

10. Κανονιστικές Διατάξεις σχετικά με τον Σχεδιασμό Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης

10.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός σεισμικά μονωμένων κτιρίων και σεισμικά μονωμένων γεφυρών διέπεται στις ΗΠΑ κυρίως από τους κανονισμούς οι οποίοι αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα 10-1.

Πίνακας 10-1 Κανονιστικές Διατάξεις για την Εφαρμογή Σεισμικής Μόνωσης

α/α	Συντομογραφία	Όνομα	Εκδότρια Αρχή
1	IBC-2000	International Building Code	International Conference of Building Officials
2	OSHPD-96	California Code of Regulations, Title 24, Part 2, Division III	State of California
3	FEMA 356	Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings	Federal Emergency Management Agency
4	AASHTO 99	Guide Specifications for Seismic Isolation Design	American Association of State Highway and Transportation Officials

Οι τρεις πρώτοι κανονισμοί αναφέρονται στον σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κτιρίων και ο τέταρτος αναφέρεται στον σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων γεφυρών. Ο IBC-2000 αντικατέστησε τον Uniform Building Code (UBC-97 και UBC-94) και

προσανατολίζεται στον σχεδιασμό νέων σεισμικά μονωμένων κτιρίων. Ο OSHPD-96 συμπεριλαμβάνει και ειδικές απαιτήσεις σχεδιασμού για σεισμικά μονωμένα νοσοκομεία και άλλα κρατικά κτίρια στην πολιτεία της Καλιφόρνια. Επιπλέον η ανακατασκευή υπαρχόντων κτιρίων συνήθως ακολουθεί τις διατάξεις του κανονισμού FEMA 356. Οι διατάξεις αυτές είναι παρόμοιες με τις διατάξεις του κανονισμού IBC-2000. Ο σχεδιασμός των συστημάτων σεισμικής μόνωσης γεφυρών συνήθως ακολουθεί τις διατάξεις του κανονισμού AASHTO. Η αρχική μορφή του κανονισμού AASHTO εκδόθηκε το 1991 (AASHTO 91) και υπέστη σημαντική αναθεώρηση το 1999 (AASHTO 99).

Οι κανονισμοί είναι γραμμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αναφέρονται σε συγκεκριμένα συστήματα σεισμικής μόνωσης. Δεν αναγνωρίζεται κάποιο σύστημα σεισμικής μόνωσης ως αποδεκτό αλλά οι κανονισμοί απαιτούν ότι κάθε σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να είναι ευσταθές για την απαιτούμενη μετατόπιση, να παρέχει αυξανόμενη αντίσταση αυξανόμενης της μετατόπισης και να έχει ιδιότητες οι οποίες δεν μειώνονται κατά την επαναλαμβανόμενη ανακυκλική φόρτιση.

Η φιλοσοφία σύνταξης των κανονισμών αυτών επιδιώκει τον σχεδιασμό των σεισμικά μονωμένων κτιρίων έτσι ώστε να έχουν καλύτερη απόκριση από τα αντίστοιχα συμβατικά κτίρια σε μεσαίους και μεγάλους σεισμούς. Οι κανονισμοί δεν επιδιώκουν την μείωση του κόστους κατασκευής αλλά στοχεύουν στον έλεγχο των βλαβών στην κατασκευή και στα περιεχόμενα της. Οι μειωμένες βλάβες οφείλονται στο γεγονός ότι η σεισμική μόνωση οδηγεί σε μικρές σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ των ορόφων και σε χαμηλές απόλυτες επιταχύνσεις στις στάθμες των ορόφων.

Στις επόμενες σελίδες ακολουθεί μετάφραση των κυριοτέρων διατάξεων των κανονισμών FEMA 356 και AASHTO 91 σχετικά με τον σχεδιασμό συστημάτων σεισμικής μόνωσης.

10.2 Κανονισμός FEMA 356 – Παράγραφος 9.2

Ακολουθεί μετάφραση των κυριότερων διατάξεων του αμερικάνικου κανονισμού FEMA 356 σχετικά με τον σχεδιασμό συστημάτων σεισμικής μόνωσης. Η αρίθμηση των παραγράφων, σχημάτων και εξισώσεων ακολουθεί την αρίθμηση της παραγράφου 9.2 του κανονισμού FEMA 356. Ότι αναφορά γίνεται σε παραγράφους και κεφάλαια αντιστοιχεί στα αντίστοιχα μέρη του κανονισμού FEMA 356. Τα σχόλια του κανονισμού παρουσιάζονται μέσα σε γκρίζο πλαίσιο (συμβολίζονται με C μπροστά από την αρίθμηση της παραγράφου).

Περιεχόμενα

9.2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ	166
9.2.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	166
C9.2.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	166
9.2.2	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ	167
9.2.2.1	ΓΕΝΙΚΑ	167
C9.2.2.1	ΓΕΝΙΚΑ	167
9.2.2.2	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	167
9.2.2.2.1	Ελαστομεταλλικοί Μονωτήρες	167
C9.2.2.2.1	Ελαστομεταλλικοί Μονωτήρες	167
9.2.2.2.2	Μονωτήρες Ολίσθησης	171
C9.2.2.2.2	Μονωτήρες Ολίσθησης	171
9.2.2.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	174
9.2.2.3.1	Γενικά	174
9.2.2.3.2	Γραμμικά Μοντέλα	174
C9.2.2.3.2	Γραμμικά Μοντέλα	174
9.2.2.3.3	Μη Γραμμικά Μοντέλα	176
C9.2.2.3.3	Μη Γραμμικά Μοντέλα	176
9.2.2.4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΩΔΟΜΗΣ	177
9.2.2.4.1	Γενικά	177
9.2.2.4.2	Προσομοίωση Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης	177
9.2.2.4.3	Προσομοίωση της Ανωδομής	177
9.2.3	ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ	178
9.2.3.1	ΓΕΝΙΚΑ	178
C9.2.3.1	ΓΕΝΙΚΑ	178

9.2.3.1.1	Ευστάθεια του Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης	178
9.2.3.1.2	Απαιτήσεις Διαμόρφωσης	178
9.2.3.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ	178
9.2.3.2.1	Σεισμός Σχεδιασμού Οριζόμενος από τον Μελετητή.....	178
9.2.3.2.2	Μέγιστος Εξεταζόμενος Σεισμός.....	179
9.2.3.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	179
9.2.3.3.1	Γραμμικές Μέθοδοι	179
9.2.3.3.2	Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης.....	179
9.2.3.3.3	Μη Γραμμικές Μέθοδοι.....	180
C9.2.3.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	180
9.2.4	ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	181
9.2.4.1	ΓΕΝΙΚΑ	181
9.2.4.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ..	181
9.2.4.3	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ.....	181
9.2.4.3.1	Μετατόπιση Σχεδιασμού	181
9.2.4.3.2	Ενεργός Ιδιοπερίοδος για την Μετατόπιση Σχεδιασμού	182
9.2.4.3.3	Μέγιστη Μετακίνηση	182
9.2.4.3.4	Ενεργός Ιδιοπερίοδος για την Μέγιστη Μετατόπιση.....	182
9.2.4.3.5	Συνολική Μετατόπιση.....	182
9.2.4.4	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	182
9.2.4.4.1	Σύστημα Σεισμικής Μόνωσης και Φέροντα Στοιχεία της Υποδομής.....	182
9.2.4.4.2	Μέλη και Φέροντα Στοιχεία της Ανωδομής	183
9.2.4.4.3	Όρια στην Τιμή της V_s	183
C9.2.4.4.3	Όρια στην Τιμή της V_s	183
9.2.4.4.4	Κατανομή της Σεισμικής Δύναμης καθ' ύψος	183
9.2.4.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	183
9.2.4.5.1	Σεισμική Διέγερση	183
9.2.4.5.2	Απόσβεση Ιδιομορφών.....	183
9.2.4.5.3	Χωρική Επαλληλία της Σεισμικής Διέγερσης	183
9.2.4.5.4	Αναλογική Τροποποίηση των Αποτελεσμάτων (scaling)	184
9.2.4.6	ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	184
9.2.5	ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	184
9.2.5.1	ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	184
9.2.5.1.1	Γενικά.....	184
9.2.5.1.2	Οριακή Επιδιωκόμενη Τιμή για την Μετατόπιση	184
9.2.5.1.3	Κατανομή Οριζόντιων Δυνάμεων	185
9.2.5.2	ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	185
9.2.5.2.1	Γενικά.....	185
9.2.5.2.2	Αναλογική Τροποποίηση των Αποτελεσμάτων (scaling)	185
9.2.5.3	ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	185
9.2.6	ΜΗ ΦΕΡΟΝΤΑ ΜΕΛΗ.....	185
9.2.6.1	ΓΕΝΙΚΑ	185
9.2.6.2	ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ.....	185
9.2.6.2.1	Στοιχεία και Μέλη κατά το Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης ή πάνω από το Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης.....	185
9.2.6.2.2	Στοιχεία και Μέλη τα οποία Τέμνονται στο Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης.....	185
9.2.6.2.3	Στοιχεία και Μέλη κάτω από το Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης.....	186
9.2.7	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	186
9.2.7.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	186

9.2.7.2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	186
9.2.7.2.1	Περιβαλλοντικές Συνθήκες.....	186
9.2.7.2.2	Δυνάμεις Ανέμου.....	186
9.2.7.2.3	Ανθεκτικότητα Έναντι Πυρκαγιάς.....	186
9.2.7.2.4	Οριζόντια Δύναμη Επαναφοράς.....	186
9.2.7.2.5	Συγκράτηση Έναντι Μεγάλων Μετατοπίσεων.....	186
9.2.7.2.6	Ευστάθεια για τα Κατακόρυφα Φορτία.....	187
9.2.7.2.7	Ανατροπή.....	187
9.2.7.2.8	Επιθεώρηση και Αντικατάσταση.....	188
9.2.7.2.9	Έλεγχος Ποιότητας Κατασκευής.....	188
9.2.7.3	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	188
9.2.7.3.1	Οριζόντια Κατανομή της Δύναμης.....	188
9.2.7.3.2	Διαχωρισμός Μεταξύ Κτιρίων - Αρμοί.....	188
9.2.8	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	188
9.2.8.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	188
9.2.8.2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	188
9.2.9	ΈΛΕΓΧΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
	189	
9.2.9.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	189
9.2.9.2	ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....	189
9.2.9.2.1	Γενικά.....	189
9.2.9.2.2	Καταγραφή.....	189
9.2.9.2.3	Σειρά Δοκιμών και Κύκλοι Φόρτισης.....	189
9.2.9.2.4	Μονωτήρες οι οποίοι Φέρουν και Κατακόρυφα Φορτία.....	189
9.2.9.2.5	Μονωτήρες με Ιδιότητες Εξαρτώμενες από τον Ρυθμό Επιβολής της Φόρτισης.....	190
9.2.9.2.6	Μονωτήρες με Ιδιότητες Εξαρτώμενες από την Αλληλεπίδραση των Οριζόντιων Διαζονικών Φορτίων.....	190
9.2.9.2.7	Μέγιστο και Ελάχιστο Κατακόρυφο Φορτίο.....	190
9.2.9.2.8	Συστήματα Συγκράτησης Έναντι Ανέμου.....	191
9.2.9.2.9	Έλεγχος Παρόμοιων Μονωτήρων.....	191
9.2.9.3	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΗΣ- ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ.....	191
9.2.9.4	ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	191
9.2.9.5	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	192
9.2.9.5.1	Μέγιστη και Ελάχιστη Ενεργός Δυσκαμψία.....	192
9.2.9.5.2	Ενεργός Απόσβεση.....	192

9.2 Συστήματα Σεισμικής Μόνωσης

9.2.1 Γενικές Απαιτήσεις

Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης τα οποία χρησιμοποιούν σεισμικούς μονωτήρες και κατηγοριοποιούνται είτε ως ελαστομεταλλικά είτε ως συστήματα ολίσθησης όπως ορίζεται στην παράγραφο 9.9.2, θα πρέπει να πληρούν τις διατάξεις της παραγράφου 9.2. Οι ιδιότητες των συστημάτων σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να βασίζονται στην παράγραφο 9.2.2. Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζονται και να αναλύονται σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.3. Οι γραμμικές και μη γραμμικές αναλύσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται όπως απαιτείται από την παράγραφο 9.2.3, και σε συμφωνία με τις παραγράφους 9.2.4 και 9.2.5 αντίστοιχα. Για τα μη φέροντα στοιχεία η επαναχρησιμοποίηση τους επιτρέπεται σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.6. Οι πρόσθετες απαιτήσεις από τα συστήματα σεισμικής μόνωσης οι οποίες ορίζονται στην παράγραφο 9.2.7 θα πρέπει να τηρούνται. Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να επιθεωρούνται και να ελέγχονται σύμφωνα με τις παραγράφους 9.2.8 και 9.2.9 αντίστοιχα.

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να περιλαμβάνει συστήματα συγκράτησης έναντι ανέμου και έναντι ανύψωσης, αν αυτά τα συστήματα απαιτούνται από αυτόν τον κανονισμό. Ακόμα, το σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να περιλαμβάνει και πρόσθετους μηχανισμούς κατανάλωσης ενέργειας, αν αυτοί οι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται για να μεταδώσουν δύναμη μεταξύ της κατασκευής πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης και της κατασκευής κάτω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης.

Για τις σεισμικά μονωμένες, κατασκευές οι συντελεστές C_0 , C_1 , C_2 , C_3 και J οι οποίοι ορίζονται στο Κεφάλαιο 3, θα πρέπει να λαμβάνονται ίσοι με 1.0.

C9.2.1 Γενικές Απαιτήσεις

Οι μέθοδοι ανάλυσης και τα κριτήρια σχεδιασμού των συστημάτων σεισμικής μόνωσης βασίζονται στα κριτήρια για τους Αντικειμενικούς Στόχους Επαναχρησιμοποίησης (Rehabilitation Objectives) του Κεφαλαίου 1.

Οι μέθοδοι οι οποίες περιγράφονται σε αυτή την παράγραφο συμπληρώνουν τις απαιτήσεις ανάλυσης του Κεφαλαίου 3. Οι μέθοδοι ανάλυσης και τα υπόλοιπα κριτήρια αυτής της παραγράφου βασίζονται κυρίως στις διατάξεις του FEMA 302, 1997 NEHRP.

Η σεισμική μόνωση συνήθως έχει χρησιμοποιηθεί ως μια στρατηγική επαναχρησιμοποίησης η οποία βελτιώνει την απόδοση του κτιρίου πάνω από την απόδοση που επιτυγχάνουν συμβατικές μέθοδοι ενίσχυσης. Οι εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης μέσω σεισμικής μόνωσης στοχεύουν σε απόδοση τουλάχιστον ίση και συνήθως μεγαλύτερη από τον Βασικό Αντικειμενικό Στόχο Ασφάλειας (Basic Safety Objective) αυτού του κανονισμού. Συνήθως επιτυγχάνεται τιμή στόχος για το Επίπεδο Απόδοσης του Κτιρίου (Building Performance Level) ικανή για Άμεση Κατοίκηση (Immediate Occupancy) ή καλύτερη.

Ένας αριθμός κτιρίων έχουν επαναχρησιμοποιηθεί μέσω σεισμικών μονωτήρων. Για αυτές τις εφαρμογές η σεισμική μόνωση μείωσε τον βαθμό της παρέμβασης στην ιστορική δομή του κτιρίου ο οποίος θα απαιτείτο διαφορετικά για την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου απόδοσης.

9.2.2 Μηχανικές Ιδιότητες και Προσομοίωση των Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης

9.2.2.1 Γενικά

Οι σεισμικοί μονωτήρες κατηγοριοποιούνται είτε ως ελαστομεταλλικοί είτε ως μονωτήρες ολίσθησης. Οι ελαστομεταλλικοί μονωτήρες περιλαμβάνουν κάθε ένα από τα επόμενα: εφέδρανα ελαστικού υψηλής απόσβεσης (high-damping rubber bearings – HDR), εφέδρανα ελαστικού χαμηλής απόσβεσης (low-damping rubber bearings – RB), εφέδρανα ελαστικού χαμηλής απόσβεσης με πυρήνα μολύβδου (low-damping rubber bearings with lead core – LRB). Οι μονωτήρες ολίσθησης είτε έχουν επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης είτε έχουν καμπύλη επιφάνεια ολίσθησης όπως το σύστημα εκκρεμούς τριβής (friction-pendulum system – FPS). Τα συστήματα κύλισης χαρακτηρίζονται ως υποσύνολο των συστημάτων ολίσθησης και μπορούν να έχουν επίπεδη, καμπύλη ή κωνική επιφάνεια κύλισης, όπως το σύστημα μπάλας και κώνου (ball and cone system – BNC). Οι σεισμικοί μονωτήρες οι οποίοι δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως ελαστομεταλλικοί είτε ως μονωτήρες ολίσθησης δεν αντιμετωπίζονται από αυτές τις κανονιστικές διατάξεις.

C9.2.2.1 Γενικά

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι το σύνολο όλων των μεμονωμένων σεισμικών μονωτήρων (και των ξεχωριστών μηχανισμών συγκράτησης έναντι ανέμου και έναντι ανύψωσης, αν αυτοί οι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται για να πληρούνται οι απαιτήσεις αυτού του κανονισμού). Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης μπορούν να αποτελούνται από ένα μόνο τύπο σεισμικού μονωτήρα, συνδυασμό διαφορετικών τύπων σεισμικών μονωτήρων ή ένα συνδυασμό σεισμικών μονωτήρων οι οποίοι ενεργούν παράλληλα με μηχανισμούς κατανάλωσης ενέργειας (υβριδικά συστήματα).

Οι ελαστομεταλλικοί μονωτήρες τυπικά κατασκευάζονται από στρώσεις ελαστικού οι οποίες διαχωρίζονται από μεταλλικές πλάκες.

9.2.2.2 Μηχανικές Ιδιότητες των Σεισμικών Μονωτήρων

9.2.2.2.1 Ελαστομεταλλικοί Μονωτήρες

Οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης κατά την απόκριση των ελαστομεταλλικών εφεδράνων θα πρέπει να προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση διάτμησης-αξονικού φορτίου, την διαξονική οριζόντια μετατόπιση, την ιστορία της φόρτισης συμπεριλαμβανομένων και των φαινομένων αλλαγής των ιδιοτήτων με την προφόρτιση σε νέους ελαστομεταλλικούς μονωτήρες, τα θερμοκρασιακά και άλλα περιβαλλοντικά φορτία και τα φαινόμενα γήρανσης για όλο τον χρόνο ζωής των σεισμικών μονωτήρων.

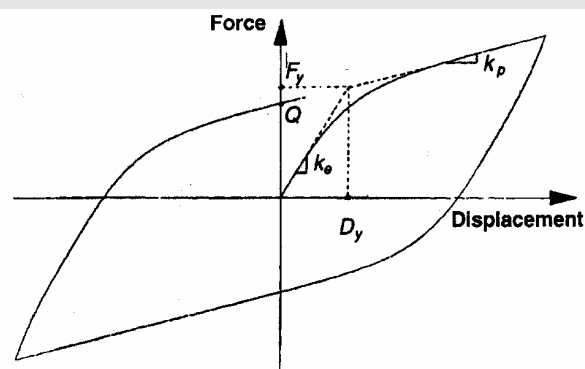
Για την μαθηματική προσομοίωση των σεισμικών μονωτήρων τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους επιτρέπεται να βασίζονται σε αναλυτικές σχέσεις ή διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα. Για τον σχεδιασμό, τα μηχανικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα των πρότυπων μονωτήρων σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.9.

C9.2.2.2.1 Ελαστομεταλλικοί Μονωτήρες

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα αποτελούν ένα συνήθη τρόπο εισαγωγής ευκαμψίας σε μια σεισμικά μονωμένη κατασκευή. Αποτελούνται από λεπτές στρώσεις φυσικού ελαστικού οι οποίες βουλκανίζονται και συγκολλούνται σε χαλύβδινες πλάκες. Το φυσικό ελαστικό παρουσιάζει μια πολύπλοκη μηχανική συμπεριφορά, η οποία μπορεί απλά να περιγραφεί ως ένας συνδυασμός ιξωδοελαστικής και υστερητικής συμπεριφοράς. Τα εφέδρανα φυσικού ελαστικού χαμηλής απόσβεσης (RB) παρουσιάζουν ουσιαστικά γραμμικά ελαστική και γραμμικά ιξώδη συμπεριφορά στις μεγάλες διατμητικές παραμορφώσεις. Η απόσβεσή τους είναι πρακτικά μικρότερη ή το πολύ ίση με 0.07 για διατμητικές παραμορφώσεις στην περιοχή του 0 έως 2.0.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) αποτελούνται γενικά από ένα εφέδρανο φυσικού ελαστικού χαμηλής απόσβεσης

με μία προσχηματισμένη κεντρική οπή, μέσα στην οποία ένας πυρήνας μολύβδου προσαρμόζεται με συμπίεση. Υπό συνθήκες οριζόντιας ανακυκλικής μετατόπισης ο πυρήνας μολύβδου παραμορφώνεται υπό σχεδόν καθαρή διάτμηση, διαρρέει σε χαμηλά επίπεδα έντασης, (διαρροή σε διάτμηση περίπου για 8 με 10MPa υπό κανονικές θερμοκρασιακές συνθήκες), και παρουσιάζει υστερητική συμπεριφορά η οποία είναι σταθερή για πολλούς κύκλους. Αντίθετα με το μαλακό χάλυβα, ο μολύβδος επανακρυσταλλώνεται σε κανονική θερμοκρασία (περίπου 20⁰ C), έτσι ώστε η επαναλαμβανόμενη διαρροή να μην προκαλεί αστοχία λόγω κόπωσης. Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου παρουσιάζουν γενικά δύναμη διαρροής η οποία εξασφαλίζει δυσκαμψία για τα φορτία λειτουργίας. Στο σχήμα C9-1 φαίνεται μία εξιδανικευμένη σχέση δύναμης - μετατόπισης ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου (LRB).



