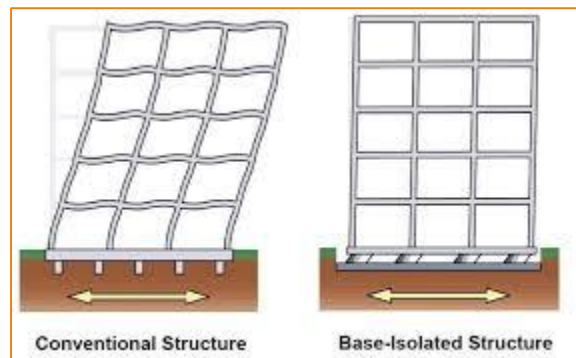


ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

ΦΕΓΚΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Περίληψη

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τη σεισμική μόνωση με χρήση εφεδράνων για την μείωση των σεισμικών δυνάμεων και την χρήση αποσβεστήρων για τον έλεγχο των μετακινήσεων ως τρόπο ενίσχυσης υφιστάμενων κτιρίων από μπετό. Παρατίθενται όλα τα είδη εφεδράνων και αποσβεστήρων και με μια σύντομη συγκριτική ματιά τεκμηριώνεται η επιλογή της εστίασης στα εφέδρανα τριβής ολίσθησης και στους αποσβεστήρες τριβής ως βέλτιστη λύση σε πολλές των περιπτώσεων. Στη συνέχεια, περιγράφεται η λογική των παραπάνω μεθόδων καθώς και τα βασικά στάδια υλοποίησής τους, αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής τους και γίνονται κάποιες επισημάνσεις - σχόλια σχετικά με αυτή.



Σχήμα 1. Απόκριση συμβατικής (αριστερά) και σεισμικά μονωμένης κατασκευής

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σημερινός αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα βασίζεται στην κατάλληλη επιλογή των γεωμετρικών και δυναμικών χαρακτηριστικών των κτιρίων ώστε να βελτιστοποιείται η σεισμική απόκρισή τους και να περιορίζονται οι πιθανές παραμορφώσεις από ισχυρές σεισμικές φορτίσεις^[6]. Στοχεύει, ουσιαστικά, στην επίτευξη μεγάλης παραμορφωσιμότητας (πλαστιμότητας) στα δομικά μέλη με κατάλληλη κατασκευαστική διαμόρφωση και λεπτομέρειες όπλισης ως μέσο απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την ελευθερία ελεγχόμενης βλάβης στα δομικά στοιχεία. Στην περίπτωση κατασκευών μεγάλης σπουδαιότητας, όπως για παράδειγμα ένα νοσοκομείο ή ένα μουσείο που οι βλάβες απαιτείται να περιορίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο, μπορεί να γίνει εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης η οποία έχει την ιδιότητα να συγκεντρώνει την απορρόφηση της ενέργειας στην βάση της κατασκευής αποφεύγοντας έτσι τις δομικές βλάβες και προσφέροντας αυξημένη προστασία στην ανωδομή από καταπονήσεις. Η χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας στις μεθόδους

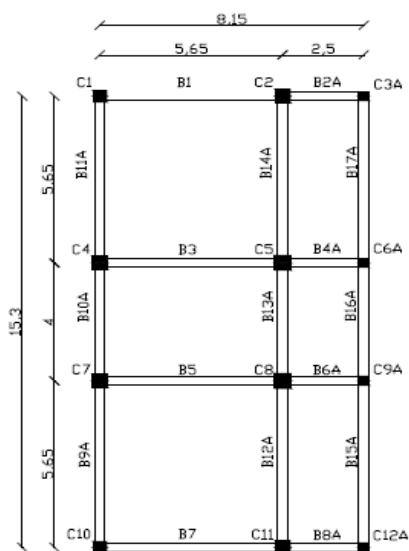
σεισμικής μόνωσης, δίνει τη δυνατότητα να επιτύχουμε από πενταπλάσια έως και δεκαπλάσια μείωση του μεγέθους των σεισμικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στην κατασκευή στη περίπτωση ισχυρής σεισμικής δόνησης. Και πρέπει εδώ να αναλογιστεί κανείς ότι με την τόσο μεγάλη απορρόφηση ενέργειας με το σχηματισμό πλαστικών παραμορφώσεων, όχι μόνο αποτρέπεται η κατάρρευση της κατασκευής, αλλά και σε σεισμούς μικρότερης κλίμακας προστατεύονται τα φέροντα στοιχεία του κτιρίου, αποφεύγονται ,δηλαδή, πολυδάπανες βλάβες για τις κατασκευές^[1].

