



Εφαρμογές της Φυσικής στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων

Υπεύθυνος διδάσκων:

Γεώργιος Ν. Τσιγαρίδας

Επιμέλεια:

Θεοδοσία Φραντζέτη (ΑΜ: 20259), τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών ΕΜΠ

Αικατερίνη Δρομιάδη (ΑΜ: 20019), τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών ΕΜΠ

Τι είναι ο σεισμός

Σεισμός ή Σεισμική δόνηση είναι η αισθητή ανατάραξη της επιφάνειας ενός ουράνιου σώματος λόγω απότομων μετακινήσεων μαζών, που συνοδεύεται από σεισμικά κύματα που μεταφέρουν την ενέργεια του σεισμού. Σε πλανήτες με στερεό φλοιό, όπως η Γη, οι σεισμοί προκαλούν ανατάραξη της επιφάνειας του φλοιού και ο σεισμός γίνεται έτσι αισθητός από τους ανθρώπους.

Οι σεισμοί γεννώνται εξαιτίας της απότομης διάρρηξης του στερεού φλοιού της γης όπου και όταν οι συσσωρευμένες τάσεις των γεωλογικών στρωμάτων υπερβούν την αντίστοιχη αντοχή δημιουργώντας σεισμικά ρήγματα.

Τύποι σεισμών

1. **Τεκτονικοί:** Κοντά στις ζώνες διάρρηξης, στα όρια των τεκτονικών πλακών, συσσωρεύεται ενέργεια (τασικό φορτίο) από τους μηχανισμούς εφελκυσμού και συμπίεσης. Εκεί σχηματίζονται ρωγμές στον φλοιό, τα ρήγματα, τις πλευρές των οποίων συγκρατεί η τριβή που δεν επιτρέπει την ολίσθηση μεταξύ τους. Όταν οι τεκτονικές τάσεις ξεπεράσουν την κρίσιμη τιμή του ορίου θραύσης του πετρώματος στον εστιακό χώρο, το σπάσιμο των σημείων τριβής έχει ως αποτέλεσμα την ολίσθηση του ρήγματος. Η ολίσθηση συνεπάγεται τη βίαιη ταλάντωση των πετρωμάτων και η απελευθερωμένη ενέργεια μεταφέρεται με τα σεισμικά κύματα ώσπου να απορροφηθεί εντελώς. Οι σεισμοί που προκαλούνται με τον τρόπο αυτό, αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία, το 90% των Γήινων σεισμών και καλούνται Τεκτονικοί Σεισμοί.
2. **Ηφαιστειακοί:** Ηφαιστειακός ονομάζεται ο σεισμός που είναι αποτέλεσμα αλλαγής της πίεσης στο εσωτερικό της γης, λόγω της εισροής ή εκροής μάγματος. Το σήμα τέτοιων σεισμών ονομάζεται ηφαιστειογενής δόνηση.
3. **Εγκατακρημνισιγενείς:** Εκτός από τα δύο προηγούμενα αίτια, υπάρχει και ένα ελάχιστο ποσοστό σεισμών που ονομάζονται Εγκατακρημνισιγενείς Σεισμοί, επειδή οφείλονται στην εγκατακρήμνιση οροφών υπογείων κοιλωμάτων (π.χ. σπηλαίων), λόγω διάβρωσης. Είναι σεισμοί συνήθως μικρού μεγέθους και τοπικού χαρακτήρα. Ορισμένες φορές έχουν παρατηρηθεί σε μετασεισμική ακολουθία ως συνεπακόλουθο άλλου τύπου σεισμών.
4. **Κρυογενείς:** Υπάρχουν περιπτώσεις σεισμών που συμβαίνουν με την απότομη πτώση της θερμοκρασίας. Το έδαφος συγκρατεί νερό σε υγρή μορφή. Όταν η θερμοκρασία του πέσει κάτω από το κρίσιμο σημείο που το υγρό νερό γίνεται πάγος, η διαστολή που προκαλεί η αλλαγή φάσης του νερού συμπιέζει τα πετρώματα και είναι πιθανό να προκληθεί διάρρηξη σε αυτά. Οι επιπτώσεις ενός κρυονικού σεισμού (frostquake) δεν είναι σοβαρές, καθώς γίνονται αισθητοί σε ακτίνα ελάχιστων χιλιομέτρων από τον άνθρωπο. Συνοδεύονται από τον κρότο

θραύσης και προκαλούν ζημιές σε τσιμεντένιες υποστρώσεις και πλάκες, στο δίκτυο σωληνώσεων και σε υλικά θεμελίωσης που βρίσκονται στη γραμμή θραύσης.

5. **Τεχνητοί** (Οι τεχνητοί σεισμοί προκαλούνται με εκρήξεις ή χτύπημα της επιφάνειας του γήινου φλοιού. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την τομογράφηση του υπεδάφους. Σε μεγάλη κλίμακα είναι δυνατή και η πρόκληση σεισμών.)

Σεισμός σχεδιασμού

Ο σεισμός είναι μία δυναμική φόρτιση των κατασκευών, η οποία όμως συμβαίνει σπάνια και διαρκεί λίγα μόνο δευτερόλεπτα. Ειδικότερα ο σεισμός σχεδιασμού, για τον οποίο σχεδιάζονται οι κατασκευές, είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει κατά μέσον όρο κάθε 500 περίπου χρόνια για συνήθεις κατασκευές (κτίρια κατοικιών και γραφείων) και ακόμη πιο σπάνια (έως και 2000 χρόνια) για κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας. Αυτό σημαίνει ότι η πιθανότητα να συμβεί αυτός ο σεισμός στη διάρκεια ζωής της κατασκευής είναι μικρή. Συγκεκριμένα, για συνήθεις κατασκευές με διάρκεια ζωής 50 έτη η πιθανότητα να συμβεί ο σεισμός σχεδιασμού είναι μόλις 10%, ενώ για κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας ο αντίστοιχος σεισμός σχεδιασμού έχει ακόμη μικρότερη πιθανότητα να συμβεί.

Σεισμοί και αποτελέσματα

Σεισμός Christchurch earthquakes, Νέα Ζηλανδία

Ο σεισμός έγινε στις 4 Σεπτεμβρίου 2010, και είχε ένταση 7.1 ρίχτερ. Παρακάτω καταγράφονται οι παρατηρήσεις από τα κτίρια της περιοχής:

1. Σε κτίρια με μεταλλικό σκελετό παρατηρήθηκαν πολλαπλές βλάβες.
2. Σε κτίρια προκατασκευασμένα παρατηρήθηκε βλάβη σε σημεία σύνδεσης, με συνέπεια να πέφτουν οι τοίχοι. Ακόμη, πολλές φορές λόγω ιδιαίτερου σχήματος ή παράξενης τοποθέτησης ανοιγμάτων δημιουργήθηκαν προβλήματα.
3. Σε επιφάνειες από σκυρόδεμα υπέστησαν μεγάλες βλάβες. Το υλικό αυτό χαλάει και με τον χρόνο, προκαλούνται ρωγμές, οι οποίες αυξήθηκαν με τον σεισμό και η αναζήτηση βλαβών από αυτόν οδήγησε στην ανακάλυψή τους.

Σεισμός στο Kobe City, Ιαπωνία

Ο σεισμός έγινε στις 17 Ιανουαρίου 1995, με ένταση 7 ρίχτερ.

Σε πιο σύγχρονα σπίτια (κατασκευασμένα μετά το 1980):

1. Δεν παρατηρήθηκαν πολλές συγκρίσιμες με τα παλιά σπίτια βλάβες.

