικά γύρω από τη βάση τους. Παρέχει στο κτίριο επαρκή χώρο για να κινηθεί όταν αυτό διεγερθεί από σεισμική φόρτιση.

1.2 ΩΦΕΛΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους ιδιοκτήτες θα επέλεγαν σύστημα σεισμικής μόνωσης για ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής:

- Η κατασκευή πρέπει να παραμείνει ανοιχτή και λειτουργική κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος ενός σεισμού ή να μπορεί να επαναλειτουργήσει σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Σημαντικά περιεχόμενα εντός της εγκατάστασης πρέπει να προστατευθούν
- Προστασία της χρηματικής επένδυσης που έχει γίνει για τη συγκεκριμένη κατασκευή
- Διατήρηση ιστορικών κτιρίων
- Οικονομία κατασκευής, όταν το κτίριο είναι τέτοιου μεγέθους ή τέτοιας πολυπλοκότητας ώστε η σεισμική μόνωση να είναι η πιο οικονομική εναλλακτική λύση.

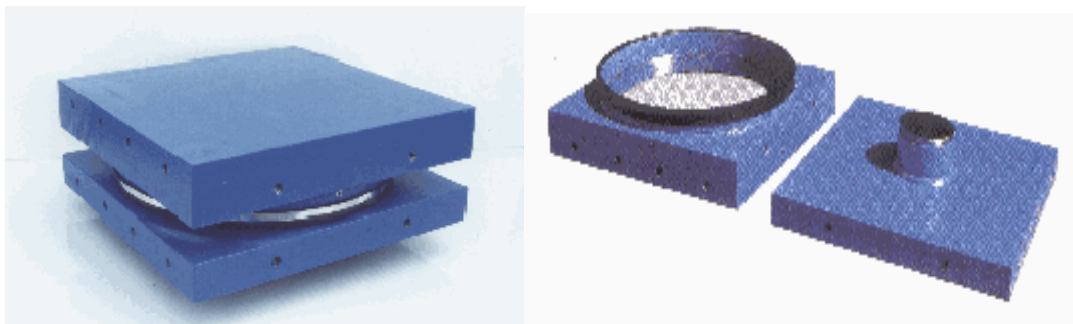
1.3 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ

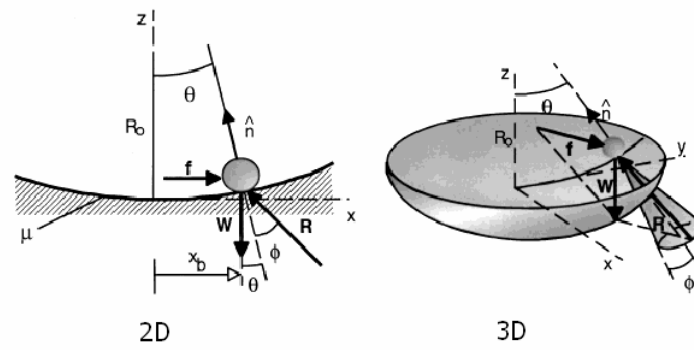
Τα στοιχεία μόνωσης πρέπει να ικανοποιούν κυρίως δύο απαιτήσεις: να έχουν πολύ μικρή οριζόντια δυσκαμψία που τους επιτρέπει να παραμορφώνονται πλευρικά και πολύ μεγάλη κατακόρυφη δυσκαμψία για να μπορούν να φέρουν με ασφάλεια το ίδιο βάρος της κατασκευής. Σύμφωνα με τον καθηγητή James Kelly υπάρχουν 2 βασικοί τύποι συστημάτων μόνωσης. Το 1^ο που έχει χρησιμοποιηθεί και πιο πολύ τα τελευταία χρόνια χαρακτηρίζεται από τη χρήση ελαστομερών εφεδράνων, με το ελαστομερές να είναι καουτσούκ ή νεοπρέν. Η κατασκευή απομονώνεται από τις οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής κίνησης εξ αιτίας ενός επιπέδου μικρής οριζόντιας δυσκαμψίας. Το επίπεδο αυτό δίνει στην κατασκευή ιδιοπερίοδο πολύ μικρότερη από αυτήν της πακτωμένης βάσης της και μικρότερη από τις κύριες συχνότητες της εδαφικής κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο επέρχεται παραμόρφωση μόνο στο σύστημα μόνωσης και όχι στην ανωδομή.



