

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ: ΛΥΣΗ Ή ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΗ ΕΠΙΛΟΓΗ

ΦΟΥΡΛΕΜΑΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Περίληψη

Η Ελλάδα, όπως είναι παγκοσμίως γνωστό, έχει ένα δυσάρεστο χαρακτηριστικό: την έντονη σεισμικότητα. Αυτό, την καθιστά μεταξύ των χωρών που υποχρεώνονται να διαμορφώνουν τους κανονισμούς δόμησης υπερσυντηρητικούς. Ελαστική ή πλαστική συμπεριφορά, υπεραντοχή, σεισμική μόνωση, είναι κάποιες από τις λύσεις που μπορεί κανείς να επιλέξει. Στην παρούσα εργασία, θα γίνει η παρουσίαση κάποιων πληροφοριών σχετικά με την τεχνολογία της σεισμικής μόνωσης. Σκοπός της δε είναι να δοθεί έμφαση στα προνόμια που τυγχάνουν άλλα κράτη με σεισμικότητα αντίστοιχη της Ελλάδος αλλά και μεγαλύτερη.

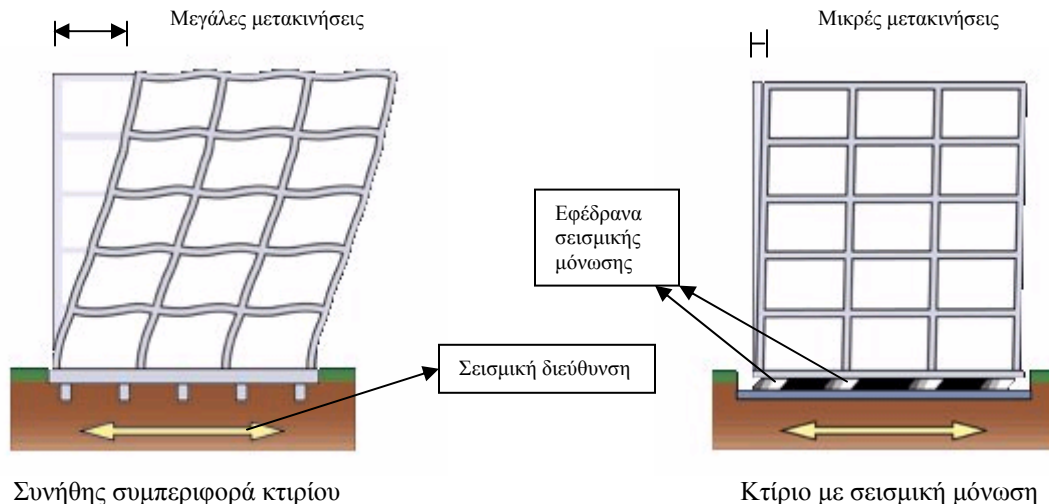
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η σεισμική μόνωση είναι ένας από τους πλέον επιτυχημένους τρόπους προστασίας των κτιρίων από τους σεισμούς. Ο σκοπός της, δεν είναι άλλος από την προστασία της στατικής ακεραιότητας του κτιρίου αλλά και η παρεμπόδιση βλαβών δευτερευόντων μελών αλλά και ό,τι εμπεριέχεται σε αυτό. Αυτό επιτυγχάνεται με την σταδιακή απορρόφηση των οριζόντιων φορτίων (σεισμικές δράσεις), φορτίζοντας τους αρμόδιους μονωτήρες και μόνο. Το σημείο εφαρμογής αυτών είναι κατά κανόνα η διεπιφάνεια της θεμελίωσης με την ανωδομή. [1]

Η μείωση της απόκρισης επιτυγχάνεται ως ακολούθως:

- επιμήκυνση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής (επίδραση της μετάθεσης της περιόδου στο φάσμα σχεδιασμού), με την οποία επιτυγχάνεται μείωση των σεισμικών δυνάμεων, με αναπόφευκτη αύξηση των μετακινήσεων
- με αύξηση της ικανότητας απόσβεσης, με την οποία επιτυγχάνεται μείωση των σεισμικών μετακινήσεων και ενδεχομένως των δυνάμεων
- με συνδυασμό (κατά προτίμηση) των επιδράσεων και των δύο παραπάνω παραγόντων [2]