Σε παλαιότερα σπίτια:

2. Βαριές σκεπές που κατέρρευσαν, παρέσυραν ολόκληρα τα σπίτια, καθώς υπό την επίδραση του σεισμού τα ξύλινα δοκάρια δεν ήταν επαρκή για να τα κρατήσουν.
3. Οδικοί δρόμοι, και σταθμοί από μεταλλικό σκελετό και σκυρόδεμα κατέρρευσαν.
4. Κτίρια από σκυρόδεμα κατέρρευσαν.

5. Σε αντίθεση με κτίρια που είχαν εσωτερικούς τοίχους, αυτά που δεν είχαν κατέρρευσαν.

Σεισμικά κύματα

Τα σεισμικά κύματα μεταφέρουν την ενέργεια μακριά από τον εστιακό χώρο του σεισμού, μέχρι αυτή σταδιακά να απορροφηθεί εντελώς και τότε παύουν. Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο ταξιδεύουν. Ο τρόπος εξαρτάται από το μέσο στο οποίο τα κύματα ταξιδεύουν, που επιτρέπει να διαδίδονται ή όχι συγκεκριμένα είδη ταλάντωσης, ανάλογα με το είδος της ταλάντωσης και το μήκος κύματος του σεισμικού κύματος. Στον εστιακό χώρο ενός τεκτονικού σεισμού με τη θραύση παράγονται όλες οι ακουστικές συχνότητες με ταλαντώσεις πίεσης και παράγονται και ταλαντώσεις ελαστικής παραμόρφωσης. Από τα πρώτα μέτρα ακόμα που διανύουν τα κύματα, οι συχνότητες φιλτράρονται βαθυπερατά σε ολόένα και μικρότερο με την απόσταση εύρος ζώνης και στα πρώτα χιλιόμετρα έχει ήδη γίνει ο διαχωρισμός των κυμάτων που διαδίδονται με διαφορετικό τρόπο ταλάντωσης. Τα σεισμικά κύματα τα μετράμε συνήθως με δειγματοληψία 100 Hz, καταγράφουμε δηλαδή συχνότητες των σεισμικών κυμάτων ως και 50 Hz.

Σεισμικά κύματα που διαδίδονται εσωτερικά στη Γη

1. Τα P-κύματα (primary waves ή πρωτεύοντα κύματα) είναι διαμήκη κύματα πίεσης. Τέτοια κύματα είναι τα ηχητικά. Τα διαμήκη κύματα ταλαντώνουν τις μονάδες ταλάντωσης του μέσου από το οποίο διέρχονται παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσής τους. Προκαλούν πυκνώματα και αραιώματα της ύλης σε επίπεδα κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης και μάλιστα διαδίδονται σε οποιοδήποτε συμπίεσιμο (σε μεγέθη μήκους κύματος) μέσο έχει μνήμη του όγκου του και τον διατηρεί, τουλάχιστον στον χρόνο που το διαμήκες κύμα τον οδεύει. Στερεά, υγρά, αέρια και πλάσμα έως κάποιας πυκνότητας καθώς και ενδιάμεσες καταστάσεις ρευστότητας πληρούν με ευκολία τη συνθήκη αυτή για εύρη συχνοτήτων. Τα P-κύματα μπορούν και εναλλάσσουν μέσα διάδοσης και συνεχίζουν να διαδίδονται διαθλώμενα σε αυτά, τουλάχιστον στο εύρος των συχνοτήτων που δε φιλτράρονται από πιθανή μείωση της χωρικής πυκνότητας των μονάδων ταλάντωσης στο νέο μέσο. Έτσι από το σημείο που φθάνουν κατακόρυφα στην επιφάνεια του φλοιού συνεχίζουν και μεταφέρουν μέρος της ενέργειας του σεισμού πέραν του εδάφους ως και πολύ ψηλά στην ατμόσφαιρα αν και δε μπορούν να καταγραφούν εκεί με συμβατικά αδρανειακά σεισμόμετρα. Τα P-κύματα διαδίδονται σε όλα τα στρώματα της Γης, από το φλοιό ως τον πυρήνα. Ως σεισμικά κύματα τα P έχουν τη μεγαλύτερη ταχύτητα από τα υπόλοιπα είδη σεισμικών κυμάτων και σε γρανίτη διανύουν 6 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο.

2. Τα S-κύματα (secondary waves ή δευτερεύοντα κύματα) είναι εγκάρσια κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται με ταλαντώσεις των υλικών κάθετες στην κατεύθυνση του κύματος, διαδίδονται δηλαδή πολωμένα και αλλάζουν προς στιγμήν το σχήμα

του μέσου το οποίο διατρέχουν. Διαδίδονται σε μέσα που οι μονάδες ταλάντωσης συνδέονται ελαστικά, δηλαδή υπάρχει μνήμη του σχήματος του υλικού. Το μέσο προσπαθεί να διατηρήσει το σχήμα του, τουλάχιστον σε μήκος ελαφρά πολλαπλάσιο του μήκους κύματος και για χρόνο όσο τουλάχιστον το άθροισμα των περιόδων μερικών ταλαντώσεων. Τα στερεά έχουν ισχυρή μνήμη και έτσι τα S-κύματα διαδίδονται στη λιθόσφαιρα, με ασυνέχεια στους ωκεανούς και την ατμόσφαιρα που δεν πληρούν την παραπάνω συνθήκη ελαστικότητας σε σχέση με τις παραμέτρους διάδοσης των συγκεκριμένων σεισμικών κυμάτων. Η κατάσταση ρευστότητας στον μανδύα φαίνεται πως δίνει στο υλικό του ικανή ελαστικότητα ώστε τα S-κύματα να διαδίδονται εκεί. Έτσι τα S-κύματα διαδίδονται από τη λιθόσφαιρα ως και το κάτω μέρος του μανδύα, σταματούν όμως φθάνοντας στον εξωτερικό πυρήνα της Γης που φαίνεται πως είναι πιο ρευστός ή και υγρός. Τα S-κύματα ταξιδεύουν πιο αργά από τα P και έχουν ταχύτητα κίνησης στον γρανίτη 3,6 χιλιομέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Σεισμικά κύματα που διαδίδονται στην επιφάνεια της Γης

Τα σεισμικά P- και S-κύματα από σεισμό με μικρό εστιακό βάθος, έχουν την τάση φθάνοντας στην επιφάνεια να μετασχηματίζονται σε κύματα που ταξιδεύουν επιφανειακά, ακολουθώντας την καμπύλη της Γης. Καθώς το νέο σεισμικό κύμα οδεύει παγιδευμένο στην επιφάνεια του στερεού φλοιού από την ασυνέχεια του υλικού καθ' ύψος και από την καμπυλότητα της γης, ο διαμερισμός της ενέργειας δε γίνεται πλέον με το νόμο του αντιστροφικού τετραγώνου όπως συνέβαινε κατά τη διάδοση των κυμάτων στο εσωτερικό της Γης. Αυτό σημαίνει πως σε ένα κύμα που διαδίδεται επιφανειακά η ενέργεια παραμένει το δυνατόν συγκεντρωμένη, αφού εξαπλώνεται κυρίως σε επιφάνεια αντί να εξαπλώνεται στον χώρο και το κύμα διανύει μεγαλύτερη απόσταση διατηρώντας μεγάλο πλάτος ταλάντωσης, συνεχίζει δηλαδή να επιδρά καταστροφικά και για μεγαλύτερες αποστάσεις. Για το λόγο αυτό τα σεισμικά κύματα που ταξιδεύουν επιφανειακά είναι πιο καταστροφικά από αυτά που φθάνουν στην επιφάνεια ταξιδεύοντας εσωτερικά στη Γη, καθώς τα τελευταία ταξιδεύοντας από πιο βαθιά πρώτον είναι ήδη εξασθενημένα και δεύτερον ανακλώνται στην επιφάνεια και συνεχίζουν να ταξιδεύουν στο εσωτερικό της Γης.

