

Σαφειράκος

86  
701.

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

Σ.Τ.Ε.Φ.

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛ.ΔΟΜ.ΕΡΓΩΝ

“ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΠΤΥΓΜΕΝΩΝ  
ΚΑΘ’ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΩΝ ΣΕ ΒΡΑΧΩΔΗ ΕΔΑΦΗ”

ΣΑΜΟΛΗ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1994

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστή σε όλους η έντονη σεισμική επικινδυνότητα του ελλαδικού χώρου εξαιτίας της γεωγραφικής του θέσης επάνω στην υδρόγειο και συνεπώς εξαιτίας χαρακτηριστικών συνθηκών, που επικρατούν μέσα στο εδαφικό υπόστρωμα.

Πρόκειται για πολύ παλαιό φαινόμενο δηλ. από τα χρόνια της αρχαιότητας μέχρι και σήμερα, προκαλώντας απώλειες του δομημένου περιβάλλοντος και των ανθρώπινων ζωών.

Για την όσο το δυνατόν καλύτερη αντιμετώπιση του σεισμικού φαινομένου ο άνθρωπος αιώνες τώρα καταβάλλει προσπάθειες για την αρμονική συμπεριφορά θεμελίωσης - ανωδομής κατά τη σεισμική διεξερση.

Πρέπει να εξετάζονται οι ιδιότητες και ο τύπος του εδάφους στο οποίο πρόκειται να εδραιωθεί το οποιοδήποτε οικοδόμημα, ταυτόχρονα με τις ιδιαιτερότητες του οικοδομήματος σε επίπεδο στατικής.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της συμπεριφοράς σε σεισμό, ψηλού κτιρίου που θεμελιώνεται σε βραχώδες έδαφος, γίνονται λόγοι για έναν επιπλέον παράγοντα που επηρεάζει επιδρά στις κατασκευές κατά τη διάρκεια του σεισμού, εκτός από το έδαφος και το είδος του φορέα. Πρόκειται για τον αριθμό των ορόφων που περιλαμβάνει η κατασκευή σε συνδυασμό με το βραχώδες εδαφικό στρώμα.

Η εργασία αυτή απαρτίζεται από 5 μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται αναφορά στην έννοια του σεισμού ως φαινόμενο φυσικό που χωρίζεται σε κάποια συγκεκριμένα είδη, και ακόμα ερμηνεύεται η μετάδοσή του από το έδαφος στην οικοδομή χωρίς ωστόσο να παραλείπονται οι επιπτώσεις του στο γνήσιο στερέωμα.

Το δεύτερο μέρος ασχολείται με το έδαφος και το ρόλο του κάθε

είδους εδαφους σε σχέση με το είδος θεμελίωσης που αρμόζει σε καθένα από αυτά, ώστε ο σεισμός να μην βλάψει έντονα το κτίριο. Προβάλλονται παραδείγματα της επίδρασης του σεισμού σε κτίρια με διάφορες πόλεις της υψηλίου με σκοπό την επιρροή του εδαφικού υλικού στην ανωδομή την θεμελιωμένη σ' αυτό, κατά τη διάρκεια του σεισμικού φαινομένου.

Παρακάτω στο τρίτο μέρος διακρίνονται τα είδη των φορέων των κτιρίων καθώς επίσης και συνδυασμός αυτών εκτιμώντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθενός από αυτά, καταλήγοντας στο καταλληλότερο ύστερα από έλεγχο για το πως συμπεριφέρεται οποιοσδήποτε φορέας στην περίπτωση σεισμικής διέγερσης. Εξετάζεται παράλληλα ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται ένα ψηλό οικοδόμημα στη διάρκεια της σεισμικής καταπόνησης και αναφέρεται το παράδειγμα πανύψηλου πύργου που θεμελιώνεται με ιδιαίτερο τρόπο επάνω σε βράχο και ακόμα λεπτομερειακά αναφέρεται η κατασκευή της ανωδομής. Τελειώνει το τρίτο αυτό μέρος αφού μελετηθεί η επίδραση της πλαστιμότητας στους φορείς κτιρίων.

Συμπεράσματα που αφορούν το κύριο μέρος του θέματος δίνονται στο τέταρτο μέρος, που προκύπτουν από τα 3 προηγούμενα κεφάλαια μαζί με τη βοήθεια της έννοιας του συντονισμού.

Το θέμα κλείνει οριστικά προτείνοντας τρόπους αντισεισμικού σχεδιασμού κτιρίων προκειμένου να αποφεύγονται βλάβες στο φέροντα οργανισμό που είναι δυνατόν να προκληθούν ύστερα από τη μεταφορά του σεισμού από το έδαφος στην κατασκευή. Ολοκληρώνοντας με το 5ο κεφάλαιο, εύχομαι να πρόκειται για μία επιτυχημένη προσπάθεια παρουσίασης του προβλήματος της σεισμικής συμπεριφοράς ψηλού κτιρίου που θεμελιώνεται σε βραχώδες έδαφος, με όσο το δυνατόν κατανοητά επιχειρήματα και στοιχεία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

### Σ Ε Ι Σ Μ Ο Σ

#### 1.1 φύση του σεισμού - μετάδοση σεισμικού κύματος - μεταφορά του σεισμού στην οικοδομή

Οι σεισμοί συμβαίνουν στα βάθη της γης και εμφανίζονται στην επιφάνειά της σαν ταλαντώσεις με ποικίλα πλάτη και περιόδους. Η διάρκεια της κύριας ταλάντευσης είναι ανάμεσα στα 10 και 40sec. Ο χαρακτήρας και τα αίτια των σύνθετων φυσικοχημικών διεργασιών που συμβαίνουν μέσα στη γη και προκαλούν τους σεισμούς δεν μπορούν να μελετηθούν μια και τα μεγάλα βάθη της γης είναι ακόμα απρόσιτα για τις σύγχρονες μεθόδους έρευνας. Σημαντικοί συντελεστές στις διεργασίες αυτές είναι οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η ραδιενεργή διάσπαση και άλλα φαινόμενα που η άνιση κατανομή τους μέσα στη γη προκαλεί μία προοδευτική συγκέντρωση τάσεων στα άνω στρώματα -το φλοιό της γης.

Κατά πάσα πιθανότητα, ο φλοιός της γης αποτελείται από ζώνες διαφορετικής αντοχής. Οι ισχυρότερες ζώνες ή τεμάχια συνδέονται μεταξύ τους με ασθενέστερες ζώνες ή σεισμικούς συνδέσμους. Επακόλουθο αυτής της αρχής συγκέντρωσης τάσεων στο φλοιό της γης είναι η βαθμιαία και σχετική κίνηση των τεμαχίων κατά μήκος των συνδέσμων. Όταν αυτές οι τάσεις σε κάποια περιοχή ξεπεράσουν τη μέγιστη αντοχή του υλικού των συνδέσμων, οι τελευταίοι θραύονται σ'εκείνο το σημείο και σχηματίζεται στο φλοιό της γης ένα τοπικό ρήγμα. Μερικές φορές ένα τέτοιο ρήγμα εμφανίζεται στην επιφάνεια με τη μορφή εδαφικών ρηγματώσεων σε μήκος αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων με μετατοπίσεις κατά μήκος των σχισμών που σε μερικές περιπτώσεις φθάνουν τα 10-15 cm σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση.

Η απότομη μετατροπή της δυναμικής ενεργείας σε κινητική τη στιγμή της θραύσης των σεισμικών συνδέσμων, προκαλεί κινήσεις του εδάφους δηλ. το σεισμό.

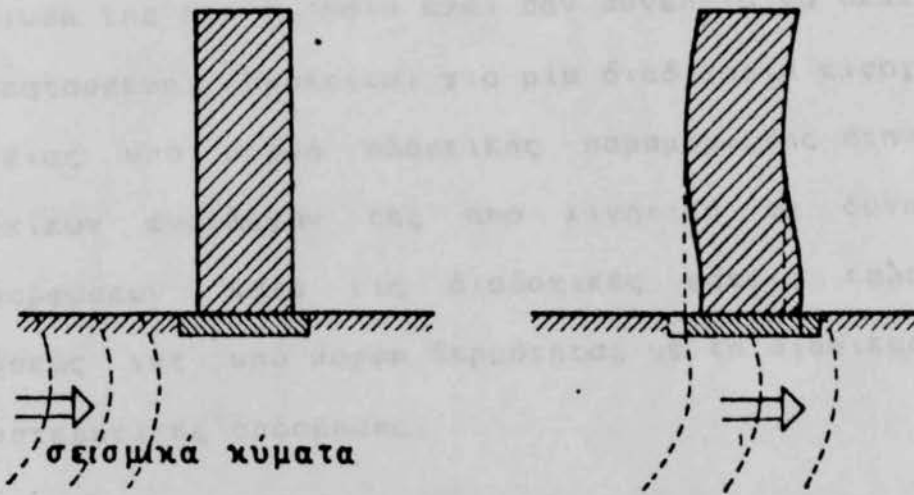
Με άλλα λόγια οι σεισμοί είναι εδαφικές δονήσεις που κατά κύριο λόγο οφείλονται, στη θραύση ή την εαφνική μετακίνηση κατά μήκος ενός υφιστάμενου ρήγματος στο στερεό φλοιό της γης και κατά δεύτερο και σπανιότερο λόγο σε εκρήξεις ηφαιστειών.

Το σεισμικό κύμα φεύγει από την εστία του σεισμού με τη μορφή δύο ταλαντώσεων : της πρωτεύουσας P και της δευτερεύουσας S. Η πρώτη είναι διαμήκης κίνηση, ενώ η δεύτερη είναι εγκάρσια. Η ταχύτητα των κυμάτων μέσα στη γη εξαρτάται από το είδος του κύματος, την πυκνότητα του ελαστικού μέσου όπου διαδίδονται, και τη θερμοκρασία, μια και η τελευταία επηρεάζει τη δομή, το μέτρο ελαστικότητας του τελευταίου.

Το σεισμικό κύμα όμως, ακολουθώντας την πορεία του βρίσκει ασυνέχειες ανάμεσα στον φλοιό και τον Μανδύα, την ασθενόσφαιρα ή τη Λιθόσφαιρα, του Μανδύα και του Πυρήνα, κ.α. Τέτοιες επιφάνειες εξαιτίας των διαφορετικών ταχυτήτων μετάδοσης των κυμάτων στα εκατέρωθεν υλικά, μπορούν να ανακλάσουν, να διαθλάσουν και να μεταβάλλουν τη μορφή των κυμάτων από P σε S και αντίστροφα.

Υπάρχουν επίσης και τα επιφανειακά κύματα L πιο αργά από τα P και S που αποτελούν όμως τα πιο έντονα κύματα. Επειδή η ταχύτητα των κυμάτων αυτών εξαρτάται από τη συχνότητά τους, παρουσιάζεται το φαινόμενο του διαχωρισμού των συχνοτήτων : τα κύματα χαμηλής συχνότητας φτάνουν γρηγορότερα από τα υψηλότερα. Παράλληλα όμως, το κύμα ερχόμενο από την εστία, απορροφάται. Τοποθεσίες που βρίσκονται κοντά στην εστία θα έχουν κινήσεις με μεγάλο πλάτος. Αντίστοιχα τοποθεσίες σε απόσταση από το επίκεντρο θα πρέπει να





Σχ. 3.1. Σεισμική διέγερση κτιρίου.

έχουν λιγότερο έντονη κίνηση η οποία θα προέρχεται κυρίως από ταλαντώσεις μεγάλης περιόδου.

Εκτός από την απόσταση του θεωρούμενου σημείου από την εστία του σεισμού και από τη διαδρομή που ακολούθησε το κύμα για να φτάσει σ' αυτό, τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης εξαρτώνται και από τις εδαφικές στρώσεις πάνω στις οποίες είναι θεμελιωμένο το σημείο που μας ενδιαφέρει.

Η ένταση που αναπτύσσεται στην κατασκευή κατά τη σεισμική διεγερση στην εξαναγκασμένη κίνηση στην οποία υποβάλλεται η θεμελίωση της και η οποία έχει σαν συνέπεια να θέσει σε ταλάντωση την κατασκευή. Πρόκειται για μία διαδικασία εισαγωγής κινητικής ενέργειας υπό μορφή ελαστικής παραμόρφωσης στην κατασκευή και διαδοχικών εναλλαγών της από κινητική σε δυναμική ενέργεια παραμορφώσεων κατά τις διαδοχικές φάσεις ταλαντώσεις μέχρι διαχύσεώς της υπό μορφή θερμότητας με τη διαδικασία της ιεώδους και υστερητικής απόσβεσης.

## 1.2 Επιπτώσεις - Όργανα καταγραφής σεισμού

Δύο είναι οι βασικές επιπτώσεις των σεισμών :

i) Απώλειες ανθρώπινων ζωών.

ii) Καταστροφές και ζημιές του δομημένου και φυσικού περιβάλλοντος.

Ο κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τις κατασκευές που έχει φτιάξει ο ίδιος ο άνθρωπος. Αυτό συμβαίνει γιατί το φέρον σύστημα είναι σχεδιασμένο για φορτία βαρύτητας και όχι οριζοντια αδρανειακά που προκαλούνται από τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κατά τη διεγερση της θεμελίωσης της κατασκευής.

Οι σεισμοί επηρεάζουν τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα. Σαν αποτέλεσμα των σεισμών εξαφανίζονται πηγές και δημιουργούνται καινούριες, αλλάζει η κοίτη των ποταμών, κ.λπ.

Τα θαλάσσια κύματα -tsunami- που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για τις παραθαλάσσιες περιοχές όπου φθάνουν σε ένα ύψος αρκετών χιλιάδων μέτρων. Όταν πληγήκε η Ιαπωνική πόλη Sanricku από tsunami (1896) περίπου 30.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και πάνω από 10.000 σπίτια βρέθηκαν στον ωκεανό.

Για την αντιμετώπιση του σεισμικού προβλήματος καλούνται οι Πολ.Μηχανικοί στην εφαρμογή αντισεισμικού σχεδιασμού που να επιδέχεται ζημιές, αλλά να μην επιτρέπει την κατάρρευση της κατασκευής στον ισχυρότερο πιθανό σεισμό.

Η απαραίτητη αντισεισμικότητα μπορεί να παρασχεθεί είτε με τον παραδοσιακό τρόπο αύξησης της αντοχής, είτε με τη μείωση της ακαμψίας που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των δυνάμεων που αναλαμβάνονται από την κατασκευή. Ένας καλός αντισεισμικός θα πρέπει να εξετάζει τη φόρτιση σε συνδυασμό με την επικινδυνότητα, με τη σημασία της κατασκευής, με τον τύπο της κατασκευής και τις εδαφικές συνθήκες.

Όργανα καταγραφής των σεισμών είναι τα σεισμόμετρα που καταγράφουν την μετακίνηση του εδάφους σε συνάρτηση με το χρόνο και χρησιμοποιούνται από τους σεισμολόγους, και τέλος τα επιταχυνσιόμετρα που καταγράφουν την επιτάχυνση του εδάφους σαν συνάρτηση του χρόνου.

### 1.3 Είδη Σεισμών

ι) Εγκρατακρημνισιγενείς σεισμοί ονομάζονται οι εδαφικές

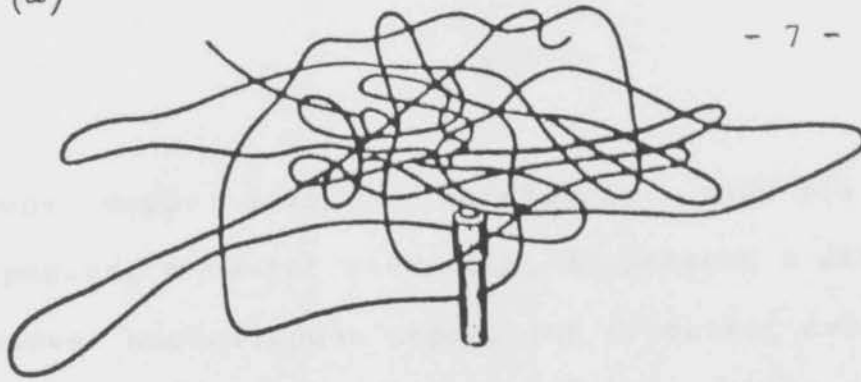


δονήσεις που παράγονται κατά την απότομη εγκατακρήνηση οροφών φυσικών κοιλωμάτων που βρίσκονται μέσα στο στερεό φλοιό της γης. Αποτελούν το 3% του συνόλου των κανονικών σεισμικών δονήσεων που παρατηρούνται στη γήινη επιφάνεια. Κύριο αίτιο γέννησής τους είναι η ανεπαρκής στήριξη των οροφών των υπογείων φυσικών κοιλωμάτων. Τα κοιλώματα αυτά διανοίγονται στις καρστικές περιοχές και στις περιοχές εμφάνισης ευδιαλύτων κοιτασμάτων άλατος, γύψου, κ.λπ., κλειμένων μέσα σε δυσδιάλυτα ή άκαμπτα πετρώματα, υπό τη χημική και μηχανική ενέργεια του ύδατος που διέρχεται μέσα από βαθειές σχισμές του εδάφους ή κατά δεύτερο λόγο, σε περιοχές ενεργών ηφαιστειών κατά την έκχυση ή την εκσφενδόνιση από το εσωτερικό τους μεγάλων ποσοτήτων λάβας.

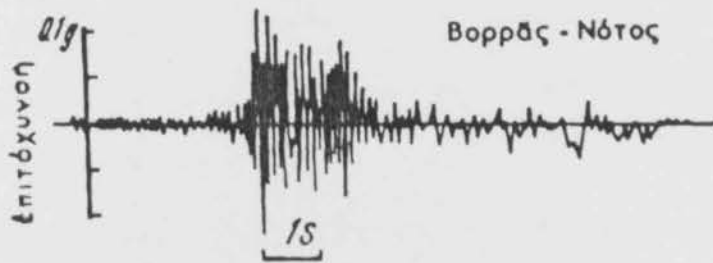
ii) Ηφαιστειογενείς σεισμοί, ονομάζονται οι εδαφικές δονήσεις που προηγούνται των ηφαιστειακών εκρήξεων ή τις συνοδεύουν. Αποτελούν το 7% του συνόλου των κανονικών δονήσεων που παρατηρούνται στην επιφάνεια της γης. Η έντασή τους είναι μικρή και το κύριο αίτιο γέννησής τους είναι η απελευθέρωση των διαλυμένων αερίων μέσα στο μάγμα κατά τη διενεργούμενη άνοδο αυτού υπό των ορογενετικών φαινομένων.

iii) Τεκτονικοί σεισμοί ονομάζονται οι σεισμικές δονήσεις που παράγονται κατά τη δίατη διάρρηξη μαζών πετρωμάτων ή και δεσμών στρωμάτων, ιδιαίτερα κατά την τριβή που αναπτύσσεται κατά την ολίσθηση ανωμάτων επιφανειών πετρωμάτων που είναι συνέπεια της διατάραξης της ελαστικής ισορροπίας των στρωμάτων του στερεού φλοιού της γης. Το 90% περίπου του συνόλου των κανονικών σεισμών είναι σεισμοί τεκτονικοί. Το κύριο αίτιο γέννησής των τεκτονικών σεισμών είναι οι τεκτονικές δυνάμεις σύνθλιψης και εφελκυσμού που συμβαίνουν στα ορογενετικά και ηπειρογενετικά πεδία. Η δράση των

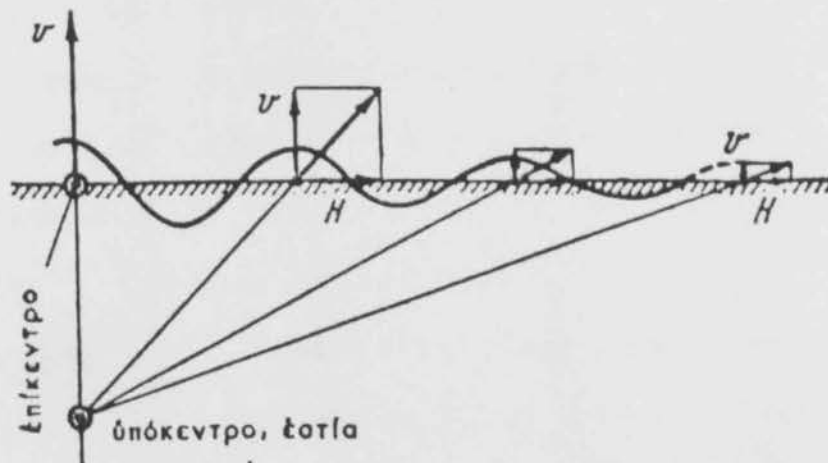
(a)



(b)



(c)



Σχ. 2-4. Η εδαφική κίνηση κατά τη διάρκεια σεισμοδ

(a) τροχιά ενός σημείου, (b) σειсмоγράφημα και επιταχυνσιογράφημα, (c) κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα της εδαφικής κίνησης σε διαφορετικές αποστάσεις από το επίκεντρο

ενδογενών αυτών δυνάμεων εκδηλώνεται πάνω στα πετρώματα με τη μορφή μερικής ή ολικής πτυχώσεως, διαρρηξεως ή μεταπτώσεως και με ταυτόχρονη απελευθέρωση μέρους της δυναμικής ενέργειας που είναι συσσωρευμένη σε περιοχές ορογένεσης ή ηπειρογένεσης, με τη μορφή ελαστικών δονήσεων. Όταν αυτές οι δονήσεις φθάνουν στην επιφάνεια της γης παρέχουν το φαινόμενο των τεκτονικών σεισμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

### Ε Δ Α Φ Ο Σ

#### 2.1 Ρόλος του εδάφους - Είδη εδαφών

Η ανωδομή, τα θεμέλια και το έδαφος συνεργάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε δεν είναι δυνατό να υπολογισθεί η θεμελίωση χωρίς να παίρνεται υπ' όψη η ανωδομή, μα ούτε είναι δυνατό να μελετηθεί η ανωδομή χωρίς να λογαριάζεται η φύση του εδάφους όπου θα γίνει η θεμελίωση. Είναι κατά συνέπεια απαραίτητο να μελετιούνται: η φύση, η συμπεριφορά και η αντοχή του εδάφους πάνω στο οποίο θα στηριχθεί το κτίριο. Η γενική εικόνα που επικρατεί κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα για την εκλογή του τύπου ανωδομής και είναι δυνατό να επηρεάσει ριζικά ολόκληρο το σχεδιασμό του κτιρίου ή ακόμα και την εκλογή της θέσης κατασκευής του κτιρίου. Παράλληλα η φύση και η αντοχή του εδάφους καθορίζουν τον τύπο θεμελίωσης και τον τρόπο κατασκευής τους.