2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

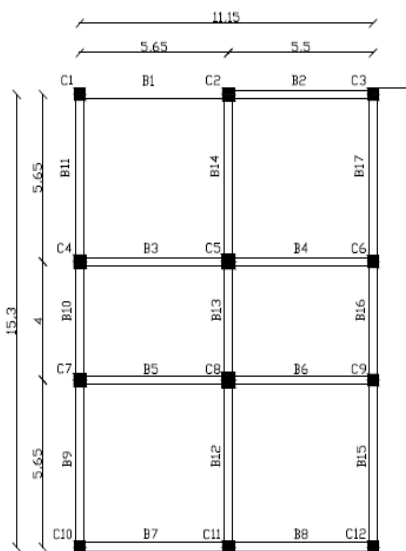
Η σεισμική μόνωση^{[9][11][12]} διακρίνεται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας στις εξής κατηγορίες :

- Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (προσφέρουν επιπλέον αύξηση της απόσβεσης)- LRB.
- Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης - HDNR.
- Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα από κοκκώδη υλικά GRB.
- Εφέδρανα ολίσθησης (χρήση τεφλόν και ανοξείδωτου χάλυβα στην επιφάνεια ολίσθησης)- FPB

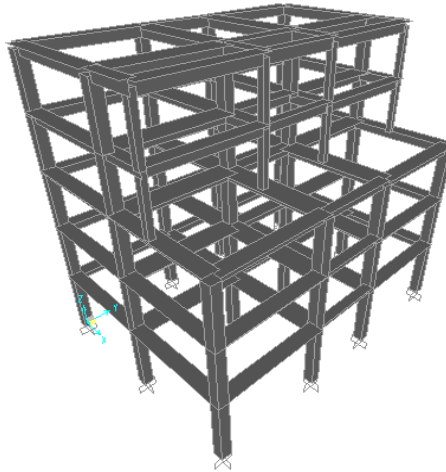
Στην παρούσα εργασία επιλέγεται να αντιπαρατεθούν τα συνήθως χρησιμοποιούμενα εφέδρανα που είναι τύπου LRB και FPB. Μετά από προσομοίωση στο SAP2000 v17.2 των δύο τύπων εφεδράνων ως μονωτήρες σε μια πενταόροφη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος



Σχήμα 2. Κάτοψη οροφής 4^{ου} και 5^{ου} ορόφου



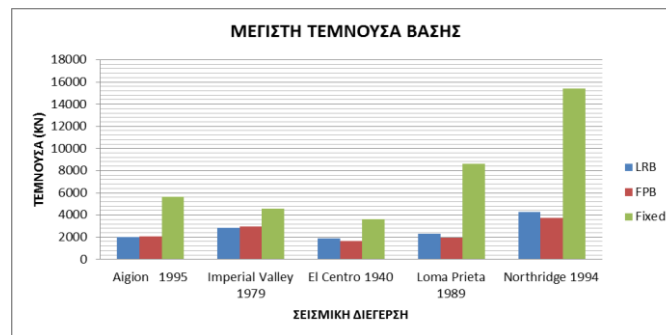
Σχήμα 3. Κάτοψη οροφής 1^{ου}, 2^{ου} και 3^{ου} ορόφου



Σχήμα 4. Κτίριο προσομοίωσης

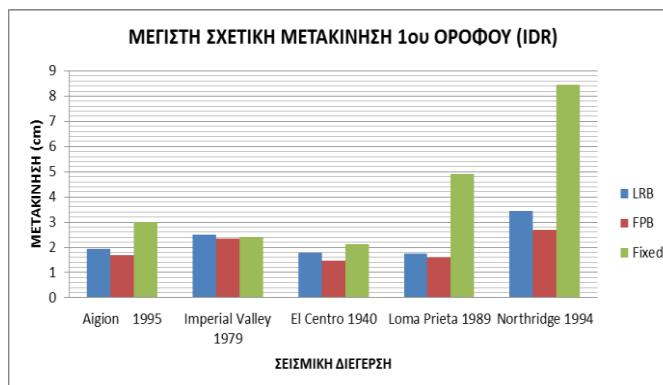
διαπιστώθηκε:

- μεγάλη μείωση της σεισμικής τέμνουσας βάσης και στις δύο περιπτώσεις



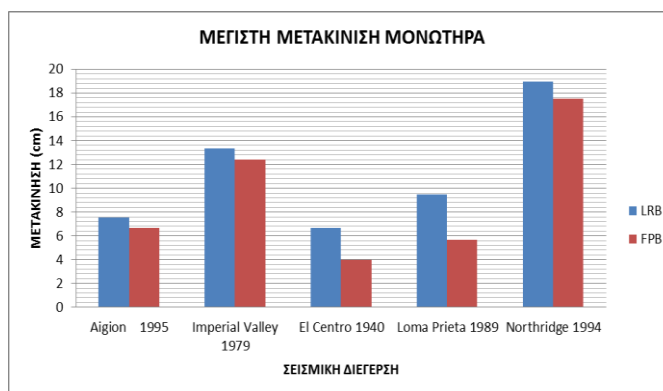
Σχήμα 5. Επίδραση μονώσεων στην τέμνουσα βάσης

- εμφανώς μικρότερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων (IDR) και με τις δύο μεθόδους και κυρίως με χρήση των FPB