Τα κύματα Rayleigh είναι το αποτέλεσμα της συμβολής των P- και κατακόρυφα πολωμένων S-κυμάτων που συνεχίζουν και διαδίδονται επιφανειακά. Είναι κύματα πίεσης και ελαστικής παραμόρφωσης ταυτόχρονα που οι μονάδες ταλάντωσης εκτελούν ελλειπτικές κινήσεις με μεγαλύτερους άξονες κοντά στην επιφάνεια, όπου υπάρχει παραμόρφωση και καθ' ύψος και παρατηρούμε το μέγιστο των ταλαντώσεων. Αν ο σεισμός είναι μεγάλος, τα κύματα αυτά μπορεί να διανύσουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης αρκετές φορές ώπου να απορροφηθούν εντελώς. Ταξιδεύουν με ταχύτητα 3 χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο, που είναι χαμηλότερη από αυτή της διάδοσης και των P- και των S-κυμάτων. Για το λόγο αυτό, είναι δυνατό να γνωρίζουμε, μερικά δευτερόλεπτα πριν, την άφιξή τους και να εφαρμόζουμε συστήματα έκτακτης προειδοποίησης, τα οποία όμως συχνά δίνουν λάθος

συναγερμό. Λόγω της φύσης τους, η ένταση του σεισμού σε μια περιοχή λόγω αυτών των κυμάτων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες:

1. το μέγεθος του σεισμού
2. την απόσταση από το επίκεντρο
3. το βάθος του σεισμού
4. το μηχανισμό της θραύσης στον εστιακό χώρο
5. τον προσανατολισμό της θραύσης του σεισμού
6. τη γεωλογική δομή του στερεού φλοιού που οδεύει το κύμα και το εξασθενεί
7. τη γεωλογική δομή του σημείου παρατήρησης που διαφοροποιεί την ταλάντωση
8. την ακριβή θέση παρατήρησης αν συμπίπτει με τη θέση της αρχικής συμβολής των P- και S-κυμάτων

Τα κύματα Love είναι επιφανειακά εγκάρσια κύματα που είναι πολωμένα οριζόντια, διαδίδονται δηλαδή παραμορφώνοντας ελαστικά το φλοιό σε οριζόντιο επίπεδο, κάθετα στην κατεύθυνση που οδεύουν. Ο τρόπος που κυματίζουν την επιφάνεια είναι αυτός που δίνει τη χαρακτηριστική αίσθηση του σεισμού στον άνθρωπο με την κίνηση του εδάφους πέρα-δώθε. Το πλάτος της ταλάντωσης των κυμάτων αυτών μεγιστοποιείται επίσης κοντά στην επιφάνεια. Ταξιδεύουν πιο αργά από τα P- και S-κύματα αλλά λίγο πιο γρήγορα από τα Rayleigh. Ως επιφανειακά κύματα είναι εξίσου καταστροφικά και η έντασή τους τοπικά εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες με τα Rayleigh εκτός του παράγοντα συμβολής των P- και S-κυμάτων. Αν ο σεισμός είναι μεγάλος, τα κύματα αυτά μπορούν επίσης να διανύσουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης αρκετές φορές ώσπου να απορροφηθούν εντελώς.

Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών αναφέρεται στο σχεδιασμό κατασκευών ικανών να ανθίστανται επαρκώς σε σεισμικές διεγέρσεις με σκοπό τη μεγιστοποίηση της ασφάλειας των ανθρώπων.

Η δομική σεισμική μηχανική αφορά στη μελέτη της απόκρισης κατασκευών (π.χ. κτηρίων, γεφυρών, φραγμάτων κ.λπ.) σε σεισμική διέγερση και είναι κλάδος της Σεισμικής Μηχανικής.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών που εφαρμόζεται διεθνώς και περιγράφεται στους σύγχρονους Αντισεισμικούς Κανονισμούς (π.χ. Ευρωκώδικας 8, ΕΑΚ) βασίζεται στη λεγόμενη μέθοδο των δυνάμεων (force-based design). Ο όρος μέθοδος των δυνάμεων δεν είναι ευρέως διαδεδομένος, επειδή μέχρι πρόσφατα αυτή η μεθοδολογία ήταν η μόνη που εφαρμοζόταν στον αντισεισμικό σχεδιασμό και επομένως δεν υπήρχε λόγος ονομασίας της ώστε να γίνεται η διάκρισή της από άλλες μεθοδολογίες. Τα τελευταία όμως έτη έχει προταθεί και μία διαφορετική μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού, η μέθοδος των μετακινήσεων (displacement-based design), και έτσι κατέστη αναγκαία η διάκριση μεταξύ των δύο μεθόδων. Όπως εμφανώς προκύπτει από την ονομασία των δύο μεθόδων, η μία βασίζεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά τη διάρκεια του σεισμού και η άλλη στις μετακινήσεις. Επειδή, όπως αναπτύσσεται παρακάτω, ο αντισεισμικός

σχεδιασμός γίνεται θεωρώντας ότι η κατασκευή επιτρέπεται να συμπεριφέρεται ανελαστικά κατά τη διάρκεια του σεισμού, η φιλοσοφία σχεδιασμού είναι τελείως διαφορετική στις δύο μεθόδους.

Οι κύριοι στόχοι του αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών είναι:

1. Η μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κτηρίων και του εδάφους
2. Η πρόβλεψη των πιθανών συνεπειών ισχυρού σεισμού στη αστική υποδομή σε αστικές περιοχές
3. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η συντήρηση δομών ικανών να δέχονται με ασφάλεια τις ισχυρές καταπονήσεις που προκαλεί ο σεισμός, σύμφωνα με τους ισχύοντες αντισεισμικούς κανονισμούς/κώδικες.

Η εφαρμογή του ισχύοντος αντισεισμικού κανονισμού, για το σχεδιασμό και κατασκευή των κτηρίων, είναι υποχρεωτική από την νομοθεσία. Στην Ελλάδα εφαρμόζεται ο ΕΑΚ 2000 που τροποποιήθηκε από τον ΕΑΚ 2003. Στην Ευρώπη εφαρμόζεται ο Ευρωκώδικας 8 στα πλαίσια της εφαρμογής των Ευρωκωδίκων για σχεδιασμό έργων Πολιτικού Μηχανικού.

Το θέμα της αντισεισμικής προστασίας είναι υπαρκτό και θα συνεχίσει να είναι, οπότε θα πρέπει κατάλληλα και κατά το μέτρο του δυνατού να αντιμετωπίζεται.

Στον αντισεισμικό σχεδιασμό βασική προϋπόθεση είναι η καλή γνώση των γεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής και των φυσικών ιδιοτήτων των εδαφών, στοιχεία που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σεισμική συμπεριφορά τους και στην συμπεριφορά των κατασκευών που θεμελιώνονται σε αυτά, ενώ απαραίτητη είναι και η αξιολόγηση των ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή από την άποψή της ενεργώντας τους (αναφέρονται σχετικά στο επόμενο κεφάλαιο). Για τον προσδιορισμό της σεισμικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων και επαφών και αντίστοιχα την κατάταξη τους, απαιτούνται εξειδικευμένες γεωλογικές σεισμοτεκτονικές, γεωτεχνικές και εδαφοδυναμικές μελέτες.