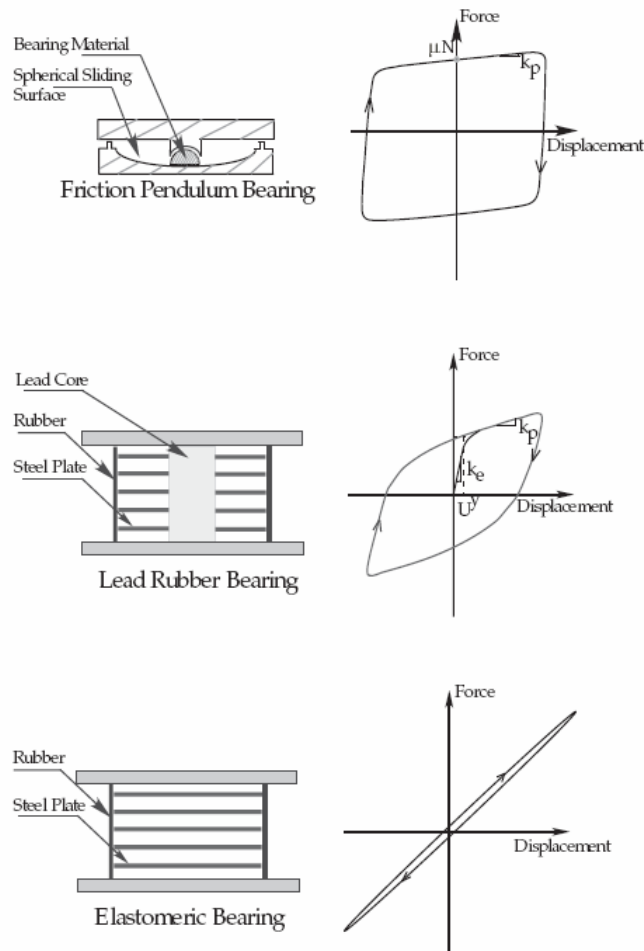
Σχήμα 1: ελαστομερή εφέδρανα,[7],[12].

Το 2^ο χαρακτηρίζεται ως σύστημα ολίσθησης και λειτουργεί μετριάζοντας την μεταφορά της τέμνουσας κατά μήκος του συστήματος μόνωσης. Στην κατηγορία αυτή κυριότερος τύπος είναι το εφέδρανο εκκρεμούς τριβής (FPS). Τα εφέδρανα τριβής όταν ενεργοποιηθούν από σεισμό, ο σύνδεσμος τους κινείται στην κυλινδρική επιφάνεια, αναγκάζοντας την κατασκευή να ακολουθήσει τις μικρές μετακινήσεις του εφεδράνου. Η δύναμη τριβής που αναπτύσσεται είναι αυτή που εξουδετερώνει την εισαγόμενη σεισμική ενέργεια. Η περίοδος του εφεδράνου εξαρτάται από την ακτίνα της καμπύλης της κυλινδρικής επιφάνειας και δεν έχει σχέση με τη μάζα της κατασκευής.





Σχήμα 2 : εφέδρανο εκκρεμούς τριβής, αποτελούντα μέρη του και διάγραμμα ισοροπίας στις 2 και 3 διαστάσεις [1],[12]



Σχήμα 3: διαγράμματα δύναμης μετατόπισης για τους κύριους τύπους εφεδράνων.[2]

