

## Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΩΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑΣ

ΓΑΒΑΛΛΑ ΕΙΡΗΝΗ –ΤΟΥΛΙΑ ΜΑΡΙΑ

### Περίληψη

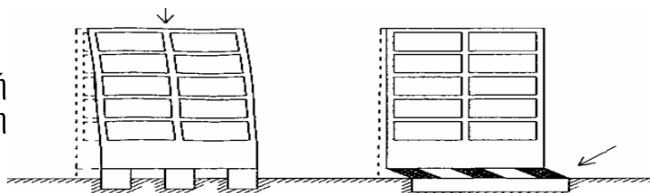
Στην εργασία αυτή γίνεται παρουσίαση της μεθόδου της σεισμικής μόνωσης και του τρόπου εφαρμογής της ,ως τεχνική ενίσχυσης υφιστάμενων κτιρίων. Στην εισαγωγή γίνεται περιγραφή της μεθόδου και προσδιορίζεται η έννοια και ο στόχος της. Εν συνεχεία γίνεται αναφορά της καταλληλότητας των κτιρίων για εφαρμογή σεισμικής μόνωσης και αναφέρονται οι παράγοντες οι οποίοι κάνουν την εφαρμογή αυτής της μεθόδου περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλη. Ακολουθεί η παρουσίαση των συστημάτων σεισμικής μόνωσης, οι απαιτήσεις τις οποίες πρέπει αυτά να πληρούν καθώς επίσης και η σύγκριση μεταξύ τους. Επιπλέον παρουσιάζονται δύο παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου σε κτίρια υψηλής σπουδαιότητας. Τέλος, γίνεται αξιολόγηση της μεθόδου σεισμικής μόνωσης και σύγκρισή της με τον συμβατικό αντισεισμικό σχεδιασμό.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Ο όρος σεισμική μόνωση ή μόνωση βάσης ενός κτιριακού έργου αναφέρεται στη στρατηγική σχεδιασμού η οποία αποσκοπεί στην απομόνωση της ανωδομής από τη σεισμική κίνηση του εδάφους. Για τη σεισμική μόνωση της κατασκευής , ένας οριζόντιος αρμός , ο οποίος αναφέρεται ως ‘αντισεισμικός αρμός’ και που είναι δυνατόν να εκτείνεται και σε διαφορετικά ύψη από τη στάθμη του εδάφους , χωρίζει την κατασκευή σε δύο τμήματα : α) το τμήμα της κατασκευής πάνω από τη στάθμη του αρμού , το οποίο συνιστά το σεισμικά μονωμένο τμήμα της κατασκευής που αναφέρεται ως ‘ανωδομή’ και β)το τμήμα της κατασκευής κάτω από τη στάθμη του αρμού – θεμελίωση ή υπόγειοι όροφοι – που αναφέρεται ως ‘υποδομή’.Ο αρμός αυτός στη περίπτωση των ελαστομεταλλικών εφεδράνων είναι περίπου 1.00m ,ενώ στη περίπτωση των εφεδράνων ολίσθησης είναι της τάξεως των 20-30cm.

Στις θέσεις που ο αντισεισμικός αρμός τέμνει τα κατακόρυφα στοιχεία του φέροντα οργανισμού (υποστυλώματα ,τοιχία ,πυρήνες), τοποθετούνται ειδικά εφέδρανα στα οποία εδράζεται η ανωδομή επί της υποδομής (Σχ.1). Κατασκευαστικά, επιβάλλεται να τοποθετηθεί πάντοτε και ένα σχετικά ισχυρό σύστημα συνδετήριων δοκών ακριβώς πάνω από τον αρμό σεισμικής μόνωσης που να ενώνει όλα τα κάτω άκρα των κατακόρυφων στοιχείων και να υποχρεώνει τη λειτουργία κλειστού πλαισίου προς αντιμετώπιση των διαφορικών σχετικών βυθίσεων των κατακόρυφων στοιχείων, κυρίως στη νέα και μετατοπισμένη θέση του κτιρίου εξαιτίας της σεισμικής διέγερσης. [1]



Σχ.1: Αριστερά η συμβατική αντισεισμική κατασκευή και δεξιά η σεισμικά μονωμένη κατασκευή.

#### 1.2 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Πρόκειται για μια σύγχρονη μέθοδο ανασχεδιασμού που στοχεύει στη μείωση της σεισμικής απαίτησης , με την παρεμβολή ειδικών δομικών στοιχείων μεταξύ εδάφους και κατασκευής τα οποία θα αναλάβουν την απομείωση της σεισμικής κίνησης , αντί της

αύξησης της αντοχής της κατασκευής (όπως συμβαίνει στον συμβατικό σχεδιασμό). Στην πράξη η μείωση της σεισμικής απαίτησης ,που κυμαίνεται από 3 έως και 6 φορές, εξαρτάται από το σύστημα σεισμικής μόνωσης ,το είδος της κατασκευής και την σεισμικότητα της περιοχής.

Επίσης ένας ακόμα στόχος της σεισμικής μόνωσης είναι και η απομείωση των οριζοντίων συνιστωσών της σεισμικής επιτάχυνσης (δισδιάστατη σεισμική μόνωση).Από τεχνολογικής άποψης η μόνωση μιας κατασκευής έναντι και των τριών συνιστωσών μιας σεισμικής κίνησης (δηλαδή μαζί με τις οριζόντιες και η κατακόρυφη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης ) είναι δυνατή έχοντας όμως απαγορευτικά υψηλό κόστος. Για το λόγο αυτόν τρισδιάστατη σεισμική μόνωση προβλέπεται μόνο για πολύ ειδικές κατασκευές. .[2,4]

## 2.ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

### 2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η χρήση των συστημάτων σεισμικής μόνωσης ενδείκνυται για τις εξής κατηγορίες κτιρίων:

- Κτίρια τα οποία περιέχουν αντικείμενα μεγάλης αξίας τα οποία είναι πιο ευαίσθητα στις επιταχύνσεις από ότι ο ίδιος ο φέρον οργανισμός (μουσεία ,βιομηχανικές μονάδες παραγωγής ευαίσθητων αντικειμένων,δημόσια μέγαρα).
- Κτίρια μεγάλης σπουδαιότητας για τα οποία απαιτείται υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας ακόμα και μετά το σεισμό (νοσοκομεία, εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών, σταθμοί παραγωγής ενέργειας).
- Κτίρια μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής σημασίας στα οποία οποιαδήποτε σημαντική επέμβαση θα αλλοίωνε την αξία τους (μνημεία,υφιστάμενα παλαιά κτίρια).