Σχήμα C9-1 Εξιδανικευμένη Υστερητική Σχέση Δύναμης - Μετατόπισης ενός LRB

Η χαρακτηριστική αντοχή του εφεδράνου, Q , σχετίζεται με το εμβαδόν της επιφάνειας του μολύβδου, A_p , και από την διατμητική τάση διαρροής του μολύβδου, σ_{YL} :

$$Q = A_p \sigma_{YL} \quad (C9-1)$$

Η δυσκαμψία μετά την διαρροή, k_p , είναι τυπικά μεγαλύτερη από την διατμητική δυσκαμψία του εφεδράνου χωρίς τον πυρήνα μολύβδου:

$$k_p = \frac{A_r G f_L}{\sum t} \quad (C9-2)$$

όπου A_r είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του συγκολλημένου ελαστικού, $\sum t$ είναι το συνολικό πάχος των στρώσεων ελαστικού, G το μέτρο διάτμησης του ελαστικού (τυπικά υπολογιζόμενο για διατμητική παραμόρφωση 0.5), και f_L είναι ένας συντελεστής μεγαλύτερος της μονάδας. Τυπικά ο f_L λαμβάνεται ίσος με 1.15 και η ελαστική δυσκαμψία K_e είναι από 6.5 έως 10 φορές μεγαλύτερη της δυσκαμψίας μετά την διαρροή K_p .

Η συμπεριφορά των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου μπορεί προσομοιωθεί μέσω ενός διγραμμικού υστερητικού μοντέλου. Λογισμικό όπως τα προγράμματα 3-D BASIS (Nagarajaiah et al.; Reinhorn et al., (1994); Tsopelas et al. (1994b)) και το ETABS Version 6 έχουν την δυνατότητα προσομοίωσης της υστερητικής συμπεριφοράς των μονωτήρων. Για τα μοντέλα αυτά απαιτείται συνήθως ο καθορισμός τριών παραμέτρων, της δυσκαμψίας μετά την διαρροή K_p , της δύναμης διαρροής F_y , και της μετακίνησης διαρροής D_y . Για τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου (LRB), για τα οποία η ελαστική δυσκαμψία K_e είναι προσεγγιστικά ίση με 6.5 K_p , η μετακίνηση διαρροής εκτιμάται ως εξής:

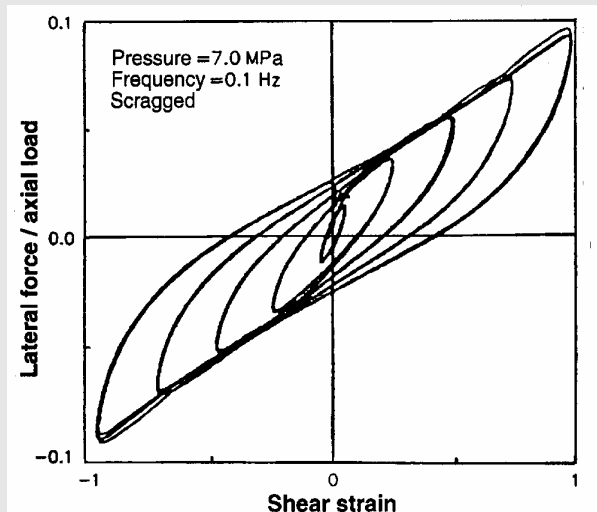
$$D_y = \frac{Q}{5.5 k_p} \quad (C9-3)$$

Η δύναμη διαρροής δίνεται από την σχέση:

$$F_y = Q + k_p D_y \quad (C9-4)$$

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα ελαστικού υψηλής απόσβεσης (HDR), κατασκευάζονται από ειδικά συνθετικά ελαστικά τα οποία παρουσιάζουν ενεργό απόσβεση η οποία κυμαίνεται από 0.10 έως 0.20 της κρίσιμης απόσβεσης. Η αύξηση της απόσβεσης επιτυγχάνεται με την προσθήκη χημικών ουσιών, που μπορούν επιπλέον να επηρεάσουν και άλλες

μηχανικές ιδιότητες του ελαστικού. Στο σχήμα C9-2 φαίνονται αντιπροσωπευτικοί βρόχοι δύναμης - μετατόπισης, ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου υψηλής απόσβεσης κάτω από συνθήκες προφόρτισης.

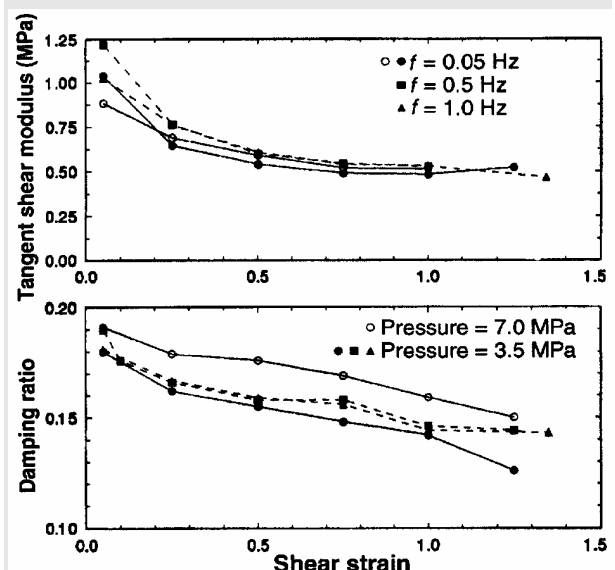


Σχήμα C9-2 Βρόχοι Δύναμης - Μετατόπισης Ελαστομεταλλικού ενός Ελαστομεταλλικού Εφεδράνου Υψηλής Απόσβεσης

Ως προφόρτιση (scragging) ονομάζεται η διαδικασία υποβολής ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου σε ένα ή περισσότερους κύκλους με μεγάλο εύρος μετατόπισης. Η διαδικασία της προφόρτισης τροποποιεί την μοριακή δομή του ελαστικού και οδηγεί σε πιο σταθερούς βρόχους υστέρησης για παραμορφώσεις μικρότερες από το εύρος παραμόρφωσης στο οποίο το εφεδράνο έχει προφορτιστεί. Παρόλο που είναι συνήθης παραδοχή ότι οι προφορτισμένες ιδιότητες του ελαστικού δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο πρόσφατες μελέτες από τους Cho and Retamal (1993) και Murota et al. (1994) υποδεικνύουν ότι είναι πιθανή μερική ανάκτηση των αφόρτιστων ιδιοτήτων. Το εύρος αυτής της ανάκτησης εξαρτάται από την σύνθεση του ελαστικού.

Μαθηματικά μοντέλα ικανά να περιγράφουν την μετάβαση από τις αρχικές στις ιδιότητες μετά την προφόρτιση ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου υψηλής απόσβεσης δεν είναι ακόμα διαθέσιμα. Γι'

αυτό στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να πραγματοποιούνται πολλαπλές αναλύσεις με σταθερά υστερητικά μοντέλα και να προσδιορίζονται έτσι όρια για την δυναμική απόκριση. Ένα ομαλό διγραμμικό υστερητικό μοντέλο το οποίο είναι ικανό να προσομοιώνει την συμπεριφορά το οποίο εικονίζεται στο σχήμα C9-1 είναι κατάλληλο για τέτοιες αναλύσεις όσο η μέγιστη διατμητική παραμόρφωση δεν ξεπερνάει το όριο σκλήρυνσης, περίπου 1.5 με 2.0 ανάλογα με την σύνθεση του ελαστικού. Πάνω από αυτό το όριο παραμόρφωσης πολλά ελαστικά εμφανίζουν σκλήρυνση με τέμνουσα δυσκαμψία περίπου διπλάσια της τέμνουσας δυσκαμψίας πριν από την έναρξη της σκλήρυνσης. Για πρόσθετες πληροφορίες βλέπε Tsopelas et al. (1994).



Σχήμα C9-3 Εφαπτομενικό Μέτρο Διάτμησης και Βαθμός Απόσβεσης Ελαστομερούς Υψηλής Απόσβεσης

Στο σχήμα C9-3 φαίνονται πειραματικά αποτελέσματα καθορισμού των ιδιοτήτων ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου υψηλής απόσβεσης, του οποίου οι βρόχοι υστέρησης φαίνονται στο σχήμα C9-2. Οι ιδιότητες που προσδιορίζονται είναι το εφαπτομενικό μέτρο διάτμησης, G , και ο ενεργός βαθμός απόσβεσης, β_{eff} (περιγράφεται από την

εξίσωση C9-18) ο οποίος εδώ ορίζεται για ένα μεμονωμένο εφέδρανο κάτω από συνθήκες μετά την προφόρτιση και όχι για όλο το σύστημα σεισμικής μόνωσης. Με αναφορά στο Σχήμα C9-1, το εφαπτομενικό μέτρο διάτμησης G συνδέεται με την δυσκαμψία μετά την διαρροή, K_p , με την σχέση:

$$k_p = \frac{GA}{\Sigma t} \quad (C9-5)$$

όπου A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του συγκολλημένου ελαστικού. Τα αποτελέσματα του σχήματος C9-3 δείχνουν ότι το εφαπτομενικό μέτρο διάτμησης και ο ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης, επηρεάζονται οριακά από την συχνότητα της φόρτισης και την πίεση των εφεδράνων, για το εξεταζόμενο εύρος τιμών του συγκεκριμένου ελαστικού. Διαφορετικά συμπεράσματα μπορεί να προκύψουν από δοκιμές άλλων συνθέσεων ελαστικού υψηλής απόσβεσης.

Οι παράμετροι του διγραμμικού υστερητικού μοντέλου μπορούν να καθοριστούν με την χρήση των μηχανικών ιδιοτήτων G και β_{eff} για μια συγκεκριμένη διατμητική παραμόρφωση, όπως η διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην μετατόπιση σχεδιασμού D . Η δυσκαμψία μετά την διαρροή, K_p , καθορίζεται από την σχέση (C9-5). Η χαρακτηριστική αντοχή, Q , μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση:

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} k_p D^2}{(2 - \pi \beta_{eff}) D - 2 D_y} \quad (C9-6)$$

όπου D_y είναι η μετατόπιση διαρροής. Η μετατόπιση διαρροής δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων. Παρόλα αυτά, πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η D_y είναι περίπου ίση με 0.05 έως 0.1 φορές το συνολικό πάχος του ελαστικού, Σt . Έχοντας καθορίσει προσεγγιστικά την μετατόπιση διαρροής, το υστερητικό μοντέλο μπορεί να καθοριστεί πλήρως, με τον καθορισμό της δύναμης διαρροής από την εξίσωση (C9-4). Επιπλέον, η χαρακτηριστική αντοχή μπορεί εναλλακτικά να καθοριστεί και από την ενεργό δυσκαμψία, K_{eff} , του εφεδράνου (εξίσωση C9-17) ως εξής:

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} k_{eff} D^2}{2(D - D_y)} \quad (C9-7)$$

Η ενεργός δυσκαμψία είναι μια ιδιότητα που καθορίζεται πιο εύκολα από την δυσκαμψία μετά την διαρροή. Η ενεργός δυσκαμψία χρησιμοποιείται συνήθως για τον καθορισμό του ενεργού μέτρου διάτμησης, G_{eff} , το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$G_{eff} = \frac{k_{eff} \Sigma t}{A} \quad (C9-8)$$

Η συμπεριφορά του εφεδράνου του οποίου οι βρόχοι δύναμης-μετατόπισης εικονίζονται στο Σχήμα C9-2 μπορεί να κατασκευαστεί αναλυτικά χρησιμοποιώντας τις μηχανικές ιδιότητες για διατμητική παραμόρφωση 1.0 και πίεση εφεδράνου 7.0 MPa (βλέπε Σχήμα C9-3). Οι ιδιότητες αυτές είναι $G_{eff}=0.50\text{MPa}$ και $\beta_{eff}=0.16$. Με γνωστές την επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού και το συνολικό πάχος των στρώσεων ελαστικού, και υποθέτοντας ότι $D_y=0.1 \Sigma t$ ένα διγραμμικό υστερητικό μοντέλο μπορεί να οριστεί και να εφαρμοστεί στο πρόγραμμα 3D-BASIS. Οι υπολογιζόμενοι βρόχοι υστέρησης για εύρος διατμητικής παραμόρφωσης 1.0 συμφωνούν αρκετά καλά με τους αντίστοιχους πειραματικούς βρόχους υστέρησης. Αντίθετα, για μικρότερο εύρος διατμητικής παραμόρφωσης οι αναλυτικά υπολογιζόμενοι βρόχοι έχουν σταθερή χαρακτηριστική αντοχή ενώ οι πειραματικοί βρόχοι έχουν χαρακτηριστική αντοχή η οποία εξαρτάται από το εύρος της διατμητικής παραμόρφωσης. Παρόλα αυτά, το αναλυτικό μοντέλο είναι πολύ πιθανό ότι θα παράγει αποδεκτά αποτελέσματα όταν οι παράμετροι σχεδιασμού βασίζονται στις μηχανικές ιδιότητες υπολογιζόμενες για διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην μετατόπιση σχεδιασμού.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα έχουν πεπερασμένη κατακόρυφη δυσκαμψία η οποία επηρεάζει την κατακόρυφη απόκριση της σεισμικά μονωμένης κατασκευής. Η κατακόρυφη δυσκαμψία ενός

ελαστομεταλλικού εφεδράνου υπολογίζεται ως εξής:

$$k_v = \frac{E_c A}{\Sigma t} \quad (C9-9)$$

όπου E_c είναι το μέτρο συμπίεστότητας (compression modulus). Παρόλο που έχουν προταθεί πολλές προσεγγιστικές εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του μέτρου συμπίεστότητας, η σωστή έκφρασή του για κυκλικά εφέδρανα είναι (Kelly, 1993):

$$E_c = \left(\frac{1}{6G_{eff}S^2} + \frac{4}{3K} \right)^{-1} \quad (C9-10)$$

όπου K είναι το μέτρο διόγκωσης (bulk modulus) του οποίου η τιμή του τυπικά θεωρείται ίση με 2000MPa). S είναι ο συντελεστής σχήματος, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας που φορτίζεται προς την παράπλευρη επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού μιας στρώσης ελαστικού. Για ένα κυκλικό εφέδρανο με διάμετρο συγκολλημένου ελαστικού Φ και πάχος στρώσης ελαστικού t ο συντελεστής σχήματος δίνεται από την σχέση:

$$S = \frac{\phi}{4t} \quad (C9-11)$$

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα σχεδιάζονται γενικά με μεγάλους συντελεστές σχήματος, συνήθως από 12 έως 20. Αν θεωρήσουμε ένα ελαστομεταλλικό εφέδρανο το οποίο έχει σχεδιαστεί με $S=15$, $G_{eff}=1\text{MPa}$, $K=2000\text{MPa}$, τότε ο λόγος της κατακόρυφης δυσκαμψίας (εξίσωση C9-9) προς την ενεργό οριζόντια δυσκαμψία (εξίσωση C9-8) είναι περίπου ίσος με 700. Έτσι, η περίοδος της κατακόρυφης ταλάντωσης μιας κατασκευής η οποία είναι σεισμικά μονωμένη με ελαστομεταλλικά εφέδρανα θα είναι περίπου 26 φορές ($\sqrt{700}$) μικρότερη από εκείνη της οριζόντιας ταλάντωσης, με τάξη μεγέθους τα 0.1sec. Αυτή η τιμή της κατακόρυφης περιόδου είναι πιθανό να οδηγήσει σε ενίσχυση της κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους από το σύστημα σεισμικής μόνωσης. Βασική συνέπεια αυτής της ενίσχυσης είναι η μεταβολή του

κατακόρυφου φορτίου επί των εφεδράνων, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ορισμένων εφαρμογών σεισμικής μόνωσης.

Επιπλέον, κάτι που επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κατασκευών με ελαστομεταλλικά εφέδρανα, είναι η μείωση του ύψους των εφεδράνων για αυξανόμενη οριζόντια παραμόρφωση (Kelly, 1993). Παρόλο που η μείωση αυτή είναι ουσιαστικά μικρή, μπορεί να είναι σημαντική στην περίπτωση όπου τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα συνδυάζονται με άλλα στοιχεία σεισμικής μόνωσης τα οποία είναι άκαμπτα στην κατακόρυφη διεύθυνση (όπως τα εφέδρανα ολίσθησης). Επιπλέον, τυχόν ασυμβατότητες στις κατακόρυφες μετακινήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε ανακατανομή των εντάσεων.

9.2.2.2 Μονωτήρες Ολίσθησης

Οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης κατά την απόκριση των μονωτήρων ολίσθησης πρέπει να προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη την πίεση επαφής, τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης ή την ταχύτητα, την διαξονική οριζόντια μετατόπιση, τα θερμοκρασιακά και άλλα περιβαλλοντικά φορτία και τα φαινόμενα γήρανσης για όλο τον χρόνο ζωής των σεισμικών μονωτήρων.

Για την μαθηματική προσομοίωση των σεισμικών μονωτήρων τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους μπορούν να βασίζονται σε αναλυτικές σχέσεις ή διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα. Για τον σχεδιασμό, τα μηχανικά χαρακτηριστικά πρέπει να επιβεβαιώνονται με πειραματικούς ελέγχους των πρότυπων μονωτήρων σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.9.

C9.2.2.2 Μονωτήρες Ολίσθησης

Οι μονωτήρες ολίσθησης περιορίζουν τις σεισμικές δυνάμεις οι οποίες μεταφέρονται στην σεισμικά μονωμένη κατασκευή σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Ενώ αυτή η δράση είναι επιθυμητή, η απουσία μιας σημαντικής δύναμης επαναφοράς μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διαφοροποιήσεις

της μέγιστης μετατόπισης της απόκρισης καθώς και σε μόνιμες μετακινήσεις μετά τον σεισμό. Για την αποφυγή τέτοιων ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων, τα εφέδρανα ολίσθησης χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με μηχανισμούς που προσφέρουν δύναμη επαναφοράς όπως η σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης του εφεδράνου FPS.

Η οριζόντια δύναμη η οποία αναπτύσσεται σε ένα εφέδρανο ολίσθησης δίνεται από την σχέση:

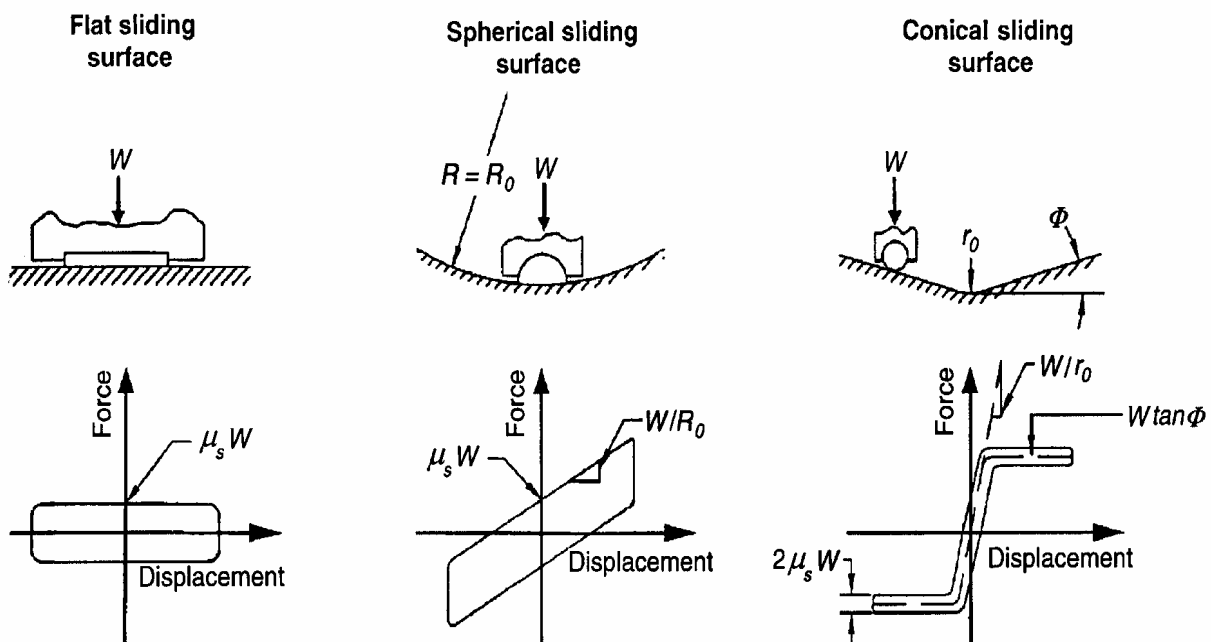
$$F = \frac{N}{R}U + \mu_s N \operatorname{sgn}(\dot{U}) \quad (\text{C9-12})$$

όπου U είναι η μετακίνηση, \dot{U} η ταχύτητα ολίσθησης, R η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας ολίσθησης, μ_s ο συντελεστής τριβής ολίσθησης, και N το κατακόρυφο φορτίο επί του εφεδράνου.

Στο κατακόρυφο φορτίο περιλαμβάνονται, το φορτίο λόγω βαρύτητας, W , η επίδραση της κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους, \ddot{U}_v , και το επιπρόσθετο σεισμικό φορτίο λόγω ροπής ανατροπής, P_s :

$$N = W \left(1 + \frac{\ddot{U}_v}{g} + \frac{P_s}{W} \right) \quad (\text{C9-13})$$

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης (C9-12) αντιπροσωπεύει την συνιστώσα της δύναμης επαναφοράς, και ο δεύτερος όρος περιγράφει την δύναμη τριβής. Για εφέδρανα ολίσθησης με επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης, η ακτίνα καμπυλότητας είναι άπειρη, οπότε ο όρος της δύναμης επαναφοράς στην εξίσωση (C9-12) μηδενίζεται. Για μια σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης (Zayas et al., 1987), η ακτίνα καμπυλότητας είναι σταθερή, οπότε το εφέδρανο παρουσιάζει γραμμική δύναμη επαναφοράς, ανάλογη της μετατόπισης D . Όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει κωνικό σχήμα, η δύναμη επαναφοράς είναι σταθερή. Στο Σχήμα C9-5 φαίνονται οι εξιδανικευμένοι βρόχοι δύναμης-μετατόπισης εφεδράνων ολίσθησης, με επίπεδη, σφαιρική, και κωνική επιφάνεια ολίσθησης.