Σχήμα 6. Επίδραση μονώσεων στη σχετική μετακίνηση του 1ου ορόφου

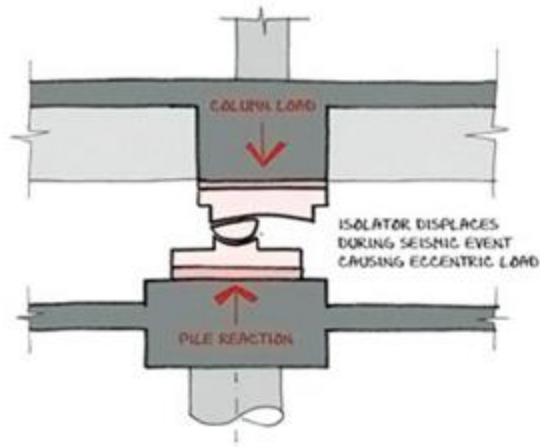
- η μέγιστη μετακίνηση μονωτήρα (που αντιστοιχεί και στη μέγιστη μετακίνηση της βάσης) προκύπτει αρκετά μικρότερη στα εφεδράνα ολίσθησης FPB



Σχήμα 7. Επίδραση μονώσεων στη μέγιστη μετακίνηση βάσης

⇒ έτσι οδηγούμαστε στην επιλογή των εφεδράνων ολίσθησης ως αποτελεσματικότερα.

Τα εφεδράνα ολίσθησης χρησιμοποιούν δύο επίπεδες ή καμπύλες επιφάνειες που ολισθαίνουν σχετικά επιτρέποντας σχετικές μετακινήσεις. Όταν η ασκούμενη πλευρική δύναμη ξεπεράσει το μέτρο της στατικής τριβής μεταξύ των δύο επιφανειών του μονωτήρα, οι δύο πλάκες κινούνται σχετικά, αναγκάζοντας την ανωδομή να κινείται χωρίς να εντείνεται, γεγονός που ανεξαρτητοποιεί την κίνηση του κτιρίου από αυτήν του εδάφους.



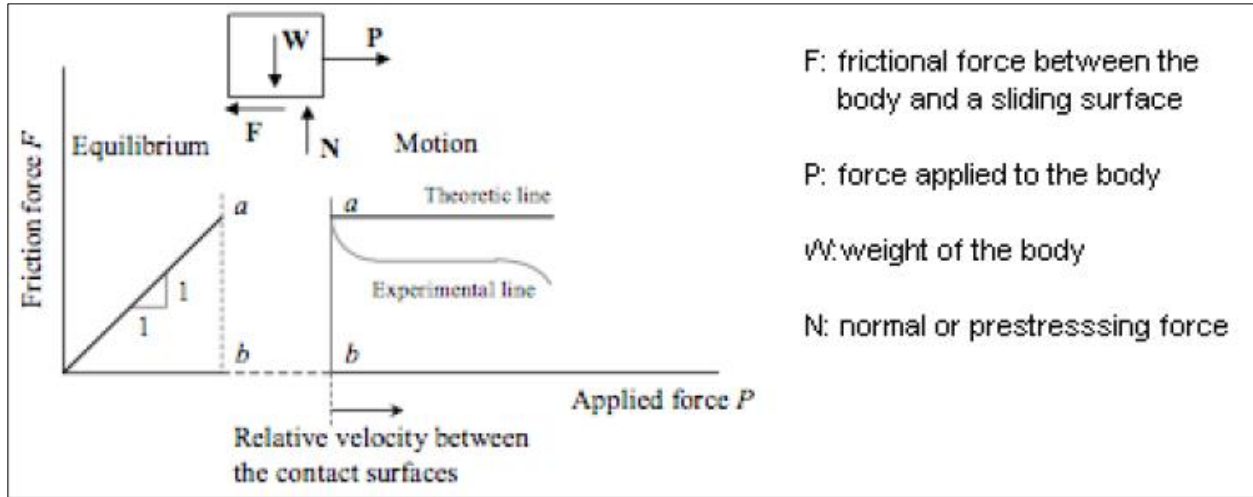
Σχήμα 8. Εφεδρανο ολίσθησης FPB

Η σεισμική μόνωση συνίσταται ως τρόπος ενίσχυσης κυρίως στις εξής περιπτώσεις:

- Μεγάλα κτίρια που προορίζονται για μακρά διάρκεια ζωής (πχ. Δημόσια κτίρια)
- Κτίρια μεγάλης σπουδαιότητας των οποίων η αρχιτεκτονική δεν πρέπει να αλλάξει και (/ή) οι υπάρχοντες χώροι πρέπει να διατηρηθούν ως έχουν (πχ. αρχαιολογικοί χώροι)
- Κτίρια των οποίων η λειτουργία απαγορεύεται να διακοπεί κατά τη διάρκεια της ενίσχυσης (πχ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια που στεγάζουν δημόσια γραφεία, γέφυρες σε αυτοκινητόδρομο, κλπ...)
- Κτίρια για τα οποία προβλέπεται να δράσουν μεγάλα κινητά φορτία επί της κατασκευής, καθώς τα εφεδρανα τριβής-ολίσθησης δεν επηρεάζονται από τα κατακόρυφα φορτία

3. ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ- ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Παρακάτω φαίνεται η σχέση δύναμης τριβής και εξωτερικής δύναμης



Σχήμα 9. Σχέση δρώσας δύναμης - δύναμης τριβής^[3]

Τα συστήματα μόνωσης επιτυγχάνουν την αύξηση της ευκαμψίας του συστήματος και συνεπώς την αύξηση της ιδιοπεριόδου του, αφήνοντας παράλληλα αμετάβλητη τη μάζα της κατασκευής.

