



ΤΕΧΝΙΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ

ΜΕΛΕΤΕΣ - ΕΠΙΒΛΕΨΕΙΣ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΓΓ. ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΑΤΡΕΩΣ 51 & ΚΟΡΙΝΘΟΥ, ΠΑΤΡΑ, ΤΗΛ: 061 - 275.841, 277.746 FAX: 061 - 277.746

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Είναι γνωστό ότι για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης μίας κατασκευής, ο κανονισμός προβλέπει δύο (2) μεθόδους υπολογισμού.

Η μία μέθοδος είναι η πλέον γνωστή ισοδύναμη στατική ανάλυση και η άλλη μέθοδος είναι η δυναμική ανάλυση. Είναι επίσης γνωστό ότι για το σχεδιασμό μίας κατασκευής υπό δυναμικά φορτία (π.χ. σεισμός), βασικά στοιχεία είναι η μάζα και η πλαστιμότητα ενώ για τον σχεδιασμό μίας κατασκευής υπό στατικά φορτία κυρίαρχα στοιχεία είναι η αντοχή και η ακαμψία. Η αιτία που προκαλεί την κίνηση μίας κατασκευής κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι η επιτάχυνση του εδάφους κοντά στη θεμελίωση της κατασκευής η οποία λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς με τη μορφή της χρονικής εξέλιξης. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική απόκριση μίας κατασκευής είναι η μέγιστη επιτάχυνση, η περίοδος και η διάρκεια του πλάτους της ταλάντωσης.

Η επιτάχυνση περιγράφεται σε οποιαδήποτε σημείο του εδάφους με δύο (2) οριζόντιες συνιστώσες (χ, ψ) και μία κατακόρυφη (Z), η οποία τις πιο πολλές φορές δεν λαμβάνεται υπόψη εκτός από ειδικές περιπτώσεις όπως σε κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα και σε κατασκευές που φέρουν φυτευτά υποστυλώματα (πάνω σε δοκούς). Η ισοδύναμη στατική ανάλυση προϋποθέτει ότι το κτίριο βρίσκεται στην ελαστική περιοχή κάτι το οποίο δεν ισχύει στην δυναμική ανάλυση όπου το κτίριο βρίσκεται στην ανελαστική περιοχή.

Όπως τονίστηκε παραπάνω, στη δυναμική ανάλυση, σοβαρός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι η πλαστιμότητα, η οποία

αποτελεί και μία από τις βασικότερες απαιτήσεις της μηχανικής συμπεριφοράς.

Τι είναι λοιπόν πλαστιμότητα: πλαστιμότητα είναι:

α) Η ικανότητα της κατασκευής για μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις χωρίς να έχουμε μείωση της αντοχής τους και ταυτόχρονη μείωση των σεισμικών φορτίων σε σχέση με εκείνα που προκύπτουν από το ελαστικό σύστημα.

β) η ικανότητα για απορρόφηση και απόσβεση ενέργειας μέσα από τους βρόχους υστέρησης.

Για να διασφαλιστεί όμως η πλαστιμότητα ενός στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα θα πρέπει προηγουμένως να έχει διασφαλιστεί η πλάστιμη συμπεριφορά των υλικών (χάλυβας-σκυρόδεμα) και η σωστή συνεργασία τους κάτω από συνθήκες σεισμικής έντασης (τάση συνάφειας).

Έννοια ανελαστικής απόκρισης κτιρίων

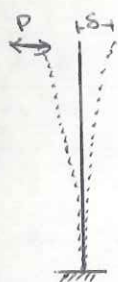
Όταν εισήχθαν τα φάσματα στην ανάλυση των κτιρίων διαπιστώθηκε ότι ο σεισμικός συντελεστής ε έφτανε σε τιμές πολύ μεγαλύτερες από τη μέγιστη επιτάχυνση βάσης. Η πλειοψηφία των κατασκευών μέχρι σήμερα είχε υπολογιστεί με σεισμικό συντελεστή από 0,06-0,16, χωρίς όμως αυτές να παρουσιάσουν σοβαρές βλάβες όπως θα περίμενε κανείς.

Υπήρχε λοιπόν μεγάλη απόκλιση που δεν θα μπορούσε να αποδοθεί μόνο στο συντελεστή ασφάλειας.