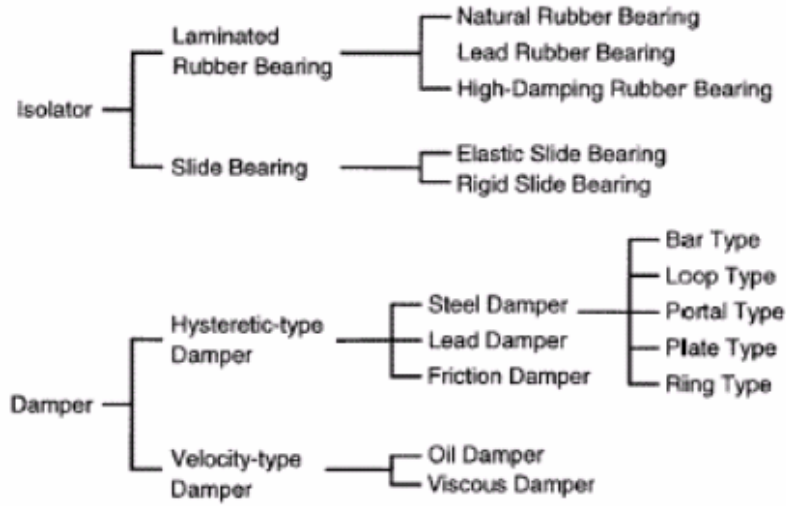
Πρέπει να σημειωθεί, η απαραίτητη κατασκευή αρμού περιμετρικά της θεμελίωσης, ικανού να επιτρέψει στην κατασκευή να ταλαντωθεί κατά την διάρκεια του σεισμού. Ως εκ τούτου, ιδιαίτερης μέριμνας χρήζουν οι εγκαταστάσεις πάσης φύσεως, που γεφυρώνουν το άνοιγμα του αρμού.



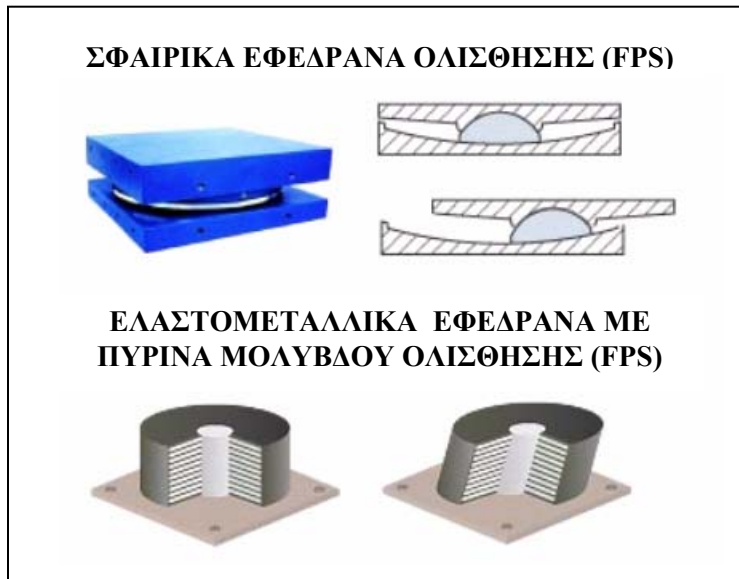
Σχήμα 1: Απεικόνιση συμπεριφοράς κτιρίου υπό σεισμική διέγερση

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ

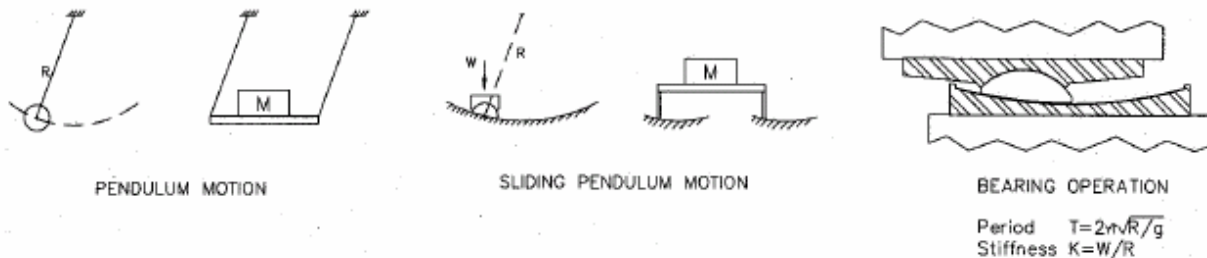
Στο σχήμα που ακολουθεί, εμφανίζονται τα πιο διαδεδομένα είδη σεισμικής μόνωσης.