Η αντοχή του εδάφους σε καθίζηση εξαρτιεται από την αντοχή του σε διάτμηση. Η αντοχή σε διάτμηση υπολογίζεται σε σχέση :

- α) με την εσωτερική τριβή των μορίων των στρωμάτων του εδάφους &
- β) με την τάση συνοχής αυτών των μορίων

Τα χονδρόκοκκα εδάφη εξασφαλίζουν την αντοχή τους σε διάτμηση από την εσωτερική τριβή των μορίων τους και μόνο, και αυτό γιατί σε κατακόρυφες δυνάμεις συμπιέζουν τα μόρια μεταξύ τους και η αντοχή σε διάτμηση αυξάνεται.

Αντίθετα τα λεπτόκοκκα εδάφη εξασφαλίζουν την αντοχή τους σε διάτμηση από την αντοχή των μορίων τους και μόνο. Έτσι ένα αμμώδες έδαφος εμφανίζει μία μεγάλη γωνία εσωτερικής τριβής, που

μεγαλώνει αισθητά την αντοχή σε διάτμηση με την αύξηση των κατακορύφων φορτίων, ενώ ένα αρχιλώδες έδαφος δεν εμφανίζει αύξηση αντοχής σε διάτμηση, ανάλογα με την αύξηση των κατακορύφων φορτίων.

Εκτός από την αντοχή του εδάφους σε καθίζηση αποφασιστικός παράγοντας για την επιλογή του τύπου θεμελίωσης, σε σχέση με τη φύση του εδάφους, είναι ο τρόπος κατανομής των διαφόρων φορτίων στους διαφόρους τύπους εδαφών. Βασικά η συμπεριφορά (παραμόρφωση) των εδαφών εξαρτιεται από τη συνεκτικότητα η όχι των μορίων τους.

Τα είδη εδαφών θεμελίωσης ανάλογα με τη σχετική επικινδυνότητα διακρίνονται :

ι) σε βραχώδη έδαφου που συναντιούνται στους παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς και αποτελούν λόγω του μεγάλου μέτρου ελαστικότητας αυτών το ασφαλέστερο έδαφος θεμελίωσης ακόμα και σε σεισμοπαθείς περιοχές. Σε τέτοια εδάφη αποκλείονται οι βλάβες από καθίζηση και ολίσθηση, και οι εμφανιζόμενες σεισμικές εντάσεις είναι κατά προσέγγιση οι θεωρητικά αναμενόμενες. Οι εντάσεις αυτές δεν επιφέρουν αξιόλογες βλάβες σε κτίρια που βρίσκονται σε επικεντρικές περιοχές σοβαρών σεισμών.

Κατά το σεισμό της Μεσσηνίας το 1908 όλες οι κατοικίες που βρίσκονται πάνω στην παραλία καταστράφηκαν ολοσχερώς, ενώ αντίθετα αγροτικές κατοικίες στα γειτονικά βραχώδη υψώματα σχεδόν δεν υπέστησαν βλάβη.

Στις περιπτώσεις αυτές γίνονται θεμελιώσεις αβαθείς με μεμονωμένα πέδιλα. Ο ασβεστόλιθος είναι ένας γεωλογικός σχηματισμός που περιλαμβάνει το 10% των εκτεθειμένων βράχων στην επιφάνεια της γης και καλύπτει μία ευρύτατη επιφάνεια στον



ελληνικό χώρο. Οι ασβεστόλιθοι αρκετές φορές καλύπτονται από αλλούβιες αποθέσεις όπως είναι, οι άμμοι, οι ιλύες, οι άργιλοι. Μία ασφαλής θεμελίωση πρέπει να εδράζεται απευθείας πάνω στο βραχώδες υπόστρωμα ώστε να αποφεύγονται μεγάλες διαφορικές καθιζήσεις.

Η εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του βράχου ποικίλει ανάλογα με τη χρησιμότητα που θα έχει, καθώς και με το είδος του έργου που πρόκειται να θεμελιωθεί πάνω σ'αυτό.

Ειδικότερα οι δοκιμές βραχομηχανικής που απαιτούνται είναι :

α) Η δοκιμή της απλής φόρτισης με αντικείμενο τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της παραμόρφωσης του βράχου.

β) Η δοκιμή της άμεσης διάτμησης με αντικείμενο τον προσδιορισμό της αντοχής του πετρώματος στη θέση που βρίσκεται και μάλιστα σε επιφάνειες που υπολογίζουμε ότι θα έχουν ιδιαίτερη σημασία για το έργο.

γ) Η δοκιμή της αποτόνωσης και ο καθορισμός της υστερήσης της συμπεριφοράς του με αντικείμενο τον προσδιορισμό των τάσεων που αναπτύσσονται στις παρειές των υπογείων ορυχμάτων, καθώς και την εκτίμηση της παραμορφωσιμότητας του πετρώματος στα χείλη της εκσκαφής.

δ) Ο έλεγχος της μεταβολής της διαμέτρου της σπραχχας με αντικείμενο την παρακολούθηση της μεταβολής των διαστάσεων της διατομής της σπραχχας, σε συνάρτηση με το χρόνο.

ε) Η δοκιμή των τασιομετρήσεων, με αντικείμενο τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της παραμόρφωσης του βράχου, είτε επιφανειακά είτε σε αρκετό βάθος.

Η αποσάρθρωση βράχου προκαλείται από :

- Διόγκωση ορισμένων ορυκτών στοιχείων όπως του αργίλου, του

#### Διευθύνσεων

- ο βαθμός ή το ποσοστό της διαχώρισης κάθε συστήματος
  - η διάνοση των ρωγμών
  - οι ιδιότητες που αναφέρονται στις ανωμαλίες κάθε πλευράς της ρωγμής
  - η φύση των υλικών που θα γεμίσουν τη ρωγή
- Οι συντελεστές που αναφέρονται στη βραχώδη μήτρα :
- η διαπερατότητα της μάζας του βράχου
  - το πορώδες τόσο της μάζας του βράχου όσο και των ρημάτων

Για αβαθείς αποσαθρωμένους βράχους με ρωγμές πυκνά διαταγμένες η μεταβολή στις οριζόντιες ενεργές τάσεις είναι αμελητέες. Για βαθιούς και σκληρούς βράχους με πλατιά διαταγμένες ρωγμές η μεταβολή στις ενεργές τάσεις είναι πολύ μεγάλη.

Στα χαλαρά εδάφη (αμμώδη, αρχιλικά) η διαπότιση του εδάφους προκαλεί αύξηση της σεισμικής αγωγιμότητας ενώ στα στερεά πετρώματα προκαλεί ελάττωση της σεισμικής αγωγιμότητας. Όπως είναι προφανές η μεγάλη διαπότιση των χαλαρών εδαφών ναί μεν προκαλεί αύξηση πυκνότητας και επομένως ελάττωση των πλατών των κυμάτων που διέρχονται μέσα απ' αυτά συγχρόνως όμως επιφέρει, κατά τα δεδομένα της Σεισμικής, και ελάττωση της περιόδου αυτών. Η ελάττωση αυτή, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της επιτάχυνσης των σεισμών και επομένως και της εντάσεως αυτών.

Πειραματικές έρευνες έδειξαν ότι τα πλάτη των αιωρήσεων αυξάνουν όσο ελαττώνεται το πάχος της σειομένης μάζας.

Το αμμώδες έδαφος που ανήκει στην κατηγορία των χαλαρών εδαφών θεωρείται το πιο δύσκολο εδαφικό υλικό για θεμελίωση. Η θεμελίωση σ' ένα τέτοιο έδαφος μπορεί να είναι απλή (πεδιλα, γενική κοιτόστρωση, πάσσαλοι, λιθοριπή) και σύνθετη. Κυρίως συνιστάται η

πασσαλώση. Η εκλογή του τύπου της θεμελίωσης εξαρτάται κυρίως από τη σχετική πυκνότητα της άμμου και από το βάθος του φρεατίου ορίζοντα.

Το πολύπλοκο του εδάφους γίνεται περισσότερο προβληματικό εξαιτίας των πολυαριθμών μικροθραύσεων, που οφείλονται τόσο στην αύξηση της πίεσης του νερού μέσα στους πόρους, όσο και στην υπέρβαση του ορίου αντοχής της ενεργού τάσης. Η εντατική κατάσταση γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκη όταν οι οριακές συνθήκες επιτρέπουν μία πλευρική διογκωσιμότητα.

Ο Nashi και Dixon επισήμαναν μερικές πτώσεις των ενεργών τάσεων που συνοδεύονται από ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης του νερού στους πόρους. Αυτό σημαίνει ότι ο εδαφικός σκελετός καταστρέφεται κατά διαστήματα με ρυθμό πολύ πιο γρήγορο από την ταχύτητα της φορτίσης λόγω της ταλάντωσης.

Στα αρχιλικά εδάφη η φέρουσα ικανότητα είναι 5-6 φορές μεγαλύτερη από την τελική αντοχή τους σε διάτμηση. Όταν ο άργιλος είναι επιφανειακός, μεταβάλλει τόσο πολύ τη φύση του και είναι τόσο ευαίσθητος στη μεταβολή της υγρασίας, ώστε θα πρέπει να δίνεται πολύ μεγάλη προσοχή στον καθορισμό της αντοχής του. Σε μεγαλύτερα βάθη μπορεί ή να συμπιεστεί με διαφράγματα, πασσαλοσανίδες, φορτίσεις του εδάφους που φτάνουν και έξω από το περίγραμμα της κατασκευής ή να στερεοποιηθεί με αποστράγγιση.

Πασσαλοι μικρού βάθους είναι χρήσιμοι για τη συμπίεση του αργίλου, με σκοπό να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητά τους.

Για τα συμπλαγή αρχιλικά εδάφη η θεμελίωση γίνεται με μεμονωμένα πέδιλα ή συνδετήριες πεδילוδοκούς σε βάθος 1,50μ. κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Σε μαλακές αργίλους συνιστάται η μερική κοιτόστρωση και οι πεδילוδοκοί.

Στα φυτικά εδάφη-τύρφη σαν κύρια λύση θεμελίωσης χρησιμοποιούνται οι γενικές κοιτοστρώσεις. Έχουν σκοπό τον καταμερισμό του φορτίου της κατασκευής σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια έδρασης ώστε με τον τρόπο αυτό να απαιτηθεί ένα μικρότερο μέτρο ακαμψίας στην ανωδομή.

## 2.2 Επίδραση του εδάφους στα αποτελέσματα των σεισμών

Οι Ιάπωνες επιστήμονες F. Omori, L. Kikutsi και κατόπιν ο L. Cezana και άλλοι, έδειξαν ότι οι βασικές περίοδοι των ταλαντώσεων του εδάφους κατά τη διάρκεια των σεισμών, είναι οι περίοδοι των φυσικών ταλαντώσεων των υποκειμενων στρωμάτων που υπάρχουν σε κάθε περιοχή. Μικρότερες περίοδοι παρατηρήθηκαν για σκληρότερα εδάφη και μεγαλύτερες για τα μαλακά.

Αν η περίοδος φυσικών ταλαντώσεων της κατασκευής συμπίπτει με την περίοδο ταλαντώσεων του εδάφους προκαλείται συντονισμός κατά τον οποίο αυξάνει σημαντικά το αποτέλεσμα της δυναμικής δράσης δη. του σεισμού.

Ο τύπος του εδάφους επηρεάζει επίσης το πλάτος των ταλαντώσεων. Μετρήσεις έδειξαν ότι τα πλάτη ταλαντώσεων σε βράχο είναι 2-5mm, στον ηπλό μέχρι 30cm, σε ολισθηρά και προσχωσιγενή εδάφη 100 mm ή και περισσότερο.

Ακόμα μετρήσεις έδειξαν ότι η επιτάχυνση των εδαφικών ταλαντώσεων μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της πυκνότητας και τη μείωση των κενών του εδάφους.

Αύξηση της επιτάχυνσης των ταλαντώσεων προκαλείται και από την υψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, ο ρόλος του οποίου είναι πολύ πιο ουσιαστικός στα χαλαρά εδάφη. Η επίδραση των υπόγειων υδάτων στην επιτάχυνση των ταλαντώσεων σε βραχώδη και

λατυποκροκαλογενή εδάφη είναι μικρή. Όταν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται κάτω από 10m, τα υπόγεια ύδατα δεν επηρεάζουν τις ταλαντώσεις των εδαφών. Εφόσον οι αδρανειακές δυνάμεις που ενεργούν στις κατασκευές εξαρτώνται από την επιτάχυνση, θα πρέπει η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της αναμενομένης δυναμικότητας ενός σεισμού.

Η επίδραση των πραγματικών εδαφικών χαρακτηριστικών καθορίζεται από ειδική μελέτη των τοπικών συνθηκών που καλείται σεισμική μικροζωϊκή. Αυτή η μελέτη λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα γεωτεχνικών μελετών καθώς και ενόργανων παρατηρήσεων που αποσκοπούν στον ποσοτικό προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των εδαφικών δονήσεων.

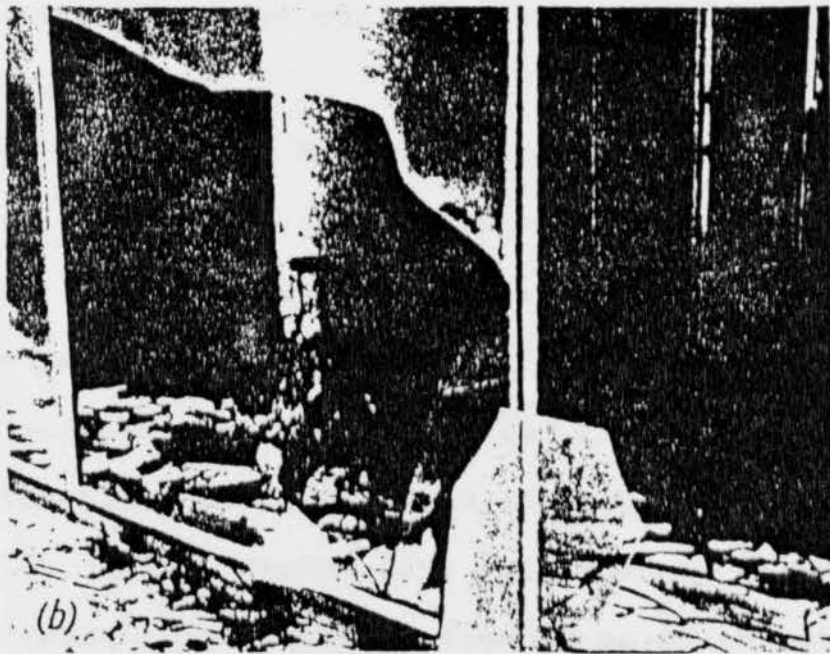
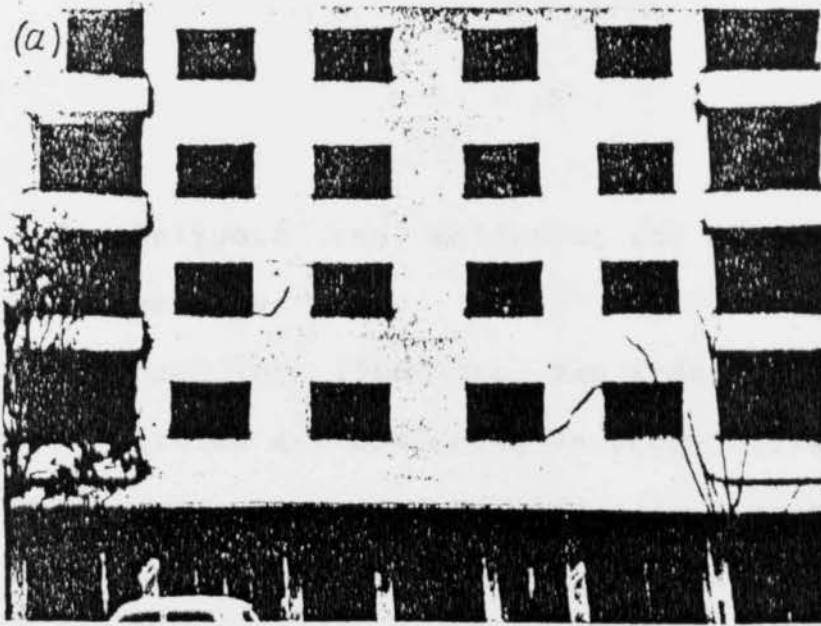
Η σωστή εκλογή συγκεκριμένου χώρου για την ανέγερση ενός κτιρίου είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Με ευνοϊκές εδαφολογικές συνθήκες, όχι μόνο μειώνεται ο κίνδυνος από τους σεισμούς, αλλά υπάρχει και σημαντική οικονομία στην αντισεισμική θωράκιση των μελών της κατασκευής.

Απότομα πρηνή, βραχώδη στρώματα με κλίση, κατολισθήσεις, ρηγματα κ.λπ. συντελούν στην αύξηση της σεισμικής έντασης όπως επίσης και ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα χαλαρού εδάφους πάνω σε βραχώδη βάση. Μεταξύ των ευνοϊκών παραγόντων είναι η οριζόντια διαστρωμάτωση βραχωδών εδαφών, οι οριζόντιες εκτάσεις καθώς και η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση από τεκτονικές ζώνες.

Τα μαλακά εδάφη τείνουν να ενισχύουν τις χαμηλές συχνότητες σε βάρος των ψηλών, ενώ πιο στιβαρά εδάφη ενισχύουν τις ψηλές συχνότητες. Επίσης όσο μαλακότερο είναι το έδαφος τόσο ο σεισμικός κραδασμός είναι πιο ομοιόμορφος έχει μεγαλύτερη διάρκεια και αυξημένα πλάτη.





Σχ. 2 - 28. Ίσόγειο με ανεπαρκείς τοίχους πλήρωσεως όπου ο σκελετός έχει πάρει κλίση  
(α) και β) καταστραμμένα τμήματα υποστυλωμάτων αυτού του όρόφου

### 2.3 Παραδείγματα της επίδρασης του εδάφους στα αποτελέσματα των σεισμών

Στο σεισμό του 1906 στο San Fransisco κτίρια στην ακτη σε πρόσφατες σχετικά επικωματώσεις υπέφεραν περισσότερο από άλλα που ήταν θεμελιωμένα σε βράχο. Το 1957 πάλι ο σεισμός χτύπησε τα ψηλά και όχι τα χαμηλά κτίρια αν και τα τελευταία ήταν από την κατασκευή τους αδύνατα και δίχως αντισεισμικό σχεδιασμό. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όσο πιο ψηλό τόσο ευαίσθητο είναι το κτίριο.

Στο σεισμό της Μεσσήνης (Ιταλία) 1908 υπολογίσθηκε εκταση 10. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κατάσταση του εδάφους ήταν δυσμενής. Τα κτίρια είχαν ανεγερθεί σε χαλαρά αλλούβια και σε κρυσταλλικό βράχο με μεγάλη αποσάθρωση.

Ο σεισμός του Κακτο (Ιαπωνία) 1923 κατέστρεψε τις πόλεις Tokyo και Yokohama. Οι ζημιές ήταν ιδιαίτερα μεγάλες σε περιοχές που τα κτίρια ήταν θεμελιωμένα σε χαλαρά αλλούβια και σημαντικά μικρότερες στα συμπαγή εδάφη. Η σεισμική καταπόνηση στα χαλαρά εδάφη ήταν 3-5 φορές μεγαλύτερη από ότι στα συμπαγή.

θεωρήθηκε ότι αυτό οφειλόταν στη μεταβολη όχι μόνο του πλάτους αλλά και της περιόδου των δονήσεων του εδάφους.

Το ξενοδοχείο Imperial δεν έλαθε τίποτα παρά το πεπλεγμένο της μορφης του. Το κτίριο, πολύ πιο στιβαρό από τα εδάφη στα οποία στηριζόταν, ήταν σχεδιασμένο (σύμφωνα με τα λόγια του κατασκευαστή του) "να επιπλέει" στο μαλακό έδαφος.

Οι αρχαίοι προτιμούσαν να χτίζουν τις πόλεις τους κοντά σε αποξηραμένα έλη, ή σε πρόσφατες προαχώσεις ελπίζοντας στο μετριασμό των ταλαντώσεων από τα μαλακά εδάφη.

Το Καπιτώλιο της Ρώμης πίστευαν ότι είχε σωθεί εξαιτίας των

κατακομβών που βρίσκονται από κάτω του, μια και οι Ρωμαίοι θεωρούσαν όπως και οι Έλληνες ότι κτίρια χτισμένα πάνω από σπηλιές, ορυχεία, πηγές, και πηγάδια ήταν ασφαλή από τους σεισμούς. Έτσι οι κατοικοί του San Domingo όπως και πριν από αυτούς οι Ρωμαίοι άρχισαν να σκάβουν πηγάδια γύρω από την πόλη τους για να την προστατεύσουν από τους σεισμούς.

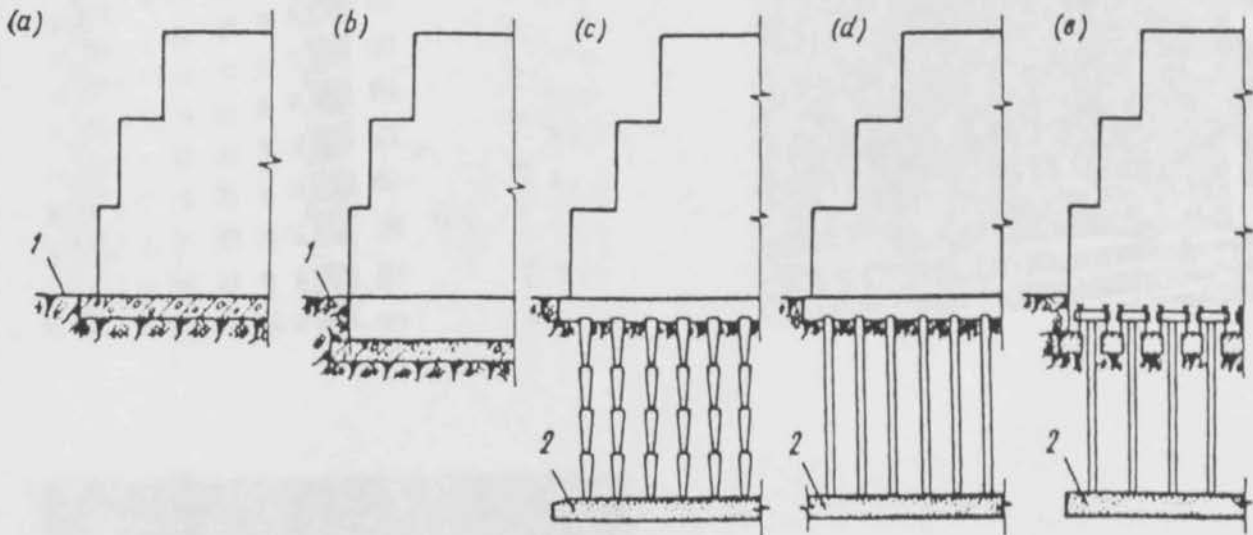
Ο σεισμός στο Tajikistan 1949 είχε σαν αποτέλεσμα να αποσπασθούν κομμάτια βράχων που κρεμόντουσαν πάνω από το κέντρο της περιοχής. Μια πελώρια μάζα βράχων συντρίφθηκε στο έδαφος και ολόκληρο το χωριό θάφτηκε κάτω από ένα σωρό πέτρες που έφθανε σε ύψος μερικές δεκάδες μέτρα.