Γενικά η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης είναι καταλληλότερη για κτίρια στα οποία η μείωση της σεισμικής απαίτησης είναι σημαντική και μεγαλύτερη από άλλες μεθόδους αντισεισμικού σχεδιασμού.

### 2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ [1,4,6]

Μερικοί παράγοντες οι οποίοι κάνουν την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλη είναι οι ακόλουθοι :

1. **Ιδιοπερίοδος της κατασκευής** :Σε χαμηλά και μεσαίου ύψους κτίρια στα οποία η ιδιοπερίοδος ( $T < 0.5\text{sec} - 0.8\text{sec}$ )έχει μεγάλη πιθανότητα συντονισμού με τη σεισμική διέγερση ,η σεισμική μόνωση είναι περισσότερο αποδοτική. Αυτό συμβαίνει διότι η επίδραση της σεισμικής μόνωσης αυξάνει την ιδιοπερίοδο της κατασκευής στο διάστημα  $1.5\text{sec} - 3.5\text{sec}$ , δηλαδή αρκετά μακριά από την περιοχή των δεσποζουσών ιδιοπεριόδων των συνήθων σεισμικών διεγέρσεων.[Σε μια κατασκευή που έχει ήδη  $T$  στο διάστημα αυτό δεν είναι συμφέρουσα διότι η μείωση των σεισμικών δυνάμεων η οποία επιτυγχάνεται είναι μικρή[3].
2. **Απόσβεση συστημάτων σεισμικής μόνωσης** :Η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση, ως ποσοστό επί της κρίσιμης, στις συμβατικές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος είναι περίπου στο 5%. Με την σεισμική μόνωση υποχρεώνεται το κτίριο σε ελαστική συμπεριφορά, και άρα η εσωτερική ιξώδης απόσβεση ανέρχεται στο 2% για το σεισμικά μονωμένο τμήμα της κατασκευής το οποίο και θα συμπεριφερθεί ελαστικά λόγω των περιορισμένων σχετικών μετατοπίσεων των ορόφων και της συνακόλουθης μειωμένης απορροφούμενης ενέργειας της σεισμικής διέγερσης που εισάγεται στην ανωδομή.
3. **Βάρος της κατασκευής** :Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης είναι καταλληλότερη για σχετικά βαριά κτίρια διότι για να επιτευχθεί μια δεδομένη ιδιοπερίοδος της

σεισμικής μόνωσης, αν είναι μικρή η μάζα της ανωδομής, θα πρέπει να είναι μικρή και η δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

4. **Κόστος της ανακατασκευής :**Ένας από τους λόγους που κάνει την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης λιγότερο κατάλληλη είναι το αυξημένο κόστος της ,το οποίο ενδεχομένως μονό μακροπρόθεσμα κατά τη διάρκεια ζωής του έργου εξοικονομείται.Επομένως οι οικονομικές αποφάσεις σε επίπεδο αρχικής επένδυσης και ταχείας απόσβεσης της δαπάνης δεν ευνοούν την υιοθέτηση της σεισμικής μόνωσης ,τα πλεονεκτήματα της οποίας αναδεικνύονται σε βάθος χρόνου. Επιπλέον, η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης περιορίζεται διότι τα διαθέσιμα συστήματα μόνωσης αποτελούν ευρεσιτεχνίες με αποτέλεσμα να έχουν αρκετά αυξημένο κόστος.
5. **Εδαφικές συνθήκες :**Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης είναι καταλληλότερη σε θέσεις όπου υπάρχουν βραχώδη εδάφη και γενικά σκληροί εδαφικοί σχηματισμοί. Οι μαλακοί εδαφικοί σχηματισμοί τροποποιούν τη σεισμική διέγερση ενισχύοντας τις μεγάλες περιόδους με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της σεισμικής μόνωσης. Δηλαδή ακυρώνουν τη δράση της, διότι οι στρώσεις των χαλαρών εδαφικών σχηματισμών λειτουργούν ως μονωτική στρώση.
6. **Απόσταση από ενεργά ρήγματα :**Στην περίπτωση που το σεισμογόνο ρήγμα βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη θέση της κατασκευής (μικρότερη από 5km)τότε είναι δυνατό να εμφανιστεί ένας παλμός υψηλής περιόδου και ταχύτητας στην εδαφική κίνηση με αποτέλεσμα την αύξηση των μετατοπίσεων. Ο παλμός αυτός οφείλεται σε υπέρθεση των σεισμικών κυμάτων κατά τη διεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος. Παρόλα αυτά τα συστήματα σεισμικής μόνωσης χρησιμοποιούνται κοντά σε ενεργά ρήγματα αναλαμβάνοντας όμως μεγαλύτερες μετατοπίσεις με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος κατασκευής.
7. **Απαιτούμενες δομικές αλλαγές :**

Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης απαιτεί συγκεκριμένες αλλαγές στο δομικό σύστημα της κατασκευής όπως η διαμόρφωση της κοινής βάσης πάνω από τα εφόδρανα με σκοπό την ομογενοποίηση των αναπτυσσόμενων μετακινήσεων καθώς και ειδικές αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες :

- I. Για την περίπτωση επέμβασης σε υφιστάμενα κτίρια ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν την καταλληλότητα εφαρμογής σεισμικής μόνωσης είναι η ευκολία με την οποία μπορεί να διαχωριστεί η κατασκευή ώστε να παρεμβληθούν οι μονωτήρες και να αντιστηριχτεί περιμετρικά κατά τρόπο που να επιτρέπει την ανάπτυξη των αναμενόμενων μετακινήσεων. Για παράδειγμα όταν το επίπεδο μόνωσης διαπερνάται από αγωγούς κατακόρυφης επικοινωνίας (φρέατα ανελκυστήρων, κλιμακοστάσιο)τότε η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί αφού η λύση είναι απολύτως εξειδικευμένη για κάθε κτίριο. Επίσης η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης δεν είναι εφικτή στην περίπτωση ύπαρξης υδραυλικού ανελκυστήρα στην κατασκευή (που προϋποθέτει την έμπηξη του εμβόλου στο έδαφος).Επιπροσθέτως, είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν νέες συνδέσεις οι οποίες γίνονται μέσω εύκαμπτων σωληνώσεων ή εξαρτημάτων ούτως ώστε να αναλαμβάνουν τις αναμενόμενες μεγάλες μετακινήσεις.
- II. Είναι προφανές ότι για να είναι δυνατή η ενίσχυση και αποκατάσταση υφιστάμενων κτιρίων με σεισμική μόνωση πρέπει να υπάρχει διαθέσιμος χώρος ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις κτιρίων και να εκδηλώνονται ανεμπόδιστα μεγάλες μετακινήσεις οι οποίες στη βάση της κατασκευής μπορεί να φτάνουν μέχρι και 30cm.Σε συνεχές σύστημα δόμησης δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της.