Σχήμα C9-5 Εξιδανικευμένοι Βρόχοι Δύναμης-Μετατόπισης Εφεδράνων Ολίσθησης

Τα εφεδράνα ολίσθησης με επίπεδη ή σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης συνήθως κατασκευάζονται από PTFE ή συνθετικά υλικά βασιζόμενα σε αυτό που έρχονται σε επαφή με στιλβωμένο ανοξείδωτο χάλυβα. Το σχήμα των επιφανειών ολίσθησης επιτρέπει μεγάλες επιφάνειες επαφής που, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο υλικό, φορτίζονται με πιέσεις έδρασης που κυμαίνονται κατά μέσο όρο από 7 έως 70 MPa. Για επιφάνειες με σχήμα διαφορετικό από σφαιρικό ή επίπεδο, το φορτίο πρέπει να μεταφέρεται μέσω ενός εφεδράνου όπως φαίνεται στο Σχήμα C9-5 για την κωνική επιφάνεια ολίσθησης. Αυτή η διάταξη έχει συνήθως ως αποτέλεσμα πολύ μικρό συντελεστή τριβής.

Για εφεδράνα με μεγάλη επιφάνεια επαφής και ελλείψει λιπαντικών υγρών, ο συντελεστής τριβής εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους εκ των οποίων οι τρεις σπουδαιότερες είναι, η σύνθεση της επιφάνειας ολίσθησης, η πίεση των εφεδράνων, και η ταχύτητα ολίσθησης. Για διεπιφάνειες οι οποίες συντίθενται από στιλβωμένο ανοξείδωτο χάλυβα σε επαφή με PTFE ή με συνθετικά υλικά βασιζόμενα στο PTFE, ο συντελεστής τριβής ολίσθησης μπορεί να περιγραφεί από την σχέση:

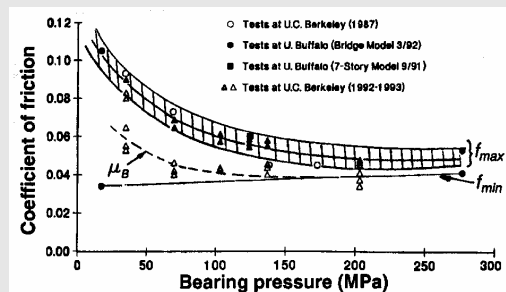
$$\mu_s = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min}) \exp(-a|\dot{U}|) \quad (\text{C9-14})$$

όπου οι παράμετροι f_{\min} και f_{\max} περιγράφουν τον συντελεστή τριβής υπό σταθερή πίεση σε μικρές και μεγάλες ταχύτητες ολίσθησης αντιστοίχως, όπως εικονίζεται και στο Σχήμα C9-6. Οι παράμετροι f_{\min} , f_{\max} , και a , εξαρτώνται από την πίεση του εφεδράνου, παρόλο που μόνο η εξάρτηση του f_{\max} από την πίεση έχει πρακτική σημασία. Μία καλή προσέγγιση των πειραματικών αποτελεσμάτων δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Constantinou et al., 1993):

$$f_{\max} = f_{\max o} - (f_{\max o} - f_{\max p}) \tanh ep \quad (\text{C9-15})$$

όπου η φυσική σημασία των παραμέτρων $f_{\min o}$ και $f_{\max o}$ φαίνεται στο Σχήμα C9-6. Ο όρος p είναι η στιγμιαία πίεση του εφεδράνου, η οποία είναι ίση με το κατακόρυφο φορτίο N , το οποίο υπολογίζεται από την εξίσωση (C9-13), διαιρούμενο με το εμβαδόν της

επιφάνειας επαφής. Το e είναι μια παράμετρος που ελέγχει την μεταβολή του f_{\max} με την πίεση.



Σχήμα C9-6 Συντελεστής Τριβής Συνθετικών με βάση το PTFE σε επαφή με Στιλβωμένο Ανοξείδωτο Χάλυβα υπό Κανονική Θερμοκρασία

Στο Σχήμα C9-6 φαίνεται και άλλο ένα χαρακτηριστικό των εφεδράνων ολίσθησης. Κατά την έναρξη της κίνησης, ο συντελεστής τριβής παρουσιάζει μία στατική τιμή, μ_B , η οποία είναι τυπικά μεγαλύτερη από την ελάχιστη τιμή f_{\min} . Για την περιγραφή των ιδιοτήτων τριβής, το Σχήμα C9-6 δείχνει την σχέση μεταξύ πίεσης εφεδράνων και των συντελεστών τριβής f_{\max} , μ_B , και f_{\min} ενός συνθετικού με βάση το PTFE σε επαφή με στιλβωμένο ανοξείδωτο χάλυβα υπό κανονική θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν από πειράματα που έγιναν σε εφεδράνα στα πλαίσια τεσσάρων διαφορετικών πειραματικών προγραμμάτων (Soong and Constantinou, 1994).

Ο συνδυασμός ελαστομεταλλικών εφεδράνων και εφεδράνων ολίσθησης έχει χρησιμοποιηθεί σε κτήρια στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ακόμα Ιάπωνες μηχανικοί έχουν χρησιμοποιήσει ελαστομεταλλικά εφεδράνα σε συνδυασμό με στοιχεία από μαλακό χάλυβα τα οποία είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να διαρρέουν σε ισχυρούς σεισμούς και έτσι να βελτιώνουν την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος σεισμικής μόνωσης (Kelly 1998). Αυτά τα στοιχεία μαλακού χάλυβα εμφανίζουν είτε ελαστοπλαστική συμπεριφορά είτε διγραμμική υστερητική συμπεριφορά με μικρή δυσκαμψία μετά την διαρροή. Επιπλέον συσκευές κατανάλωσης ενέργειας με βάση ιξώδη υγρά έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ελαστομεταλλικά

εφέδρανα. Η συμπεριφορά των μηχανισμών ιξωδών υγρών περιγράφεται στην παράγραφο 9.3.3.2.3.

Τα υβριδικά συστήματα σεισμικής μόνωσης τα οποία συντίθεται από ελαστομεταλλικά εφέδρανα και εφέδρανα ολίσθησης πρέπει να προσομοιωθούν έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές σημαντικές διαφορές στις κατακόρυφες μετατοπίσεις των εφεδράνων λόγω της οριζόντιας μετατόπισης. Η χρησιμοποίηση ελαστομεταλλικών μονωτήρων και μονωτήρων ολίσθησης σε μικρή μεταξύ τους απόσταση κάτω από άκαμπτα φέροντα στοιχεία (π.χ. διατμητικά τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος) μπορεί να είναι προβληματική και να οδηγεί σε σημαντικές ανακατανομές των φορτίων βαρύτητας.

9.2.2.3 Προσομοίωση των Μονωτήρων

9.2.2.3.1 Γενικά

Όταν τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός σεισμικού μονωτήρα εξαρτώνται από το αξονικό φορτίο (λόγω βαρύτητας, φαινόμενα ανατροπής κατά τον σεισμό, και κατακόρυφης σεισμικής διέγερσης), ρυθμό επιβολής της φόρτισης (ταχύτητα), διαξονική οριζόντια μετατόπιση, θερμοκρασία ή γήρανση, τότε άνω και κάτω όρια για την δυσκαμψία και την απόσβεση πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλές αναλύσεις του μοντέλου. Έτσι προσδιορίζονται το εύρος και η ευαισθησία της απόκρισης για την μεταβολή των παραμέτρων σχεδιασμού.

9.2.2.3.2 Γραμμικά Μοντέλα

Η δύναμη επαναφοράς, F , ενός μονωτήρα θα πρέπει να υπολογίζεται ως το γινόμενο της ενεργού δυσκαμψίας, K_{eff} , και της μετατόπισης, D , της απόκρισης:

$$F = k_{eff} D \quad (9-1)$$

Η ενεργός δυσκαμψία, k_{eff} , ενός σεισμικού μονωτήρα θα πρέπει να υπολογίζεται από πειραματικά δεδομένα σύμφωνα με την εξίσωση (9-12). Το εμβαδόν το οποίο περιβάλλεται από τους βρόχους υστέρησης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ενεργού απόσβεσης, β_{eff} , του σεισμικού μονωτήρα. Η ενεργός

δυσκαμψία και η ενεργός απόσβεση θα πρέπει να υπολογίζονται για όλες τις μετατοπίσεις οι οποίες ενδιαφέρουν κατά τον σχεδιασμό.

C9.2.2.3.2 Γραμμικά Μοντέλα

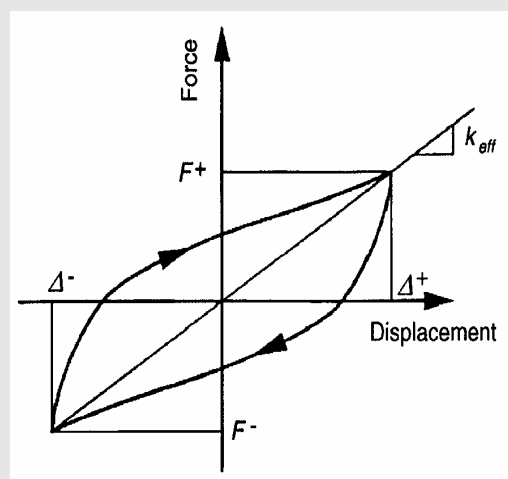
Οι γραμμικές μέθοδοι χρησιμοποιούν την ενεργό δυσκαμψία, K_{eff} , και την ενεργό απόσβεση, β_{eff} , για την προσέγγιση των μη γραμμικών ιδιοτήτων των μονωτήρων. Για τις γραμμικές μεθόδους (βλέπε FEMA 274 παράγραφος C9.2.3), το σύστημα σεισμικής μόνωσης μπορεί να προσομοιωθεί με ένα ισοδύναμο γραμμικά ελαστικό μοντέλο. Η δύναμη σε ένα σεισμικό μονωτήρα υπολογίζεται ως:

$$F = k_{eff} D \quad (C9-16)$$

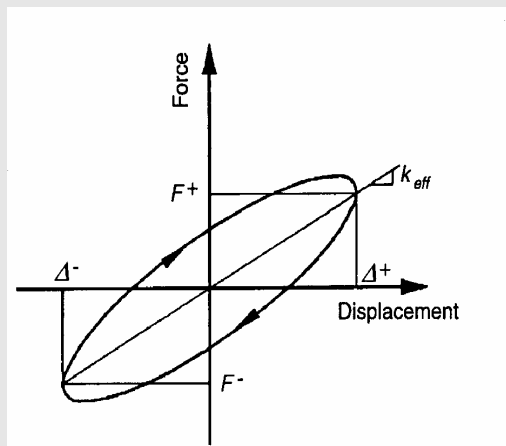
όπου όλοι οι όροι ορίζονται στην παράγραφο 9.2.2.3.2 αυτού του κανονισμού. Η ενεργός δυσκαμψία ενός σεισμικού μονωτήρα μπορεί να υπολογιστεί από τα πειραματικά δεδομένα σύμφωνα με την επόμενη εξίσωση:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (C9-17)$$

Στο Σχήμα C9-7 απεικονίζεται η φυσική σημασία της ενεργού δυσκαμψίας.



ΥΣΤΕΡΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ



ΒΙΣΚΟΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Σχήμα C9-7 Ορισμός Ενεργού Δυσκαμψίας των Διατάξεων Σεισμικής Μόνωσης

Η ανάλυση με μια γραμμική μέθοδο απαιτεί ότι είτε ο κάθε μεμονωμένος σεισμικός μονωτήρας είτε ομάδες σεισμικών μονωτήρων μπορούν να προσομοιωθούν με γραμμικά ελατήρια δυσκαμψίας είτε K_{eff} είτε την συνδυασμένη ενεργό δυσκαμψία της κάθε ομάδας εφεδράνων αντίστοιχα.

Η ικανότητα απόσβεσης ενέργειας του συστήματος σεισμικής μόνωσης γενικά προσομοιώνεται από την ενεργό απόσβεση. Η ενεργός απόσβεση εξαρτάται από το εύρος της ανακυκλικής μετατόπισης και υπολογίζεται για την μετατόπιση σχεδιασμού από την ακόλουθη σχέση:

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_D}{K_{eff} D^2} \right] \quad (C9-18)$$

όπου $\sum E_D$ είναι το συνολικό εμβαδόν των βρόχων υστέρησης όλων των μονωτήρων, και K_{eff} είναι η συνολική ενεργός δυσκαμψία όλων των διατάξεων σεισμικής μόνωσης. Τόσο η ενεργός δυσκαμψία όσο και η ενεργός απόσβεση καθορίζονται για την μετακίνηση σχεδιασμού, D .

Η εφαρμογή των εξισώσεων (C9-16) έως (C9-18) κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων σεισμικής μόνωσης, γίνεται αρκετά πολύπλοκη στην περίπτωση όπου η ενεργός δυσκαμψία και το εμβαδόν των βρόχων υστέρησης εξαρτώνται από το αξονικό φορτίο. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται πολλαπλές αναλύσεις για τον καθορισμό ορίων στις ιδιότητες και την απόκριση των μονωτήρων. Για παράδειγμα, τέτοιες εξαρτήσεις παρουσιάζουν τα συστήματα ολίσθησης όπως περιγράφηκε στην παράγραφο C9.2.2.2. Για τον υπολογισμό τέτοιων επιδράσεων προτείνεται η παρακάτω προσέγγιση:

Στα συστήματα ολίσθησης η σχέση μεταξύ οριζόντιας δύναμης και κατακόρυφου φορτίου είναι ουσιαστικά γραμμική (βλέπε εξίσωση C9-16). Επομένως, η καθαρή επίδραση της ροπής ανατροπής στην μηχανική συμπεριφορά μιας ομάδας εφεδράνων, είναι μικρή και μπορεί να αμεληθεί. Πειραματικά αποτελέσματα (Al-Hussaini, 1994) δείχνουν αυτή την συμπεριφορά μέχρι το σημείο όπου επίκειται ανύψωση των εφεδράνων. Παρόμοια αποτελέσματα είναι πιθανά και για τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

Η επίδραση της κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους μεταβάλλει το φορτίο επί των μονωτήρων. Αν θεωρηθεί ότι το κτίριο είναι άκαμπτο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, και αγνοηθούν οι αξονικές δυνάμεις λόγω ροπών ανατροπής, τότε τα αξονικά φορτία κυμαίνονται από $W(1 - \ddot{U}/g)$ έως $W(1 + \ddot{U}/g)$, όπου \ddot{U} είναι η μέγιστη κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση. Εντούτοις, αναγνωρίζοντας ότι η κατακόρυφη και η οριζόντια συνιστώσα της εδαφικής κίνησης πιθανότατα δεν συσχετίζονται, εκτός από το κοντινό πεδίο στο ρήγμα, τότε είναι κατάλληλη η χρήση ενός συνδυαστικού κανόνα ο οποίος χρησιμοποιεί ένα μόνο μέρος της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης. Με βάση την χρήση του 50% της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, το μέγιστο και ελάχιστο αξονικό φορτίο για έναν συγκεκριμένο μονωτήρα δίνεται από την σχέση:

$$N_c = W(1 \pm 0.20 S_{DS}) \quad (C9-19)$$

όπου το θετικό πρόσημο δίνει την μέγιστη τιμή και το αρνητικό πρόσημο την ελάχιστη τιμή. Η εξίσωση (C9-19) βασίζεται στην παραδοχή ότι η παράμετρος φασματικής απόκρισης μικρής περιόδου, S_{DS} , είναι 2.5 φορές μεγαλύτερη της μεγίστης τιμής της κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης. Για ανάλυση με τον μέγιστο αναμενόμενο σεισμό, το αξονικό φορτίο θα πρέπει να καθορίζεται από την σχέση:

$$N_c = W(1 \pm 0.20 S_{MS}) \quad (C9-20)$$

Οι εξισώσεις (C9-19) και (C9-20) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή στην περίπτωση όπου το κτίριο βρίσκεται στην κοντινή περιοχή ενεργού ρήγματος. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη συμβουλές από ειδικούς όσον αφορά την συσχέτιση μεταξύ της οριζόντιας και της κατακόρυφης συνιστώσας της εδαφικής κίνησης.

Το φορτίο N_c αποτελεί ένα σταθερό φορτίο επί των μονωτήρων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ενεργού δυσκαμψίας και του εμβαδού του βρόχου υστέρησης. Για τον καθορισμό αυτών των ιδιοτήτων απαιτείται η γνώση της χαρακτηριστικής αντοχής Q (βλέπε Σχήμα C9-7). Για τους μονωτήρες ολίσθησης, η Q μπορεί να ληφθεί ίση με $f_{max} N_c$, όπου η f_{max} καθορίζεται για την πίεση του εφεδράνου η οποία αντιστοιχεί στο φορτίο N_c . Για παράδειγμα, για ένα εφέδρανο ολίσθησης με σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης με ακτίνα καμπυλότητας R_0 (βλέπε Σχήμα C9-5), η ενεργός δυσκαμψία και το εμβαδόν του βρόχου για την μετακίνηση σχεδιασμού D είναι:

$$k_{eff} = \left(\frac{1}{R_0} + \frac{f_{max}}{D} \right) N_c \quad (C9-21)$$

$$Loop \ Area = 4 f_{max} N_c D \quad (C9-22)$$

9.2.2.3.3 Μη Γραμμικά Μοντέλα

Οι μη γραμμικές ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης των σεισμικών μονωτήρων θα πρέπει να προσομοιώνονται άμεσα όταν χρησιμοποιούνται μη γραμμικές μέθοδοι. Η ανελαστική υστερητική συμπεριφορά των σεισμικών μονωτήρων πρέπει να προσομοιώνει την

απόσβεση. Πρόσθετη ιξώδης απόσβεση ενέργειας δεν πρέπει να εισάγεται στο μοντέλο εκτός αν αυτό υποστηρίζεται από πειραματικούς ελέγχους των μονωτήρων οι οποίοι εξετάζουν και τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης.

C9.2.2.3.3 Μη Γραμμικά Μοντέλα

Για την δυναμική μη γραμμική ανάλυση χρονιστοριών (dynamic nonlinear time history analysis) τα μέλη του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να προσομοιώνονται άμεσα. Τα μέρη C9.2.2.2 έως C9.2.2.4 του *FEMA 274* παρουσιάζουν σχετικές πληροφορίες. Όταν υπάρχουν αβεβαιότητες, και όταν στοιχεία της συμπεριφοράς δεν μπορούν να προσομοιωθούν, τότε πρέπει να πραγματοποιηθούν πολλαπλές αναλύσεις για τον καθορισμό των ορίων της δυναμικής απόκρισης.

Στην περίπτωση απλοποιημένης μη γραμμικής ανάλυσης, κάθε στοιχείο σεισμικής μόνωσης μπορεί να προσομοιωθεί με ένα κατάλληλο υστερητικό μοντέλο με ιδιότητες ανεξάρτητες από τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης. Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να προσομοιωθούν ως διγραμμικά υστερητικά στοιχεία όπως περιγράφεται στο *FEMA 274* παράγραφος C9.2.2.2. Τα συστήματα ολίσθησης μπορούν επίσης να προσομοιωθούν ως διγραμμικά υστερητικά στοιχεία με χαρακτηριστική αντοχή Q η οποία υπολογίζεται από την σχέση (βλέπε Σχήμα C9-5):

$$Q = f_{max} N_c \quad (C9-23)$$

όπου το N_c καθορίζεται είτε από την εξίσωση (C9-19) ή από την (C9-20), και f_{max} είναι ο συντελεστής τριβής ολίσθησης για την κατάλληλη ταχύτητα ολίσθησης. Η δυσκαμψία μετά την διαρροή μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση:

$$k_p = \frac{N_c}{R} \quad (C9-24)$$

όπου R , είναι η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας ολίσθησης. Η μετακίνηση διαρροής D_y σε ένα διγραμμικό υστερητικό μοντέλο εφεδράνου

ολίσθησης πρέπει να είναι πολύ μικρή, ίσως της τάξεως των 2mm. Εναλλακτικά, το διγραμμικό υστερητικό μοντέλο για τα εφέδρανα ολίσθησης μπορεί να καθοριστεί έτσι ώστε η ελαστική δυσκαμψία K_e να είναι τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερη από την δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p .

Διατάξεις σεισμικής μόνωσης οι οποίες εμφανίζουν ιξωδη-ελαστική συμπεριφορά όπως δείχνεται στο σχήμα C9-7, θα πρέπει να προσομοιώνονται με γραμμικά ελαστικά στοιχεία ελαστικής δυσκαμψίας K_{eff} , η οποία καθορίζεται από την σχέση (C9-21).

9.2.2.4 Προσομοίωση Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης και Ανωδομής

9.2.2.4.1 Γενικά

Τα μαθηματικά μοντέλα του μονωμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων του συστήματος σεισμικής μόνωσης, του συστήματος ανάληψης των οριζοντίων δυνάμεων της ανωδομής, άλλα φέροντα στοιχεία και των συνδέσεων μεταξύ του συστήματος σεισμικής μόνωσης και της ανωδομής, πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις των Κεφαλαίων 2 και 3 και των παραγράφων 9.2.2.4.2 και 9.2.2.4.3.

9.2.2.4.2 Προσομοίωση Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας μηχανικές ιδιότητες οι οποίες επαληθεύονται από πειραματικούς ελέγχους σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 9.2.9.