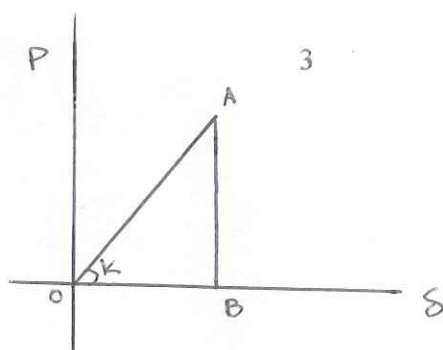
Έτσι λοιπόν δόθηκε η εξήγηση της ανελαστικής συμπεριφοράς των κατασκευών όπου εξαιτίας της απορρόφησης μεγάλου ποσοστού της κινητικής ενέργειας έχουμε μείωση των σεισμικών φορτίων (πλαστιμότητα κατασκευών).

Θα προσπαθήσω να εξηγήσω, περιληπτικά, πίο κάτω το σημαντικό αυτό φαινόμενο της μείωσης των σεισμικών δυνάμεων μέσω της πλαστιμότητας.

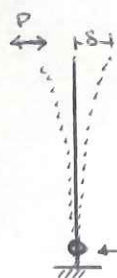
Ας πάρουμε δύο μονοβάθμια συστήματα που εκτελούν ελεύθερη ταλάντωση εκ των οποίων το ένα με πλαστική άρθρωση (Σχ. 1α).



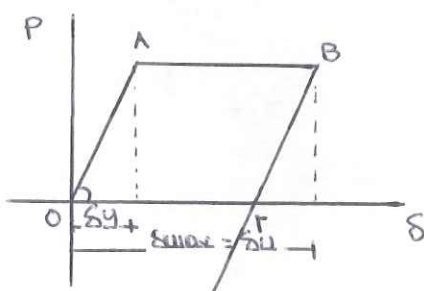
(Σχ. 1α)



Ελαστικό σύστημα



ηλαστικό άρθρωμα



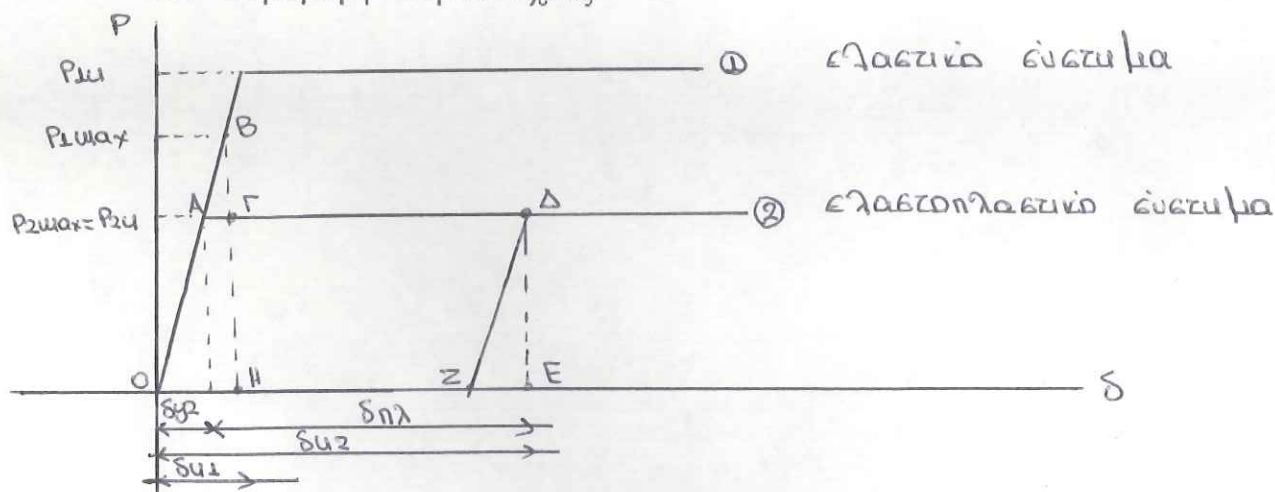
Ελαστοπλαστικό
σύστημα

όπου P = δύναμη επαναφοράς

δ = οριζόντια μετακίνηση λόγω P

δ_y = παραμόρφωση διαρροής

δ_u = παραμόρφωση αστοχίας



(Σχ. 1β): Συσχέτιση ελαστικού και
ελαστοπλαστικού συστήματος
ισχύει για $T < 0.50 \text{ sec}$