Σχήμα 2: Τεχνικές σεισμικής μόνωσης [3]



Σχήμα 3: Τα πιο “διάσημα” εφέδρανα [4]



Σχήμα 4: Βασικές αρχές λειτουργίας σχετικά με τα εφέδρανα σφαιρικής ολίσθησης [5]

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της σεισμικής μόνωσης είναι:

- σίγουρη αντισεισμική ενίσχυση
- σαφέστερη αποδοτικότητα
- μείωση του κόστους του φέροντα οργανισμού σε κάποιες περιπτώσεις
- διαφύλαξη του περιεχομένου της κατασκευής ακόμη και κατά την διάρκεια του σεισμού.

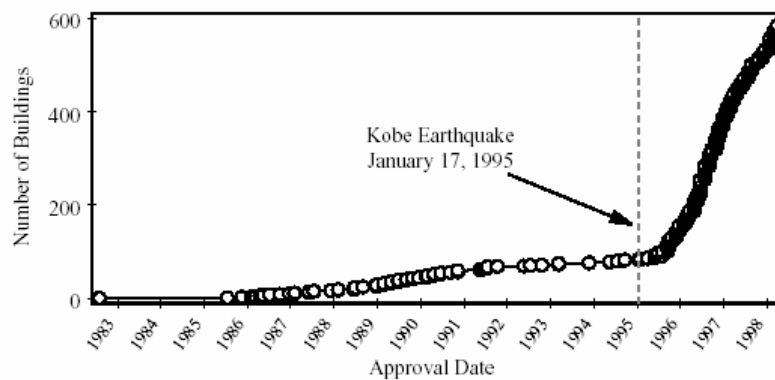
Το μόνο αλλά ισχυρό μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος. Έτσι καθιστά την τεχνική απαγορευτική για έργα μέτριας κλίμακας.

ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑ

Η αναζήτηση αυτής της τεχνικής είχε γεννηθεί στις αρχές του περασμένου αιώνα όπου χαρακτηριστικά είχε αναφερθεί μεταξύ άλλων: “...συσκευές οι οποίες απορροφούν ή ελαχιστοποιούν το ταρακούνημα των κτιρίων γεννώμενο από σεισμούς, τις δονήσεις οφειλόμενες σε υψηλή κυκλοφορία ή από άλλες διαταράξεις της επιφανείας της γης.” [de Montalk, 1932] [6]

Παγκόσμια, η χρήση των σεισμικών μονώσεων αλλά και η αναζήτηση για καλύτερα-σύγχρονα αντισεισμικά μέτρα συνήθως (δυστυχώς), ξεκινούσε έπειτα από ένα ισχυρό σεισμό που διακύβευε την αξιοπιστία των υφιστάμενων μεθόδων.

Στην Ιαπωνία, η σεισμική μόνωση πρωτοαναφέρθηκε το 1891 σε ένα περιοδικό του Αρχιτεκτονικού Ινστιτούτου της Ιαπωνίας. Όμως εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1934 σε δύο κτίρια τραπέζης, όπου ο μηχανισμός μόνωσης στην βάση κάθε υποστυλώματος ήταν παρόμοιος της τεχνικής του “γονάτου”. Για περίπου 50 χρόνια δεν σημειώθηκε καμία πρόοδος σχετικά με αυτήν την τεχνική. Μετά το 1980, οι εφαρμογές περιορίζονταν σε δαπέδια μόνωση για προστασία ηλεκτρονικών τραπεζικών συστημάτων, συστημάτων ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας κ.α. [7] Πολύ αργότερα, με τον σεισμό του 1995 (Kobe earthquake) με ένταση 7.3 Ρίχτερ, όπου χάθηκαν 6.433 ζωές και καταστράφηκαν πλήρως ή μερικώς πάνω από 250.000 κτίρια, η δόμηση σεισμικά μονωμένων κτιρίων αυξήθηκε με ρυθμούς γεωμετρικής προόδου (σχήμα 5). Τα νέα κτίρια ήταν πλέον ψηλότερα αλλά και με πολύ περισσότερα τετραγωνικά μέτρα ανά όροφο. Χαρακτηριστικά μια μέτρηση του 1999, αναφέρει πως σε διάστημα τεσσάρων ετών η συνολική έκταση των ορόφων των σεισμικά μονωμένων κτιρίων, ήταν 10 φορές μεγαλύτερη από αυτά που προϋπήρχαν! [8]