Όπως προαναφέρθηκε η σεισμική δόνηση για την οποία γίνεται η μελέτη μιας κατασκευής έχει μικρή πιθανότητα να συμβεί κατά τη διάρκεια της ζωής της, θα ήταν αντιοικονομικό να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μην πάθει καμία ζημιά (δηλαδή να συμπεριφερθεί ελαστικά) όταν συμβεί ο σεισμός αυτός και να μην εκμεταλλευτούμε την ικανότητά της να μπορεί να παραμορφωθεί στην πλαστική περιοχή χωρίς να χάνει την αντοχή και τη δυσκαμψία της. Με άλλα λόγια, είναι περισσότερο οικονομικό να αφήσουμε την κατασκευή να πάθει κάποιες μικρές ζημιές εάν συμβεί ο σεισμός σχεδιασμού, τις οποίες θα επισκευάσουμε μετά το σεισμό, παρά να την κατασκευάσουμε εξ αρχής τόσο ισχυρή ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτό το σεισμό χωρίς καθόλου ζημιές. Φυσικά, πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα ώστε οι ζημιές να είναι ελεγχόμενες και επισκευάσιμες. Αυτή η φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού, η οποία έχει υιοθετηθεί από όλους τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, διέπεται από τις παρακάτω βασικές αρχές:

1. Σε μικρούς σεισμούς, η κατασκευή πρέπει να μην υποστεί ζημιές (ελαστική συμπεριφορά).
2. Σε μεγάλους σεισμούς με μικρή πιθανότητα να συμβούν στη χρήσιμη ζωή του έργου, η κατασκευή επιτρέπεται να παραμορφωθεί στην πλαστική περιοχή και

επομένως να υποστεί ζημιές. Οι ζημιές αυτές πρέπει να είναι περιορισμένης έκτασης και επιδιορθώσιμες.

3. Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει κανένας κίνδυνος κατάρρευσης. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποκλειστούν μορφές αστοχίας που εγκυμονούν κίνδυνο κατάρρευσης, όπως ο σχηματισμός μαλακού ορόφου (μηχανισμός κατάρρευσης) και ψαθυρές μορφές αστοχίας (π.χ. διατμητική αστοχία).

Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίων

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τις επιπτώσεις της κατάρρευσης για την ανθρώπινη ζωή, τη σπουδαιότητά τους για τη δημόσια ασφάλεια και την προστασία των πολιτών στην άμεση μετασεισμική περίοδο και τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της κατάρρευσης. Οι τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς συντελεστές σπουδαιότητας, γ_i , καθώς επίσης και από διαφορετικούς συντελεστές μείωσης, ν , οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σεισμικής δράσης για τη στάθμη επιτελεστικότητας «περιορισμένες βλάβες». Σύμφωνα με τον EC8, η τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας για την κατηγορία II πρέπει να είναι εξ' ορισμού ίση με 1.0, ενώ για τις υπόλοιπες κατηγορίες οι τιμές αυτές θα καθορίζονται από το Εθνικό Προσάρτημα. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι προτεινόμενες τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας και του συντελεστή μείωσης για την κάθε κατηγορία σπουδαιότητας, σύμφωνα με τον EC8.

Κατηγορία σπουδαιότητας	Κτίρια	γ_i	ν
I	Κτίρια ήσσονος σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. αγροτικά οικήματα.	0.8	0.5
II	Κανονικά κτίρια τα οποία δεν ανήκουν στις υπόλοιπες κατηγορίες	1.0	0.5
III	Κτίρια των οποίων η σεισμική αντίσταση είναι σημαντική σε ό,τι αφορά τις συνέπειες που συνδέονται με πιθανή κατάρρευση, π.χ. σχολεία, χώροι συνάθροισης κοινού.	1.2	0.4
IV	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια των σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία	1.4	0.4

	των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας.		
--	---	--	--

Σεισμική επικινδυνότητα, τρωτότητα και σεισμική διακινδύνευση

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίον διασυνδέεται η μελέτη της σεισμικής διέγερσης και της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών ακολουθεί παρακάτω μια σύντομη μνεία βασικών εννοιών που αφορούν τη σεισμική επικινδυνότητα, την τρωτότητα των κατασκευών και τελικά τη συνολική σεισμική διακινδύνευση.

Σεισμική Επικινδυνότητα (Seismic Hazard):

Είναι η μέγιστη αναμενόμενη τιμή μιας σεισμικής παραμέτρου για δεδομένη περίοδο επανάλληψης ή για συγκεκριμένη πιθανότητα μη υπέρβασης και συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα των μελετών σεισμικής επικινδυνότητας δίνονται με τη μορφή χαρτών ή καμπυλών που παρέχουν την κατανομή του μέτρου εδαφικής κίνησης που επιλέχθηκε και την πιθανότητα να υπερβληθεί ή να μην υπερβληθεί αυτό σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Συνήθως γίνεται εκτίμηση της κατανομής της πιθανότητας του 10% υπέρβασης (ή 90% μη υπέρβασης) μιας ορισμένης τιμής της εδαφικής κίνησης για το χρονικό διάστημα των 50 ετών ή ισοδύναμα, για μέση περίοδο επανάλληψης 475 έτη.

Τρωτότητα (Vulnerability):

Η πιθανότητα μια κατασκευή να υποστεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης υπό ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικών δυνάμεων. Εναλλακτικά, με γενικότερο τρόπο, ορίζεται ως ο βαθμός απωλειών από δεδομένο σεισμό, σε συγκεκριμένα στοιχεία της σεισμικής διακινδύνευσης ή στο σύνολο τέτοιων στοιχείων.

Σεισμική Διακινδύνευση (Seismic Risk):

Το επίπεδο απώλειας ή βλάβης που σχετίζεται με μια ομάδα κατασκευών οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε συγκεκριμένο επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας δοθείσας της τρωτότητάς τους. Επίσης, ορίζονται ως «στοιχεία της σεισμικής διακινδύνευσης» (elements at seismic risk) ο πληθυσμός, τα κτίρια και τα τεχνικά έργα γενικά, οι οικονομικές δραστηριότητες, καθώς και οι δημόσιες και κοινωφελείς υπηρεσίες, που σε μια συγκεκριμένη περιοχή εκτίθενται στη σεισμική διακινδύνευση. Ο υπολογισμός της διακινδύνευσης προκύπτει από την συνέλιξη της σεισμικής επικινδυνότητας και του παράγοντα τρωτότητας (Sandi 1982), είναι δηλαδή:

$$SR = V * SH$$

Ως εκ τούτου, σημαντική σεισμική επικινδυνότητα οδηγεί σε άλλο επίπεδο σεισμικής διακινδύνευσης στην Καλιφόρνια σε σχέση με μια χώρα της Ασίας για παράδειγμα, καθώς στην πρώτη περίπτωση το υψηλότερο εν γένει βιοτικό, ερευνητικό και κατασκευαστικό επίπεδο έχει μειώσει σε σημαντικό βαθμό την τρωτότητα των κατασκευών. Συχνά, στην έννοια της διακινδύνευσης συμπεριλαμβάνεται και η έννοια του χρόνου έκθεσης στον σεισμικό κίνδυνο ή της σημασίας του εκτιθέμενου στοιχείου.

Συμπεράσματα

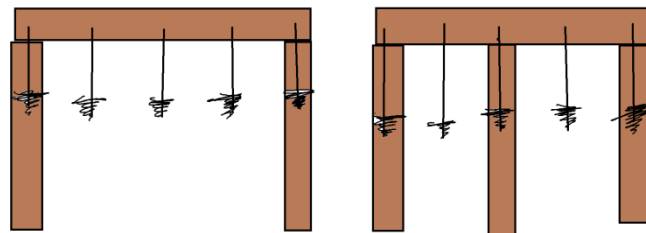
Λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις πάνω σε κτίρια που υπέστησαν βλάβες κατά τους σεισμούς, καταλήγουμε σε ορισμένα συμπεράσματα.

1. Ελαφριά υλικά

Η χρήση ελαφριών υλικών (ειδικά για σκεπές και πάνω ορόφους) θα μειώσει το βάρος το οποίο πρέπει να αντέξουν οι τοίχοι, και ειδικά των κάτω στρωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ξύλου, ή ορισμένα είδη σκυροδέματος.

