

ESDEP OE 17

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Διάλεξη 17.1 : Γενική Άποψη της σεισμικής συμπεριφοράς δομικών συστημάτων

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να δοθεί μέσω μελετών των ζημιών από σεισμό μια γενική άποψη των κυριότερων μορφών των σεισμικών βλαβών με κάποια επεξήγηση των μηχανισμών αστοχίας.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Τίποτα

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Καμία

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Δεν είναι δυνατός ο ικανοποιητικός σχεδιασμός κατασκευών ανθεκτικών σε σεισμό χωρίς κατανόηση των τρόπων με τους οποίους αυτές βλάπτονται από τους σεισμούς στην πράξη. Ο σχεδιασμός δεν είναι απλώς θέμα ανάλυσης, υπολογισμού και εφαρμογής κανονισμών. Μια πρακτική γνώση της συμπεριφοράς σε σεισμούς είναι αναγκαία.

Περιγράφονται οι κυριότερες μορφές των βλαβών βασισμένες σε μελέτες βλαβών από σεισμό μαζί με κάποια εξήγηση του μηχανισμού των αστοχιών.

1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΑΝΕΙΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

Οι διαφάνειες που παρουσιάζονται δεν περιορίζονται σε σιδηρές κατασκευές κτιρίων για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι πολλά από τα προβλήματα που οφείλονται σε σεισμούς είναι κοινά σε όλα τα είδη της κατασκευής. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν εικόνες κτιρίων από χάλυβα τα οποία να έχουν υποστεί σοβαρή ζημιά σε ένα σεισμό!

2. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΑ ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

Οι μηχανικοί είναι γενικά εξοικειωμένοι με στατικά φορτία τα οποία δρουν σε ελαστικές κατασκευές. Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία που έχουμε μάθει από επιθεωρήσεις ζημιών είναι η διαφορά στην εικόνα των βλαβών μεταξύ στατικών φορτίων εφαρμοζομένων σε μονή διεύθυνση και αυτών τα οποία οφείλονται σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Ακόμα ένα μάθημα είναι η αναγκαιότητα κατά τον σεισμικό σχεδιασμό να ληφθεί υπ' όψιν η συμπεριφορά του κυρίως δομικού συστήματος μετά την διαρροή.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 1 Το κτίριο Pino Suarez στην πόλη του Μεξικό ήταν ένα 21-όροφο κτίριο με σίδηρο σκελετό το οποίο κατασκευάστηκε περίπου το 1978. Υπέστη μερική κατάρρευση και σοβαρές ζημιές. Παρατηρήστε τους συνδέσμους ακαμψίας μορφής "Κ" των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην θλιπτική αντοχή των μελών - ένα σύστημα χωρίς την ολκιμότητα να απορροφήσει την ζημιά χωρίς κατάρρευση.

Μια σημαντική άποψη της μετασεισμικής μελέτης είναι η συνειδητοποίηση του σημαντικού ρόλου που παίζει η ποιότητα της κατασκευής. Οι σεισμοί δεν σέβονται θεωρίες, υπολογισμούς ή καταμερισμούς ευθυνών. Πολλές περιπτώσεις φτώχης ποιότητας κατασκευής είναι αμετάβλητα εκτεθειμένες σε κτίρια βλαμμένα από σεισμό. Κακώς τοποθετημένος οπλισμός, φτωχό συμπυκνωμένο σκυρόδεμα, ατελές κονίαμα σε τοιχοποιίες και χαλάρωση ή ελλιπής κοχλίωση σε σιδηρές κατασκευές είναι μερικά από τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα φτώχης ποιότητας.

Παρόλο που το κύριο αντικείμενο στον σχεδιασμό αντισεισμικών κτιρίων είναι η ασφάλεια των ενοίκων και των περαστικών, κάθε σεισμός δείχνει αρκετά παραδείγματα ζωνών σε κίνδυνο από μικρά προβλήματα κατά την κατασκευή- πεσμένες τοιχοποιίες ή επενδύσεις, αποκόλληση τμημάτων οροφής, αποκόλληση πλαισίων παραθύρων από τοίχους που γκρεμίζονται προς το εσωτερικό ή το εξωτερικό, μπλοκάρισμα των εξόδων κινδύνου από φρακαρισμένες πόρτες ή πεσμένες τοιχοποιίες. Συνήθως τέτοιου τύπου αστοχίες θα μπορούσε να έχουν αποφευχθεί με πολύ μικρό κόστος.

Μια σημαντική κατηγορία αστοχίας κτιρίου σε σεισμό είναι η περίπτωση κατά την οποία το κτίριο έχει τόσο πολύ βλαφθεί που πρέπει να κατεδαφισθεί, παρόλο που δεν έχει καταρρεύσει. Για τον ιδιοκτήτη και την ασφαλιστική εταιρεία το κόστος είναι ίδιο ανεξάρτητα αν το κτίριο καταρρεύσει ή κατεδαφιστεί. Για τους ενοίκους είναι η διαφορά μεταξύ ζωής και θανάτου.

Όπου δύο κτίρια είναι κοντά ή όπου υπάρχει αρμός διαστολής σ1 ένα κτίριο οι δύο πλευρές είναι πολύ πιθανόν να συγκρουστούν η μια με την άλλη κατά την διάρκεια ενός σεισμού. Σημαντική ζημιά στην κατασκευή μπορεί να συμβεί ιδιαίτερα όταν δύο επίπεδα διαφέρουν. Η αιτία βρίσκεται στην εγγύτητα των δύο κατασκευών και στην ευκαμψία των κτιρίων, συντελεστές οι οποίοι βρίσκονται μέσα στην δυνατότητα ελέγχου του μελετητή.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 2 Παρακείμενα κτίρια θα συγκρουστούν το ένα με το άλλο εκτός αν αφαιρεθεί ικανοποιητικός χώρος μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση στην πόλη του Μεξικό εμφανίστηκε η αστοχία ενός ολόκληρου ορόφου όταν δύο κτίρια διαφορετικού ύψους και δυναμικών ιδιοτήτων συγκρούστηκαν το ένα με το άλλο.

Μοντέρνα κτίρια συχνά κατασκευάζονται από πολλά διαφορετικά στοιχεία. Παλαιότερα κτίρια έχουν συνήθως ξύλινα πατώματα με δοκούς φτωχά συνδεδεμένους στους φέροντες τοίχους. Κάθε στέριση σύνδεσης σε ένα κτίριο είναι αμέσως εκτεθειμένη σε σεισμική δράση. Η φύση της σεισμικής κίνησης του εδάφους αναπόφευκτα οδηγεί σε διαφορετική μετακίνηση μεταξύ χωριστών στοιχείων, και με την απουσία δομικής συνέχειας θα εμφανιστεί διαφορετική μετακίνηση.

Μετασεισμοί γενικά αρκετά μικρότερου μεγέθους της κυρίως σεισμικής δόνησης που ακολουθούν, δεν παίζουν σαφή ρόλο στην διαδικασία σχεδιασμού. Παρόλα αυτά παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην άμεση μετασεισμική επιχείρηση διάσωσης και επιβίωσης. Η περαιτέρω ζημιά που δημιουργείται από μετασεισμικές δονήσεις σε κτίρια ήδη βλαμμένα είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα υποδείκνυε το μέγεθος τους. Ακολουθώντας μεγάλους σεισμούς πολλές κατασκευές έρχονται στο όριο κατάρρευσης από την κυρίως δόνηση και καταστρέφονται από τις ακολουθούμενες μικρότερες δονήσεις.

Συγκεντρώσεις δυνάμεων εμφανίζονται όπου υπάρχουν απότομες αλλαγές στην δομική ακαμψία ή κατανομή μάζας. Για αυτόν τον λόγο η μορφή του κτιρίου πρέπει να είναι κανονική και συμμετρική όσο επιτρέπουν οι απαιτήσεις λειτουργικότητας.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 3 Παρόλο που η διάτμηση ορόφου είναι συνήθως μεγαλύτερη στο ισόγειο, μεταβολές στην αντοχή, μάζα και ακαμψία μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία εμφανιζόμενη σε οποιαδήποτε στάθμη - σε αυτή την περίπτωση μια "top down" αστοχία στην πόλη του Μεξικό.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 4 Τελικά κάποια σιδηρά κατασκευή (χωρίς βλάβες) στο Λος Άντζελες - μια περιοχή με μεγάλη σεισμικότητα. Αυτό το συγκολλητό πλαίσιο θα πρέπει να εναρμονίζεται με την απαίτηση λειτουργικότητας του ιδιοκτήτη του κτιρίου, ότι δηλαδή θα πρέπει να υπάρχουν λιγότερα υποστυλώματα στο κατώτερο όροφο για αρχιτεκτονικούς λόγους. Αυτή η απαίτηση είναι συνηθισμένη σε ξενοδοχεία και κτίρια γραφείων όπου χρειάζεται περισσότερος χώρος σε αυτή τη στάθμη.

3. ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Τα αποτελέσματα της βίαιας κίνησης στο έδαφος είναι η αύξηση εγκάρσιων και καθέτων δυνάμεων προσωρινά, η διατάραξη της κοκκώδους ευστάθειας μη συνεκτικών εδαφών και η επιβολή παραμορφώσεων στο υλικό επιφανείας όπου το επίπεδο του ρήγματος φθάνει στην επιφάνεια. Μια μεταβατική αύξηση στις εγκάρσιες και κάθετες δυνάμεις θέτει κάθε εδαφική δομή σε κίνδυνο μετακίνησης. Οι τύποι των ζημιών είναι ολισθήσεις εδάφους και κατολισθήσεις. Η εμπειρία από τον σεισμό του 1970 στο Περού και το σεισμό του Anchorage στην Αλάσκα το 1964 δείχνουν ότι αυτός ο τύπος ζημιάς μπορεί να είναι μαζικής κλίμακας. Ένα χωριό, το Yungay, στο Περού καταστράφηκε σχεδόν παντελώς με τον χαμό 18000 ψυχών λόγω ροής ερειπίων που περιελάμβανε δεκάδες εκατομμύρια τόνους βράχου και πάγου.

Η διαταραχή της κοκκώδους δομής των εδαφών οδηγεί σε συμπύκνωση τόσο του ξηρού όσο και του κορεσμένου υλικού και οφείλεται στην πυκνότερη τακτοποίηση των κόκκων. Για κορεσμένες άμμους η πίεση των πόρων μπορεί να αυξηθεί με την κίνηση σε σημείο όπου υπερβαίνει την πίεση εδάφους με αποτέλεσμα παροδική ρευστοποίηση. Αυτό είναι ένα σημαντικό αποτέλεσμα. Μπορεί να οδηγήσει σε μαζική αστοχία της θεμελίωσης, στην κατάρρευση των πρανών, επιχώσεις και φραγή νερών. Μπορεί να δημιουργήσει το φαινόμενο του βρασμού όπου ρευστοποιημένη άμμος ρέει προς τα πάνω σε επιφανειακούς θύλακες. Είναι επίσης δυνατόν μερικά ασταθή εδάφη να διογκωθούν.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 5 Σοβαρή εδαφική αστοχία μπορεί να συμβεί ειδικότερα σε κοκκώδη εδάφη τα οποία είναι κορεσμένα. Σε αυτή την περίπτωση η εδαφική αστοχία προξένησε την κατάρρευση μιας σειράς γερανών αποβάθρων στην Vina del Mar στην Χιλή.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 6 Η καθίζηση των θεμελιώσεων οφειλόμενη σε ρευστοποίηση ή στερεοποίηση του φέροντος εδάφους μπορεί να εμφανισθεί. Σε αυτό το κτίριο της πόλης του Μεξικό σχεδόν όλο το ισόγειο εξαφανίστηκε κάτω από το επίπεδο του δρόμου. Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι τι κτίριο δεν υπέστη ολική κατάρρευση παρόλη αυτή την καθίζηση.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 7 Αυτό το κτίριο στην πόλη του Μεξικό υπέστη ανατροπή εκ θεμελίων, μάλλον οφειλόμενη σε αστοχία του φέροντος εδάφους.

Διατμητικές μετακινήσεις στο έδαφος μπορεί να είναι στην επιφάνεια ή ολοκληρωτικά κάτω από αυτήν. Όπου το σεισμικό ρήγμα φθάνει την επιφάνεια, μόνιμες μετακινήσεις σημαντικού μεγέθους, σε μέτρα περισσότερο παρά σε εκατοστά, μπορούν να εμφανισθούν. Επιφανειακές διατμητικές μετακινήσεις μπορούν επίσης να λάβουν χώρα σαν αποτέλεσμα άλλων εδαφικών μετατοπίσεων - ολίσθηση γαιών ή στερεοποίηση για παράδειγμα. Υπεδαφικές διατμητικές μετακινήσεις μπορούν να εμφανισθούν σε ασθενή στρώματα, που οδηγούν σε ζημιά των εντός του εδάφους κατασκευών. Οι υπεδαφικές διατμητικές μετακινήσεις επίσης ελαττώνουν την μετάδοση της κίνησης του εδάφους προς την επιφάνεια, τοποθετώντας αποτελεσματικά ένα άνω όριο στην επιφανειακή κίνηση.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πιο θεαματικές μόνιμες μετατοπίσεις του εδάφους οι οποίες μπορούν να προέλθουν από την κίνηση του εδάφους, δεν πρέπει να λησμονείται ότι

μπορούν να εμφανισθούν ελαστικές μετατοπίσεις. Είναι κρίσιμες στην σχεδίαση πασσάλων, υπόγειων αγωγών ύδατος και κατασκευές αγωγών αποχέτευσης. Ζημιές σε υπόγειους αγωγούς και σωληνώσεις είναι συνήθεις σε σεισμούς και έχουν πολλές περιπλοκές για τα συνεργεία διάσωσης.

4. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η φύση της κίνησης του εδάφους εξαρτάται ουσιαστικά από το υπέδαφος που βρίσκεται κάτω από την συγκεκριμένη θέση. Μαλακά εδάφη τείνουν να ταλαντώνονται σε χαμηλότερη συχνότητα από τις τοποθεσίες με σκληρά εδάφη αλλά συνήθως έχουν υψηλότερη τιμή επιτάχυνσης.

Γενικές ενδείξεις για την επίδραση του εδάφους στην θεμελιώδη περίοδο της επιφανειακής κίνησης μπορεί κάποιος να δει στο Σχήμα 1. Η σημαντικότητα της περιόδου στην πράξη είναι η αυξανόμενη πιθανότητα βλάβης εκεί όπου η περίοδος του κτιρίου είναι κοντύτερα σε αυτήν του εδάφους. Για μικρό εύρους δονήσεις, αρκετά μεγάλες μεγεθύνσεις είναι δυνατές. Σε πολύ μαλακό έδαφος, για παράδειγμα, μεγεθύνσεις μεγαλύτερες του 20 έχουν καταγραφεί στην λάσπη του κόλπου του Σαν Φρανσίσκο. Όμως αυτό το αποτέλεσμα ξεπερνιέται γρήγορα από την διαρροή των μαλακών εδαφών καθώς μεγαλώνει η ένταση, έτσι ώστε, για ισχυρή δόνηση, οι κορυφές επιταχύνσεων κανονικά ελαττώνονται κατά την διάδοση τους μέσω των ανωτέρων στρωμάτων του εδάφους.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στρώματα του υπεδάφους σαν ένα δυναμικό σύστημα, είναι σαφές ότι οι επιφανειακές αποκρίσεις θα τροποποιηθούν αν κάποια άλλη κατασκευή προστεθεί στο ανώτερο στρώμα. Η αλληλεπίδραση της κατασκευής και του φέροντος εδάφους κατατάσσεται σε δύο κατηγορίες. Τα κτίρια γενικά είναι ελαφριά σε σχέση με την μάζα του υποστηρίζοντα εδάφους και σχετικά εύκαμπτα. Έτσι η προσθήκη του κτιρίου δεν επηρεάζει την επιφανειακή κίνηση του εδάφους σημαντικά. Όμως η τοπική ευκαμψία του εδάφους όπου ευρίσκεται σε επαφή με την θεμελίωση μπορεί να μεταβάλλει την απόκριση του κτιρίου. Τα αποτελέσματα αυτής της τοπικής ευκαμψίας είναι η τροποποίηση των τρόπων ταλάντωσης, χαμηλότερες φυσικές συχνότητες και δημιουργία επιπρόσθετης απόσβεσης μέσω της απορρόφησης ενέργειας στο περιβάλλον έδαφος. Παρόλο που μπορεί να εμφανισθεί μια αύξηση στην απόκριση, το γενικό αποτέλεσμα είναι να παραχθεί μια μείωση στην τέμνουσα βάση. Πασσαλοειδείς θεμελιώσεις, σε σύγκριση με υπόγειες θεμελιώσεις έχουν γενικά μικρότερη επίδραση στις μορφές ταλάντωσης και στις συχνότητες αλλά παράγουν λιγότερα αποτελέσματα απόσβεσης.

Ο δεύτερος τύπος αλληλεπίδρασης κατασκευής εδάφους που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι όπου η κατασκευή είναι συμπαγής και άκαμπτη. Σε αυτή την περίπτωση η κατασκευή γίνεται ένα σημαντικό στοιχείο στο δυναμικό σύστημα που αναπαριστάται από το υπέδαφος και την κατασκευή. Προκαλεί δε η κατασκευή αυτή την τροποποίηση της επιφανειακής κίνησης του εδάφους στην γειτονιά της.

5. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Οι αστοχίες της θεμελίωσης κτιρίων σε σεισμό δεν είναι ασυνήθιστες αλλά σχεδόν πάντα οφείλονται σε αστοχία του φέροντος εδάφους. Αστοχίες ανατροπής λόγω ανύψωσης εμφανίζονται σπάνια, αρκετά σπανιότερα απ' ότι προτείνουν οι υπολογισμοί. Αυτή η σπανιότητα οφείλεται πιθανόν στην αποτελεσματική μείωση της ακαμψίας που συνοδεύει την ανύψωση, η οποία αντίστοιχα μειώνει την δύναμη που ασκείται από την επιτάχυνση του εδάφους. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι σημαντικός εφελκυσμός από δυνάμεις ανατροπής μπορεί να αναπτυχθεί στο επίπεδο θεμελίωσης. Η εξέταση κάποιων κατωτέρων υποστυλωμάτων που αστόχησαν στο Caracas, στον σεισμό του 1967, έδειξε ότι αστόχησαν σε εφελκυσμό λόγω της έντασης που προήλθε από τον συνδυασμό δυνάμεων ανατροπής και κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους.

Περιπτώσεις αστοχίας σε πασσάλους έχουν αναφερθεί. Γενικά, οι πάσσαλοι τείνουν να συμμορφώνονται με τις μετατοπίσεις του εδάφους και είναι τρωτοί σε σημεία όπου γειτονικά στρώματα εδάφους έχουν αξιοσημείωτα διαφορετικές ιδιότητες. Μερικές διατάξεις που περιλάμβαναν πασσάλους αστόχησαν στο κάτω μέρος του κεφαλόδεσμου.

6. Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟ ΣΚΕΛΕΤΟ

Γενικά οι χαλύβδινοι πλαισιωτοί φορείς είναι τεχνολογικές κατασκευές ικανές να αντισταθούν στα φορτία βαρύτητας και στα φορτία ανέμου. Στην γνωστή διαδικασία του σχεδιασμού, δίνεται προσοχή στις εντάσεις πριν να ληφθούν υπ' όψιν οι μετακινήσεις. Τα δευτερεύοντα αποτελέσματα της μετατόπισης συχνά λησμονούνται. Η ζημιά από σεισμό συχνά εφιστά την προσοχή στα άμεσα αποτελέσματα των μεγάλων μετατοπίσεων, όπως η σύγκρουση στους κόμβους και η ζημιά σε μη δομικά στοιχεία και περιεχόμενα, καθώς και στα φαινόμενα δευτέρας τάξεως που δημιουργήθηκαν από τις μεγάλες παραμορφώσεις.

Κτίρια με διατμητικά τοιχώματα ή πλαίσια με συνδέσμους ακαμψίας, όσον διατηρούν την ακεραιότητα τους, συγκρίνονται ευνοϊκά σε απόδοση με πιο εύκαμπτους πλαισιωτούς φορείς σε ότι αφορά τη ζημιά στα περιεχόμενα και σε μη δομικά στοιχεία. Ιδιαίτερα σημεία που αποκαλύπτονται για πλαισιωτούς φορείς είναι:

- I. Γωνιακά υποστλώματα συχνά συμπεριφέρονται κακώς σε σχέση με άλλα εσωτερικά και εξωτερικά υποστλώματα. Αυτή η συμπεριφορά υποδεικνύει ότι τα αποτελέσματα των σεισμικών δυνάμεων σε ορθογώνιες κατευθύνσεις δεν έχουν επαρκώς μελετηθεί κατά τον σχεδιασμό.
- II. Πλήρης αστοχία μελών που έχουν διαστασιολογηθεί για ολκιμότητα είναι σπάνια. Οπου μέλη με χαμηλή ολκιμότητα έχουν αστοχήσει είναι προφανές ότι η αστοχία είναι γρήγορη. Αυτή η συμπεριφορά είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη σε μέλη από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- III. Η μέγιστος δυνατή υπερστατικότητα αποδεικνύεται ότι είναι επιθυμητή. Ο μηχανισμός αστοχίας πρέπει να περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερα μέλη, παρέχοντας εναλλακτικούς δρόμους διαδρομής των φορτίων όταν ένα μέλος διαρρέει ή αστοχεί.
- IV. Οπου εμφανισθεί διαρροή στα υποστλώματα πριν από τις δοκούς, η αστοχία του πλαισίου είναι πιο πιθανή. Αυτό το σημείο απεικονίζεται στο Σχήμα 2 το οποίο δείχνει τον αριθμό των πλαστικών αρθρώσεων οι οποίες χρειάζονται για την αστοχία στις δύο περιπτώσεις όπου η διαρροή σημειώνεται στα υποστλώματα ή στις δοκούς.

Οι κατασκευές από χάλυβα δείχνουν τους ακόλουθους τύπους βλαβών από σεισμό :

- I. Ψαθυρή αστοχία των κοχλιών σε διάτμηση ή εφελκυσμό.
- II. Ψαθυρή αστοχία συγκολλήσεων, ιδιαίτερα εξωραφών, σε διάτμηση ή εφελκυσμό.
- III. Λυγισμός μέλους, συμπεριλαμβανομένου στρεπτικού λυγισμού.
- IV. Τοπικός λυγισμός κορμού και πέλματος.
- V. Ανύψωση πλαισίων με διαγώνιους συνδέσμους.
- VI. Τοπική αστοχία στοιχείων σύνδεσης όπως κλαπών και ταυ.

VII. Ολίσθηση κοχλιών.

VIII. Μεγάλες παραμορφώσεις σε πλαίσια χωρίς διαγώνιους συνδέσμους.

IX. Αστοχία συνδέσεων μεταξύ χαλύβδινων μελών και άλλων στοιχείων του κτιρίου, όπως δάπεδα.

X. Αγκυρώσεις μελών σε τοιχοποιίες ή σκυρόδεμα με απευθείας ενσωμάτωση ή με διογκούμενα βλήτρα είναι σχεδόν κατά κανόνα ψαθυρές σε διάτμηση και εφελκυσμό. Έτσι αδυνατούν να ακολουθήσουν κάθε μετακίνηση. Επομένως οι αστοχίες είναι κοινός τύπος επιδεινούμενες όταν η τοιχοποιία ή το σκυρόδεμα μέσα στο οποίο υπάρχουν οι αγκυρώσεις έχει επίσης πάθει ζημιά.

XI. Αρκετές αστοχίες εμφανίζονται σε οριζόντια στρέψη, ειδικότερα σε κατασκευές όπου το κέντρο μάζας και αντοχής βρίσκονται σε κάποια απόσταση σε κάτοψη, ή όπου η ενυπάρχουσα στρεπτική αντοχή του συστήματος είναι χαμηλή. Μια συνηθισμένη περίπτωση τρωτής σε στρέψη κατασκευής είναι εκεί όπου τα κτίρια έχουν τοποθετηθεί σε γωνίες οδών.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 8 Αυτό το κτίριο της πόλης του Μεξικό υπέστη αστοχία των υποστυλωμάτων του ισογείου λόγω του εύκαμπτου πρώτου ορόφου και των επιδράσεων της οριζόντιας στρέψης.

7. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ

Οι πλάκες δαπέδων λειτουργούν σαν διαφράγματα στην μεταφορά οριζοντίων δυνάμεων. Το Σχήμα 3 δείχνει δύο δυνατές διατάξεις δαπέδου. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει μικρή διαφραγματική δράση αλλά στην δεύτερη είναι σαφώς σημαντική. Η μεταφορά της διάτμησης σε κάθε τοίχο επιβάλλει υψηλές τάσεις στην πλάκα. Μερικά πλήρως ή μερικώς προκατασκευασμένα συστήματα δαπέδων έχουν πολύ μικρή αντοχή σε οριζόντια διάτμηση ή κάμψη.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 9 Τα οριζόντια διαφράγματα δεν είναι πάντα άκαμπτα στοιχεία ικανά για κατανομή δυνάμεων μεταξύ πλαισίων. Σε αυτό το σχολείο στο Anchorage μια οπλισμένη πλάκα από σκυρόδεμα σχίστηκε σαν κομμάτι από χαρτόνι.

8. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Τα προσαρτήματα στα κτίρια - παραπέτα από τοιχοποιία, δώματα, δεξαμενές οροφής, επενδύσεις και πρόβολοι - τείνουν να συμπεριφέρονται κακώς σε σεισμούς. Οι αιτίες για αυτό είναι διπλές. Πρώτον πολλά από αυτά έχουν σχεδιαστεί χωρίς καθόλου ολκιμότητα και δεύτερον τα αποτελέσματα των δυναμικών ενισχύσεων στο κτίριο στο οποίο είναι προσαρτημένα μπορεί να αυξήσει τις δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αυτά.

Το Σχήμα 4 δείχνει την επίδραση της δυναμικής απόκρισης του κτιρίου στο φάσμα απόκρισης, συγκρίνοντας το φάσμα του ισογείου με αυτό του πέμπτου ορόφου. Οι μέγιστες τιμές είναι και οι δυο ενισχυμένες και μετακινημένες ως προς την συχνότητα.