### 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

#### 3.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΛΗΡΟΥΝ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ [4,6]

Οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα συστήματα σεισμικής μόνωσης είναι οι:

- **Πρόσθετη ευκαμψία:** Η οποία συνεπάγεται αύξηση της ιδιοπεριόδου της μονωμένης κατασκευής μειώνει την διέγερση της ανωδομής κατά τον σεισμό και κατά συνέπεια μειώνει την απαίτηση αντοχής από αυτή.
- **Πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας:** Η αυξημένη απόσβεση ενέργειας απαιτείται για τον περιορισμό των μετατοπίσεων του συστήματος σεισμικής μόνωσης σε πρακτικό επίπεδο για τον σχεδιασμό των μονωτήρων καθώς και για την μείωση των επιπτώσεων ενός πιθανού συντονισμού της μονωμένης κατασκευής με την εδαφική κίνηση.
- **Επάρκεια ανάληψης των μετακινήσεων:** Οι μονωτήρες πρέπει να είναι ικανοί να αναλάβουν τις αυξημένες μετακινήσεις στο επίπεδο της σεισμικής μόνωσης να αστοχήσουν. Η ανωδομή πρέπει να ακολουθήσει χωρίς να προβάλλει εμπόδια.
- **Επαρκή δυσκαμψία για τις υπόλοιπες οριζόντιες φορτίσεις:** Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να είναι ικανό να αναλάβει τις υπόλοιπες οριζόντιες φορτίσεις όπως ο άνεμος και οι σεισμοί μικρής έντασης χωρίς υπερβολικές μετατοπίσεις (συνήθως ανάλογα με το σύστημα απαιτείται να μην διαρρέει ή να μην ολισθαίνει).
- **Επάρκεια για την ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων:** Σε όλες τις οριακές καταστάσεις σχεδιασμού το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να είναι ικανό να φέρει με ασφάλεια τα κατακόρυφα φορτία μαζί με τις οριζόντιες μετακινήσεις όταν αυτές συνυπάρχουν.

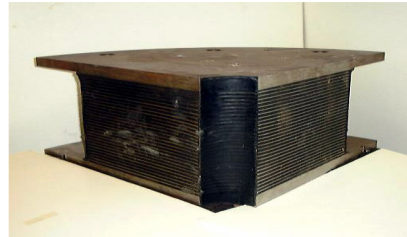
#### 3.2 ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ (LRB) [1,4,5]

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου εφευρέθηκαν στην Νέα Ζηλανδία την δεκαετία του 1970. Αποτελούνται από ένα κεντρικό πυρήνα μολύβδου ο οποίος εισάγεται με πίεση στην προανοιγμένη οπή ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής (Φωτ.1-2). Όλο το εφεδράνο περιβάλλεται από επικάλυψη ελαστικού (σύνθετος πάχος από 5mm έως 10mm) για λόγους περιβαλλοντικής προστασίας. Στις άνω και κάτω επιφάνειες καταλήγει σε παχιές μεταλλικές πλάκες (πάχος από 2cm έως 5cm) οι οποίες ισοκατανέμουν την κατακόρυφη παραμόρφωση και προσφέρουν την σύνδεση με την ανωδομή και την θεμελίωση.

Το κύριο πλεονέκτημα του εφεδράνου LRB είναι ότι παρέχει ευκαμψία για τις σεισμικές ανακυκλικές μετακινήσεις, δυσκαμψία για τις μη σεισμικές οριζόντιες φορτίσεις, υψηλό βαθμό υστερητικής απόσβεσης και επάρκεια στην ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων με την μορφή ενός εφεδράνου σεισμικής μόνωσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτυγχάνονται με τον συνδυασμό του ελαστομεταλλικού μέρους και του πυρήνα μολύβδου και κάνουν τα εφεδράνα LRB ένα από τα πλέον ανταγωνιστικά συστήματα σεισμικής μόνωσης για εφαρμογή σε κτήρια και γέφυρες.



Φωτ.1 : Ελαστομεταλλικό εφεδράνο LRB.



Φωτ.2 : Τομή LRB.

Το ελαστομεταλλικό εφεδρανο με πυρήνα μολύβδου παράγεται με βουλκανισμό επάλληλων στρώσεων ελαστικού (φυσικό καουτσούκ -rubber) και μεταλλικών πλακών από συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας μέσα σε μεταλλική μήτρα συγκεκριμένων διαστάσεων. Οι μεταλλικές πλάκες (τυπικό πάχος 2 έως 3mm) εμποδίζουν το ελαστικό να διογκώνεται πλευρικά λόγω του κατακόρυφου φορτίου, αλλά δεν έχουν καμία επίδραση στις οριζόντιες παραμορφώσεις του εφεδράνου που καθορίζονται από το συνολικό ύψος του ελαστομερούς υλικού. Όσο μειώνεται το πάχος των στρώσεων ελαστικού τόσο αυξάνει η κατακόρυφη δυσκαμψία και η επάρκεια ανάληψης των κατακόρυφων φορτίων. Όμως η οριζόντια δυσκαμψία του ελαστομεταλλικού μέρους παραμένει χαμηλή λόγω του χαμηλού μέτρου διάτμησης του φυσικού ελαστικού (από 0.4 έως 1.0MPa). Το ελαστομεταλλικό μέρος από μόνο του εμφανίζει μια σχεδόν γραμμικώς ελαστική συμπεριφορά με μικρό βαθμό απόσβεσης της τάξης του 2% με 3%.