Σχήμα 5: Η ραγδαία αύξηση των νέων σεισμικά μονωμένων κτιρίων στην Ιαπωνία έπειτα τον σεισμό της 17 Ιανουαρίου 1995 [8]

Η Ιαπωνία φυσικά δεν σταμάτησε να δοκιμάζεται από τότε. Τον Οκτώβριο του 2004, ο Niigata Chuetsu χτύπησε με 6,8 Ρίχτερ, αφαιρώντας 40 ζωές προκαλώντας σημαντικές βλάβες σε 100.000 κτίρια, ωθώντας περίπου 100.000 κατοίκους να ζήσουν σε πρόχειρα καταλύματα. Τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους, ο σεισμός στις ακτές της Sumatra εξαπόλυσε γιγάντια Tsunamis που έπληξαν πολλά χιλιόμετρα παραθαλάσσιων περιοχών. Στην Ιαπωνία ετησίως σημειώνονται περισσότεροι από 1.000 μικροσεισμοί της τάξεως του 1 Ρίχτερ. [9]

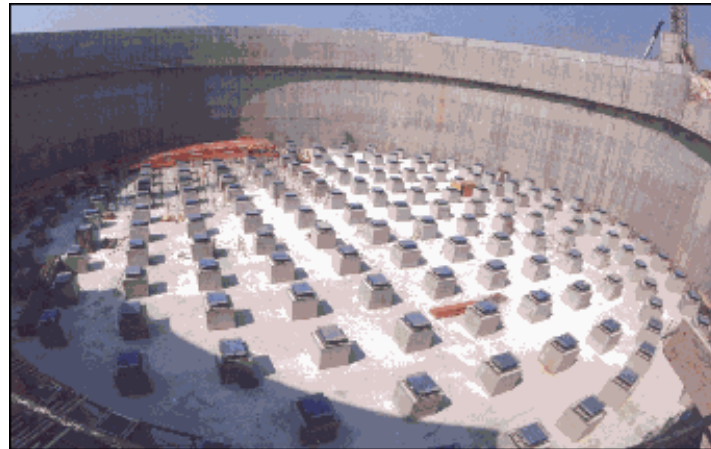
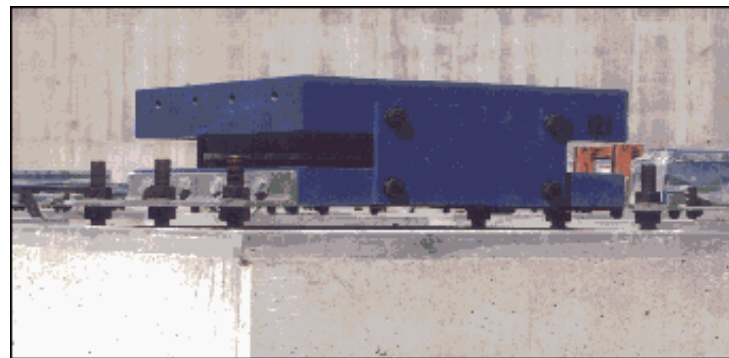
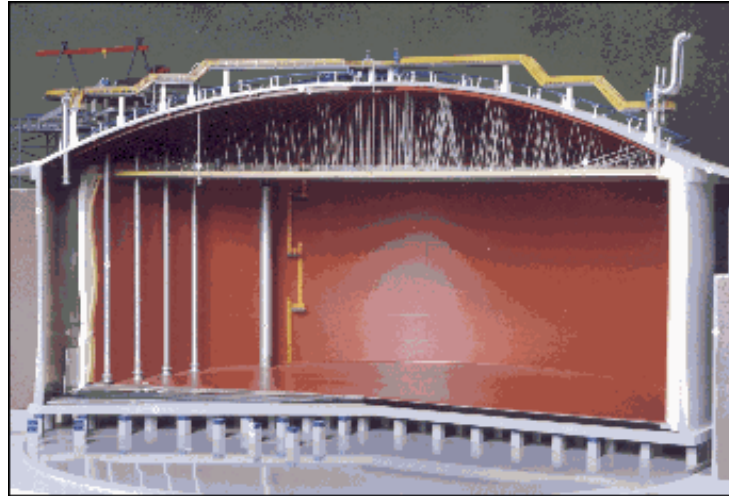
Στην Καλιφόρνια τον Ιανουάριο του 1994 (Northridge), τουλάχιστον πέντε σεισμικά μονωμένα κτίρια βίωσαν πολύ ισχυρά σεισμικά φορτία. Συγκεκριμένα το Πανεπιστημιακό νοσοκομείο USC στο ανατολικό Λος Άντζελες, μόλις 35 χιλιόμετρα από το επίκεντρο, έλαβε την μεγαλύτερη καταγεγραμμένη δόνηση που είχε λάβει ποτέ μονωμένο κτίριο. Η μέγιστη επιτάχυνση των 0.38g υποβιβάστηκε από τα εφέδρανα του κτιρίου σε 0.13g. Αυτή η επίδοση το έκανε αμέσως σημείο αναφοράς αλλά και μελέτης παγκοσμίως. [8]