Είναι λοιπόν επικίνδυνη η εγκατάσταση οικισμών στις πλαγιές βουνών όπου προβλεπονται κατολισθήσεις και κατακρημνίσεις.

Ο σεισμός στο Mexico City 1981 προκάλεσε σοβαρότατες ζημιές σε κτίρια με 7-15 ορόφους και περίοδο 2". Το έδαφος της περιοχής που παλαιότερα ήταν λίμνη, ήταν τόσο μαλακό που παρουσίαζε καθισασεις 15cm το χρόνο.

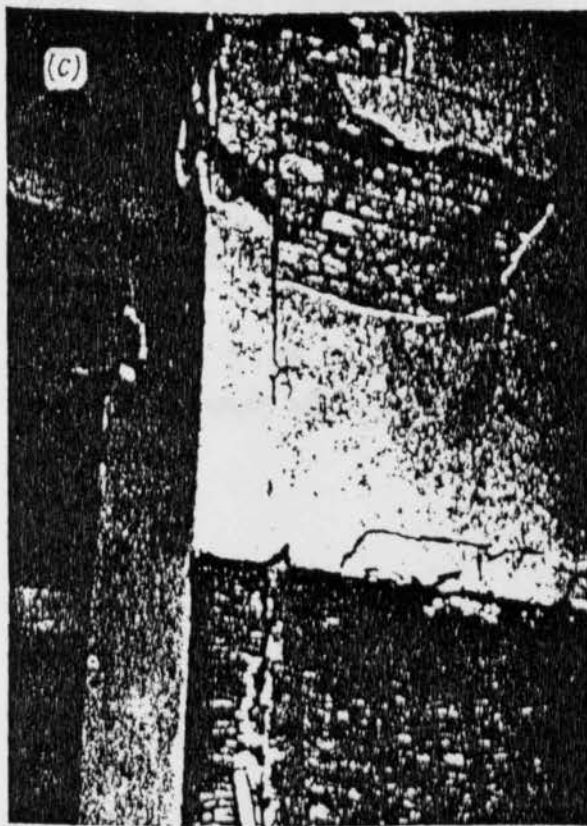
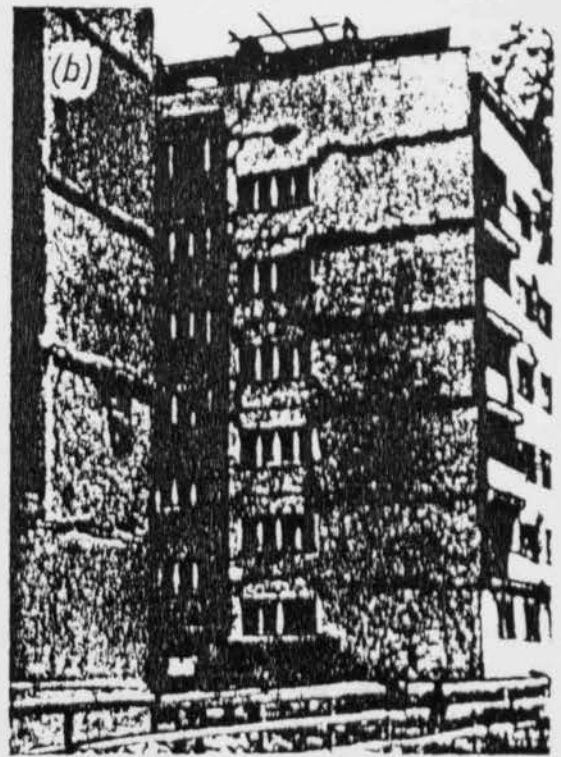
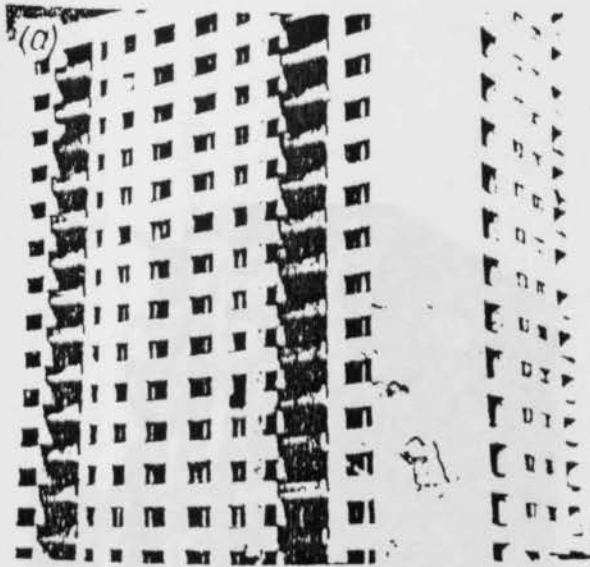
Σκόπια 1963. Τα Σκόπια είναι εγκατεστημένα σε μία στενή κοιλάδα μεταξύ δύο βουνών. Το έδαφος της επίπεδης περιοχής της πόλης αποτελείται κυρίως από ένα στρώμα αμμοχάλικου 5-10m παχύ. Το έδαφος στην υπερυψωμένη περιοχή της πόλης αποτελείται από γερό βράχο.

Ο σεισμός στο Anchorage (Αλάσκα) 1964 ήταν ένας από τους μεγαλύτερους στην Ιστορία. Το μέγεθός του ήταν 8,4-8,5 Richter και η διάρκεια των δονήσεων περίπου 3 λεπτά. Το έδαφος αποτελείται από συμπαγές αμμοχάλικο πάχους 6-30m. Σε μερικές περιοχές της πόλης το στρώμα αυτό λεπταίνει ή και εξαφανίζεται εντελώς. Κάτω από το αμμοχάλικο βρίσκεται ένα στρώμα αρχίλου που



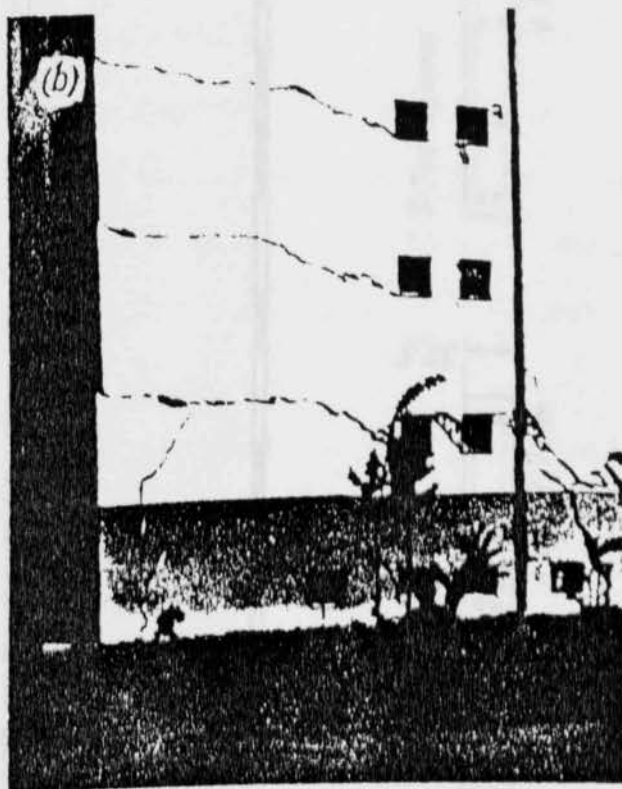
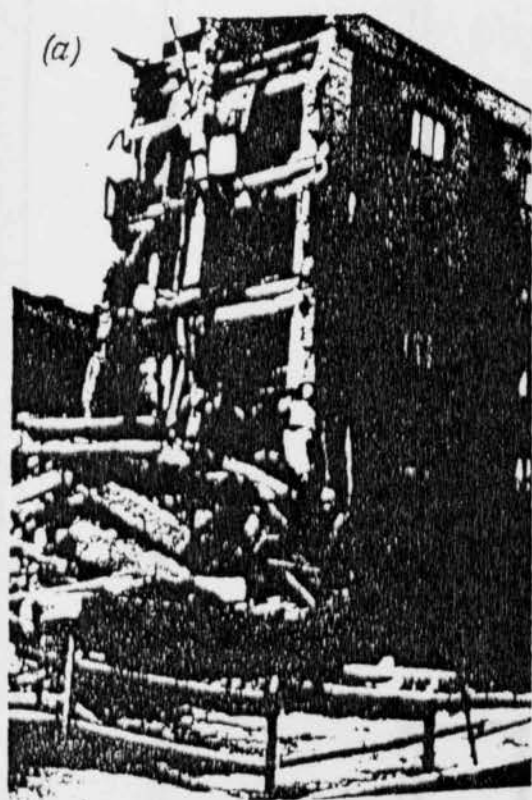
Σχ. 2 - 13. Τύποι θεμελίωσης σύγχρονων κτιρίων του Mexico City τα όποια έπιζήσανε από το σεισμό του 1957

(a) κοιτόστρωση από σκυρόδεμα χωρίς πασσάλους. (b) τὸ ἴδιο, σὲ μεγαλύτερο βάθος. (c) σχάρα θεμελίωσης από σκυρόδεμα πάνω σὲ ξύλινους πασσάλους. (d) τὸ ἴδιο ἀλλὰ μὲ πασσάλους από σκυρόδεμα. (e) σχάρα θεμελίωσης ἀναρτημένη μὲ ράβδους από πασσάλους σκυροδέματος. 1 - στάθμη τοῦ δρόμου. 2 - στάθμη συμπυκνωμένου ἐδάφους

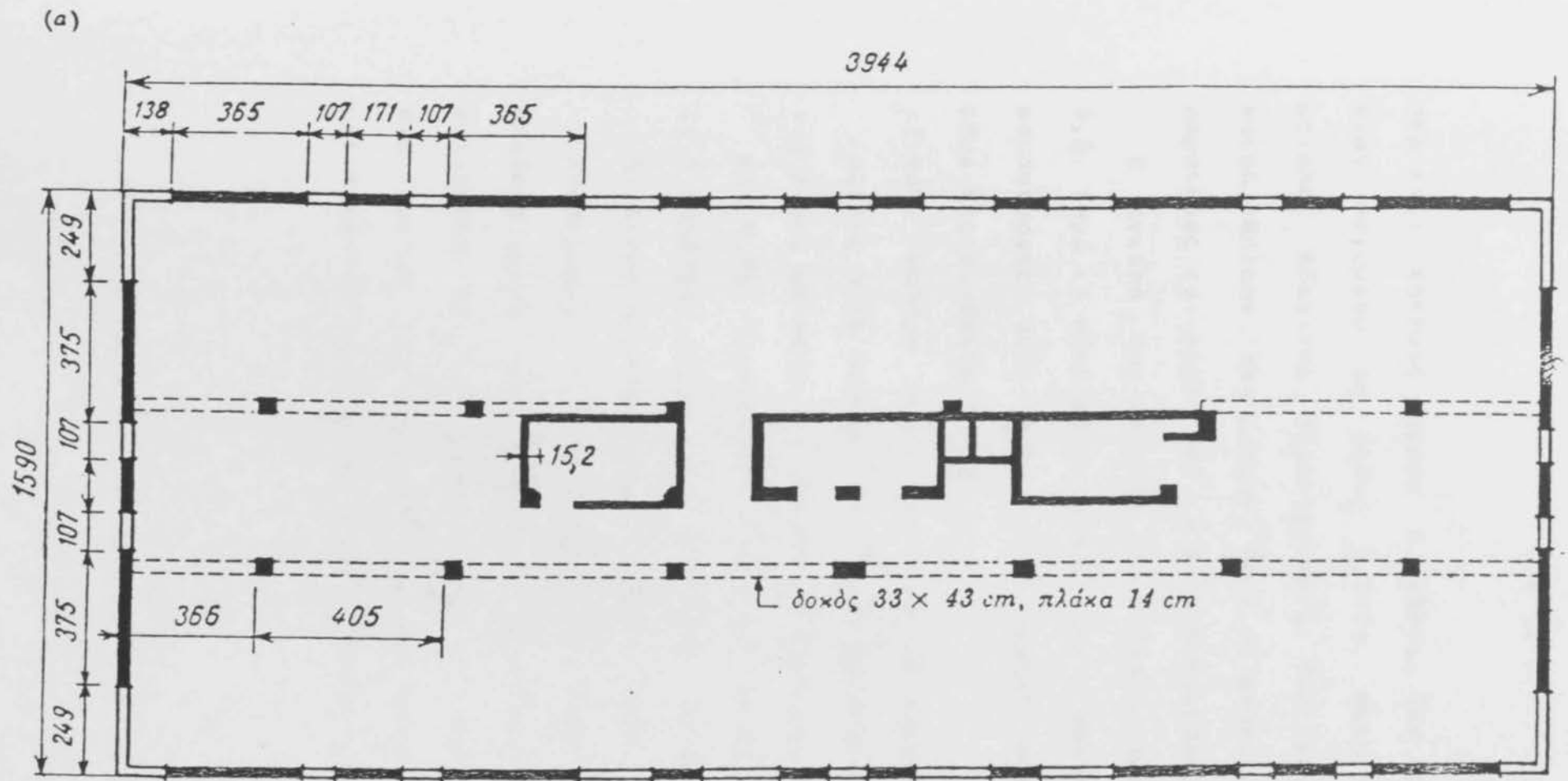


Σχ. 2 - 27. Κτίρια με σκελετό από όπλισμένο σκυρόδεμα μετά το σεισμό, στα Σκόπια  
(a) Δεκατετραώροφο κτίριο, (b) βλάβες δοκών και σχηματισμός ρωγμών, (c) βλάβες στο σκελετό και στους αρμούς από κονίαμα σε προεξέχον μέρος του κτιρίου, (d) κτίριο με περίπλοκη κάτοψη





Σχ. 2 - 26. Ζημιές σύγχρονων κτιρίων από τοθβλα στα Σκόπια  
(α) καταστροφή τών άκρικών περιοχών, β) όριζόντια μετατόπιση τών όρόφων



Σχ. 2-33. Δεκατετραώροφο κτίριο από όπλισμένο σκυρόδεμα χυτό επί τόπου στο Anchorage (Άλάσκα)  
(a) κάτοψη, b) λεπτομέρειες τοιχίων

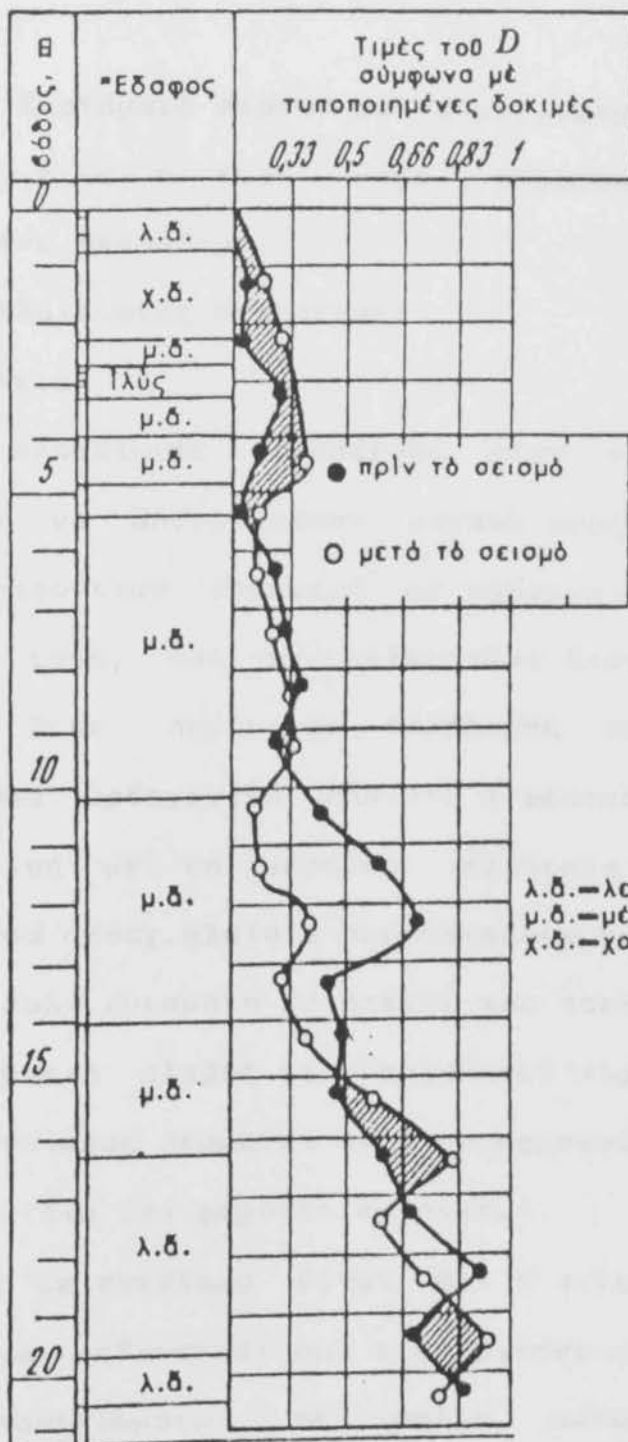
περιεχει κόκκους άμμου η ιλύος. Την ώρα του σεισμού το έδαφος ήταν παχυμένο σε βάθος 1,5-2m. Μετά το σεισμό παρατηρήθηκαν μεγάλες εδαφικές παραμορφώσεις. Ένα τμήμα της πόλης έδειξε ίχνη κατολισθήσεων και ρωγμών. Εκεί οι βλαβες στις κατασκευες ήταν οι βαρύτερες και πολλά από τα κτίρια κατεδαφίσθηκαν εντελώς.

Η ένταση του σεισμού της Niigata (Ιαπωνία) 1964 ήταν περίπου 7,5. Παρά τη σχετικά χαμηλή ένταση ο σεισμός προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στην πόλη, που κυρίως οφειλόταν στις πολύ κακές εδαφικές συνθήκες δηλαδή :

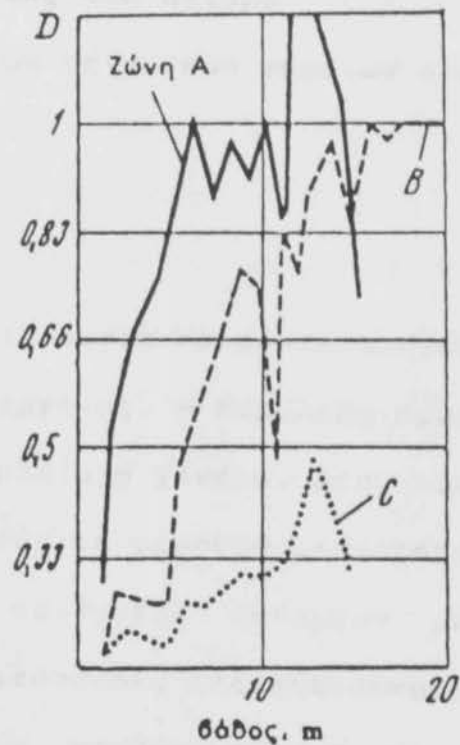
- i) πολύ χαλαρη άμμος με σχετική πυκνότητα  $D = 0,2$ . Ένα στρώμα πάχους 5-6m από αυτη την άμμο βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια.
- ii) Άμμος με μεση και μεγάλη συμπυκνωση, σχετικής πυκνότητας 0,33 και 0,66. Βρίσκεται σε βάθος 10-15m κάτω από την επιφάνεια.
- iii) Συμπαγής άμμος με  $D = 0,66$  βρίσκεται κάτω από άμμο με λιγότερη συμπυκνωση, σε βάθος 15-20m.

Συμπέρασμα η ανοικοδόμηση πάνω σε χαλαρά εδάφη είναι αποδεδειγμένη καταστροφή. Η ρευστοποίηση του εδάφους είναι το φαινομενο κατά το οποίο το έδαφος στη διάρκεια του σεισμού χάνει στη συνοχή του και αποκτά ιδιότητες υγρού. Τότε το κτίριο είτε μετακινείται οριζοντια, είτε βυθίζεται μέσα στο έδαφος.

(a)



(b)



λ.δ.—λεπτόκοκκη άμμος  
 μ.δ.—μέσου μεγέθους κόκκου άμμος  
 χ.δ.—χονδροκόκκη άμμος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

### Κ Τ Ι Ρ Ι Α

#### 3.1 Συστήματα φορέων και συμπεριφορά τους στο σεισμό

Δύο είναι οι κύριοι φορείς ανάληψης των σεισμικών φορτίων από ωπλισμένο σκυρόδεμα.

α) οι πλαίσιωτές κατασκευές

β) τοιχεία

Οι πλαίσιωτές κατασκευές όταν είναι σωστά κατασκευασμένες μπορούν να απορροφήσουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Η παραλαβή όμως των οριζόντιων δυνάμεων με ορθογωνικά πλαίσια γίνεται μέσω των κόμβων τους, όσο οι τελευταίοι διατηρούν τη φέρουσα ικανότητά τους. Στην περίπτωση παραλαβής των σεισμικών δυνάμεων με πολυώροφα ορθογωνικά πλαίσια η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι ίση με τη φέρουσα ικανότητα των κόμβων της. Όμως τα πολυώροφα ορθογ. πλαίσια παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα :

Μία πολύ εύκαμπτη κατασκευή που παρουσιάζει μεγάλα βέλη κάμψης με συνέπεια βλάβες στον οργανισμό πληρώσεως θέτοντας σε κίνδυνο τους ενοίκους ακόμα κι αν οι παραμορφώσεις δεν είναι επικίνδυνες για τον ίδιο τον φέροντα οργανισμό.