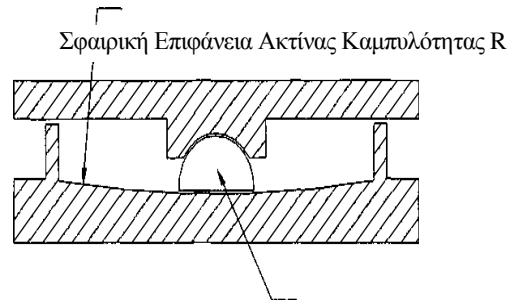
Η παρουσία του πυρήνα μολύβδου τροποποιεί την συμπεριφορά του εφεδράνου. Ο πυρήνας έχει υψηλή ελαστική ακαμψία η οποία παρέχει επαρκή δυσκαμψία στο εφεδρανο για τις μη σεισμικές οριζόντιες φορτίσεις. Όταν το εφεδρανο υποβάλλεται σε ανακυκλικές σεισμικές μετατοπίσεις, ο πυρήνας μολύβδου υποβάλλεται σε διατμητική παραμόρφωση από τις μεταλλικές πλάκες και διαρρέει εύκολα σε χαμηλά επίπεδα τάσεων της τάξης των 10MPa. Μετά την διαρροή ο μολύβδος παρουσιάζει σχεδόν τέλεια πλαστική συμπεριφορά. Το αποτέλεσμα είναι το εφεδρανο να εμφανίζει μια σχεδόν διγραμμική υστερητική συμπεριφορά. Η ενεργός ακαμψία του εφεδράνου κάτω από την ανακυκλική σεισμική φόρτιση μειώνεται σημαντικά όσο το εύρος της ανακυκλικής παραμόρφωσης ξεπερνά την μετατόπιση διαρροής του μολύβδου. Για τα επίπεδα του σεισμού σχεδιασμού ιδιοπερίοδοι της τάξης των 2 sec είναι εύκολο να επιτευχθούν για την μονωμένη κατασκευή. Ακόμα ενέργεια καταναλώνεται με την μορφή θερμότητας η οποία είναι ανάλογη με το εμβαδόν που σχηματίζουν οι βρόχοι υστέρησης. Ο ισοδύναμος βαθμός ιξώδους απόσβεσης ο οποίος επιτυγχάνεται είναι αρκετά υψηλός, της τάξης του 15% έως 30%.

### **3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ ΤΡΙΒΗΣ (FPS) [1,2,5]**

Εκτός από τα συστήματα με ελαστομεταλλικά εφεδρανα που είναι και τα πιο συνηθισμένα λόγω κόστους, υπάρχουν και τα συστήματα εκκρεμούς τριβής (FPS). Το σύστημα αυτό συνδυάζει την ολίσθηση σε επιφάνεια τριβής με μια δύναμη επαναφοράς η οποία προκύπτει από τη γεωμετρία της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης. Στο σχήμα 2 φαίνεται η τομή ενός μονωτήρα FPS που αποτελείται από ένα αρθρωτό ολισθήρα ο οποίος ολισθαίνει πάνω σε σφαιρική επιφάνεια τριβής από ανοξείδωτο χάλυβα ακτίνας καμπυλότητας  $R$ . Η επιφάνεια του ολισθήρα η οποία έρχεται σε επαφή με τη σφαιρική επιφάνεια έχει επικάλυψη από συνθετικό υλικό συνήθως Teflon. Καθώς ο ολισθήρας ολισθαίνει στην σφαιρική επιφάνεια η μάζα της ανωδομής ανυψώνεται και εμφανίζεται μια δύναμη επαναφοράς η οποία τείνει να επαναφέρει το εφεδρανο στη θέση ισορροπίας. Αυτή η δύναμη επαναφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας καμπυλότητας  $R$  και ανάλογη της μετατόπισης του μονωτήρα. Επιπλέον η απόσβεση των μονωτήρων παράγεται μεταξύ της σφαιρικής επιφάνειας και του αρθρωτού ολισθήρα. Τέλος ο βαθμός απόσβεσης του μονωτήρα καθώς επίσης και η ενεργός ακαμψία του εξαρτώνται από την ακτίνα καμπυλότητας  $R$  της σφαιρικής επιφάνειας.



Φωτ.3: Εγκατεστημένο εφεδράνο FPS. [8]

Σφαιρική Επιφάνεια Ακτίνας Καμπυλότητας R  
Αρθρωτός ολισθήρας  
Σχ.2 : Τομή εφεδράνου FPS

### 3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Γενικά , τα συστήματα με ελαστομεταλλικά εφεδράνα λειτουργούν κατά βάση με την επιμήκυνση της περιόδου της κατασκευής ενώ τα ολισθαίνοντα συστήματα λειτουργούν περιορίζοντας τη μετάδοση δυνάμεων πέρα από το επίπεδο μόνωσης . Δυο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του συστήματος FPS είναι ότι η ιδιοπερίοδος της μονωμένης κατασκευής καθώς και ο βαθμός απόσβεσης δεν εξαρτώνται από τη μάζα της κατασκευής .

Το γεγονός αυτό κάνει ιδιαίτερα πρόσφορη την εφαρμογή τους σε σχετικά ελαφρές κατασκευές όπως μεταλλικά στέγαστρα.[11] Αντίθετα τα συστήματα με ελαστομεταλλικά εφεδράνα δεν μπορούν να φτάσουν σε τόσο μικρά επίπεδα δυσκαμψίας γιατί γίνονται ασταθή υπό το κατακόρυφο φορτίο. Επιπροσθέτως τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εκκρεμούς τριβής μεταβάλλονται ελάχιστα στο χρόνο και στη θερμοκρασία. Τέλος, για ένα σύστημα σεισμικής μόνωσης το οποίο αποτελείται από σεισμικούς μονωτήρες FPS ίδιας ακτίνας καμπυλότητας  $R$  , η ενεργός ακαμψία κάθε μονωτήρα είναι ανάλογη του βάρους που υποστηρίζει και κατά συνέπεια το κέντρο ακαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης ταυτίζεται με το κέντρο μάζας. Η ιδιότητα αυτή τείνει να μηδενίζει τις στρεπτικές κινήσεις της μεμονωμένης κατασκευής.

## 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ.

### 4.1 « ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΟΥΣΕΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΣ ΤΟΥ ΤΟΚΙΟ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ »[7]

#### 4.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το Εθνικό (Ιαπωνικό) Μουσείο Δυτικής Τέχνης στο Τόκιο, σχεδιασμένο από τον Le Corbusier στα μέσα του 20ου αιώνα, θεωρείται ανεκτίμητης αξίας από τους Ιάπωνες, καθώς είναι το μοναδικό κτίριο του θρυλικού αρχιτέκτονα στην Ανατολική Ασία. Το μουσείο, πρωτολειτούργησε το 1959, έχει δε σήμερα επεκταθεί και ανανεωθεί πλήρως.