Στο San Francisco, η γέφυρα Benicia-Martinez κατέχει το ρεκόρ μεγέθους σε εφέδρανο σφαιρικής ολίσθησης. Αναλυτικότερα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: περίοδο 5 δευτ., δυνατότητα μετατόπισης 1,34 μ, διάμετρο 4,30 μ. και βάρος 18 τόννων. [10]



Σχήμα 6: Το εντυπωσιακά μεγάλο εφέδρανο σφαιρικής ολίσθησης σε γέφυρα στο San Francisco [10]

Στην Ελλάδα, οι εξελίξεις πριν και μετά από ισχυρούς σεισμούς δεν διαφέρουν κατά πολύ. Από τις λίγες αλλά διάσημες εφαρμογές σεισμικής μόνωσης είναι οι δεξαμενές φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα. Οι δεξαμενές διαστάσεων 75 μ. (διάμετρο) και 35 μ. (ύψος) στηρίζονται επάνω σε 212 εφέδρανα (Friction Pendulum bearing). Κάθε ένα από αυτά έχει: κάθετο φορτίο 900 τόννων, δυναμική περίοδο των 2.75 δευτ., τριβή 5%, δυνατότητα μετατόπισης 30.5 εκ. και ζυγίζει 1,8 τόννους. Η ολική χωρητικότητα τους ανέρχεται στα 173 εκ. λίτρα, και αποτελούν τις μεγαλύτερες αλλά και τις βαρύτερες σεισμικά μονωμένες δεξαμενές του κόσμου. [11]



Σχήμα 7: Φωτογραφίες των εγκαταστάσεων στην Ρεβυθούσα, με εκτεταμένη χρήση εφεδράνων [11]

Έχει αποδειχθεί κατά καιρούς ότι οι πρόγονοι μας έχουν δώσει λύσεις σε πολλά πολύπλοκα ζητήματα μηχανικής στηριζόμενοι σε πολύ λιγότερα μέσα. Το ξεφύλλισμα της ιστορίας αυτή την φορά όμως, δεν απέδωσε καρπούς. Δεν εντοπίσαμε κάποια εφαρμογή που να μαρτυρά κάποιου είδους σεισμική μόνωση. Παλαιότερα φαίνεται πως εμπιστευόνταν κυρίως την υπεραντοχή ως αντισεισμικό μέσο προστασίας, γιατί τα υλικά τους ήταν φυσικά, μιας και δεν

υπήρχε δυνατότητα δημιουργίας υλικών με ιδιαίτερες ιδιότητες. Όμως, αξιοθαύμαστες και ιδιαίτερα δύσκολες είναι οι προσπάθειες των σημερινών Μηχανικών να θωρακίσουν πολλά αρχαία μνημεία με την εγκατάσταση σεισμικής μόνωσης.