Τα περιεχόμενα ενός κτιρίου συνήθως υφίστανται μεγάλη ζημιά ακόμη και αν το ίδιο το κτίριο δεν έχει σχετικά βλαβεί. Αυτό το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο στα πιο εύκαμπτα κτίρια. Αποτελεί ένα πρόσθετο λόγο για τον μελετητή να ασκήσει μεγαλύτερο έλεγχο στις μετακινήσεις. Σε πολλά μοντέρνα κτίρια τα περιεχόμενα είναι μεγαλύτερης αξίας από το ίδιο το κτίριο. Το κόστος πρόληψης των ζημιών είναι πολλές φορές ασήμαντο, για παράδειγμα, η χρησιμοποίηση ατσάλινων γωνιακών συνδέσεων στα υψηλότερα ντουλάπια και επιδαπέδιων ήλων στα ράφια.

Σε κάθε επίπεδο σε ένα πολυόροφο κτίριο η κίνηση του εδάφους θα τροποποιηθεί από την κίνηση του ίδιου του κτιρίου. Γενικά το αποτέλεσμα είναι η συγκέντρωση της συχνότητας απόκρισης γύρω από μια ζώνη κοντά στην φυσική συχνότητα του κτιρίου και η ενίσχυση του μέγιστου της επιτάχυνσης σε αναλογία με το ύψος, φθάνοντας μια ενίσχυση ίσως δύο ή τρία το επίπεδο οροφής.

Κάθε περιεχόμενο το οποίο είναι είτε πολύ άκαμπτο ή το οποίο έχει φυσική συχνότητα πολύ κοντά σε αυτήν του κτιρίου υπόκειται σε μεγαλύτερες δυνάμεις από το αν είχε τοποθετηθεί στο επίπεδο του εδάφους.

Η εμπειρία δείχνει ότι μη δομικά στοιχεία τα οποία κρέμονται όπως συστήματα οροφών ή φωτιστικά σώματα συμπεριφέρονται κακώς. Προσαρτήματα όπως παραπέτα και μηχανικές εγκαταστάσεις επίσης υπόκεινται σε υψηλά επίπεδα ζημιών, ειδικότερα όπου λειτουργούν σαν μονοβάθμια ανεστραμμένα εκκρεμή. Η ζημιά αυξάνεται σε πολυόροφα κτίρια πηγαίνοντας προς την οροφή. Δεξαμενές οροφής και δώματα υπόκεινται επίσης σε μεγάλες δυνάμεις.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 10 Όλα αυτά τα πάνω επένδυσης έπεσαν κατά την διάρκεια του σεισμού στο Vino del Mar της Χιλής δημιουργώντας ένα μεγάλο κίνδυνο σε κάθε ένοικο που έτρεξε για ασφάλεια μακριά από το κτίριο. Η επένδυση πρέπει να συνδεθεί με όλκιμους συνδέσμους ικανούς σε ουσιαστική παραμόρφωση χωρίς θραύση.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 11 Αυτές οι μπαταρίες αποτελούν μέρος του συστήματος ανάγκης ενέργειας σε ένα νοσοκομείο στην Καλιφόρνια το 1972. Κατά την διάρκεια ενός σεισμού οι μπαταρίες έπεσαν από τις βάσεις τους και δεν λειτούργησαν όταν χρειάστηκε. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα αθηνείς που βρίσκονταν σε μονάδες υποστήριξης ζωής να πεθάνουν. Τα περιεχόμενα των κτιρίων είναι συχνά μεγάλης σπουδαιότητας και μπορούν να προστατευθούν με περιορισμό των μετακινήσεων και

με απλά φθηνά μέσα. Σε αυτή την περίπτωση οι μπαταρίες θα μπορούσαν να είχαν δεθεί ή πριτσινωθεί στις βάσεις τους, οι οποίες θα έπρεπε να έχουν βιδωθεί στο δάπεδο.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 12 Τελειώματα επιφανειών επίσης παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο όταν πέσουν όπως στην περίπτωση του κτιρίου στην πόλη του Μεξικό.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 13 Η εμπειρία σε προσαρτήματα σε κτίρια όπως αυτή η δεξαμενή νερού στη πόλη του Μεξικό είναι ότι συμπεριφέρονται κακώς στην περίπτωση σεισμού. Η ανάλυση της δυναμικής απόκρισης επίσης υποστηρίζει αυτή την εμπειρία. Υπάρχει πράγματι μεγάλη ασυνέχεια στην σύνδεση του κτιρίου και της δεξαμενής με επακόλουθο την συγκέντρωση υψηλής έντασης.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 14 Αυτό το κτίριο της πόλης του Μεξικό δείχνει το εύθραυστο συνεχών συστημάτων υαλοπετασμάτων. Τα συστήματα αυτά δεν μπόρεσαν να παρακολουθήσουν την διαφορετική μετακίνηση των ορόφων με τους οποίους ήταν συνδεδεμένα.

9. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η αστοχία της μη οπλισμένης τοιχοποιίας είναι τόσο κοινή που λαμβάνεται σχεδόν σαν δεδομένη και ξεχνιέται. Πολλοί αντισεισμικοί κανονισμοί απαγορεύουν την χρησιμοποίηση αόπλων τοιχοποιιών ολοκληρωτικά. Παρόλα αυτά οικονομικοί λόγοι υπαγορεύουν ακόμα την χρήση τους για χαμηλού ύψους τοίχους και σαν πλήρωση σε πλαισιακές κατασκευές.

Οι αστοχίες και των (οπλισμένων και των αόπλων τοιχοποιιών στο επίπεδο τους είναι συνηθισμένες. Η τοιχοποιία είναι πολύ άκαμπτη και εύθραυστη έτσι ώστε οι δυνάμεις που μεταδίδονται με την κίνηση του εδάφους είναι υψηλές και συνοδεύονται από μια αξιοσημείωτη μείωση στην αντοχή και την ακαμψία. Η βλάβη φυσιολογικά συμπεριλαμβάνει είτε κατάρρευση είτε διαγώνια διάρρηξη και κατά τις δύο διευθύνσεις("X" διάρρηξη). Οι ρωγμές συνήθως συγκεντρώνονται γύρω από τα ανοίγματα. Η ρωγμή θα ακολουθήσει συχνά τους αρμούς του σοβά.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 15 Η τυπική ρωγμή "X" της τοιχοποιίας στο σχολείο του Anchorage της Αλάσκα δείχνει την επίδραση των αντίστροφων οριζόντιων διατμητικών δυνάμεων κατά την διάρκεια του σεισμού. Οι διατμητικές τάσεις έχουν συγκεντρωθεί απέναντι από τα ανοίγματα των παραθύρων.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 16 Οπου η τοιχοποιία σφηνώνεται σε ένα υποστύλωμα, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκέντρωση της διάτμησης σε ένα μικρό μήκος έτσι ώστε το μέλος μπορεί να αστοχήσει σε διάτμηση (ψαθυρή αστοχία) αντί να καμφθεί (πλάστιμη αστοχία). Αυτή η συμπεριφορά γενικά αναφέρεται σαν το πρόβλημα του κοντού υποστυλώματος.

Οι πλήρεις επιπτώσεις της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας πλήρωσης πλαισίων είναι πολύπλοκες. Η αστοχία των τοίχων εκτός επιπέδου είναι συνήθης και δημιουργεί σημαντικές δευτερεύουσες ζημιές.

Τα Σχήματα 5 μέχρι 7 αναπαριστούν την αλληλεπίδραση τοιχοποιίας πληρώσεως και πλαισίου στο επίπεδο τους. Το Σχήμα 5 δείχνει την αλληλεπίδραση της άθικτης τοιχοποιίας με το πλαίσιο. Η τοιχοποιία δρα σαν μια διαγώνια ζώνη πίεσης στην κατεύθυνση του βέλους, με αποτέλεσμα μια ουσιώδη δυσκαμψία του πλαισίου και επανακατανομή των ροπών κάμψης και διατμήσεων στο πλαίσιο. Το Σχήμα 6 δείχνει την επίδραση του οριζόντια διατεμνόμενου πλαισίου και συνοδεύει την επαναδιάταξη των δυνάμεων του πλαισίου. Από την στιγμή που το πλαίσιο έχει διατμηθεί η επίδραση της διαγώνιας ζώνης πίεσης χάνεται. Το Σχήμα 7 δείχνει την κατάσταση όπου η τοιχοποιία δεν καταλαμβάνει όλο το πλαίσιο, έχοντας σαν αποτέλεσμα υψηλές διατμητικές δυνάμεις στο μη υποστηριζόμενο τμήμα του υποστυλώματος.

Η ανακατανομή στο επίπεδο των δυνάμεων σε κάτοψη, εξαιτίας της επίδρασης της ακαμψίας της τοιχοποιίας πλήρωσης, είναι επίσης ένα επακόλουθο. Το πλαίσιο μπορεί να γίνει άκαμπτο οδηγούμενο σε υψηλότερες δυναμικές εντάσεις και μπορεί να προκύψει τυχηματική εκκεντρότητα που να οδηγήσει σε υψηλές στρεπτικές δυνάμεις.

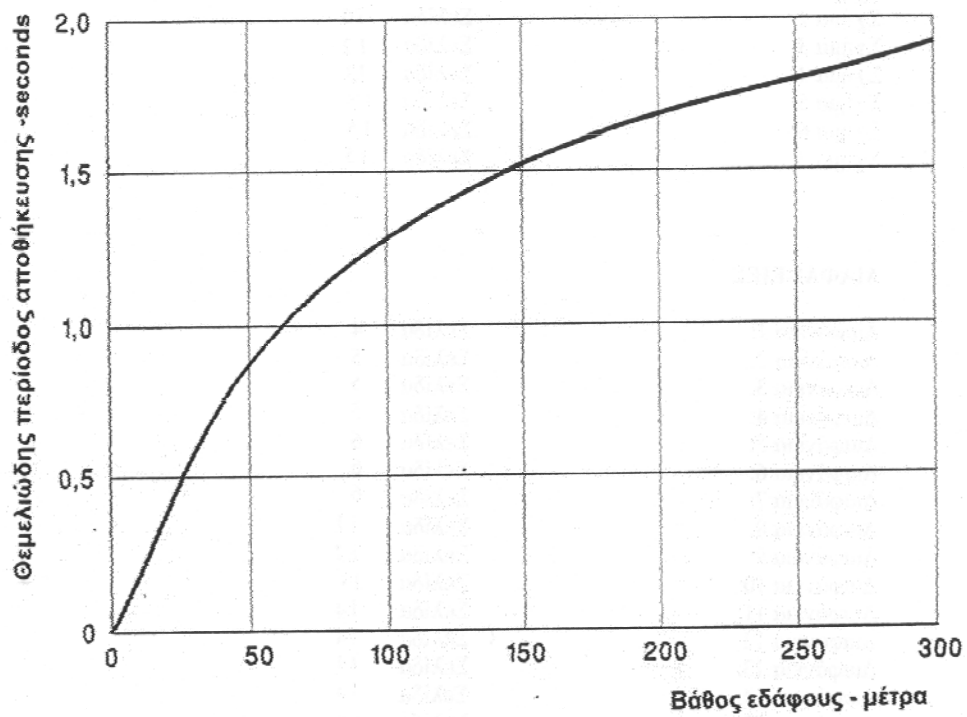
Μερικά στοιχεία μπορεί να αστοχήσουν λόγω της σχετικής μετατόπισης των ορόφων. Τα παράθυρα και τα στοιχεία επενδύσεων είναι συχνά συνδεδεμένα άκαμπτα σε περισσότερους από ένα ορόφους και αν δεν υπάρχει πλάσטיμη πρόβλεψη για σχετική μετακίνηση στις συνδέσεις, μπορεί να αστοχήσουν.

10. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

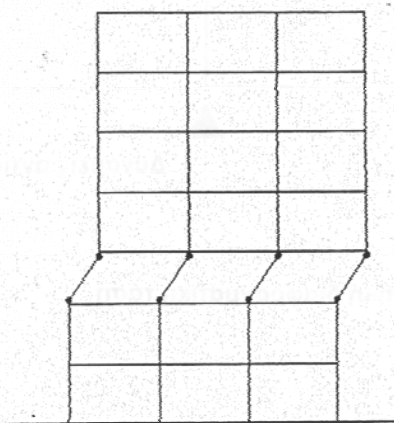
Οι κατασκευές δεξαμενών από χάλυβα είναι μια ειδική περιοχή που εξετάζεται στην διάλεξη 17.6. Υποφέρουν από αστοχία πίεσης στα τοιχώματα της δεξαμενής (συμπεριλαμβάνοντας και τον λυγισμό «ελεφαντόποδο») και από σχίσσιμο στον αρμό τοίχου – δαπέδου.

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

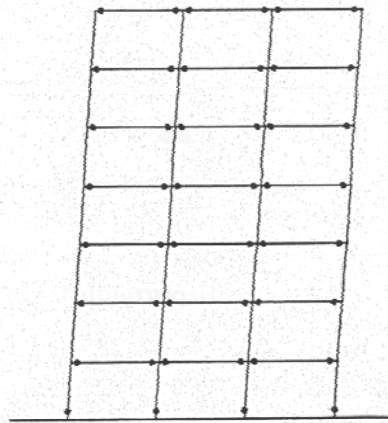
- Μορφές αστοχίας σαν αποτέλεσμα εφαρμογής στατικών φορτίων σε μια διεύθυνση διαφέρουν από εκείνες που οφείλονται σε σεισμική φόρτιση.
- Γειτονικές κατασκευές μπορούν να συγκρουσθούν μεταξύ τους εκτός αν έχει αφεθεί ικανοποιητικός χώρος μεταξύ τους.
- Η συμπεριφορά του κυρίου φέροντος συστήματος μετά την διαρροή πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν.
- Φτωχός σχεδιασμός και φτωχή ποιότητα κατασκευής είναι μονίμως εκτεθειμένα στον σεισμό.
- Μικρότερα σφάλματα στην κατασκευή μπορεί να δημιουργήσουν κίνδυνο σε ζώες – πεσμένες τοιχοποιίες, παράθυρα κλπ.
- Η αλληλεπίδραση εδάφους – κατασκευής παίζει ένα σημαντικό ρόλο.
- Κατασκευές με διατμητικούς τοίχους ή πλαίσια με διαγώνιους συνδέσμους συμπεριφέρονται ικανοποιητικά.



ΣΧΗΜΑ 1 Σχέση μεταξύ της φυσικής περιόδου του εδάφους και του βάθους προσχώσεων (κατά Seed , 1970)



Τοπική αστοχία υποστυλωμάτων
διαρρεόντων πριν από τις δοκούς



Καθολική αστοχία δοκών
διαρρεόντων πριν από τα
υποστυλώματα

ΣΧΗΜΑ 2 Τρόποι αστοχίας πλαισίου

ESDEP OE 17

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Διάλεξη 17.2 : Εισαγωγή στον Σεισμικό Σχεδιασμό – Σεισμική Επικινδυνότητα και Σεισμικός Κίνδυνος

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΠΑ ΤΟΝ ΔΟΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Το γεγονός ότι, για μια δεδομένη σεισμική πηγή και τοποθεσία, δεν έχουν παρατηρηθεί σεισμοί με μέγεθος, ένταση, ή κορυφή επιτάχυνσης εδάφους μεγαλύτερης από κάποιες συγκεκριμένες τιμές, δεν σημαίνει ότι μεγαλύτερες τιμές δεν θα παρατηρηθούν στο μέλλον. Έτσι, οι μέγιστες δυνατές ή πιθανές τιμές έχουν παραχθεί ή είναι παραγόμενες με μια πιθανοτική προσέγγιση. Επιπλέον, αν κάποιος εξάγει πιθανοτικά μέγιστες τιμές για σεισμούς που μπορεί να συμβούν κατά την διάρκεια μιας μελλοντικής χρονικής περιόδου, οι τιμές θα διαφέρουν από εκείνες που σχετίζονται με μια διαφορετική χρονική περίοδο. Η περίοδος επαναφοράς ενός σεισμού με δεδομένα χαρακτηριστικά, μπορεί να ορισθεί σαν το αντίστροφο της ετήσιας πιθανότητας εμφάνισης του συμβάντος. Όσο μεγαλύτερο το σεισμικό γεγονός, τόσο μεγαλύτερη η αντίστοιχη περίοδος επαναφοράς όπως δείχνεται από την επαναληπτική σχέση που έχει ήδη παρουσιασθεί.

Αν ο σεισμός για τον οποίο πρέπει να σχεδιασθεί η κατασκευή και η περίοδος επαναφοράς είναι γνωστά, και αν η περίοδος για την οποία σχεδιάζεται η κατασκευή είναι επίσης γνωστή, η πιθανότητα να υποστεί η κατασκευή σεισμό κατά την διάρκεια της ζωής της μπορεί να ορισθεί. Η εκτίμηση αυτής της πιθανότητας είναι θέμα εκτίμησης της παραμέτρου του σεισμικού κινδύνου. Για να εκτιμηθεί ο καθολικός σεισμικός κίνδυνος, θα πρέπει κάποιος να συνδυάσει αυτό τον τύπο της πληροφορίας με την πληροφορία που αφορά την μονή πιθανότητα κατάρρευσης ή δυσλειτουργίας της κατασκευής αν σχεδιασθεί σύμφωνα με ορισμένα επίπεδα και σταθερές αντίστασης και πλαστιμότητας.

Για αυτούς τους λόγους, η εκτίμηση του φάσματος απόκρισης για λόγους σχεδιασμού πρέπει να περιλαμβάνει μια πιθανοτική μελέτη των σεισμικών εμφανίσεων. Η μελέτη θα πρέπει να ορίζει την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και να λαμβάνει υπ' όψιν τη μορφή του φάσματος, για κάθε σεισμική πηγή και για κάθε διαφορετικό είδος εδάφους. Αυτός ο ορισμός συνήθως πραγματοποιείται από στατιστικά μέσα. Το φάσμα που χρησιμοποιείται για λόγους σχεδιασμού και το φάσμα που παρουσιάζεται από κανονισμούς είναι συνήθως τα εξομαλημένα γραφήματα των μέγιστων αξιόπιστων τιμών του αντίστοιχου φάσματος, για συγκεκριμένο επίπεδο αποδοχής διακινδύνευσης, στα όρια του σεισμικού κέντρου και των τοπικών εδαφικών συνθηκών, πραγματοποιόμενο από διαφορετικούς σεισμούς.

Τα διαφορετικά επίπεδα αποδοχής του σεισμικού κινδύνου σχετίζονται επίσης με την σημαντικότητα της σχεδιαζόμενης κατασκευής. Οι καταστροφικές συνέπειες που προκύπτουν σαν αποτέλεσμα κατάρρευσης ή δυσλειτουργίας σημαντικών κτιρίων και άλλων κατασκευών, όπως νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, χολεία, υδροφράγματα, μεγάλες γέφυρες κ. λ. π, απαιτεί σχεδιασμό σε χαμηλότερο επίπεδο κινδύνου από ότι για κανονικές κατασκευές. Αυτό το χαμηλότερο επίπεδο επιτυγχάνεται σχεδιάζοντας αυτές τις κατασκευές με μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς του σεισμού και συνεπώς με υψηλότερες τιμές των εισαγομένων σεισμικών δυνάμεων. Αυτή η προσέγγιση αντιστοιχεί στον σχεδιασμό τους με χαμηλότερη πιθανότητα βλάβης και κατάρρευσης στην περίπτωση μελλοντικών σεισμών. Παρομοίως, διαφορετικά επίπεδα πιθανότητας εμφάνισης σεισμών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές φιλοσοφίες σχεδιασμού. Για κανονικές κατασκευές, η επιλογή ενός σεισμικού επιπέδου με πολύ χαμηλή πιθανότητα να

υπερβληθεί συνήθως συνδέεται με σχεδιασμό αποφυγής κατάρρευσης της κατασκευής, και συνεπώς ανθρώπινων απωλειών, ακόμα και αν η κατασκευή υποστεί μεγάλη βλάβη και πρέπει να ξανακτισθεί. Για σεισμικά επίπεδα με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης, και επομένως που μπορεί να εμφανισθούν πιο συχνά κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής, ο στόχος του σχεδιασμού δεν είναι η αποφυγή κατάρρευσης αλλά περισσότερο η εγγύηση ότι δεν θα εμφανισθεί αξιόλογη ζημιά και ότι η κατασκευή διατηρεί την λειτουργικότητα της.

Συνήθως, το φάσμα απόκρισης παρουσιάζεται σε κανονικοποιημένη μορφή, όπως στην περίπτωση του κανονικοποιημένου ελαστικού φάσματος απόκρισης του Ευρωκώδικα 8. Έχει κανονικοποιηθεί στην κορυφή της επιτάχυνσης του εδάφους (a_g) δηλ. είναι ανεξάρτητο από το a_g και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές τιμές της αναμενόμενης επιτάχυνσης για την τοποθεσία. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την χρήση του ίδιου φάσματος για διαφορετικές συνθήκες οξύτητας της εδαφικής κίνησης. Με άλλα λόγια, επιτρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι σεισμοί που ανταποκρίνονται σε διαφορετικές περιόδους επαναφοράς και έτσι την διαφορετική αποδοχή του σεισμικού κινδύνου.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και άλλους εθνικούς κανονισμούς, η χρησιμοποίηση του ελαστικού φάσματος απόκρισης για σχεδιαστικούς σκοπούς εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως η σεισμική ζώνη, ο τύπος της σεισμικής δράσης, οι τοπικές εδαφικές συνθήκες και ο λόγος της ιζώδους απόσβεσης της κατασκευής.

Η σεισμική ζώνη μπορεί να χαρακτηριστεί μέσω της σπουδαιότητας της σεισμικής δράσης. Αυτός ο χαρακτηρισμός συνοδεύεται από την κανονικοποίηση του φάσματος απόκρισης για δεδομένο επίπεδο του a_g . Συνήθως το φάσμα απόκρισης για κάθετη κίνηση ορίζεται σαν ποσοστό του φάσματος απόκρισης για δυο ορθογώνιες οριζόντιες διευθύνσεις. Στον Ευρωκώδικα 8 το προτεινόμενο ποσοστό είναι 70° .

Η μέγιστη επιτάχυνση που χρησιμοποιείται σε κάθε περιοχή της Ευρώπης ορίζεται σύμφωνα με τις μικροζωνικές μελέτες για κάθε ζώνη, εξαρτώμενη από τις παραμέτρους του τοπικού σεισμικού κινδύνου. Είναι υπευθυνότητα των Εθνικών Αρχών.

Το κανονικοποιημένο ελαστικό φάσμα απόκρισης $\beta_e(T)$ (Σχήμα 8) ορίζεται μέσω τεσσάρων παραμέτρων β_0 , T_1 , T_2 και k σύμφωνα με τις ακόλουθες εκφράσεις :

$$0 < T < T_1 \quad \beta_e(T) = 1 + T/T_1 (\beta_0 - 1)$$

$$T_1 < T < T_2 \quad \beta_e(T) = \beta_0$$

$$T_2 < T \quad \beta_e(T) = (T_2/T)^k \beta_0$$

όπου

T είναι η φυσική περίοδος ταλάντωσης της κατασκευής, ή το αντίστροφο της φυσικής συχνότητας (Hz).

β_0 είναι η μέγιστη τιμή της κανονικοποιημένης τιμής του φάσματος που λαμβάνεται σταθερή για περιόδους μεταξύ T_1 και T_2 .

k είναι ένας εκθέτης που επηρεάζει την μορφή του φάσματος απόκρισης για περιόδους ταλάντωσης μεγαλύτερες από T_2 .

Οι τιμές των μεταβατικών περιόδων T_1 και T_2 , που είναι επίσης γνωστές σαν οι αναστροφές των γωνιακών συχνοτήτων, εξαρτώνται ουσιαστικά από το μέγεθος του σεισμού και από τους λόγους μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, της ταχύτητας του εδάφους και της μετακίνησης του εδάφους.

Οι βασικές τιμές που παρουσιάζονται στον Ευρωκώδικα 8[1] εφαρμόζονται στην κίνηση του εδάφους στο βραχώδες στρώμα ή σε σταθερές εδαφικές συνθήκες. Αν τα χαρακτηριστικά του εδάφους διαφέρουν από αυτά που ελήφθησαν υπ' όψιν, άλλες τιμές για τις παραμέτρους μπορούν να εκλεχθούν με τέτοιο τρόπο έτσι που η μορφή του φάσματος απόκρισης τροποποιείται ανάλογα. Ο Ευρωκώδικας 8 λαμβάνει υπ' όψιν τρία διαφορετικά εδαφικά προφίλ (A, B και C). Για κάθε εδαφικό προφίλ εφαρμόζονται διαφορετικές παράμετροι (β_0 , T_1 , T_2 και k). Το τοπικό φάσμα απόκρισης, $\beta_s(T)$ μπορεί να εξαχθεί διορθώνοντας το ελαστικό φάσμα απόκρισης με την παράμετρο εδάφους S , η οποία επίσης εξαρτάται από το προφίλ του εδάφους.

$$B_s(T) = S \beta_e(T)$$

Παρόλο που η βασική μορφή του φάσματος απόκρισης είναι ενιαία, και είναι συνηθισμένο στους μελετητές σε κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, οι παράμετροι που ορίζουν το φάσμα απόκρισης είναι επίσης ευθύνη της κάθε Εθνικής Αρχής. Οι παράμετροι μπορούν να μεταβάλλονται από περιοχή σε περιοχή ακόμα και στην ίδια χώρα. Αυτή η μεταβολή οφείλεται στο ότι κάθε περιοχή της Ευρώπης έχει διαφορετική σεισμικότητα.

Η τιμή β_0 είναι η μέγιστη φασματική ενίσχυση. Εξαρτάται από την επιλεγείσα πιθανότητα που επεκτείνεται για την θεωρούμενη κορυφή επιτάχυνση εδάφους, στον λόγο απόσβεσης, στην διάρκεια της σεισμικής κίνησης και στην περιεχόμενη συχνότητα. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, για σεισμό από 20 μέχρι 30 δευτερόλεπτα και 5% απόσβεση, η τιμή του $\beta_0 = 2,5$, ανταποκρίνεται σε μια πιθανότητα να μην υπερβληθεί μεταξύ 70 μέχρι 80%. [1]

Ο εκθέτης k εξαρτάται από το περιεχόμενο συχνοτήτων και την επιλεγείσα συχνότητα μη υπέρβασης. Περιγράφει την μορφή του φάσματος απόκρισης για τις υψηλότερες περιόδους (χαμηλότερες συχνότητες).