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να προσομοιώνεται με ικανοποιητική ακρίβεια έτσι ώστε:

1. Να αποδίδεται σωστά την χωρική διάταξη των μονωτήρων.
2. Να υπολογίζεται η μετατόπιση και κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και η στροφή της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της μόνωσης, λαμβάνοντας υπόψη την δυσμενέστερη θέση εκκεντρότητας της μάζας.

3. Να εξετάζονται οι δυνάμεις ανατροπής και ανύψωσης σε κάθε μονωτήρα.
4. Να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις των κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων ή/και ο ρυθμός επιβολής της φόρτισης, στην περίπτωση όπου οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης εξαρτώνται από έναν ή περισσότερους από αυτούς τους παράγοντες.
5. Να υπολογίζονται οι δυνάμεις λόγω των ροπών P-Δ.
6. Να εξετάζονται τα μη γραμμικά στοιχεία. Συστήματα σεισμικής μόνωσης με μη γραμμικά στοιχεία περιλαμβάνουν συστήματα τα οποία πληρούν τα κριτήρια της παραγράφου 9.2.3.3.1 στοιχείο 2.

9.2.2.4.3 Προσομοίωση της Ανωδομής

Η μέγιστη μετακίνηση κάθε ορόφου, η συνολική μετακίνηση σχεδιασμού, και η συνολική μέγιστη μετακίνηση επί του επιπέδου του συστήματος σεισμικής μόνωσης, θα πρέπει να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο για την προσομοίωση της σεισμικά μονωμένης κατασκευής, το οποίο θα ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης των μη γραμμικών στοιχείων.

Ο υπολογισμός των μετακινήσεων και δυνάμεων σχεδιασμού των βασικών στοιχείων του συστήματος ανάληψης των οριζόντιων δυνάμεων, χρησιμοποιώντας γραμμικά ελαστικά μοντέλα για την προσομοίωση της σεισμικά μονωμένης κατασκευής, επιτρέπεται μόνο σε περίπτωση που ισχύουν και τα δύο παρακάτω κριτήρια:

1. Οι ψευδοελαστικές ιδιότητες των μη γραμμικών στοιχείων του συστήματος σεισμικής μόνωσης βασίζονται στην μέγιστη ενεργή δυσκαμψία του συστήματος.
2. Το σύστημα ανάληψης των οριζόντιων δυνάμεων παραμένει γραμμικά ελαστικό για το επίπεδο σεισμικής απαίτησης που ενδιαφέρει κατά τον σχεδιασμό.

Ένα σύστημα ανάλιψης των οριζόντιων δυνάμεων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως γραμμικά ελαστικό όταν πληροί και τα δύο επόμενα κριτήρια

1. Για όλες τις επιβαλλόμενες δράσεις με έλεγχο μετατοπίσεων η εξίσωση (3-20) επαληθεύεται χρησιμοποιώντας ένα παράγοντα m ίσο με 1.0.
2. Για όλες τις επιβαλλόμενες δράσεις με έλεγχο δυνάμεων η εξίσωση (3-21) επαληθεύεται.

9.2.3 Γενικά Κριτήρια για τον Σχεδιασμό Σεισμικής Μόνωσης

9.2.3.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός, ανάλυση και έλεγχος του συστήματος σεισμικής μόνωσης πρέπει να βασίζεται στις απαιτήσεις αυτής της παραγράφου.

C9.2.3.1 Γενικά

Τα κριτήρια των σεισμικά μονωμένων κτηρίων χωρίζονται σε δύο τμήματα:

1. Επαναχρησιμοποίηση κτιρίων
2. Σχεδιασμός, ανάλυση, και έλεγχος του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

9.2.3.1.1 Ευστάθεια του Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης

Η ευστάθεια των στοιχείων ανάλιψης κατακόρυφων φορτίων του συστήματος σεισμικής μόνωσης πρέπει να επαληθεύεται με ανάλυση και έλεγχο, όπως απαιτείται στην παράγραφο 9.2.9, για μια οριζόντια μετατόπιση ίση με συνολική μέγιστη μετατόπιση υπολογισμένη σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.4.3.5 ή την παράγραφο 9.2.5.1.2, ή με την μέγιστη μετατόπιση η οποία επιτρέπεται από τους μηχανισμούς συγκράτησης, αν αυτοί οι μηχανισμοί είναι μέρος του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

9.2.3.1.2 Απαιτήσεις Διαμόρφωσης

Το σεισμικά μονωμένο κτήριο κατηγοριοποιείται ως κανονικό ή μη κανονικό, όπως ορίζεται στην παράγραφο 2.4.1.1, με βάση την διαμόρφωση της κατασκευής πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης.

9.2.3.2 Κριτήρια Εδαφικής Διέγερσης των Σεισμών

Τα κριτήρια σεισμικής διέγερσης εδάφους για τον Σεισμό Σχεδιασμού (Design Earthquake) και τον Μέγιστο Εξεταζόμενο Σεισμό (Maximum Considered Earthquake) θα πρέπει να ορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 1.6 και τις τροποποιήσεις αυτής της παραγράφου. Το επίπεδο επικινδυνότητας του Σεισμού Σχεδιασμού ορίζεται από τον μελετητή και επιτρέπεται να λαμβάνεται ίσο με το επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας BSE-1 (σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια). Ο Μέγιστος Εξεταζόμενος Σεισμός θα πρέπει να λαμβάνεται ίσος με το επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας BSE-2 (σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 2% στα 50 χρόνια).

9.2.3.2.1 Σεισμός Σχεδιασμού Οριζόμενος από τον Μελετητή

Για τον σεισμό σχεδιασμού τα παρακάτω κριτήρια εδαφικής διέγερσης θα πρέπει να προσδιοριστούν:

1. Η παράμετρος φασματικής επιτάχυνσης στις μικρές περιόδους, S_{XS} , και η παράμετρος φασματικής επιτάχυνσης για περίοδο 1.0 sec, S_{X1} , σύμφωνα με την παράγραφο 1.6.1.4.
2. Το φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5% του σεισμού σχεδιασμού (όταν απαιτείται φάσμα απόκρισης από τις γραμμικές μεθόδους της παραγράφου 9.2.3.3.2 ή όταν απαιτείται για τον προσδιορισμό των χρονιοιστοριών της επιτάχυνσης).

3. Τουλάχιστον τρεις χρονοιστορίες επιτάχυνσης εδάφους συμβατές με το φάσμα του σεισμού σχεδιασμού (όταν οι χρονοιστορίες των επιταχύνσεων απαιτούνται από τις μη γραμμικές μεθόδους της παραγράφου 9.2.3.3.3)

9.2.3.2.2 Μέγιστος Εξεταζόμενος Σεισμός

Για τον σεισμό BSE-2 τα παρακάτω κριτήρια εδαφικής διέγερσης θα πρέπει να προσδιοριστούν:

1. Η παράμετρος φασματικής επιτάχυνσης στις μικρές περιόδους, S_{XS} , και η παράμετρος φασματικής επιτάχυνσης για περίοδο 1.0 sec, S_{XI} , σύμφωνα με την παράγραφο 1.6.1.4.
2. Το φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5% του σεισμού BSE-2 (όταν απαιτείται φάσμα απόκρισης από τις γραμμικές μεθόδους της παραγράφου 9.2.3.3.2 ή όταν απαιτείται για τον προσδιορισμό των χρονοιστοριών της επιτάχυνσης).
3. Τουλάχιστον τρεις χρονοιστορίες επιτάχυνσης εδάφους συμβατές με το φάσμα του σεισμού BSE-2 (όταν οι χρονοιστορίες των επιταχύνσεων απαιτούνται από τις μη γραμμικές μεθόδους της παραγράφου 9.2.3.3.3)

9.2.3.3 Επιλογή της Μεθόδου Ανάλυσης

9.2.3.3.1 Γραμμικές Μέθοδοι

Οι γραμμικές μέθοδοι επιτρέπονται για τον σχεδιασμό των σεισμικά μονωμένων κτηρίων όταν ικανοποιούνται τα παρακάτω κριτήρια:

1. Το κτήριο βρίσκεται σε εδαφικό σχηματισμό τύπου A, B, C και D (ή E αν $S_I > 0.6$ για τον BSE-2).
2. Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πληροί τα ακόλουθα κριτήρια:

- 2.1 Η ενεργός δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην μετατόπιση σχεδιασμού είναι μεγαλύτερη από το ένα τρίτο της ενεργού δυσκαμψίας στο 20% της μετατόπισης σχεδιασμού.

- 2.2 Το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι ικανό να παράγει μια δύναμη επαναφοράς όπως ορίζεται στην παράγραφο 9.2.7.2.4.

- 2.3 Το σύστημα σεισμικής μόνωσης έχει ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης.

- 2.4 Το σύστημα σεισμικής μόνωσης έχει ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης οι οποίες είναι ανεξάρτητες από το κατακόρυφο φορτίο και την διαξονική οριζόντια φόρτιση.

- 2.5 Όταν εξετάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης για τον σεισμό BSE-2, το σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν έχει μετατόπιση σεισμού BSE-2 με μικρότερη τιμή από την μετατόπιση του σεισμού σχεδιασμού πολλαπλασιασμένη επί τον λόγο της φασματικής παραμέτρου S_{XI} για τον σεισμό BSE-2 προς την φασματική παράμετρο S_{XI} για τον σεισμό σχεδιασμού.

3. Η κατασκευή πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης παρουσιάζει συνολική ελαστική συμπεριφορά για τις σεισμικές διεγέρσεις που εξετάζονται.

9.2.3.3.2 Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης

Η ανάλυση φάσματος απόκρισης πρέπει να χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των σεισμικά μονωμένων κτηρίων εάν ισχύει κάποιο από τα παρακάτω κριτήρια:

1. Το κτήριο έχει ύψος μεγαλύτερο από 19.8m

2. Η ενεργός ιδιοπερίοδος, T_M , της κατασκευής είναι μεγαλύτερη από 3sec.
3. Η ενεργός ιδιοπερίοδος της μονωμένης κατασκευής, T_D , είναι μικρότερη ή ίση με τρεις φορές την ελαστική ιδιοπερίοδο της πακτωμένης στην βάση ανωδομής.
4. Το κτήριο πάνω από την σεισμική μόνωση είναι μη κανονικό.

9.2.3.3.3 Μη Γραμμικές Μέθοδοι

Οι μη γραμμικές μέθοδοι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των σεισμικά μονωμένων κτιρίων για τα οποία ισχύει κάποιο από παρακάτω κριτήρια:

1. Η κατασκευή πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι μη γραμμική για τις σεισμικές διεγέρσεις οι οποίες εξετάζονται.
2. Το σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν πληροί όλα τα κριτήρια της παραγράφου 9.2.3.3.1.

Η μη γραμμική ανάλυση χρονοιστοριών επιταχύνσεων πρέπει να εφαρμόζεται για τον σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κτιρίων για τα οποία ισχύουν οι συνθήκες (1) και (2).

C9.2.3.3 Επιλογή της Μεθόδου Ανάλυσης

Οι γραμμικές μέθοδοι περιλαμβάνουν κανονιστικούς τύπους και την ανάλυση φάσματος απόκρισης. Οι γραμμικές μέθοδοι βασίζονται σε τύπους (παρόμοιους με την εξίσωση του σεισμικού συντελεστή για τον σχεδιασμό των πακτωμένων στην βάση κατασκευών) οι οποίοι ορίζουν την μέγιστη οριζόντια μετατόπιση του συστήματος σεισμικής μόνωσης και κριτήρια σχεδιασμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό ενός περιορισμένου εύρους σεισμικά μονωμένων κατασκευών (χωρίς τα αποτελέσματα να επαληθευτούν από δυναμικές αναλύσεις). Αυτοί οι απλοί τύποι είναι χρήσιμοι για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και παρέχουν ένα μέσο για γρήγορη επαλήθευση των πιο πολύπλοκων μεθόδων.

Η ανάλυση φάσματος απόκρισης προτείνεται για τον σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κατασκευών οι οποίες έχουν είτε (1) μια ψηλή εύκαμπτη ανωδομή, ή (2) μη κανονική ανωδομή. Για τα περισσότερα κτίρια, η ανάλυση φάσματος απόκρισης δεν προβλέπει σημαντικά διαφορετικές μετατοπίσεις για το σύστημα σεισμικής μόνωσης από αυτές που υπολογίζονται από τους κανονιστικούς τύπους, με την προϋπόθεση ότι και οι δύο μέθοδοι βασίζονται στην ίδια ενεργό δυσκαμψία και απόσβεση για το σύστημα σεισμικής μόνωσης. Το πλεονέκτημα της χρήσης της ανάλυσης φάσματος απόκρισης δεν είναι στην πρόβλεψη της απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης αλλά στον υπολογισμό και την κατανομή των σεισμικών δυνάμεων στην ανωδομή. Η ανάλυση φάσματος απόκρισης επιτρέπει την χρήση πιο λεπτομερών προσομοιωμάτων για την ανωδομή τα οποία επιτρέπουν καλύτερη εκτίμηση των δυνάμεων και παραμορφώσεων των μελών της λαμβάνοντας υπόψη την ευκαμψία και την μη κανονικότητα του δομικού συστήματος.

Η μη γραμμικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την Μη Γραμμική Στατική Μέθοδο (Nonlinear Static Procedure – NSP) και την Μη Γραμμική Δυναμική Μέθοδο (Nonlinear Dynamic Procedure – NDP). Η NSP είναι μια μέθοδος στατικού push-over και η NDP βασίζεται στην μη γραμμική Ανάλυση Χρονοιστοριών (Time History Analysis). Οι NSP και NDP απαιτούνται για σεισμικά μονωμένες κατασκευές οι οποίες δεν έχουν ουσιαστικά γραμμική συμπεριφορά (για την απαίτηση του σεισμού BSE-2). Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να προσομοιωθούν τα μη γραμμικά στοιχεία της ανωδομής.

Η Ανάλυση Χρονοιστοριών απαιτείται για τις σεισμικά μονωμένες κατασκευές σε πολύ μαλακό έδαφος (π.χ. εδαφικός σχηματισμός τύπου E όταν η σεισμική διέγερσή είναι έντονη ή εδαφικός σχηματισμός τύπου F) κάτι το οποίο μπορεί να διεγείρει το κτίριο με μία κίνηση μεγάλης περιόδου και πολλών κύκλων. Επίσης απαιτείται για κτίρια με σύστημα σεισμικής μόνωσης το οποίο μπορεί να προσομοιωθεί καλύτερα με μη γραμμικά μοντέλα. Τέτοια συστήματα περιλαμβάνουν:

1. Συστήματα με ενεργή απόσβεση μεγαλύτερη από 30% (καθόσον υψηλά επίπεδα απόσβεσης είναι

πιθανό να οδηγήσουν σε διέγερση των υψηλότερων ιδιομορφών της ανωδομής).

2. Συστήματα τα οποία δεν διαθέτουν μια σημαντική δύναμη επαναφοράς (καθόσον αυτά τα συστήματα μπορεί να μην μείνουν κεντραρισμένα κατά την σεισμική διέγερση).
3. Συστήματα τα οποία αναμένεται να ξεπεράσουν το ελεύθερο αρμό από τις γειτονικές κατασκευές (καθόσον πρόσκρουση σε γειτονικές κατασκευές μπορεί να επιβάλει μεγάλη απαίτηση από την ανωδομή).
4. Συστήματα των οποίων οι ιδιότητες εξαρτώνται από τον ρυθμό της φόρτισης (καθόσον αυτές οι ιδιότητες θα μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της σεισμικής διέγερσης).

Για τους τύπους συστημάτων σεισμικής μόνωσης οι οποίοι περιγράφονται παραπάνω, προσεγγιστικές μη γραμμικές ιδιότητες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση των σεισμικών μονωτήρων. Γραμμικές ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της ανωδομής, με την προϋπόθεση ότι η απόκριση της ανωδομής είναι ουσιαστικά γραμμικά ελαστική για την απαίτηση του σεισμού BSE-2.

Οι περιορισμοί οι οποίοι επιβάλλονται στην χρήση των γραμμικών μεθόδων υποδεικνύουν ότι οι μη γραμμικές μέθοδοι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για σχεδόν όλα τα σεισμικά μονωμένα κτήρια. Παρόλα αυτά, σε αυτό τον κανονισμό κάτω όρια για την μετατόπιση σχεδιασμού και τις σεισμικές δυνάμεις του συστήματος σεισμικής μόνωσης ορίζονται με βάση τους γραμμικούς τύπους, ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται δυναμικές αναλύσεις για τον σχεδιασμό. Αυτά τα κατώτατα όρια εισάγουν περιορισμούς στα κύρια χαρακτηριστικά του σχεδιασμού ώστε να εξασφαλίζεται συνέπεια στον σχεδιασμό των σεισμικά μονωμένων κατασκευών και να προλαμβάνονται χονδροειδή σφάλματα σχεδιασμού.

9.2.4 Γραμμικές Μέθοδοι

9.2.4.1 Γενικά

Τα σεισμικά μονωμένα κτήρια για τα οποία οι γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης επιλέγονται με βάση τα κριτήρια της παραγράφου 9.2.3.3 θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να αναλαμβάνουν με ασφάλεια τις σεισμικές μετακινήσεις και δυνάμεις οι οποίες ορίζονται στις επόμενες παραγράφους κατ' ελάχιστο.

9.2.4.2 Χαρακτηριστικά Οριζόντιας Παραμόρφωσης του Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης

Τα χαρακτηριστικά οριζόντιας παραμόρφωσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να βασίζονται σε πειραματικές δοκιμές, οι οποίες θα πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.9. Τα χαρακτηριστικά παραμόρφωσης του συστήματος θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη άμεσα τις επιδράσεις των συστημάτων συγκράτησης έναντι ανέμου και έναντι ανύψωσης καθώς επίσης και των συμπληρωματικών διατάξεων απορρόφησης ενέργειας.

9.2.4.3 Ελάχιστες Οριζόντιες Μετατοπίσεις

9.2.4.3.1 Μετατόπιση Σχεδιασμού

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζεται και να κατασκευάζεται έτσι ώστε να αναλαμβάνει κατ' ελάχιστο οριζόντιες μετατοπίσεις λόγω σεισμικής διέγερσης, οι οποίες θα δρουν κατά την διεύθυνση κάθε κύριου οριζόντιου άξονα της κατασκευής και δίνονται από την εξίσωση (9-2):

$$D_D = \left[\frac{g}{4\pi^2} \right] \frac{S_{X1} T_D}{B_{D1}} \quad (9-2)$$

όπου η φασματική παράμετρος S_{X1} υπολογίζεται για τον σεισμό σχεδιασμού.

9.2.4.3.2 Ενεργός Ιδιοπερίοδος για την Μετατόπιση Σχεδιασμού

Η ενεργός ιδιοπερίοδος, T_D , της σεισμικά μονωμένης κατασκευής για την μετατόπιση σχεδιασμού θα πρέπει να καθορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά οριζόντιας παραμόρφωσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την εξίσωση (9-3):

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D \min} g}} \quad (9-3)$$

9.2.4.3.3 Μέγιστη Μετακίνηση

Η μέγιστη μετακίνηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης, D_M , κατά την πιο κρίσιμη διεύθυνση της οριζόντιας απόκρισης, θα πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (9-4):

$$D_M = \left[\frac{g}{4\pi^2} \right] \frac{S_{X1} T_M}{B_{M1}} \quad (9-4)$$

όπου η S_{X1} υπολογίζεται για τον σεισμό BSE-2.

9.2.4.3.4 Ενεργός Ιδιοπερίοδος για την Μέγιστη Μετατόπιση

Η ιδιοπερίοδος σχεδιασμού, T_M , της σεισμικά μονωμένης κατασκευής, για την μέγιστη μετατόπιση, θα πρέπει να καθορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά οριζόντιας παραμόρφωσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την εξίσωση (9-5):

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M \min} g}} \quad (9-5)$$

9.2.4.3.5 Συνολική Μετατόπιση

Η συνολική μετακίνηση σχεδιασμού, D_{TD} , και η συνολική μέγιστη μετακίνηση, D_{TM} , των στοιχείων του συστήματος σεισμικής μόνωσης, θα πρέπει να περιλαμβάνουν και πρόσθετη μετακίνηση λόγω πραγματικής και τυχαμιακής στρέψης. Η επίδραση

της στρέψης υπολογίζεται θεωρώντας την χωρική κατανομή της ενεργού δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης, για την μετακίνηση σχεδιασμού και την δυσμενέστερη θέση εκκεντρότητας της μάζας.

Η συνολική μετακίνηση σχεδιασμού, D_{TD} , και η συνολική μέγιστη μετακίνηση, D_{TM} , των στοιχείων ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης με ομοιόμορφη κατανομή της ελαστικής δυσκαμψίας για την μετακίνηση σχεδιασμού θα πρέπει να λαμβάνονται μεγαλύτερες ή το πολύ ίσες από αυτές που προκύπτουν από τις εξισώσεις (9-6) και (9-7), αντίστοιχα.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (9-6)$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (9-7)$$

Τιμή της συνολικής μέγιστης μετακίνησης, D_{TM} , μικρότερη από εκείνη που προκύπτει από την εξίσωση (9-7) αλλά όχι μικρότερη από $1.1D_M$, επιτρέπεται εάν μετά από υπολογισμούς αποδειχθεί ότι το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι επαρκές έναντι στρέψης.

9.2.4.4 Ελάχιστες Οριζόντιες Δυνάμεις

9.2.4.4.1 Σύστημα Σεισμικής Μόνωσης και Φέροντα Στοιχεία της Υποδομής

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης, η θεμελίωση, και όλα τα άλλα φέροντα στοιχεία που βρίσκονται κάτω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης, θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να αναλαμβάνουν κατ' ελάχιστο οριζόντια σεισμική δύναμη, V_b , η οποία καθορίζεται από την εξίσωση (9-8):

$$V_b = K_{D \max} D_D \quad (9-8)$$

9.2.4.4.2 Μέλη και Φέροντα Στοιχεία της Ανωδομής

Τα στοιχεία και μέλη της κατασκευής πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να αναλαμβάνουν κατ' ελάχιστο οριζόντια σεισμική δύναμη, V_s , ίση με την τιμή της V_b , όπως ορίζεται από την εξίσωση (9-8).