Άλλο μειονέκτημα είναι ότι η συνολική ευστάθειά τους μπορεί εύκολα να κινδυνεύσει από τις οριζόντιες μετατοπίσεις. Η λοξότητα των υποστηλωμάτων σε πολλά πατώματα οδηγεί σε αυξουσα εκκεντρότητα του σεισμικού φορτίου.

Το ύψος ενός κτιρίου καθορίζει ως ένα βαθμό και το αν η συμπεριφορά του θα είναι εύκαμπτη ή δύσκαμπτη. Τα ορθογωνικά πλαίσια είναι λοιπόν σχετικά ασφαλή για κατασκευές μέχρι και τριών ορόφων.



Η τροποποιημένη ευκαμψία επιδιώκεται σκόπιμα από μερικούς μηχανικούς με την ενσωμάτωση περιορισμένων αριθμών τοιχείων σε μία πλαίσιατη κατασκευή, φτιάχνοντας έτσι μία κατασκευή που είναι ακόμη σχετικά εύκαμπτη και με μεγάλη περίοδο. Μία τέτοια προσέγγιση έχει γίνει από τον Muto στην Ιαπωνία, όπου όλα τα κτίρια πάνω από 14 ορόφους κατασκευάζονται με χαλύβδινο σκελετό.

Μία πολύ άκαμπτη κατασκευή πιθανότατα οδηγεί σε μεγάλα σεισμικά φορτία, πράγμα που έχει σαν συνέπεια ακριβή κατασκευή αλλά μικρές παραμορφώσεις. Παράλληλα η μεγάλη ακαμψία της κατασκευής την κάνει αναισθητή σε κινήσεις μεγάλης περιόδου.

Πολλοί μηχανικοί πιστεύουν ότι τα τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνονται σε περισσότερα πλαίσιατα κτίρια. Αυτό πέρα από το ότι θα μετρίαζε ή και θα αναιρούσε τα παραπάνω μειονεκτήματα, θα βοηθούσε να εξασφαλιστεί το ότι η κατασκευή μπαίνει ομοιόμορφα στην πλαστική συμπεριφορά.

Τα τοιχεία μεμονωμένα ή συζευγμένα με δοκούς μικρής ακαμψίας υπό την ενέργεια οριζοντίων δυνάμεων συμπεριφέρονται σαν πρόβολοι. Οι όροφοι μετατοπίζονται εξαιτίας της κάμψης που υφίστανται τα τοιχώματα και στρέφουν τα κύρτα τους προς το μέρος των δυνάμεων.

Παρέχουν την απαραίτητη αντοχή και πλαστικότητα στην κατασκευή. Κατάλληλα τοποθετημένα σε πλεονεκτικές θέσεις αναλαμβάνουν πολύ αποτελεσματικά οριζόντια φορτία σεισμού.

Η ακαμψία των τοιχείων μειώνει τις αναπτυσσόμενες μετατοπίσεις σε άλλα μέρη της κατασκευής, όπως στις κεφαλές των στύλων στις ενώσεις δοκών και στύλων, και ακόμα εξασφαλίζει την ανάπτυξη σε όλες τις δυνατές θέσεις πλαστικών αρθρώσεων σε ολόκληρη την κατασκευή πριν από την τελική κατάρρευση. Επίσης παρέχουν

προστασία στα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής κατά τη διάρκεια σεισμών λόγω της μικρής αναπτυσσόμενης μετατόπισης των ορόφων συγκρινόμενη με αυτή των κτιρίων με σκελετό.

Η ισοδυναμη-στατική σεισμική ανάλυση δίνει ανακριβή κατανομή δυναμικών ειδικότερα στους πάνω ορόφους λόγω της αλληλεπίδρασης των τοιχείων με τα πλαίσια άκαμπτων κόμβων. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται υψηλή πλαστικότητα όλης της κατασκευής. Ακανόνιστες διατάξεις ανοιγμάτων σε τοιχεία μπορεί να προκαλέσουν καταστροφή, συγκεντρώνοντας την απορρόφηση της ενέργειας σε λίγες ζώνες, ανίκανες να αναπτύξουν την κατάλληλη πλαστικότητα που είναι απαραίτητη για την επιβίωσή τους.

Ένα μεμονωμένο τοιχείο σε προβολο αναμένεται να συμπεριφέρεται σαν ένα κανονικό καμπτόμενο στοιχείο αν ο λόγος ύψους προς πλάτους είναι μεγαλύτερος από την τιμή 2. Σε περιπτώσεις που ο απαιτούμενος καμπτικός οπλισμός είναι μεγαλύτερος, είναι καλύτερα να τοποθετείται αρκετός από τον καμπτικό οπλισμό κοντά στις εξωτερικές ίνες, ενώ ταυτόχρονα να διατηρείται κατ'ελάχιστον 0,25% κατακόρυφος οπλισμός στο υπόλοιπο τοιχείο. Εκτός από την αποτελεσματική καμπτική αντίσταση, η διάταξη αυτή του οπλισμού μεγαλώνει την πλαστιμότητα στροφής.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στα διπλά συστήματα (πλαίσια-τοιχεία) γιατί τα δύο είδη δημιουργούν δευτερογενείς φορτίσεις. Τα μεν τοιχεία χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία των καμπτικών φαινομένων. Όσο πιο μικρό είναι το ύψος τους σε σχέση με το μήκος τους τόσο πλησιάζουν στη λειτουργία του υποστηλώματος και τόσο σημαντικότερη είναι η διατμητική τους συμπεριφορά. Για δεδομένο μήκος τοιχώματος η επιρροή της διατμητικής παραμόρφωσης είναι σημαντική για χαμηλά τοιχεία, μειώνεται όμως για ψηλότερα και

μπορεί ακόμα να παραλειφθεί για πενταόροφα και πάνω κτίρια. Η επιρροή αυτή αυξάνει γραμμικά με το μήκος του τοιχείου. Οι οριζόντιες πάλι μετατοπίσεις μειώνονται σημαντικά, με την αύξηση του μήκους αυτού. Όσο αυξάνει το ολικό ύψος του τοιχώματος, τόσο αυξάνει και η επιρροή των στροφών των κατωτέρων ορόφων στις μετακινήσεις των ανωτέρω έτσι, ώστε οι μετατοπίσεις των τελευταίων να είναι πολλαπλάσιες από αυτές των κατωτέρω ορόφων, που σημαίνει μειωμένη ικανότητα του τοιχείου στους ανωτέρους ορόφους για την ανάληψη σεισμικών φορτίων.

Το αντίθετο συμβαίνει στα πλαίσια. Για τα πλαίσια επίσης μικρή σημασία έχει η στρόφη του θεμελίου ενώ στα τοιχεία επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα ανάληψης σεισμικών δυνάμεων. Στους κατώτερους ορόφους τα δύο στοιχεία πλαίσιο και τοιχείο δρουν παράλληλα.

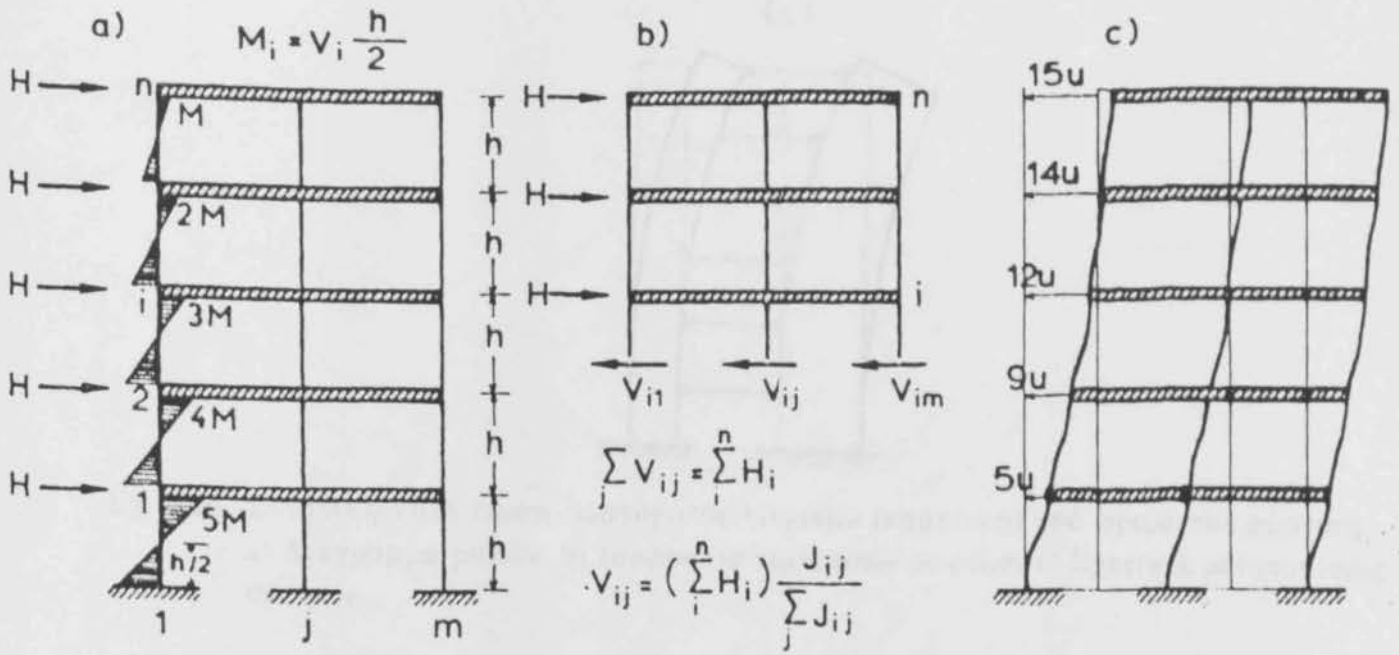
Στους ανώτερους ορόφους ψηλότερων κτιρίων όμως, τα δύο στοιχεία αντιτίθενται και έτσι είναι δυνατόν το πλαίσιο να δεχθεί τεμνουσες ακόμα και μεγαλύτερες από τις ολικές τεμνουσες υπολογισμού για το κτίριο, το δε τοιχείο τεμνουσες αρνητικές.

Η αλληλοεπίδραση τοιχείου-πλαισίου είναι τέτοια που η αύξηση της σχετικής ακαμψίας του πρώτου ως προς το δεύτερο δεν προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της συνολικής ακαμψίας της κατασκευής.

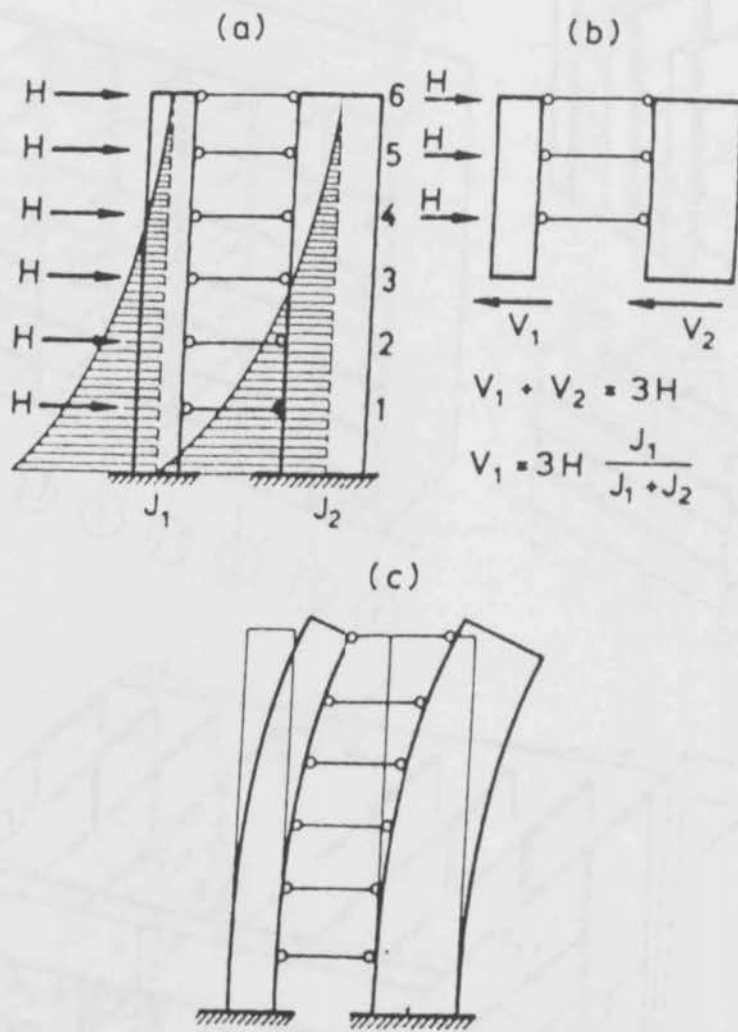
Για εικοσαόροφο κτίριο η μεταβολή της παραπάνω σχέσης ακαμψίας από 2:1 σε 50:1 δίνει μεταβολή στην ολική ακαμψία μόνο 30%.

Συγκρίνοντας τα συστήματα φορέων καταλήγουμε στο ότι τα πλαίσια φεροντα συστήματα ενώ έχουν αντοχή και πλάστιμη συμπεριφορά εμφανίζουν μικρή ακαμψία.

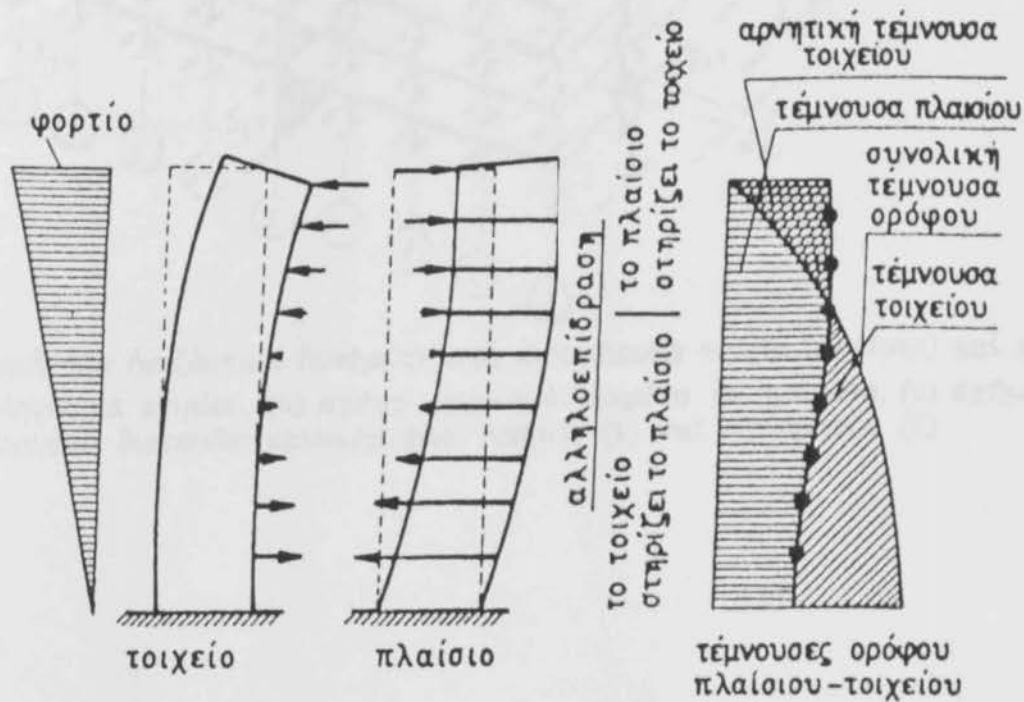
Τα αποτελέσματα είναι μεγάλες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων και επομένως αυξημένο κόστος για την αποκατάσταση των ζημιών. Έτσι



Σχ. 4.19. Εντατική κατάσταση διατμητικών πλαισίων υπό οριζόντια φόρτιση.  
 α) Διάγραμμα ρομών. β) Ισορροπία τεμνουσών-φορτίων γ) Σχετικές μετατοπίσεις ορόφων



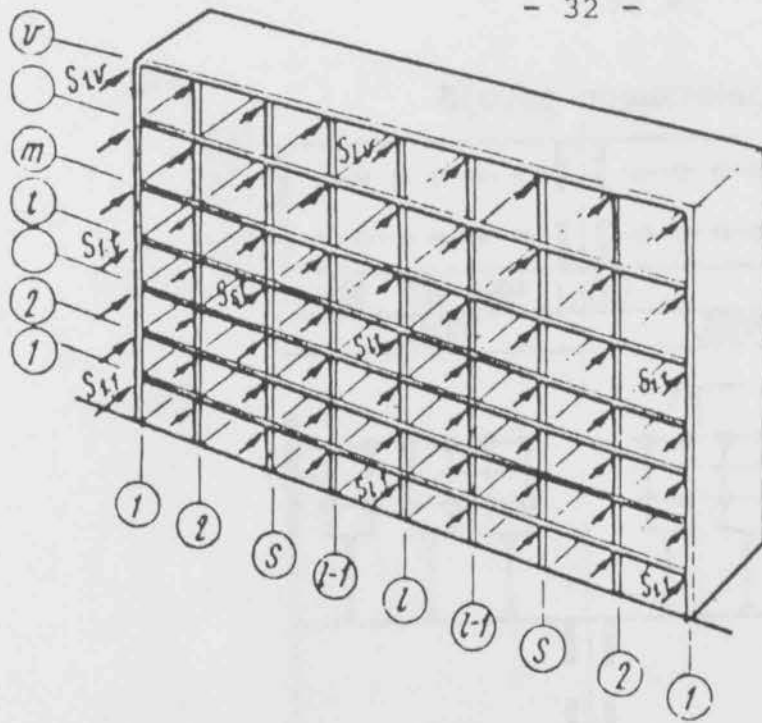
Σχ. 4.20. Εντατική κατάσταση συστήματος τοιχείων (καμπτικό) υπό οριζόντια φόρτιση.  
 α) Διάγραμμα ροπών. β) Ισορροπία τεμνουσών-φορτίων γ) Σχετικές μετατοπίσεις ορόφων



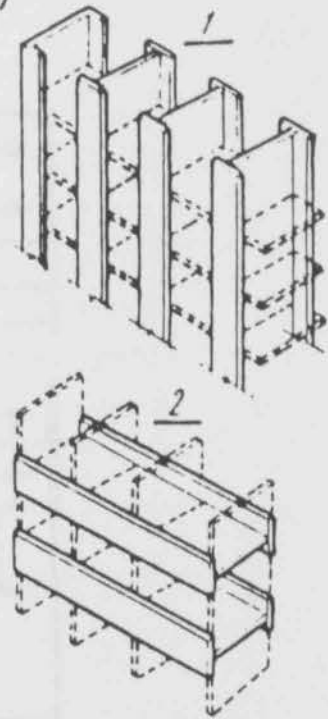
Σχ. 4.21. Αλληλεπίδραση πλαίσιου-τοιχείου σε δίδυμο σύστημα υπό οριζόντια φόρτιση



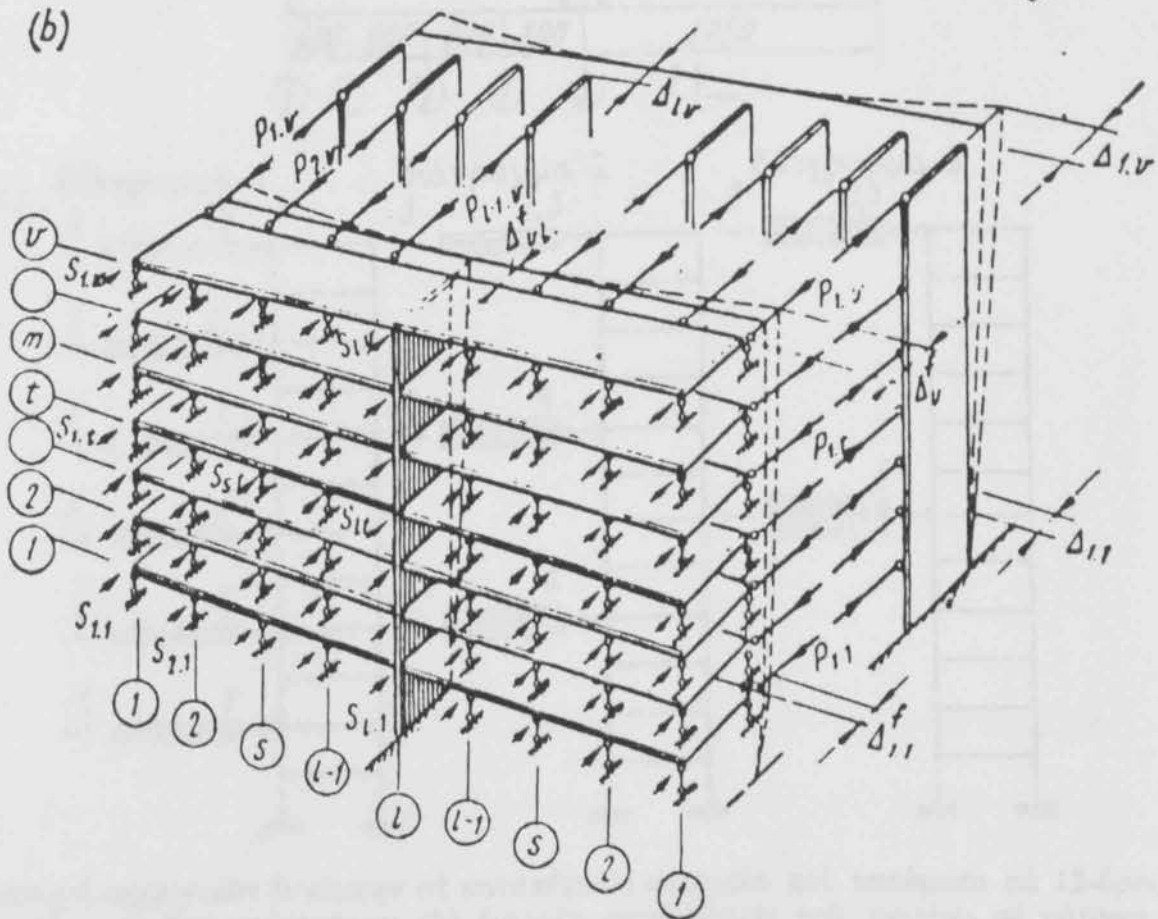
(a)