Αν πάλι η χρήση ξύλου δεν είναι επαρκώς ασφαλής (κίνδυνος πυρκαγιάς, εύφλεκτα υλικά) θα πρέπει οι κάτω τοίχοι να έχουν μεγαλύτερο πάχος για να μπορούν να υποστηρίξουν το βάρος, και οι πάνω τοίχοι μικρότερο πάχος για να μην αυξάνουν την μάζα του κτιρίου.

Σε συνδυασμό με τους τοίχους μεταβαλλόμενου πάχους πρέπει να υπάρχουν και αρκετοί εσωτερικοί τοίχοι. Οι εσωτερικοί τοίχοι λειτουργούν ως στηρίγματα με αποτέλεσμα το βάρος της οροφής να κατανέμεται σε όλους τους τοίχους. Στο σκίτσο, τα βελάκια υποδεικνύουν το βάρος της οροφής.



2. Συνδέσεις

Παρατηρήθηκε στους σεισμούς ότι τα προκατασκευασμένα κτίρια δεν παρουσίαζαν ιδιαίτερες βλάβες εκτός από τις συνδέσεις τους. Οι συνδέσεις θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες από εξαιρετικά ελαστικά υλικά. Ακόμη, πρέπει να δίνεται σημασία στην σύνδεση την ώρα της κατασκευής, για να μην προκύπτουν λάθη αμέλειας και τεχνικά λάθη.

3. Ελαστικότητα (σ)

Η ελαστικότητα (σ) περιγράφει την ιδιότητα των παραμορφωμένων σωμάτων να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση έπειτα από διακοπή άσκησης δύναμης.

Ορίζεται ως:

$$\text{Ελαστικότητα} = \frac{\text{τάση}}{\text{ένταση}}$$

Η τάση έχει μονάδες πίεσης και είναι η δύναμη (F) προς τη διατομή (A) στην οποία ασκείται.

Η ένταση είναι μέτρο του βαθμού παραμόρφωσης του σώματος, δηλαδή το μέτρο παραμόρφωσης (Δχ) προς τον αρχικό όγκο/μήκος (V/L).

Όλα τα σώματα παραμορφώνονται σε κάποιο βαθμό. Αυτό εξαρτάται από το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο, και την φορά στην οποία ασκούμε την δύναμη. Όταν ασκούμε μία εξωτερική δύναμη, η δύναμη αυτή ασκεί τάση. Αντίθετα, οι εσωτερικές δυνάμεις του σώματος αντιστέκονται στην μεταβολή.

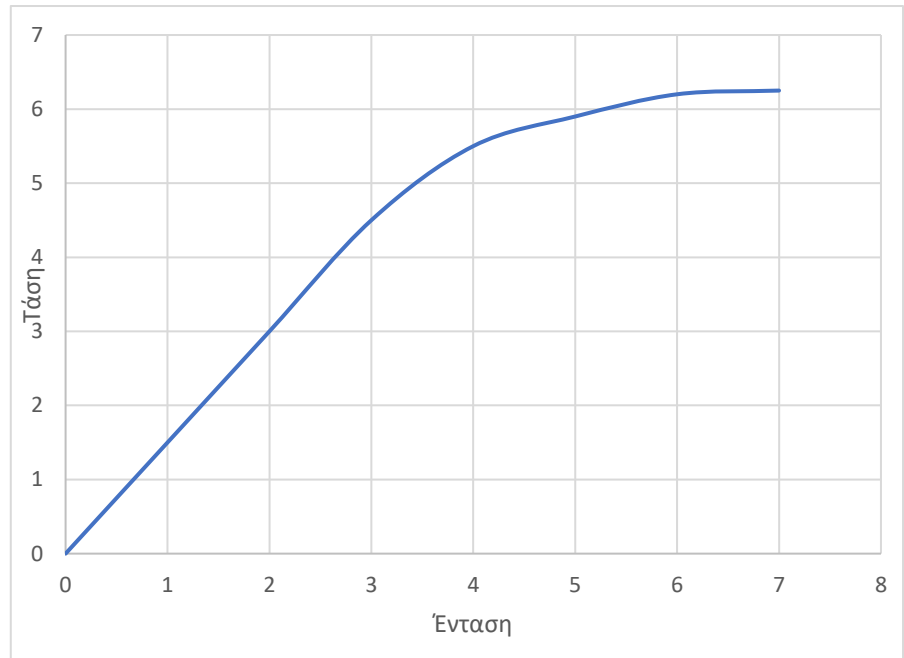
Διάγραμμα περιγραφής ελαστικότητας

Σε κάθε υλικό υπάρχουν δύο βασικά κρίσιμα σημεία, τα οποία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

1. Σημείο ελαστικότητας
2. Σημείο θραύσης

Ανάμεσα στα σημεία άσκησης 0 τάσης και του σημείου ελαστικότητας, η συνάρτηση της έντασης-τάσης είναι μία ευθεία, δηλαδή λόγος τάσης-έντασης παραμένει σταθερός, άρα σταθερή παραμένει και η ελαστικότητα. Η περιοχή αυτή λέγεται περιοχή ελαστικής συμπεριφοράς. Στην περιοχή ελαστικής συμπεριφοράς οι εσωτερικές δυνάμεις του σώματος υπερσχύουν (το σώμα θα ξαναπάρει το αρχικό του σχήμα μετά την παύση άσκησης τάσης) και το κρατούν ακόμη σταθερό.

Ανάμεσα στο σημείο ελαστικότητας και σημείο θραύσης ο λόγος δεν είναι πλέον σταθερός (αυτό παρατηρείται από την καμπύλη στο διάγραμμα). Εκεί πλέον έχει ξεπεραστεί η μέγιστη τάση υπό την οποία το σώμα θα μπορούσε να επαναφερθεί στην αρχική του μορφή και το σώμα υφίσταται μόνιμη παραμόρφωση (οι εσωτερικές δυνάμεις έχουν διαταραχθεί και αρκούν για να συγκρατήσουν το σώμα, αλλά όχι για να επαναφερθεί με την παύση άσκησης τάσης).



Μετά το σημείο θραύσης, το σώμα σπάει (υπερνικούν οι εξωτερικές δυνάμεις).

Ελαστικότητα Διάτμησης

Υπάρχουν διαφορετικών τριών ειδών ελαστικότητες:

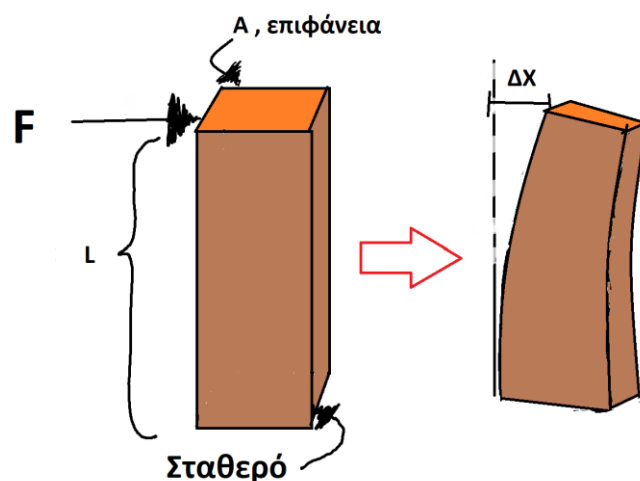
1. Μέτρο ελαστικότητας

Young: αφορά την επιμήκυνση του στερεού

2. Ελαστικότητα σε

διάτμησης: σε περιπτώσεις όπου σε ένα στερεό η μία έδρα να είναι στερεωμένη και η στην άλλη να ασκείται η δύναμη εφαπτομενικά.

3. Ελαστικότητα όγκου: σε ότι αφορά μεταβολές όγκο (αφορά και τα υγρά).