9.2.4.4.3 Όρια στην Τιμή της V_s

Η τιμή της V_s δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από:

1. Την τέμνουσα βάσης για το φορτίο σχεδιασμού του ανέμου.
2. Την οριζόντια δύναμη η οποία απαιτείται για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης πολλαπλασιασμένη με ένα παράγοντα ίσο με 1.5.

C9.2.4.4.3 Όρια στην Τιμή της V_s

Παραδείγματα οριζοντίων δυνάμεων οι οποίες απαιτούνται για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης αποτελούν η δύναμη διαρροής ενός ανελαστικού συστήματος, η οριακή αντοχή ενός συστήματος συγκράτησης έναντι ανέμου το οποίο αστοχεί κατά τον σεισμό, και η στατική δύναμη τριβής ενός συστήματος ολίσθησης.

9.2.4.4.4 Κατανομή της Σεισμικής Δύναμης καθ' ύψος

Η συνολική δύναμη, V_s , θα πρέπει να κατανέμεται σε όλο το ύψος της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης, σύμφωνα με την εξίσωση (9-9):

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_n w_i h_i} \quad (9-9)$$

Σε κάθε επίπεδο x σε ύψος h_x η δύναμη F_x θα πρέπει να εφαρμόζεται στην επιφάνεια του κτιρίου η οποία αντιστοιχεί στην κατανομή του βάρους, w_x . Η απόκριση των φερόντων στοιχείων προκύπτει από τις δυνάμεις F_x εφαρμοζόμενες στα αντίστοιχα επίπεδα πάνω από την βάση.

9.2.4.5 Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης

9.2.4.5.1 Σεισμική Διέγερση

Το φάσμα του σεισμού σχεδιασμού θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής μετατόπισης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης και των οριζοντίων δυνάμεων και μετακινήσεων του μονωμένου κτιρίου. Το φάσμα του σεισμού BSE-2 θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής μέγιστης μετακίνησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

9.2.4.5.2 Απόσβεση Ιδιομορφών

Η ανάλυση φάσματος απόκρισης πρέπει να εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας βαθμό απόσβεσης των μονωμένων ιδιομορφών ίσο με τον ενεργό βαθμό απόσβεσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης και όχι μεγαλύτερο από 30%. Η τιμή της απόσβεσης στις υψηλότερες ιδιομορφές θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τον τύπο του υλικού και το επίπεδο έντασης της ανωδομής.

9.2.4.5.3 Χωρική Επαλληλία της Σεισμικής Διέγερσης

Η φασματική ανάλυση η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της συνολικής μετακίνησης σχεδιασμού και της συνολικής μέγιστης μετακίνησης, θα πρέπει να λαμβάνει ταυτόχρονη διέγερση του μοντέλου κατά 100% στην πιο κρίσιμη διεύθυνση της εδαφικής διέγερσης, και όχι λιγότερο από 30% της εδαφικής κίνησης κατά τον ορθογώνιο άξονα. Η μέγιστη μετακίνηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να υπολογίζεται ως το διανυσματικό άθροισμα των δύο ορθογώνιων μετακινήσεων.

9.2.4.5.4 Αναλογική Τροποποίηση των Αποτελεσμάτων (scaling)

Αν η συνολική μετακίνηση σχεδιασμού όπως προσδιορίζεται από ανάλυση φάσματος απόκρισης προκύπτει ότι είναι μικρότερη από την τιμή D_{TD} , η οποία ορίζεται από την εξίσωση (9-6), ή αν η συνολική μέγιστη μετακίνηση όπως προσδιορίζεται από ανάλυση φάσματος απόκρισης προκύπτει ότι είναι μικρότερη από την τιμή D_{TM} , η οποία ορίζεται από την εξίσωση (9-7), τότε όλες οι παράμετροι απόκρισης συμπεριλαμβανομένων και των δράσεων και παραμορφώσεων, θα πρέπει να τροποποιούνται αναλογικά στην τιμή της D_{TD} ή D_{TM} , ανάλογα με το πια είναι μεγαλύτερη και χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό.

9.2.4.6 Δυνάμεις και Μετατοπίσεις Σχεδιασμού

Τα στοιχεία του κτηρίου θα πρέπει να σχεδιάζονται για δυνάμεις και μετατοπίσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις γραμμικές μεθόδους χρησιμοποιώντας τα κριτήρια αποδοχής της παραγράφου 3.4.2.2, εκτός από τα στοιχεία τα οποία ελέγχονται από τις παραμορφώσεις (deformation-controlled components and elements) τα οποία θα πρέπει να σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας συντελεστές m ίσους ή μικρότερους από 1.5.

9.2.5 Μη γραμμικές Μέθοδοι Ανάλυσης

Τα σεισμικά μονωμένα κτήρια τα οποία μελετώνται σύμφωνα με τις μη γραμμικές μεθόδους θα πρέπει να προσομοιώνονται μέσω τρισδιάστατων προσομοιωμάτων τα οποία λαμβάνουν υπόψη τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του συστήματος σεισμικής μόνωσης και της ανωδομής.

9.2.5.1 Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση

9.2.5.1.1 Γενικά

Η μη γραμμική στατική ανάλυση (NSP) για τις σεισμικά μονωμένες κατασκευές θα πρέπει να βασίζεται στα κριτήρια της παραγράφου 3.3.3, εκτός από την τιμή στόχο για την μετατόπιση και την κατανομή των οριζόντιων δυνάμεων που θα πρέπει να βασίζονται στα κριτήρια των παραγράφων 9.2.5.1.2 και 9.2.5.1.3 αντίστοιχα.

9.2.5.1.2 Οριακή Επιδιωκόμενη Τιμή για την Μετατόπιση

Σε κάθε κύρια διεύθυνση, το προσομοίωμα του κτιρίου θα πρέπει να υποβάλλεται στην οριακή επιδιωκόμενη τιμή της μετατόπισης για τον Σεισμό Σχεδιασμού, D'_D , και στην οριακή επιδιωκόμενη τιμή της μετατόπισης για τον σεισμό BSE-2, D'_M , όπως ορίζονται από τις εξισώσεις (9-10) και (9-11):

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_e}{T_D}\right)^2}} \quad (9-10)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_e}{T_M}\right)^2}} \quad (9-11)$$

όπου T_e είναι η ενεργός περίοδος της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης πακτωμένης στην βάση όπως ορίζεται από την εξίσωση (3-14). Οι τιμές στόχος των μετατοπίσεων, D'_D και D'_M , θα πρέπει να εκτιμώνται σε ένα κόμβο ελέγχου ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο μάζας του πρώτου ορόφου πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης.

9.2.5.1.3 Κατανομή Οριζόντιων Δυνάμεων

Η κατανομή των οριζόντιων δυνάμεων θα πρέπει να είναι ανάλογη της κατανομής του γινομένου της μάζας του κτηρίου και του παραμορφωμένου σχήματος της μονωμένης ιδιομορφής για την μετατόπιση σχεδιασμού.

9.2.5.2 Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση

9.2.5.2.1 Γενικά

Η μη γραμμική δυναμική μέθοδος (NDP) για τις σεισμικά μονωμένες κατασκευές θα πρέπει να βασίζεται στις απαιτήσεις της παραγράφου 3.3.4 για τις μη γραμμικές μεθόδους, εκτός του ότι η αναλογική τροποποίηση (scaling) των αποτελεσμάτων θα πρέπει να βασίζεται στα κριτήρια που δίνονται στις επόμενες παραγράφους.

9.2.5.2.2 Αναλογική Τροποποίηση των Αποτελεσμάτων (scaling)

Αν η μετατόπιση σχεδιασμού η οποία προσδιορίζεται από την ανάλυση χρονοιστοριών είναι μικρότερη από την τιμή D_D' όπως ορίζεται από την εξίσωση (9-10), ή αν η μέγιστη μετατόπιση η οποία προσδιορίζεται από την ανάλυση φάσματος απόκρισης βρίσκεται μικρότερη από την τιμή D_M' όπως ορίζεται από την εξίσωση (9-11), τότε όλοι οι παράμετροι της απόκρισης, συμπεριλαμβανομένων και των δράσεων και παραμορφώσεων, θα πρέπει να αυξάνονται αναλογικά στην τιμή της D_D' ή D_M' , ανάλογα με το πια είναι μεγαλύτερη και χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό.

9.2.5.3 Δυνάμεις και Μετατοπίσεις Σχεδιασμού

Τα μέλη του κτιρίου θα πρέπει να σχεδιάζονται για δυνάμεις και μετατοπίσεις οι οποίες εκτιμώνται από μη γραμμικές μεθόδους χρησιμοποιώντας τα κριτήρια αποδοχής της παραγράφου 3.4.3.2.

9.2.6 Μη Φέροντα Μέλη

9.2.6.1 Γενικά

Τα μόνιμα μη φέροντα μέλη και οι προσαρτήσεις σε αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται να αναλαμβάνουν σεισμικές δυνάμεις και μετατοπίσεις η οποίες δίνονται σε αυτή την παράγραφο και στο Κεφάλαιο 11.

9.2.6.2 Δυνάμεις και Μετατοπίσεις

9.2.6.2.1 Στοιχεία και Μέλη κατά το Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης ή πάνω από το Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης

Τα μη φέροντα μέλη, ή τα μέρη τους, τα οποία βρίσκονται κατά ή πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αναλαμβάνουν μια συνολική οριζόντια σεισμική δύναμη ίση με την μέγιστη δυναμική απόκριση του εξεταζόμενου μέλους.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Επιτρέπεται ο σχεδιασμός των μελών των σεισμικά μονωμένων κατασκευών και των μη φερόντων μελών, ή των μερών τους, ώστε να αναλαμβάνουν την ολική οριζόντια σεισμική δύναμη όπως ορίζεται για τα συμβατικά πακτωμένα στην βάση κτήρια στο Κεφάλαιο 11.

9.2.6.2.2 Στοιχεία και Μέλη τα οποία Τέμνονται στο Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης

Τα μη φέροντα μέλη, ή τα μέρη τους, τα οποία τέμνονται στο επίπεδο της σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αναλαμβάνουν την συνολική μέγιστη οριζόντια μετατόπιση και την μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση του συστήματος σεισμικής μόνωσης για την συνολική μέγιστη οριζόντια μετατόπιση. Τα στοιχεία και μέλη τα οποία τέμνονται στο επίπεδο της σεισμικής μόνωσης

δεν θα πρέπει να εμποδίζουν την μετακίνηση του σεισμικά μονωμένου κτιρίου αλλιώς δεν επιτυγχάνονται οι Αντικειμενικοί Στόχοι Επαναχρησιμοποίησης (Rehabilitation Objectives) του κτιρίου.

9.2.6.2.3 Στοιχεία και Μέλη κάτω από το Επίπεδο της Σεισμικής Μόνωσης

Τα μη φέροντα μέλη, ή τα μέρη τους, τα οποία βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κεφαλαίου 11.

9.2.7 Απαιτήσεις Λεπτομερειών Συστημάτων

9.2.7.1 Γενικά

Οι λεπτομέρειες του συστήματος σεισμικής μόνωσης και του δομικού συστήματος θα πρέπει να είναι ακολουθούν τις απαιτήσεις λεπτομερειών οι οποίες ορίζονται στις παραγράφους 9.2.7.2 και 9.2.7.3 αντίστοιχα.

9.2.7.2 Σύστημα Σεισμικής Μόνωσης

9.2.7.2.1 Περιβαλλοντικές Συνθήκες

Επιπρόσθετα με τις απαιτήσεις για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία τα οποία προέρχονται από τον άνεμο και τον σεισμό, το σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζεται λαμβάνοντας υπόψη τις δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των φαινομένων γήρανσης, τον ερπυσμό, την κόπωση, τις θερμοκρασίες λειτουργίας, και την έκθεση στην υγρασία ή επιβλαβείς ουσίες.

9.2.7.2.2 Δυνάμεις Ανέμου

Τα σεισμικά μονωμένα κτήρια θα πρέπει να αναλαμβάνουν δυνάμεις ανέμου σχεδιασμού σε όλα τα επίπεδα πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με τις εφαρμοζόμενες κανονιστικές

διατάξεις περί ανέμου. Στο επίπεδο της σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να παρέχεται ένα σύστημα συγκράτησης έναντι ανέμου έτσι ώστε η μετατόπιση του συστήματος σεισμικής μόνωσης κατά τον άνεμο να περιορίζονται σε τιμή ίση με αυτή που απαιτείται μεταξύ των ορόφων της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης.

9.2.7.2.3 Ανθεκτικότητα Έναντι Πυρκαγιάς

Ο βαθμός ανθεκτικότητας έναντι πυρκαγιάς του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να είναι σύμφωνος με τις απαιτήσεις των υποστυλωμάτων, των τοίχων ή άλλων παρόμοιων μελών του κτιρίου.

9.2.7.2.4 Οριζόντια Δύναμη Επαναφοράς

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να είναι διαμορφωμένο ώστε να παράγει είτε μια δύναμη επαναφοράς τέτοια ώστε η οριζόντια δύναμη για την συνολική μετατόπιση σχεδιασμού να είναι τουλάχιστον $0.025W$ μεγαλύτερη από την οριζόντια δύναμη για το 50% της συνολικής μετατόπισης σχεδιασμού, είτε μια οριζόντια δύναμη η οποία δεν είναι μικρότερη από $0.05W$ για όλες τις μετατοπίσεις μεγαλύτερες από το 50% της μετατόπισης σχεδιασμού.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Το σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν χρειάζεται να είναι διαμορφωμένο ώστε να παράγει δύναμη επαναφοράς, όπως απαιτείται παραπάνω, με την προϋπόθεση ότι το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι ικανό να παραμένει ευσταθές κάτω από το πλήρες κατακόρυφο φορτίο ενώ αναλαμβάνει μια συνολική μέγιστη μετατόπιση ίση ή μεγαλύτερη με 3.0 φορές την συνολική μετακίνηση σχεδιασμού ή $36 S_{XI}$ σε ίντσες ($91.44 S_{XI}$ σε cm), όπου η παράμετρος S_{XI} υπολογίζεται για τον σεισμό BSE-2.

9.2.7.2.5 Συγκράτηση Έναντι Μεγάλων Μετατοπίσεων

Επιτρέπεται η διαμόρφωση του συστήματος σεισμικής μόνωσης έτσι ώστε να περιλαμβάνει σύστημα συγκράτησης το οποίο περιορίζει την μέγιστη μετακίνηση λόγω του σεισμού BSE-2 σε τιμή μικρότερη από την συνολική μετατόπιση

σχεδιασμού επί τον λόγο της φασματικής παραμέτρου S_{XI} για τον σεισμό BSE-2 προς την φασματική παράμετρο S_{XI} για τον σεισμό σχεδιασμού, με την προϋπόθεση ότι το σεισμικά μονωμένο κτίριο έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια όταν αυτά είναι πιο αυστηρά από τις απαιτήσεις της παραγράφου 9.2.3.

1. Η απόκριση για τον σεισμό BSE-2 υπολογίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις δυναμικής ανάλυσης της παραγράφου 9.2.5, λαμβάνοντας υπόψη άμεσα τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του συστήματος σεισμικής μόνωσης και της κατασκευής πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης.
2. Η οριακή ικανότητα του συστήματος σεισμικής μόνωσης και των φερόντων στοιχείων κάτω από αυτό, θα πρέπει να ξεπερνάει τις απαιτήσεις δύναμης και μετατόπισης του σεισμού BSE-2.
3. Η κατασκευή πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης έχει ελεγχθεί για τις απαιτήσεις ευστάθειας και πλαστιμότητας του σεισμού BSE-2.
4. Το σύστημα συγκράτησης έναντι μεγάλων μετατοπίσεων δεν ενεργοποιείται για μετατόπιση μικρότερη από 0.75 φορές την συνολική μετατόπιση σχεδιασμού, εκτός και αν αποδεικνύεται μέσω ανάλυσης ότι πιο πρόωπη ενεργοποίηση δεν οδηγεί σε μη ικανοποιητική απόδοση.

9.2.7.2.6 Ευστάθεια για τα Κατακόρυφα Φορτία

Κάθε μέλος του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παραμένει ευσταθές κάτω από το πλήρες μέγιστο κατακόρυφο φορτίο $1.2Q_D + Q_L + |Q_E|$, και το ελάχιστο κατακόρυφο φορτίο, $0.8Q_D - |Q_E|$, για οριζόντια μετατόπιση ίση με την συνολική μέγιστη μετακίνηση. Το σεισμικό κατακόρυφο φορτίο σε κάθε μεμονωμένο σεισμικό μονωτήρα, Q_E , θα πρέπει να βασίζεται στην μέγιστη απόκριση του κτιρίου για τον σεισμό BSE-2.

9.2.7.2.7 Ανατροπή

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι γενικής ανατροπής της κατασκευής στο επίπεδο της σεισμικής μόνωσης δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από 1.0 για τους απαιτούμενους συνδυασμούς φόρτισης. Όλοι οι σεισμικοί συνδυασμοί και οι συνδυασμοί βαρύτητας θα πρέπει να διερευνώνται. Οι σεισμικές δυνάμεις για τους υπολογισμούς της ανατροπής θα πρέπει να βασίζονται στον BSE-2, και η κατακόρυφη δύναμη επαναφοράς θα πρέπει να βασίζεται στο βάρος του κτιρίου, W , πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης.

Τοπική ανύψωση μεμονωμένων στοιχείων και μελών επιτρέπεται, με την προϋπόθεση ότι οι συνεπαγόμενες μετακινήσεις δεν προκαλούν υπερβολική ένταση ή αστάθεια στους σεισμικούς μονωτήρες ή σε άλλα στοιχεία και μέλη του κτιρίου. Ένα σύστημα συγκράτησης έναντι τοπικής ανύψωσης μεμονωμένων στοιχείων και μελών επιτρέπεται, με την προϋπόθεση ότι το σεισμικά μονωμένο κτήριο σχεδιάζεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια όταν αυτά είναι πιο αυστηρά από τις απαιτήσεις της παραγράφου 9.2.3.

1. Η απόκριση για τον σεισμό BSE-2 υπολογίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις δυναμικής ανάλυσης της παραγράφου 9.2.5, λαμβάνοντας υπόψη άμεσα τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά του συστήματος σεισμικής μόνωσης και της κατασκευής πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης.
2. Η οριακή ικανότητα του συστήματος συγκράτησης έναντι ανύψωσης ξεπερνάει τις απαιτήσεις δύναμης και μετατόπισης του σεισμού BSE-2.
3. Το σύστημα σεισμικής μόνωσης σχεδιάζεται και αποδεικνύεται με πειραματικούς ελέγχους ότι είναι ευσταθές (παράγραφος 9.2.9.2.4) για τα φορτία του σεισμού BSE-2 τα οποία περιλαμβάνουν πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο λόγω του συστήματος συγκράτησης έναντι ανύψωσης.

9.2.7.2.8 Επιθεώρηση και Αντικατάσταση

Θα πρέπει να παρέχεται πρόσβαση για την επιθεώρηση και αντικατάσταση για όλα τα μέλη και στοιχεία του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

9.2.7.2.9 Έλεγχος Ποιότητας Κατασκευής

Ένα πρόγραμμα ελέγχου της ποιότητας κατασκευής των σεισμικών μονωτήρων πρέπει να τίθεται από τον μηχανικό υπεύθυνο για τον δομικό σχεδιασμό.

9.2.7.3 Δομικό Σύστημα

9.2.7.3.1 Οριζόντια Κατανομή της Δύναμης

Ένα οριζόντιο διάφραγμα ή άλλα φέροντα μέλη και στοιχεία θα πρέπει να παρέχουν συνέχεια πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης. Το διάφραγμα ή τα άλλα φέροντα μέλη και στοιχεία θα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή και πλαστιμότητα έτσι ώστε να μεταδίδουν δυνάμεις (λόγω μη ομοιόμορφης εδαφικής κίνησης), υπολογισμένες σύμφωνα με αυτή την παράγραφο, από το ένα μέρος του κτιρίου σε κάποιο άλλο, και να έχουν επαρκή δυσκαμψία έτσι ώστε να προκαλούν άκαμπτη διαφραγματική απόκριση πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης.

9.2.7.3.2 Διαχωρισμός Μεταξύ Κτιρίων - Αρμοί

Ο διαχωρισμός μεταξύ του μονωμένου κτηρίου και των περιβαλλόντων τοίχων αντιστήριξης ή άλλων σταθερών εμποδίων δεν θα πρέπει να έχει απόσταση μικρότερη από την συνολική μετατόπιση σχεδιασμού.

9.2.8 Επιθεώρηση του Σχεδιασμού

9.2.8.1 Γενικά

Θα πρέπει να πραγματοποιείται επιθεώρηση του σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης και των σχετικών προγραμμάτων ελέγχων από μια ανεξάρτητη ομάδα μηχανικών, η οποία περιλαμβάνει

άτομα με εμπειρία στις μεθόδους σεισμικής ανάλυσης και την θεωρία και τις εφαρμογές της σεισμικής μόνωσης.

9.2.8.2 Σύστημα Σεισμικής Μόνωσης

Η επιθεώρηση του σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Συγκεκριμένα σεισμικά κριτήρια για την θέση του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων φασμάτων και χρονιστοριών εδαφικής κίνησης για την συγκεκριμένη θέση, και άλλων κριτηρίων σχεδιασμού τα οποία αναπτύχθηκαν για την συγκεκριμένη εφαρμογή.
2. Προκαταρκτικό σχεδιασμό ο οποίος περιλαμβάνει προσδιορισμό της συνολικής μετατόπισης σχεδιασμού και της συνολικής μέγιστης μετατόπισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης, και το επίπεδο της οριζόντιας δύναμης σχεδιασμού.
3. Έλεγχο των πρότυπων σεισμικών μονωτήρων σύμφωνα με την παράγραφο 9.2.9.
4. Οριστικό σχεδιασμό του συστήματος σεισμικής μόνωσης και τις σχετικές αναλύσεις.
5. Ποιοτικό έλεγχο του συστήματος σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την παράγραφο 2.2.7.2.9.