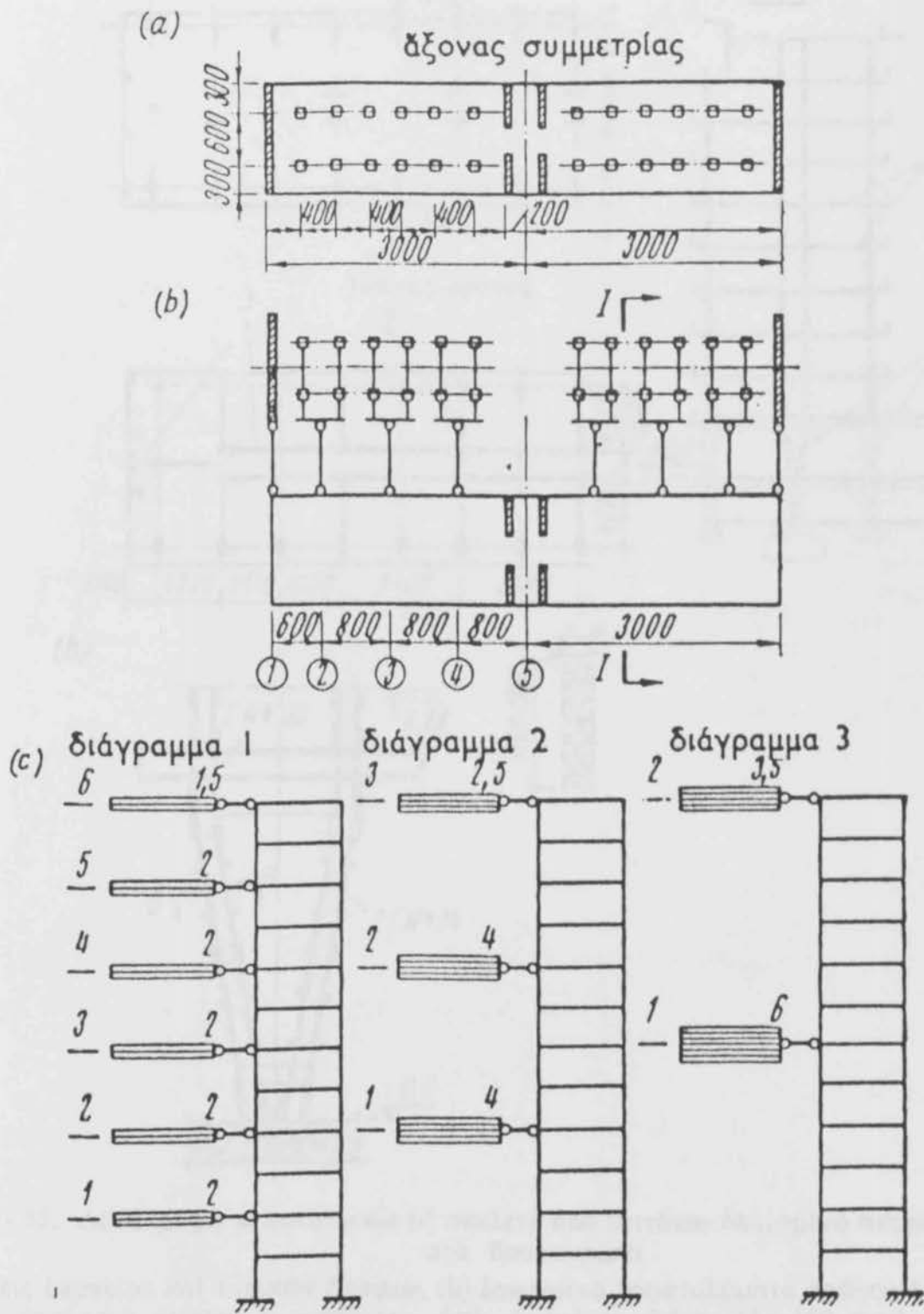
(c)



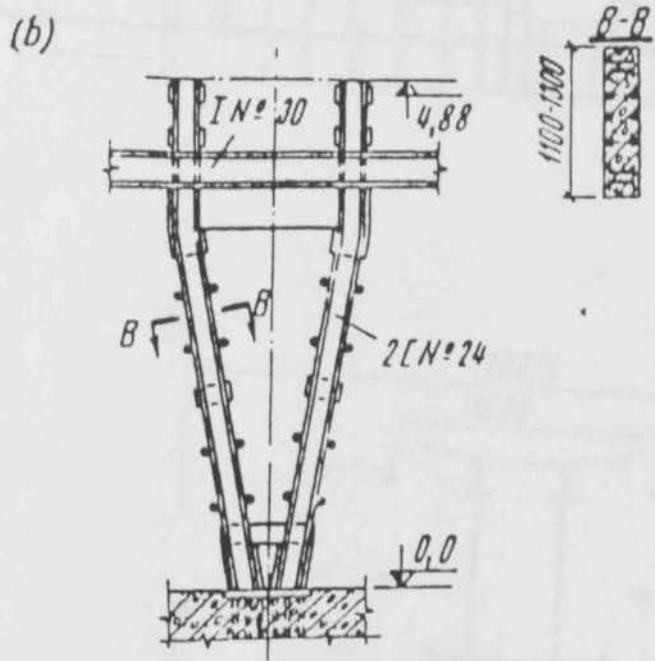
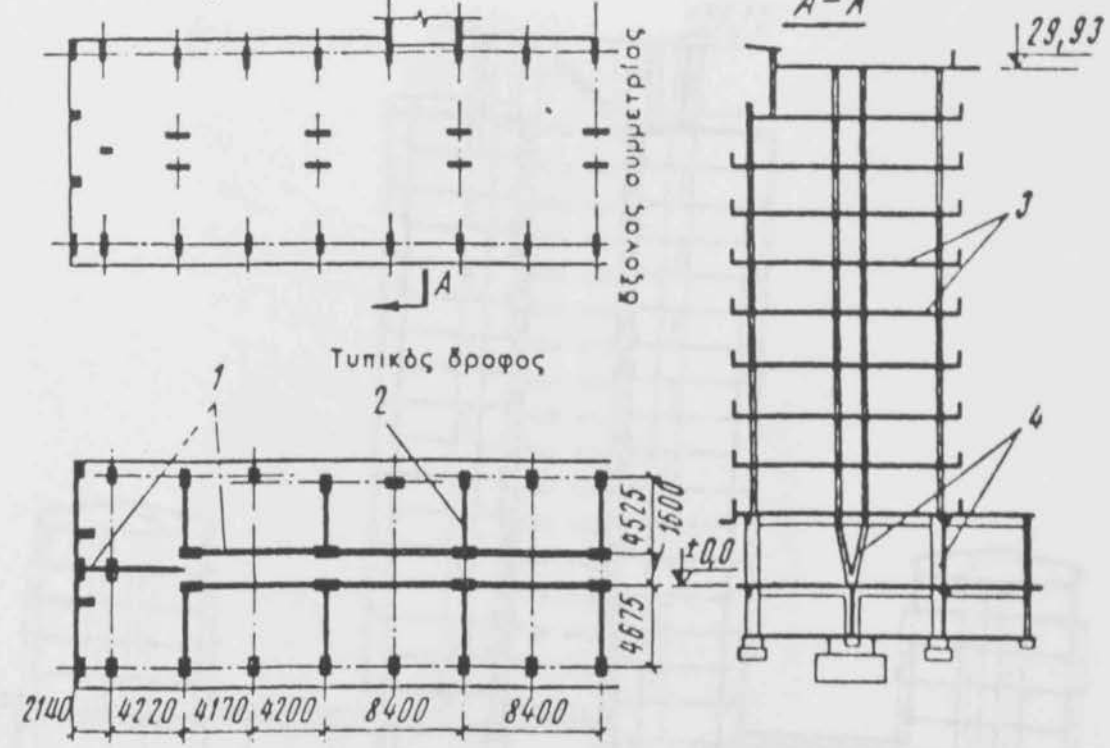
(b)



Σχ. 4 - 7. Κατανομή των οριζόντιων δυνάμεων στα κατακόρυφα τοιχεία (πλαίσια) και πατώματα  
 (a) άξονομετρικό διάγραμμα κτιρίου, (b) σχήμα κτιρίου αναλυμένο σε τμήματα, (c) σχήμα για προσδιορισμό διατομών κατακόρυφων τοιχείων (1) και πατωμάτων (2)

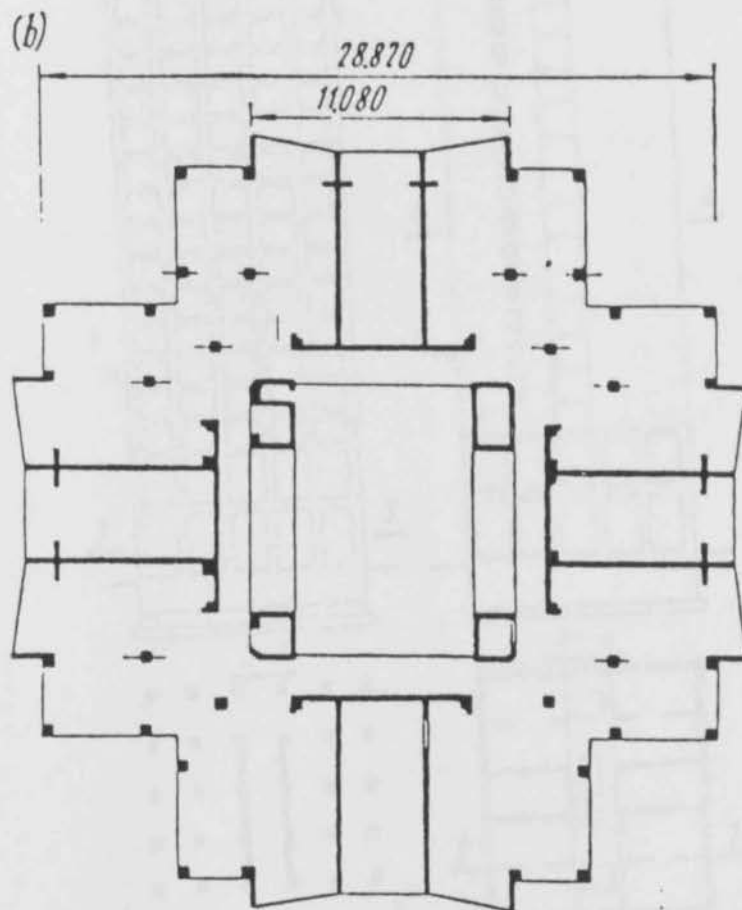
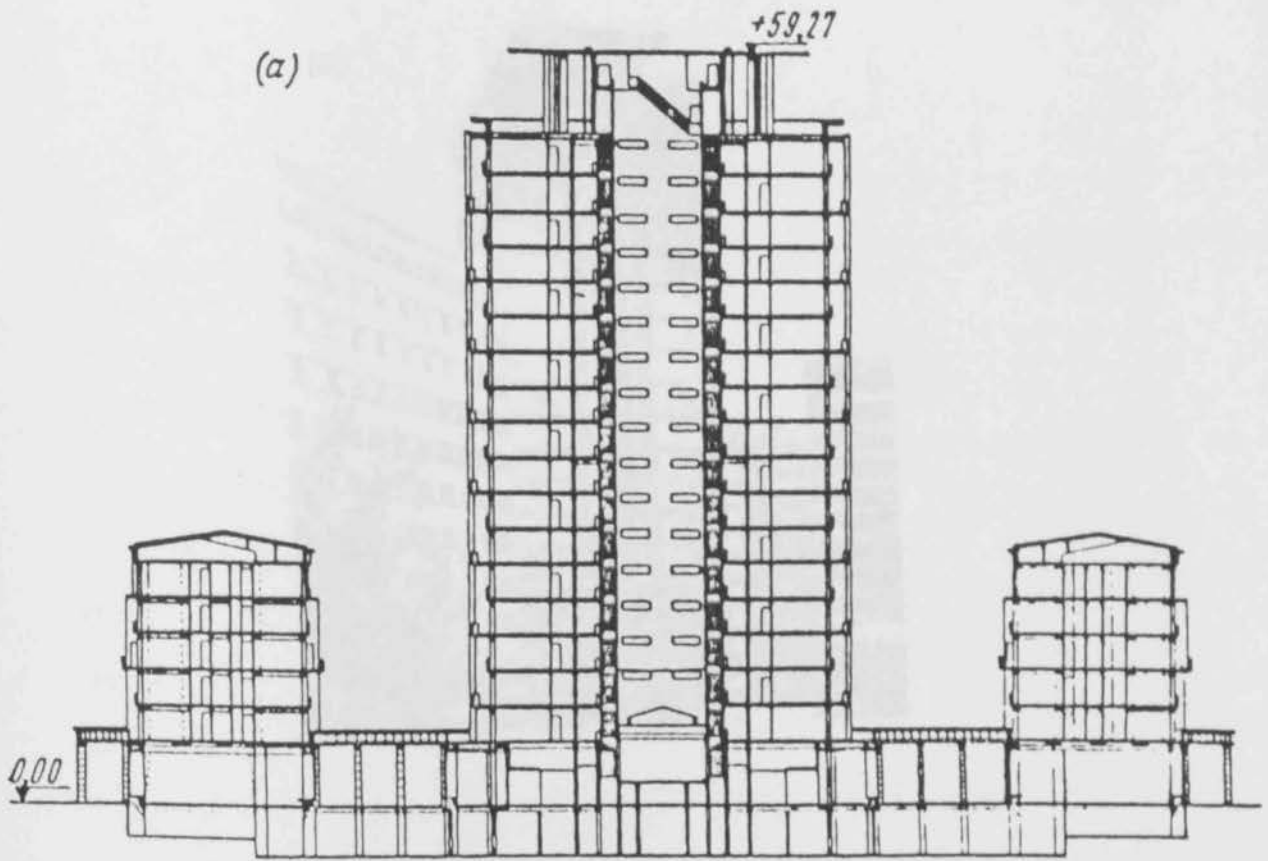


Σχ. 4-10. Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων σε κατακόρυφα στοιχεία και πατώματα σε 12-όροφο κτίριο (α) διάταξη τοιχίων και υποστυλωμάτων, (β) διάταξη σχεδιασμού του κτιρίου σε κάτοψη, (γ) τομή στο I—I με προσεγγιστικό ύπολογισμό σύμφωνα με τα διαγράμματα 1, 2 και 3

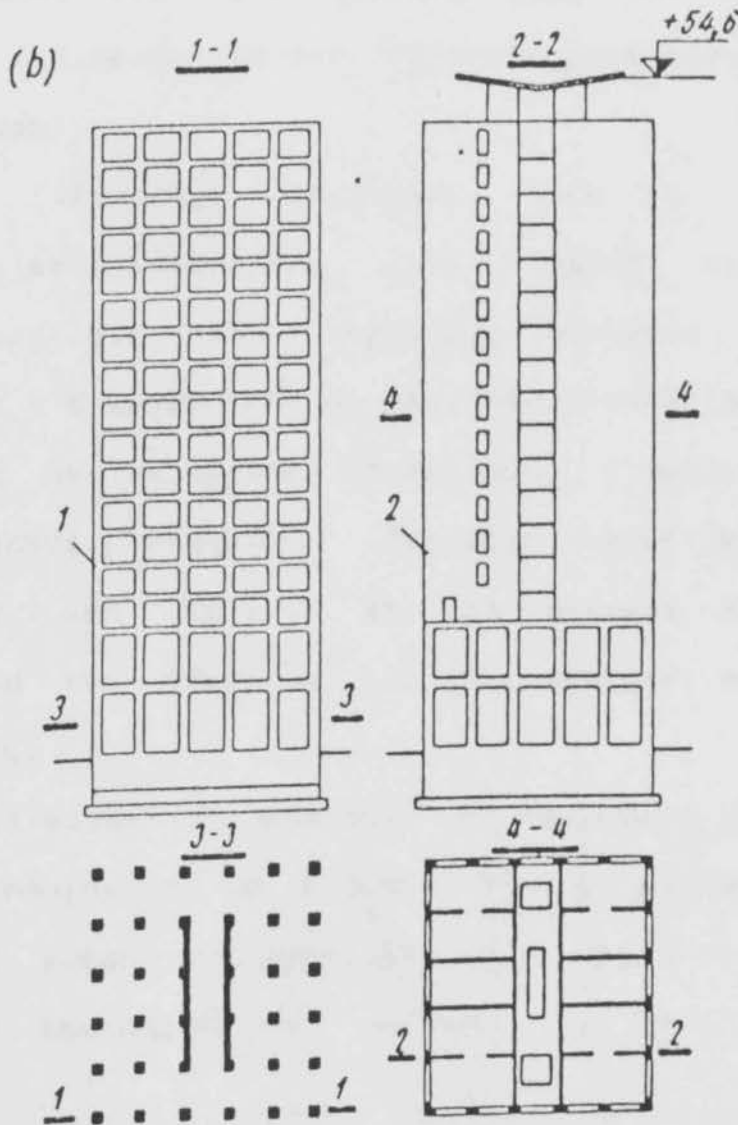


Σχ. 5 - 55. Δεκαόροφη πολυκατοικία με σκελετό από επίτοπιο όπλισμένο σκυρόδεμα και με τοίχια, στο Βουκουρέστι

(α) κατόψεις ύπογειου και τυπικών δρόφων, (β) έσωτερικά ύποστυλώματα πρώτου δρόφου. 1 - διάμηκες τοίχιο, 2 - έγκάρσιο τοίχιο, 3 - πατώματα από επίπεδες πλάκες ( $h=160$  mm), 4 - ύποστύλωμα με άκαμπτο όπλισμό



Σχ. 5 - 57. 18-όροφο κτίριο στο Βουκουρέστι  
(α) τομή, (β) κάτοψη του κτιρίου



Σχ. 5 - 56. 18-όροφο κτίριο στο Βουκουρέστι  
1 - πλαίσιο, 2 - τοιχίο



σημερα θεωρουνται κατάλληλα τα συστήματα με τοιχεία καθώς επίσης και τα διδυμα συστήματα για κατασκευες από οπλισμένο σκυρόδεμα.

### 3.2 Πλαστιμότητα

Ο σεισμός υποχρεωνει τις κατασκευες να δεχθούν μια ποσότητα ενεργειας. Οι παραμετροι που καθοριζουν την ικανότητα απορρόφησης της είναι ο βαθμός απόσβεσης, η ικανότητα ανελαστικών παραμορφώσεων, η υπαρην εφεδρικών στοιχείων αντίστασης και η τυχόν υπαρην στοιχείων πληρώσεως.

Θα μπορούσαμε να ονομάσουμε πλαστιμότητα το λόγο της παραμόρφωσης στο όριο θραύσης προς την παραμόρφωση στο όριο διαρροης η διαφορετικά την ικανότητα ενός συστήματος για πλαστική παραμόρφωση.

Είναι ιδιαίτερα σημαντική αυτη η ιδιότητα για τις αντισεισμικές κατασκευες, γιατί παρέχει τη δυνατότητα να τις σχεδιάσουμε για πολυ μικρότερες δυνάμεις από αυτες που θα απαιτούσε η θεωρηση τους ως ελαστικά συστήματα.

Ενώ ο αντισεισμικός υπολογισμός γίνεται με βάση ιδεατες επιβαλλόμενες σεισμικές δυνάμεις, φορτίσεις, η ένταση των στοιχείων του κτιρίου σε ώρα σεισμού προκαλείται από τη μετακίνηση των θεμελίων του και εξαρτάται από την απόκριση της κατασκευής.

Υπό επιβαλλόμενη φόρτιση το σκυρόδεμα με την εξάντληση της αντοχης οδηγείται σε θραύση. Υπό επιβαλλόμενη παραμόρφωση το σκυρόδεμα μπορεί να παραλάβει φορτίο εστω και συνεχώς μειούμενο μετά την εξάντληση της αντοχής. Το ίδιο ισχύει και για τον χάλυβα.

Υπάρχει δυνατότητα αύξησης της αντοχης ενός στοιχείου με την

αποκατάσταση συνθηκών τριαξονικής έντασης. Η αντοχή του σκυροδέματος τότε αυξάνει όπως και οι κρίσιμες παραμορφώσεις. Το τελευταίο επιδιώκουμε με την τοποθέτηση πυκνότερων συνδετήρων στην περιοχή των κόμβων μια και η αύξηση των κρίσιμων παραμορφώσεων συμβάλλει στην αύξηση της πλαστιμότητας.

Για την επίτευξη πλαστίμων χαρακτηριστικών σε καμπτόμενα μέλη, σημασία πρέπει να δοθεί στον περιορισμό του ποσοστού του εφελκυσμένου οπλισμού. Το αντίθετο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ύψους της θλιβόμενης ζώνης και τη γρήγορη εξάντληση της ικανότητας του σκυροδέματος να αναλάβει δυνάμεις και παραμορφώσεις.

Αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση γίνεται με την παρουσία θλιβόμενου οπλισμού που επιτρέπει μεγαλύτερες παραμορφώσεις στη θλιβόμενη ζώνη αλλά και εμποδίζει πρόωρες αποφλοιώσεις του σκυροδέματος.

Σε ό,τι αφορά την πλαστιμότητα σχεδόν όλοι οι αντισεισμικοί κανονισμοί προϋποθέτουν την ύπαρξη ανάλογης ικανότητας στις κατασκευές έστω κι αν δεν γίνεται πάντα ειδικός λόγος γι'αυτή και δεν επισημαίνονται οι απαραίτητες μορφώσεις των δομικών στοιχείων για την επίτευξη της.

### 3.3 Ψηλά κτίρια

Ο αριθμός των ορόφων της οικοδομής, είναι άμεσα συσχετισμένος προς τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της  $T$ . Κατά συνέπεια η τριωτότητα της οικοδομής σ'ένα σεισμό εξαρτάται από την τεταγμένη του φάσματος επιταχυνσεων που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη ιδιοπερίοδο σε συσχετισμό προς αυτήν του φάσματος σχεδιασμού του κτιρίου.