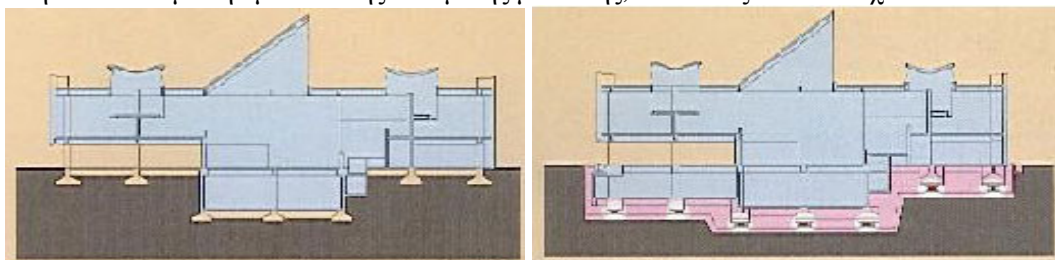
Επιπλέον, το κυρίως κτίριο έχει ενισχυθεί έναντι σεισμού ως μέρος ενός προγράμματος μείωσης των πιθανών ζημιών κατά την διάρκεια ακραίων φαινομένων. Ευρείες μελέτες αντισεισμικής ενίσχυσης, διατήρησης, και λειτουργικότητας του κτιρίου διενεργήθηκαν κατά την διάρκεια του παραπάνω εγχειρήματος. Η αρχική ιδέα ήταν η ενίσχυση του κτιρίου έναντι σεισμού με την πρόσθεση περιμετρικών τοιχίων στον 1<sup>ο</sup> όροφο. Όμως μια τέτοια λύση δεν ικανοποιούσε



Επιπλέον, το κυρίως κτίριο έχει ενισχυθεί έναντι σεισμού ως μέρος ενός προγράμματος μείωσης των πιθανών ζημιών κατά την διάρκεια ακραίων φαινομένων. Ευρείες μελέτες αντισεισμικής ενίσχυσης, διατήρησης, και λειτουργικότητας του κτιρίου διενεργήθηκαν κατά την διάρκεια του παραπάνω εγχειρήματος. Η αρχική ιδέα ήταν η ενίσχυση του κτιρίου έναντι σεισμού με την πρόσθεση περιμετρικών τοιχίων στον 1<sup>ο</sup> όροφο. Όμως μια τέτοια λύση δεν ικανοποιούσε

τις λειτουργικές και αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του μουσείου. Ένα άλλο σχέδιο απαιτούσε την αντιμετώπιση της σεισμικής δράσης μέσω ενίσχυσης των ήδη υαρχόντων υποστυλωμάτων, αλλά και αυτή η λύση δεν ήταν καθόλου συμβατή με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του έργου. Έτσι κρίθηκε αναγκαίο να αναζητηθεί μία νέα μέθοδος. Πρώτη προτεραιότητα ήταν να διατηρηθεί η αυθεντική μορφή του κτιρίου. Επιπλέον, τα αντισεισμικά μέτρα έπρεπε να εξασφαλίσουν ότι το κτίριο θα 'επιβίωνε' ακόμα και από έναν σεισμικό κραδασμό πολύ μεγάλης έντασης. Έτσι τέθηκε και ο κατασκευαστικός στόχος: να διατηρηθεί η σεισμική εντατική κατάσταση στο κτίριο στην ελαστική περιοχή χωρίς όμως την πρόσθεση εμφανών δομικών στοιχείων.

Τέθηκε λοιπόν επί τάπητος η λύση της σεισμικής μόνωσης, προκειμένου να διαπιστωθεί αν μπορούσε να ικανοποιήσει τον στόχο αυτόν, χωρίς απαράδεκτες μετακινήσεις του κτιρίου σε σχέση με τα διπλανά. Η μέθοδος αυτή διατηρούσε την αυθεντική μορφή της κατασκευής επιτρέποντας έτσι την καλύτερη δυνατή χρήση της, ενώ παράλληλα προσέφερε μεγαλύτερη αντισεισμική προστασία από τις μεθόδους που βασιζόνταν στην ενίσχυση του φέροντας οργανισμού της ανωδομής. Μία γενική εικόνα της ιστορικά πρώτης σεισμικής αναβάθμισης στην Ιαπωνία με την μέθοδο της σεισμικής μόνωσης, απεικονίζεται στο Σχ.3.



Σχ. 3 : Το μουσείο πριν την αναβάθμιση και μετά την πρόσθεση της σεισμικής μόνωσης.

#### 4.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Επειδή το κτίριο έχει ένα υπόγειο τμήμα πολύπλοκου σχήματος, οι θέσεις όπου θα μπορούσαν να τοποθετηθούν οι σεισμικοί μονωτήρες ήταν περιορισμένες. Αποφασίστηκε λοιπόν η χρήση υψηλής-πυκνότητας πολύστρωτων ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου (LRB), τα οποία προσφέρουν: επαρκή υποστήριξη του κατακόρυφου φορτίου του κτιρίου, μεγάλη εγκάρσια ευκαμψία, και σημαντική απόσβεση κατά την διάρκεια των ταλαντώσεων. Η ικανότητα απόσβεσης κραδασμών της λύσης αυτής προσφέρει επαρκή μόνωση για μικρής και μέτριας έντασης σεισμικούς κραδασμούς και μείωση της σεισμικής απόκρισης του κτιρίου μετά την αποκατάσταση, ικανοποιώντας τις σύγχρονες απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού.

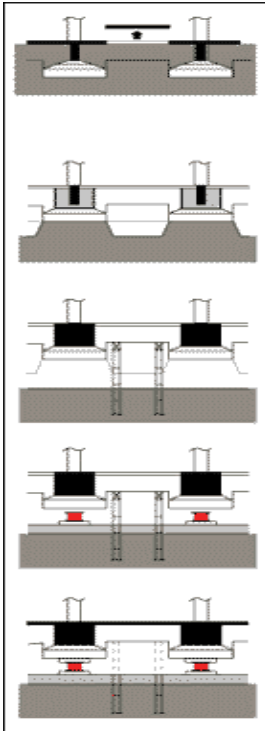
Επειδή τα εφεδράνα έπρεπε να τοποθετηθούν σε διάφορα ύψη, το κτίριο είχε επιπλέον ένα κεντρικό 'αίθριο' και παράλληλα έπρεπε να εξασφαλισθεί ένα λογικό επίπεδο ασφαλείας, η τοποθέτηση των εφεδράνων ήταν ιδιαίτερα δύσκολη.