Η χρησιμοποίηση του ελαστικού φάσματος απόκρισης, ταυτόχρονα με τον γραμμικό ελαστικό σχεδιασμό, δεν λαμβάνει υπ' όψιν την δυνατότητα μιας κατασκευής να αντιστέκεται σε σεισμικές δράσεις πέραν του ελαστικού ορίου. Αν μπορεί να υποθεθεί ότι μια κατασκευή θα συμπεριφερθεί γραμμικά για μικρούς σεισμούς, για μεγάλους σεισμούς θα είναι σχεδόν αδύνατη και μη οικονομική η σχεδίαση κατασκευών βασισμένη στην υπόθεση της γραμμικής συμπεριφοράς. Για μεγαλύτερους σεισμούς θα πρέπει να υποθεθεί ότι η κατασκευή έχει μια συγκεκριμένη χωρητικότητα να κατανέμει την ενέργεια που δημιουργείται από τον σεισμό μέσω μη γραμμικής συμπεριφοράς, ακόμα και αν αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη δομικών βλαβών παρόλο που εγγυάται την αποφυγή της κατάρρευσης.

Όμως, για μελετητικούς σκοπούς, και για την αποφυγή της ανάγκης εφαρμογής μη γραμμικής ανάλυσης, εισάγεται η ιδέα του συντελεστή συμπεριφοράς (q), για να διορθωθούν τα αποτελέσματα με γραμμική ανάλυση και για να εξαχθεί μια προσέγγιση της μη γραμμικής απόκρισης. Αυτοί οι συντελεστές συμπεριφοράς, οι οποίοι θα παρουσιασθούν λεπτομερέστερα σε άλλες διαλέξεις, λαμβάνουν υπ' όψιν την κατανομή της ενέργειας μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς. Έτσι εξαρτώνται από τα υλικά, τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του δομικού συστήματος και των υποθετικών επιπέδων πλαστιμότητας. Ο Ευρωκώδικας 8 ορίζει ότι οι τιμές του q θα πρέπει να υιοθετηθούν στην περίπτωση των σιδηρών κατασκευών σύμφωνα με τα κριτήρια που θα παρουσιασθούν στις επόμενες διαλέξεις.

Με βάση τους συντελεστές q , είναι δυνατόν να ορισθούν τα φάσματα απόκρισης σχεδιασμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελετητικούς λόγους μέσω της γραμμικής ανάλυσης.

Το φάσμα απόκρισης της γραμμικής ανάλυσης σχεδιασμού ορίζεται στον Ευρωκώδικα 8 όπως ακολούθως :

$$0 < T < T_1 \quad \beta(T) = \alpha S [1 + T/T_1 (\eta \beta_0/q - 1)]$$

$$T_1 < T < T_2 \quad \beta(T) = \alpha \eta S \beta_0/q$$

$$T_2 < T \quad \beta(T) = (T_2/T)^k \alpha \eta S \beta_0/q$$

όπου

T , β_0 , T_1 , T_2 και k έχουν την ίδια σημασία όπως πριν.

α είναι ο λόγος της κορυφής της εδαφικής επιτάχυνσης προς την επιτάχυνση της βαρύτητας

η είναι ένας συντηρητικός συντελεστής για λόγους απόσβεσης διαφορετικούς από 5%

q είναι συντελεστής συμπεριφοράς που εξαρτάται από το T .

Η επιρροή του λόγου απόσβεσης λαμβάνεται μέσω :

$$\eta = \sqrt{(5/\zeta)} ; \eta > 0,70$$

όπου ζ είναι η ποσοστιαία τιμή ιξώδους απόσβεσης.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, αν υπάρχει πιθανότητα δύο σεισμικές πηγές να επηρεάζουν μια συγκεκριμένη τοποθεσία, η χρήση δύο διαφορετικών φασμάτων απόκρισης μπορεί να είναι αναγκαία για την ποσοτικοποίηση της εισαγωγής σεισμού και της απόκρισης[1]. Αυτή η πιθανότητα μπορεί να εμφανισθεί για τοποθεσίες που μπορούν να επηρεασθούν από σεισμούς πολύ μεγάλους μεγέθους με μεγάλες επικεντρικές αποστάσεις και συγχρόνως από μικρότερους αλλά γειτονικούς σεισμούς. Σε αυτή την περίπτωση, παρόλο που οι τιμές του α_g και β_0 μπορεί να είναι αρκετά κοντά, οι μορφές των δύο αντιστοίχων φασμάτων μπορεί να διαφέρουν ουσιαστικά

(Σχήμα 9). Σαν αποτέλεσμα μερικές κατασκευές μπορεί να επηρεασθούν περισσότερο από έναν από τους σεισμούς, απ' ότι άλλες που μπορεί να επηρεασθούν από τον άλλο.

Αν χρειάζεται μια πιο εμπειριστατωμένη προσέγγιση, και πρόκειται να εφαρμοσθεί μη γραμμική ανάλυση, ή πρόκειται να γίνει εναλλακτικός σχεδιασμός, η χρήση της ιστορίας των σεισμών ή αρχείων επιτάχυνσης εδάφους είναι αναγκαία. Αν είναι διαθέσιμα ανεπαρκή αρχεία παρελθόντων σεισμών ή όταν δεν ανήκουν στο ίδιο σεισμικό περιβάλλον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνητά δημιουργημένοι σεισμοί. Υπάρχουν πολλές εναλλακτικές μεθοδολογίες για την δημιουργία τεχνητών σεισμών. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι οι δημιουργημένες ιστορίες πρέπει να είναι συνεπείς προς το φάσμα απόκρισης που αντιστοιχεί στην μελετούμενη περίπτωση. Το ίδιο συμβαίνει και στην χρήση του φάσματος ισχύος που παρουσιάζει την σεισμική δράση.

Σαν τελική παρατήρηση στον χαρακτηρισμό της σεισμικής κίνησης, θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τα αποτελέσματα της χωρικής μεταβλητότητας της σεισμικής κίνησης. Η εισαγωγή του σεισμού μπορεί να διαφέρει από στήριξη σε στήριξη. Οι διαφορές οφείλονται σε αρκετούς λόγους όπως οι γενικές διαστάσεις της κατασκευής, οι μεγάλες αποστάσεις μεταξύ δύο στηρίξεων της ίδιας κατασκευής, ή στο γεγονός ότι η κατασκευή μπορεί να έχει διαφορετικές συνθήκες θεμελίωσης, από άποψη τύπων εδάφους ή θεμελίωσης. Σε αυτή την περίπτωση ένα χωρικό μοντέλο της σεισμικής δράσης πρέπει να χρησιμοποιηθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν ένα μοντέλο της διάδοσης των κυμάτων.

2. ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι κοινωνικές επιπτώσεις των σεισμών, από άποψη ανθρώπινων απωλειών και τραυματισμών και αμέσων ή εμμέσων οικονομικών απωλειών δικαιολογούν την ανάγκη προετοιμασίας έναντι των σεισμών. Οι σεισμοί είναι ακόμα δύσκολο να προβλεφθούν και ακόμα και αν μπορέσουν να γίνουν προβλέψιμοι, θα θέτουν μια απειλή για κτίρια και άλλες κατασκευές. Έτσι η προετοιμασία για τους σεισμούς συνίσταται κυρίως σε σωστές διαδικασίες δομικού σχεδιασμού για σεισμική φόρτιση. Για να επιτευχθεί μια σωστή διαδικασία σχεδιασμού και έτσι να ελαχιστοποιηθεί ο σεισμικός κίνδυνος, είναι απαραίτητο αρχικά να έχουμε μια σωστή γνώση της σεισμικής πληροφορίας ή της σεισμικής επικινδυνότητας. Συγχρόνως με την μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών όταν υπόκεινται σε σεισμική φόρτιση είναι πλέον θεμελιώδης να μελετήσει κανείς την σεισμική κίνηση, την πηγή της, και τις παραμέτρους που περισσότερο επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της κίνησης.

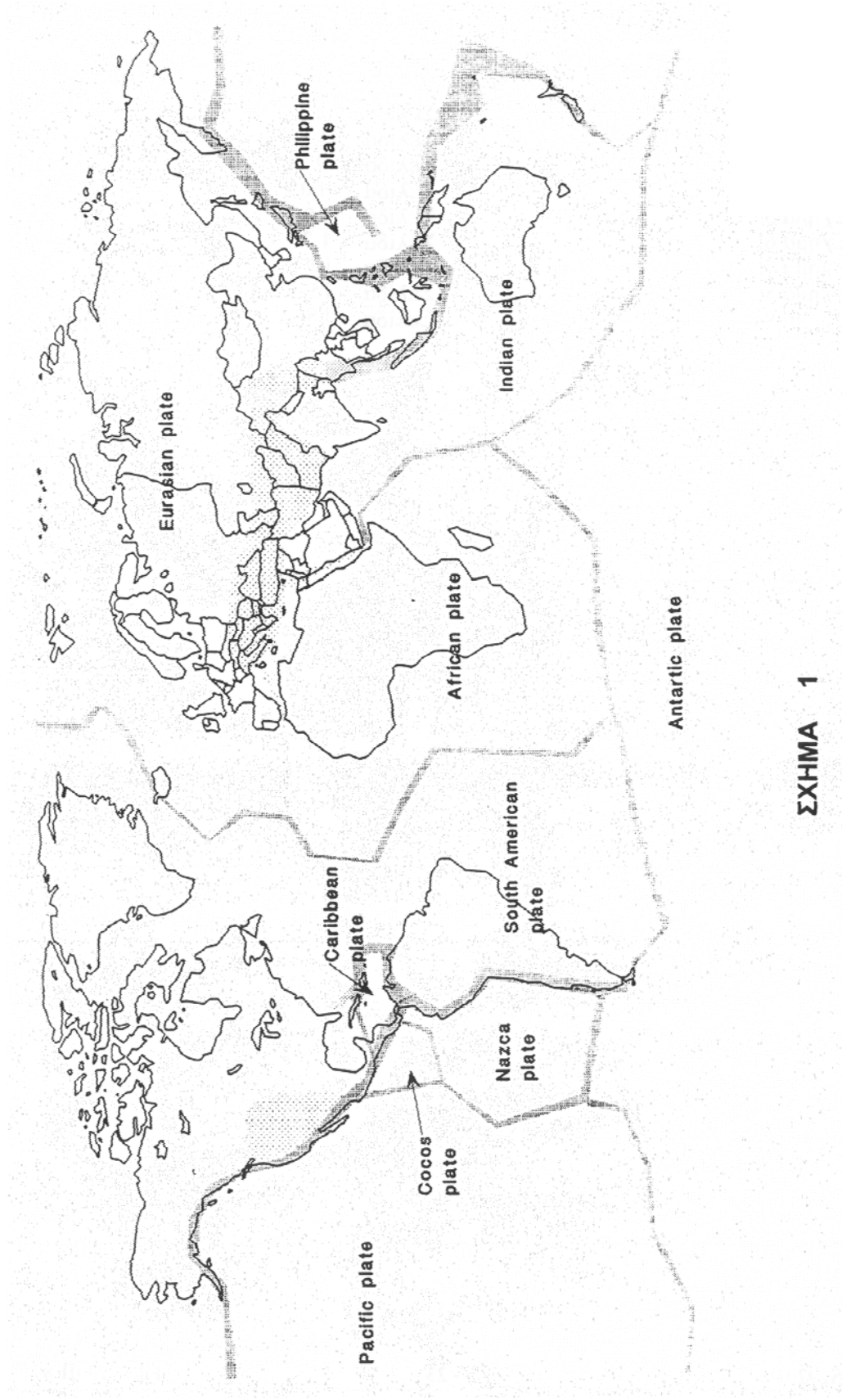
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Οι σεισμοί είναι φυσικά φαινόμενα που έχουν προκαλέσει τρομακτικές απώλειες σε ζωές και αγαθά ανά τον κόσμο συμπεριλαμβανομένων μεγάλων περιοχών της Ευρώπης.

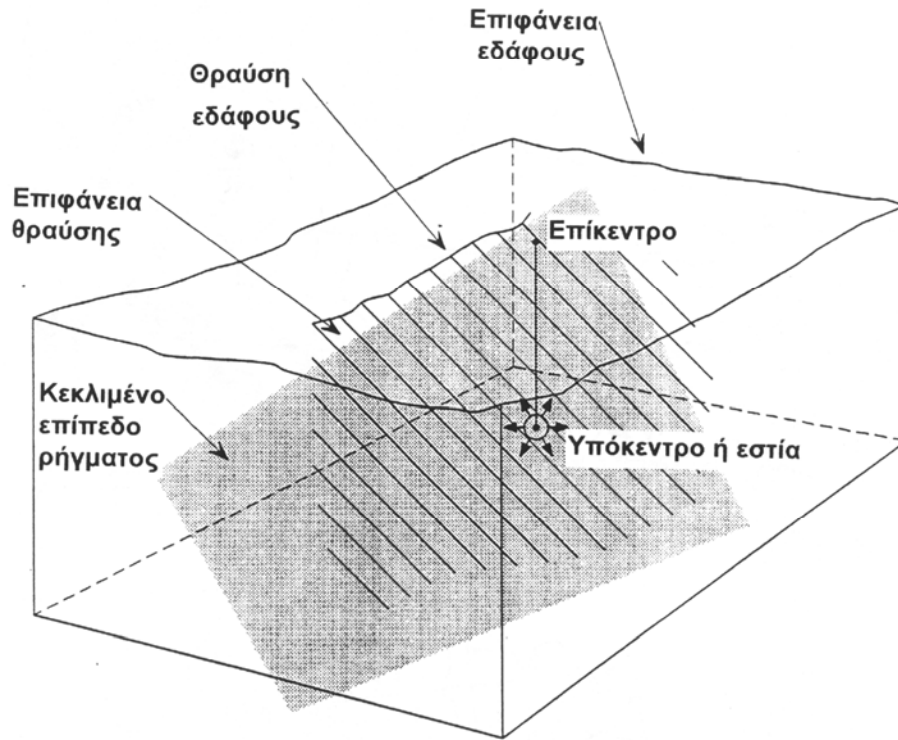
Για να σχεδιασθούν κατασκευές ανθεκτικές σε σεισμούς απαιτείται κατανόηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

Η "μέτρηση" του σεισμού μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφορετικών παραμέτρων όπως το μέγεθος, η ένταση, η κορυφή επιτάχυνσης του εδάφους, το φάσμα ισχύος και το φάσμα απόκρισης. Παράμετροι που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της σεισμικής κίνησης και το φάσμα απόκρισης της είναι η διάρκεια και η συχνότητα της κίνησης και οι τοπικές εδαφικές συνθήκες.

Η μέθοδος του φάσματος απόκρισης που παρουσιάζεται στον Ευρωκώδικα 8 και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη των κατασκευών λαμβάνει υπ' όψιν μια πιθανοτική προσέγγιση του ορισμού της σεισμικής κίνησης[1].



ΣΧΗΜΑ 1



ΣΧΗΜΑ 2

ESDEP OE 17

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

**Διάλεξη 17-3 : Η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά χαλύβδινων
στοιχείων και συνδέσεων**

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να δοθεί η βασική γνώση για τα διαθέσιμα πλαστιμότητας των χαλύβδινων μελών και συνδέσεων κάτω από ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Τίποτα

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Καμία

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Μετά από μια σύντομη εισαγωγή και περιγραφή της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς του υλικού αυτή η διάλεξη εξετάζει την προτεινόμενη από την ECCS διαδικασία δοκιμών για την εκτίμηση της συμπεριφοράς δομικών στοιχείων από χάλυβα στοιχεία κάτω από ανακυκλιζόμενα φορτία στα πλαίσια του αντισεισμικού σχεδιασμού. Παρουσιάζεται επίσης μια περιγραφή της προϋστορίας φόρτισης και των επεξηγηματικών παραμέτρων της προτεινόμενης διαδικασίας ελέγχου.

Δίνεται μια γενική εικόνα της πρόσφατης Ευρωπαϊκής έρευνας. Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα στην ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά των συνδέσεων ακαμψίας, δοκών, υποστυλωμάτων, συνδέσεων δοκών-υποστυλωμάτων και δοκών σύζευξης πλαισίων με έκκεντρους δικτυωτούς συνδέσμους, για να δείξουν την τυπική συμπεριφορά και τα φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με του τρόπους αστοχίας και καταστροφής της αντοχής. Γίνεται σύγκριση μεταξύ της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς διαφορετικών λεπτομερειών συνδέσεων (πλήρως συγκολλητοί κόμβοι, κοχλιωτές συνδέσεις με γωνιακά, λεπίδες αρμών, πέλματα).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα τα ελατά προϊόντα από χάλυβα, όπως διατομές Η ή κοίλες διατομές, είναι διαθέσιμα σε ένα ευρύ φάσμα τύπων και διαστάσεων, μεγαλύτερο από ότι στο παρελθόν. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενός ευρέως φάσματος δομικών στοιχείων και συνδέσεων.

Τα χαλύβδινα στοιχεία έχουν το πλεονέκτημα ότι από αυτά μπορούν να κατασκευασθούν μεγάλα τμήματα. Μπορούν να θεωρηθούν σαν το πιο κατάλληλο υλικό για να επιτύχουν την σεισμική αντίσταση μεγάλων κατασκευών. Η απόδοση και πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων και συνδέσεων μπορεί να επηρεασθεί από πολλούς παράγοντες.

Δομικά χαλύβδινα στοιχεία συχνά έχουν μεγάλη λυγηρότητα και λεπτή διατομή λόγω της υψηλής αντοχής, και γι' αυτό μπορούν να προκύψουν διάφοροι τύποι λυγισμού, όπως καμπτικός λυγισμός όλου του στοιχείου, εγκάρσιος στρεπτολυγισμός και τοπικός λυγισμός επίπεδων στοιχείων που αποτελούν το στοιχείο.

Στους Ευρωκώδικες, οι διατομές έχουν καταταγεί σε κατηγορίες με γνώμονα τις αναλογίες και τις συνθήκες φόρτισης για κάθε ένα από τα θλιβόμενα στοιχεία. Τα θλιβόμενα στοιχεία περιλαμβάνουν κάθε στοιχείο τη διατομής το οποίο είναι τμηματικά ή ολικά κάτω από θλίψη. Κάτω από ανακυκλιζόμενη φόρτιση η αύξηση του λόγου πλάτους προς το πάχος των θλιβόμενων στοιχείων μειώνει τη αντίσταση, την πλαστιμότητα και την απορροφούμενη ενέργεια που εκλύεται κάτω από διάφορους τρόπους λυγισμού.

Η εμφάνιση του λυγισμού φέρνει μια ξαφνική μείωση της φέρουσας ικανότητας του μέλους. Ακόμα και όταν ο λυγισμός δεν δημιουργεί την άμεση αστοχία του στοιχείου, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τον σχεδιασμό στην πρόληψη του λυγισμού, γιατί η απόκριση της κατασκευής σε ένα σεισμό συχνά γίνεται ασταθής λόγω του λυγισμού μερικών στοιχείων.

Επιπροσθέτως στην ανάλυση των μεμονωμένων στοιχείων, πρέπει επίσης να αναλυθεί η ευστάθεια των πλαισίων σαν σύνολο. Εν γένει αποτελέσματα δευτέρας τάξεως που συμπεριλαμβάνονται σε μια γενική ανάλυση εύκαμπτων πλαισίων προκαλούν μια προοδευτική μείωση της αντίστασης και μια μείωση της απορροφούμενης ενέργειας και πλαστιμότητας. Γι αυτό τον λόγο, τα αποτελέσματα δευτέρας τάξης πάντοτε οδήγησαν σε μια υπερδιαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων για πλαισιωτά κτίρια που ανεγείρονται σε σεισμικές ζώνες.

Οι σεισμικές δράσεις προκαλούν παραμορφώσεις με σχετικά λίγες επαναλήψεις της δράσης. Οι παραμορφώσεις σχετικά μεγάλου εύρους εμφανίζονται σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες. Αυτές οι παραμορφώσεις επιδεικνύουν ανακυκλιζόμενα χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα χαμηλού κύκλου κόπωσης των δομικών στοιχείων και συνδέσεων αλλά σπάνια την αστοχία τους. Παρόλα αυτά η πιθανότητα βλάβης από αστοχία του στοιχείου πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στον σχεδιασμό έναντι εξωτερικών ανακυκλιζόμενων φορτίσεων σαν και αυτές που προκαλούνται από τους σεισμούς.

Τα τελευταία είκοσι χρόνια έχουν γίνει πειράματα σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα για να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση της σεισμικής συμπεριφοράς των χαλύβδινων δομικών στοιχείων και για να χαρακτηριστεί η ικανότητα τους για παραμόρφωση στην ανελαστική περιοχή. Παρόλα αυτά, οι διαδικασίες ελέγχου και οι επεξηγηματικές παράμετροι των ελέγχων διαφέρουν από τον ένα ερευνητή στον άλλο, κάνοντας τις ποιοτικές και ποσοτικές συγκρίσεις δύσκολες σε μερικές περιπτώσεις.

Η Ευρωπαϊκή Σύνοδος για Κατασκευές από Χάλυβα(ECCS) μέσω της Τεχνικής Επιτροπής 1-Δομικής Ασφάλειας και Φόρτισης[1], πρότεινε μια διαδικασία δοκιμών για την εκτίμηση της συμπεριφοράς συνθέτων στοιχείων από χάλυβα από ανακυκλιζόμενα φορτία[1]. Αυτή η διαδικασία προορίζεται να είναι μια καθιερωμένη μέθοδος πειραματικού ελέγχου για δομικά στοιχεία ή πλήρεις κατασκευές έτσι ώστε οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται από διαφορετικούς συγγραφείς να είναι δυνατές. Η διαδικασία επίσης προορίζεται να κάνει δυνατή την εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των χαλύβδινων στοιχείων βασισμένης σε ανακυκλιζόμενες ειοίνι-στατικές δοκιμές χρησιμοποιώντας ένα προδιαγεγραμμένο ιστορικό φόρτισης.

2. ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Στον σεισμικό σχεδιασμό είναι πολύ σημαντικό να εκτιμηθεί η ικανότητα μιας κατασκευής να αναπτύσσει και να διατηρεί την φέρουσα ικανότητα της στην ανελαστική περιοχή. Ένα μέτρο αυτής της ικανότητας είναι η πλαστιμότητα η οποία μπορεί να αναφέρεται στο ίδιο το υλικό, σε δομικό στοιχείο ή σε ολόκληρη την κατασκευή. Αυτοί οι τρεις τύποι της πλαστιμότητας είναι πολύ διαφορετικοί, και ο καθένας παίζει ένα σημαντικό ρόλο στον σεισμικό σχεδιασμό.

Η πλαστιμότητα του υλικού μ_e μετράει την ικανότητα του υλικού να δέχεται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις. Μεγάλη τιμή του με χαρακτηρίζει ένα πλάστιμο υλικό, μικρή τιμή ένα ψαθυρό.

Η πλαστιμότητα μέλους ή πλαστιμότητα κόμβου μ_θ χαρακτηρίζει την συμπεριφορά ενός μέλους η άρθρωσης και ιδιαίτερα την ικανότητα να μεταβιβάζει τάσεις στην ελαστοπλαστική περιοχή χωρίς απώλεια της αντοχής. Για παράδειγμα μια πλαισιωτή κατασκευή δεν μπορεί να δείξει πλάστιμη συμπεριφορά αν οι πλαστικές αρθρώσεις δεν είναι ικανές να ανακαταναείμουν τα καμπτόμενα μέλη.

Η κατασκευαστική πλαστιμότητα μ_e είναι ένας δείκτης της καθολικής συμπεριφοράς της κατασκευής δηλ. η ικανότητα της κατασκευής να παραμορφώνεται στην ανελαστική περιοχή αφού μερικά από τα τμήματα της ξεπέρασαν την γραμμική ελαστική περιοχή.

Οι πλαστιμότητες μ_e , μ_β , και μ_δ πρέπει να ικανοποιούν την συνθήκη:

$$\mu_e > \mu_\beta > \mu_\delta$$

3. ΥΛΙΚΟ

Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται σε μια ανθεκτική σε σεισμό κατασκευή πρέπει βέβαια να είναι καλής ποιότητας. Πρόσθετα στις γενικές απαιτήσεις του υλικού ο χάλυβας πρέπει να έχει επαρκή πλαστιμότητα.

Το Σχήμα 1 δείχνει την σχέση τάσεων-παραμορφώσεων ενός δομικού χάλυβα κάτω από μονοαξονικούς υστερητικούς βρόγχους. Στην πρώτη φόρτιση, το άνω σημείο διαρροής, το κάτω όριο διαρροής, το οριζόντιο τμήμα και η κράτυνση. Στις επόμενες φορτίσεις, αυτές οι ιδιότητες εξαφανίζονται και το όριο αναλογίας μειώνεται αισθητά λόγω του γνωστού φαινομένου Bauschinger.

Οι χάλυβες συνήθως θεωρούνται πως κατέχουν σημαντικές ιδιότητες όπως όριο διαρροής, οριζόντιο τμήμα και κράτυνση. Για επαναλαμβανόμενη φόρτιση πέρα από την ελαστική περιοχή, θα πρέπει να εφαρμοσθεί αντί αυτού το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χωρίς οριζόντιο τμήμα. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην πιθανότητα ότι η μείωση του ορίου αναλογίας σε κάθε κύκλο φόρτισης μπορεί να δημιουργήσει άμεση δομική αστοχία (για παράδειγμα λυγισμό), αύξηση των παραμορφώσεων και μείωση της ακαμψίας των δομικών στοιχείων, συνδέσεων και των στοιχείων των διατομών.

Ο χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου με άνθρακα και διάφορα άλλα στοιχεία. Ο άνθρακας ασκεί την πιο σημαντική επίδραση στη μικροδομή του υλικού και τις ιδιότητες του. Μεταβολές στο ποσοστό άνθρακα επηρεάζουν την αντοχή, την αντοχή σε κόπωση και την πλαστιμότητα του χάλυβα.

Οι χάλυβες που συνήθως χρησιμοποιούνται στις κατασκευές είναι έξοχα υλικά που έχουν υψηλή πλαστιμότητα στην κατεύθυνση της ελάσεως. Χάλυβες χαμηλής αντοχής δείχνουν καλύτερη πλαστιμότητα από τους χάλυβες υψηλής αντοχής.

Η πλαστιμότητα του χάλυβα μπορεί να περιγραφεί σαν η μετελαστική συμπεριφορά του και μπορεί να μετρηθεί, υποθέτοντας γνωστή την σχέση τάσεων-παραμορφώσεων, ως ο λόγος :

πλαστιμότητα = παραμόρφωση κατά την αστοχία / παραμόρφωση κατά την διαρροή

Η αριθμητική τιμή της πλαστιμότητας παρουσιάζεται συνήθως από τον συντελεστή πλαστιμότητας μ και εξαρτάται από την αρχή που θεωρείται για την παραμόρφωση κατά την αστοχία. Γενικά μπορεί να οριστεί από το λόγο της μέγιστης παραμόρφωσης στην αρχή του κύκλου ϵ_u , προς την παραμόρφωση διαρροής δ_y :

$$\mu = \epsilon_u / \delta_y$$

Για ανακυκλιζόμενη φόρτιση και για συγκεκριμένη ιστορία φόρτισης το ϵ_u μπορεί να οριστεί σαν η μέγιστη παραμόρφωση από το αρχικά απαραμόρφωτο υλικό ϵ_u' ή από την παραμόρφωση από την αρχή του κύκλου σε ένα νέο μέγιστο ϵ_u'' (Σχήμα 1). Ο τελευταίος ορισμός αποκτά νόημα για την εκτίμηση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς.