Η μορφή ελαστικότητας που αναζητείται στον τομέα της κατασκευής αντισεισμικών κτιρίων είναι η ελαστικότητα διάτμησης. Ελαστικότητα διάτμησης είναι η ελαστικότητα ενός σώματος όταν του ασκείται μία δύναμη εφαπτόμενη στην μία του έδρα, ενώ η άλλη παραμένει σταθερή.

Άρα, ο τύπος της ελαστικότητας διάτμησης είναι:

$$\text{Ελαστικότητα} = \frac{\text{τάση}}{\text{ένταση}} = \frac{F/A}{\Delta x/h}$$

Τα σώματα που έχουν μεγάλη ελαστικότητα διάτμησης είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το καουτσούκ, όπως επίσης και ορισμένα άλλα πολυμερή.

Γιατί ψάχνουμε υλικά με ελαστικότητα

Τα υλικά με υψηλή ελαστικότητα έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα στην κατασκευή κτιρίων, για να επιτευχθεί όσο δυνατόν καλύτερη αντισεισμική προστασία.

1. Έχουν σημείο θραύσης μεγαλύτερο από άλλα, και άρα σπάνε δυσκολότερα.
2. Η υψηλή ελαστικότητα προσφέρει στα υλικά την δυνατότητα να “απορροφούν δονήσεις”. Έχουν μεγαλύτερο b και άρα τα κύματα που διέρχονται μέσω αυτών χάνουν ενέργεια
3. Τείνουν να επαναφερθούν στην αρχική τους κατάσταση.
4. Επιτρέπουν στα υλικά τα οποία συνδέονται με αυτά να ταλαντώνονται ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Σεισμική Τράπεζα

Γενικά

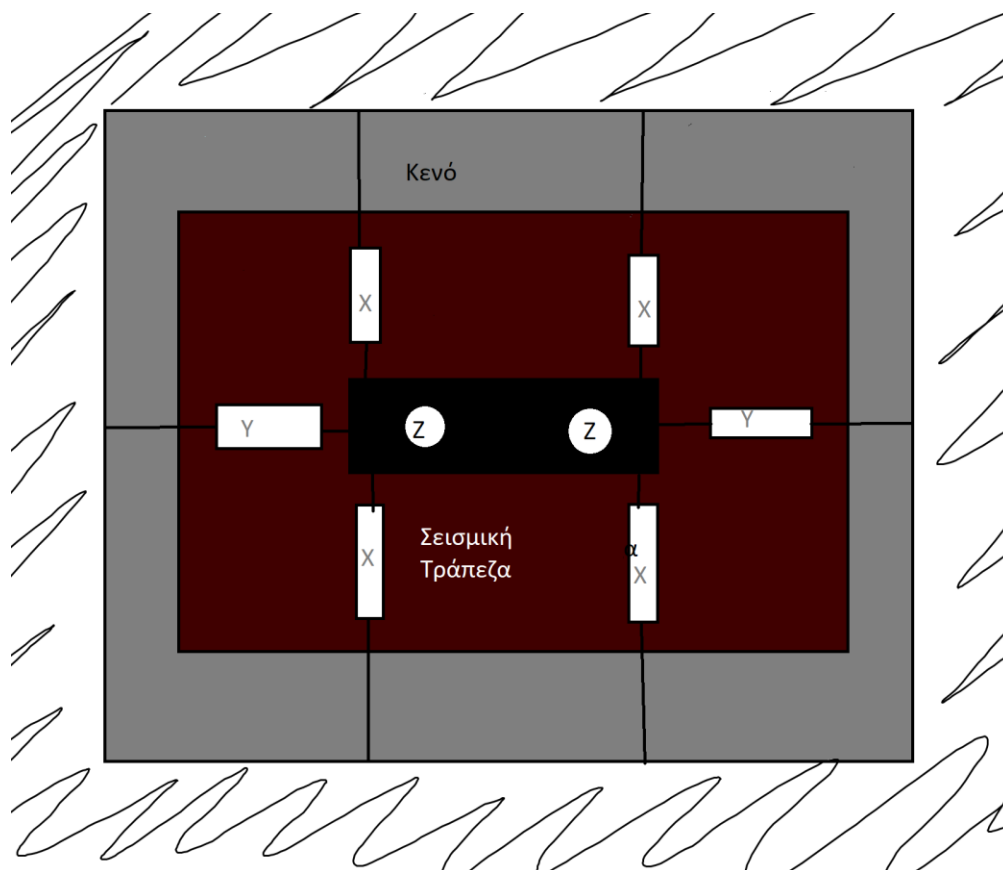
Εκτός από παρατηρήσεις που συλλέγονται μετά από σεισμούς, υπάρχει δυνατότητα να προσομοιαστούν οι σεισμικές δονήσεις με χρήση σεισμικών τραπεζών, σε πλαίσια ασφαλών πειραμάτων.

Σε πειράματα με χρήση σεισμικών τραπεζών, τοποθετούνται οι δομές που πρόκειται να εξεταστούν, (η κατασκευάζονται κατευθείαν πάνω σε αυτές) και έπειτα αρχίζει η διαδικασία προσομοίωσης. Ανάλογα με την συσκευή, μπορούν να προσομοιαστούν κινήσεις σε 1,2 ή και 3 διαστάσεις, και αναπαράσταση σεισμών με χρήση S και P κυμάτων.

Κατασκευή

Για την κατασκευή σεισμικών τραπεζών γίνεται χρήση υδραυλικών πιστονιών, στους άξονες για τους οποίους γίνεται προσομοίωση.

Η σεισμική τράπεζα έχει μοναδικά σημεία επαφής με το έδαφος τα υδραυλικά πιστόνια. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι είτε με τοποθέτηση της τράπεζας σε ένα κουτί, ή σκάμμα για μεγαλύτερα μεγέθη τραπεζών, είτε με αιώρησή τους, πάνω από το επίπεδο του εδάφους.



Στο σκίτσο παρουσιάζεται η όψη την σεισμικής τράπεζας από κάτω.

Με άσπρο, συμβολίζονται τα υδραυλικά πιστόνια, (το πλήθος τους είναι ενδεικτικό, ανάλογα με το βάρος που μπορεί να αντέξει το κάθε πιστόνι, και η ίδια η σεισμική τράπεζα). Κάθε ομάδα υδραυλικών πιστονιών είναι υπεύθυνη για κινήσεις σε έναν άξονα, x,y,z, μέσα από αυτό επιτυγχάνεται η κίνηση του εξεταζόμενου κτίσματος να είναι όμοια με αυτήν κατά την διάρκεια ενός σεισμού.

Αριστερά: η μεγαλύτερη σεισμική τράπεζα στον κόσμο, Kobe City Ιαπωνίας

Δεξιά: σεισμική τράπεζα Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου



Μεγαλύτερη σεισμική τράπεζα στον κόσμο

Η μεγαλύτερη σεισμική τράπεζα στον κόσμο βρίσκεται στο Hyogo earthquake engineering center, Kobe City, στην Ιαπωνία. Η Ιαπωνία είναι η χώρα με την μεγαλύτερη σεισμική δραστηριότητα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης. Αυτό οδήγησε τον πολιτισμό της να αναπτυχθεί γύρω από τους σεισμούς, και δοθεί μεγάλη σημασία στην έρευνα πάνω σε αντισεισμικές κατασκευές, τόσο για κτίρια όσο και για δρόμους, γέφυρες, οδικά δίκτυα και άλλα.