Για όσους σεισμούς υπάρχουν μέχρι στιγμής στατιστικά στοιχεία η τρωτότητα αυξάνεται με το ύψος των κτιρίων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το Βουκουρέστι (1978) όπου οι βλάβες και οι καταρρεώσεις είχαν εντοπισθεί κυρίως στα κτίρια από 6 ορόφους και άνω, η πόλη του Μεξικού και η Θεσσαλονίκη όπου στα χαμηλά κτίρια (1-3) ορόφους βλάβες εκδηλώθηκαν μόνο στο 10,4% των περιπτώσεων, ενώ στα υψηλά κτίρια άνω των 6 ορόφων οι βλάβες επεκτάθηκαν στα 34,9% των περιπτώσεων. Και στο μεν Βουκουρέστι και Μεξικό η συγκεντρωση των βλαβών στα υψηλά κτίρια συμβιβάζεται με τα φασματά αποκρίσεως των σεισμών αυτών, αφού οι μεγάλες επιταχύνσεις αντιστοιχούν στις μεγάλες ιδιοπεριόδους, δηλ. στα υψηλά κτίρια.

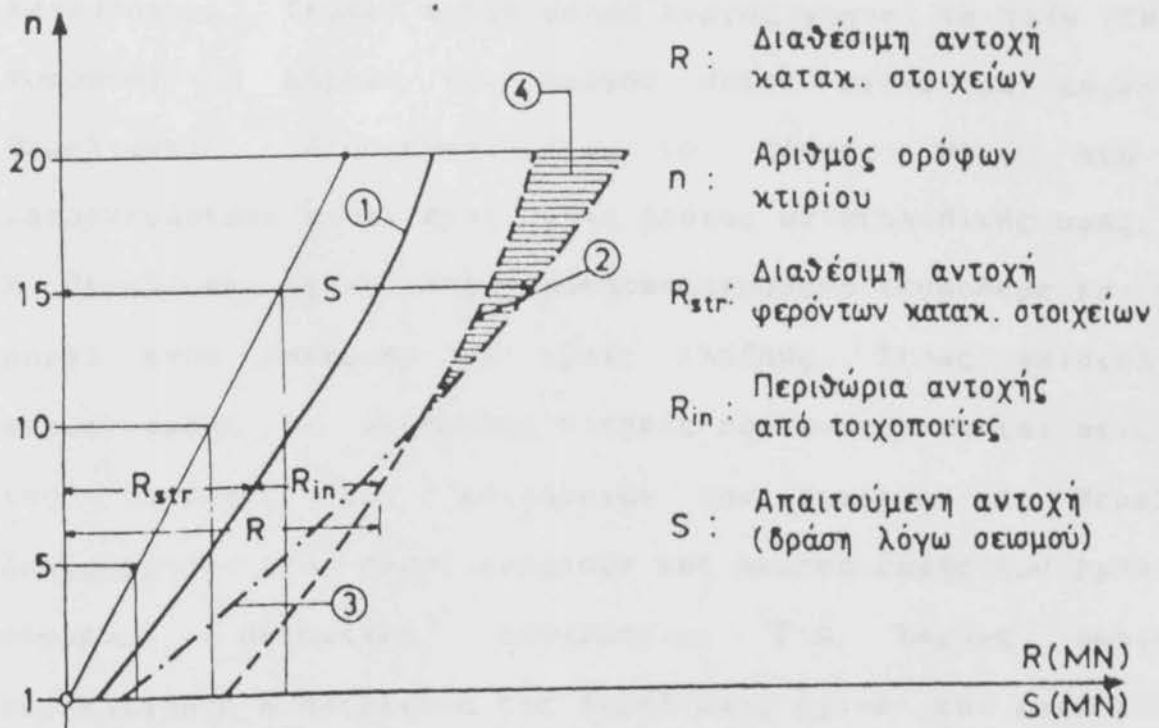
Η σύγχρονη τάση των κατασκευών κυριαρχείται από ένα γιγαντισμό, που προσαρμόζεται κυρίως στη συνεχή αύξηση του ύψους. Αυτό πετυχαίνεται, γιατί τόσο η πρόοδος στη σύλληψη των σχεδίων και στις μεθόδους ανάλυσης των προβλημάτων της ευστάθειας, όσο και η μεγάλη αντοχή των νέων υλικών κατασκευής, που τείνει να μειώσει το βάρος των κατασκευών παραμερίζουν τη χρήση της τοιχοποιίας ή άλλων βαρέων φορέων.

Στα κτιριακά συγκροτήματα το ύψος έχει συγκεκριμένα όρια, που εξαρτώνται από το μέγεθος των πλευρικών παραμορφώσεων.

Μια βασική κατανόηση που αναφέρεται στα υψηλά κτίρια είναι η σεισμική. Οι Ιάπωνες πρώτοι σκέφθηκαν ότι η μείωση στο τρανταγμα και στις άλλες συνθήκες που δημιουργούσε η ακαμψία της κατασκευής θα γινόταν μόνο εφόσον εξασφαλιζόταν μία ευκαμψία στην κατασκευή που θα εδραζόταν σε μία άκαμπτη θεμελίωση.

Η πρώτη εύκαμπτη κατασκευή έγινε το 1969 όταν για πρώτη φορά εφαρμόστηκαν οι θεωρίες της εύκαμπτης συμπεριφοράς της

Αριθμός ορόφων	Ποσοστό καταρρεύσεων και σοβαρών βλαβών (% κάθε κατηγορίας κτιρίων)
1- 2	0,9 %
3- 5	1.3 %
6- 8	8.4 %
9-12	13.6 %
> 12	10.5 %
Σύνολο	1.4 %



Σχ. 7.28. Ερμηνεία της τρωτότητας των υψηλών κτιρίων.

- ① Καμπύλη αντοχής φερόντων κατακόρυφων στοιχείων.
- ② Περιθώρια αντοχής λόγω τοιχοποιίας σταθερά ανεξάρτητα αριθμού ορόφου.
- ③ Απαιτούμενη αντοχή (δράση λόγω σεισμού) περίπου ομόλογη προς  $R_{STR}$ .
- ④ Διαγραμμισμένη ζώνη: κτίρια με ζημιές.

σημεία αγκύρωσης το σκυρόδεμα εχίνε από ένα μείγμα πιο ανθεκτικό και αρκετά γρήγορα σκληροποιούμενο.

Αφού τελείωσαν οι εργασίες της θεμελίωσης, ο κενός χώρος που υπήρχε από την εκκαφή πληρώθηκε από ισχυρό σκυρόδεμα, για να αποκατασταθεί η συνέχεια ανάμεσα στο θεμέλιο και στο έδαφος. Υστερα κατασκευάστηκε ο κορμός. Εχίνε η προσπάθεια να κατασκευασθεί ο κορμός του πύργου σε κατακόρυφη διάταξη και να εμποδιαστούν με οποιοδήποτε τρόπο οι ταλαντώσεις του από στρεψη, που θα οφείλονταν στο γεγονός ότι για τις πολύ ψηλές κατασκευές η περιστροφή της γης εχει μία αντίστοιχη επίδραση στην κατακορυφότητα των κατασκευών μεγάλου ύψους. Για να εξισορροπηθεί η στρεψη προνοήθηκαν 3 καλώδια αγκύρωσης του ολισθαίνοντος ευλοτύπου, από σημεία του πύργου που είχαν υποστεί μία σίγουρη σκλήρυνση.

Τελικά το ύψος και η συνεπαχόμενη ευκαμψία της κατασκευής είναι δυνατόν να συνεπάγονται μεγάλες μετακινήσεις, που επιφέρονται από δυναμικές καταπονήσεις προκαλώντας δυσάρεστα συναισθήματα στους ενοίκους.

Ο Pruderman το 1965 παρατήρησε ότι οι παραμορφώσεις των κτιρίων που οφείλονται σε πλευρικές πιέσεις είναι πολλές φορές πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που προκαλούνται από τις συνηθισμένες κατακόρυφες παραμορφώσεις της κατασκευής.

Πρέπει λοιπόν η τιμή του λόγου που εκφράζει το ύψος προς τις πλευρικές παραμορφώσεις να είναι κριτήριο της μόρφωσης της κατασκευής. Ο Fischer (1962) υποστήριξε ότι, αφού δεν υπάρχει θεμα αντοχής της κατασκευής, οι πλευρικές ωθήσεις πρέπει να περιορίζονται με τη μείωση της επιφάνειας αντίστασης έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται η άνετη διαβίωση των ενοίκων, ακόμη και για ένα



υψος που με την κλασική θεώρηση θα φαινόταν υπερβολικό.

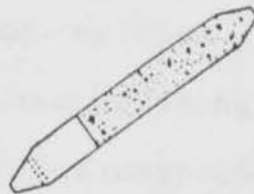
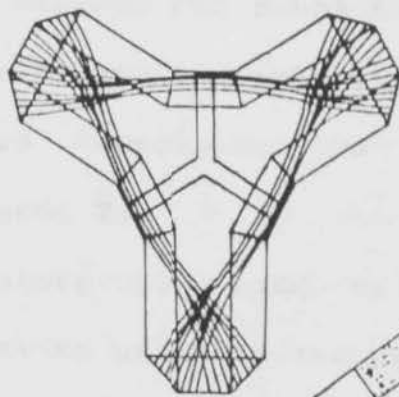
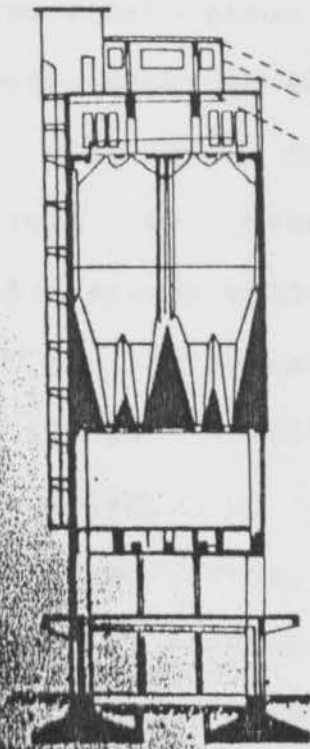
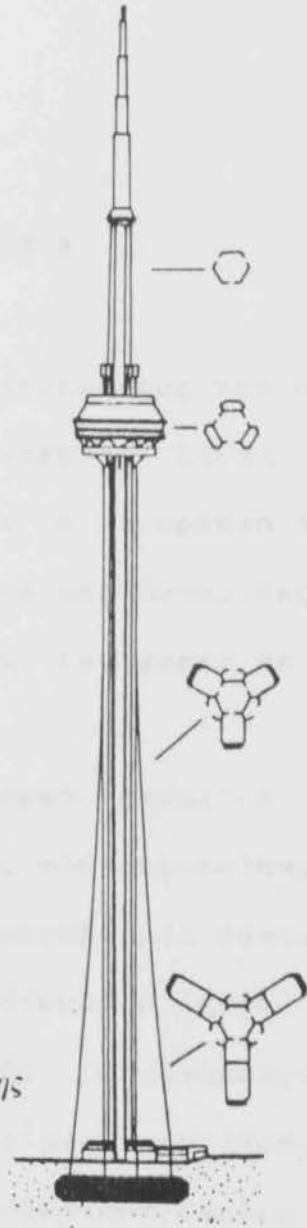
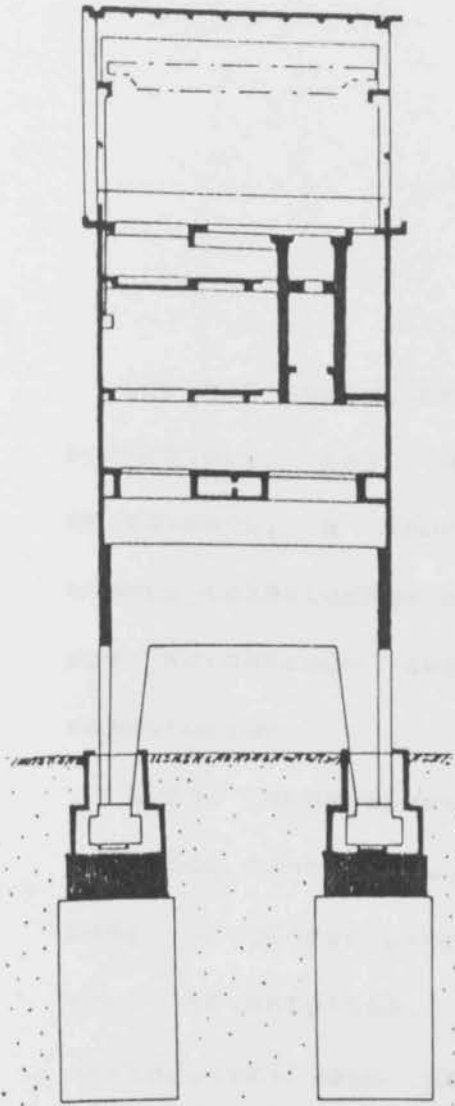
Ως όριο θεωρείται εκείνο του στατικού φορέα, για τον οποίο το βέλος κάμψης του ψηλότερου πλαισίου πρέπει να είναι κατά 0,002 μικρότερο του χαμηλότερου. Εκτός από τους πιο πάνω παραγοντες, που είναι βασικά στοιχεία για τη σχεδίαση και τη μόρφωση ενός ψηλού κτιρίου, υπάρχει και το θέμα της θεμελίωσης.

Οι θεμελιώσεις ορισμένων ψηλών κατασκευών είναι δυνατόν να παρουσιάσουν, σε πολλές περιπτώσεις, μία αστάθεια που εκ πρώτης όψεως μοιάζει πολύ με την κάμψη. Όταν ξεπεράσουμε ένα ύψος που έχει άμεση σχέση με τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους που τα εδράζει, τα κτίρια αυτά ανατρέπονται.

Θα πρέπει να παραδεχθεί κανείς ότι οι υπολογισμοί που γίνονται σήμερα σχετικά με το σύμπλεγμα κατασκευή - έδαφος, βασίζονται σε εξαιρετικά απλοποιημένες υποθέσεις συγκριτικά με την εντατική κατάσταση που πραγματικά παρουσιάζεται.

Εδώ πρέπει να αναφέρει κανείς ότι ένα πρόσθετο στοιχείο της κατασκευής π.χ. μία δικτυωτή δοκός που επιτρέπει την ασφαλέστερη κατανομή της ακαμψίας του συνόλου και μειώνει αισθητά το βέλος κάμψης, έχει ουσιαστική επίδραση στη συμπεριφορά της θεμελίωσης.

Σήμερα, με την ανάπτυξη της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων η μελέτη της ανωδομής - εδάφους θεμελίωσης, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη μελέτη ενός νέου φορέα, ώστε, αφού χωριστεί σε μικρότερα στοιχεία, να βρίσκει κανείς στους κόμβους που διαμορφώνονται τα μεγέθη εντάσης που είναι απαραίτητα για τη μόρφωση της κατασκευής.



Σχ. 4. Διάφοροι τύποι ψηλών κτιρίων και οί τρόποι θεμελίωσής τους.

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

#### Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α

Οι πιο σημαντικές παραμετροί της επιταχυνσεως του εδάφους που επηρεάζουν την απόκριση της κατασκευής είναι η μέγιστη επιτάχυνση, η προεχούσα περίοδος και η διάρκεια του μεγάλου εύρους ταλαντώσεων εδάφους. Για τη μελέτη της δυναμικής απόκρισης των κατασκευών αναλύεται η ταλάντωση του φορέα σε ιδιομορφες ταλαντώσεως.

Άμεσα συσχετισμένη με κάθε ιδιομορφή είναι η αντίστοιχη περίοδος ταλαντώσεως, δηλ. ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως. Κάθε ιδιομορφή μπορεί να θεωρηθεί σαν μονοβάθμιο σύστημα με δική του ιδιοπερίοδο. Η θεμελιώδης ιδιομορφή ενός συστήματος αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο. Οι ιδιομορφες ανώτερης τάξης επηρεάζουν μόνο πολύ ευκαμπτα κτίρια στην αποκρίση κυρίως των υψηλών ορόφων. Η μελέτη της απόκρισης υψηλών κτιρίων με πλαισιακό φερών σύστημα έχει δείξει ότι η θεμελιώδης ιδιομορφή συνεισφέρει το 80% περίπου της συνολικής αποκρίσεως.

Όταν μετά την έναρξη της ταλάντωσης μηδενισθεί το διεγείρον αίτιο το σύστημα εξακολουθεί να ταλαντώνεται ελεύθερα με ιδιοπερίοδο ταλάντωσης  $T_0$ .

Με το φάσμα αποκρίσεως ενός σεισμού το οποίο είναι ένα διάγραμμα που δίνει τη μεταβολή της μέγιστης τιμής ενός μεγέθους αποκρίσεως ως συνάρτηση της ιδιοπεριόδου του συστήματος προσδιορίζονται, η μέγιστη τιμή της σχετικής μετατοπίσεως, της σχετικής ταχύτητας και της απόλυτης επιτάχυνσης που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής διεγερσης.

Εάν παρακολουθήσουμε τη μεταβολή του φάσματος επιταχύνσεων

ενός σεισμού παρατηρούμε ότι για  $T=0$  δηλ. για εντελώς ακαμπτη κατασκευή η μέγιστη επιτάχυνση που αναπτύσσεται στην ταλαντούμενη μάζα είναι ίση με την επιτάχυνση λόγω  $t_{max}$ .

Με την αύξηση της ιδιοπεριόδου η απόλυτη επιτάχυνση του συστήματος αυξάνεται και για κάποια τιμή  $T=T_{προεχ.}$  φθάνει στη μέγιστη της τιμής. Το μέγιστο αυτό εμφανίζεται σε συστήματα που η ιδιοπερίοδος τους συμπίπτει με την προέχουσα περίοδο  $T_{προεχ.}$  του επιταχυνσιογραφήματος, δηλ της σεισμικής διεγερσης, οπότε το σύστημα συντονίζεται με τη σεισμική διεγερση.

Για συστήματα με ιδιοπερίοδο  $T$  μεγαλύτερη της  $T_{προεχ.}$  δηλ. για συστήματα εύκαμπτα η τιμή της απόλυτης επιτάχυνσης αρχίζει να φθίνει επειδή το σύστημα βρίσκεται εκτός φασής.

Για σεισμούς μεγάλου βάθους ή μεγάλης απόστασης που είναι πιο σπάνιοι (Βουκουρέστι, Μεξικό) η προέχουσα περίοδος του σεισμού εμφανίζεται στο 1,0-2,0sec οπότε τα συστήματα με ιδιοπερίοδο μέσα σε αυτά τα όρια παρουσιάζουν τις μέγιστες επιταχύνσεις των ταλαντούμενων μαζών. Η ιδιοπερίοδος αυτή αντιστοιχεί στη θεμελιώδη περίοδο 10ορόφων έως 20 ορόφων κτιρίων.

Επίσης μαλακά εδάφη μετατοπίζουν το μέγιστο του φάσματος επιταχύνσεων προς τα δεξιά με αποτέλεσμα εύκαμπτα κτίρια (μεγάλου ύψους) με μεγάλη θεμελιώδη περίοδο να είναι ευπρόσβλητα από σεισμό σε εδάφη αυτού του είδους. Αντίθετα, δυσκαμπτα κτίρια εμφανίζονται ευπρόσβλητα σε σκληρά εδάφη, όπου τα μέγιστα του φάσματος βρίσκονται μετατοπισμένα ως προς τα αριστερά.

Ανακεφαλαιώνοντας προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα : το βραχώδες έδαφος λόγω του μεγάλου μέτρου ελαστικότητας που έχει, δίνει ασφάλεια στη θεμελίωση. Σαν συμπαγές έδαφος έχει μικρή περίοδο ταλάντωσης και επομένως έχει ανάλογα μικρό πλάτος

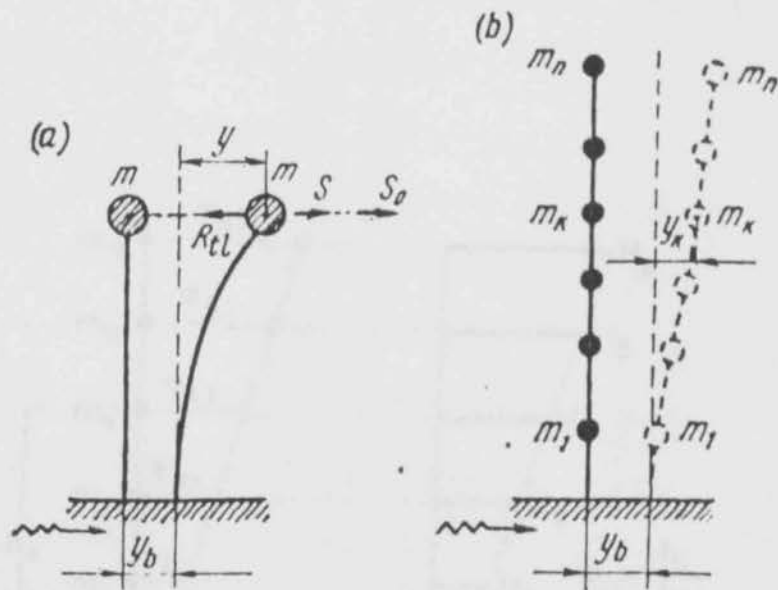
ταλάντωσης, με αποτέλεσμα μία εύκαμπτη κατασκευή (μεγάλου ύψους) με μεγάλο πλάτος ταλάντωσης και αντίστοιχα μεγάλη περίοδο να συμπεριφέρεται ομαλά στη σεισμική διεγερση, όπου αποκλείεται το φαινόμενο του συντονισμού.

Αντίθετη συμπεριφορά παρουσιάζουν τα μη εύκαμπτα κτίρια τα οποία θεμελιώνονται σε ίδιας μορφής έδαφος. Στα χαλαρά εδάφη όπου παρουσιάζεται μεγάλη περίοδος ταλαντώσεων και αυξημένη επιτάχυνση εξαιτίας της μειωμένης πυκνότητας και της αύξησης των κενών του εδάφους η ανοικοδόμηση είναι προβληματική σε ό,τι αφορά την αντισεισμική συμπεριφορά και άλλες καταπονήσεις.

Εξάλλου τα τοιχεία οπλισμένου σκυροδεματός παρέχουν στην κατασκευή την απαραίτητη αντοχή και πλαστιμότητα.