Αφού η ευκαμψία αυξάνεται => η δυσκαμψία(k) μειώνεται

Και επειδή $T=2\pi*(m/k)^{0.5}$ άρα η ιδιοπερίοδος αυξάνεται

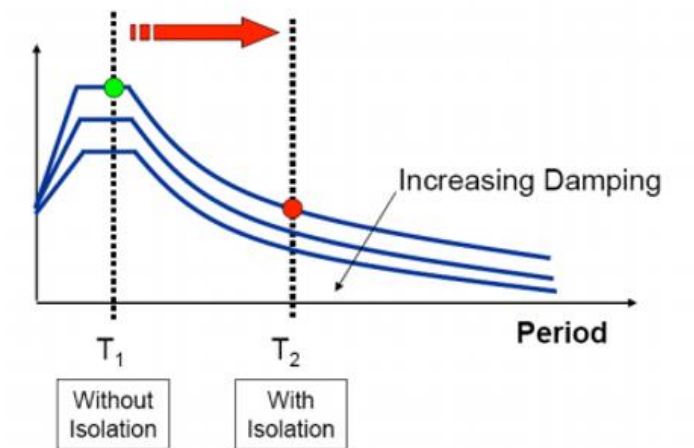
Πρέπει, μάλιστα, να σημειωθεί πως θέλουμε η ιδιοπερίοδος που θα προκύψει να ανήκει στην περιοχή με σταθερές φασματικές μετακινήσεις, όπου η φασματική επιτάχυνση να συγκλίνει σε μια χαμηλή τιμή^[6].

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, η αύξηση της ιδιοπεριόδου προκαλεί μείωση της επιτάχυνσης

$$(F=m*a)$$

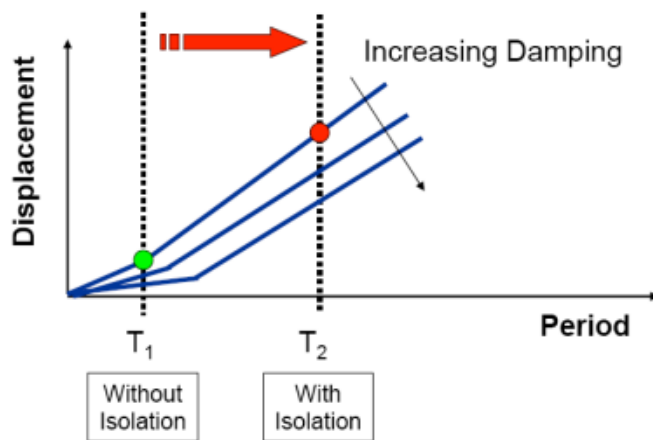
επομένως και των σεισμικών φορτίσεων που καλείται να παραλάβει η κατασκευή.

Έχει βρεθεί, συγκεκριμένα, ότι στις σεισμικά μονωμένες κατασκευές η επιτάχυνση της ανωδομής μειώνεται στο 1/3 έως και 1/5 της αρχικής επιτάχυνσης^{[2][5]}.



Σχήμα 10. Επίδραση της σεισμικής μόνωσης στη μέγιστη επιτάχυνση (φάσμα επιταχύνσεων)

Όμως αυτό έχει σαν αποτέλεσμα και την αύξηση των μετακινήσεων:



Σχήμα 11. Επίδραση της σεισμικής μόνωσης στη μέγιστη μετακίνηση (φάσμα μετακινήσεων)

4. ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ

Για την περαιτέρω απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας και απόσβεση της μετακίνησης της βάσης μπορεί να γίνει πέρα από χρήση μονωτήρα και επιπλέον χρήση αποσβεστήρων.

Τα κυριότερα είδη αποσβεστήρων είναι^[10]:

- οι χαλύβδινοι αποσβεστήρες
- οι αποσβεστήρες τριβής
- ιξοελαστικοί αποσβεστήρες
- οι αποσβεστήρες ιξώδους υγρού.

Στο σημείο αυτό, θα εστιάσουμε στους αποσβεστήρες τριβής, καθώς η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από τις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως θερμοκρασιακές μεταβολές, υγρασία κ.α, δε μεταβάλλουν την υπάρχουσα μορφή του κτιρίου και μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε στάθμη της κατασκευής (έχουν τοποθετηθεί στην πράξη μέχρι και σε 23ο όροφο!!!).