Η πλαστιμότητα στο υλικό είναι επιθυμητή και αναγκαία δεδομένου ότι η

πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων και του όλου της κατασκευής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού. Παρόλα αυτά η πιθανότητα ψαθυρής συμπεριφοράς πρέπει να αντιμετωπίζεται προσεκτικά δίνοντας σημασία στην λεπτομέρεια και στην καλή επεξεργασία.

Το εμβαδόν μέσα στον βρόγχο υστέρησης αντιστοιχεί στην απορροφούμενη ενέργεια του βρόγχου.

4. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Διαφορετικοί τύποι ιστορικού φορτίσεων έχουν εξιδανικευθεί σε ανακυκλιζόμενες δοκιμές για να αποτιμήσουν τα χαρακτηριστικά της αντοχής-παραμόρφωσης των δομικών υποκατασκευών. Τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα είναι (Σχήμα 2):

- a) όχι αντιστροφή της δύναμης.
- b) αντιστροφή της δύναμης (F), αλλά όχι αντιστροφή της παραμόρφωσης.
- c) τμηματικές αντιστροφές της παραμόρφωσης.
- d) πλήρεις αντιστροφές της παραμόρφωσης.
- e) τυχαία.

Το είδος της αντιστροφής των φορτίσεων έχει μια σημαντική επιρροή στην ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά. Πλήρεις αντιστροφές της παραμόρφωσης προκαλούν μεγαλύτερη χειροτέρευση της αντοχής του στοιχείου από τις τμηματικές αντιστροφές της παραμόρφωσης, βλέπε Σχήμα 3. Οι ανακυκλιζόμενες φορτίσεις παράγουν αρκετά περισσότερη χειροτέρευση της αντοχής από τις μονοτονικές φορτίσεις.

Η εκλογή της ιστορίας φόρτισης που θα χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση της σεισμικής αντοχής των χαλύβδινων υποκατασκευών είναι ένα πολύ δύσκολο έργο γιατί είναι αδύνατον να γνωρίζουμε την πραγματική ιστορία φόρτισης σε μελλοντικούς σεισμούς. Παρόλα αυτά συγκεκριμένοι παράγοντες μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν στην εκλογή της ιστορίας φόρτισης.

Γενικά η αύξηση της μετακίνησης θα πρέπει να προτιμάται από την αύξηση του φορτίου γιατί η αντοχή ενός δομικού στοιχείου μπορεί να μειώνεται μετά από μερικούς κύκλους λόγω των φαινομένων λυγισμού για παράδειγμα. Σε αυτή την περίπτωση αν εφαρμόζεται αύξηση φορτίου η δοκιμή δεν μπορεί να ελεγχθεί και είναι ίσως καλύτερα να σταματήσει. Παρόλα αυτά μπορεί να είναι ενδιαφέρουσα η συνέχιση του δοκιμής θεωρώντας ότι το στοιχείο είναι μόνο ένα κομμάτι της κατασκευής και η μείωση της αντοχής του δεν σημαίνει απαραίτητα μια σημαντική μείωση της αντοχής της κατασκευής.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η πλήρης αντιστροφή της παραμόρφωσης δημιουργεί μεγαλύτερη χειροτέρευση της αντοχής από τις τμηματικές αντιστροφές της παραμόρφωσης. Η πλήρης αντιστροφή της παραμόρφωσης είναι πιθανόν, η πιο γενικά χρησιμοποιούμενη φόρτιση για την αποτίμηση της αντοχής σε βλάβη των αντισεισμικών τμημάτων μιας κατασκευής. Ο τύπος της αντιστροφής που χρησιμοποιείται στα πειράματα θα πρέπει παρόλα αυτά να ορίζεται λαμβανομένου υπ'

όπιν ότι το δομικό στοιχείο είναι ένα κομμάτι ολόκληρης της κατασκευής και θα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αντέχει τόσο σε στατικά, όσο και σε σεισμικά φορτία.

Ο αριθμός των κύκλων υπό σταθερή μέγιστη μετακίνηση πρέπει επίσης να ορισθεί. Ο αριθμός των επαναλήψεων που ορίζονται για την ίδια μετακίνηση δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλός έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα κόπωσης χαμηλού κύκλου, μιας και ο αριθμός των υψηλών αιχμών της μετακίνησης που δημιουργείται από πραγματικούς σεισμούς είναι γενικά χαμηλός.

5. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ECCS

Η διαδικασία για τη αποτίμηση της συμπεριφοράς των χαλύβδινων δομικών στοιχείων κάτω από ανακυκλιζόμενες φορτίσεις που προτείνεται από την ECCS[1] μπορεί να εφαρμοσθεί σε επίπεδες ή τριών διαστάσεων δοκιμές και μπορεί να συμπεριλαμβάνει προκαταρκτικά μονοτονικές δοκιμές μετακίνησης. Αυτή η διαδικασία ορίζεται ως η πλήρης πειραματική διαδικασία . Αν παραλειφθούν οι μονοτονικές δοκιμές τότε ορίζεται ως η σύντομη πειραματική διαδικασία.

5.1 Πλήρης πειραματική διαδικασία

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τρεις δοκιμές οι οποίες πραγματοποιούνται σε διαφορετικά δείγματα. Η πρώτη και η δεύτερη δοκιμή επιβάλλουν μετακίνηση η οποία αυξάνει μονοτονικά στην εφελκυστική και θλιπτική περιοχή αντίστοιχα. Το θετικό και αρνητικό ελαστικό φορτίο αναφοράς F_y και η αντίστοιχη ελαστική μετακίνηση αναφοράς δ_y επιτυγχάνονται από την καταγεγραμμένη καμπύλη δύναμης-μετακίνησης. Το ελαστικό φορτίο αναφοράς ορίζεται από την τομή μεταξύ του εφαπτομενικού μέτρου E_t στο κέντρο της καμπύλης δύναμης-μετακίνησης και της εφαπτομένης που έχει κλίση $E_t/10$ όπως προτείνεται στο Σχήμα 4c.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλοι τυπικοί ορισμοί του F_y , όπως (a) η τιμή αντιστοιχεί σε $0, 2^\circ$ παραμόρφωση σε κάποιο σημείο στο εξεταζόμενο δείγμα (Σχήμα 4a) ή (b) το μέγιστο φορτίο (Σχήμα 4b). Ο ορισμός (a) αγνοεί τα μετελαστικά αποθέματα του δείγματος και ο ορισμός (b) παρόλο του ενδιαφέροντος που έχει για τον λυγισμό, μπορεί να αντιστοιχεί σε υπερβολική παραμόρφωση της καμπτικής συμπεριφοράς δοκών και κόμβων.

Ο ορισμός του F_y που προτείνεται από την ECCS (Σχήμα 4c) καλύπτει πολλές περιπτώσεις και τύπους συμπεριφοράς και αποφεύγει μερικά μειονεκτήματα των ορισμών (a) και (b).

Η τρίτη δοκιμή είναι μια ανακυκλιζόμενη δοκιμή με αυξανόμενη μετακίνηση όπως ακολούθως :

- ένας κύκλος στο διάστημα $[+ \delta_y/4; - \delta_y/4]$
- ένας κύκλος στο διάστημα $[+ 2 \delta_y/4 ; - 2 \delta_y/4] ,$
- ένας κύκλος στο διάστημα $[+ 3 \delta_y/4 ; - 3 \delta_y/4] ,$
- ένας κύκλος στο διάστημα $[+\delta_y ; - \delta_y] ,$

- τρεις κύκλοι στο διάστημα $[+ (2 + 2 n) \delta_y ; - (2+2 n) \delta_y]$ με $y = 0,1,2,3...$

Το τέλος της δοκιμής δεν ορίζεται εκ των προτέρων. Για ερευνητικούς σκοπούς η δοκιμή θα συνεχισθεί πιθανόν όσο το δυνατόν περισσότερο για να επιτευχθεί η μέγιστη πληροφορία. Κατά τα άλλα ένας μελετητής μηχανικός θα σταματήσει πιθανόν την δοκιμή μόλις επιτευχθούν οι απαιτήσεις του κανονισμού.

5.2 Επεξήγηση των Πειραμάτων

Αρκετά προβλήματα προκύπτουν όταν είναι αναγκαία η σύγκριση διαφορετικών πειραματικών αποτελεσμάτων λόγω της ποικιλίας των επεξηγηματικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται.

Οι προτάσεις του ECCS χρησιμοποιούν μια τυποποίηση των επεξηγηματικών παραμέτρων που υλοποιούνται με λόγους που έχουν έννοια για τον μηχανικό[1]. Οι προτεινόμενες παράμετροι κανονικοποιούνται αναφορικά με εκείνες που αντιστοιχούν σε γραμμική ελαστική- πλαστική συμπεριφορά.

Δεδομένου ότι η συμπεριφορά του στοιχείου στην περιοχή του εφελκυσμού κα της θλίψης μπορεί να διαφέρει, οι παράμετροι εκτιμώνται στις δύο αυτές περιοχές. Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται στους λόγους έχουν εξαχθεί από την καμπύλη δύναμης-μετακίνησης και προκύπτουν για κύκλους μετακινήσεων μεγαλύτερων από την ελαστική μετακίνηση. Οι προτεινόμενες παράμετροι για ένα τυπικό κύκλο (Σχήμα 5) είναι:

- Λόγος πλήρους πλαστιμότητας :

$$\psi_i^+ = \frac{\Delta\delta_i^+}{\delta_i^+ + \delta_i^- - \delta_y^-} \quad \psi_i^- = \frac{\Delta\delta_i^-}{\delta_i^- + \delta_i^+ - \delta_y^+}$$

- Λόγος αντοχής :

$$\xi_i^+ = \frac{\text{tg } \alpha_i^+}{\text{tg } \alpha_y^+} \quad \xi_i^- = \frac{\text{tg } \alpha_i^-}{\text{tg } \alpha_y^-}$$

- Λόγος απορροφώμενης ενέργειας :

$$\eta_i^+ = \frac{A_i^+}{(\delta_i^+ + \delta_i^- - \delta_y^-)F_y^+} \quad \eta_i^- = \frac{A_i^-}{(\delta_i^- + \delta_i^+ - \delta_y^+)F_y^-}$$

όπου

$\delta_i^+(\delta_i^-)$ είναι η τιμή της μέγιστης θετικής (αρνητικής) μετακίνησης κατά τον ι-οστό κύκλο

$\delta_y^+(\delta_y^-)$ είναι η τιμή της θετικής (αρνητικής) ελαστικής μετακίνησης αναφοράς

$\Delta\delta_i^+(\Delta\delta_i^-)$	είναι η τιμή της μέγιστης μετακίνησης στην θετική (αρνητική) περιοχή δύναμης κατά τον ι-οστό κύκλο
$F_i^+(F_i^-)$	είναι η τιμή της θετικής (αρνητικής) δύναμης που αντιστοιχεί στη $\delta_i^+(\delta_i^-)$ κατά τον ι-οστό κύκλο
$F_y^+(F_y^-)$	είναι η τιμή της θετικής (αρνητικής) ελαστικής δύναμης αναφοράς.
$t_g^+a_i(t_g^-a_i)$	είναι η τιμή της κλίσης της εφαπτομένης της καμπύλης δύναμης-μετακίνησης όταν η F αλλάζει από αρνητική (θετική) σε θετική (αρνητική) κατά τον ι-οστό κύκλο.
$t_y^+a_y(t_y^-a_y)$	είναι η τιμή της κλίσης της εφαπτομένης στο κέντρο της καμπύλης δύναμης-μετακίνησης για αύξηση σε αρνητική (θετική) κατεύθυνση.
$A_i^+(A_i^-)$	είναι το εμβαδόν κάτω από την θετική (αρνητική) περιοχή δύναμης του ημικυκλίου της καμπύλης δύναμης-μετακίνησης.

Γενικά η συμπεριφορά του στοιχείου είναι καλύτερη όταν η συμπεριφορά του είναι πλησιέστερα στην γραμμική ελαστική -πλαστική συμπεριφορά αναφοράς (τιμές των παραμέτρων κοντά στην μονάδα).

Μικρές τιμές των παραμέτρων δηλ. αρκετά μικρότερες του 1, μπορούν να υποθεθούν σαν δείκτης του τέλους της δοκιμής γιατί αποτελούν ένδειξη ότι υπάρχει μια μεγάλη απώλεια πλαστιμότητας, αντοχής, ακαμψίας και από ρ ροφώ μένη ς ενέργειας.

Οι παράμετροι που προτείνονται από τον ECCS έχουν το πλεονέκτημα ότι βοηθούν την ποσοτική ανάλυση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων[1]. Μπορούν επίσης να θεωρηθούν σαν πρακτικές παράμετροι για τον ορισμό των κριτηρίων αποδοχής των κανονισμών.

6. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΑΚΑΜΨΙΑΣ

Μια τυπική πλαστική υστερητική συμπεριφορά ενός στοιχείου συνδέσμου ακαμψίας κάτω από επαναλαμβανόμενη φόρτιση φαίνεται στο Σχήμα 6. Η διαφάνεια 1 δείχνει τον τρόπο αστοχίας του. Η καμπύλη δύναμης-μετακίνησης προέκυψε από πείραμα, στο οποίο ένα στοιχείο κατασκευασμένο από γωνίες 80X80X8 ράχη με ράχη και λόγο λυγηρότητας 145 υποβλήθηκε μέσω αρθρωτών άκρων σε επαναλαμβανόμενο εφελκυσμό και θλίψη. Το εύρος της μήκυνσης αυξήθηκε σταδιακά σε κάθε κύκλο φόρτισης περίπου ακολουθώντας την διαδικασία σύντομης δοκιμής του ECCS. [1]

Το αρχικό φορτίο λυγισμού ανταποκρίνεται στο σημείο A. Πέρα από το σημείο A στην καμπύλη δύναμης-μετακίνησης, το στοιχείο ακαμψίας υφίσταται μια αξιοσημείωτη απώλεια αντοχής κατά τον λυγισμό. Αυτή η φάση της υστερητικής συμπεριφοράς A-B κυριαρχείται από την πλαστική αλληλεπίδραση μεταξύ της κάμψης λόγω της επίδρασης P-Δ από την θλιπτική δύναμη. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες εγκάρσιες παραμορφώσεις και μείωση φορτίου. Αν η αύξηση στην μετακίνηση αντιστραφεί, η καμπύλη δύναμης-μετακίνησης αντιστοιχεί στην ελαστική επανάκαμψη B-C με αύξηση μήκους C-E. Στην περίπτωση κοχλιωτών συνδέσεων, μια ολίσθηση εμφανίζεται στην καμπύλη δύναμης-μετακίνησης, ζώνη C-D. Στην ζώνη E-F μια πλαστική αλληλεπίδραση της αξονικής δύναμης και της καμπτικής ροπής εμφανίζεται με μια μείωση της εγκάρσιας παραμόρφωσης. Στο σημείο F το στοιχείο είναι πλήρως ευθείο. Η ζώνη F-G χαρακτηρίζεται με την πλαστική προέκταση του στοιχείου. Αντιστρέφοντας την διεύθυνση της μετακίνησης έχουμε σαν αποτέλεσμα την ελαστική αποφόρτιση του στοιχείου, ζώνη G-H.

Το Σχήμα 6 δείχνει επίσης μια μείωση του τελικού φορτίου θλίψης με την εφαρμογή της ανακυκλιζόμενης μετακίνησης, σαν συνέπεια του φαινομένου Bauschinger. Αυτή η μείωση μπορεί να είναι επίσης συνέπεια της καμπυλότητας του στοιχείου. Γενικά, μετά τον αρχικό κύκλο λυγισμού, το στοιχείο αναπτύσσει μια παραμένουσα καμπυλότητα η οποία δεν απομακρύνεται τελείως από την ακολουθούμενη εφελκυστική διαρροή. Το στοιχείο συμπεριφέρεται ως μέλος με αρχική καμπυλότητα.

Η υστερητική συμπεριφορά μιας ράβδου ακαμψίας επηρεάζεται από τον λόγο λυγηρότητας. Ράβδοι με μικρό λόγο λυγηρότητας απορροφούν περισσότερη ενέργεια από τα πιο λυγηρά, όπως μπορεί να διαπιστωθεί με σύγκριση των βρόγχων υστέρησης. Γενικά ράβδοι ακαμψίας με μεγάλους λόγους λυγηρότητας δείχνουν μια πιο γρήγορη χειροτέρευση στην φέρουσα αντοχή θλίψης από αυτά με μικρότερους λόγους.

Για ράβδους ακαμψίας για τις οποίες η αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται για την εκτίμηση της εγκάρσιας ευστάθειας του πλαισίου (Κ στήριξη για παράδειγμα), συνιστάται η μείωση της ανοιγμένης λυγηρότητας (λ) της ράβδου σε τιμές μεταξύ 1, 0-1, 5. Το λ ορίζεται στον Ευρωκώδικα 3[2] σαν :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_c/N_{cr}}$$

όπου το N_c είναι η θλιπτική αντοχή και N_{cr} είναι το κρίσιμο φορτίο λυγισμού κατά Euler. Για τις παραπάνω τιμές του λ , οι μέσες τιμές της λυγηρότητας λ είναι ίσες με 94-140 για χάλυβες Fe E 235 και 76-114 για χάλυβες Fe E 355. Γενικά δεν είναι αναγκαίες απαιτήσεις για X διαγώνιους συνδέσμους γιατί μόνο η εφελκυστική διαγώνιος

λαμβάνεται υπόψιν για την εκτίμηση της σεισμικής αντίστασης.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8[3] οι συνδέσεις των διαγωνίων συνδέσμων ακαμψίας σε άλλα στοιχεία θα πρέπει να εκπληρώνουν την συνθήκη υπεραντοχής :

$$R_d \geq 1,20 N_{pd}$$

όπου R_d είναι η αντοχή της σύνδεσης και N_{pd} είναι η οριακή αντοχή του συνδεομένου μέρους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3[2]. Αυτή η συνθήκη εξασφαλίζει ότι το συνδεόμενο στοιχείο αστοχεί πριν από την σύνδεση.

Η υστερητική συμπεριφορά της διαγωνίου επηρεάζεται μέχρι κάποιο σημείο από την μορφή της διατομής. Το Σχήμα 7 δείχνει τους υστερητικούς βρόγχους ενός από την μια πλευρά στην άλλη διατομής Π υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση. Το Διαφάνεια 2 δείχνει τον τρόπο αστοχίας. Η μορφή της διατομής επηρεάζει την επιδεκτικότητα της στήριξης σε εγκάρσιο στρεπτικό λυγισμό και σαν αποτέλεσμα την φέρουσα θλιπτική αντίσταση.

Γενικά οι πρότυπες διατομές από χάλυβα όπως παράγονται σήμερα επιδεικνύουν τοπικό λυγισμό σε εξαιρετικά μεγάλες εγκάρσιες μετακινήσεις. Πειραματικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από πολλούς ερευνητές δείχνουν προοδευτικά φτωχότερη απόδοση των μορφών των διατομών με την σειρά : σωλήνες, πλατύπελμες, Ταυ, διπλά Π και διπλά γωνιακά. Η φτωχή απόδοση των Ταυ και των διπλών γωνιακών σε σύγκριση με τους σωλήνες και τις πλατύπελμες μπορεί να χρωθεί στις γεωμετρικές ιδιότητες και την μονή συμμετρία. Τα Ταυ και τα διπλά γωνιακά λυγίζουν σε διεύθυνση κάθετη στον άξονα συμμετρίας τους προκαλώντας καμπτικό και εγκάρσιο στρεπτικό λυγισμό. Συνεπώς έχουν μικρότερη φέρουσα αντοχή από αυτή που αναπτύσσουν σε καθαρό καμπτικό λυγισμό.

Οι έτοιμες ράβδοι ακαμψίας θα πρέπει να σχεδιάζονται σαν μόνα στοιχεία. Είναι απαραίτητο να παρατηρηθούν οι κανόνες δόμησης για λεπτομερέστερο σχεδιασμό έτσι ώστε να αποφευχθεί πρώιμος λυγισμός των ξεχωριστών στοιχείων κάτω από μικρό φορτίο.

Η ενίσχυση των σημείων στήριξης δεν πρέπει να λησμονείται έτσι ώστε τα στοιχεία ακαμψίας να εκπληρούν τον αναμενόμενο σκοπό τους. Αν τα άκρα ενός στοιχείου μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν, η ευστάθεια όλου του κτιρίου πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Γενικά, τα στοιχεία ακαμψίας συνδέονται με πλάκες ενίσχυσης οι οποίες έχουν χαμηλή ακαμψία. Για αυτόν τον λόγο η πλάκα ενίσχυσης μπορεί να απαιτεί ενίσχυση για να αυξηθεί η αντοχή της σε κάμψη.

7. ΔΟΚΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Το Σχήμα 8 δείχνει μια υστερητική καμπύλη δύναμης-μετακίνησης παρμένη από ένα πείραμα σε δοκό-πρόβολο διατομής I υποκειμένη σε επαναληπτική φόρτιση σύμφωνα με την σύντομη πειραματική διαδικασία της ECCS[1].

Πειραματικές έρευνες που έγιναν σε προβόλους κάτω από επαναλαμβανόμενη και ανάστροφη φόρτιση έδειξαν ότι η ανάπτυξη τοπικού λυγισμού στα πέλματα δεν δείχνει μια άμεση απώλεια της αντοχής σε ροπή. Οι δοκοί μπορούν να φέρουν φορτία ουσιαστικά μεγαλύτερα από αυτά που δημιουργούν αρχικό λυγισμό στα πέλματα. Αυτή η συμπεριφορά αποδίδεται στην υπολογίσιμη μετά - λυγισμική αντοχή των επιπέδων στοιχείων. Παρόλα αυτά μετά την εμφάνιση του μέγιστου φορτίου στους κύκλους φόρτισης που ακολουθούν, η αντοχή σε ροπή φθίνει. Αυτή η χειροτέρευση είναι μεγαλύτερη με τη αύξηση του λόγου πλάτους-πάχους (b/t) των πελμάτων σαν συνέπεια της πρώιμης εμφάνισης τοπικής αστάθειας στα πέλματα.

Οι σοβαρές παραμορφώσεις των πελμάτων τείνουν να επιβάλλουν την στρεπτική μετακίνηση της διατομής (Διαφάνειες 3 και 4). Σχετίζονται με ένα χαμηλότερο φορτίο από αυτό που μπορεί να αναπτυχθεί σε καθαρό καμπτικό λυγισμό. Αυτό το αποτέλεσμα είναι πιθανό να συμβάλλει στην κατά κάποιο τρόπο φτωχότερη απόδοση των δοκών H και I συγκρινόμενων με κιβωτοειδούς μορφής διατομές όπως φαίνονται στο Σχήμα 9 και στις Διαφάνειες 5 και 6. Για αυτό τον λόγο, εκτός και αν υπάρχουν στηρίξεις σε εγκάρσια διεύθυνση, η χρήση των κιβωτοειδών διατομών προτιμάται. Ομοίως η συμπεριφορά δικτυωτών δοκών βελτιώνεται με χρήση χαλύβδινων σωλήνων με υψηλή στρεπτική ακαμψία σαν στοιχεία πελμάτων.

Για να επιτραπεί η ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης επαρκή ικανότητα στροφής (συντελεστής ολκιμότητας περίπου 15-18) σε δοκούς διατομής H και I, πρέπει να πληρούται η ακόλουθη συνθήκη του πέλματος:

Αυτή η συνθήκη γενικά ικανοποιείται από τις πρότυπες σιδηρές διατομές που υπάρχουν σήμερα. Αυτό ο περιοριστικός λόγος εξασφαλίζει ότι τα πέλματα μπορούν να υποστούν θλίψη ομοιόμορφα χωρίς να λυγίζουν με παραμορφώσεις μέχρι την περιοχή κράτυνσης του υλικού. Η αύξηση της ευστάθειας γενικά συνοδεύεται από μια αύξηση της πλαστιμότητας της δοκού.

Περιορισμένη πληροφόρηση είναι διαθέσιμη για την ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά των δοκών με λόγους b/t που υπερβαίνουν την οριακή τιμή. Παρόλα αυτά η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά και αντοχή αυτών των δοκών είναι παρόμοια με αυτών με b/t των πελμάτων λιγότερο από αυτό το όριο. Όμως έχει παρατηρηθεί λυγισμός των πελμάτων σε ροπή κατά λίγο υψηλότερη από την πλαστική ροπή.

Περαιτέρω έρευνα είναι αναγκαία έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί ο περιορισμός του λόγου πλάτους - πάχους για ελάσματα υπό ανακυκλιζόμενη κάμψη.

Για δοκούς με διατομές που έχουν διαφορετικά βασικά χαρακτηριστικά στις δύο διευθύνσεις, η ικανότητα στροφής και ο συντελεστής πλαστιμότητας μπορεί να είναι επίσης διαφορετικά και στις δύο διευθύνσεις. Διατομές Tαυ, για παράδειγμα, έχουν διαφορετικές ικανότητες στροφής στους δύο κύριους άξονες κάμψης.

Σε πλαίσια, για να εξασφαλισθεί η ικανοποιητική υστερητική ικανότητα στροφής των δοκών κάτω από την επίδραση της πλήρους πλαστικής ροπής, οι ακόλουθες ανισότητες πρέπει να ελεγχθούν στις θέσεις όπου αναμένεται ο σχηματισμός των αρθρώσεων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8[2]:

$$\frac{M}{M_{pd}} \leq 1,0 \quad \frac{N}{N_{pd}} \leq \frac{1}{10} \frac{V_o + V_M}{V_{pd}} \leq \frac{1}{3}$$

όπου

N, M είναι τα αποτελέσματα της δράσης λαμβάνοντας υπ όψιν τον συντελεστή συμπεριφοράς q .

N_{pd}, M_{pd} είναι οι οριακές αντοχές σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

V_o είναι η διατμητική δύναμη λόγω κατακόρυφων φορτίων.