1.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Σύμφωνα με ισχύουσες διατάξεις στις ΗΠΑ των NEHRP/UBC/SEAOC (*Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings (BSSC, 1995)*). *Structural Engineers Association of California (SEAOC, 1996)*. *Uniform Building Code (UBC) (ICBO, 1991)*, [11], τα κριτήρια σχεδιασμού αποσκοπούν στην ασφάλεια του ανθρώπου και στην μείωση της ζημιάς του κτιρίου. Ορίζονται 2 επίπεδα σεισμού το BSE-1, με 10% πιθανότητα να ξεπεραστεί σε 50 χρόνια και ο Maximum Capable Earthquake με πιθανότητα να ξεπεραστεί σε 100 χρόνια. Σύμφωνα με τις διατάξεις το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να μπορεί να αναλάβει τα φορτία που αντιστοιχούν στο μέγιστο σεισμό χωρίς να επέλθει αστοχία του και η κατασκευή να παραμείνει ελαστική για το σεισμό σχεδιασμού. Κατασκευές που εναρμονίζονται με τις παραπάνω διατάξεις γενικά πρέπει να είναι σε θέση να αντέχουν κανονικές σεισμικές διεγέρσεις χωρίς ζημιά σε δομικά στοιχεία, μη δομικά μέλη κτλ. και επίσης να αντέχουν σε μεγάλες σεισμικές διεγέρσεις χωρίς να αστοχεί το σύστημα σεισμικής μόνωσης, να μην υπάρχει σοβαρή ζημιά σε δομικά στοιχεία, σε μη δομικά μέρη και να μην παρεμποδιστεί η αρχική λειτουργία της κατασκευής.

Σύμφωνα με τον IBC 2000 ένα κατώτατο επίπεδο μετατοπίσεων σχεδιασμού και δυνάμεων πρέπει να αποκτιέται με στατική ανάλυση για κάθε εργασία μόνωσης βάσης. Αν αυτό το επίπεδο δεν είναι εφικτό τότε χρησιμοποιείται δυναμική ανάλυση.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς απαιτείται είτε γραμμική είτε μη γραμμική ανάλυση για σεισμικά μονωμένα κτίρια.

Αναφορικά με την γραμμική ανάλυση, (Response Spectrum Analysis), προτείνεται για τον σχεδιασμό κατασκευών με πολύ ψιλή ανωδομή, ή πολύ εύκαμπτη, ή με ανωδομή εκτός των περισσοτέρων περιπτώσεων. Εκτός από την πρόβλεψη της απόκρισης του συστήματος μόνωσης το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της είναι ότι επιτρέπει τη χρήση πιο λεπτομερών μοντέλων της ανωδομής για τον προσδιορισμό των δυνάμεων και των παραμορφώσεων των διαφόρων στοιχείων και μελών.

Μη γραμμικές διαδικασίες περιλαμβάνουν την NSP, (Nonlinear Static Procedure), η οποία είναι pushover διαδικασία και την NDP (Nonlinear Dynamic Procedure), η οποία βασίζεται σε μη γραμμική Time-History ανάλυση. Και οι 2 απαιτούνται για μονωμένες κατασκευές με μη γραμμικά ελαστικές ανωδομές.

Γενικά κριτήρια των κανονισμών για τα συστήματα σεισμικής μόνωσης:

- ✓ Πρέπει να παραμείνουν σταθερά για την απαιτούμενη μετατόπιση σχεδιασμού
- ✓ να παρέχουν αυξανόμενη αντίσταση σε αυξανόμενη μετατόπιση
- ✓ να μην υποβιβάζονται σε περίπτωση επαναλαμβανόμενου κυκλικού φορτίου
- ✓ να έχουν καθορισμένα μηχανικά χαρακτηριστικά

Αναφορικά με τους εφένδρανα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην φάση σχεδιασμού τα εξής :

- το περιβάλλον μπορεί να έχει επίδραση πάνω τους,
- κτίρια με ενσωματωμένες συσκευές απόσβεσης που υποβάλλονται σε φορτία ανέμου πρέπει να μπορούν να τα παραλάβουν μέσα στα όρια της ελαστικής τους περιοχής.
- Ειδικότερα στα εφένδρανα τελευταίας τεχνολογίας αποτελούμενα από σύνθετα υλικά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό η εύκολη πρόσβαση συνεργείων σε αυτά μετά την ολοκλήρωση του έργου για εποπτικό έλεγχο και πιθανή αντικατάσταση κάποιου εξ αυτών.