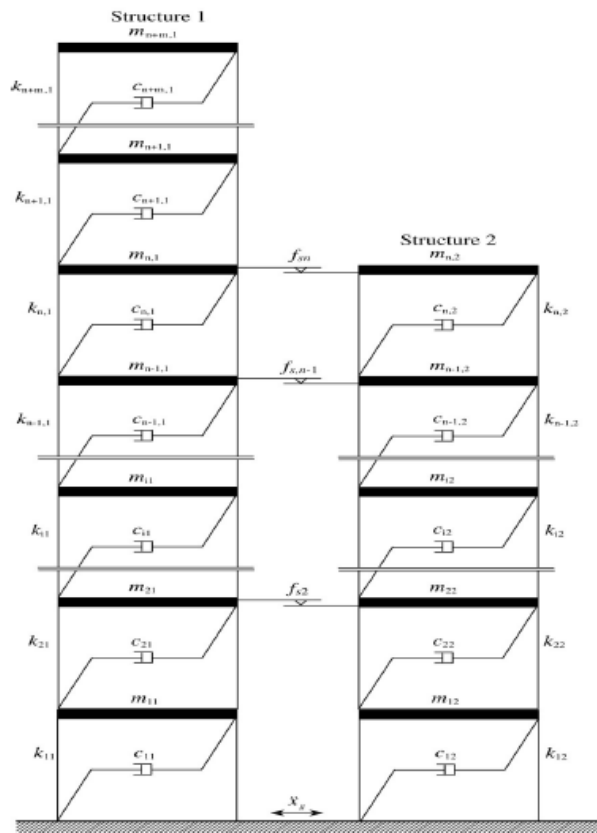
Οι αποσβεστήρες τριβής` απορροφούν τη σεισμική ενέργεια και τη μετατρέπουν σε θερμότητα. Επίσης, δεν προϋποθέτουν κατανάλωση ενέργειας, που εκτός από ένα μεγάλο οικονομικό πλεονέκτημα προσφέρουν και μεγάλη αξιοπιστία όντας ανεξαρτητοι από το ηλεκτρικό ρεύμα δεδομένου ότι μια διακοπή ρεύματος δε θα προκαλούσε βλάβες στο εγκατεστημένο σύστημα. Έχουν υψηλότερο κόστος από τα ελαστομερή εφεδρανα, αλλά πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, χαμηλό κόστος συντήρησης και συμπεριφορά ανεξάρτητη από κατακόρυφα φορτία. Γι' αυτό καθώς και για το ότι είναι αρχιτεκτονικά αποδεκτά το επιλέγουμε ως μέθοδο ενίσχυσης. Σε όλα τα είδη αποσβεστήρων τριβής υπάρχουν δύο επιφάνειες που κατά τη διάρκεια του κρίσιμου σεισμού ολισθαίνουν μεταξύ τους. Μεταξύ αυτών παράγεται θερμική ενέργεια λόγω τριβής η οποία είναι σημαντικό να είναι ξηρή.

Καταλήγουμε, λοιπόν στην αρχική επιδίωξη που ήταν αφενός να περιοριστούν οι δυνάμεις στην ανωδομή, αφετέρου να συγκεντρώνονται (κατά το μεγαλύτερο μέρος τους) στους μονωτήρες όπου και θα αποσβένονται. Η ομαλή, όμως, λειτουργία του τοποθετούμενου συστήματος προϋποθέτει και άλλες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται.

- Πείραμα (σε υπολογιστή) εφαρμογής των αποσβεστήρων τριβής: Ενίσχυση με σεισμική μόνωση σε διπλανά κτίρια με υψομετρική διαφορά (A.V.Bhaskara Rao, R.S.Jangid) ^[8]
Το 2005 μια μελέτη ενίσχυσης πραγματοποιήθηκε από τους Bhaskara Rao και Jangid στην οποία θεώρησαν δύο διπλανά κτίρια που ενισχύονται μεταξύ τους με αποσβεστήρες τριβής. Τα κτίρια συνδέθηκαν σε συγκεκριμένες στάθμες επιλογής, και προσομοιώθηκαν ως μονοβάθμιοι ταλαντωτές και ως πολυβάθμιοι ταλαντωτές, ενώ οι αποσβεστήρες μοντελοποιήθηκαν ως ελατήρια άπειρης δυσκαμψίας (όταν είναι ακίνητοι), ελατήρια μηδενικής δυσκαμψίας (όταν ολισθαίνουν) και ως μοντέλα υστέρησης των οποίων η συμπεριφορά περιγράφεται από την εξίσωση του Wenn.

Διαπιστώθηκαν:

- Ότι η συμπεριφορά του κτιρίου και των μονωτήρων όντως προσεγγίζει με μεγάλη ακρίβεια τα προαναφερθέντα μοντέλα,
- Ότι η απόκριση μειώθηκε σημαντικά
- Ότι το μέγεθος της μείωσης της απόκρισης εξαρτάται από τα σημεία τοποθέτησης των αποσβεστήρων, οι όροφοι με τη μέγιστη σχετική μετακίνηση ήταν οι καταλληλότεροι



Σχήμα 13. Διάταξη αποσβεστήρων στο πείραμα^[8]

5. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

- Για την εξασφάλιση γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς συνηθίζεται να τοποθετούνται συνδετήρια πλαίσια, χιαστί σύνδεσμοι ή και μπετονένια τοιχία.