Φυσικά, ένα διαφορετικό είδος σεισμικής μόνωσης αποτελεί και το έδαφος στην στάθμη θεμελίωσης αλλά και κάτω από αυτή. Οι δυνάμεις τις τριβής που δημιουργούνται σε μη απόλυτα πακτωμένα θεμέλια, είναι ικανές να καταναλώσουν μεγάλο ποσοστό των σεισμικών δράσεων. Η ολίσθηση που αναπτύσσεται αυξάνει την περίοδο, με τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ένας από τους δασκάλους, ο Frank Lloyd Wright, αναφερόμενος στην θεμελίωση ενός από τα έργα του στο Tokyo (the Imperial Hotel) το οποίο “επέζησε” από τον ισχυρό σεισμό του 1923, χαρακτήρισε ως “merciful provision” το στρώμα ιλύς 20 μ. πάχους κάτω από την 2.5 μ. διαστρωμένη άμμο θεμελίωσης. [6]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με δεδομένο ότι ζούμε αλλά και ασκούμε το επάγγελμα του Μηχανικού, σε μια χώρα που χορεύει καθημερινά στους ρυθμούς των Ρίχτερ, έχουμε υποχρέωση να γίνουμε ακόμη πιο ώριμοι σε θέματα αντισεισμικής προστασίας. Ο γνωστός σε όλους για την υψηλές απαιτήσεις Ν.Ε.Α.Κ, καθιστά σαφή την έννοια της απόσβεσης. Απόσβεση που επιτυγχάνεται κυρίως με δύο τρόπος:

- η σεισμική ενέργεια που θα εισέλθει στην κατασκευή, να καταναλωθεί από μηχανισμούς του ίδιου του δομήματος (πλαστιμότητα)
- να παραληφθεί η σεισμική φόρτιση από την σεισμική μόνωση πριν καν “περάσει” στο δόμημα

Η ευαισθητοποίηση όλων των πολιτών γύρω από την χρήση της σεισμικής μόνωσης θα οδηγήσει στην κατάργηση του ισχυρού μειονεκτήματος της μεθόδου. Διότι: Αύξηση ζήτησης → αύξηση πωλήσεων → αύξηση ανταγωνισμού → ΜΕΙΩΣΗ κόστους. Άλλωστε μια ρεαλιστική άποψη, θα το έθετε ως εξής: ένας ολοκληρωμένος-πραγματικός προϋπολογισμός έργου θα έπρεπε να περιλαμβάνει και το κόστος αποκατάστασης των ζημιών έπειτα από έναν σεισμό άνω των 7 Ρίχτερ.

Εν κατακλείδι, θα λέγαμε ότι για την ορθή επιλογή αντισεισμικού μηχανισμού θα ήταν σκόπιμο να τροποποιήσουμε ένα εθνικό μας χαρακτηριστικό: να πάψουμε να κάνουμε... τους κινέζους αλλά να αρχίσουμε να παραδειγματιζόμαστε από αυτούς!

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings.** Cenk Alhan, Henri Gav. Engineering Structures. Vol 26, pp 485–497, 2004.
2. **Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση.** Ιανουάριος 1994.
3. **Seismic isolation and passive response-control buildings in Japan.** Yoshikazu Kitagaway and Mitsumasa Midorikawaz. Smart Mater. Struct. Vol 7, pp 581–587, 1998.
4. http://www.eshops.gr/seismiki-monosi_a.html
5. **Friction Pendulum Seismic Isolation Bearings.** Nova Award Nomination 8, 2000.
6. **Seismic Isolation: History, Application and Performance-A World View.** Ian G. Buckle and Ronald L. Mayes. Earthquake Spectra, Vol. 6, No 2, 1990.
7. **Seismic isolation of civil buildings in Japan.** T. Fujita. Structural Engineering and Materials. Vol I (3), pp 295-300, 1998.

8. **The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) Earthquake as a Trigger for Implementing New Seismic Design Technologies in Japan.** Peter W. Clark, Ian D. Aiken, Masayoshi Nakashima, Mitsuo Miyazaki, Mitsumasa Midorikawa. Lessons Learned Over Time, Learning From Earthquakes, Volume III Earthquake Engineering Research Institute, 1999.
9. http://www.kajima.co.jp/topics/news_notes/vol32/img/05.gif
10. http://www.earthquakeprotection.com/benicia_martinez_bridge.html
11. http://www.earthquakeprotection.com/LNG_tanks.html