Απαιτείται επίσης υπολογισμός φαινομένων P-Δ επειδή συνήθως οι διαδικασίες ανάλυσης αγνοούν τις P-Δ ροπές που αναπτύσσονται δια μέσου των αποσβεστήρων και που οφείλονται στην μετακίνηση του συστήματος μόνωσης. Οι ροπές αυτές επιπροσθέτονται στις ροπές εξ αιτίας της τέμνουσας διαμέσου του αποσβεστήρα.

Επιπλέον χρειάζεται ειδική μέριμνα από τον μελετητή μηχανικό για την προστασία των ηλεκτρικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων, σε κτίρια με εφαρμογή σεισμικής μόνωσης.Θα πρέπει αυτές να μπορούν να παρακολουθήσουν τη μετακίνηση του κτιρίου χωρίς να καταστραφούν.

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΛΛΩΝ ΟΡΟΦΩΝ

Σημαντικά οφέλη της σεισμικής μόνωσης παρατηρούνται σε κτίρια με λιγότερους από 10 ορόφους.Επειδή η ιδιοπερίοδος μιας κατασκευής αυξάνει με την αύξηση του ύψους,κτίρια με πάνω από 20 ορόφους έχουν μεγάλες βασικές περιόδους και δεν χρειάζονται σεισμική μόνωση βάσης.

Ωστόσο πιο πρόσφατες σκέψεις των μηχανικών,με στόχο την άνεση των χρηστών του κτιρίου,την λειτουργικότητα σημαντικών κτιρίων κατά την διάρκεια και μετά από ένα σεισμό και την αποφυγή ζημιών σε μη δομικά μέρη και περιεχόμενα του κτιρίου τους ώθησαν να εφαρμόσουν σεισμική μόνωση σε κτίρια από 10 έως 20 ορόφους.Από εργασία των S K Jain και S K Thakkon σε τέτοια κτίρια, βρήκε το συμπέρασμα ότι η αύξηση της δυσκαμψίας της ανωδομής επηρεάζει την απόκριση σεισμικά μονωμένων ψηλών κτιρίων και ταυτόχρονα μειώνονται οι επιταχύνσεις στις στάθμες των οροφών.

1.6 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Από την ιστοσελίδα του PEER(PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER),[5] και σύμφωνα με τον Mayes,τα μεγαλύτερα εμπόδια που εμφανίζονται σήμερα για την σεισμική μόνωση,τόσο σε φάση σχεδιασμού όσο και ενίσχυσης, είναι το μεγάλο αρχικό κόστος της και η αίσθηση ότι εφαρμόζεται μόνο σε κατασκευές δεσπόζουσας σημασίας.Επίσης παρά την ύπαρξη γενικών κανόνων για την τεχνική σε εγχειρίδια όπως το SEAOC Bluebook(1989),ο UBC(1991)και οι οδηγίες του AASHTO(1991),υπάρχουν ακόμα εναπομένουσες αμφιβολίες για την συγκεκριμένη τεχνολογία.Σύμφωνα με τον Mayes(2002) αυτή είναι η άποψη των περισσότερων επαγγελματιών στις ΗΠΑ όπου η τεχνική ήταν σε ευρεία εφαρμογή το 1990 και είναι σε ύφεση σήμερα,εν αντιθέση με την Κίνα και την Ιαπωνία όπου οι εφαρμογές της σεισμικής μόνωσης συνεχώς αυξάνονται.

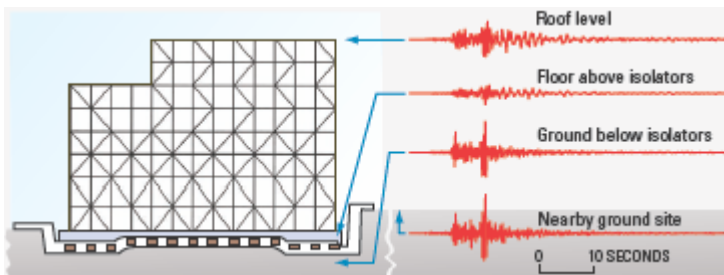
1.7 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ ΤΟΥ NORTHRIDGE(1994),CALIFORNIA.