Σχήμα 12. Χιαστί σύνδεσμοι

- Οι ανεμοπιέσεις να είναι το πολύ το 10% του ίδιου βάρους της όλης κατασκευής (πολύ ισχυροί άνεμοι θα είχαν αρνητικά αποτελέσματα σε συνδυασμό με μία πολύ εύκαμπτη βάση)
- Τα εφέδρανα που θα επιλεγούν να έχουν την απαιτούμενη στιβαρότητα και ευκαμψία
- Σχεδιασμός /επέμβαση στο κτίριο έτσι ώστε να έχει οριζόντια ευκαμψία στη βάση και κατακόρυφη δυσκαμψία (για μεταφορά φορτίων βαρύτητας)

- Να έχει μεριμνήσει ο μηχανικός ώστε να υπάρχει πρόσβαση σε περίπτωση ανάγκης ή αλλαγής
- Ειδικά μέτρα γύρω από τα σημεία επαφής καθώς ίσως να υπάρξουν μεγάλες μετακινήσεις

Καλό θα ήταν να προηγηθούν πριν την τοποθέτηση:

- Μία προμελέτη σχετικά με τη βέλτιστη διάταξη των εφεδράνων με στόχο τα καλύτερα αποτελέσματα απόκρισης
- Καθορισμός εύρους διέγερσης βάσει ιστορικών δεδομένων
- Δημιουργία αναλυτικού μοντέλου βάσει δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής
- Αποτύπωση του εύρους απόκρισης με βάση τα δύο προαναφερθέντα
- Επιλογή κατάλληλης συσκευής
- Έλεγχος αν οι αναμενόμενες ευκαμψία και δυσκαμψία είναι κατάλληλες για το κτίριο
- Προγραμματισμός συντήρησης μόνωσης

6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στη Βουλή Νέας Ζηλανδίας, στο δημαρχείο του Los Angeles (California), στο δημαρχείο του Salt Lake City (Utah), στην Ωνάσειο Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών, στο μουσείο της Ακρόπολης, στο κέντρο πολιτισμού Σταύρος Νιάρχος καθώς και σε πολλά άλλα. Παρατίθενται παρακάτω κάποια παραδείγματα ενδεικτικά με τιμές ιδιοπεριόδων, φασμάτων αλλά και χρόνου και κόστους κατασκευής για μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της πρακτικής αυτής.

Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος^[7]

Το έργο του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (ΚΠΙΣΝ) κατασκευάζεται δίνοντας τη μέγιστη δυνατή έμφαση σε θέματα ασφάλειας και ποιότητας. Για τον λόγο αυτό τα κτίρια της Εθνικής Λυρικής Σκηνής (ΕΛΣ) και της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδας (ΕΒΕ) εδράζονται πάνω σε 172 και 151 σεισμικούς μονωτήρες αντίστοιχα, που εγκαθίσταται ανάμεσα στα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία και τα θεμέλια των κτιρίων και απορροφούν μεγάλο μέρος της σεισμικής ενέργειας πριν μεταφερθεί στην ανωδομή. Τα κύρια προτερήματα που απορρέουν από την σεισμική μόνωση είναι η μείωση της σεισμικής επιτάχυνσης στα αρχιτεκτονικά τελειώματα και στους συνδέσμους.

Χωρίς τη σεισμική μόνωση η πρόσωση γύρω από την «Αγορά» θα έπρεπε να είχε σχεδιαστεί για να παραλαμβάνει σεισμικά φορτία περίπου 4 φορές μεγαλύτερα από ότι το σεισμικά μονωμένο κτήριο. Κάτι τέτοιο θα είχε ως συνέπεια η πρόσωση αναγκαστικά να γινόταν λιγότερο λεπτεπίλεπτη. Ενώ χωρίς τη σεισμική μόνωση οι σύνδεσμοι για την πρόσωση, τα αρχιτεκτονικά τελειώματα και τις μηχανολογικές οδεύσεις θα έπρεπε να μπορούν να παραλάβουν σεισμικά φορτία περίπου 4 φορές μεγαλύτερα από ότι το σεισμικά μονωμένο κτήριο.

Η σεισμική μόνωση περιορίζει τις οριζόντιες παραμορφώσεις ανάμεσα στους ορόφους σε σεισμική δράση. Χωρίς την σεισμική μόνωση οι αρμοί στην πρόσωση θα έπρεπε να είναι μεγαλύτεροι για να παραλαμβάνουν τις παραμορφώσεις χωρίς βλάβες. Ενώ επιπλέον χρειάζονται

λιγότερα τοιχώματα. Αυτό αυξάνει την ευελιξία σχεδιασμού σχετικά με την διαρρύθμιση των χώρων εντός του κτιρίου.

Μειώνονται τα σεισμικά φορτία στα διαφράγματα των ορόφων. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό του μεγέθους και της διαρρύθμισης των ανοιγμάτων. Τα απομειωμένα φορτία διαφραγμάτων επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία και σε τροποποιήσεις τις στάθμες των πλακών δαπέδου (π.χ. στο πίσω μέρος της ΕΛΣ οι στάθμες των δαπέδων δεν είναι οι ίδιες με τα επίπεδα των μπαλκονιών στο φουαγιέ ή στο αμφιθέατρο). Χωρίς τη σεισμική μόνωση οι παραμορφώσεις ανάμεσα στους ορόφους θα ήταν έντονα αυξημένες για σεισμούς μεγαλύτερους από τη σεισμική δράση περιορισμού βλαβών. Οι βλάβες στη πρόσοψη και στα αρχιτεκτονικά τελειώματα θα ήταν και αυτές έντονα αυξημένες.