9.2.9 Έλεγχος Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης και Ιδιότητες Σχεδιασμού

9.2.9.1 Γενικά

Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης και οι τιμές απόσβεσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και τον σχεδιασμό των σεισμικά μονωμένων κατασκευών θα πρέπει να βασίζονται στους ακόλουθους ελέγχους ενός επιλεγμένου δείγματος των μονωτήρων πριν από την κατασκευή.

Τα στοιχεία του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία θα ελεγχθούν θα πρέπει να περιλαμβάνουν σεισμικούς μονωτήρες, μέλη του συστήματος συγκράτησης έναντι ανέμου και πρόσθετους μηχανισμούς κατανάλωσης ενέργειας αν αυτά τα στοιχεία και οι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό.

Οι έλεγχοι οι οποίοι ορίζονται σε αυτή την παράγραφο προσδιορίζουν τις ιδιότητες σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης, και δεν θα πρέπει να θεωρούνται ότι ικανοποιούν τις απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου της παραγράφου 9.2.7.2.9.

9.2.9.2 Έλεγχος Προτύπων

9.2.9.2.1 Γενικά

Έλεγχοι προτύπων θα πρέπει να εκτελούνται ξεχωριστά σε δύο αντιπροσωπευτικά δείγματα πραγματικών διαστάσεων από κάθε τύπο και μέγεθος των μονωτήρων του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Τα δείγματα θα πρέπει να περιλαμβάνουν και στοιχεία του συστήματος συγκράτησης έναντι ανέμου καθώς και μεμονωμένους μονωτήρες, εάν τέτοια στοιχεία χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό. Οι πρόσθετοι μηχανισμοί κατανάλωσης ενέργειας θα πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με την παράγραφο 9.3.8. Τα δείγματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτές τις δοκιμές, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην

κατασκευή, εκτός αν αυτό εγκριθεί από τον μηχανικό ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον δομικό σχεδιασμό.

9.2.9.2.2 Καταγραφή

Για κάθε κύκλο της δοκιμής, η υστερητική συμπεριφορά δύναμης μετατόπισης των δειγμάτων θα πρέπει να καταγράφεται.

9.2.9.2.3 Σειρά Δοκιμών και Κύκλοι Φόρτισης

Η ακόλουθη σειρά δοκιμών θα πρέπει να εκτελείται για τον συγκεκριμένο αριθμό κύκλων φόρτισης και για κατακόρυφο φορτίο ίσο με τον μέσο όρο του $Q_D + 0.5Q_L$ σε όλους τους μονωτήρες ενός συγκεκριμένου τύπου και μεγέθους:

1. Είκοσι πλήρεις κύκλοι φόρτισης για οριζόντια δύναμη ίση με την δύναμη σχεδιασμού λόγω ανέμου.
2. Τρεις πλήρεις κύκλοι φόρτισης για κάθε μία από τις ακόλουθες μετακινήσεις: $0.25D_D$, $0.50D_D$, $1.0D_D$ και $1.0D_M$.
3. Τρεις πλήρεις κύκλοι για την μέγιστη συνολική μετακίνηση, $1.0D_{TM}$.
4. $30S_{XI}/S_{XS}B_{DI}$, αλλά όχι λιγότεροι από 10 πλήρεις κύκλοι φόρτισης για την μετακίνηση σχεδιασμού, $1.0D_D$. Οι τιμές S_{XI} και S_{XS} θα πρέπει να εκτιμώνται για τον σεισμό σχεδιασμού.

9.2.9.2.4 Μονωτήρες οι οποίοι Φέρουν και Κατακόρυφα Φορτία

Αν ένας μονωτήρας φέρει και κατακόρυφα φορτία, τότε το στοιχείο 2 της σειράς ανακυκλούμενων δοκιμών της παραγράφου 9.2.9.2.3 θα πρέπει να πραγματοποιηθεί για δύο επιπλέον περιπτώσεις κατακόρυφου φορτίου:

1. Για κατακόρυφο φορτίο ίσο με: $1.2Q_D + 0.5Q_L + |Q_E|$

2. Για κατακόρυφο φορτίο ίσο με: $0.8Q_D - |Q_E|$

Όπου οι δείκτες D , L , και E αναφέρονται στα μόνιμα (νεκρά), κινητά, και σεισμικά φορτία, αντίστοιχα. Τα Q_D και Q_L ορίζονται στην παράγραφο 3.2.8. Το κατακόρυφο φορτίο ελέγχου σε κάθε μεμονωμένο μονωτήρα θα πρέπει να περιλαμβάνει το επιπρόσθετο φορτίο Q_E λόγω τις σεισμικής ανατροπής, και θα πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από την μέγιστη κατακόρυφη δύναμη του σεισμού η οποία αντιστοιχεί στην μετατόπιση του ελέγχου. Σε αυτούς τους ελέγχους το συνδυασμένο κατακόρυφο φορτίο θα πρέπει να λαμβάνεται ίσο με την τυπική ή την μέση κατακόρυφη προς τα κάτω δύναμη σε όλους τους μονωτήρες κοινού τύπου και μεγέθους.

9.2.9.2.5 Μονωτήρες με Ιδιότητες Εξαρτώμενες από τον Ρυθμό Επιβολής της Φόρτισης

Αν οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης των μονωτήρων εξαρτώνται από τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης, τότε κάθε σειρά ελέγχων οι οποίοι αναφέρθηκαν στις παραγράφους 9.2.9.2.3 και 9.2.9.2.4 θα πρέπει να εκτελείται δυναμικά για συχνότητα ίση με το αντίστροφο της ενεργού περιόδου T_D , της σεισμικά μονωμένης κατασκευής.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Αν χρησιμοποιούνται δείγματα υπό κλίμακα για την μέτρηση των ιδιοτήτων των μονωτήρων οι οποίες εξαρτώνται από τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης, τότε τα δείγματα υπό κλίμακα θα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου και υλικού και να είναι κατασκευασμένα με την ίδια διαδικασία και ποιότητα όπως οι πρότυποι μονωτήρες πραγματικού μεγέθους. Θα πρέπει να ελέγχονται στην συχνότητα η οποία αντιπροσωπεύει τους ρυθμούς φόρτισης των πρότυπων μονωτήρων πραγματικών διαστάσεων.

Οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης ενός μονωτήρα θα πρέπει να θεωρούνται εξαρτημένες από τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης αν εμφανίζεται απόκλιση μεγαλύτερη από $\pm 10\%$ στην ενεργό δυσκαμψία για την μετατόπιση σχεδιασμού μεταξύ των δύο ακόλουθων περιπτώσεων: (1) όταν ελέγχονται για μια συχνότητα ίση με το αντίστροφο της ενεργού ιδιοπεριόδου της σεισμικά μονωμένης κατασκευής και

(2) όταν ελέγχονται για κάθε συχνότητα στο εύρος από 0.1 έως 2.0 φορές του αντιστρόφου της ενεργού περιόδου της σεισμικά μονωμένης κατασκευής.

9.2.9.2.6 Μονωτήρες με Ιδιότητες Εξαρτώμενες από την Αλληλεπίδραση των Οριζόντιων Διαξονικών Φορτίων

Αν οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης των μονωτήρων εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση των οριζόντιων διαξονικών φορτίων, τότε οι έλεγχοι οι οποίοι αναφέρθηκαν στις παραγράφους 9.2.9.2.3 και 9.2.9.2.5 θα πρέπει να επεκταθούν έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνουν διαξονικά φορτία για τα εξής πολλαπλάσια της συνολικής μετακίνησης σχεδιασμού κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις: 0.25 και 1.0, 0.5 και 1.0, 0.75 και 1.0, και 1.0 και 1.0.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Αν χρησιμοποιούνται δείγματα υπό κλίμακα για την μέτρηση των ιδιοτήτων των μονωτήρων εξαρτώμενων από την αλληλεπίδραση της διαξονικής φόρτισης, τότε τα δείγματα υπό κλίμακα θα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου και υλικού και να είναι κατασκευασμένα με την ίδια διαδικασία και ποιότητα όπως οι πρότυποι μονωτήρες πραγματικού μεγέθους.

Οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης ενός μονωτήρα θα πρέπει να θεωρούνται εξαρτημένες από την αλληλεπίδραση διαξονικής φόρτισης, αν οι ιδιότητες δύναμης-μετατόπισης κατά την διαξονική και την μονοαξονική φόρτιση εμφανίζουν απόκλιση μεγαλύτερη από $\pm 15\%$ στην ενεργό δυσκαμψία για την μετατόπιση σχεδιασμού.

9.2.9.2.7 Μέγιστο και Ελάχιστο Κατακόρυφο Φορτίο

Οι μονωτήρες οι οποίοι φέρουν και κατακόρυφα φορτία θα πρέπει να ελέγχονται στατιστικά για την μέγιστη και ελάχιστη τιμή κατακόρυφου φορτίου, για την μέγιστη συνολική μετακίνηση. Στους ελέγχους αυτούς για κάθε σεισμικό μονωτήρα κοινού τύπου και μεγέθους, ως μέγιστη κατακόρυφη δύναμη θα πρέπει να λαμβάνεται ο συνδυασμός

κατακόρυφων φορτίων: $1.2Q_D + 1.0Q_L + |Q_E|$ και ως ελάχιστη δύναμη, ο συνδυασμός: $0.8Q_D - |Q_E|$. Το σεισμικό κατακόρυφο φορτίο σε κάθε μεμονωμένο μονωτήρα, Q_E , θα πρέπει να βασίζεται στην μέγιστη απόκριση του κτιρίου για τον σεισμό BSE-2.

9.2.9.2.8 Συστήματα Συγκράτησης Έναντι Ανέμου

Εάν αποτελεί μέρος του συστήματος σεισμικής μόνωσης ένα σύστημα συγκράτησης έναντι του ανέμου το οποίο είναι σχεδιασμένο να αστοχεί κατά την σεισμική διέγερση, τότε η οριακή αντοχή του θα πρέπει να προσδιορίζεται από ελέγχους σύμφωνα με αυτή την παράγραφο.

9.2.9.2.9 Έλεγχος Παρόμοιων Μονωτήρων

Δεν απαιτείται η εκτέλεση ελέγχων προτύπων για κάποιο σεισμικό μονωτήρα εάν αυτός συγκρινόμενος με μονωτήρα ο οποίος έχει ήδη ελεγχθεί ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια:

1. Έχει παρόμοια χαρακτηριστικά διαστάσεων.
2. Είναι του ίδιου τύπου και υλικών.
3. Είναι κατασκευασμένος με την χρήση ταυτόσημων διαδικασιών κατασκευής και ποιοτικού ελέγχου.

Η απαλλαγή από τους ελέγχους θα πρέπει να εγκριθεί από την ομάδα επιθεώρησης η οποία ορίζεται στην παράγραφο 9.2.8.

9.2.9.3 Καθορισμός των Χαρακτηριστικών Δύναμης-Μετατόπισης

Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να βασίζονται σε ανακυκλικές δοκιμές των πρότυπων μονωτήρων οι οποίες αναφέρθηκαν στην παράγραφο 9.2.9.2.3.

Όπως απαιτείται, η ενεργός δυσκαμψία ενός σεισμικού μονωτήρα, k_{eff} , θα πρέπει να υπολογίζεται σε κάθε κύκλο μετατόπισης, σύμφωνα με την εξίσωση (9-12):

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (9-12)$$

όπου F^+ και F^- είναι η θετική και αρνητική δύναμη, για την θετική και αρνητική μετατόπιση της δοκιμής, Δ^+ και Δ^- , αντίστοιχα.

Όπως απαιτείται, η ενεργός απόσβεση ενός σεισμικού μονωτήρα, β_{eff} , θα πρέπει να υπολογίζεται σε κάθε κύκλο μετατόπισης, σύμφωνα με την εξίσωση (9-13):

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \left[\frac{E_{Loop}}{k_{eff} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \right] \quad (9-13)$$

όπου η ενέργεια που καταναλώνεται σε κάθε κύκλο φόρτισης, E_{Loop} , και η ελαστική δυσκαμψία, k_{eff} , βασίζονται στις μετακινήσεις των δοκιμών, Δ^+ και Δ^- .

9.2.9.4 Επάρκεια Συστήματος

Η απόδοση των δειγμάτων των ελέγχων θα πρέπει να βεβαιώνεται ως επαρκής όταν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

1. Τα διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης όλων των ελέγχων οι οποίοι ορίζονται στην παράγραφο 9.2.9.2 εμφανίζουν αύξουσα φέρουσα ικανότητα της δύναμης.
2. Για κάθε τιμή της μετατόπισης ελέγχου όπως ορίζεται στην παράγραφο 9.2.9.2.3, στοιχείο 2, και για κάθε περίπτωση κατακόρυφου φορτίου όπως ορίζεται στην παράγραφο 9.2.9.2.3, ισχύουν τα παρακάτω κριτήρια:

- 2.1 Δεν εμφανίζεται διαφορά μεγαλύτερη από $\pm 15\%$ μεταξύ της ενεργού δυσκαμψίας κάθε ενός από τους τρεις κύκλους του ελέγχου και της μέσης τιμής της ενεργού δυσκαμψίας κάθε δείγματος.
- 2.2 Δεν εμφανίζεται διαφορά μεγαλύτερη από $\pm 15\%$ μεταξύ της μέσης τιμής της ενεργού δυσκαμψίας των δύο δειγμάτων κοινού τύπου και μεγέθους του μονωτήρα για τους απαιτούμενους τρεις κύκλους του ελέγχου.
3. Για κάθε δείγμα δεν εμφανίζεται διαφορά μεγαλύτερη από $\pm 20\%$ στην αρχική ενεργό δυσκαμψία για τους $30S_{XI}/S_{XS}B_{DI}$, αλλά όχι λιγότερους από 10, κύκλους του ελέγχου που ορίζεται στην παράγραφο 9.2.9.2.3 στοιχείο 3. Οι τιμές S_{XI} και S_{XS} θα πρέπει να εκτιμώνται για τον σεισμό σχεδιασμού.
4. Για κάθε δείγμα δεν εμφανίζεται μείωση μεγαλύτερη από 20% στην αρχική ενεργό απόσβεση για τους $30S_{XI}/S_{XS}B_{DI}$, αλλά όχι λιγότερους από 10 κύκλους του ελέγχου που ορίζεται στην παράγραφο 9.2.9.2.3 στοιχείο 4. Οι τιμές S_{XI} και S_{XS} θα πρέπει να εκτιμώνται για τον σεισμό σχεδιασμού.
5. Όλα τα δείγματα των μελών του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία φέρουν κατακόρυφα φορτία παραμένουν ευσταθή για την συνολική μέγιστη μετατόπιση και για το στατικό φορτίο το οποίο ορίζεται στην παράγραφο 9.2.9.2.6.
6. Οι τιμές της ενεργού δυσκαμψίας και της ενεργού απόσβεσης των δειγμάτων βρίσκονται μεταξύ των ορίων που καθορίζονται από τον μηχανικό υπεύθυνο για τον δομικό σχεδιασμό.

9.2.9.5 Ιδιότητες Σχεδιασμού του Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης

9.2.9.5.1 Μέγιστη και Ελάχιστη Ενεργός Δυσκαμψία

Για την μετατόπιση σχεδιασμού, η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης, K_{Dmax} και K_{Dmin} , θα πρέπει να βασίζονται στις ανακυκλικές δοκιμές της παραγράφου 9.2.9.2 και να υπολογίζονται με βάση τις εξισώσεις (9-14) και (9-15):

$$K_{Dmax} = \frac{\sum |F_D^+|_{max} + \sum |F_D^-|_{max}}{2D_D} \quad (9-14)$$

$$K_{Dmin} = \frac{\sum |F_D^+|_{min} + \sum |F_D^-|_{min}}{2D_D} \quad (9-15)$$

Για την μέγιστη μετατόπιση, η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης, K_{Mmax} και K_{Mmin} , θα πρέπει να βασίζονται στις ανακυκλικές δοκιμές της παραγράφου 9.2.9.2 και να υπολογίζονται με βάση τις εξισώσεις (9-16) και (9-17):

$$K_{Mmax} = \frac{\sum |F_M^+|_{max} + \sum |F_M^-|_{max}}{2D_M} \quad (9-16)$$

$$K_{Mmin} = \frac{\sum |F_M^+|_{min} + \sum |F_M^-|_{min}}{2D_M} \quad (9-17)$$

9.2.9.5.2 Ενεργός Απόσβεση

Για την μετακίνηση σχεδιασμού, η ενεργός απόσβεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης, β_D , θα πρέπει να βασίζεται στις ανακυκλικές δοκιμές

της παραγράφου 9.2.9.2 και να υπολογίζεται με βάση την εξίσωση (9-18):

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_D}{K_{D\max} D_D^2} \right] \quad (9-18)$$

Στην εξίσωση (9-18), η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια που απορροφάται από το σύστημα σεισμικής μόνωσης ανά κύκλο της μετατόπισης, $\sum E_D$, θα πρέπει να λαμβάνεται ως το άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε κύκλο, σε όλους τους μονωτήρες, για τις μετατοπίσεις των ελέγχων, Δ^+ και Δ^- , οι οποίες είναι ίσες με την μετατόπιση σχεδιασμού, D_D .

Για την μέγιστη μετακίνηση, η ενεργός απόσβεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης, β_M , θα πρέπει να

βασίζεται στις ανακυκλικές δοκιμές της παραγράφου 9.2.9.2 και να υπολογίζεται με βάση την εξίσωση (9-19):

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_D}{K_{M\max} D_M^2} \right] \quad (9-19)$$

Στην εξίσωση (9-18), η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια που απορροφάται από το σύστημα σεισμικής μόνωσης ανά κύκλο της μετατόπισης, $\sum E_D$, θα πρέπει να λαμβάνεται ως το άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε κύκλο, σε όλους τους μονωτήρες, για τις μετατοπίσεις των ελέγχων, Δ^+ και Δ^- , οι οποίες είναι ίσες με την μέγιστη μετατόπιση, D_M .

10.3 Κανονισμός AASHTO 91

Ακολουθεί μετάφραση των κυριότερων διατάξεων του αμερικάνικου κανονισμού AASHTO σχετικά με τον σχεδιασμό συστημάτων σεισμικής μόνωσης γεφυρών. Η αρίθμηση των παραγράφων, σχημάτων και εξισώσεων ακολουθεί την αρίθμηση των διατάξεων του κανονισμού ‘AASHTO - Guide Specifications for Seismic Isolation Design – June 1991’. Ότι αναφορά γίνεται σε παραγράφους και κεφάλαια αντιστοιχεί στα αντίστοιχα μέρη του κανονισμού AASHTO.

Περιεχόμενα

1.	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	195
2.	ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ.....	196
3.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ	197
4.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	197
5.	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΘΕΣΗΣ ΈΡΓΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΣΗΣ.....	198
6.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (RESPONSE MODIFICATION FACTOR R)	198
7.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	198
7.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΙΑΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΗΣ	198
7.1.1	Στατικά Ισοδύναμη Σεισμική Δύναμη και Σεισμικός Συντελεστής (C_s)	198
7.1.1	Μέθοδος Ανάλυσης μίας Ιδιομορφής.....	200
7.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	200
7.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ	200
8.	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΑΙ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΦΟΡΤΙΑ	201
9.	ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Α.....	201
10.	ΔΥΝΑΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Β	201
11.	ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ C ΚΑΙ D..	202
11.	ΛΟΙΠΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	202
12.1	ΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	202
12.2	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	202
12.3	ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	202
13.	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΈΛΕΓΧΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	203
13.1	ΓΕΝΙΚΑ	203

13.2	ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ	203
13.2	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΗΣ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ.....	204
13.3.1	Επάρκεια Συστήματος.....	204
13.3.2	Ιδιότητες Σχεδιασμού του Συστήματος Μόνωσης.....	204
14.	ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ.....	205
14.1	ΓΕΝΙΚΑ	205
14.2	ΟΡΙΣΜΟΙ.....	205
14.3	ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ	206
14.3.1	Διατμητική Παραμόρφωση (ϵ_{sc}) λόγω της Συμπίεσης από τα Κατακόρυφα Φορτία.....	206
14.3.2	Διατμητική Παραμόρφωση (ϵ_{sh}) λόγω Επιβεβλημένων Οριζόντιων Μετακινήσεων.....	206
14.3.3	Διατμητική Παραμόρφωση (ϵ_{eq}) λόγω Επιβεβλημένων Σεισμικών Οριζόντιων Μετακινήσεων.....	207
14.3.4	Διατμητική Παραμόρφωση (ϵ_{er}) λόγω Επιβεβλημένης Στροφής.....	207
14.4	ΌΡΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ	207
14.5	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΛΕΓΧΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	207
14.6	ΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	207
14.7	ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΈΝΑΝΤΙ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ.....	207
15.	ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	208
15.1	ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ.....	208
15.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	208
15.2	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΟΝΩΣΗΣ	208
15.3.1	Συμπίεση.....	208
15.3.2	Συνδυασμένη Συμπίεση και Διάτμηση.....	208

Προδιαγραφές για τον Σχεδιασμό Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης

1. Δυνατότητες Εφαρμογής

Το έγγραφο αυτό καλύπτει τις προδιαγραφές για τον σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης γεφυρών αυτοκινητοδρόμων και είναι συμπληρωματικό του *AASHTO Standard Specifications for Seismic Design of Highway Bridges* (το οποίο εμφανίζεται ως το συμπλήρωμα Α του *AASHTO Interim Specifications-Bridges-1991*). Παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις απαιτήσεις για την σεισμική μόνωση.