Βασικά χαρακτηριστικά της μεγαλύτερης σεισμικής τράπεζας είναι τα εξής:

1. Διαστάσεις: 15m * 20m
2. 3 άξονες κίνησης
3. Μέγιστη επιτάχυνση σε κάθε άξονα κίνησης: $x, y: 900 \text{ cm/s}^2$, $z: 1500 \text{ cm/s}^2$
4. Μέγιστη εκτροπή σε κάθε άξονα κίνησης: $x, y: \pm 100 \text{ cm}$, $z: \pm 50 \text{ cm}$
5. Μέγιστο βάρος που μπορεί να εναποτεθεί σε αυτή: 2M ton

Η έρευνα στον τομέα είναι πολλά υποσχόμενη διότι υπάρχει η δυνατότητα αναπαράστασης του φαινομένου σε πραγματικών διαστάσεων κτίρια, και έπειτα ενδελεχή μελέτη των αποτελεσμάτων.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των ιστορικών κατασκευών

Η αναλυτική προσέγγιση του αντισεισμικού σχεδιασμού και της αντισεισμικής μηχανικής κάνει την εμφάνισή της μόλις τον 20ο αιώνα . Παρ' όλα αυτά, μπορεί κανείς να περιγράψει ένα μεγάλο μέρος της ιστορίας της Αρχιτεκτονικής μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα ως μία προσπάθεια να δημιουργηθούν όσο γίνεται μεγαλύτεροι ελεύθεροι εσωτερικοί χώροι στα κτίρια, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλους εκείνους τους περιορισμούς που προέκυπταν από τα υλικά που είχαν στην διάθεσή τους (κυρίως φυσικοί λίθοι) τα οποία από την φύση τους ήταν ικανά να αντιμετωπίσουν μόνο θλιπτικά φορτία. Καθώς οι κατασκευές άρχισαν να γίνονται πιο ψηλές και πιο "λεπτεπίλεπτες" (Γοτθικοί ναοί), προέκυψε η ανάγκη επινόησης καινούργιων συνθετικών και κατασκευαστικών μοτίβων, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι πλάγιες ωθήσεις του ανέμου. Στην πορεία διαπιστώθηκε ότι πολλές από αυτές τις επινοήσεις ενίσχυαν το κτίριο, έμμεσα ή άμεσα, και αντισεισμικά, παρουσίαζαν δηλαδή μεγάλη σχέση με αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού τις οποίες χειριζόμαστε και στην σύγχρονη Αρχιτεκτονική. Στο Βυζάντιο, επίσης, ανακαλύπτουμε σήμερα σαφείς προσπάθειες αντισεισμικής προστασίας των κατασκευών, μέσω ειδικών κατασκευαστικών επινοήσεων, όπως είναι η ενίσχυση των λιθοδομών με ξύλινα στοιχεία, η οποία είχε σαν σκοπό την περίδεση – "ιμάντωση" των κτιρίων.

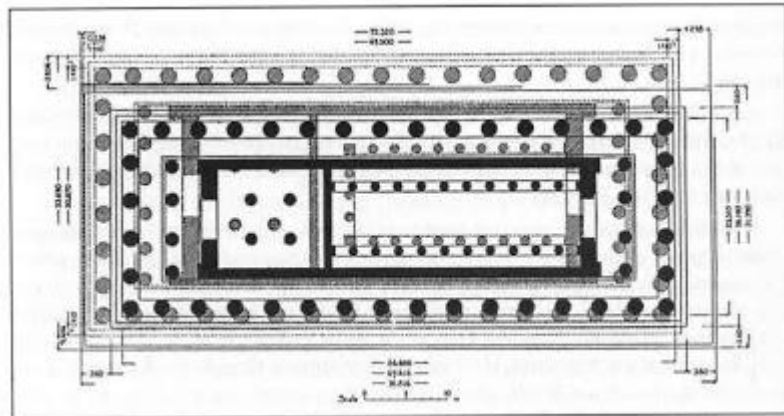
Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να αναφερθούμε σε ορισμένα πασίγνωστα αρχιτεκτονικά μνημεία και να σταθούμε σε ορισμένες ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες και πρωτοπόρες θα λέγαμε, κατασκευαστικές τεχνικές, οι οποίες εφαρμόστηκαν σε αυτά και έχουν πλέον καταγραφεί στον κατάλογο των παραδοσιακών αντισεισμικών τεχνικών. Σε πολλούς μπορεί να προκαλεί εντύπωση και να δημιουργεί πολλά ερωτήματα το γεγονός ότι πολλά από τα κλασικά, μεσαιωνικά και βυζαντινά μνημεία, αν και έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί αιώνες πριν, αν και ο φέρων οργανισμός τους στερείται υλικών τα οποία θα μπορούσαν να παραλάβουν εφελκυστικές δυνάμεις (μέταλλο, οπλισμένο σκυρόδεμα) και επί πλέον έχουν βιώσει πλήθος σεισμών, επιβιώνουν μέχρι και σήμερα. Η απάντηση σε όλα αυτά τα ερωτήματα έγκειται στην έννοια της αρχικής αρχιτεκτονικής σύνθεσης, στην χρήση δηλαδή απλών σχημάτων σε κάτοψη και όψεις, χάρει στα οποία το κτίριο κατά τη διάρκεια των σεισμών προσέλκυε λιγότερα σεισμικά φορτία. Σημαντικό ρόλο βέβαια διαδραμάτισε και η διαισθητική χρήση των υλικών, τα οποία, όπως είπαμε ήταν ικανά να αντιμετωπίσουν μόνο θλιπτικά φορτία, και οι τεχνίτες τα συμπεριλάμβαναν στο σώμα της κατασκευής με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτουν όσο το δυνατόν περιορισμένες εφελκυστικές και στρεπτικές τάσεις. Δεδομένο πάντως είναι ότι οι εμπνευσμένα απλές συνθετικές επιλογές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες προσέδωσαν στις ιστορικές κατασκευές αντισεισμικό χαρακτήρα.

Αναφορά σε ιστορική κατασκευή με αντισεισμική σύνθεση

Παρθενώνας



Εάν υποθέσουμε ότι
ένα κτίριο παρόμοιο με
τον Παρθενώνα
κτιζόταν σήμερα και
επιθυμούσαμε να
εφαρμόσουμε σε αυτό
τις σύγχρονες τεχνικές
αντισεισμικού
σχεδιασμού, οι



διαφορές του σε σχέση με τον αυθεντικό, θα αφορούσαν κυρίως το υλικό του, όπως αντικατάσταση των μη οπλισμένων λίθινων σηκών από ομοιογενή φέροντα τοιχία, δημιουργία ενός πιο ισχυρού και δύσκαμπτου διαφράγματος οροφής, κατασκευή των σπονδυλωτών μαρμάρινων κιόνων από ένα υλικό μεγαλύτερης αντίστασης στο σεισμό. Θα χρησιμοποιούσαμε επίσης ένα εναλλακτικό κατασκευαστικό σύστημα (π.χ. αντικατάσταση του συστήματος “δοκού επί στύλου” του περιστυλίου από πλαίσιακό φορέα.). Επί πλέον, θα επιδιώκαμε πιο αποτελεσματικές ως προς το σεισμό, κατασκευαστικές λεπτομέρειες (π.χ. συνδέσεις μεταξύ σηκού και οροφής). Παρ’ όλα αυτά, η αυθεντική γενική σύνθεση του μνημείου είναι αξιοθαύμαστα “αντισεισμική”. Μάλιστα, εάν κάποιος ήθελε να χτίσει μία κατασκευή του μεγέθους του Παρθενώνα, από το ίδιο υλικό και χωρίς την βοήθεια των σύγχρονων αντισεισμικών τεχνικών, δεν θα μπορούσε να εμπνευστεί πιο κατάλληλη σύνθεση από αυτή του Παρθενώνα.

Λύσεις

Στις μέρες μας γίνονται μεγάλες προσπάθειες να φτιαχτούν αντισεισμικές πόλεις. Αυτό φέρνει στο προσκήνιο ορισμένα προβλήματα.