Η σεισμική μόνωση της ανωδομής μειώνει σημαντικά τα σεισμικά φορτία στο ενεργειακό στέγαστρο, το «Φάρο», τη γέφυρα και τις δομές των πύργων. Χωρίς τη σεισμική μόνωση, αυτά τα δομικά συστήματα θα ήταν πολύ βαρύτερα, ενώ επιπλέον, η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης επιτρέπει και τη μείωση του πάχους των τοιχωμάτων. Η σεισμική μόνωση μειώνει τα φορτία των θεμελίων, και συγκεκριμένα τα θεμέλια δεν δέχονται μεγάλα φορτία ανύψωσης.

Τέλος, χωρίς τη σεισμική μόνωση, σε σεισμούς μεγαλύτερους από σεισμική δράση περιορισμού βλαβών, θα υπήρχε προστασία ζωής αλλά το κτήριο θα είχε σοβαρές ζημιές. Οι επισκευές στο δομικό σύστημα θα ήταν σημαντικά πιο ακριβές, ή μη πρακτικές, και η επαναλειτουργία των κτηρίων θα καθυστερούσε.

Χαρακτηριστικά

Η άνω επιφάνεια των εφεδράνων τριβής ολίσθησης ολισθαίνει πάνω στην κάτω επιφάνεια. Η περίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης εξαρτάται από την διάμετρο της επιφάνειας του εφέδρανου, και η συμπεριφορά του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι ανεξάρτητη από το κατακόρυφο φορτίο. Η τριβή ανάμεσα στις επιφάνειες διαχέει την ενέργεια και παρέχει απόσβεση.

Καθώς τα εφέδρανα τριβής ολίσθησης κατασκευάζονται από χάλυβα, προσφέρουν το ίδιο επίπεδο ανθεκτικότητας όπως και εφέδρανα τύπου ελατηρίου. δεδομένου πως η απόσβεση προσφέρεται από τη τριβή στο εφέδρανο, δεν χρειάζονται επιπλέον μηχανικοί αποσβεστήρες, όπως θα χρειαζόντουσαν σε σύστημα ελατηρίων.

Το αρχικό κόστος κατασκευής για εφέδρανα τριβής-ολίσθησης είναι υψηλότερο από αυτά των ελαστομερών, όμως τα εφέδρανα τριβής-ολίσθησης δεν απαιτούν περιοδική αλλαγή. Έτσι, είναι πιθανό πως το κόστος στη διάρκεια ζωής του κτηρίου για κτήριο που προβλέπεται να είναι σε λειτουργία για σημαντικό χρονικό διάστημα θα είναι μικρότερο από αυτό με ελαστομερή εφέδρανα.

Η απουσία απαίτησης για περιοδική αλλαγή των εφεδράνων θεωρείται μεγάλο πλεονέκτημα για ένα τόσο σημαντικό κτήριο το οποίο προορίζεται να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.

Η συμπεριφορά των εφεδράνων τριβής-ολίσθησης είναι ανεξάρτητη από τα κατακόρυφα φορτία που εφαρμόζονται στο εφέδρανο. Έτσι, τα εφέδρανα είναι κατάλληλα για χρήσεις όπου τα κινητά

φορτία αποτελούν μεγάλο μέρος του συνολικού κάθετου φορτίου, όπως στα μέρη της βιβλιοθήκης που αποθηκεύονται βιβλία.

Οι σεισμικοί μονωτές που τοποθετήθηκαν είναι 11 διαφορετικών μεγεθών ανάλογα με τα φορτία που θα αναλάβουν από τον E1 που τοποθετήθηκε πάνω σε βάθρο διαστάσεων 1.3 x 1.3 μέτρα και έχει δυνατότητα ανάληψης φορτίου 3.500 KN έως τον E11 που τοποθετήθηκε πάνω σε βάθρο διαστάσεων 2.3 x 2.3 μέτρων και έχει δυνατότητα ανάληψης φορτίου 70.000 KN.

Οι σεισμικοί μονωτές, ως το πιο σημαντικό μέρος για τη στατική συμπεριφορά των κτιρίων δοκιμάστηκαν ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή τους σε τεστ δυναμικής ανάλυσης φυσικού μεγέθους σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις του εξωτερικού (Πανεπιστήμιο της Ραβία στην Ιταλία και San Diego στις Η.Π.Α)

Ο τύπος των σεισμικών μονωτήρων που επιλέχθηκε είναι τα εφέδρανα τριβής-ολίσθησης. Ο κύριος λόγος είναι πως παρέχουν τη μεγαλύτερη αντοχή και μακροζωία, ενώ παράλληλα είναι κατάλληλα σε χώρους όπου τα κινητά φορτία είναι μεγάλο μέρος του συνολικού κάθετου φορτίου, όπως στους χώρους της ΕΒΕ που αποθηκεύονται βιβλία. Για να γίνει η συγκεκριμένη επιλογή εξετάστηκαν τα ακόλουθα είδη σεισμικής μόνωσης:

- Ελαστομερή εφέδρανα
- Χαλύβδινα εφέδρανα τύπου ελατήριου
- Εφέδρανα τριβής-ολίσθησης

7. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) όπως και ο Ευρωκώδικας 8 (EC8) δεν επαρκεί στις αναφορές του στη σεισμική μόνωση, γι' αυτό και εφαρμόζονται ευρύτερα οι κατασκευαστικές διατάξεις των κανονισμών των ΗΠΑ, του Καναδά και της Ιαπωνίας.
- Οι σεισμικοί μονωτές πρέπει σε κάθε περίπτωση να δοκιμάζονται ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή τους σε τάση δυναμικής ανάλυσης φυσικού μεγέθους (μιας και πρόκειται για συσκευές ενεργειακού σκεδασμού).
- Δεν υπάρχουν κατάλληλα εκπαιδευμένα τεχνικά συνεργεία στη χώρα μας, γεγονός που δυσχεραίνει την εφαρμογή της τεχνικής αυτής αλλά και τη συντήρηση των μονωτήρων.
- Όσο για το κόστος και το χρόνο εργασιών ενίσχυσης μέσω της σεισμικής μόνωσης, δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθούν τα μεγέθη αυτά καθώς διαφέρουν από κατασκευή σε κατασκευή, από τα δεδομένα όμως των κτιρίων που έχουν επισκευασθεί με αυτόν τον τρόπο (δε μπορούν να παρατεθούν εδώ λόγω έκτασης) θα εκτιμούσαμε ότι είναι συμφέρον τρόπος ενίσχυσης σε σύγκριση με τους κλασικούς και ποιοτικά, και χρονικά αλλά και οικονομικά, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μεγάλα κτίρια. Η έλλειψη τεχνογνωσίας ίσως είναι το μόνο εμπόδιο που κάνει τη μέθοδο μη δημοφιλή και πολύ ακριβή στις συνήθεις κατασκευές.

8. ΖΗΤΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

- ❓ Η παρούσα εργασία δεν κατάφερε να διαπιστώσει (αν υπάρχουν στοιχεία) την ανταπόκριση των μονωτήρων σε πρόκληση στροφής. Οι σεισμικές τράπεζες κατά τη δοκιμή τους διεγείρουν ένα κτίριο μετακινώντας το στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, στην πραγματικότητα όμως υπάρχει και η πιθανότητα ο σεισμός να προκαλεί στρέψη στο κτίριο, ποιά είναι η συμπεριφορά της σεισμικής μόνωσης σε αυτή την περίπτωση;
- ❓ Επειδή η ιδιοπερίοδος των μονόροφων απλών κατασκευών είναι πάρα πολύ μικρή, ενδεχομένως η σεισμική μόνωση να μην ενδείκνυται σε τέτοιες περιπτώσεις γιατί θα μεγάλωνε την ιδιοπερίοδο μεταφέροντάς την σε μια περιοχή όπου το φάσμα είναι πολύ ασταθές και αντιστοιχεί σε μεγαλύτερες φασματικές μετακινήσεις.
- ❓ Αντισεισμικές βάσεις-φθηνές ανωδομές:
Θεωρείται απαγορευτικό το κόστος τέτοιων εφαρμογών σε μικρές κατασκευές, όμως ίσως να είναι πολύ συμφέρουσα λύση για την κατασκευή μεγάλων σεισμικά μονωμένων βάσεων που θα επιτρέπουν τη χρήση πολύ φθηνών ανωδομών- από τις οποίες δε θα υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις έναντι σεισμού- και η εφαρμογή τους σε φτωχές σεισμογενείς χώρες όπως η Χιλή και οι Φιλιππίνες. Σε πρόσφατες δημοσιεύσεις^[4], μάλιστα, αναφέρεται –χωρίς να έχει αποδειχτεί πειραματικά- και η χρήση φθηνότερων υλικών ως υλικά μόνωσης της βάσης.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Hugo Bachmann- Αντισεισμική προστασία κατασκευών Εκδόσεις Γκιούρδας
- [2] 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας Νοεμβρίου 2008, «Σύστημα Σεισμικής Μόνωσης Παλαιών και Νέων Κατασκευών»
- [3] Fundamentals of Seismic Base Isolation, Wang Yen – Po
- [4] Low cost seismic isolation applicable to developing countries
- [5] Seismic Response Control Using Base Isolation Strategy, S. Keerthana, K. Sathish Kumar, K. Balamonica D.S. Jagannathan
- [6] Anil K. Chopra Δυναμική των κατασκευών
- [7] Γιώργος Χοζός Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός, άρθρο στην ιστοσελίδα www.ergotaxiaka.gr «Σεισμική μόνωση με εφαρμογή τεχνολογίας αιχμής»
- [8] Seismic analysis of structures connected with friction dampers, A.V. Bhaskararao, R.S. Jangid

- [9] Mechanics of Rubber Bearings for Seismic and Vibration Isolation, James M. Kelly, Dimitrios A. Konstantinidis 1st edition 2011
- [10] SMART STRUCTURES Innovative Systems for Seismic Response Control, Franklin Y. Cheng, Hongping Jiang, Kangyu Lou, 2008
- [11] Design of Seismic Isolated Structures, From Theory to Practice, Farzad Naeim, James M. Kelly, 1999
- [12] An Introduction to Seismic Isolation, R.I.Skinner, W.H.Robinson, G.H. McVerry, 1993