V_M είναι η διατμητική δύναμη λόγω των ροπών της δοκού στα άκρα της

V_{pd} είναι η διατμητική αντοχή της δοκού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3[3].

Μερικές πειραματικές πληροφορίες για την συμπεριφορά των υποστυλωμάτων κάτω από επαναλαμβανόμενη κάμψη με σταθερή αξονική δύναμη είναι διαθέσιμες. Δείχνουν ότι όπου υπάρχει μεγάλη αξονική δύναμη, το ύψος της πρώτης καμπύλης φόρτισης είναι χαμηλό και οι κλίσεις των καμπυλών είναι αρνητικές μετά την επίτευξη του μέγιστου φορτίου σε κάθε κύκλο φόρτισης (Σχήμα 10). Αυτό το αποτέλεσμα συνήθως αναφέρεται σαν P-Δ αποτέλεσμα. Πρέπει να σημειωθεί, παρόλα αυτά, ότι η φέρουσα ικανότητα φορτίου αυξάνεται σε κάθε κύκλο φόρτισης λόγω της συσσωρευόμενης κράτυνσης σε θλίψη κάτω από επαναλαμβανόμενη κάμψη και σταθερή δύναμη. Η συσώρευση τάσης που δημιουργείται από ανακυκλιζόμενη κάμψη θα μειώσει την ικανότητα στροφής της διατομής. Η έκταση της μείωσης δεν έχει εξετασθεί σε βάθος. Δεν είναι ακόμα γνωστό το μέγεθος στο οποίο αυτή η μείωση επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα των υποστυλωμάτων.

Η ύπαρξη της αξονικής δύναμης στα υποστυλώματα οδηγεί σε μια πιο γρήγορη μείωση της φέρουσας ικανότητας, οφειλομένης σε πιο εκτεταμένο λυγισμό σε σύγκριση με τις δοκούς.

8. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Υπάρχουν πολλοί τύποι και παραλλαγές των συνδέσεων, και η κάθε μία έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά στροφής που επηρεάζουν την πλαισιακή συμπεριφορά. Συγκολλήσεις εσωραφών, συγκολλήσεις εξωραφών, κοχλιώσεις και ηλώσεις μπορεί να χρησιμοποιούνται για σεισμικές συνδέσεις, είτε από μόνες τους είτε σε συνδυασμό. Καθώς οι πλήρως κοχλιωτές ή ηλωτές συνδέσεις τείνουν να γίνουν μεγάλες και δαπανηρές, οι πλήρως συγκολλητές συνδέσεις ή ο συνδυασμός κοχλίωσης και συγκόλλησης χρησιμοποιείται πιο συχνά. Οι κοχλίες έχουν το πλεονέκτημα να προσδίδουν περισσότερη απόσβεση σε πλαίσια από τις συγκολλήσεις.

Οι συνδέσεις πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να κάνουν την κατασκευή και την ανέγερση της πλαισιωτής κατασκευής όσο το δυνατόν πιο γρήγορη και απλή.

Τα τελικά κριτήρια σχεδιασμού για κόμβους δοκού-υποστυλώματος δεν είναι ακόμα διαθέσιμα για σεισμικές συνθήκες. Μέχρι το πρόσφατο παρελθόν σχετικά λίγα πειράματα ανακυκλιζόμενης φόρτισης είχαν γίνει σε συνδέσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη. Επί του παρόντος πολλές πειραματικές έρευνες βρίσκονται σε εξέλιξη σε διαφορετικά εργαστήρια της Ευρώπης. Ασχολούνται με την ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά άκαμπτων και ημιάκαμπτων κόμβων, και για σιδηρές και για σύμμικτες κατασκευές.

Προκαταρκτική έρευνα για την εξέταση της επιρροής των λεπτομερειών του κόμβου έγινε το 1984 από τους Balio, Mazzolani και άλλους σε 14 δείγματα[4]. Οι τύποι συνδέσεων ήταν σύμφωνες με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για άκαμπτους και ημιάκαμπτους κόμβους. Τα πειράματα ακολούθησαν την πειραματική διαδικασία που προτείνεται από την ECCS για σύντομες δοκιμές[1]. Τα δείγματα ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες (Σχήμα 11):

Τύπος Α - Αυτός ο τύπος της σύνδεσης έγινε με την χρήση τριών πλακών σύνδεσης οι οποίες συγκολλήθηκαν στο υποστύλωμα και κοχλιώθηκαν στα πέλματα και τον κορμό της δοκού. Ο βασικός τύπος A1 διαφοροποιείται με την εισαγωγή διαγώνιων ελασμάτων ακαμψίας στον κορμό του υποστυλώματος (A2, A4) ή ελασμάτων ενίσχυσης στα πέλματα της δοκού (A3, A4).

Τύπος Β - Γωνιακά έχουν κοχλιωθεί και στο υποστύλωμα και στην δοκό. Ο βασικός τύπος B1 διαφοροποιείται με τις πρόσθετες νευρώσεις ακαμψίας στο υποστύλωμα (B2, B4) ή στα γωνιακά που συνδέονται στα πέλματα της δοκού (B3, B4).

Τύπος C - Μετωπικές πλάκες κόμβων με άκαμπτη κοχλίωση υποστυλώματος. Διαφοροποίηση του βασικού τύπου C1 με την εισαγωγή ράβδων νευρώσεων στον κορμό της δοκού (C2, C3, C4) ή με αύξηση του πάχους της μετωπικής πλάκας (C, C4).

Τύπος D - Πλήρως συγκολλητή σύνδεση βασικού τύπου (D1) ή διαφοροποίηση με ενίσχυση του κορμού του υποστυλώματος μέσω επιπέδων ελασμάτων.

Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων (Σχήμα 12) δείχνει το ρόλο που παίζει η λεπτομέρεια των συνδέσεων κάτω από εναλλασσόμενες συνθήκες φόρτισης.

Συγκρίνοντας για παράδειγμα το A4 με το A3, η εισαγωγή ενός διαγωνίου ελάσματος για να γίνει πιο άκαμπτο το κεντρικό φάτνωμα του υποστυλώματος (Διαφάνειες 7 και 8) μειώνει την απορρόφηση ενέργειας, αυξάνει την αντοχή, και η κατάρρευση γίνεται ψαθυρή γιατί η αστοχία προήλθε στο μέγιστο φορτίο. Η ανάποδη συμπεριφορά βρέθηκε για το A1 και το A3 τα οποία κατάρρευσαν με όλκιμο τρόπο.

Τα στοιχεία ακαμψίας που τοποθετήθηκαν κάτω από το πέλμα του υποστυλώματος για να ελεγχθεί η παραμόρφωση που προκαλείται από την εφελκυστική δύναμη των κοχλιών των γωνιακών,(Διαφάνειες 9 και 10) αύξησαν την αντίσταση της σύνδεσης B3 σε σχέση με την B4, για παράδειγμα. Η εισαγωγή της τριγωνικής πλάκας στο γωνιακό που συνδέει την δοκό και το πέλμα του υποστυλώματος επίσης προκαλεί μια αύξηση της ενέργειας και της αντίστασης.

Η προσθήκη των νευρώσεων ακαμψίας στα πέλματα και τον κορμό της δοκού (συγκρίνετε το C2 με το C1 στα Διαφάνειες 11 και 12) μείωσε την ενέργεια και αύξησε την αντοχή. Η αύξηση του πάχους της μετωπικής πλάκας στα C3 και C4 ή η εισαγωγή νευρώσεως μερικής ή πλήρους ακαμψίας στην δοκό βελτίωσε το επίπεδο φορτίου, αλλά όχι αρκετά προκειμένου για να ισοφαρίσει την ενέργεια που απορροφάται από το C1.

Η ενίσχυση του φανώματος του υποστυλώματος στο D2 δημιούργησε μια μείωση της απορρόφησης ενέργειας και μια αύξηση του επιπέδου του φορτίου που έφτασε σε σύγκριση το D1 (Διαφάνειες 13 και 14).

Βασισμένες σε αυτά τα τεστ μπορούν να εξαχθούν, μερικές γενικές ποιοτικές ενδείξεις που αφορούν την λεπτομερή διαμόρφωση του κόμβου:

- Αν ελάσματα ακαμψίας προστεθούν στα τμήματα της σύνδεσης τα οποία ευθύνονται περισσότερο για την ευκαμψία της, το ποσόν της απορροφούμενης ενέργειας μειώνεται αλλά το επίπεδο του φορτίου αυξάνεται.
- Αν προστεθούν στοιχεία στο κόμβο τα οποία δεν μετατρέπουν ουσιαστικά τον μηχανισμό παραμόρφωσης αλλά αυξάνουν την τοπική αντοχή των δομικών στοιχείων τότε θα υπάρχει μια αύξηση της απορρόφησης ενέργειας και του επιπέδου του φορτίου με την προϋπόθεση ότι η κατάρρευση θα είναι όλκιμη.

Για αυτό τον τύπο της σύνδεσης η πλαστική στροφή της δοκού αναπτύσσεται κυρίως από την επέκταση της πλαστικής παραμόρφωσης κοντά στην σύνδεση. Γενικά για να ελέγχεται αυτή η επέκταση της πλαστικής περιοχής στο στοιχείο στην γειτονιά της σύνδεσης, η σύνδεση δοκού-υποστυλώματος πρέπει να έχει μια οριακή ροπή κάμψης η οποία να είναι μεγαλύτερη από την πλήρη ροπή αντοχής του εξεταζόμενου στοιχείου. Για αυτό τον λόγο ο Ευρωκώδικας 8[3] απαιτεί η αντοχή της σύνδεσης να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του γειτονικού συνδεδεμένου στοιχείου :

$$R_d > 1,20 R_y$$

όπου R_d είναι η αντοχή της σύνδεσης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3[2] και R_{fy} είναι η αντοχή διαρροής του συνδεδεμένου μέρους. Συνδέσεις κατασκευασμένες με συγκολλησεις εσωραφής πλήρους διείσδυσης θεωρούνται ότι ικανοποιούν αυτό το κριτήριο υπεραντοχής.

Οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος είναι από τους πιο συνηθισμένους τύπους συνδέσεων στις σιδηρές κατασκευές. Παρόλα αυτά άλλοι τύποι συνδέσεων μπορεί να εμφανισθούν στα σιδηρά πλαίσια. Σε πλαίσια με έκκεντρους δικτυωτούς συνδέσμους (Σχήμα 13) οι αξονικές δυνάμεις στη μία διαγώνιο μεταφέρονται στην άλλη, ή σε υποστύλωμα μέσω διάτμησης και κάμψης σε μικρό κομμάτι της δοκού το οποίο καλείται δοκός σύζευξης. Η συμπεριφορά του είναι σημαντικά εξαρτώμενη από το μήκος του. Αν είναι ικανοποιητικά μακρύς, οι πλαστικές αρθρώσεις διαμορφώνονται και στα δύο άκρα του συνδέσμου. Από την άλλη μεριά, αν αυτός ο σύνδεσμος είναι κοντός τείνει να διαρρεύσει διατμητικά με μικρότερες ροπές άκρων.

Δοκοί σύζευξης ίσοι ή κοντότεροι από b^* (Σχήμα 13) θα διαρρεύσουν λόγω επικράτησης της διάτμησης, και καλούνται διατμητικοί δοκοί σύζευξης. Οι δοκοί που είναι κατά τι μακρότεροι γνωρίζουν ουσιαστικά αλληλεπίδραση ροπής-διάτμησης. Οι ροπές άκρων των μακρών δοκών σύζευξης θα προσεγγίσουν την πλαστική ροπή αντοχής των δοκών και οι καμπτικές πλαστικές αρθρώσεις θα διαμορφωθούν στα άκρα των δοκών σύζευξης. Τέτοιοι δοκοί αναφέρονται σαν καμπτικοί δοκοί σύζευξης.

Για καμπτικές δοκούς σύζευξης μια μεγάλη αύξηση στην διάτμηση μπορεί να συμβεί μόνο με μια μικρή αλλαγή στην ροπή. Αντίστροφα, για διατμητικούς δοκούς σύζευξης η διατμητική αντοχή παραμένει σχεδόν σταθερή για μια σημαντική περιοχή της ακραίας ροπής.

Βασισμένα στα αποτελέσματα των ερευνών που έγιναν από τον Ρορον και άλλους στην σεισμική συμπεριφορά των δοκών σύζευξης [5, 6, 7] μερικά γενικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για την υστερητική συμπεριφορά αυτού του τύπου της σύνδεσης :

- Η ανελαστική διάτμηση είναι πιο αποτελεσματική από τον ανελαστικό λυγισμό του κορμού για απορρόφηση ενέργειας.
- Οι νευρώσεις ακαμψίας βελτιώνουν την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας μιας δοκού σύζευξης καθυστερώντας την είσοδο στον ανελαστικό λυγισμό κορμού (Σχήμα 14). Οι νευρώσεις ακαμψίας επιβραδύνουν τον υποβιβασμό της αντοχής της φέρουσας ικανότητας σε μια δοκό σύζευξης ελέγχοντας το μέγεθος της μετακίνησης του κορμού εκτός του επιπέδου του.
- Η αλληλεπίδραση των πεδίων λυγισμού του κορμού και του πέλματος δημιουργεί μια πιο σοβαρή υποβάθμιση αντοχής από ότι μόνοι τους οι τρόποι.

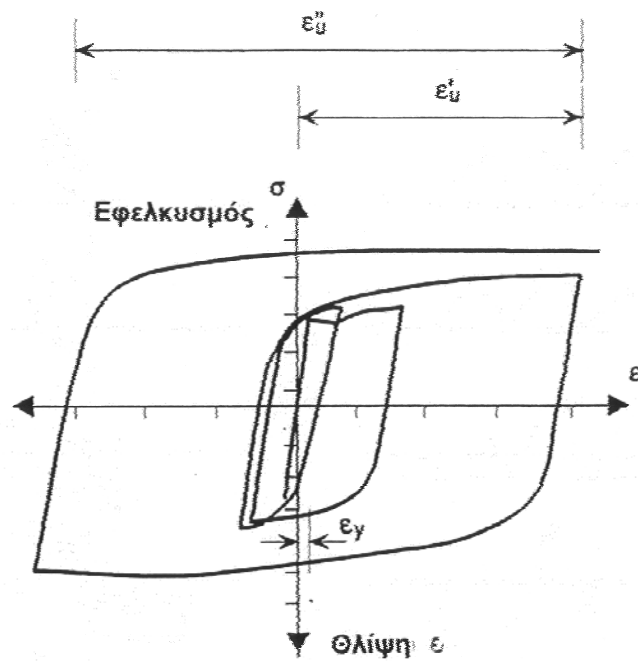
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8[3], για να εξασφαλισθεί η διαμόρφωση του μηχανισμού διάτμησης στη δοκό σύζευξης με πλήρη ικανότητα παραμόρφωσης, οι πλήρεις αντοχές στα αποτελέσματαδράσεων των διάφορων από διάτμηση περιορίζονται αριθμητικά όπως ακολούθως :

$$\frac{V}{V_{pd}} \leq 1,00 \quad \frac{M}{M_{pd}} \leq 0,70 \quad \frac{N}{N_{pd}} \leq 0,10$$

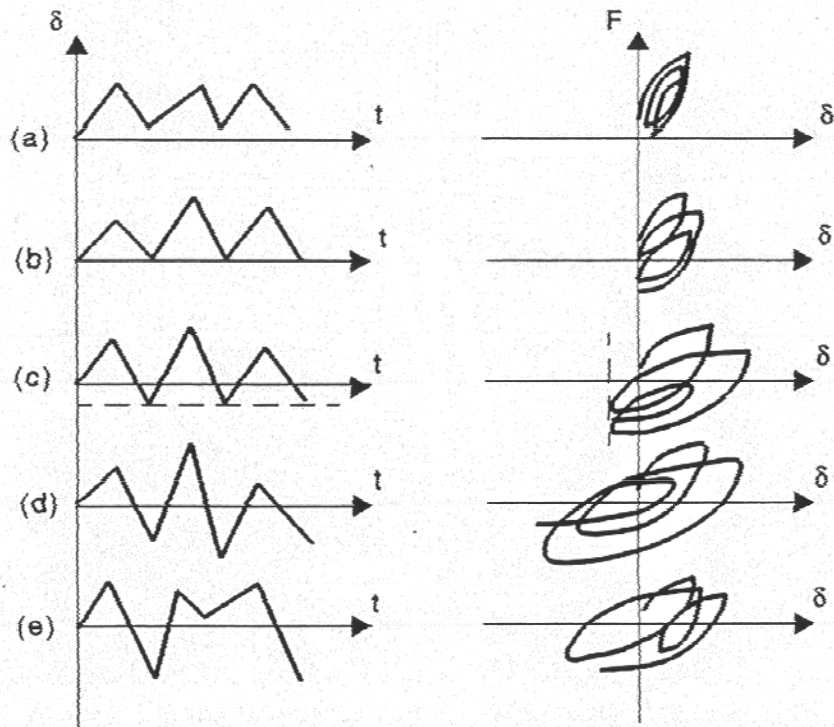
όπου V, M και N είναι οι δράσεις - αντιδράσεις και ο δείκτης pd δηλώνει την αντίστοιχη οριακή αντοχή.

9. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Στον σεισμικό σχεδιασμό είναι πολύ σημαντικό να αποτιμηθεί η πλαστιμότητα της κατασκευής.
2. Πολλοί παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση και την πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων και συνδέσεων, όπως η λυγηρότητα, η μορφή της διατομής, τα φαινόμενα δευτέρα τάξεως και ο σχεδιασμός των λεπτομερειών.
3. Οι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα που χρησιμοποιούνται συνήθως στις σιδηρές κατασκευές είναι εξαιρετικά υλικά που έχουν μια υψηλή πλαστιμότητα κατά την διεύθυνση της ελάσεως.
4. Η υστερητική συμπεριφορά των στοιχείων ακαμψίας επηρεάζεται από την λυγηρότητα. Αύξηση της λυγηρότητας προκαλεί μείωση της απορροφώμενης ενέργειας.
5. Η πλαστιμότητα των δοκών και των υποστυλωμάτων επηρεάζεται αρκετά από τον λόγο πλάτους- πάχους των θλιβομένων στοιχείων και από την στάθμη του αξονικού φορτίου.
6. Ο σχεδιασμός των λεπτομερειών των συνδέσεων μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στην ευκαμψία τους, στην απορρόφηση ενέργειας, στην αντοχή και στην πλαστιμότητα.



ΣΧΗΜΑ 1 Σχέση τάσης - παραμόρφωσης δομικού χάλυβα κάτω απο μοναξονικούς υστερητικούς βρόγχους



ΣΧΗΜΑ 2 Παραδείγματα τύπων ιστορικών φόρτισης

ESDEP OE 17

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Διάλεξη 17.4 : Δομική ανάλυση για Σεισμικές Δράσεις

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να δοθεί μια γενική άποψη των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των κατασκευών κάτω από σεισμικές δράσεις.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Βασική γνώση ανάλυσης των κατασκευών και δυναμικής των κατασκευών.

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 17.2 : Εισαγωγή στον Σεισμικό Σχεδιασμό-Σεισμική Επικινδυνότητα και Σεισμικός Κίνδυνος

Διάλεξη 17.3 : Η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά των Στοιχείων και των Συνδέσεων

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η διάλεξη παρουσιάζει εν συντομία τις μεθόδους που ορίζονται από τους σύγχρονους κανονισμούς σχεδιασμού για την ανάλυση κατασκευών κάτω από σεισμικές δράσεις. Οι μέθοδοι με χρονική ολοκλήρωση περιγράφονται εν συντομία και συγκεκριμενοποιείται ο σκοπός της εφαρμογής τους. Εμφαση δίνεται στην μέθοδο του φάσματος απόκρισης σαν τυπικής διαδικασίας που προτείνεται για παράδειγμα από τον Ευρωκώδικα 8[1]. Πρόσθετα, μια απλοποιημένη μέθοδος του φάσματος απόκρισης παρουσιάζεται για συνήθη κτίρια. Τέλος συζητείται η ανελαστική συμπεριφορά και ο ρόλος της στον σχεδιασμό κάτω από σεισμικές δράσεις.

1. ΓΕΝΙΚΑ

Αρκετές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την δομική ανάλυση των κτιρίων και άλλων έργων πολιτικού μηχανικού κάτω από σεισμικές δράσεις. Οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων εντοπίζονται (α) στον τρόπο που εισάγουν τη σεισμική δράση και (β) στην εξειδίκευση της κατασκευής. Όλες οι μέθοδοι ανάλυσης πρέπει να υπηρετούν την τρέχουσα φιλοσοφία σχεδιασμού για σεισμικές δράσεις, η οποία απαιτεί η κατασκευή να μην καταρρεύσει και να κρατήσει την δομική της ακεραιότητα κάτω από τον επονομαζόμενο "ισχυρό" σεισμό. Η κατασκευή θα πρέπει επίσης να προστατευθεί από βλάβες και περιορισμούς χρήσης κάτω από τον λεγόμενο "μέτριο" σεισμό. Για να αποφευχθεί η κατάρρευση, επιτρέπεται η κατασκευή να αναπτύσσει πλαστικές ζώνες στις οποίες απορροφάται η σεισμική ενέργεια.

Λεπτομέρειες των βασικών απαιτήσεων της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών και τα κριτήρια που απαιτούνται για την διασφάλιση της συμμόρφωσης με αυτές τις απαιτήσεις, μπορούν να βρεθούν σε όλους τους μοντέρνους αντισεισμικούς κανονισμούς π.χ. Ευρωκώδικας 8.

2. ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΧΡΟΝΟΥ)

Λόγω της δυναμικής φύσης της σεισμικής διέγερσης, οι ενεργές μετακινήσεις και τάσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή είναι χρονικά εξαρτώμενες δηλ. είναι συναρτήσεις του χρόνου(t). Για να αναλύσουμε μια κατασκευή κάτω από δυναμικά φορτία, έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικές μέθοδοι που διακριτοποιούν και λύνουν το μοντέλο της κατασκευής με την μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων. Μέσα στο πλαίσιο αυτό υπάρχουν μέθοδοι που μπορούν να εκτελέσουν γραμμική και μη γραμμική ανάλυση, δηλαδή ανάλυση ελαστική, με μικρές παραμορφώσεις ή ανελαστική, με μεγάλες παραμορφώσεις για δεδομένη σεισμική διέγερση, εκφρασμένη με την μορφή επιταχυνσιογραφήματος $a(t)$. Το κόστος μιας τέτοιας ανάλυσης είναι γενικά υψηλό, ενώ τα αποτελέσματα ανταποκρίνονται σε μια συγκεκριμένη διέγερση και έτσι δεν προσφέρουν μια αξιόπιστη βάση για τον σχεδιασμό. Για να αυξήσουμε την αξιοπιστία της μεθόδου δημιουργείται συνήθως, ένα σύνολο από τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα. Αυτή η διαδικασία όμως κάνει την μέθοδο πολύ δαπανηρή.

Ο Ευρωκώδικας 8[1] θεωρεί την χρήση της δυναμικής ανάλυσης με χρονική ολοκλήρωση, δηλ. μια άμεση δυναμική ανάλυση εκτελούμενη με αριθμητική ολοκλήρωση των διαφορικών εξισώσεων της κίνησης. Ορίζει συνθήκες για την χρήση των τεχνητά δημιουργημένων επιταχυνσιογραφήματων και συζητά την γενική αξιοπιστία της μεθόδου. Η αξιοπιστία πρέπει να είναι τουλάχιστον η ίδια με αυτήν που προτείνεται από την τυπική διαδικασία του Κανονισμού που είναι η μέθοδος του φάσματος απόκρισης. Παρόλο που οι άμεσες δυναμικές μέθοδοι μπορούν να επιτελέσουν μια ανάλυση κοντά στην πραγματικότητα, αυτή η προσέγγιση δικαιώνεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά μόνο για μεγάλες και σύνθετες κατασκευές. Χρησιμοποιείται όπου υπάρχει η προηγούμενη εμπειρία της συμπεριφοράς της κατασκευής, ή για λεπτομερή αποτίμηση της απόκρισης υπάρχουσών κατασκευών κάτω από συγκεκριμένους σεισμούς.

Το κόστος μιας ανάλυσης βασισμένης στην μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων μπορεί να κρατηθεί λογικό με την χρήση γραμμικών στοιχείων και με την αποφυγή χρήσης επιφανειακών στοιχείων. Η μάζα της κατασκευής των κτιρίων είναι κυρίως συγκεντρωμένη στα επίπεδα των ορόφων. Αυτή η κατανομή επιτρέπει την χρησιμοποίηση όλων των μαζών της κατασκευής σαν φερόμενων στα επίπεδα των ορόφων στην δυναμική ανάλυση. Οι δυναμικοί βαθμοί ελευθερίας για τους οποίους οι αδρανειακές δυνάμεις αναπτύσσονται μπορούν να μειωθούν σε ένα λογικό αριθμό. Όλοι οι εναπομείναντες κινηματικοί βαθμοί ελευθερίας ελέγχουν την στατική της κατασκευής, και μπορούν να εκφραστούν με όρους των δυναμικών βαθμών ελευθερίας. Με αυτό τον τρόπο ο αριθμός των διαφορικών εξισώσεων που εκφράζουν την δυναμική απόκριση του συστήματος μπορεί να μειωθεί σε μικρό αριθμό, οδηγώντας σε λογικές και αποδεκτές λύσεις.

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Οι χρονικά εξαρτώμενες λύσεις που συζητήθηκαν παραπάνω εκφράζουν την δυναμική απόκριση της κατασκευής λόγω συγκεκριμένου σεισμού διδόμενου με την μορφή ενός επιταχυνσιογραφήματος. Δεν προσφέρουν την απαιτούμενη πληροφόρηση για τον σχεδιασμό γιατί ένας συγκεκριμένος σεισμός δεν μπορεί να αντιπροσωπεύει την σεισμικότητα της θεωρούμενης περιοχής.

Για να ορισθεί μια περιβάλλουσα διαφορετικών σεισμών και να απαλειφθεί ο παράγοντας χρόνος, αναπτύχθηκε η ιδέα του φάσματος απόκρισης. Το φάσμα απόκρισης δίνει την απαραίτητη πληροφόρηση για τον σχεδιασμό και την ίδια ώρα απλοποιεί την ανάλυση μικραίνοντας το πρόβλημα σε ένα στατικό πρόβλημα των εκτιμημένων μέγιστων αποκρίσεων. Το φάσμα απόκρισης ορίζεται σε ένα σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας μεταβλητής συχνότητας διεγερμένου από συγκεκριμένο σεισμό, ως η μέγιστη απόκριση του συστήματος, αγνοώντας τον συγκεκριμένο χρόνο εκδήλωσής του. Αν η απόκριση είναι η μετακίνηση του συστήματος τότε διαμορφώνεται το φάσμα μετακίνησης. Αν η απόκριση είναι η ταχύτητα ή η επιτάχυνση, αναπτύσσεται το φάσμα ταχύτητας ή επιτάχυνσης. Το φάσμα απόκρισης της επιτάχυνσης είναι πρωτίστου ενδιαφέροντος στην σεισμική μηχανική. Πιο πολλές λεπτομέρειες γύρω από το φάσμα απόκρισης των σεισμών δίνεται στην Διάλεξη 17.2.