Οι διατάξεις οι οποίες παρουσιάζονται σχετικά με τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές σεισμικής μόνωσης είναι συμπληρωματικές των παραγράφων 14 και 25 του *AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges*. Οι διατάξεις αυτές είναι αναγκαίες για την παραγωγή μιας λογικής διαδικασίας σχεδιασμού για συστήματα σεισμικής μόνωσης βασισμένα σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα η οποία περιλαμβάνει τις προερχόμενες από την σεισμική απόκριση μετατοπίσεις.

2. Ορισμοί και Σύμβολα

Οι ορισμοί και τα σύμβολα του Κεφαλαίου 2 του *AASHTO Standard Specifications for Seismic Design of Highway Bridges* καθώς και τα ακόλουθα ακολουθούνται από τις διατάξεις αυτού του εγγράφου:

- **ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ** είναι η ελάχιστη οριζόντια σεισμική μετατόπιση στο κέντρο δυσκαμψίας, η οποία απαιτείται για τον σχεδιασμό του Συστήματος Μόνωσης.
- **ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ** είναι η τιμή της ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης η οποία αντιστοιχεί στην κατανάλωση ενέργειας κατά την ανακυκλική απόκριση του Συστήματος Μόνωσης στην μετατόπιση σχεδιασμού.
- **ΕΝΕΡΓΟΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ** είναι η τιμή της οριζόντιας δύναμης του Συστήματος, ή ενός μέλους του, διαιρεμένη με την αντίστοιχη οριζόντια μετατόπιση.
- **ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ** είναι το σύνολο των φερόντων στοιχείων τα οποία παρέχουν συγκράτηση της σεισμικά μονωμένης κατασκευής για τα μη σεισμικά οριζόντια φορτία. Το Ελαστικό Σύστημα Συγκράτησης μπορεί είτε να αποτελεί μέρος των Σεισμικών Μονωτήρων είτε να είναι ένας ξεχωριστός μηχανισμός.
- **ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΩΣΗΣ** είναι το σύνολο των φερόντων στοιχείων το οποίο περιλαμβάνει όλους τους μεμονωμένους Σεισμικούς Μονωτήρες, όλα τα φέροντα στοιχεία τα οποία μεταφέρουν δύναμη μεταξύ στοιχείων του Συστήματος Μόνωσης, και όλες τις συνδέσεις σε άλλα φέροντα στοιχεία. Το Σύστημα Μόνωσης περιλαμβάνει ακόμα το Ελαστικό Σύστημα Συγκράτησης αν αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για να

ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτού του εγγράφου.

- **ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ** είναι η μέγιστη οριζόντια σεισμική μετατόπιση ενός μονωτήρα η οποία προκύπτει από την ανάλυση και απαιτείται για τον σχεδιασμό του Συστήματος Μόνωσης.

B = Αριθμητικός συντελεστής ο οποίος σχετίζεται με την Ενεργό Απόσβεση του Συστήματος Σεισμικής μόνωσης όπως ορίζεται στον ακόλουθο Πίνακα 2.

d_i = Μετατόπιση Σχεδιασμού, σε ίντσες, στο κέντρο δυσκαμψίας του Συστήματος Μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση.

D_T = Ολική Μετατόπιση Σχεδιασμού, σε ίντσες, του Συστήματος Μόνωσης – περιλαμβάνει την μεταφορική μετατόπιση στο κέντρο δυσκαμψίας, d_i , και την συνιστώσα της στρεπτικής μετατόπισης στην εξεταζόμενη διεύθυνση.

F = Στατικά ισοδύναμη σεισμική δύναμη.

F_A = Δύναμη σχεδιασμού για τις συνδέσεις για γέφυρες της κατηγορίας σεισμικής απόδοσης A.

F_n = Μέγιστη αρνητική δύναμη σε ένα Σεισμικό Μονωτήρα κατά την διάρκεια ενός κύκλου του ελέγχου των προτύπων για εύρος μετατοπίσεων Δ_n .

$F_{n,max}$ = Μέγιστη αρνητική δύναμη σε ένα Σεισμικό Μονωτήρα για όλους τους κύκλους του ελέγχου των

- προτύπων για κοινό εύρος μετατοπίσεων Δ_n .
- $F_{n,min}$ = Ελάχιστη αρνητική δύναμη σε ένα Σεισμικό Μονωτήρα για όλους τους κύκλους του ελέγχου των προτύπων για κοινό εύρος μετατοπίσεων Δ_n .
- F_p = Μέγιστη θετική δύναμη σε ένα Σεισμικό Μονωτήρα κατά την διάρκεια ενός κύκλου του ελέγχου των προτύπων για εύρος μετατοπίσεων Δ_p .
- $F_{p,max}$ = Μέγιστη θετική δύναμη σε ένα Σεισμικό Μονωτήρα για όλους τους κύκλους του ελέγχου των προτύπων για κοινό εύρος μετατοπίσεων Δ_p .
- $F_{p,min}$ = Ελάχιστη θετική δύναμη σε ένα Σεισμικό Μονωτήρα για όλους τους κύκλους του ελέγχου των προτύπων για κοινό εύρος μετατοπίσεων Δ_p .
- g = Επιτάχυνση της βαρύτητας.
- k_{eff} = Ενεργός Δυσκαμψία ενός Σεισμικού Μονωτήρα η οποία προσδιορίζεται από τον έλεγχο των προτύπων.
- k_{max} = Μέγιστη Ενεργός Δυσκαμψία του Συστήματος Μόνωσης για την Μετατόπιση Σχεδιασμού για στην εξεταζόμενη διεύθυνση.
- k_{min} = Μέγιστη Ενεργός Δυσκαμψία του Συστήματος Μόνωσης για την Μετατόπιση Σχεδιασμού στην εξεταζόμενη διεύθυνση.
- S_i = Αριθμητικός Συντελεστής για τον εδαφικό σχηματισμό της θέσης όπως ορίζεται στον παρακάτω Πίνακα 1 για τις σεισμικά μονωμένες κατασκευές.
- T_e = Περίοδος της σεισμικά μονωμένης κατασκευής, σε δευτερόλεπτα, στην εξεταζόμενη διεύθυνση.
- W = Το συνολικό σεισμικό μόνιμο φορτίο. Για τον σχεδιασμό του Συστήματος Μόνωσης, W είναι το συνολικό σεισμικό φορτίο βάρους της κατασκευής πάνω από το επίπεδο της σεισμικής μόνωσης.
- Δ_p = Μέγιστη Θετική μετατόπιση ενός σεισμικού μονωτήρα κατά την διάρκεια κάθε κύκλου του ελέγχου των προτύπων.
- Δ_n = Μέγιστη Αρνητική μετατόπιση ενός σεισμικού μονωτήρα κατά την διάρκεια κάθε κύκλου του ελέγχου των προτύπων.
- β = Ισοδύναμος βαθμός ιξώδους απόσβεσης του Συστήματος Μόνωσης.

3. Συντελεστής Επιτάχυνσης

Ο ίδιος συντελεστής επιτάχυνσης A , με τον συμβατικό σχεδιασμό προδιαγράφεται και για τον σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης. Αυτός ο συντελεστής δίνεται για κάθε Πολιτεία στο Σχήμα 3 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*. Ωστόσο η τιμή του A δεν θα πρέπει να λαμβάνεται μικρότερη από 1.0.

4. Κατηγορίες Σεισμικής Απόδοσης

Οι Σεισμικές Κατηγορίες Απόδοσης είναι οι ίδιες με τον συμβατικό σχεδιασμό και δίνονται στον Πίνακα 1 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*. Η Κατηγορία Σεισμικής Απόδοσης (Seismic Performance Category – SPC) περιγράφει την μέθοδο ανάλυσης και τις ελάχιστες απαιτήσεις σχεδιασμού.

5. Επιδράσεις Θέσης Έργου και Συντελεστής Θέσης

Ο συντελεστής θέσης για τον σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης, S_i , ο οποίος αντιστοιχεί στις επιδράσεις των συνθηκών της θέσης του έργου στον συντελεστή ελαστικής απόκρισης δίνεται στον Πίνακα 1. Οι τύποι εδαφικού σχηματισμού είναι οι ίδιοι με αυτούς που περιγράφονται στην παράγραφο 3.5 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*.

Πίνακας 1.

Συντελεστής Θέσης για την Σεισμική Μόνωση (S_i)

Τύπος Εδαφικού Σχηματισμού		
I	II	III
1	1.5	2

6. Συντελεστής Τροποποίησης Απόκρισης (Response Modification factor R)

Η τροποποίηση της απόκρισης για κάθε ανωδομή θα πρέπει να είναι αυτή που δίνεται στον Πίνακα 3 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*.

Εξαίρεση: Ο συντελεστής τροποποίησης της απόκρισης μπορεί να είναι μικρότερος από την τιμή η οποία δίνεται στον Πίνακα 3 αν μικρότερη απαίτηση πλαστιμότητας για την ανωδομή είναι επιθυμητή. Για ουσιαστικά ελαστική συμπεριφορά, συνίσταται συντελεστής R ίσος με 1.5.

7. Μέθοδοι Ανάλυσης

Ο Πίνακας 4 του AASHTO *Standard Seismic Specifications* θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον ορισμό των μεθόδων ανάλυσης. Για τον σκοπό αυτό, η Μέθοδος 1 και η Μέθοδος 2 ορίζονται ως εξής:

Μέθοδος 1: Μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης μιας Ιδιομορφής

Η μέθοδος φασματικής ανάλυσης μιας ιδιομορφής για μονωμένες γέφυρες περιγράφεται στην παράγραφο 7.1.

Μέθοδος 2: Μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης πολλών Ιδιομορφών

Η μέθοδος φασματικής ανάλυσης πολλών ιδιομορφών για μονωμένες γέφυρες περιγράφεται στην παράγραφο 7.1.

Εξαίρεση: Για συστήματα μόνωσης χωρίς ικανότητα επαναφοράς (βλέπε παράγραφο 12.2), μια μέθοδος ανάλυσης χρονοιστοριών (Μέθοδος 3) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται στην παράγραφο 7.3. Για τα συστήματα μόνωσης όπου η ενεργός απόσβεση ξεπερνάει το 30% της κρίσιμου, μια τρισδιάστατη μη-γραμμική ανάλυση χρονοιστοριών θα πρέπει να εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας τις καμπύλες υστέρησης του Συστήματος Μόνωσης. Αυτή η μέθοδος περιγράφεται στην παράγραφο 7.3.

7.1 Μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης μιας Ιδιομορφής

7.1.1 Στατικά Ισοδύναμη Σεισμική Δύναμη και Σεισμικός Συντελεστής (C_s)

Η στατικά ισοδύναμη σεισμική δύναμη δίνεται από την σχέση:

$$F = C_s W \quad (1)$$

όπου:

C_s = Συντελεστής ελαστικής σεισμικής απόκρισης

W = Μόνιμο φορτίο του τμήματος της κατασκευής το οποίο υποστηρίζεται από τα εφεδράνα σεισμικής μόνωσης

Ο συντελεστής ελαστικής σεισμικής απόκρισης, C_s , ο οποίος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης σεισμικής δύναμης, δίνεται από την αδιάστατη σχέση:

$$C_s = \frac{\sum k_{eff} \times d_i}{W} \quad (2)$$

όπου:

$\sum k_{eff}$ = Το άθροισμα των γραμμικών ενεργών δυσκαμψιών όλων των εφεδράνων τα οποία υποστηρίζουν το τμήμα της ανωδομής.

W = Μόνιμο φορτίο του τμήματος της κατασκευής το οποίο υποστηρίζεται από τα εφεδράνα σεισμικής μόνωσης.

d_i = Μετατόπιση των εφεδράνων μόνωσης.

Η μετατόπιση d_i (ίντσες) δίνεται από την σχέση:

$$d_i = \frac{10 A S_i T_e}{B} \quad (3)$$

όπου:

A = Ο συντελεστής επιτάχυνσης από την παράγραφο 3.

B = Ο συντελεστής απόσβεσης ο οποίος δίνεται στον Πίνακα 2.

S_i = Αδιάστατος συντελεστής θέσης για τον σχεδιασμό της μόνωσης για το δεδομένο εδαφικό σχηματισμό όπως καθορίζεται στην παράγραφο 5.

T_e = Περίοδος της δόνησης (δευτερόλεπτα) η οποία δίνεται από την σχέση:

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{W}{\sum k_{eff} g}} \quad (4)$$

όπου:

g = Η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Πίνακας 2.

Συντελεστής Θέσης για την Σεισμική Μόνωση (S_i)

Απόσβεση (% της κρίσιμου)*	≤ 2	5	10	20	30
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7

* Το ποσοστό της κρίσιμου απόσβεσης θα πρέπει να επαληθεύεται μέσω ελέγχων των χαρακτηριστικών του συστήματος σεισμικής μόνωσης όπως ορίζεται στην παράγραφο 13.3.2. Ο συντελεστής απόσβεσης θα πρέπει να υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή για επίπεδα απόσβεσης διαφορετικά από αυτά που δίνονται.

Σημειωτέο ότι για συστήματα μόνωσης όπου η ενεργός απόσβεση ξεπερνάει το 30% της κρίσιμης, μια τρισδιάστατη μη-γραμμική ανάλυση χρονοιστοριών θα πρέπει να εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας τις καμπύλες υστέρησης του συστήματος.

7.1.1 Μέθοδος Ανάλυσης μίας Ιδιομορφής

Η στατικά ισοδύναμη δύναμη η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 7.1.1, και σχετίζεται με την μετατόπιση των εφεδράνων, θα πρέπει να εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας την μέθοδο ανάλυσης μιας ιδιομορφής, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.3 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*, ανεξάρτητα κατά την διεύθυνση των δύο κάθετων αξόνων και να συνδυάζονται όπως ορίζεται στην παράγραφο 4.4 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*. Η ενεργός γραμμική δυσκαμψία των μονωτήρων η οποία χρησιμοποιείται στην ανάλυση θα πρέπει να υπολογίζεται για την μετατόπιση σχεδιασμού.

Τυπικά, οι κάθετοι άξονες είναι ο διαμήκης και ο εγκάρσιος άξονας της γέφυρας, αλλά η επιλογή τους αφήνεται ανοικτή στον μελετητή. Ως διαμήκης άξονας μιας καμπύλης γέφυρας μπορεί να λαμβάνεται η χορδή που ενώνει τα δύο ακρόβαθρα.

7.2 Ανάλυση Φασματικής Απόκρισης

Μια ισοδύναμη γραμμική ανάλυση φασματικής απόκρισης θα πρέπει να εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας τις απαιτήσεις της παραγράφου 5.4 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*, όπου το κατάλληλο φάσμα απόκρισης εδαφικής κίνησης (Σχήμα 12 του AASHTO *Standard Seismic Specifications* πολλαπλασιασμένο με την κατάλληλη τιμή Α) μπορεί να μειωθεί με τον συντελεστή απόσβεσης

Β για την ενεργό απόσβεση του συστήματος μόνωσης για όλες τις μονωμένες ιδιομορφές. Το φάσμα απόκρισης της εδαφικής κίνησης για απόσβεση 5% θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για όλες τις υπόλοιπες ιδιομορφές. Η ενεργός γραμμική δυσκαμψία των μονωτήρων θα πρέπει να αντιστοιχεί στην μετατόπιση σχεδιασμού.

Ο συνδυασμός των ορθογώνιων σεισμικών δυνάμεων θα πρέπει να γίνεται όπως καθορίζεται στην παράγραφο 4.4 του AASHTO *Standard Seismic Specifications*.

7.3 Ανάλυση Χρονοιστοριών

Για τα συστήματα μόνωσης τα οποία απαιτούν ανάλυση χρονοιστοριών οι παρακάτω απαιτήσεις θα πρέπει να ισχύουν:

- (a) Το σύστημα μόνωσης θα πρέπει να προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης των μονωτήρων τα οποία προσδιορίζονται και επαληθεύονται από ελέγχους σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παραγράφου 13.
- (b) Ζευγάρια των οριζόντιων συνιστωσών της χρονοιστορίας της εδαφικής κίνησης θα πρέπει να επιλεγούν από διαφορετικά καταγεγραμμένα σεισμικά γεγονότα. Επιτρέπονται δύο μέθοδοι τροποποίησης των χρονοιστοριών ώστε να είναι συμβατές με το κατάλληλο φάσμα απόκρισης. Πρώτον, μπορούν να τροποποιηθούν αναλογικά έτσι ώστε το φάσμα απόκρισης τους για απόσβεση 5% να μην βρίσκεται κάτω του φάσματος σχεδιασμού για απόσβεση 5% περισσότερο από 10% για το διάστημα περιόδων από 1 έως 5 δευτερόλεπτα ή περισσότερο από 20% για το διάστημα περιόδων μικρότερων από 1 δευτερόλεπτο. Δεύτερον, οι χρονοιστορίες μπορούν να τροποποιούνται αναλογικά έτσι ώστε η

τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων (SRSS) των φασμάτων απόκρισης για απόσβεση 5% των τροποποιημένων συνιστωσών να μην βρίσκεται κάτω από 1.3 φορές το φάσμα σχεδιασμού για απόσβεση 5% για το διάστημα περιόδων από 1 έως 5 δευτερόλεπτα.

- (c) Τουλάχιστον τρία κατάλληλα ζευγάρια χρονιστοριών θα πρέπει να παραχθούν και κάθε ζευγάρι θα πρέπει να εφαρμόζεται ταυτόχρονα στο μοντέλο. Η μέγιστη τιμή της παραμέτρου που ενδιαφέρει θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό.

8. Μετατοπίσεις Σχεδιασμού για τα Σεισμικά και τα Υπόλοιπα Φορτία

Οι μετατοπίσεις σχεδιασμού στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις για το ελεύθερο διάκενο θα πρέπει να λαμβάνονται ίσες με τις μέγιστες μετατοπίσεις σε κάθε διεύθυνση που προσδιορίζονται από την ανάλυση. Η Συνολική Μετατόπιση Σχεδιασμού για τις απαιτήσεις των ελέγχων της παραγράφου 13 θα πρέπει να είναι το μέγιστο από το 50% της διατμητικής παραμόρφωσης του ελαστικού σε ένα σύστημα ελαστομεταλλικών εφεδράνων ή της μέγιστης μετατόπισης η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό φορτίων ο οποίος ορίζεται στην παράγραφο 4.4 του *AASHTO Standard Seismic Specifications*.

Οι διατμητικές παραμορφώσεις στους σεισμικούς μονωτήρες ως αποτέλεσμα των συνδυασμών που περιλαμβάνουν τα W, WL, LF και CF όπως ορίζονται στο *AASHTO Standard Seismic Specifications* θα πρέπει να υπολογίζονται και να παρέχεται επαρκές ελεύθερο διάκενο.

9. Δυνάμεις Σχεδιασμού για Κατηγορία Σεισμικής Απόδοσης A

Η σεισμική δύναμη σχεδιασμού για την σύνδεση μεταξύ ανωδομής και υποδομής δίνεται για κάθε εφεδράνο από την σχέση:

$$F_A = k_{eff} d_i \quad (5)$$

όπου:

k_{eff} = Ενεργός γραμμική δυσκαμψία του εφεδράνου μόνωσης.

d_i = Μετατόπιση της μονωμένης ανωδομής όπως ορίζεται στην παράγραφο 7.1.1, χρησιμοποιώντας τον ελάχιστο συντελεστή επιτάχυνσης, A , ίσο με 1.0.

10. Δύναμη Σχεδιασμού για Κατηγορία Σεισμικής Απόδοσης B

Οι απαιτήσεις της παραγράφου 4.7 του *AASHTO Standard Seismic Specifications* θα πρέπει να εφαρμόζονται.

Η σεισμική δύναμη σχεδιασμού στα υποστυλώματα και τα βάθρα δεν θα πρέπει να είναι μικρότερες από τις δυνάμεις οι οποίες προέρχονται από την εφαρμογή οριζόντιας δύναμης στην θέση της σεισμικής μόνωσης η οποία αντιστοιχεί στο επίπεδο διαρροής ενός ανελαστικού συστήματος, στο επίπεδο στατικής τριβής ενός συστήματος ολίσθησης, ή στην οριακή αντοχή ενός συστήματος συγκράτησης έναντι του ανέμου σχεδιασμένο να αστοχεί για μεγάλες μετατοπίσεις.

11. Δυνάμεις Σχεδιασμού για Κατηγορίες Σεισμικής Απόδοσης C και D

Οι απαιτήσεις της παραγράφου 4.8 του AASHTO *Standard Seismic Specifications* θα πρέπει να εφαρμόζονται. Αν οι δυνάμεις στην ελαστική θεμελίωση είναι μικρότερες από τις δυνάμεις οι οποίες προέρχονται από την πλαστικοποίηση των υποστυλωμάτων τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό της θεμελίωσης στην παράγραφο 4.8.6. Η σεισμική δύναμη σχεδιασμού για τα υποστυλώματα και τα βάθρα δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από τις δυνάμεις οι οποίες προέρχονται από την εφαρμογή οριζόντιας δύναμης στην θέση της σεισμικής μόνωσης η οποία αντιστοιχεί στο επίπεδο διαρροής ενός ανελαστικού συστήματος, στο επίπεδο στατικής τριβής ενός συστήματος ολίσθησης, ή στην οριακή αντοχή ενός συστήματος συγκράτησης έναντι του ανέμου σχεδιασμένο να αστοχεί για μεγάλες μετατοπίσεις.