17 Ιανουαρίου 1994

Για το πανεπιστημιακό νοσοκομείο(USC University Hospital),η εφαρμογή σεισμικής μόνωσης ήταν ένα 2% επιπλέον κόστος στο συνολικό για την κατασκευή του κτιρίου.Στο σεισμό του 1994, το κτίριο με τους 149 αποσβεστήρες, δεν υπέφερε ζημιές σε αντίθεση με ένα ιατρικό κέντρο του Los Angeles,1 km μακριά,το οποίο υπέστη ζημιές ύψους 389 εκατ.δολλαρίων και με 2 πτέρυγες του οριστικά κλειστές.Στις φωτογραφίες που ακολουθούν φαίνεται το πανεπιστημιακό νοσοκομείο καθώς και κάποιες ακόμα κατασκευές μετά το τέλος του σεισμού.



Σχήμα 4: το κτίριο USC university hospital



Σχήμα 5: διάγραμμα του κτιρίου όπου φαίνονται οι αποσβεστήρες(αριστερά) και η απόκριση του κτιρίου, [13].



Σχήμα 6: αποσβεστήρας σε εργαστηριακές δοκιμές, με το κόκκινο βέλος στο δεξί τμήμα να ισούται με την μετατόπιση του κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, [13].



Σχήμα 7: μετά τον σεισμό του Northridge, [14], [15].

1.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης βάσης είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνική αντισεισμικού σχεδιασμού, με εφαρμογές της να υπάρχουν σήμερα σε πολλές αναπτυγμένες χώρες του κόσμου. Η επιλογή της τεχνικής για την ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων ιστορικής ή πρωτεύουσας σημασίας σε ΗΠΑ και Ιαπωνία αποδεικνύει τα οφέλη της στις κατασκευές, κατά τη διάρκεια σεισμικών φαινομένων. Η έρευνα γύρω από το αντικείμενο της συνεχίζεται, με σκοπό κυρίως την μείωση του κόστους των εφεδράνων και τον συνδυασμό της με άλλα συστήματα απόσβεσης ενέργειας, ώστε η τεχνική να γίνει πιο αποτελεσματική και να μπορεί να εφαρμόζεται και από λιγότερο ανεπτυγμένα κράτη με αυξημένες ανάγκες δόμησης αντισεισμικών κατασκευών. Για τα παραπάνω ωστόσο, είναι προϋπόθεση η οικονομική υποστήριξη προγραμμάτων έρευνας γύρω από το αντικείμενο.

1.8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

www.earthquakeprotection.com [1]

www.ruf.rice.edu/~nagaraja/Paper1.pdf [2]

www.ias.ac.in/currsci/nov252004/1426.pdf [3]

www.eeri.org/cds_publications/newsletter/2001_pdf/apr01.pdf [4]

<http://peer.berkeley.edu/Products/PEERReports/reports-2002/0220.pdf> [5]

www.curee.org/image_gallery/calendar/essays/1998-CUREE_excerpt.pdf [6]

<http://mceer.buffalo.edu/education/reu/04Proceedings/05Carrillo.pdf> [7]

<http://utahstatecapitol.utah.gov/restoration/executivesummary/vol6/19%2011%20appendix%20structural/19%2011%20DE.pdf> [8]

www.ce.utexas.edu/em2000/papers/GJMadden.pdf [9]

www.cee.uiuc.edu/sstl/papers/Tutorial.pdf [10]

www.wbdg.org/ccb/FEMA/fema274.pdf [11]

<http://seismic.cv.titech.ac.jp/committee/FIB/PDF/6-Chapter6.pdf> [12]

<http://pubs.usgs.gov/fs/2003/fs068-03/> [13]

<http://geopubs.wr.usgs.gov/fact-sheet/fs110-99/> [14]

<http://www.vibrationdata.com/earthquakes/northridge.htm> [15]