Η μέθοδος ανάλυσης με το φάσμα απόκρισης είναι η τυπική διαδικασία σχεδιασμού των σύγχρονων σεισμικών κανονισμών π. χ. Ευρωκώδικας 8. Στοχεύει δε να δοθούν άμεσα τα μέγιστα αποτελέσματα του σεισμού στα διάφορα στοιχεία της κατασκευής.

Η γενική μέθοδος, η καλούμενη επίσης μέθοδος επαλληλίας των ιδιομορφών, συνίσταται στον υπολογισμό των διαφόρων μορφών ταλάντωσης της κατασκευής και του μεγέθους της μέγιστης απόκρισης σε κάθε μορφή αναφορικά με ένα φάσμα απόκρισης. Ένας κανόνας χρησιμοποιείται τότε για τον συνδυασμό των αποκρίσεων των διάφορων ιδιομορφών. Για αυτό τον λόγο η μέθοδος είναι επίσης γνωστή σαν η μέθοδος της επαλληλίας των ιδιομορφικών αποκρίσεων, παρόλο που η ίδια ονομασία χρησιμοποιείται στην γραμμική δυναμική ανάλυση όπου τα σχήματα χρησιμοποιούνται για την απόζευξη των διαφορικών εξισώσεων της κίνησης και την μετατροπή του n βαθμού συζευγμένου συστήματος σε n -ενός βαθμού ελευθερίας συστήματα. Αυτός ο συνδυαστικός κανόνας είναι γενικά η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων(5K58) των διάφορων αποκρίσεων. Ο συνδυαστικός κανόνας πρέπει να εφαρμόζεται σε όλα τα υπολογιστικά μεγέθη π. χ. ροπές κάμψης, διατμητικές δυνάμεις, ορθές δυνάμεις και μετακινήσεις. Σαν συνέπεια, οι προκύπτουσες δυνάμεις δεν αποτελούν ένα ισορροπούν σύνολο. Όπου οι συχνότητες μιας κατασκευής δεν διαφέρουν περισσότερο από 10%, διαφορετικοί συνδυαστικοί κανόνες πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Στο Σχήμα 1 τα βήματα μιας τέτοιας ανάλυσης μέσω του φάσματος απόκρισης παρουσιάζονται εν συντομία.

Η μέθοδος του φάσματος απόκρισης ισχύει μόνο για γραμμική συμπεριφορά της κατασκευής, δηλαδή μόνο για ελαστική ανάλυση με μικρές παραμορφώσεις. Για αυτό τον λόγο ο όρος ελαστική απόκριση χρησιμοποιείται συνήθως. Παρόλα αυτά μπορεί να αναπτυχθεί μια ισοδύναμη μέθοδος η οποία είναι αποτέλεσμα συγκριτικών αναλύσεων γραμμικών και μη-γραμμικών. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα τροποποιημένο φάσμα απόκρισης τέτοιο ώστε οι εξαγόμενες εσωτερικές δυνάμεις από μια γραμμική ανάλυση

να μπορούν να συσχετισθούν με τις μη-γραμμικές. Αυτό το τροποποιημένο φάσμα αναφέρεται σαν το φάσμα απόκρισης σχεδιασμού. Παράγεται από την τροποποίηση του ελαστικού φάσματος με συντελεστές που λαμβάνουν υπ' όψιν την επιρροή της μη-γραμμικότητας του δομικού υλικού, το έδαφος και άλλα χαρακτηριστικά απόσβεσης. Στο Σχήμα 2 το φάσμα απόκρισης σχεδιασμού όπως χρησιμοποιείται στην ανάλυση των κατασκευών, παρίσταται σχηματικά όπως δίνεται στον Ευρωκώδικα 8.

Το κύριο πλεονέκτημα στη χρησιμοποίηση του φάσματος απόκρισης σχεδιασμού είναι ότι η ανάλυση είναι γραμμική ενώ τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν την μη-γραμμική απόκριση της κατασκευής.

Μια πιο απλοποιημένη διαδικασία από την μέθοδο επαλληλίας των ιδιόμορφων, είναι η επονομαζόμενη ισοδύναμη ανάλυση στατικής δύναμης, μερικές φορές επίσης καλούμενη, π. χ. στον Ευρωκώδικα 8[1], απλοποιημένη δυναμική ανάλυση. Αυτή η μέθοδος είναι μια ιδιαίτερη εφαρμογή του φάσματος απόκρισης σχεδιασμού όπου μια ιδιαίτερη μορφή ταλάντωσης υπερτερεί έναντι των άλλων. Αυτή είναι η περίπτωση των συνήθων κτιρίων (κανονικότητα ακαμψίας και κατανομής μάζας καθ' ύψος του κτιρίου σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα, βλέπε Διάλεξη 17. 5). Το σύστημα προσομοιώνεται με ακρίβεια με σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας. Στην ουσία το φάσμα απόκρισης σχεδιασμού ανάγεται σε μια μορφή ταλάντωσης για να εκφραστεί η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος. Συνήθως η μορφή του πρώτου καμπτικού τρόπου θεωρείται σαν θεμελιώδης τρόπος ταλάντωσης που μπορεί να απλοποιηθεί επιπλέον σε μια απλή γραμμή. Οι ισοδύναμες στατικές δυνάμεις υπολογίζονται όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Μια κλασική στατική ανάλυση μπορεί τότε να παρασταθεί κάτω από την δράση αυτών των ισοδύναμων στατικών δυνάμεων. Η μόνη προαπαιτήση της μεθόδου είναι η θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης T της κατασκευής. Χρειάζεται να υπολογισθεί έτσι ώστε να βρεθεί η κατάλληλη τιμή του φάσματος σχεδιασμού $\beta(T)$, που είναι αναγκαία για να υπολογισθεί η τέμνουσα βάσης V . Εναλλακτικά, αν μια ακριβής τιμή της περιόδου T δεν είναι διαθέσιμη, η τιμή της θεμελιώδους περιόδου μπορεί να υπολογισθεί προσεγγιστικά χρησιμοποιώντας μια από τις προτεινόμενες σχέσεις.

Η μέθοδος της ισοδύναμης στατικής δύναμης είναι μια προσεγγιστική μέθοδος η οποία επαρκεί για συγκεκριμένους τύπους κατασκευών και για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό άλλων κατασκευών. Μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπου αυτή η μέθοδος δεν είναι ακριβής γιατί η συμβολή από υψηλότερους τρόπους ταλάντωσης μπορεί να είναι σημαντική. Για αυτές τις περιπτώσεις μια ανάλυση του πλήρους δυναμικού φάσματος απόκρισης συνιστάται για το τελευταίο στάδιο σχεδιασμού.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται μια σύνοψη των πιθανών μεθόδων της δομικής ανάλυσης κάτω από σεισμικές δράσεις. Επιπρόσθετα μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Τα αποτελέσματα ενός σεισμού σε μια κατασκευή εξαρτώνται από την ακαμψία της και την μάζα της. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε εύκαμπτες κατασκευές (υψηλή θεμελιώδης περίοδος T) είναι γενικά μικρότερες από αυτές των άκαμπτων κατασκευών.
- Τα αποτελέσματα ενός σεισμού σε μια κατασκευή εξαρτώνται από την

κατανομή της μάζας και της ακαμψίας στην κατασκευή. Μη κανονική κατανομή εμπλέκει την επιρροή περισσότερων τρόπων ταλάντωσης στην απόκριση.

- Απλοποιημένες μέθοδοι ανάλυσης, όπως η μέθοδος ανάλυσης της ισοδύναμης στατικής δύναμης, γενικά μπορεί να εφαρμοσθούν σε συνήθεις κατασκευές, αλλά σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να δώσει ανασφαλή αποτελέσματα.
- Οι μη συνήθεις κατασκευές απαιτούν μια πιο εμπειριστατωμένη ανάλυση, όπως η μέθοδος φάσματος απόκρισης ή η μέθοδος επαλληλίας των ιδιόμορφων.
- Μεγάλες κατασκευές με ειδικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς θα πρέπει να αναλυθούν με πιο τέλειες μεθόδους όπως η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση.
- Ο μελετητής πρέπει να έχει πάντα στο μυαλό του ότι σε όλες τις παραπάνω αναφερόμενες μεθόδους ανάλυσης, πολλές αβεβαιότητες έχουν εξηγηθεί ορθολογιστικά. Ο έλεγχος των αβεβαιοτήτων απαιτεί συμμόρφωση με τους κανόνες της "καλής πρακτικής" που αναφέρονται στην Διάλεξη 17.5. Οι αβεβαιότητες σχετίζονται με την συμπεριφορά του δομικού υλικού κάτω από κυκλική φόρτιση, την ασυμφωνία των σεισμικών χαρακτηριστικών, τον συντελεστή πραγματικής απόσβεσης, την αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής κ. λ. π.

Είναι σαφές από τα προηγούμενα ότι η μελέτη μιας ανθεκτικής σε σεισμό κατασκευής είναι ένας πολύπλοκος στόχος που απαιτεί κρίση μηχανικού. Πρέπει να γίνεται από πεπειραμένους μηχανικούς. Η τυφλή χρήση του λογισμικού υπολογιστών σαν μαύρα κουτιά μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή σχεδιασμό.

4. Η ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Ο ελαστικός σχεδιασμός μιας ανθεκτικής σε σεισμό κατασκευής οδηγεί σε πολύ ακριβές κατασκευές. Επιπλέον δεν είναι σύμφωνος με την τρέχουσα φιλοσοφία σχεδιασμού η οποία επιζητεί να εδραιώσει ελεγχόμενες ζώνες απορρόφησης ενέργειας στην κατασκευή όπου η σεισμική ενέργεια μπορεί να απορροφηθεί μέσω όλκιμης υστερητικής συμπεριφοράς. Οι κύριες ζώνες απορρόφησης ενέργειας στις σιδηρές κατασκευές είναι πλαστικές αρθρώσεις(σε κάμψη), διατμητικά τοιχώματα κορμού και μέλη κάτω από πλαστικό εφελκυσμό(Σχήμα 4).

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η διαφορά στην απορρόφηση της ενέργειας μεταξύ της ελαστικής και ανελαστικής πρότασης. Η εισαγωγή ενέργειας E_i ενός σεισμού εξισορροπείται μέσα στην κατασκευή από του ακόλουθο άθροισμα όρων :

$$E_i = E_e + E_d + E_{ye} + E_{kin}$$

όπου

E_e είναι η ενέργεια της ελαστικής παραμόρφωσης

E_d είναι η ενέργεια που δαπανάται με βισκοελαστικό τρόπο

E_{ye} είναι η ενέργεια που απορροφάται από την διαρροή του υλικού

E_{kin} είναι η κινητική ενέργεια.

Για να επιτευχθεί μια σταθερή ανθεκτική σε σεισμό κατασκευή, είτε η εισαγόμενη ενέργεια ελαχιστοποιείται με την βοήθεια ειδικών τεχνικών, όπως η απομόνωση της βάσης ενός κτιρίου, είτε στην δεξιά μεριά της εξίσωσης. Ο όρος E_{ye} αυξάνεται επίσης όσο το δυνατόν περισσότερο. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπ' όψιν την απώλεια της ελαστικοπλαστικής ενέργειας επιτυγχάνεται μια αξιοσημείωτη μείωση του βάρους της κατασκευής. Στο Σχήμα 6 θεωρείται το διάγραμμα ροπής - στροφής δύο ισοδύναμων στοιχείων δοκών από την άποψη της απορρόφησης ενέργειας. Η ροπή M_I που απαιτείται για να αντισταθεί σε σεισμό ελαστικά, είναι 3 φορές μεγαλύτερη από την ροπή αντιστάσεως M_2 του ελαστικοπλαστικού στοιχείου με ολκιμότητα 2. Εκφρασμένη με όρους βάρους, η δοκός 2 είναι μόλις το 0,6 της δοκού 1. Έτσι η όλκιμη συμπεριφορά επιτρέπει ικανοποιητική οικονομία στο μέγεθος των στοιχείων μιας κατασκευής. Αυτή η οικονομία είναι ακόμη περισσότερο ικανοποιητική μιας και η τοπική ολκιμότητα μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 2. Σε σιδηρές κατασκευές η τιμή της τοπικής ολκιμότητας μπορεί να φθάσει την τιμή 10.

Για να σχεδιασθούν κατασκευές με κατανεμητική συμπεριφορά με την χρήση ελαστικής ανάλυσης η οποία είναι εύκολη για τον μελετητή, πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένοι κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εξασφαλίζουν τον ασφαλή σχηματισμό όσο το δυνατόν περισσότερων τοπικών ζωνών απορρόφησης ενέργειας, αποφεύγοντας τους μηχανισμούς τοπικής κατάρρευσης.

Τα αποτελέσματα μιας μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης μπορούν να προσεγγισθούν με την χρήση ελαστικής ανάλυσης, με μείωση του συμβατικής ανάλυσης του φάσματος απόκρισης λαμβάνοντας υπ'όψιν με κάποιο τρόπο την απώλεια της ανελαστικής ενέργειας της πραγματικής κατασκευής κάτω από σεισμική δράση.

Αυτή η μείωση επιτυγχάνεται με την χρήση του συντελεστή συμπεριφοράς q . Αυτός μπορεί να οριστεί γενικά σαν ο λόγος μεταξύ του μέγιστου επιταχυνσιογραφήματος που μπορεί μια κατασκευή να υποστεί χωρίς αστοχία και του επιταχυνσιογραφήματος για το οποίο εμφανίζεται διαρροή κάπου μέσα στην κατασκευή. Ο ορισμός είναι γενικός και μπορεί να εφαρμοσθεί σε διαφορετικές ποσότητες ενδιαφέροντος. Στις σιδηρές κατασκευές ένας τρόπος να εδραιωθεί η συσχέτιση μεταξύ μιας συμβατικής ελαστικής ανάλυσης και της πραγματικής ανελαστικής συμπεριφοράς είναι ο ακόλουθος :

Για μια δεδομένη κατασκευή κάτω από μια συγκεκριμένη σεισμική δράση $a(t)$, εκτελείται μια σειρά υπολογισμών της μη γραμμικής δυναμικής απόκρισης παριστάνεται με την εφαρμογή των δράσεων $\lambda(t)$, όπου το λ είναι ένας πολλαπλασιαστής. Με την αύξηση της τιμής του λ εμφανίζονται οι ακόλουθες προοδευτικές καταστάσεις (Σχήμα 7):

- Οι τιμές του λ είναι τέτοιες που όλες οι διατομές της κατασκευής παραμένουν ελαστικές. Σε αυτές τις περιπτώσεις αν d είναι η μετακίνηση που χαρακτηρίζει την παραμόρφωση της κατασκευής π. χ. η μετακίνηση ορόφου τότε το d θα είναι ανάλογο του λ .
- Η ιδιαίτερη τιμή του λ η οποία ανταποκρίνεται στην φάση όπου σε μια διατομή της κατασκευής εμφανίζεται η τάση διαρροής καλείται λ_e .
- Στην επόμενη φάση οι τιμές του λ είναι τέτοιες που τα πραγματικά d είναι μικρότερα από τα d που υπολογίσθηκαν με την ελαστική ανάλυση π.χ. υποθέτοντας απεριόριστη ελαστική συμπεριφορά, λόγω της απορρόφησης ενέργειας κατά την διαρροή.
- Με περαιτέρω αύξηση των τιμών του λ , υπολογίζεται μια τιμή λ_{max} η οποία ανταποκρίνεται στη ίδια ελαστική και ανελαστική μετακίνηση. Αυτή η σύμπτωση οφείλεται στην αύξηση του ρόλου των επιδράσεων P-Δ, τα οποία αυξάνουν τις μετακινήσεις.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q ορίζεται τότε ως εξής :

$$q = \lambda_{max} / \lambda_e$$

Έτσι η ύπαρξη ενός σημείου συνάντησης μεταξύ των δύο μορφών συμπεριφοράς, επιτρέπει μια άμεση σύνδεση μεταξύ των γραμμικών και μη γραμμικών υπολογισμών. Η ισοδυναμία δηλώνει ότι για δεδομένο επιταχυνσιογράφημα $a(t)$ και μια γνωστή τιμή q , η συνήθης γραμμική ανάλυση κάτω από την δράση $a(t)/q$ και τους συνήθεις ελέγχους των τάσεων, δίνουν το ίδιο επίπεδο ασφαλείας όπως οι δυναμικοί μη γραμμικοί υπολογισμοί κάτω από την δράση του $a(t)$. Αυτή η ισοδυναμία οφείλεται στην αντιπαράθεση της επίδρασης της διαρροής η οποία μειώνει τις μετακινήσεις, και της επίδρασης P-Δ στην κατασκευή η οποία αυξάνει τις μετακινήσεις.

Οι πραγματικές μετακινήσεις της κατασκευής d_s δίνονται σαν q φορές οι ελαστικές μετακινήσεις d_e υπολογισμένες με χρήση των μειωμένων δυνάμεων δηλ.

$$d_s = q * d_e$$

Οι τιμές του συντελεστή q για διάφορους τύπους σιδηρών κατασκευών δίνονται στην Διάλεξη 17.5. Όλοι οι πρόσφατοι κανονισμοί χρησιμοποιούν μια παρόμοια προσέγγιση με ελαφρώς διαφορετικές τιμές του συντελεστή q . Αυτές οι διαφορές δικαιολογούνται από το γεγονός ότι οι συντελεστές q δεν είναι μόνο συναρτήσεις της μορφής της κατασκευής, αλλά εξαρτώνται επίσης από τα επιταχυνσιογραφήματα $a(t)$. Τα επιταχυνσιογραφήματα διαφέρουν από το ένα μέρος του κόσμου στο άλλο. Αλλά σημεία διαφοροποίησης μπορεί να οφείλονται στις εκλεγμένες παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά, η οποία μπορεί να είναι η ίση απώλεια ενέργειας μάλλον παρά οι μετακινήσεις, και λόγω των συντελεστών ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για την ελαστική ανάλυση, οι οποίοι συνήθως είναι υψηλότεροι από αυτούς που χρησιμοποιούνται για την ανελαστική ανάλυση. Έτσι οι κατάλληλοι συντελεστές q προϋποθέτουν μια θεωρητική προσέγγιση αλλά επίσης και κρίση του μηχανικού.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ανάλυση με την χρήση του συντελεστή μείωσης q για μια σεισμική δράση είναι συμβατική. Η ασφάλεια για διάφορους τύπους δομικών στοιχείων εξασφαλίζεται με την απαίτηση οι υπολογισμένες τάσεις σύγκρισης να είναι μικρότερες ή ίσες με την τάση διαρροής. Για τον σχεδιασμό των συνδέσεων κάτω από πραγματικό σεισμό οι πραγματικές τάσεις σύγκρισης είναι ίσες με f_v στις ζώνες απορρόφησης. Είναι για αυτό το λόγο που συνδέσεις κοντά στις ζώνες απορρόφησης πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μεταδίδουν την πλαστική αντοχή σχεδιασμού των στοιχείων και όχι οι ελαστικές εσωτερικές δυνάμεις να υπολογίζονται με βάση την ελαστική ανάλυση χρησιμοποιώντας τον συντελεστή μείωσης q .

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η φιλοσοφία σχεδιασμού για κατασκευές που ανθίστανται σε σεισμικές δράσεις απαιτεί ότι η κατασκευή δεν πρέπει να καταρρεύσει και πρέπει να διατηρήσει την κατασκευαστική της ακεραιότητα κάτω από "ισχυρό" σεισμό. Η κατασκευή δεν πρέπει επίσης να βλαφθεί ή να περιορισθεί η χρήση της σε ένα μέτριο σεισμό. Για να αποφύγουμε την κατάρρευση η κατασκευή επιτρέπεται να αναπτύσσει πλαστικές ζώνες στις οποίες διασκορπίζεται η σεισμική ενέργεια.

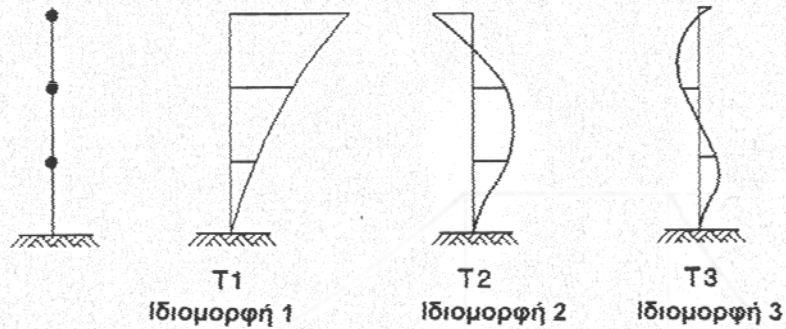
Οι μέθοδοι που δίνονται από τους σύγχρονους κανονισμούς σχεδιασμού για την ανάλυση των κατασκευών κάτω από σεισμικές δράσεις εξασφαλίζουν την συμπεριφορά τους έναντι αυτών των απαιτήσεων.

Χρονικά εξαρτημένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται αλλά η εφαρμογή τους είναι δαπανηρή.

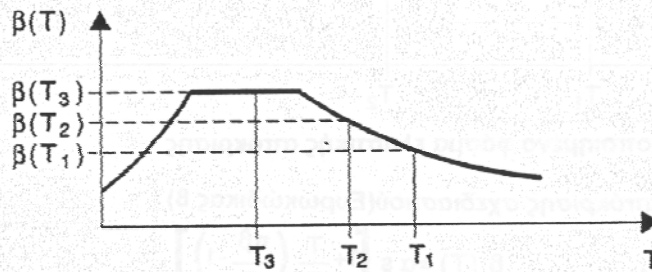
Η μέθοδος του φάσματος απόκρισης είναι η συνήθης διαδικασία των σημερινών σεισμικών κανονισμών σχεδιασμού π. χ. Ευρωκώδικας 8. Μια απλοποιημένη μέθοδος του φάσματος απόκρισης για συνήθη κτίρια είναι διαθέσιμη.

Ο ελαστικός σχεδιασμός μιας ανθεκτικής σε σεισμό κατασκευής οδηγεί σε πολύ δαπανηρές κατασκευές. Συνεπώς η τρέχουσα φιλοσοφία σχεδιασμού χρησιμοποιεί ελεγχόμενες ζώνες απορρόφησης στην κατασκευή όπου η σεισμική ενέργεια μπορεί να διασκορπισθεί μέσω πλάστιμης υστερητικής συμπεριφοράς.

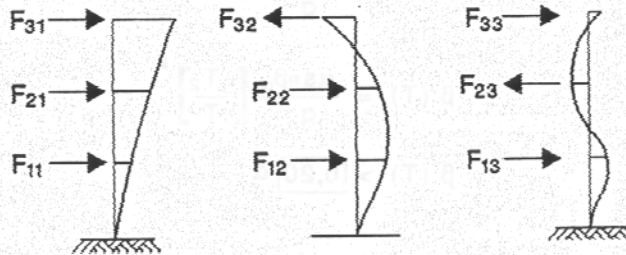
Βήμα 1 : Υπολογισμός ιδιομορφών και περιόδων



Βήμα 2 : Ανάγνωση του φάσματος απόκρισης

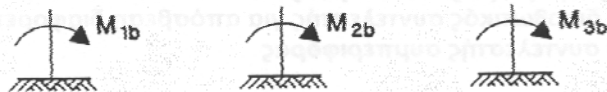


Βήμα 3 : Αποκρίσεις προσομοιώματος



Βήμα 4 : Υπολογισμός των M, N, V σε κάθε ιδιομορφή

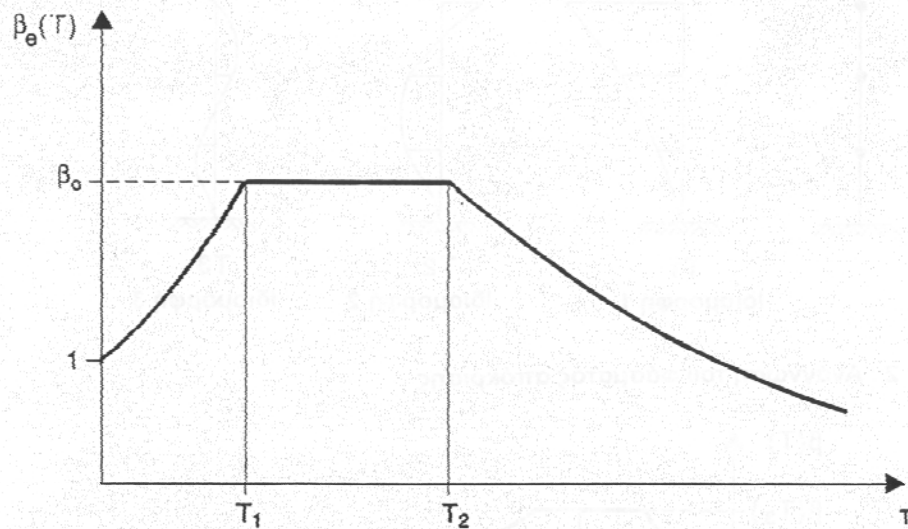
Παράδειγμα : Καμπτική ροπή στη βάση υποστυλώματος



Βήμα 5 : Παραγόμενη Κ.Ρ. $M = \sqrt{M_{1b}^2 + M_{2b}^2 + M_{3b}^2}$

ΣΧΗΜΑ 1 Βήματα της ανάλυσης του φάσματος απόκρισης





Κανονικοποιημένο φάσμα ελαστικής απόκρισης

Φάσμα απόκρισης σχεδιασμού (Ευρωκώδικας 8)

$$0 < T < T_1 \quad \beta(T) = \alpha s \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \beta}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 < T < T_2 \quad \beta(T) = \frac{\alpha s \eta \beta_0}{q}$$

$$T > T_2 \quad \beta(T) = \frac{\alpha s \eta \beta_0}{q} \left[\frac{T_2}{T} \right]^k$$

$$\beta(T) > \boxed{0,20} \alpha$$

όπου :

α = ο λόγος της κορυφής της επιτάχυνσης του εδάφους προς αυτή του εδάφους

s = παράμετρος του εδάφους

η = διορθωτικός συντελεστής για απόσβεση διαφορετική από $\zeta=5\%$

q = συντελεστής συμπεριφοράς

ΣΧΗΜΑ 2 Φάσμα απόκρισης σχεδιασμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8

ESDEP WG 17

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

**Διάλεξη 17.5 : Απαιτήσεις και επιβεβαίωση των Σεισμικά Ανθεκτικών
Κατασκευών**

1. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8 - ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Γενική όψη των απαιτήσεων

Σχεδιάζοντας μια ασφαλή κατασκευή σε σεισμικές περιοχές είναι ένα πολυδιάστατο πρόβλημα. Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τις κύριες απαιτήσεις και κριτήρια.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ
Οριακές καταστάσεις αστοχία Μη κατάρρευση κάτω από ισχυρό σεισμό.	<ul style="list-style-type: none">- έλεγχοι σε αντοχή, ευστάθεια και πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων.- καθολική ευστάθεια της κατασκευής- θεμελιώσεις
Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας παραμόρφωσης Περιορισμός της ζημιάς κάτω από μέτριο σεισμό.	<ul style="list-style-type: none">- έλεγχοι των συνθηκών
Άλλα συγκεκριμένα αντισεισμικά μέτρα	<ul style="list-style-type: none">- σχεδιασμός και μελέτη- ύψος και άλλοι περιορισμοί- θεμελιώσεις- σχέδιο ποιότητας- έρευνες εδάφους

Οριακή κατάσταση αστοχίας

• Αντοχή

Για όλα τα δομικά στοιχεία, η αντοχή σχεδιασμού $R_d / \gamma_{Rd} >$ αποτέλεσμα -των δράσης σχεδιασμού S_d .