Η τοποθέτηση της σεισμικής μόνωσης κάτω από την υπάρχουσα θεμελίωση ήταν ένα αξιοθαύμαστο επίτευγμα. Το κτίριο εδράζεται μέσω ενιαίας πλάκας θεμελιώσεως σε στρώση αργιλώδους εδάφους. Το εγχείρημα περιελάμβανε υποστήριξη μιας σύνθετης θεμελιώσεως που αποτελούνταν από την τελευταία επέκταση του μουσείου με το υπόγειο της ένα τμήμα χωρίς υπόγειο, και τον αρχικό υπόγειο χώρο. Η διαδικασία τοποθέτησης των εφεδράνων δείχνεται σχηματικά στο σχήμα 4. Κατά την διάρκεια των εργασιών γινόταν συνεχής καταγραφή των καθιζήσεων και της παραμόρφωσης του κτιρίου, και αναπτύχθηκε ένα σχέδιο ασφαλείας για τυχόν απαραίτητη περαιτέρω υποστήριξη σε οποιαδήποτε φάση των εργασιών. Είχαν επίσης ληφθεί κατάλληλα μέτρα για τον περιορισμό των ζημιών σε περίπτωση ενός σεισμικού συμβάντος κατά την διάρκεια των εργασιών.





Φώτ.4 : Τοποθέτηση ελαστομεταλλικού εφεδράνου.



Σχ. 4 :

Διαδικασία τοποθέτησης των ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

1. απομάκρυνση υπάρχοντος δαπέδου.
2. αποκάλυψη του άνω μέρους της θεμελίωσης.
3. ενίσχυση της θεμελίωσης.
4. τοποθέτηση προσωρινών σωλήνων-πασσάλων υποστήριξης.
5. εκσκαφή κατώτερου μέρους θεμελίωσης.
6. κατασκευή βάσης εδράσεως των σεισμικών εφεδράνων.
7. τοποθέτηση εφεδράνων σεισμικής μόνωσης.
8. ολοκλήρωση του νέου δαπέδου του μουσείου.

#### 4.1.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα σεισμικά εφέδρανα που τοποθετήθηκαν κάτω από το μουσείο μειώνουν την εισαγόμενη στο κτίριο ενέργεια κατά ένα ποσοστό 70 — 80 %, σε σχέση με την κινητική ενέργεια του κτιρίου χωρίς σεισμική μόνωση, εξασφαλίζοντας έτσι ότι η αναπτυσσόμενη σεισμική ένταση στο κτίριο θα παραμείνει ελαστική. Αυτή η αποκατάσταση προσφέρει στο κτίριο ένα υψηλότερο επίπεδο αντισεισμικής προστασίας από αυτό που ορίζεται στους ισχύοντες Ιαπωνικούς κανονισμούς , ενώ ταυτόχρονα διατηρείται η αυθεντική του αρχιτεκτονική. Η αποκατάσταση πάνω από όλα προσφέρει μεγάλο βαθμό ασφάλειας τόσο στα εκθέματα όσο και στους επισκέπτες του μουσείου.

## 4.2 « ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ LA CITY HALL ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ » [10]

### 4.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το δημαρχείο του Los Angeles πρωτολειτούργησε στις 26 Απριλίου 1928. Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 70 ετών οι περιφερειακοί σεισμοί και ιδιαίτερα ο σεισμός Northridge του 1994 προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στο κτίριο που κατέστησαν αναγκαία την ενίσχυση και επισκευή του. Ο σεισμός Northridge του 1994 έβλαψε τα ανώτερα πατώματα του πύργου με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η προσωρινή ενίσχυσή τους και η εγκατάσταση ενός καλύμματος (ή δίχτυ) μεταξύ 25<sup>ου</sup> και 27<sup>ου</sup> ορόφου .





Ο σκοπός αυτού του καλύμματος ήταν να μαζευτούν τα συντρίμια από το κτήριο. Αυτά τα προσωρινά μέτρα παρείχαν τον απαραίτητο χρόνο για να ξανασχεδιαστεί το ενισχυμένο σύστημα του ανώτερου πύργου, να εκτελεστούν οι επισκευές και να σταθεροποιηθεί αυτό το μέρος του κτηρίου, ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια τη δυνατότητα ύπαρξης μόνιμης ζημίας σε ολόκληρο το πλαίσιο.

Αυτή η εργασία ενίσχυσε τους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους του πύργου και αντικατέστησε την εξωτερική επένδυση terra cotta που είχε γίνει ασταθής μετά το σεισμό. Το δίκτυ αφαιρέθηκε τελικά στις 18 Οκτωβρίου του 1996 μόλις ολοκληρώθηκε η ενίσχυση και η δομική αντικατάσταση της επένδυσης terra cotta σε αυτήν την περιοχή.

Επιπλέον λόγω των μεγάλων κεραμικών, των μαρμάρινων στηλών και των ξύλινων λεπτομερειών, που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις σεισμικές διεγέρσεις, επιλέχθηκε ένας συνδυασμός τεχνολογιών για την προστασία τους. Αρχικά επιλέχθηκε ενίσχυση του κτιρίου με σεισμική μόνωση και έπειτα ενίσχυση με προσθήκη δομικού χάλυβα και τοιχωμάτων. Ο συνδυασμός αυτός καθιστά το κτίριο περισσότερο άκαμπτο περιορίζοντας έτσι τις πιθανές ζημιές κατά τη διάρκεια ακραίων σεισμικών φαινομένων.

#### 4.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η τεχνολογία απομόνωσης βάσης έγινε με στόχο την μείωση των δυνάμεων που διαβιβάζονται στο κτήριο από το έδαφος. Αποφασίστηκε λοιπόν η τοποθέτηση μηχανικών συστημάτων μονωτών, ολισθαινόντων ρυθμιστών και διατάξεων απόσβεσης που μειώνουν τις βίαιες μετακινήσεις της γης κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Με τη χρήση των μονωτών και των διατάξεων απόσβεσης το κτήριο "αποσυνδέεται" από την επίγεια κίνηση οποιουδήποτε σεισμού και η μετάδοση της σεισμικής ενέργειας στο κτήριο μειώνεται. Αυτό γίνεται με μείωση της παλμικής συχνότητας η οποία επιτρέπει την κίνηση και τη μετατόπιση του κτηρίου. Επιτυγχάνεται ακόμα ο περιορισμός της σεισμικής επιτάχυνσης και συνεπώς μειώνεται και η τάση να κινούνται τα ανώτερα πατώματα εντονότερα από τα χαμηλότερα. Γενικά, τα κτήρια που έχουν ενισχυθεί με σεισμική μόνωση, υποβάλλονται στο 1/3 έως το 1/5 της οριζόντιας επιτάχυνσης των συμβατικών τρόπων ενίσχυσης κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

Χρησιμοποιήθηκαν μονωτές LRB οι οποίοι είναι σε θέση να μετατοπιστούν οριζόντια σε οποιαδήποτε κατεύθυνση σε απόσταση 61cm από το κέντρο (Φωτ.5).