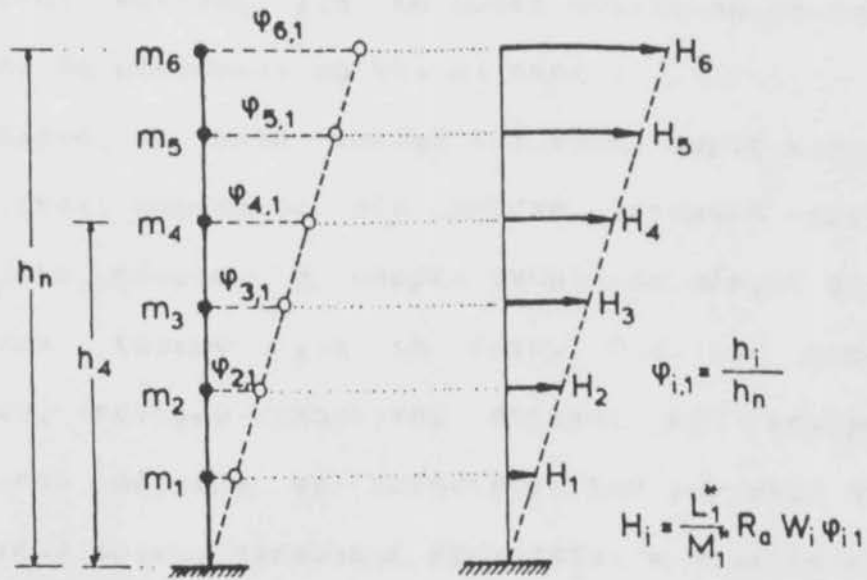
Αναλαμβάνουν αποτελεσματικά οριζοντια φορτία σεισμού όταν βρίσκονται κατάλληλα τοποθετημένα σε πλεονεκτικές θέσεις στην οικοδομή. Πλεονεκτήματα επίσης παρουσιάζουν τα δίδυμα συστήματα δηλ. συνδυασμός τοιχείων - πλαισίων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ψηλού κτιρίου θεμελιωμένο σε βραχώδες έδαφος απαιτείται άκαμπτη θεμελίωση με εύκαμπτη κατασκευή, για μειωμένες βλάβες στα κτίρια που δεχονται σεισμικά φορτία σε συνδυασμό πάντα με έναν κατάλληλο αντισεισμικό σχεδιασμό.



Σχ. 1-9. Ταλάντωση ενός μονοβάθμιου συστήματος (α) και ενός πολυβάθμιου συστήματος (β) που προκαλείται από δόνηση της βάσης





Σχ. 4.16. Θεμελιώδης ιδιομορφή πολυώροφου συστήματος και αδρανειακές δυνάμεις που αντιστοιχούν σ' αυτήν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

### Γ Ε Ν Ι Κ Ε Σ Π Ρ Ο Τ Α Σ Ε Ι Σ

#### 5.1 Αντισεισμικός σχεδιασμός (μόρφωση φέροντα οργανισμού)

Η σωστή συμπεριφορά σε σεισμό του κτιρίου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την κατασκευαστική διαμόρφωση του φερόντος συστήματος ο οποίος πρέπει να μεταφέρει στο έδαφος τα οριζόντια φορτία έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η πλαστική κατάσταση χωρίς ταυτόχρονα να δημιουργούνται εντονές στροφές.

Ορισμένοι κανόνες για τη σωστή αντισεισμική συμπεριφορά της κατασκευής θα μπορούσαν να είναι οι εξής :

α. Κτίρια με απλή κάτοψη και τομή, χωρίς εισεχουσες γωνίες κατόψεως και ανωμαλίες στη συνεχή μεταφορά των κατακορύφων φορτίων στο έδαφος. Η ύπαρξη ανωμαλιών οδηγεί στη συγκέντρωση επικίνδυνων τάσεων για το έργο. Για την αποφυγή σοβαρών αποκλίσεων, κέντρου ελαστικής στροφής και κέντρου μάζας του κτιρίου που οδηγούν σε καταστροφή των γωνιακών στύλων και των περιμετρικών τοίχων πληρωσεως χρειάζεται η συμμετρική διάταξη των στοιχείων ακαμψίας.

β. Δεν πρέπει οι κατασκευές να είναι υπερβολικά επιμηκείς ή υπερβολικά μεγάλες σε έκταση, γιατί ενώ εμείς θεωρούμε την κίνηση του εδάφους ομοιόμορφη, στην πραγματικότητα αυτή προκαλείται από τη μετάδοση των σεισμικών κυμάτων μέσα σ' αυτό με πεπερασμένη ταχύτητα. Έτσι είναι δυνατόν να παρουσιαστούν τμήματα ενός μεγάλου κτιρίου που να βρίσκονται εκτός φάσης, ακόμα και σε αντίφαση. Αν η απαιτούμενη ελιφάνεια κάλυψης, δεν μπορεί να επιτευχθεί με τετραγωνικής μορφής κάτοψη, υπάρχει η δυνατότητα να χωριστεί το κτίριο σε μικρότερα, μέσω αντισεισμικών αρμών που να

επιτρέπουν την ελεύθερη κίνηση του κάθε κομματιού.

γ. Δεν πρέπει να αποτελείται από πολλές μακρές πτερυγες έστω και συμμετρικά τοποθετημένες γιατί δημιουργούν προβλήματα στην εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής. Όπωςδήποτε είναι ανεπιθύμητα τα ανοικτά γωνιακά σχήματα, όπως επίσης αυτά με κατοψη μορφής και αυτά με αίθριο στο κεντρο τους. Οι μορφές αυτές τείνουν να προκαλέσουν ατροφή των πτερύγων, των οποίων η ελεύθερη άκρη είναι λιγότερο ακαμπτη από τη συνδεδεμένη. Η συγκεντρωση τάσεων στην ένωση σημαίνει επιβολή μεγάλων δυνάμεων στους οριζοντιους δίσκους, ιδιαίτερα αν οι πτερυγες είναι μακρές.

Κατόψεις σχήματος I, U & L απορρίπτονται διπλά λόγω ασυμμετρίας και υπαρέως πτερύγων. Κατόψεις σχήματος H μπορεί και να είναι ικανοποιητικές αν η υποχώρηση του κεντρικού τμήματος δεν είναι μεγαλύτερη από το 1/4 της αντίστοιχης διάστασης του κτιρίου.

Σε αντίθετη περίπτωση οι πτερυγες πρέπει να χωρίζονται από αντισεισμικούς αρμούς.

4. Μπορεί να αποφευχθεί η τοποθέτηση των πυρηνων πρόσβασης στα άκρα των κτιρίων, να προεξέχουν. Τέτοιοι πύργοι που περιεχουν φρεατια ανελκυστηρων και κλιμακοστασια τείνουν σε ώρα σεισμού να συμπεριφερθούν ανεξάρτητα από το υπόλοιπο κτίριο.

5. Ο λόγος ύψους προς πλάτους δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 3 η 4. Όσο πιο λεπτό είναι ένα κτίριο, τόσο δυσμενέστερα γίνονται τα αποτελέσματα του σεισμού ως προς την ανατροπή, εξαιτίας της μεγάλης οριζόντιας εκτροπής και τόσο μεγαλύτερες οι σεισμικές τάσεις στις εξωτερικές κολώνες, ιδιαίτερα οι θλιπτικές δυνάμεις ανατροπής τις οποίες πολύ δύσκολα αντιμετωπίζει κανείς.

6. Καλό είναι να αποφεύγονται οι μονόπλευρες καθ' ύψος

υποχωρήσεις από την οικοδομική γραμμή, γιατί στην εσοχή προκαλείται συγκεντρωση τάσεων. Ακόμα δημιουργείται μεγάλη διατμητική δύναμη η οποία πρέπει να μεταφερθεί μέσω του οριζοντιου δίσκου, της πλάκας δηλαδή που χωρίζει τα δύο τμήματα. Μια πολύ συνηθισμένη περίπτωση είναι αυτή της υποχώρησης από την οικοδομική γραμμή στους ανώτατους μόνο ορόφους με τη δημιουργία εσοχών (ρετιρέ).

Σχεδόν πάντα έχουμε και τη χρήση "φωτεινών" υποστηλωμάτων, που στηρίζονται δηλαδή σε δοκάρια, ή σε ενισχυμένη ζώνη πλάκας. Ένα μεγάλο μέρος των βλαβών από σεισμούς που παρατηρήθηκαν πρόσφατα στη χώρα μας αφορούσε φυτευτά υποστυλώματα.

7. Απαγορεύεται η ασυνεχεια στα τοιχεία της κατασκευής είτε σε κατακόρυφη είτε σε οριζόντια έννοια.

Σαν αποτέλεσμα μια ασυνεχεια στη διαδρομή των φορτίων μέσω των τοιχείων τα οποία είναι και τα σημαντικότερα από τα ανθισταμένα μέλη της κατασκευής, άρα και αυτά με τα μεγαλύτερα φορτία.

Αυσημενέστερη είναι η περίπτωση κατά την οποία διακόπτεται τοίχαιο κατά την κατακόρυφη έννοια, συνήθως όταν παραλείπεται σε έναν ή περισσότερους ορόφους.

Σε μια τέτοια περίπτωση τα υποστηλώματα του ορόφου που δεν έχει τοιχεία καλούνται να μεταφέρουν τις δυνάμεις που έχουν παραλάβει οι στήλες των τοιχείων στους ανώτερους ορόφους, με αποτέλεσμα την εμφάνιση υπερβολικής οριζόντιας διαφορικής μετακίνησης των εκατέρωθεν πλάκων με πιθανότατη συνέπεια την αποδιοργάνωση των κόμβων.

Έχει προταθεί και η ελεγχόμενη ασυνεχεια των διατμητικών τοιχείων σε οικοδομές με μυκτιοειδη σκελετό, με σκοπό την εξασφάλιση του περιορισμού των παραμορφώσεων δίχως την παρουσία

μεγάλων ροπών πακτώσεως στη βάση του καμπτικού προβόλου.

Έτσι τα τοίχια ακαμψίας είναι διασκορπισμένα στα φαινόμενα του σκελετού, επιβαρυνοντας τα υποκείμενα κάθε φορά κατακόρυφα στοιχεία και τους οριζόντιους δίσκους.

Έχει προταθεί ότι μια δύσκαμπτη κατασκευή μπορεί να προστατευθεί από τις ταλαντώσεις μικρής περιόδου με την κατασκευή ευκαμπτων υποστηλωμάτων στο ισόγειο. Τέτοιου είδους κτίρια δεν έχουν συμπεριφερθεί καλά σε σεισμούς.

Ασχημη συμπεριφορά θα έχουν και τα κτίρια που έχουν ψηλό ισόγειο δίχως ανάλογη αύξηση της ακαμψίας των στύλων του. Υπάρχει ακόμη η τάση να τοποθετούνται τα κτίρια πάνω σε κολώνες ώστε να μείνει ελεύθερος ο χώρος κάτω από αυτό. Οι κλασσικοί αντισεισμικοί κανονισμοί δεν αρμόζουν σε κτίρια με τέτοια ασυμμετρη κατανομη της ακαμψίας.

Στο ισόγειο χρειάζεται ένας ουσιαστικά τελειος πλαστικός μηχανισμος διαρροης και η απαιτούμενη δυνατότητα μετάθεσης του μηχανισμού του ισόγειου είναι τεράστια.

8. Απαγορεύεται να υπάρχει μεταβολή στην ακαμψία των στύλων από όροφο σε όροφο. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί από κολώνες με διαφορετικά μήκη ή μορφές.

Όταν χτίζουμε σε οικόπεδο, με κλίση, οι κολώνες του ισόγειου έχουν διαφορετικά μεταξύ τους ύψη. Για τη δημιουργία αρχιτεκτονικών εκτυπώσεων είναι δυνατόν ορισμένες από τις κολώνες να μείνουν ελευθερες, ασυνδεδες από τα δοκάρια και τις πλάκες σ'ένα ή και περισσότερους ορόφους.

Συχνή περίπτωση είναι και αυτή του ισόγειου με παταρι και περιμετρικές ελευθερες κολώνες. Οι σεισμικές δυνάμεις θα πληξουν και πάλι τα πιο ακαμπτα στοιχεία τα οποία δεν θα έχουν

υπολογισθεί για μια τέτοια ασύμμετρη κατανομή του σεισμικού φορτίου.

9. Τα πολύ πλατιά και κοντά δοκάρια αστοχούν κοντά στις κολώνες κανονικών διαστάσεων.

Μικρό ύψος δοκού σημαίνει υψηλό ποσοστό οπλισμού με αποτέλεσμα μειώσεις στη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας, στην ικανότητα πλαστικής στρώσης, στην πλαστιμότητα.

Ακόμη επιτείνει τον κίνδυνο διάτρησης της πλάκας μια και για ποσοστό οπλισμού μεγαλύτερο του 1%, η αστοχία προκαλείται από υπερβαση της αντοχής σε τέμνουσα πριν αναλωθεί όλη η καμπτική αντοχή. Στην περίπτωση υψηλών δοκαριών που συνδυάζονται με συνηθισμένες κολώνες, παρουσιάζεται το πρόβλημα της προώρης αποδιοργάνωσης των τελευταίων.

Τα δοκάρια πρέπει να αστοχούν πριν από τους στύλους ώστε να μεγιστοποιείται η απορρόφηση ενέργειας πριν την κατάρρευση. Συνήθως τα δοκάρια και οι πλάκες δεν καταρρέουν ακόμα και μετά από σοβαρές βλάβες στις θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων ενώ αντίθετα οι κολώνες συντρίβονται ταχύτατα κάτω από το κατακόρυφο φορτίο τους τη στιγμή που η απολέπιση έχει προχωρήσει αρκετά. Πρέπει λοιπόν να αποφευχεται η χρήση συνεχών δοκών μεγάλου ύψους πάνω σε ελαφρές κολώνες, εκτός κι αν φροντίσουμε να εξασφαλίσουμε εκ των προτέρων τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα οριζόντια στοιχεία.

10. Η αντισεισμικότητα μιας οικονομικά σχεδιασμένης κατασκευής εξαρτάται από την ικανότητά της να απορροφά ενέργεια, κυρίως με επαναλαμβανόμενες πλαστικές παραμορφώσεις των μελών της. Άρα όσο πιο συνεχής και μονολιθική είναι μία κατασκευή, τόσο περισσότερες πλαστικές αρθρώσεις και διαδρομές διατμήσεων και ωθήσεων



διατίθενται για την απορρόφηση της εισβάλλουσας ενέργειας.

Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση προβολών είτε συνδεδεμένων με πλαίσια, είτε με "διατμητική" -με τοιχεία κατασκευή. Εδώ υπάρχει το πρόβλημα ελλείψης πλαστιμότητας των τοιχείων που τα κάνει ευαίσθητα στους κρουστικούς σεισμούς που τα παραμορφώνουν στην πλαστική περιοχή.

Πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται η στήριξη περιμετρικού τμήματος του κτιρίου σε πλαίσια κατασκευή και του υπόλοιπου εν πρόβω στον αντισεισμικό πυρνα, γιατί θα παρουσιασθούν διαφορικές μετακινήσεις που όχι μόνο θα απομακρύνουν τη συμπεριφορά του κτιρίου από την αναμενόμενη αλλά πιθανόν να οδηγήσουν σε κατάρρευση του εν πρόβω δομημένου τμήματος εξ αιτίας του σφυροκοπήματος που θα δεχθεί από την περιμετρική κατασκευή.

11. Πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία "κοντών υποστηλωμάτων". Κοντά υποστηλώματα είναι τα υποστηλώματα που έχουν χαμηλή ικανότητα παραμόρφωσης. Τέτοια υποστηλώματα είναι πολύ άκαμπτα και κατά τον σεισμό κατανοούνται υπέρμετρα για τους ακόλουθους λόγους :

Όταν αποτελούν μικρό ποσοστό στο σύνολο των στύλων του ορόφου, προκαλούν ανομοιόμορφη κατανομή της τέμνουσας του σεισμού και αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιό της. Το κτίριο που εδράζεται σε κοντά υποστηλώματα γίνεται πιο ευκαμπτό και είναι δυνατόν να έχει δυσμενέστερη σεισμική απόκριση. Αν ένας όροφος έχει μικρότερο ύψος από τους υπόλοιπους, τότε σε περίπτωση σεισμού θα προκαλέσει την ανομοιόμορφη κίνηση των δύο τμημάτων του κτιρίου με τα γνωστά αποτελέσματα.

12. Η θεμελίωση νά'ναι δεμένη σε ενιαίο σύνολο είτε με γενική

κατόσφρωση, είτε με εσάρα πεδιλοδοκών, είτε με συνδετήρια δοκάρια. Οι πυθμένες θεμελιώσεως να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

13. Να προβλεπεται στον φέροντα οργανισμό μία γραμμή άμυνας από πλαστικά πλαίσια. Τα δίδυμα συστήματα είναι τα περισσότερο κατάλληλα για την παραλαβή σεισμικών φορτίων δοθέντος ότι α'αυτά, τα πλαίσια μπορούν να αποτελέσουν μία δευτερή γραμμή άμυνας.

### 5.2 Δομικά υλικά - Αντισεισμικοί αρμοί

Σε μία κατασκευή όπου απαιτείται σωστή συμπεριφορά κάτω από την ύπαρξη σεισμικής διεγερσης προτιμούνται υλικά με τις παρακάτω ιδιότητες :

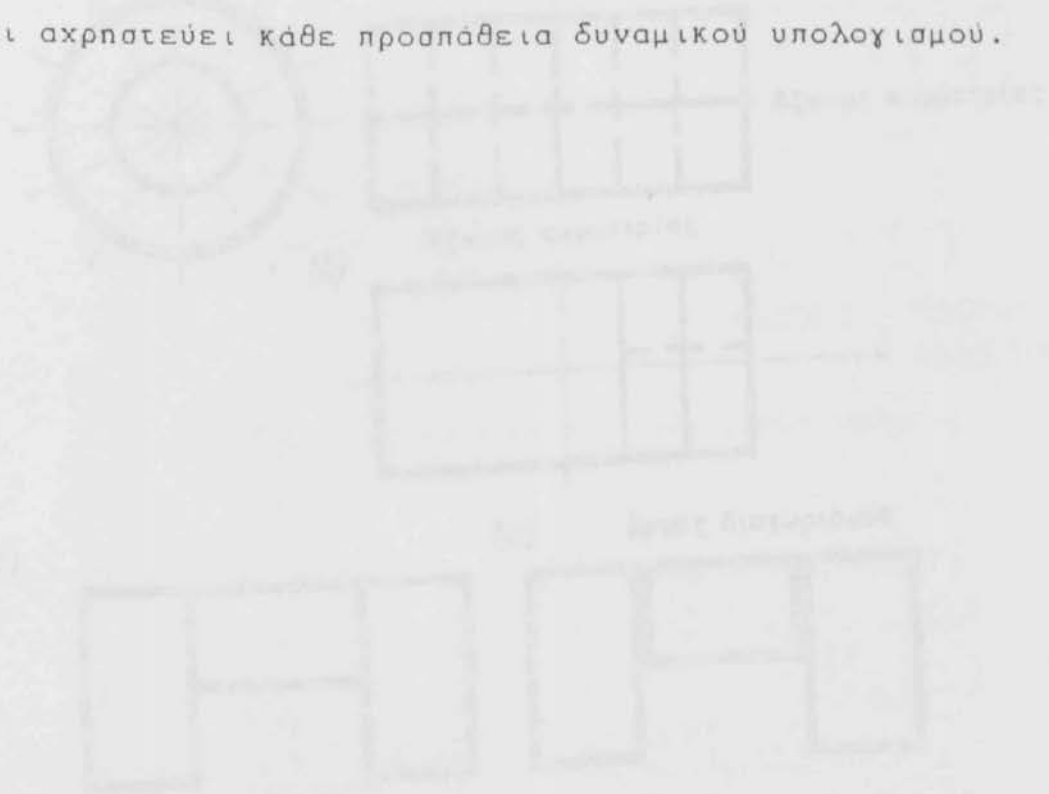
- υψηλή πλαστικότητα
- ομοιογένεια
- μεγάλος λόγος αντοχής / βάρος
- σταθερή ποιότητα
- ορθοτροπία
- ευκολία στη δημιουργία συνδέσεων αντοχής και με πλαστικότητα

Απαραίτητη επίσης είναι η ύπαρξη αντισεισμικών αρμών με τους οποίους προστατεύεται το κτίριό μας από τις κινήσεις των γειτονικών του οικοδομών, δεδομένου ότι τα γειτονικά κτίρια έχουν διαφορετικούς βαθμούς ακαμψίας και συμπεριφέρονται διαφορετικά εξαιτίας των διαφορών στην τοποθέτηση των ανισταμένων στοιχείων και των διαφορετικών σταθμών στις οποίες βρίσκονται τοποθετημένοι οι οριζοντιοί δίσκοι.

Το μέγεθος του αντισεισμικού αρμού εξαρτάται από το ύψος του χαμηλότερου κτιρίου (από τα δύο που χωρίζει ο αρμός) και από τα δυναμικά χαρακτηριστικά του. Μπορεί λοιπόν να κυμαίνεται από

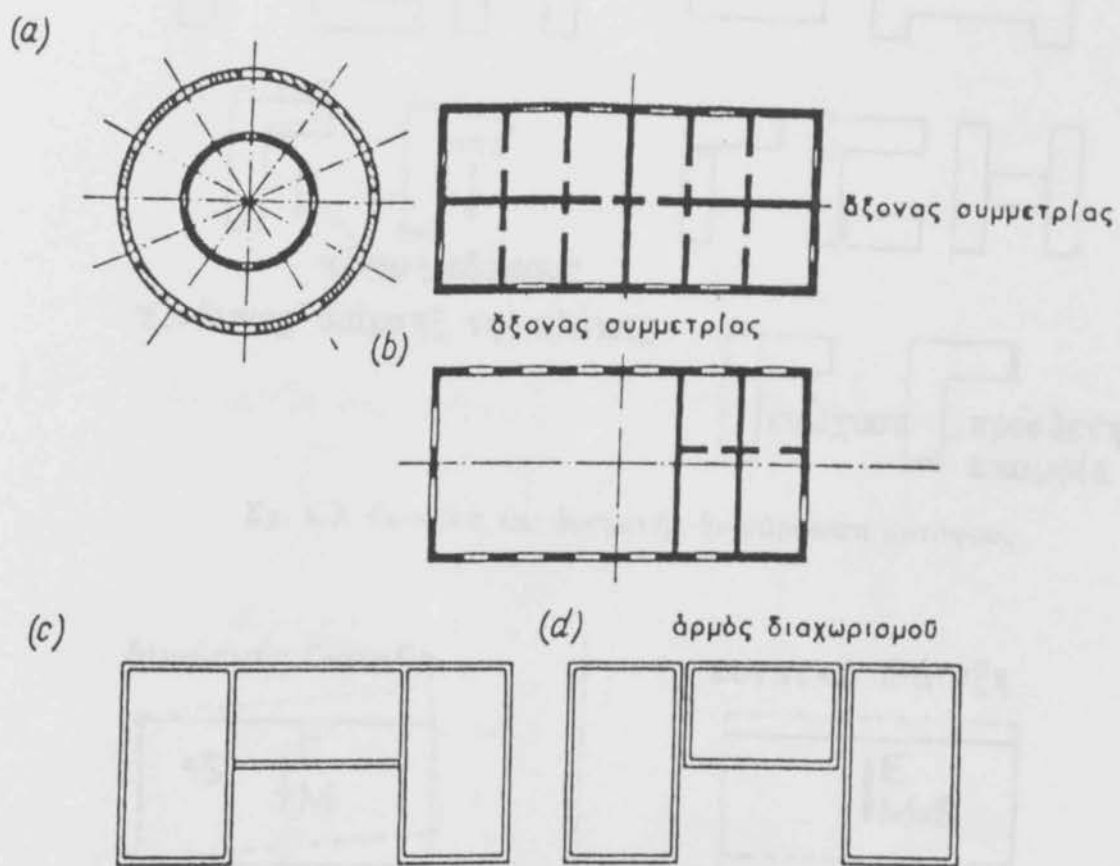
H/250 έως H/100 όπου H το ύψος του κοινού τοίχου.