Η αντοχή R_d υπολογίζεται σύμφωνα με κανόνες σύμφωνα για το υλικό. Επεξηγήσεις δίνονται στις Παραγράφους 3 και 4.

• Ευστάθεια

Τα αποτελέσματα δευτέρας τάξεως, είτε λαμβάνονται υπ' όψιν ακριβώς όπως είναι, είτε ελέγχονται ως ασήμαντα χρησιμοποιώντας το ακόλουθο κριτήριο (Σχήμα 1).

2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Εισαγωγή

Μερικές γενικές αρχές για την μελέτη των κατασκευών που θα ανεγερθούν σε σεισμικές περιοχές δίνονται εδώ. Πρέπει να τονισθεί ότι οι αντισεισμικές κατασκευές μπορούν να μελετηθούν χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν αυτές οι αρχές.

Όμως η συμμόρφωση με αυτές τις αρχές θα μειώσει σημαντικά την πιθανότητα της εμφάνισης δυναμικών αποτελεσμάτων τα οποία δεν μπορούν να προβλεφθούν με την γραμμική ανάλυση. Για αυτό τον λόγο, ο Ευρωκώδικας 8[1] προτείνει χαμηλότερες τιμές των σεισμικών δράσεων (υψηλότερους συντελεστές q) για συστήματα συμμορφούμενα με τους γενικούς κανόνες. Το υψηλότερο κόστος μιας αντισεισμικής κατασκευής μειώνεται με την χρήση αυτών των χαμηλότερων τιμών σε σύγκριση με την συνήθη κατασκευή. Φαίνεται επίσης ότι ο συνδυασμός "καλός σχεδιασμός-απλή ανάλυση" δίνει ασφαλέστερες κατασκευές από τον συνδυασμό "κακός σχεδιασμός-εξεζητη μένη ανάλυση".

Αρχή 1 - Απλότητα

Η δυναμική συμπεριφορά μιας απλής κατασκευής είναι εύκολο να κατανοηθεί και να υπολογισθεί. Ο κίνδυνος να ξεχαστεί κάθε ειδική πλευρά της συμπεριφοράς όπως η αλληλεπίδραση τμημάτων διαφορετικής ακαμψίας είναι μικρός. Η γενική απλότητα οδηγεί σε απλές κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

Αρχή 2 - Συνέχεια και ομοιόμορφη κατανομή της αντοχής

Κάθε ασυνέχεια στον σχεδιασμό επιφέρει μια συγκέντρωση τάσεων και δυνητικά ένα μηχανισμό τοπικής αστοχίας. Η διασπορά της ενέργειας στην κατασκευή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλη. Πρέπει για αυτό να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότερες ζώνες διασποράς στην κατασκευή. Σαν αποτέλεσμα πρέπει να επιδιώκεται σαν σκοπός ένας καθολικός μηχανισμός αστοχίας. Η μη ομογενής συμπεριφορά μιας κατασκευής με μεγάλη ασυνέχεια οδηγεί σε κουραστικούς υπολογισμούς και δύσκολο σχεδιασμό των περιοχών συνδέσεως.

Πρακτικά η συνέχεια έχει πολλές όψεις. Κατασκευαστική διαμόρφωση:

- Δεν πρέπει να υπάρχει από μείωση διατομών.
- Δευτερεύουσες επιδράσεις που δημιουργούνται από εκκεντρότητες, όπως επίσης και ξαφνικές αλλαγές στις διατομές πρέπει να αποφεύγονται.

Πίνακας 1 : Δομική κανονικότητα στον Ευρωκώδικα 8

Για την εφαρμογή των απλοποιητικών μεθόδων ανάλυσης, ένα κτίριο μπορεί να ταξινομηθεί σαν κανονικό όταν πληρούνται ταυτόχρονα οι παρακάτω συνθήκες.

Γεωμετρική και δομική όψη της κάτοψης

- Η προδιαγραφή της κάτοψης δεν παρουσιάζει διαιρούμενα σχήματα και μεγάλες διακοπές. Όταν υπάρχουν επαναεισαγόμενες γωνίες ή διακοπές η διάσταση τους δεν υπερβαίνει το 25% της εξωτερικής διάστασης του κτιρίου στην θεωρούμενη διεύθυνση.
- Η δομή του κτιρίου κατανέμεται κατά μήκος ενός ορθογωνικού καννάβου ορίζοντας δύο κύριες διευθύνσεις με παρόμοια ακαμψία.
- Το κτίριο έχει μια προσεγγιστικά συμμετρική προδιαγραφή κάτοψης αναφορικά με αυτές τις δύο κύριες ορθογωνικές διευθύνσεις.
- Σε κάθε όροφο οι αποστάσεις (μετρημένες στις δύο κύριες διευθύνσεις) μεταξύ του κέντρου των μαζών και του κέντρου ακαμψίας δεν υπερβαίνει το 15% της επανατακτικής ακτίνας "οριζόμενης ως η τετραγωνική ρίζα του λόγου της στρεπτικής ακαμψίας του ορόφου προς την μεταφορική.
- Η εντός της επιπέδου ακαμψία των δαπέδων είναι αρκετά υψηλή, σε σύγκριση με αυτή των κάθετων δομικών στοιχείων, έτσι όπως μπορεί να υποτεθεί από την άκαμπτη συμπεριφορά. Επιπλέον, τα δάπεδα δεν πρέπει να έχουν μεγάλες οπές που να εμποδίζουν τέτοια υπόθεση ειδικότερα αν είναι τοποθετημένα στην γειτονιά των κύριων κάθετων δομικών στοιχείων.

Κάθετη προδιαγραφή

- Οι ιδιότητες της ακαμψίας και της μάζας είναι σχεδόν ομοιόμορφες σε όλο το ύψος του κτιρίου.
- Οπου υπάρχει μια βαθμιαία υπαναχώρηση στο ύψος του κτιρίου, η υπαναχώρηση σε κάθε όροφο δεν είναι μεγαλύτερη από το 20% της προηγούμενης διάστασης κάτοψης στην διεύθυνση της υπαναχώρησης και διαφυλάσσεται η συμμετρία περί τον κάθετο άξονα.
- Αν η υπαναχώρηση είναι μεγαλύτερη από 20%, αλλά μικρότερη από το 50% και διατηρείται η συμμετρία, απαντάται δε μέσα στο χαμηλότερο 15% του συνολικού ύψους του κτιρίου πάνω από το περιβάλλον επίπεδο εδάφους (ή πάνω από το επίπεδο εφαρμογής της σεισμικής διέγερσης), μπορεί να ταξινομηθεί σαν κανονική. Σε τέτοιες περιπτώσεις η κατασκευή της ζώνης βάσης κάτω από την κάθετη προβολή των πάνω ορόφων πρέπει να είναι ικανή να υποστήριζα τουλάχιστον το 75% των διατμητικών δυνάμεων που θα αναπτυχθούν σε αυτή την ζώνη σε ένα παρόμοιο κτίριο χωρίς την επέκταση της βάσης.
- Οπου απαντώνται υπαναχωρήσεις μόνο σε μια όψη, η συνολική υπαναχώρηση (άθροισμα των υπαναχωρήσεων των ορόφων) δεν είναι μεγαλύτερη από το 30% της διάστασης της κάτοψης στον πρώτο όροφο και σε κάθε όροφο η ατομική υπαναχώρηση δεν είναι μεγαλύτερη απ το 10% της διάστασης της προηγούμενης κάτοψης.

Για να αντισταθεί στην στρεπτική δράση, πρέπει να δοθεί στη κατασκευή επαρκής στρεπτική ακαμψία. Η καλύτερη λύση επιτυγχάνεται βάζοντας το αντισεισμικό τμήμα της κατασκευής εγγύτερα στην περίμετρο της κατασκευής σαν όλο και γύρω από αυτήν, συμμορφούμενη με την αρχή της συμμετρίας. Πρέπει να τονισθεί ότι η κλασική κατασκευή "ενός κατακόρυφου πυρήνα" σε σεισμικές περιοχές δεν είναι εφικτή, γιατί δεν έχει στρεπτική ακαμψία. Θα πρέπει απλά να αποφεύγονται οι μη συμμετρικές λύσεις.

Αρχή 6 - Διαφράγματα

Τα διαφράγματα σε ένα κτίριο είναι οι κατασκευές που μεταφέρουν οριζόντιες αδρανειακές δυνάμεις, σαν αποτέλεσμα της κίνησης που εφαρμόζεται στην μάζες των δαπέδων και των φορτίων τους, προς κατασκευές ικανές να τις αναλάβουν.

Τα διαφράγματα πρέπει να είναι κατασκευές μικρής παραμορφωσιμότητας και ικανές για αποτελεσματική κατανομή της οριζόντιας δράσης μεταξύ των διάφορων κατακόρυφων ανθεκτικών κατασκευών. Τα διαφράγματα μπορεί να υπάρχουν σε πολλές μορφές : πλάκες από σκυρόδεμα, σύμμικτες πλάκες, ζευκτά, πλαίσια. Τα διαφράγματα πρέπει να είναι συνδεδεμένα με σωστό τρόπο στα κατακόρυφα στοιχεία ακαμψίας. Οι συνδέσεις πρέπει να είναι ικανές να μεταβιβάζουν την οριζόντια αδρανειακή δύναμη.

Αρχή 7 - Ορθολογική κατανομή φορτίων στην κατασκευή

Τα σημαντικά φορτία δεν πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία τέτοια που να δημιουργούν αδρανειακές δυνάμεις υπό σεισμική φόρτιση. Για παράδειγμα, μια βιβλιοθήκη θα πρέπει κατά προτίμηση να τοποθετείται στο ισόγειο. Μια εγκατάσταση ακτίνων-Χ θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στο κέντρο στροφής. Οι μάζες θα πρέπει να μειώνονται όπου είναι δυνατόν. Για παράδειγμα, με την χρήση ελαφρών συστημάτων δαπέδων σε σχέση τις παραδοσιακές πλάκες μπορεί να επιτευχθούν δραστικές μειώσεις στις αδρανειακές δυνάμεις και να έχουμε σαν αποτέλεσμα ικανοποιητική οικονομία στην δημιουργία του πλαισίου. Παρόμοιες επιλογές πρέπει να γίνουν για διαχωριστικούς τοίχους, πληρώσεις, τοιχοποιίες κ. λ. π.

Αρχή 8 - Ακαμψία προσαρμοσμένη στην θέση

Η μορφή του φάσματος απόκρισης σχεδιασμού (Διάλεξη 17. 4) δείχνει ότι οι σεισμικές δυνάμεις είναι μικρότερες για κατασκευές που χαρακτηρίζονται από μια υψηλή θεμελιώδη περίοδο (T) ταλάντωσης. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί μερικές φορές να χρησιμοποιηθεί στην αρχή του σχεδιασμού, ειδικότερα όταν πιο ραφιναρισμένα δεδομένα είναι διαθέσιμα για μια συγκεκριμένη θέση. Για παράδειγμα, σε μια θέση με παχιά αλλουβιανά στρώματα, που χαρακτηρίζεται από φάσμα απόκρισης με σχετικά υψηλά πλάτη στην περιοχή μεγάλων περιόδων και χαμηλά πλάτη σε περιοχή.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Υλικά

Υλικά τέτοια όπως οι πρότυπες διατομές, οι κοχλίες και οι συγκολλήσεις τα οποία χρησιμοποιούνται για χαλύβδινες κατασκευές σε σεισμικά επιρρεπείς περιοχές δεν είναι διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιούνται για χαλύβδινες κατασκευές κάπου αλλού. Υπόκεινται συνήθως στους ίδιους ελέγχους ποιότητας.

Παρόλα αυτά, η συμφωνία με την Αρχή 9 της Παραγράφου 2 απαιτεί τον ορισμό από τον μελετητή μιας μέγιστης τιμής της αντοχής διαρροής του χάλυβα που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή. Αυτή η απαίτηση είναι ειδική για τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Ο λόγος είναι ότι συνήθως το παραλαμβάνεται με βάση την εγγυημένη ελάχιστη αντοχή διαρροής, αλλά στην πραγματικότητα μπορεί να έχει μια αρκετά υψηλότερη τιμή αντοχής διαρροής από αυτήν που παραγγέλθηκε. Αυτό το γεγονός οδηγεί γενικά σε συντηρητικό σχεδιασμό ο οποίος δεν είναι επιζήμιος για τις κανονικές χαλύβδινες κατασκευές, αλλά μπορεί να είναι επιζήμιος στην περίπτωση ανθεκτικών σε σεισμό χαλύβδινων κατασκευών. Τα αποτελέσματα της υπεραντοχής σε τμήματα απορρόφησης ενέργειας της κατασκευής μπορεί να οδηγήσει σε συγκέντρωση της σεισμικής ενέργειας σε σημεία όπου δεν είναι αναμενόμενο ή επιθυμητό, όπως για παράδειγμα στις συνδέσεις.

Για αυτό, για τα πλάστιμα μέλη της κατασκευής και οι χαμηλές και οι υψηλές τιμές της αντοχής διαρροής καθορίζονται στην μελέτη και στην παραγγελία του υλικού. Επιπλέον, ικανοποιητικός έλεγχος για την αποφυγή της υπεραντοχής πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν μέσω ορισμένων κανόνων εφαρμογής.

Γενικοί δομικοί χάλυβες σύμφωνα με το EN 10025 χρησιμοποιούνται σε ανθεκτικές σε σεισμό χαλύβδινες κατασκευές. Οι κοχλίες θα πρέπει να είναι υψηλής αντοχής 8.8 και 10.9.

Διατομές

Οι χαλύβδινες διατομές σε ζώνες απορρόφησης ενέργειας της κατασκευής πρέπει να είναι ικανές να αντιστέκονται στην διαρροή χωρίς σημαντική απώλεια της φέρουσας ικανότητας. Αυτή η απαίτηση μπορεί να είναι πρόβλημα στα θλιβόμενα τμήματα των διατομών όπου μπορεί να συμβεί πρώιμος τοπικός λυγισμός. Για να αποφευχθεί τοπικός λυγισμός, περιορισμοί γίνονται στον λόγο πλατους-πάχους b/t των θλιβόμενων επίπεδων τμημάτων των διατομών. Αυτοί οι περιορισμοί εξαρτώνται από την μέγιστη επιθυμητή γενική πλαστιμότητα της κατασκευής. Για αυτό τον λόγο, οι χαλύβδινες διατομές είναι ταξινομημένες σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τα τρία επίπεδα του συντελεστή συμπεριφοράς q , όπως προτείνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Μια αύξηση του λόγου b/t έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερη τοπική πλαστιμότητα λόγω της εμφάνισης τοπικού λυγισμού. Αυτή η μείωση έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της ικανότητας της κατασκευής να διανείμει ενέργεια, η οποία τελικά εκφράζεται με μια μικρότερη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q .

Συνδέσεις

Οι συνδέσεις δεν πρέπει να είναι θέση αστοχίας, για τους ακόλουθους λόγους:

- ο μηχανισμός αστοχίας τους δεν είναι γενικά καλά γνωστός.
- έχουν χαμηλή ολική πλαστιμότητα, γιατί οι συγκεντρώσεις τάσεων τοπικά εξαντλούν την διαθέσιμη πλαστιμότητα του υλικού.
- οι κοιλίες υψηλής αντοχής δεν είναι πολύ όλκιμοι. Στις συνδέσεις εφελκυσμού μπορεί να υπόκεινται πρόσθετα σε δυνάμεις επαφής οι οποίες δεν είναι επίσης καλά γνωστές.
- η ζώνη θερμότητας κοντά στις συγκολλησεις είναι λιγότερη όλκιμη από το αρχικό υλικό.

Επομένως επιβάλλεται ένα κριτήριο σύμφωνα με το οποίο, συνδέσεις κοντά σε ζώνες απορρόφησης ενέργειας της κατασκευής πρέπει να έχουν ικανοποιητική υπεραντοχή έτσι ώστε η διαρροή να εμφανίζεται στα όλκιμα μέλη(κριτήριο υπεραντοχής).

Οι συγκολλητές συνδέσεις που γίνονται με εσωραφές πλήρους διείδυσης θεωρούνται ότι ικανοποιούν το παραπάνω κριτήριο.

Οι συγκολλητές συνδέσεις που γίνονται με εξωραφές και κοχλιωτές συνδέσεις, για να ικανοποιούν το παραπάνω κριτήριο υπεραντοχής, θα πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις :

$$R_d > 1,20 R_{fy}$$

όπου

R_d είναι η αντοχή σχεδιασμού της σύνδεσης

R_{fy} είναι η αντοχή διαρροής του συνδεόμενου μέλους.

Η παραπάνω συνθήκη μπορεί συχνά να επιτευχθεί με μια αύξηση της διατομής του μέλους στην περιοχή. Το Σχήμα 4 δείχνει δύο συνδέσεις μελών, όπου η πλήρωση της συνθήκης υπεραντοχής απαιτεί μια ενίσχυση της περιοχής της σύνδεσης είτε με συγκολλητή πλάκα είτε με πρόσθετη κοχλιωμένη κλάπα.

Το Σχήμα 6 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή- q για διάφορα συστήματα. Αυτές οι τιμές θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σαν οι μέγιστα επιτρεπόμενες, ακόμα και αν σε μερικές περιπτώσεις η άμεση δυναμική μη-γραμμική ανάλυση προτείνει υψηλότερες τιμές q στην περιοχή του 10 ή του 12.

Ανθεκτικές σε σεισμό κατασκευές

Ειδικότερες θεωρήσεις - κριτήρια σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8

Πλαίσια

Τα πλαίσια είναι κατασκευές που ανθίστανται σε οριζόντιες σεισμικές δράσεις κυρίως μέσω κάμψης των μελών τους. Έχουν ένα μεγάλο αριθμό ζωνών απορρόφησης ενέργειας τοποθετημένων κοντά στις συνδέσεις δοκών-υποστυλωμάτων. Η ενέργεια απορροφάται με κυκλικής καμπτικής συμπεριφοράς.

Κατά την διάρκεια του σεισμικού σχεδιασμού, υποτίθεται ότι το πλαίσιο σαν όλο ικανοποιεί το βασικό κριτήριο αποφυγής δημιουργίας μαλακού ορόφου.

Κάτω από αυτό το κριτήριο, ο σκοπός είναι να μορφωθούν πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς και όχι στα υποστυλώματα σε ένα σφαιρικό μηχανισμό αστοχίας, εκτός από τις βάσεις των υποστυλωμάτων. Αυτός ο μηχανισμός καλείται "ισχυρά υποστυλώματα-ασθενείς δοκοί" (Σχήμα 7). Οράν ο σχεδιασμός είναι τέτοιος που οι πλαστικές αρθρώσεις δημιουργούνται στις δοκούς παρά στα υποστυλώματα, αυτές οι αρθρώσεις έχουν τον ρόλο της διασποράς της διαρροής μέσω της κατασκευής. Το P-Δ αποτέλεσμα μειώνεται και η αλληλεπίδραση μεταξύ μονοαξονικών και διαξονικών ροπών κάμψης στα υποστυλώματα αμελείται.

Η ιδέα "ισχυρά υποστυλώματα-ασθενείς δοκοί" δεν εφαρμόζεται σε μονόροφα πλαίσια στον υψηλότερο όροφο πολυώροφων πλαισίων και στην βάση υποστυλωμάτων όπου είναι συνδεδεμένα με τις θεμελιώσεις.

Δοκοί

Οι δοκοί έχει επιβεβαιωθεί πως έχουν ικανή ασφάλεια έναντι πλευρικής και στρεπτοπλευρικής αστοχίας σε λυγισμό.

Για να επιτευχθούν ασφαλείς πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς, έχει γίνει ένας έλεγχος που η πλήρως πλαστική αντοχή ροπής και ικανότητα περιστροφής δεν μειώνεται από θλιπτικές και διατμητικές δυνάμεις. Οι ακόλουθες ανισότητες επιβεβαιώνουν την θέση όπου αναμένεται η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων.

$$M / M_{pd} < 1$$

$$N/N_{pd} < 0,10$$

$$(V_o+V_M)/V_{pd} < 0,333$$

Διαγώνιος τύπος

Οι εναλλασσόμενες οριζόντιες δυνάμεις αναλαμβάνονται σε αυτό τον τύπο από τις αντίστοιχες εφελκόμενες ράβδους μόνο, ενόσο η συμβολή των θλιβομένων ράβδων αμελείται. Οι διαγώνιες ράβδοι της εναλλασσόμενης φόρτισης μπορούν να είναι στην ίδιο υποδοχή(φορείς X) ή σε διαφορετικές υποδοχές του ίδιου ορόφου. Στην πλευρική περίπτωση η ποσότητα "Acosθ"(όπου A είναι το εμβαδόν διατομής της ράβδου και θ η

γωνία ως προς την οριζόντια) δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 10% μεταξύ των δύο αντίθετων ράβδων στον ίδιο όροφο.

Τύπος V ή Λ

Σε αυτόν τον τύπο και οι εφελκόμενες και οι θλιβόμενες ράβδοι χρειάζεται να ανθίστανται στις οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις (για λόγους ισορροπίας). Οι διαγώνιες ράβδοι πρέπει να έχουν μορφή V ή Λ, και σε αυτή την περίπτωση συναντώνται στο μέσον της άνω δοκού χωρίς να διακόπτουν την συνέχεια της.

Τύπος K

Οι ραβδωτοί φορείς αυτού του τύπου, όπου το σημείο συνάντησης των διαγωνίων τέμνει το υποστυλώμα σε ένα ενδιάμεσο σημείο, δεν προσφέρουν κάποια πιθανότητα όλκιμης συμπεριφοράς γιατί απαιτούν την συμμετοχή του υποστυλώματος στον μηχανισμό διαρροής. Γι' αυτό το $q=1$ για αυτό τον τύπο, και η χρήση του δεν συνιστάται.

Διαγώνιοι

Οι διαγώνιοι πρέπει να πληρούν την συνθήκη : $N/N_{pd} < 1, 0$. όπου

N είναι η μέγιστη εφελκυστική δύναμη λόγω του συνδυασμού των σεισμικών δράσεων

N_{pd} είναι η αντοχή σχεδιασμού σε εφελκυσμό

Η ικανοποιητική απορροφητική συμπεριφορά των διαγωνίων εξαρτάται από την λυγηρότητά τους. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{Af_y/N_{cr}} \leq 1,5$$

όπου

λ είναι η ενεργός λυγηρότητα της διαγωνίου

A είναι το εμβαδόν της διατομής

διαρρέουν σε διάτμηση, προτείνεται ότι $I_s / I_o < 0,8$. Όταν $I_s / I_o > 1,3$ ο σύνδεσμος διαρρέει σε κάμψη (πλαστικές καμπτικές αρθρώσεις).

Η διαρροή της σύνδεσης είναι μεταξύ των δύο παραπάνω ορίων. Σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει η πιθανότητα για σχετική πλαστιμότητα.

Οι συνδέσεις έχουν σχεδιασθεί για να προσδίδουν αρκετή πλαστιμότητα. Τα άλλα μέλη (ράβδοι, υποστυλώματα και υπόλοιπο μήκος δοκών) είναι ικανοποιητικά σχεδιασμένα, έτσι ώστε η διαρροή να περιορίζεται στις συνδέσεις.

Συνδέσεις

Στοιχεία κλειδιά για την ανάπτυξη πλήρους αντοχής και ικανότητα χωρητικότητας των διαμητικών συνδέσεων είναι ιδανικά άκαμπτα και πλευρικά εξασφαλισμένα. Διπλής πλευράς, πλήρους βάθους ράβδοι ακαμψίας πρέπει να προσδίδονται στο άκρο του συνδέσμου. Ενδιάμεσοι ράβδοι ακαμψίας μπορούν να είναι μονόπλευροι για ύψη δοκών μικρότερων των 600mm, αλλά απαιτείται αμφίπλευρα στον κορμό για υψηλότερες δοκούς.

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ επιτυχών ράβδων ακαμψίας λαμβάνεται ίση με $56t_w-d/5$ για $I_s / I_o > 1,15$ ή ίση με $38t_w-d/5$ για $I_s/I_o < 0,80$. Για ενδιάμεσες τιμές του I_s/I_o γίνεται γραμμική παρεμβολή.

Πλευρική εξασφάλιση πρέπει να προσδίδεται στα άκρα της σύνδεσης σε θέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 9. Ισχυρή και άκαμπτη πλευρική εξασφάλιση σε αυτές τις θέσεις είναι κρίσιμη στην ευστάθεια και της σύνδεσης και της ράβδου. Μια συμπαγής πλάκα από μόνη της δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν ικανοποιητική πλευρική υποστήριξη για τα άκρα της σύνδεσης.