11. Λοιπές Απαιτήσεις

12.1 Μη Σεισμικές Οριζόντιες Δυνάμεις

Οι μονωμένες κατασκευές πρέπει να επαρκούν για όλους τους μη σεισμικούς συνδυασμούς οριζόντιας φόρτισης εφαρμοζόμενους πάνω από το Σύστημα Μόνωσης. Τέτοιοι συνδυασμοί είναι αυτοί που περιλαμβάνουν τα W, WL, LF και CF όπως ορίζονται στο AASHTO *Standard Seismic Specifications*. Ένα Ελαστικό Σύστημα Συγκράτησης θα πρέπει να προβλέπεται για τον περιορισμό των οριζόντιων μετατοπίσεων του Συστήματος Μόνωσης οι οποίες προέρχονται από τις μη σεισμικές δυνάμεις σε μία τιμή ικανοποιητική για τον Μηχανικό Σχεδιασμού.

12.2 Οριζόντια Δύναμη Επαναφοράς

Το Σύστημα Μόνωσης θα πρέπει να διαμορφώνεται έτσι ώστε να παράγει μια οριζόντια δύναμη επαναφοράς τέτοια ώστε η οριζόντια δύναμη για την Μετατόπιση Σχεδιασμού να είναι τουλάχιστον 0.025W μεγαλύτερη από την οριζόντια δύναμη για το 50% της Μετατόπισης Σχεδιασμού.

Εξαιρέση: Το Σύστημα Μόνωσης δεν χρειάζεται να διαμορφωθεί ώστε να παράγει δύναμη επαναφοράς, όπως απαιτείται παραπάνω, με την προϋπόθεση ότι το Σύστημα Μόνωσης είναι ικανό να παραμένει ευσταθές κάτω από το πλήρες κατακόρυφο φορτίο ενώ αναλαμβάνει μια μετατόπιση ίση ή μεγαλύτερη από 3.0 φορές την μετατόπιση σχεδιασμού ή 36A σε ίντσες (91.44A σε cm).

12.3 Ευστάθεια σε Κατακόρυφη Φόρτιση

Το Σύστημα Μόνωσης θα πρέπει να παρέχει ένα συντελεστή ασφαλείας τουλάχιστον ίσο με τρία (3) για τα κατακόρυφα φορτία (μόνιμο φορτίο συν το κινητό φορτίο) για την πλευρικά απαραμόρφωτη κατάσταση. Επιπλέον θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι ευσταθές κάτω από το Μόνιμο Φορτίο συν ή πλην κάθε κατακόρυφο φορτίο το οποίο προέρχεται από τα σεισμικά φαινόμενα για μια οριζόντια μετατόπιση ίση με 1.5 φορές την Συνολική Οριζόντια Μετατόπιση για συστήματα μόνωσης με οριζόντια δύναμη επαναφοράς ή 3.0 φορές την Μετατόπιση Σχεδιασμού αν δεν υπάρχει οριζόντια δύναμη επαναφοράς. Αν ο σχεδιασμός βασίζεται στα μέγιστα φάσματα απόκρισης τότε οι συντελεστές 1.5 και 3.0 θα πρέπει να μειωθούν σε 1.1 και 2.2, αντίστοιχα.

13. Απαιτούμενοι Έλεγχοι του Συστήματος Μόνωσης

13.1 Γενικά

Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης και οι τιμές απόσβεσης του Συστήματος Μόνωσης οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση θα πρέπει να βασίζονται στους ακόλουθους πειραματικούς ελέγχους. Έλεγχοι σε μονωτήρες παρόμοιου μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις αυτής της παραγράφου. Τέτοιοι έλεγχοι θα πρέπει να επαληθεύουν ιδιότητες σχεδιασμού οι οποίες μπορούν να προεκβληθούν για τα πραγματικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τον σχεδιασμό.

Συνεπώς ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται σε προ-εγκεκριμένα ή πιστοποιημένα από τον κατασκευαστή πειραματικά δεδομένα

13.2 Έλεγχος Προτύπων

- (a) Έλεγχοι προτύπων θα πρέπει να εκτελούνται ξεχωριστά σε δύο δείγματα πραγματικών διαστάσεων από κάθε τύπο και μέγεθος των μονωτήρων παρόμοιων με αυτών που χρησιμοποιούνται κατά τον σχεδιασμό. Τα δείγματα ελέγχου θα πρέπει να περιλαμβάνουν και το Σύστημα Ελαστικής Συγκράτησης αν τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό. Τα δείγματα τα οποία ελέγχονται δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.
- (b) Για κάθε κύκλο ελέγχων, η σχέση δύναμης-μετατόπισης και η υστερητική συμπεριφορά των δειγμάτων θα πρέπει να καταγράφεται.
- (c) Η ακόλουθη σειρά ελέγχων θα πρέπει να εκτελείται για τον συγκεκριμένο αριθμό

κύκλων φόρτισης και για κατακόρυφο φορτίο παρόμοιο με το τυπικό ή τον μέσο όρο του Μόνιμου Φορτίου σε όλους τους μονωτήρες κοινού τύπου και μεγέθους. Η συνολική μετατόπιση σχεδιασμού για αυτούς τους ελέγχους ορίζεται στην παράγραφο 8.

- (1) Είκοσι πλήρεις κύκλοι φόρτισης για οριζόντια δύναμη η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη μη σεισμική δύναμη σχεδιασμού.
- (2) Τρεις πλήρεις κύκλοι φόρτισης για κάθε μία από τα ακόλουθα πολλαπλάσια της Συνολικής Μετατόπισης Σχεδιασμού: 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 και 1.25.
- (3) $(15S_1)/B$, αλλά όχι λιγότεροι από 10 πλήρεις κύκλοι φόρτισης για 1.0 φορές την Συνολική Μετατόπιση Σχεδιασμού και ένα κατακόρυφο φορτίο παρόμοιο με το Μόνιμο Φορτίο.
- (d) Τα στοιχεία του Συστήματος Μόνωσης τα οποία φέρουν τα κατακόρυφα φορτία θα πρέπει να ελέγχονται στατιστικά για τις μετατοπίσεις οι οποίες δίνονται στην παράγραφο 12.3. Σε αυτούς τους ελέγχους το συνδυασμένο κατακόρυφο φορτίο $1.2DL+E$ θα πρέπει να λαμβάνεται ως η μέγιστη κατακόρυφη δύναμη, και το φορτίο $0.8DL-E$ θα πρέπει να λαμβάνεται ως η ελάχιστη κατακόρυφη δύναμη, όπου E είναι κάθε κατακόρυφο φορτίο το οποίο προέρχεται από τα σεισμικά φαινόμενα.
- (e) Αν χρησιμοποιείται ελαστικό σύστημα συγκράτησης το οποίο αστοχεί για μεγάλες μετατοπίσεις, τότε η οριακή αντοχή του θα πρέπει να καθορίζεται από πειραματικούς ελέγχους.

13.2 Καθορισμός των Χαρακτηριστικών Δύναμης-Μετατόπισης

- (a) Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης του Συστήματος Μόνωσης θα πρέπει να βασίζονται στα αποτελέσματα των ανακυκλικών ελέγχων για κάθε πλήρη κύκλο φόρτισης.
- (b) Η Ενεργός Δυσκαμψία ενός σεισμικού μονωτήρα θα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε κύκλο φόρτισης ως εξής:

$$k_{eff} = \frac{F_p - F_n}{\Delta_p - \Delta_n} \quad (6)$$

όπου F_p και F_n είναι η μέγιστη θετική και η μέγιστη αρνητική δύναμη αντίστοιχα και Δ_p και Δ_n είναι η μέγιστη θετική και η μέγιστη αρνητική μετατόπιση ελέγχου αντίστοιχα.

Αν χρειάζεται να προσδιοριστεί η ελάχιστη Ενεργός Δυσκαμψία τότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην εξίσωση τα $F_{p,min}$ και $F_{n,min}$.

13.3.1 Επάρκεια Συστήματος

Η απόδοση των δειγμάτων των ελέγχων θα πρέπει να βεβαιώνεται ως επαρκής εάν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- (1) Τα διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης όλων των ελέγχων οι οποίοι ορίζονται στην παράγραφο 13.2 εμφανίζουν αύξουσα φέρουσα ικανότητα της δύναμης.
- (2) Για κάθε τιμή της μετατόπισης ελέγχου όπως ορίζεται στην παράγραφο 13.2c(2):

- (a) Δεν εμφανίζεται διαφορά μεγαλύτερη από $\pm 10\%$ μεταξύ της μέσης τιμής της Ενεργού Δυσκαμψίας κάθε δείγματος και της Ενεργού Δυσκαμψίας κάθε ενός από τους τρεις κύκλους του ελέγχου.
- (β) Δεν εμφανίζεται διαφορά μεγαλύτερη από $\pm 10\%$ μεταξύ της μέσης τιμής της Ενεργού Δυσκαμψίας των δύο δειγμάτων κοινού τύπου και μεγέθους του μονωτήρα για τους απαιτούμενους τρεις κύκλους του ελέγχου.

- (3) Για κάθε δείγμα δεν εμφανίζεται αύξηση μεγαλύτερη από 20% ή μείωση μεγαλύτερη από 20% στην Ενεργό Δυσκαμψία μεταξύ του πρώτου κύκλου και κάθε επόμενου κύκλου για τους (15 S_1)/B, αλλά όχι λιγότερους από 10 κύκλους του ελέγχου που ορίζεται στην παράγραφο 13.2.c(3).
- (4) Για κάθε δείγμα δεν εμφανίζεται μείωση μεγαλύτερη από 20% στην Ενεργό Απόσβεση για τους (15 S_1)/B, αλλά όχι λιγότερους από 10 κύκλους του ελέγχου που ορίζεται στην παράγραφο 13.2.c(3).
- (5) Όλα τα δείγματα των μελών του Συστήματος Μόνωσης τα οποία φέρουν κατακόρυφα φορτία παραμένουν ευσταθή για τις μετατοπίσεις οι οποίες ορίζονται στην παράγραφο 12.3 και για τα στατικά φορτία τα οποία ορίζονται στην παράγραφο 13.2d.

13.3.2 Ιδιότητες Σχεδιασμού του Συστήματος Μόνωσης

- (a) Ενεργός Δυσκαμψία. Η μέγιστη και η ελάχιστη Ενεργός Δυσκαμψία του Συστήματος Μόνωσης θα πρέπει να καθορίζεται ως εξής:

- (1) Η τιμή της k_{\min} θα πρέπει να βασίζεται στην ελάχιστη Ενεργό Δυσκαμψία των μεμονωμένων μονωτήρων όπως προσδιορίζεται από τους ανακυκλικούς ελέγχους της παραγράφου 13.2c(2) για εύρος μετατόπισης ίσο με την Μετατόπιση Σχεδιασμού.
- (1) Η τιμή της k_{\max} θα πρέπει να βασίζεται στην μέγιστη Ενεργό Δυσκαμψία των μεμονωμένων μονωτήρων όπως προσδιορίζεται από τους ανακυκλικούς ελέγχους της παραγράφου 13.2c(2) για εύρος μετατόπισης ίσο με την Μετατόπιση Σχεδιασμού.
- (b) Ισοδύναμη Απόσβεση. Ο ισοδύναμος βαθμός ιξώδους απόσβεσης (β) του Συστήματος Μόνωσης θα πρέπει να υπολογίζεται ως:

$$\beta = \frac{1}{2\pi} \times \frac{\text{Ολική Επιφάνεια}}{\sum k_{\max} d_i^2} \quad (7)$$

όπου η Ολική Επιφάνεια θα πρέπει να λαμβάνεται ως το άθροισμα των επιφανειών των βρόχων υστέρησης όλων των μονωτήρων και η επιφάνεια του βρόχου υστέρησης κάθε μονωτήρα θα πρέπει να λαμβάνεται ως η ελάχιστη επιφάνεια των τριών βρόχων υστέρησης οι οποίοι προσδιορίζονται από τους ανακυκλικούς ελέγχους της παραγράφου 13.2c(2) για εύρος μετατόπισης ίσο με την Μετατόπιση Σχεδιασμού.

14. Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα

14.1 Γενικά

Τα επόμενα θα πρέπει να θεωρούνται συμπληρωματικά του άρθρου 14.1 του

AASHTO *Standard Specifications for Highway Bridges*.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με τις διαδικασίες και τις διατάξεις των ακόλουθων παραγράφων. Πρόσθετες απαιτήσεις ελέγχων για τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης δίνονται στην παράγραφο 15. Οι διαδικασίες σχεδιασμού βασίζονται σε φορτία λειτουργίας εξαιρουμένων των κρούσεων. Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα θα πρέπει να ενισχύονται χρησιμοποιώντας ενιαία συγκολλημένο χαλύβδινο οπλισμό. Ενίσχυση με ίνες δεν επιτρέπεται.

14.2 Ορισμοί

Τα ακόλουθα στοιχεία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη επιπρόσθετα στα στοιχεία του άρθρου 14.2.1 του AASHTO *Standard Specifications*:

- A_b = Επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού.
- A_r = Απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού, $A_b(1-\Delta/B)$.
- B = Διάσταση κάτοψης κατά την διεύθυνση της φόρτισης για ορθογωνικά εφέδρανα ή διάμετρος για κυκλικά εφέδρανα.
- d_i = Οριζόντια μετατόπιση για τα σεισμικά φορτία που ορίζονται στην παράγραφο 2.
- E = Μέτρο ελαστικότητας του ελαστικού.
- K = Σταθερά του υλικού.
- P = Μέγιστο κατακόρυφο φορτίο το οποίο προέρχεται από τον

συνδυασμό μόνιμου φορτίου συν το κινητό φορτίο (συμπεριλαμβανομένου και του σεισμικού κινητού φορτίου αν αυτό εφαρμόζεται) με την χρήση συντελεστή γ ίσο με 1.

ε_{eq} = Διατμητική παραμόρφωση λόγω της d_i , την σεισμική μετατόπιση σχεδιασμού.

ε_{sc} = Διατμητική παραμόρφωση λόγω των κατακόρυφων φορτίων.

ε_{sh} = Διατμητική παραμόρφωση λόγω της μέγιστης οριζόντιας μετατόπισης προερχόμενη από ερπυσμό, προένταση, συστολή ξηράνσεως, και θερμικά φαινόμενα υπολογισμένη μεταξύ της θερμοκρασίας κατασκευής και της πιο δυσμενούς εξωτερικής θερμοκρασίας.

ε_{sr} = Διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβαλλόμενης στροφής.

ε_c = Αξονική παραμόρφωση στο εφέδρανο λόγω των κατακόρυφων φορτίων.

ε_u = Ελάχιστη επιμήκυνση κατά την θραύση του ελαστικού.

θ = Επιβαλλόμενη στροφή στο εφέδρανο.

Δ = Διατμητική μετατόπιση του εφεδράνου.

Σημείωση: Ο παράγοντας t κατά τον ορισμό του S στο άρθρο 14.2.1 του AASHTO *Standard Specifications* θα πρέπει να ορίζεται ως t_i .

14.3 Συνιστώσες της Διατμητικής Παραμόρφωσης για τον Σχεδιασμό της Μόνωσης

Οι διάφορες συνιστώσες της διατμητικής παραμόρφωσης στο εφέδρανο υπολογίζονται ως εξής:

14.3.1 Διατμητική Παραμόρφωση (ε_{sc}) λόγω της Συμπίεσης από τα Κατακόρυφα Φορτία

Δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon_{sc} = 6S\varepsilon_c$$

όπου

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta_c}{\sum t_i} = \frac{\Delta_c}{T} = \frac{P}{A_r E (1 + 2KS^2)}$$

Οι επιδράσεις του ερπυσμού του ελαστικού θα πρέπει να προστίθενται στην στιγμιαία μετακίνηση συμπίεσης Δ_c , όταν εξετάζονται οι μακροχρόνιες μετακινήσεις. Δεν θα πρέπει να περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς της παραγράφου 14.5. Οι μακροχρόνιες μετακινήσεις θα πρέπει να υπολογίζονται από πληροφορίες σχετικές με το μείγμα ελαστικού που χρησιμοποιήθηκε αν αυτές είναι διαθέσιμες. Αν όχι, οι τιμές οι οποίες δίνονται στο άρθρο 14.2.2 του AASHTO *Standard Specifications* θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως ενδεικτικές.

14.3.2 Διατμητική Παραμόρφωση (ε_{sh}) λόγω Επιβεβλημένων Οριζόντιων Μετακινήσεων

Δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta_s}{T}$$

όπου $T=\sum t_i$, το άθροισμα των παχών των παραμορφώσιμων στρώσεων ελαστικού.

14.3.3 Διατμητική Παραμόρφωση (ε_{eq}) λόγω Επιβεβλημένων Σεισμικών Οριζόντιων Μετακινήσεων

Δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon_{eq} = \frac{d_i}{T}$$

14.3.4 Διατμητική Παραμόρφωση (ε_{sr}) λόγω Επιβεβλημένης Στροφής

Δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon_{sr} = \frac{B^2 \theta}{2t_i T}$$

14.4 Όρια για τα Επιτρεπτά Κατακόρυφα Φορτία

Το επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο σε ένα ελαστομεταλλικό εφέδρανο σεισμικής μόνωσης δεν ορίζεται άμεσα. Τα όρια στο κατακόρυφο φορτίο ελέγχονται έμμεσα από περιορισμούς στην ισοδύναμη διατμητική παραμόρφωση του ελαστικού λόγω των διαφόρων συνδυασμών φορτίσεων και από τις απαιτήσεις ευστάθειας. Η επιτρεπτή διατμητική παραμόρφωση στο ελαστικό εκφράζεται ως φ φορές την ελάχιστη οριζόμενη επιμήκυνση κατά την θραύση (ε_u). Η τιμή της παραμέτρου φ εξαρτάται από τον εξεταζόμενο συνδυασμό φόρτισης.

14.5 Συνδυασμοί Φόρτισης Ελέγχων Λειτουργικότητας

Τα ακόλουθα δύο κριτήρια θα πρέπει να ικανοποιούνται για τα φορτία λειτουργικότητας τα οποία περιλαμβάνουν το μόνιμο φορτίο συν το κινητό φορτίο, θερμικά φορτία, ερπυσμό, συστολή ξηράνσεως και στροφή.

$$14.5.1 \quad 0.5\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh} + \varepsilon_{sr}$$

και

$$14.5.2 \quad 0.33\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc}$$

Σε κάθε περίπτωση ο όρος $0.5\varepsilon_u$ δεν πρέπει να ξεπερνά το 5.0

14.6 Σεισμικοί Συνδυασμοί Φόρτισης

Το ακόλουθο κριτήριο θα πρέπει να ικανοποιείται για τα σεισμικά φορτία τα οποία περιλαμβάνουν το μόνιμο φορτίο και το σεισμικό κινητό φορτίο, τις σεισμικές μετατοπίσεις σχεδιασμού και την στροφή.

$$0.75\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{eq} + \varepsilon_{sr}$$

14.7 Ευστάθεια Έναντι Ανατροπής

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να ελέγχονται πειραματικά είτε να αποδεικνύονται αναλυτικά ότι είναι ικανά να φέρουν $1.2D+E$ ή $0.8D-E$ όπου D είναι το μόνιμο φορτίο και E είναι κάθε κατακόρυφο φορτίο το οποίο προέρχεται από τα σεισμικά

φαινόμενα για τις σεισμικές μετατοπίσεις σχεδιασμού όπως ορίζονται στην παράγραφο 12.3.

15. Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα - Κατασκευή

15.1 Σκοπιμότητα

Τα ακόλουθα στοιχεία θα πρέπει να θεωρούνται συμπληρωματικά στα στοιχεία του άρθρου 25.1 του *AASHTO Standard Specification for highway bridges*.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές σεισμικής μόνωσης τα οποία αναφέρονται ως εφέδρανα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να περιλαμβάνουν μόνο εφέδρανα ενισχυμένα με πλάκες χάλυβα.

15.2 Γενικές Απαιτήσεις

Τα ακόλουθα στοιχεία θα πρέπει να θεωρούνται συμπληρωματικά στα στοιχεία του άρθρου 25.2 του *AASHTO Standard Specification for highway bridges*.

Τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις των άρθρων 25.3, 25.4, 25.5, 25.6 και τα κριτήρια αποδοχής Επιπέδου II των 25.7, 25.8 και τις πρόσθετες απαιτήσεις του 15.3.

15.2 Πρόσθετες Απαιτήσεις για τα Εφέδρανα Μόνωσης

Επιπρόσθετα με τους ελέγχους υλικών και εφεδράνων οι οποίοι απαιτούνται από τα προηγούμενα άρθρα, θα πρέπει να πραγματοποιούνται και οι ακόλουθοι έλεγχοι για τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης.

15.3.1 Συμπίεση

Ένας έλεγχος φορτίου επαλήθευσης διατηρούμενο για 12 ώρες σε κάθε εφέδρανο θα πρέπει να απαιτείται. Το φορτίο συμπίεσης για όλους τους ελέγχους θα πρέπει να είναι 1.5 φορές το μέγιστο μόνιμο φορτίο συν το κινητό φορτίο. Αν η πλευρική διόγκωση υποδεικνύει κακή συγκόλληση των στρώσεων τότε το εφέδρανο θα πρέπει να απορρίπτεται.

15.3.2 Συνδυασμένη Συμπίεση και Διάτμηση

Ένα ελάχιστο του 20% των εφεδράνων θα πρέπει να επιλέγεται τυχαία για έλεγχο σε συνδυασμένη συμπίεση και διάτμηση. Τα εφέδρανα μπορούν να ελέγχονται σε ζευγάρια. Τα θλιπτικό φορτίο θα πρέπει να είναι το μόνιμο φορτίο και τα εφέδρανα θα πρέπει να υποβάλλονται σε πέντε πλήρεις κύκλους φόρτισης από 0 έως +50% έως 0 έως -50% έως 0 διατμητική παραμόρφωση

Τα αποτελέσματα των ελέγχων θα πρέπει να βρίσκονται μεταξύ του $\pm 10\%$ των τιμών οι οποίες θεωρούνται στον σχεδιασμό. Τα εφέδρανα τα οποία βρίσκονται εκτός αυτού του διαστήματος μπορούν να γίνουν αποδεκτά μόνο με συγκεκριμένη έγκριση του Μηχανικού.