Η παράλειψη του αντισεισμικού αρμού κάνει ευάλωτο το κτίριο και αχρηστεύει κάθε προσπάθεια δυναμικού υπολογισμού.



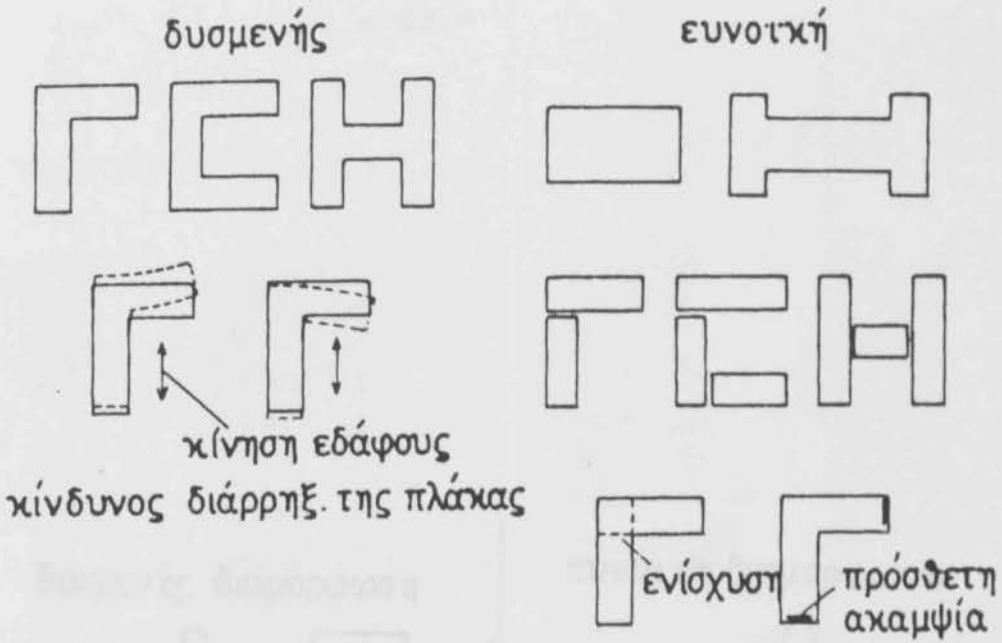
Σχ. 2.1. Κατάλληλος αντισεισμικός αρμός

αποτελείται από δύο τοίχους, για αντιστάση σε σεισμό, οι άκρες τους με κάποια για διατήρηση  
σε οριζόντιο (α) και (β) κλίση με σύνδεση διατηρηθείς (α) διατηρηθείς με (β) αμοιβαία

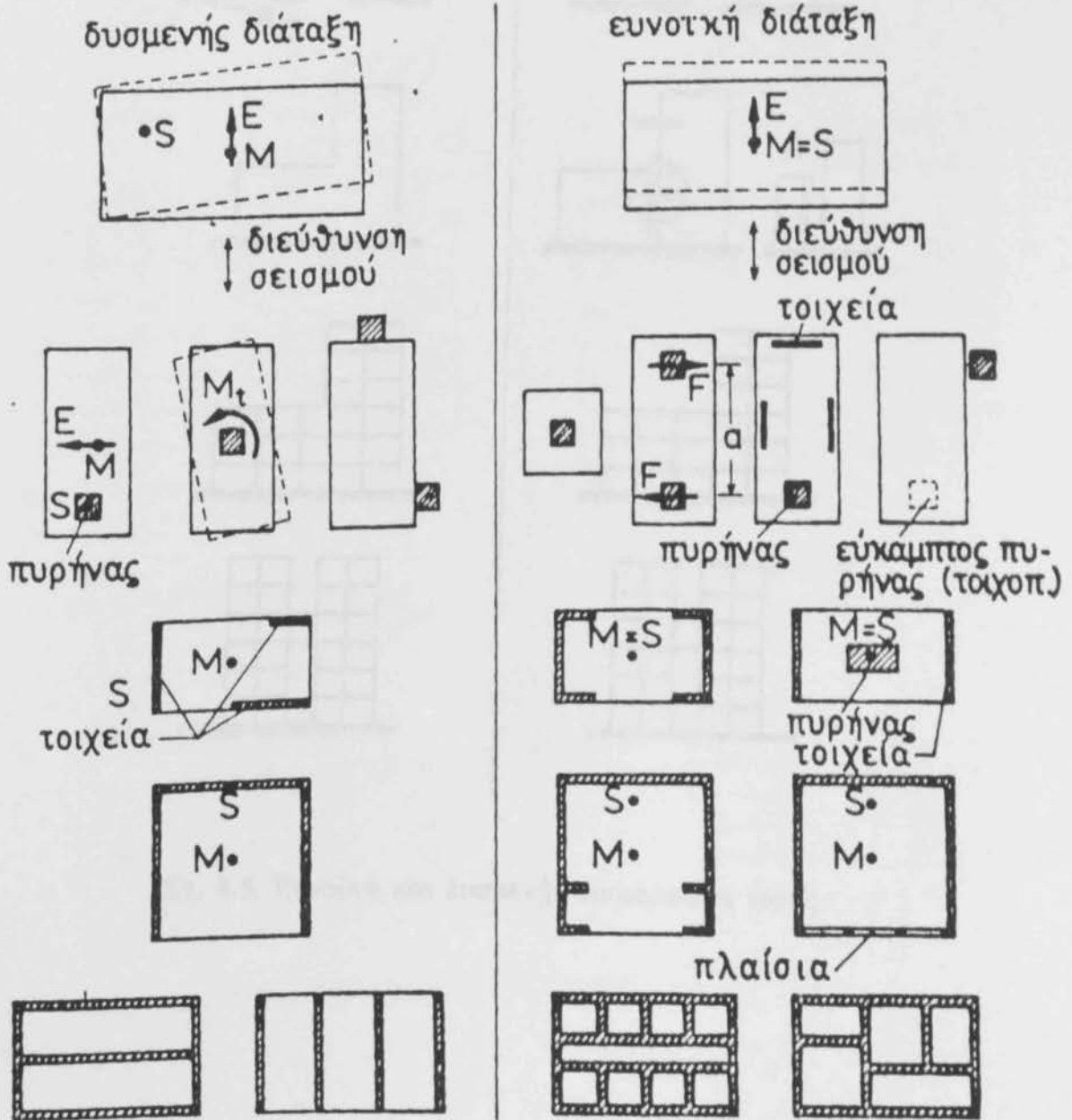


Σχ. 4-1. Κατόψεις αντισεισμικών κτιρίων

(a) συμμετρική κάτοψη, εύνοική για αντίσταση σε σεισμό, (b) ασύμμετρη, μη εύνοική για αντίσταση σε σεισμό, (c) και (d) κτίριο με σύνθετη διαμόρφωση, ((c) λανθασμένη και (d) σωστή λύση)

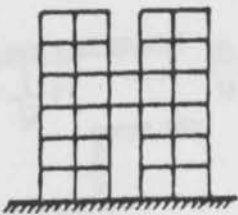
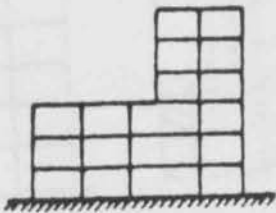
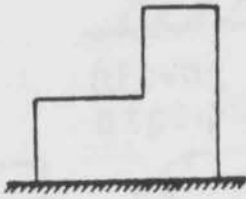
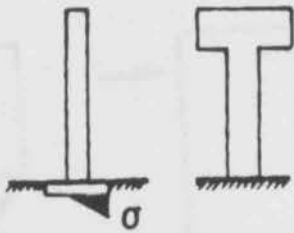


Σχ. 4.3. Ευνοϊκή και δυσμενής διαμόρφωση κατόψεως.

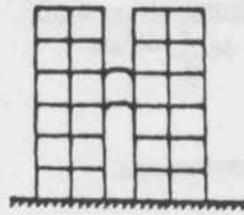
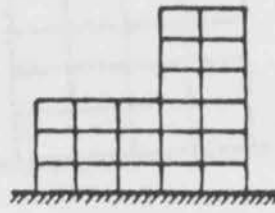
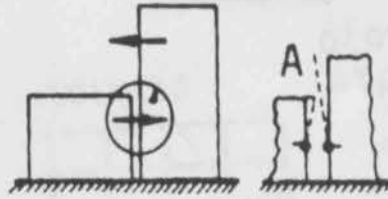
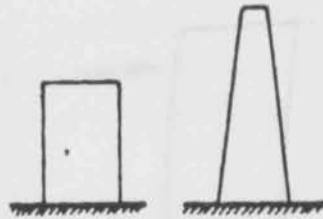


Σχ. 4.4. Κατανομή μάζας και ακαμψιών σε κάτοψη.

δυσμενής διαμόρφωση

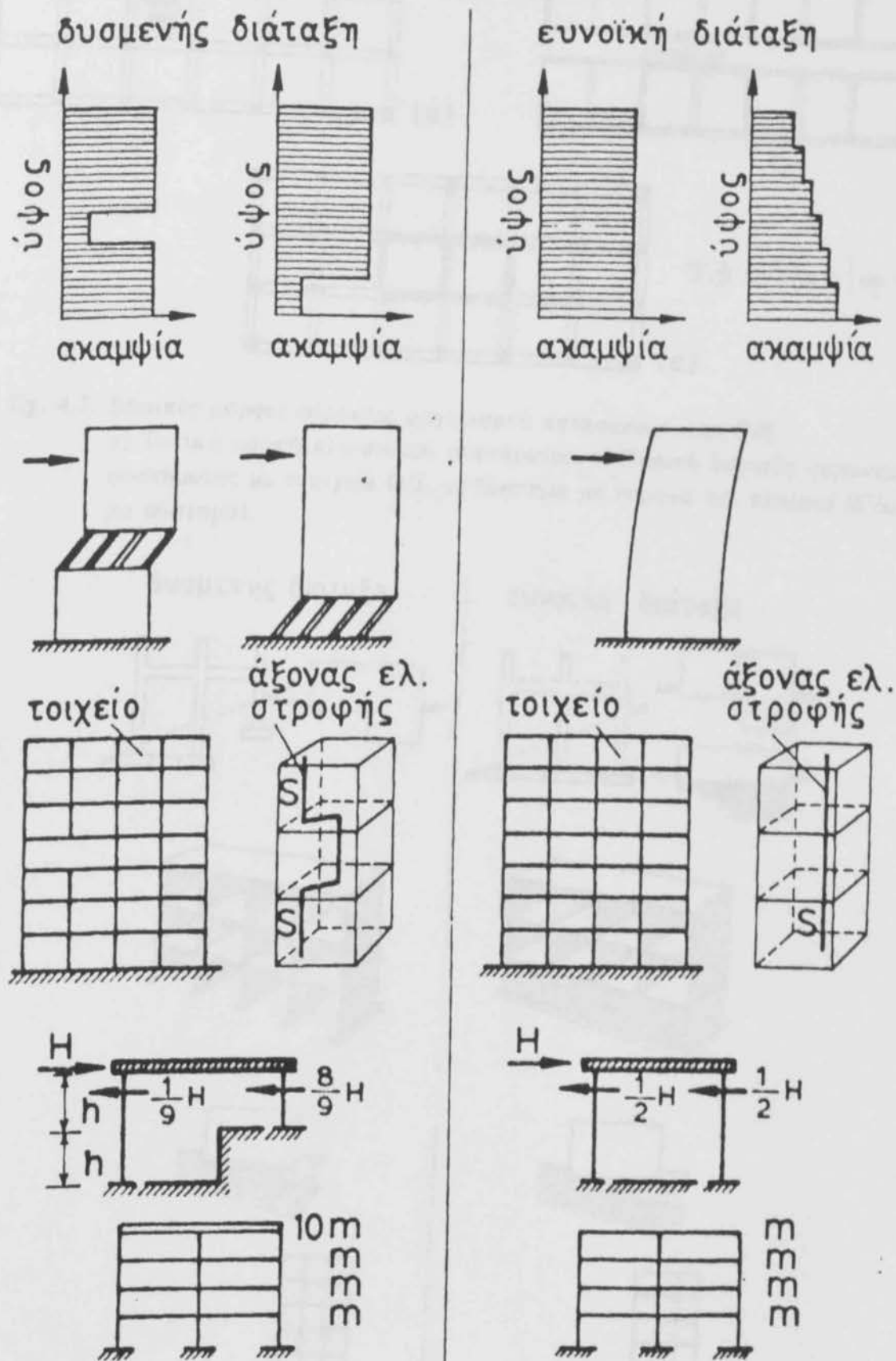


ευνοϊκή διαμόρφωση

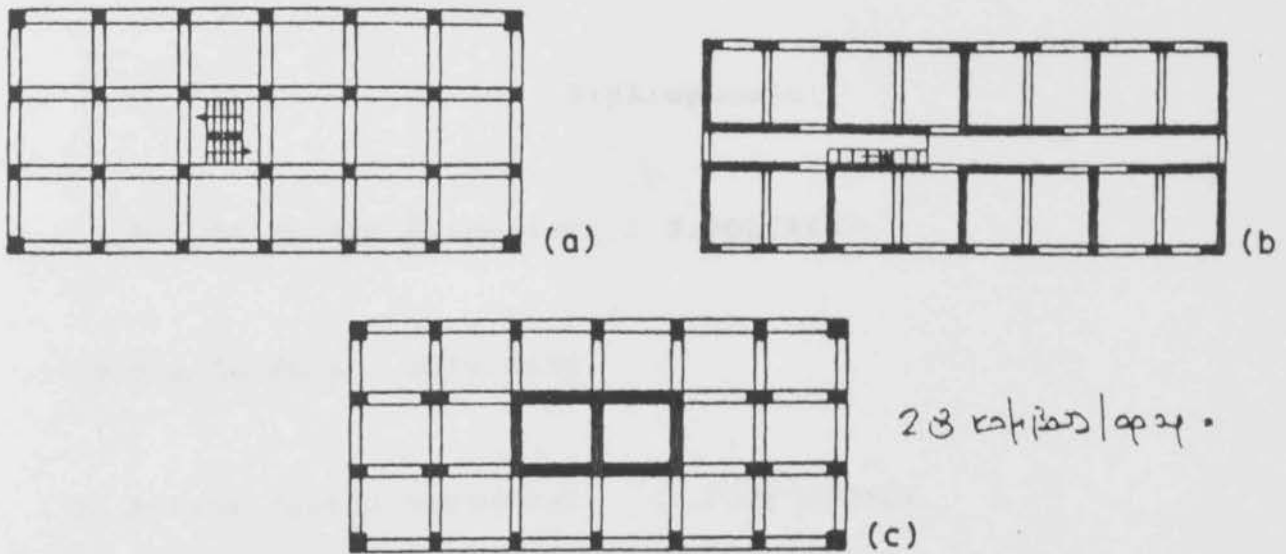


Σχ. 4.5. Ευνοϊκή και δυσμενής διαμόρφωση τομής.

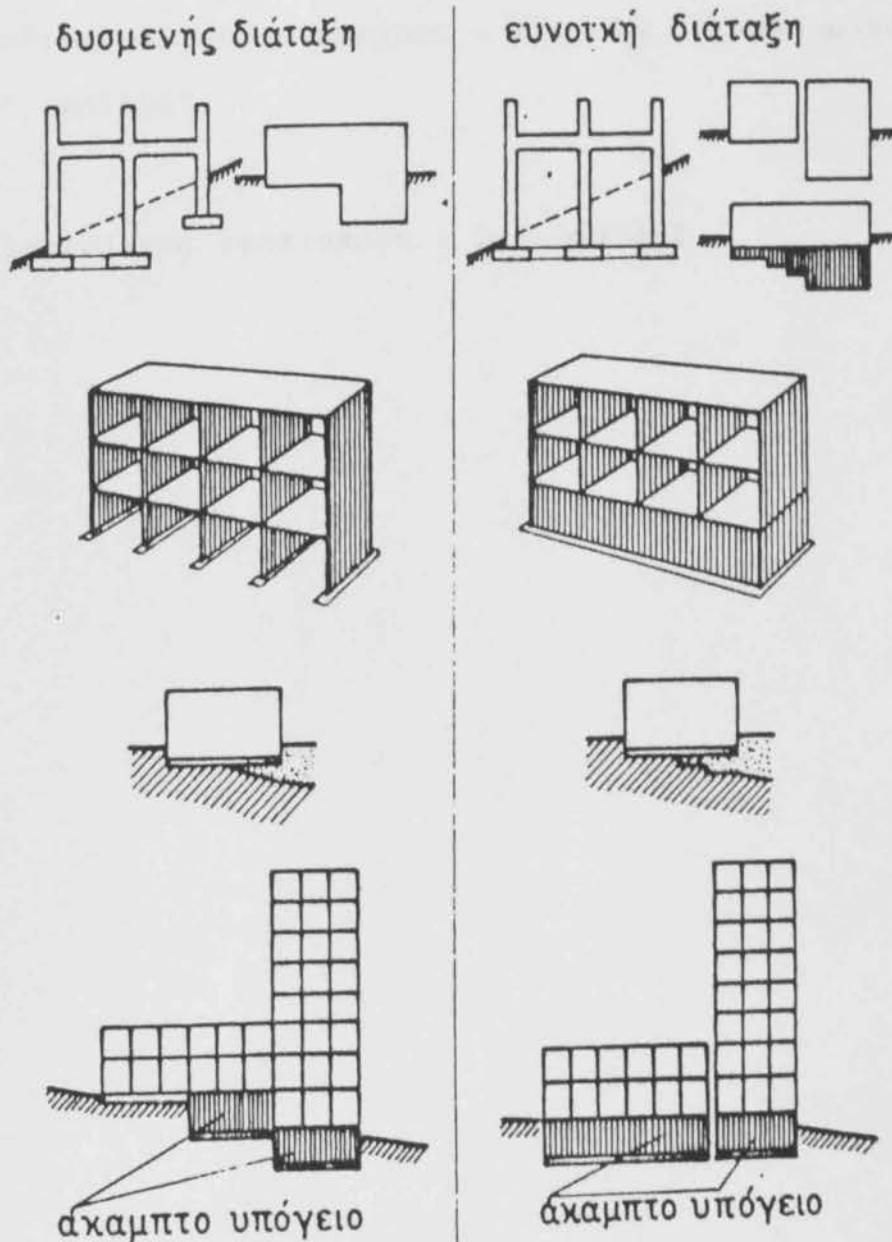




Σχ. 4.6. Κατανομή μάζας και ακαμψίας καθ' ύψος.



Σχ. 4.7. Βασικές μορφές φέροντος οργανισμού κατασκευών από Ο/Σ.  
 α) Τυπική μορφή πλαισιακού συστήματος, β) Τυπική διάταξη φέροντος συστήματος με στοιχεία Ο/Σ, γ) Σύστημα με πυρήνα και πλαίσια (δίδυμο σύστημα).



Σχ. 4.8. Ευνοϊκή και δυσμενής διαμόρφωση θεμελιώσεως και υπογείου.

### Βιβλιογραφία

- 1) Αντισεισμικές Κατασκευές : S.POLYAKΟΥ.
- 2) Θεμελιώσεις : Θ.ΚΑΡΑΛΗΣ.
- 3) Αντισεισμικά κατασκευαί : Α.ΡΟΥΣΟΠΥΛΟΥ.
- 4) Αντισεισμικές κατασκευές απο σκυρόδεμα : Γ.Γ. ΠΕΝΕΛΗΣ,  
Α.Ι.ΚΑΠΠΟΣ.
- 5) Παραδείγματα και ελεξηγήσεις στο νέο αντισεισμικό κανονισμό :  
ΓΡΗΓ. ΦΟΥΝΤΑΣ.
- 6) Αντισεισμικός σχεδιασμός : D.J.DOWRICK.

### Βιβλιογραφία

- 1) Αντισεισμικές Κατασκευές : S.POLYAKΟΥ.
- 2) Θεμελιώσεις : Θ.ΚΑΡΑΛΗΣ.
- 3) Αντισεισμικά κατασκευαί : Α.ΡΟΥΣΟΠΥΛΟΥ.
- 4) Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα : Γ.Γ. ΠΕΝΕΛΗΣ,  
Α.Ι.ΚΑΠΠΟΣ.
- 5) Παραδείγματα και Επεξηγήσεις στο νέο αντισεισμικό κανονισμό :  
ΓΡΗΓ. ΦΟΥΝΤΑΣ.
- 6) Αντισεισμικός σχεδιασμός : D.J.DOWRICK.

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

“ ΜΟΡΦΗ ”

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΓΕΩΡ. ΠΑΝΟΥΣΗΣ  
ΔΑΚΤΥΛΟΓΡΑΦΗΣΕΙΣ - ΦΩΤΟΑΝΤΙΓΡΑΦΑ  
ΣΤΟΥΡΝΑΡΑ 23 - ΑΘΗΝΑ 105 62  
ΤΗΛ. 2227717  
ΑΦΜ: 291222220 - Δ.Ο.Υ. 1Α' ΑΘΗΝΩΝ