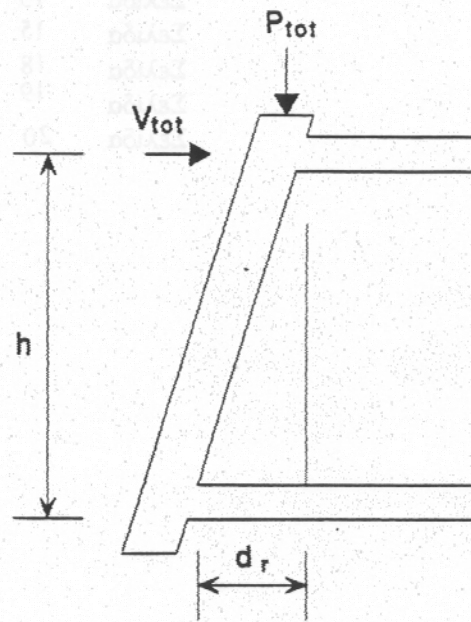
Μετά της επιλογή της διατομής της σύνδεσης, όλα τα άλλα μέλη του δικτύωματος είναι σχεδιασμένα να παραμένουν ουσιαστικά ελαστικά κάτω από δυνάμεις που δημιουργούνται από την πλήρως διαρηχθείσα και κρατυνόμενη σύνδεση. Αυτός ο σχεδιασμός απαιτεί μια εκτίμηση της οριακής διατμητικής δύναμης που μπορεί να επιτευχθεί από την σύνδεση. Η οριακή διατμητική δύναμη θα πρέπει να λαμβάνεται τουλάχιστον σαν :

$$V_{ult} = 1,5V_p.$$

Υποστυλώματα και ράβδοι

Τα υποστυλώματα πρέπει να σχεδιάζονται για να παραμένουν ουσιαστικά ελαστικά υπό τις οριακές δυνάμεις συνδέσεων, όπως και οι κατάλληλες κάθετες συνεισφορές φορτίου.

Οι ράβδοι δεν πρέπει να λυγίζουν. Γι' αυτό είναι σχεδιασμένες για τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από την οριακή διατμητική δύναμη σύνδεσης που δίνεται παραπάνω. Πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι



$d_r =$ Σχετική μετακίνηση
μεταξύ ορόφων

ΣΧΗΜΑ 1

ESDEP WG 17
ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
Διάλεξη 17.6 : Ειδικά θέματα

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να δοθεί μια γενική όψη των λεπτομερειών για τη σεισμική ανάλυση και το σχεδιασμό ειδικών κατασκευών όπως γεφυρών και δεξαμενών αποθήκευσης.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διαλέξεις 17:Σεισμικός σχεδιασμός

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Καμία

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η διάλεξη χωρίζεται σε δύο μέρη. Το μέρος 1 ασχολείται με γέφυρες, το μέρος 2 με δεξαμενές αποθήκευσης.

Ο σχεδιασμός των γεφυρών εκτίθεται με ειδική αναφορά στον Ευρωκώδικα 8, Μέρος 2[1]. Οι γενικές ιδέες για την ανάλυση και τους ελέγχους ασφαλείας των κατασκευασμένων από χάλυβα γεφυρών έχουν συγκεντρωθεί και συζητούνται. Για δεξαμενές δίνεται μια κατανοητή βιβλιογραφία και ένας επαναληπτικός κώδικας, που καλύπτουν και τη δυναμική συμπεριφορά και τα προβλήματα σχεδιασμού που σχετίζονται με τη σεισμική αντοχή.

1. ΓΕΦΥΡΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Οι γέφυρες έχουν πληγεί ισχυρά κατά την διάρκεια αρκετών περασμένων σεισμικών συμβάντων. Στην Ιαπωνία σημαντική ζημιά δημιουργήθηκε από τα σεισμικά συμβάντα στα Kanto, Nankai, Fukui και Niigata(1964). Οι περισσότερες από αυτές τις αστοχίες οφείλονταν στις μεγάλες θεμελιώσεις, οι οποίες δημιούργησαν υπερβολικές σχετικές μετακινήσεις και μερικές φορές αστοχία στερεού σώματος των καταστρωμάτων των γεφυρών λόγω αστοχίας της στήριξης.

Οι ζημιές που δημιουργήθηκαν από το σεισμό του Σαν Φερνάντο το 1971, ήταν εγγύτερα σχετιζόμενες με τη δυναμική συμπεριφορά των γεφυρών. Ο σεισμός επηρέασε σοβαρά το σύστημα αυτοκινητοδρόμων του Λος Αντζελες. Σε αυτή την περίπτωση οι αστοχίες οφείλονταν στη φτωχή απόδοση των αρμών των καταστρωμάτων και των βάθρων.

Κατά το σεισμό της Λόμα Πριέτα το 1989, ένα τμήμα της γέφυρας του Οκλαντ Μπέυ του Σαν Φρανσίσκο και όλη η Σαιπρες Στριτ στο Οκλαντ κατάρρευσαν. Ένας βαρύς απολογισμός θανάτων και σημαντικές άμεσες και έμμεσες απώλειες ήταν το αποτέλεσμα στην περιοχή του Σαν Φρανσίσκο Μπέυ.

Η αστοχία της γέφυρας Μπέυ οφείλετο στις μεγάλες διαμήκεις μετακινήσεις τμήματος

του καταστρώματος, οι οποίες υπερέβησαν το μήκος των υποστηρίξεων της δοκού δημιουργώντας μια κυρίως αστοχία στερεού σώματος.

Η Σαιπρες Στρητ αστόχησε λόγω της φτωχής απόδοσης των υποστυλωμάτων. Η αστοχία πιθανώς δημιουργήθηκε από ανεπαρκείς και φτωχά επεξεργασμένες οριζόντιες συνδέσεις με αποτέλεσμα ανεπαρκή συνεργασία και διατμητική αντοχή.

1.2 Γενικές Οδηγίες και Βασικές Απαιτήσεις

Η φιλοσοφία για το σεισμικό σχεδιασμό των γεφυρών είναι παρόμοια με αυτήν που υιοθετήθηκε για το σχεδιασμό κτιριακών κατασκευών, με την επιπρόσθετη απαίτηση ότι οι γέφυρες θα πρέπει να είναι λειτουργικές μετά το γεγονός του σεισμού. Αυτές οι κατασκευές θεωρούνται ότι είναι σημαντικές στη μετασεισμική περίοδο για να επιτρέψουν στα σωστικά συνεργεία να προσεγγίσουν τις πληγείσες περιοχές.

Ακριβέστερα, μη κατάρρευση και λειτουργικότητα (τουλάχιστον για την κυκλοφορία ανάγκης) πρέπει να διασφαλίζεται για ένα συμβάν (συμβάν σχεδιασμού) έχοντας μια αποδεκτή μικρή πιθανότητα επέκτασης της ζημιάς κατά τη διάρκεια της ζωής σχεδιασμού της γέφυρας. Πρόσθετα μόνο μικρή ζημιά και μη εξάντληση των ορίων λειτουργικότητας μπορεί να είναι ανεκτά για σεισμικές δράσεις με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης κατά την διάρκεια της ζωής σχεδιασμού.

Οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιηθούν μέσω των κανόνων σχεδιασμού, οι οποίοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, Μέρος 2[1], μπορεί να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τις ακόλουθες κατηγορίες :

- Επιβεβαιώσεις Αντοχής
- Επιβεβαιώσεις Ολκιμότητας
- Ικανοτικός Έλεγχος
- Έλεγχος των Μετακινήσεων και της Συμπεριφοράς των Συνδέσεων.

Ο σκοπός αυτών των επιβεβαιώσεων είναι να ελεγχθεί η μη γραμμική δομική συμπεριφορά η οποία, για οικονομικούς λόγους, ισχύει κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμικών κινήσεων. Ο σκοπός επιτυγχάνεται με την εκτέλεση των παρακάτω θεμελιωδών βημάτων:

- ορισμός των ζωνών απορρόφησης δηλ. πλαστικές αρθρώσεις στους πυλώνες, όπου σοβαρές ανελαστικές παραμορφώσεις μπορούν να αναπτυχθούν με ασφάλεια.
- επιβεβαίωση των απορροφώντων στοιχείων έναντι των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού (επιβεβαιώσεις αντοχής).
- επιβεβαίωση της ολκιμότητας των απορροφωσών ζωνών.
- επιβεβαίωση των μη όλκιμων στοιχείων π. χ. βάθρα, έναντι δράσεων που είναι αποτέλεσμα της αντοχής σχεδιασμού δηλ. των δράσεων που διασφαλίζουν

την ιεραρχία των αντοχών των δομικών στοιχείων. Αυτή η επιβεβαίωση είναι απαραίτητη για να αποφευχθούν οι τύποι ψαθυρής θραύσης και για να επιτρέψουν την ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων σε όγκιμα μέλη.

- επιβεβαίωση των σχετικών μετακινήσεων σε συνδέσεις, για να αποφευχθεί αστοχία στερεού σώματος λόγω μη έδρασης.

1.3 Σεισμικές Δράσεις

Η εισαγόμενη σεισμική δράση πρέπει να περιλαμβάνει τις ακόλουθες θεωρήσεις :

- χαρακτηρισμός της κίνησης σε ένα "σημείο" δηλ. σε μια επιφάνεια στήριξης.
- χαρακτηρισμός της χωρικής μεταβλητότητας της κίνησης δηλ. της συσχέτισης μεταξύ των σεισμικών εισαγωγών στις διάφορες περιοχές στήριξης.

1.3.1 Κίνηση σε ένα σημείο

Ενα μόνο συστατικό της κίνησης μπορεί να περιγραφεί με όρους του φάσματος απόκρισης, του φάσματος ισχύος, ή μιας παρουσίας της χρονικής εξέλιξης.

Στον Ευρωκώδικα 8:Μέρος 2[1], ένα από την θέση εξαρτώμενο φάσμα απόκρισης ορίζεται για μια οριζόντια συνιστώσα, εξαρτώμενο από την αιχμή της επιτάχυνσης του εδάφους, τη φυσική περίοδο και το συντελεστή απόσβεσης. Ο τύπος του εδάφους επηρεάζει και τη μορφή και την ένταση του φάσματος. Για την κάθετη συνιστώσα πρέπει να υιοθετηθεί το ίδιο φάσμα, πολλαπλασιασμένο με ένα συντελεστή 0,7.

Εναλλακτικά μπορεί να υιοθετηθεί ένα φάσμα ισχύος ή ένα σύνολο επιταχυνσιογραφημάτων, εφ' όσον αυτά είναι συμβατά με το εξαρτώμενο από την θέση φάσμα απόκρισης.

Μια απλοποιημένη εισαγόμενη κίνηση έξι-συνιστωσών, συμπεριλαμβανομένων των περιστροφικών διεγέρσεων επίσης προδιαγράφεται εξαρτώμενη από το οριζόντιο φάσμα απόκρισης (ή φάσμα ισχύος) και από την ταχύτητα των S-κυμάτων του εδάφους.

1.3.2 Χωρική μεταβλητότητα

Η χωρική μεταβλητότητα της εισαγόμενης κίνησης είναι σημαντική για μεγάλου μήκους γέφυρες. Αν το μήκος της κατασκευής είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος των σχετικών σεισμικών κυμάτων, η συνηθισμένη υπόθεση της σεισμικής κίνησης να είναι ίση και ομοιόμορφη σε όλα τα σημεία στήριξης θα πρέπει να αναθεωρηθεί.

Στοχαστικά προσομοιώματα της χωρικής συσχέτισης της κίνησης της κατασκευής και της κίνησης του εδάφους είναι τώρα διαθέσιμα. Βασίζονται σε θεωρητικές βάσεις που αφορούν το μηχανισμό διάδοσης του κύματος όπως επίσης και τα δεδομένα ισχυρής κίνησης που έχουν καταγραφεί από πυκνό δίκτυο οργάνων. Αυτά τα προσομοιώματα, συνήθως διατυπωμένα με όρους συναρτήσεων εγκάρσιας φασματικής πυκνότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα, μαζί με φάσμα ισχύος μεμονωμένου σημείου, για

να παράγουν μια τυχαία ανάλυση δόνησης. Εναλλακτικά, ένα σύνολο χρονικής εξέλιξης συμβατό με τη χωρο-χρονική συσχέτιση της κατασκευής προς την κίνηση εισαγωγής του σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Χρησιμοποιούνται τότε βήμα προς βήμα γραμμικές ή μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις.

Ο Ευρωκώδικας 8 : Μέρος 2 επιτρέπει μια απλοποιημένη προσομοίωση και ανάλυση φάσματος απόκρισης λαμβάνοντας υπ'όψιν την χωρική μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης[1].

1.4 Μέθοδοι Ανάλυσης

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8:Μέρος 2, διαφορετικοί μέθοδοι δομικής ανάλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν εξαρτώμενες από την ακαμψία του καταστρώματος και τη συνολική κανονικότητα της γέφυρας.

Αν η εντός του επιπέδου οριζόντια ακαμψία του καταστρώματος είναι πολύ μεγάλη συγκρινόμενη με την καμπτική ακαμψία των βάθρων, μια απλοποιημένη στατική ανάλυση βασισμένη στην υπόθεση του άκαμπτου καταστρώματος μπορεί να υιοθετηθεί.

Αν το κατάστρωμα δεν είναι πολύ άκαμπτο, αλλά η ευκαμψία του μπορεί να προσομοιωθεί επαρκώς με μια μορφή μονής παραμόρφωσης, ένα "θεμελιώδους τρόπου" προσομοίωμα, κατ'ουσίαν βασισμένο στην κλασσική μέθοδο Rayleigh, μπορεί να υιοθετηθεί.

Σε άλλες πιο γενικές περιπτώσεις μια πλήρως δυναμική ανάλυση και προσομοίωση πρέπει να γίνει.

Ενα πλήρως δυναμικό προσομοίωμα πρέπει επίσης να χρησιμοποιηθεί για λοξές γέφυρες ή όταν η γέφυρα δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν κανονική αναφορικά με το μήκος των ανοιγμάτων και την ακαμψία των βάθρων.

Ενα μέσο ως προς τη θέση φάσμα απόκρισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό, με ένα απλοποιημένο τρόπο, για διαφορετικές εδαφικές συνθήκες σε διάφορα σημεία στήριξης.

Όταν ένα πλήρως δυναμικό προσομοίωμα χρησιμοποιείται, μια γραμμική ή μη γραμμική ανάλυση μπορεί να εκτελεσθεί. Η μη γραμμική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί βασισμένη σε φάσμα σχεδιασμού συμβατό με επιταχυνσιογραφήματα, για να επιτευχθούν οι απαιτήσεις ολκιμότητας στα στοιχεία απορρόφησης και για να επιβεβαιωθεί ότι οι εσωτερικές δυνάμεις σε μη όλκιμα στοιχεία δεν υπερβαίνουν τα ελαστικά όρια.

Η γραμμική δυναμική ανάλυση μπορεί να εκτελεσθεί μειώνοντας τις τεταγμένες του φάσματος απόκρισης με ένα συντελεστή (συντελεστή συμπεριφοράς ή q συντελεστή) ο οποίος λαμβάνει υπ'όψιν τη μη γραμμική συμπεριφορά. Το ίδιο μειωμένο φάσμα (φάσμα σχεδιασμού) χρησιμοποιείται για τον ορισμό των ισοδύναμων στατικών δυνάμεων που εισάγονται στη θεμελιώδη μορφή και για τις απλοποιημένες αναλύσεις του άκαμπτου καταστρώματος.

1.5 Μη γραμμική Συμπεριφορά και Συντελεστές q

Διαφορετικοί συντελεστές συμπεριφοράς (q) ορίζονται από τον Ευρωκώδικα 8:Μέρος 2 εξαρτώμενοι από την αναμενόμενη δυναμική συμπεριφορά στη μη γραμμική περιοχή, όσο πιο υψηλή η αναμενόμενη ολκιμότητα, τόσο μεγαλύτερες οι τιμές του συντελεστή q[1]. Η περιοχή τιμών είναι από 1 (μη-ολκιμότητα) για τοξωτές γέφυρες μέχρι την τιμή 3,5 για υψηλής ολκιμότητας γέφυρες στις οποίες η περισσότερη από την εισαγόμενη ενέργεια απορροφάται από τις καμπτικές παραμορφώσεις των βάθρων.

Ο συντελεστής q εξαρτάται και από τον τύπο της κατασκευής και από τις εφαρμοζόμενες λεπτομέρειες.

Για γέφυρες με χαλύβδινα βάθρα, οι προβλεπόμενες τιμές του q δίνονται παρακάτω :

(1) Γέφυρες με χαλύβδινα βάθρα όπου οι σεισμικές δυνάμεις αναλαμβάνονται κυρίως από τα βάθρα :

Βάθρα χωρίς ενίσχυση :

$$q = 3$$

Βάθρα με παραδοσιακή ενίσχυση :

καμπτική αστοχία $q = 2$

αστοχία λόγω αξονικής δύναμης $q = 1$

Βάθρα με έκκεντρη ενίσχυση :

$$q = 4$$

(2) Γέφυρες με χαλύβδινα βάθρα όπου η εισαγωγή της σεισμικής ενέργειας απορροφάται κυρίως από τις στηρίξεις :

$$q = 1,2$$

Για ανάλυση κάθετης διέγερσης ο συντελεστής q θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα ίσος με 1 .

1.6 Στηρίξεις Καταστρώματος και Διαμήκεις Περιορισμοί

Οι στηρίξεις του καταστρώματος δεν θεωρείται ότι συμπεριφέρονται με όλκιμο τρόπο. Για αυτό το λόγο πρέπει γενικά να ελέγχονται έναντι δράσεων σχεδιασμού χωρητικότητας. Για παράδειγμα, συστήματα στήριξης που συνδέουν βάθρα εν προβόλω με το κατάστρωμα της γέφυρας θα πρέπει να σχεδιάζονται έναντι της εγκάρσιας τέμνουσας η οποία δημιουργεί την οριακή ροπή κάμψης στην βάση του βάθρου και να αμεληθούν οι αδρανειακές δυνάμεις στο βάθρο.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις κατά μήκος ταλαντώσεις του καταστρώματος, λόγω των ακολούθων :

- Οι κατά μήκος ταλαντώσεις μπορεί να δημιουργήσουν αστοχία στερεού σώματος λόγω της μη έδρασης σε ολισθαίνουσες (ή κυλιόμενες) συσκευές. Αυτή η αστοχία μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση επαρκών περιοχών στήριξης και/ή εισάγοντας συνδέσμους για να περιορισθούν οι υπερβολικές μετακινήσεις. Οι σχετικές μετακινήσεις αν εκτιμηθούν μέσω γραμμικής δυναμικής ανάλυσης, θα πρέπει να πολλαπλασιασθούν με την τιμή του συντελεστή q .
- Ειδικότερα για την περίπτωση των γεφυρών συνεχών καταστρωμάτων, μπορεί να προκύψουν προβλήματα στην διασφάλιση επαρκών περιορισμών σε κατά μήκος ταλαντώσεις. Σε αυτή την περίπτωση μια από τις στηρίξεις πρέπει να φέρει όλες τις κατά μήκος αδρανειακές δυνάμεις του καταστρώματος. Οι περιοριστικές ζώνες απορρόφησης πρέπει να μπορούν να απάγουν υπερβολικές αξονικές δυνάμεις στο κατάστρωμα και να αποτρέπουν μεγάλες κατά μήκος μετακινήσεις.

1.7 Προβλέψεις για Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8:Μέρος 2, οι σιδηρές και οι σύμμικτες γέφυρες θα πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 [2] και τον Ευρωκώδικα 4 [3]. Η κατασκευή θα πρέπει τότε να ελεγχθεί κάτω από σεισμικές συνθήκες.

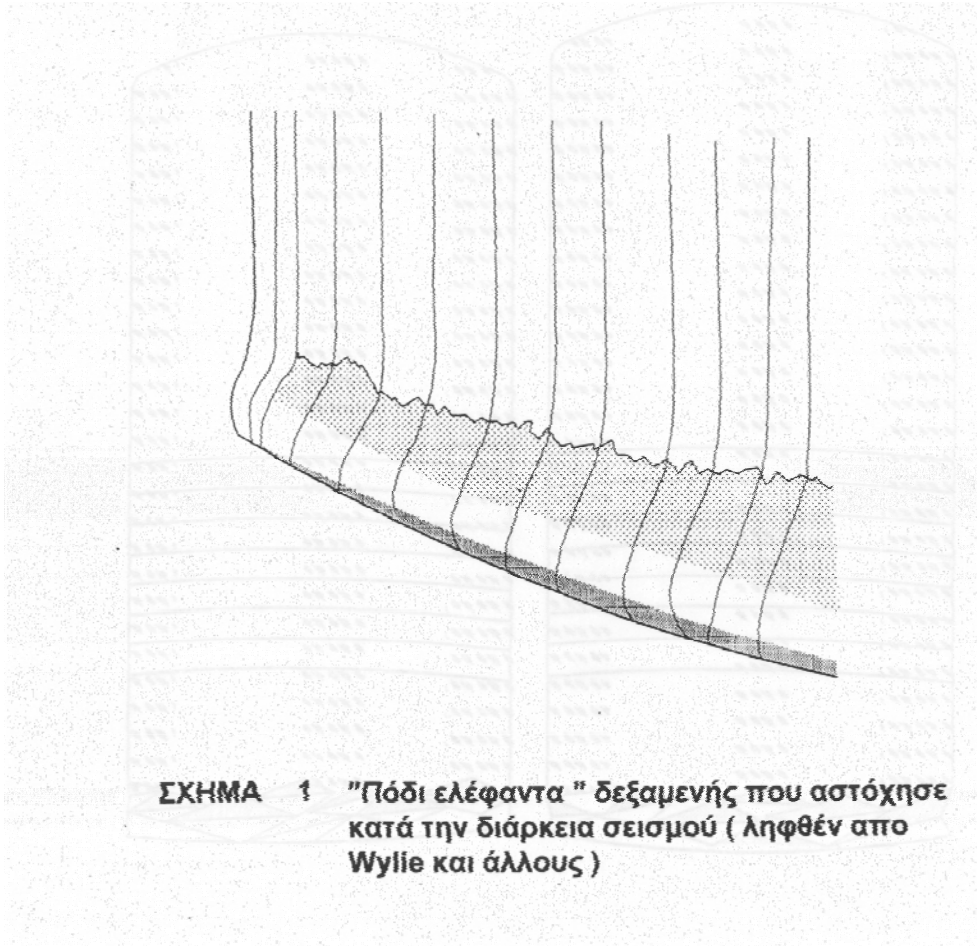
Οι οριακές καταστάσεις αντοχής που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό είναι οι ακόλουθες :

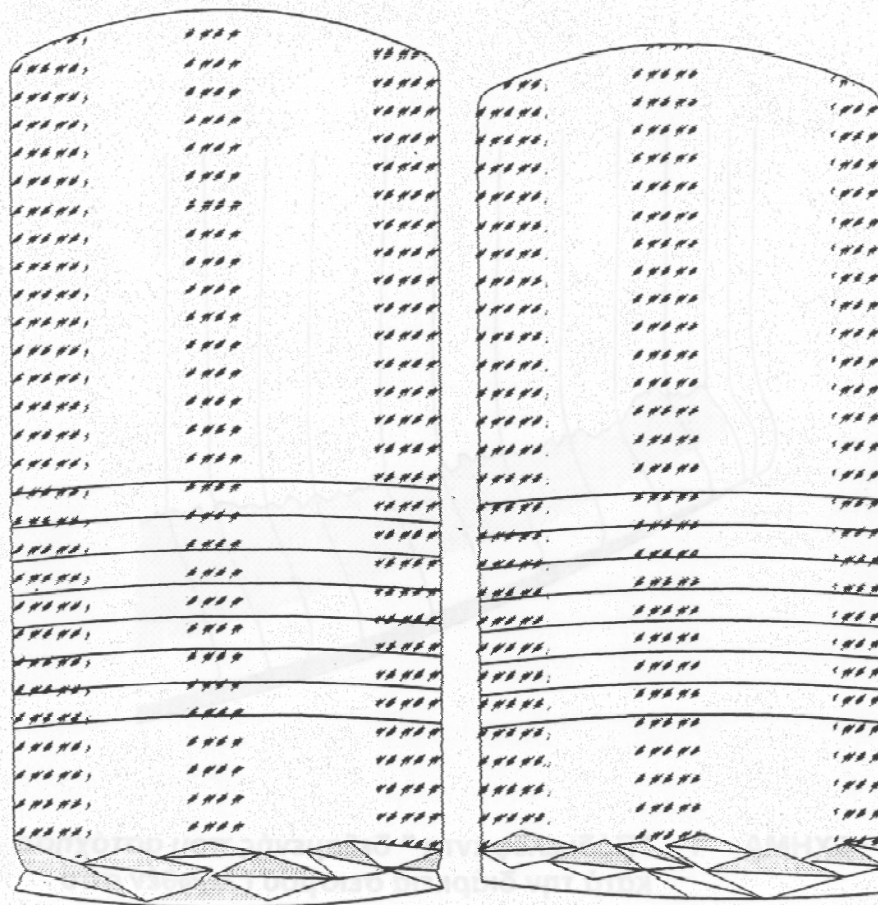
- Αστοχία των στηρίξεων λόγω συνδυασμένων διατμητικών και κατακόρυφων δυνάμεων.
- Υπερβολική κίνηση των στηρίξεων η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία των εγκάρσιων στοιχείων της υπερκατασκευής ή κατάρρευση της κεφαλής των βάθρων.
- Σοβαρή ζημιά ή αστοχία των βάθρων, λόγω του φαινομένου P-Δ .
- Σοβαρή ζημιά ή αστοχία της υπερκατασκευής.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8:Μέρος 2, η σεισμική προστασία μπορεί να επιτευχθεί μέσω της όλκιμης συμπεριφοράς των βάθρων, ή με την εισαγωγή απομονωτικών εξαρτημάτων (συσκευών) μεταξύ της υπερκατασκευής και των βάθρων[1].

Τέτοιες συσκευές πρέπει να περιορίζουν τη μεταφορά υπερβολικών οριζόντιων δυνάμεων μεταξύ της υπερκατασκευής και των βάθρων, και θα πρέπει να εισάγουν επιπρόσθετη απόσβεση.

Οι γενικές ιδέες των στοιχείων απορρόφησης και οι κανόνες του σχεδιασμού χωρητικότητας που εφαρμόζονται για να προλάβουν την ψαθυρή θραύση πρέπει να εφαρμόζονται στις σιδηρές γέφυρες.





ΣΧΗΜΑ 2 "Σχηματισμός διαμαντιού" σε λυγισμό δεξαμενής που αστόχησε κατά την διάρκεια σεισμού (ληφθέν από Niwa και Clough)