Αρχικά οι σύγχρονες πόλεις είναι φτιαγμένες όχι από μικρά σπιτάκια και μονοκατοικίες αλλά από πολυόροφες πολυκατοικίες, και ουρανοξύστες. Συνεπώς το βάρος που δέχονται τα θεμέλια είναι τεράστιο. Ακόμη όσο ψηλότερο είναι κτίριο τόσο πιο εύκολο είναι να καταρρεύσει σε έναν σεισμό.

Έπειτα στις πόλεις εμφανίζονται δρόμοι, γέφυρες μεγάλης κλίμακας και υπόγειοι χώροι που απαιτούν διαφορετική μεταχείριση. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικοί τρόποι για να επιτευχθεί καλύτερη αντισεισμική προστασία σε κτίρια.

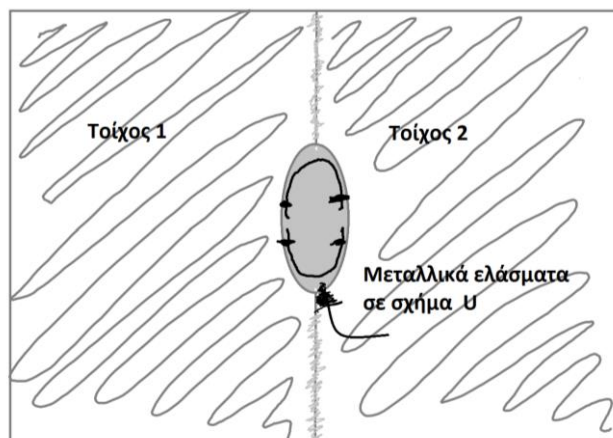
Συζεύξεις

Μετά τους σεισμούς που πραγματοποιήθηκαν στην Νέα Ζηλανδία παρατηρήθηκαν ότι μεγαλύτερη βλάβη είχαν υποστεί κτίρια των οποίων οι συνδέσεις ήταν πολύ σφιχτές, και υπήρχαν μεγάλα κομμάτια τσιμέντου ενωμένα.

Οι διορθώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν θα ήταν να είναι τα κτίρια φτιαγμένα από μικρότερα κομμάτια, και με ελαστικότερους δεσμούς. Με τον τρόπο αυτό, τα κύματα από τον σεισμό θα πρέπει να αλλάζουν μέσο πιο συχνά, και η ισχύς τους θα μειώνεται.

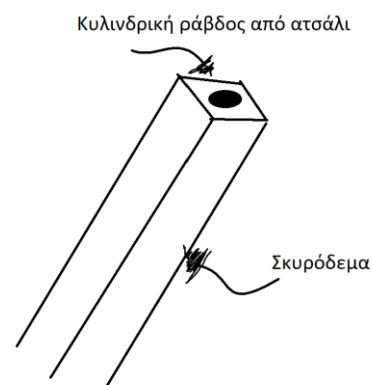
Ακόμη οι ελαστικότεροι σύνδεσμοι θα επιτρέπουν την σχεδόν ελεύθερη ταλάντωση των τοίχων, χωρίς να αυτοί να σπάνε.

Ένα παράδειγμα θα ήταν η χρήση μεταλλικών ελασμάτων για την ένωση των τοίχων. Τα μεταλλικά ελάσματα συγκρατούν ενωμένους τους τοίχους, και τους επιτρέπουν να ταλαντώνονται ξεχωριστά, καθώς λειτουργούν σαν ελατήριο.



Προτιμητέα υλικά

Κρίνοντας από ζημιές που παρατηρήθηκαν μετά τους σεισμούς, τα υλικά τα οποία είναι αρμοστά για την κατασκευή κτιρίων είναι ενισχυμένο με ατσάλι σκυρόδεμα.



Το υλικό επιλέχθηκε διότι:

1. Το σκυρόδεμα έχει μεγάλη αντοχή στη πίεση (σε περιπτώσεις έως 150-200 MPa), όπως επίσης δεν διαβρώνεται εύκολα με τον χρόνο.
2. Το ατσάλι έχει υψηλή ελαστικότητα (ανάλογα και με τις προσμίξεις)
3. Το σχήμα που επιλέχθηκε για το εμβόλιμο ατσάλι είναι για να μπορεί να παραμορφωθεί όσο χρειαστεί με την έξαρση του σεισμού, και έπειτα να επαναφερθεί στην αρχική του κατάσταση, παρασέρνοντας και το περιβάλλον σκυρόδεμα.

Βάσεις κτιρίων

Ένας από τους βασικότερους στόχους για να επιτευχθεί ένα επαρκώς αντισεισμικό κτίριο είναι η βάση του.

Αρχικά είναι η ιδέα της τοποθέτησης του κτιρίου πάνω σε κύβους υπερελαστικού υλικού, όπως είναι το καουτσούκ. Με τον τρόπο αυτό η ταλάντωση που το έδαφος θα προσπαθεί να μεταδώσει μέσω των κυμάτων θα σταματάει καθώς θα πρέπει να περάσει μέσα από σώμα με πολύ υψηλό b .

Για να μοιραστεί ίσα το βάρος του κτιρίου, θα πρέπει να τοποθετηθούν αρκετοί κύβοι καουτσούκ, σε συνδυασμό με σημεία όπου το κτίριο απλά θα εφάπτεται με το έδαφος χωρίς τριβές, ώστε σε περίπτωση σεισμού να μπορεί εύκολα να κινείται αδέσμευτο από το στήριγμα.

Μία αντίστοιχη τεχνική περιλαμβάνει την χρήση ρουλεμάν.

Μια υποσχόμενη τεχνική είναι τα υδραυλικά πιστόνια, τα οποία αντίστοιχα με τις σεισμικές τράπεζες, θα χρησιμοποιεί την ίδια τεχνική για να αναιρέσει την κίνηση που προκαλείται από τον σεισμό.



Βιβλιογραφία

1. Ελαστικότητα:
 - α. Britannica: <https://www.britannica.com/science/elasticity-physics>
 - β. Σημειώσεις μαθήματος: κεφάλαιο ελαστικότητας
2. Σεισμός στη Νέα Ζηλανδία
 - α. Χαρακτηριστικά σεισμού:

<http://www.precastnz.org.nz/precaster-and-seismic-issues/#damage>

α. Χαρακτηριστικά, Παρατηρήσεις:

<https://www.caee.utexas.edu/news/features/426-shake>

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication901.pdf>

<https://www.researchgate.net/publication/282163125> The Ultimate Anti-Seismic System

α. Ο οργανισμός:

<https://www.bosai.go.jp/e/research/project/social-infrastructure.html>

<https://www.bosai.go.jp/hyogo/ehyogo/research/movie/movie-detail.html>

6. Σεισμικές τράπεζες: <http://lee.civil.ntua.gr/trapeza.html>

7. Τι είναι σεισμός:

[Σεισμός - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](#)

*notes psyxarh teuxos 1.pdf (ntua.gr)

[«Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Διαστασιολόγηση Σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8 Αριθμητικά Παραδείγματα» - eBooks4Greeks.gr.pdf](#)

9.Σεισμικά κύματα:

Σεισμός - Βικιπαίδεια (wikipedia.org)

10.Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών:

*notes psyxarh teuxos 1.pdf (ntua.gr)

«Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Διαστασιολόγηση Σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8 Αριθμητικά Παραδείγματα» - eBooks4Greeks.gr.pdf

Βιβλίο Γεωλογίας: “Θεμελιώδεις έννοιες για μηχανικούς” Θ. Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, Εκδόσεις Τζιόλα ISBN 978-960-418-782-9

11. Σεισμική επικινδυνότητα, τρωτότητα και σεισμική διακινδύνευση:

[«Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Διαστασιολόγηση Σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8 Αριθμητικά Παραδείγματα» - eBooks4Greeks.gr.pdf](#)

12. Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των ιστορικών κατασκευών:

[*vivlion_seismoy-p.toyliatos m.pdf](#)