Φωτ.5 : Ένας μονωτής σε πλήρη επέκταση όπως θα ήταν κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Κάθε μονωτής θα επεκτείνεται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση 61cm.

Τα υποστυλώματα της συγκεκριμένης κατασκευής φέρουν φορτία μεταξύ 2.225 KN και 11.125KN, ανάλογα με το μέγεθος και τη θέση τους. Αρχικά γίνεται η ενίσχυση των υποστυλωμάτων και στη συνέχεια η εγκατάσταση πείρων ασφαλείας έτσι ώστε το υπόγειο να είναι έτοιμο για ανασκαφή προκειμένου να εκτεθούν οι θέσεις των πεδίων όπως φαίνεται

στις φωτογραφίες 6 έως 9. Σε μερικές περιοχές η ανασκαφή έφτασε τουλάχιστον 2.44m κάτω από το επίπεδο του αρχικού πατώματος υπογείων. Πάνω από 15.291m<sup>3</sup> της γης ανασκάφθηκαν από το υπόγειο.



Φωτ.6 : Αφαίρεση επικάλυψης σκυροδέματος, τοποθέτηση πύρων ασφαλείας και προσωρινή ενίσχυση υποστυλώματος.

Φωτ.7 : Ενίσχυση υποστυλώματος, εκσκαφή του κατώτερου μέρους της θεμελίωσης, διεύρυνση των πεδίων.

Φωτ.8 : Ένα από τα πέδιλα όπου έχει εγκατασταθεί το αρχικό rebar.

Φωτ.9 : Δημιουργία πλαισίου στα πέδιλα.

Μόλις εκτέθηκαν οι θέσεις των υποστυλωμάτων, κόπηκαν για να τοποθετηθούν χαλύβδινα rebar ώστε να επιτευχθεί η ενίσχυση στη διευρυμένη θέση των πεδίων.

Μετά τη δημιουργία πλαισίου στα υποστυλώματα έγινε έκχυση σκυροδέματος και ξεκίνησε η διαδικασία εγκατάστασης μονωτών. Για να αποφευχθούν οι μετακινήσεις των υποστυλωμάτων εγκαταστάθηκαν υδραυλικοί γρύλοι και χαλύβδινες δοκοί. Στις φωτογραφίες 10 έως 12 γίνεται περιγραφή της διαδικασίας έκχυσης σκυροδέματος στα πέδιλα, μετά την διεύρυνσή τους.



Φωτ.10 : Πέδιλα με πλαίσια έτοιμα για έκχυση σκυροδέματος.

Φωτ.11 : Έκχυση σκυροδέματος.

Φωτ.12 : Ολοκλήρωση διαδικασίας.

Οι μονωτές καθώς επίσης και οι ολισθαίνοντες ρυθμιστές (Φωτ.21) εγκαταστάθηκαν ένας ένας. Πρώτα εγκαταστάθηκαν οι προσωρινοί υδραυλικοί γρύλοι σε μια κολώνα με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηριχθεί η κολώνα και να μην μπορεί να κινηθεί. Έπειτα κόβοντας ένα συγκεκριμένο μήκος από τη βάση του υποστυλώματος δημιουργήθηκε ένα κενό μέσα στο οποίο τοποθετήθηκε ο μονωτής μαζί με εποξιδική ρητίνη ώστε να γεμίσουν εντελώς οποιαδήποτε κενά. Όπως φαίνεται στις φωτογραφίες 13 έως 16.

Προτού να εγκατασταθεί ο πρώτος μονωτής, ήταν απαραίτητο ένα έτος προετοιμασίας, για να αφαιρεθεί η επένδυση από κάθε χαλύβδινη κολώνα, να ενισχυθεί ώστε να μην μπορεί να κινηθεί κατά τη διάρκεια των εργασιών και για να πραγματοποιηθεί η συγκόλληση των 100 έως 300 πείρων ασφαλείας (Nelson studs) σε ακριβείς θέσεις σε κάθε κολώνα. Για την

διαδικασία αυτή κάθε κολώνα έπρεπε να αναλυθεί χωριστά για να καθοριστεί η θέση που πρέπει να τοποθετηθεί καθένας από τους 100-300 πείρους ασφαλείας προκειμένου να μεγιστοποιήσει τη φέρουσα ικανότητα.



Φωτ.13 : Τοποθέτηση υδραυλικών γρύλων και προσωρινών βοηθητικών δοκαριών.

Φωτ.14 : Εγκατάσταση υδραυλικών γρύλων.

Φωτ.15 : Κόβεται το υποσύλωμα και απομακρύνεται το σκυρόδεμα.

Φωτ.16 : Έτοιμο για την τοποθέτηση του μονωτή.



Φωτ.17-18 : Τελική εγκατάσταση μονωτών.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν και ιξώδεις διατάξεις απόσβεσης (Φωτ.20-21) κατά την ενίσχυση του κτιρίου. Οι διατάξεις απόσβεσης, αυξάνουν την ικανότητα απόσβεσης του συστήματος(κατασκευή και σύστημα μόνωσης)σε 15-40% και περιορίζουν τις σχετικές μετατοπίσεις και στροφές του φέροντος οργανισμού της κατασκευής μέσω της απορρόφησης της εισερχόμενης ενέργειας λόγω της σεισμικής διέγερσης.[1]



Φωτ.19 : Εγκατάσταση ολισθαίνοντων ρυθμιστών.

Φωτ.20 : Διάταξη απόσβεσης στο υπόγειο του κτιρίου.

Φωτ.21 : Διάταξη απόσβεσης στον 26<sup>ο</sup> όροφο του κτιρίου.

Όταν το σεισμικό πρόγραμμα αποκατάστασης τελείωσε :

526 μονωτές /ολισθαίνοντες ρυθμιστές εγκαταστάθηκαν



52 ιξώδεις διατάξεις απόσβεσης εγκαταστάθηκαν στο υπόγειο  
12 ιξώδεις διατάξεις απόσβεσης εγκαταστάθηκαν στον πύργο  
22.937m<sup>3</sup> σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν  
3.000 τόνοι δομικού χάλυβα εγκαταστάθηκαν  
5.000 τόνοι της ενίσχυσης του χάλυβα θα εγκαταστάθηκαν  
26.759m<sup>3</sup> της γης ανασκάφθηκαν από τις περιοχές υπογείων και τάφρων

#### **4.2.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Όπως προαναφέρθηκε για την ενίσχυση χρησιμοποιήθηκαν διατάξεις απόσβεσης και ολισθαίνοντες ρυθμιστές, οι οποίοι με την εγκατάστασή τους σε επιλεγμένες θέσεις στην κατασκευή συνέβαλλαν σε καλό συντονισμό και βοήθησαν τους μονωτές LRB να περιορίσουν την επίδραση ενός σεισμικού γεγονότος στο κτίριο. Επίσης η σωστή τοποθέτηση και η ακρίβεια στους υπολογισμούς είχε ευεργετικές συνέπειες στο τελικό κόστος του έργου αλλά και στους ελεύθερους χώρους που προέκυψαν από το σωστό σχεδιασμό. Τέλος ελαχιστοποιήθηκαν οι βλάβες διατηρώντας ταυτόχρονα την αυθεντική αρχιτεκτονική του ιστορικού αυτού κτιρίου.

#### **4.2.4 ΒΡΑΒΕΙΑ**

1. Los Angeles Chapter of the American Institute of Architects "Building of the Year" award for the year 2001
2. American Public Works Association (APWA)'s special "Historic Preservation Award" for the year 2001

### **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ**

#### **5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

1. Γενικά στόχος της μελέτης της σεισμικής μόνωσης είναι η αποφυγή βλάβης ενώ ο στόχος της συμβατικής αντισεισμικής μελέτης είναι η αποφυγή κατάρρευσης.
2. Σε μια σεισμικά μονωμένη κατασκευή, η αντοχή και η δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής δεν επηρεάζονται στη περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού και ακόμα σε επάλληλες μετασεισμικές δονήσεις. Αποφεύγονται έτσι οι αβεβαιότητες του συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού που αφορούν τη δημιουργία, το πλήθος και τη θέση των πλαστικών αρθρώσεων στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου, και ελαχιστοποιούνται τεχνικά δύσκολες, υψηλού κόστους και αμφιβόλου αποτελεσματικότητας επισκευές του φέροντα οργανισμού του έργου.
3. Αντίθετα με τους συμβατικούς τρόπους ενίσχυσης, οι οποίοι βασίζονται στην ανελαστική δράση φερόντων δομικών στοιχείων για την αποβολή της ενέργειας του σεισμού, η σεισμική μόνωση μειώνει την απαίτηση δύναμης στην κατασκευή και επομένως περιορίζει την ανελαστική παραμόρφωση.

4. Σε μια σεισμικά μονωμένη κατασκευή η κρουστική δράση του σεισμού απορροφάται από το σύστημα σεισμικής μόνωσης ενώ στις συμβατικές κατασκευές παρατηρούνται εκτεταμένες βλάβες κυρίως στο ισόγειο.
5. Λόγω της δραστηκής μείωσης της σεισμικής φόρτισης της ανωδομής καθίστανται δυνατή και η προστασία του περιεχομένου της ,δεν επηρεάζεται η χρήση και η λειτουργικότητα του κτιρίου και αποφεύγεται η εκκένωσή του.
6. Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης και οι ροπές ανατροπής της κατασκευής λόγω της σεισμικής φόρτισης, έχουν ως αποτέλεσμα την δυναμική καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης της κατασκευής. Η σεισμική μόνωση μειώνει τη σεισμική φόρτιση της ανοδομής με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι αναπτυσσόμενες ροπές ανατροπής στη στάθμη θεμελίωσης. Έτσι ελαττώνεται σημαντικά η δυναμική καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης , ελαχιστοποιούνται ή και αποφεύγονται καθιζήσεις, με συνέπεια να αυξάνεται η ασφάλεια της θεμελίωσης.
7. Τα συμβατικά κτίρια παρουσιάζουν μια εσωτερική ικανότητα απόσβεσης μέχρι 5%.Αν η επιπλέον προσθήκη δυνατότητας απόσβεσης της τάξης του 15% με 20% ικανοποιεί τις απαιτήσεις στην δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής, τότε η χρήση της μεθόδου θα είναι βέλτιστη από πλευράς κόστους και τοποθέτησης. Αν το κτίριο απαιτεί υψηλότερα ποσοστά απόσβεσης, τότε συνίσταται η χρήση άλλων μεθόδων ενίσχυσης της κατασκευής, όπως η σεισμική μόνωση.
8. Η σεισμικά μονωμένη κατασκευή είναι έως και 10% οικονομικότερη έναντι της συμβατικής κατασκευής εφόσον στις εκτιμήσεις συμπεριληφθεί και το κόστος λόγω της πιθανούς διακοπής χρήσης του κτιρίου κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα που πρέπει να συνεκτιμηθεί στην σύγκριση του κόστους είναι η αύξηση της αξίας του ακινήτου.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**[1] Παθητικός έλεγχος δυναμικής απόκρισης κατασκευών.**

Μακάριος Τριαντάφυλλος

**[2] Sliding isolation of structures: effect of horizontal and vertical acceleration.**

N.Fardis P.Georgarakos G.Gazetas I.Anastasopoulos

School of Civil Engineering, National Technical University, Athens Greece

**[3] Rocking of foundations under strong seismic excitation.**

M.Apostolou N.Makris G.Gazetas I.Anastasopoulos

**[4] ‘Σχεδιασμός συστημάτων σεισμικής μόνωσης’ .**

B.Κουμούσης Γ.Γκαζέτας

Αθήνα 18 & 19 Δεκεμβρίου 2003

**[5] Fema 356 , Seismic Rehabilitation Guidelines. Chapter 9: Seismic isolation and energy dissipation.**

**[6] Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενες κατασκευές ως μέσο ουσιαστικής σεισμικής αναβάθμισής τους.**

Α.Σοφοκλέους Ι.Καραμπατζός Κ.Μυλωνάς Ι.Κάνας

[7] **‘Vibration – Isolation Retrofit for the National Museum of Western Art , Tokyo’.**

Akihiro Ito Ryugo Nakagawa Fumiaki Abe Yasukazu Nakamura

**Μετάφραση** : Γεωργαράκος Παναγιώτης. **Structural Engineering International** , 3 / 1998.

[8] **Hayward City Hall .Hayward, California . EPS**

[9] **Σεισμομόνωση Α.Ε. Συστήματα σεισμικής μόνωσης και απόσβεσης ενέργειας  
,Καλαβρύτων 5, Ν.Ψυχικό, 15441 Αθήνα.**

[www.seismomonosis.com](http://www.seismomonosis.com)

[10] **Los Angeles City Hall Seismic Rehabilitation Project .**

[www.lacityhall.org](http://www.lacityhall.org)

[11] **Μαθήματα μεταλλικών κατασκευών ΙΙ**

Μπέσκος Δ.

Πολυτεχνική σχολή , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών 1998