Ως τώρα ξέραμε ότι η συνολική δύναμη P που αποκτείνεται για μετατόπιση δ της κατασκευής είναι:

$$P = K\delta + m\ddot{\delta} \text{ (ελαστικό σύστημα)}$$

όπου K = ακαμψία κατασκευής

m : μάζα κατασκευής

δ : μετατόπιση κατασκευής

$\ddot{\delta}$: επιτάχυνση κατασκευής

Τώρα όμως με την απόσβεση η δύναμη γίνεται
 $P = K\delta + C\dot{\delta} + m\ddot{\delta}$ (ελαστοπλαστικό σύστημα)

όπου C = απόσβεση κατασκευής

$\dot{\delta}$ = ταχύτητα κατασκευής

Από το σχήμα 1β έχουμε $\delta u^2 = \delta y^2 + \delta \pi\lambda$.

Δηλ. παρατηρούμε ότι η σεισμική διέγερση μπορεί να παραληφθεί είτε από μεγάλες δυνάμεις επαναφοράς μέσα στην ελαστική περιοχή $P1u \gg P2u$, είτε με μικρότερες δυνάμεις επαναφοράς λόγω της ικανότητας για πλαστικές παραμορφώσεις. Η ικανότητα αυτή, όπως αναφέραμε και προηγούμενα ονομάζεται πλαστιμότητα και είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τις κατασκευές γιατί έχουμε τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε κτίρια με μικρότερες δυνάμεις από αυτές που απαιτούνται στα ελαστικά συστήματα. Η πλαστιμότητα του κάθε συστήματος εκφράζεται με το δείκτη «μ».

Υπάρχουν τρεις (3) δείκτες πλαστιμότητας «,»: :

α) Δείκτης πλαστιμότητας καμπυλοτόπων $\mu\phi = \Phi u / \Phi y$

β) Δείκτης πλαστιμότητας γωνιών στροφής $\mu\theta = \theta u / \theta y$

γ) Δείκτης πλαστιμότητας μετακινήσεων $\mu\delta = \delta u / \delta y$

όπου ο δείκτης «u» μας δείχνει την αντίστοιχη παραμόρφωση εξων αετοχία, «y» μας δείχνει την αντίστοιχη παραμόρφωση στη διαρροή.

Ισχύει πάντα η σχέση $\mu\delta < \mu\theta < \mu\phi$.

Από το σχήμα 1β το ελαστικό σύστημα έχει μετατόπιση $\delta u1$ τέτοια ώστε η δυνητική ενέργεια υπό τη μορφή έργου παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στο εμβαδόν του τριγώνου OBH να ισούται με την κινητική ενέργεια του συστήματος, δηλ.

$$\frac{1}{2} M \cdot \delta_{u\max}^2 = \frac{1}{2} K \cdot \delta_{u1}^2 \Rightarrow \delta_{u1} = \sqrt{\frac{M}{K}} \delta_{\max}$$

Το ελαστοπλαστικό σύστημα εξαιτίας της αδυναμίας του να αναπτύξει δύναμη επαναφοράς ίση με το ελαστικό σύστημα, οδηγείται σε δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στη βάση του με μέγιστη δύναμη επαναφοράς $P2u$ και

μέγιστη μετατόπιση δu_2 , έτσι ώστε το εμβαδόν του τμήματος ΟΑΔΕ να ισούται με την κινητική ενέργεια,

$$\text{δηλ. } \frac{1}{2} M \delta_{\max}^2 = \frac{1}{2} P_2 u \delta y_2 + P_2 u \delta \pi\lambda.$$

$$\Rightarrow \delta \pi\lambda. = \frac{1}{2} P_2 u (M \delta_{\max}^2 - P_2 u \delta y_2)$$

και

$$\delta u_2 = \delta y_2 + \delta \pi\lambda.$$

Εξισώνοντας το εμβαδόν του τριγώνου (ΑΒΓ) με το εμβαδό (ΓΔΕΗ) προκύπτει η ακόλουθη πολύ σημαντική σχέση: P ελαστοπλαστικό/ P ελαστικό $= 1/\sqrt{2\mu-1}$ ή S_a (ελαστοπλαστικό) / S_a (ελαστικό) $= 1/\sqrt{2\mu-1}$ (όπου $S_a = u g/g$)

$u g$ = επιτάχυνση βάσης,

Η ανωτέρω σχέση ισχύει για περίοδο $T < 0.50$ sec.

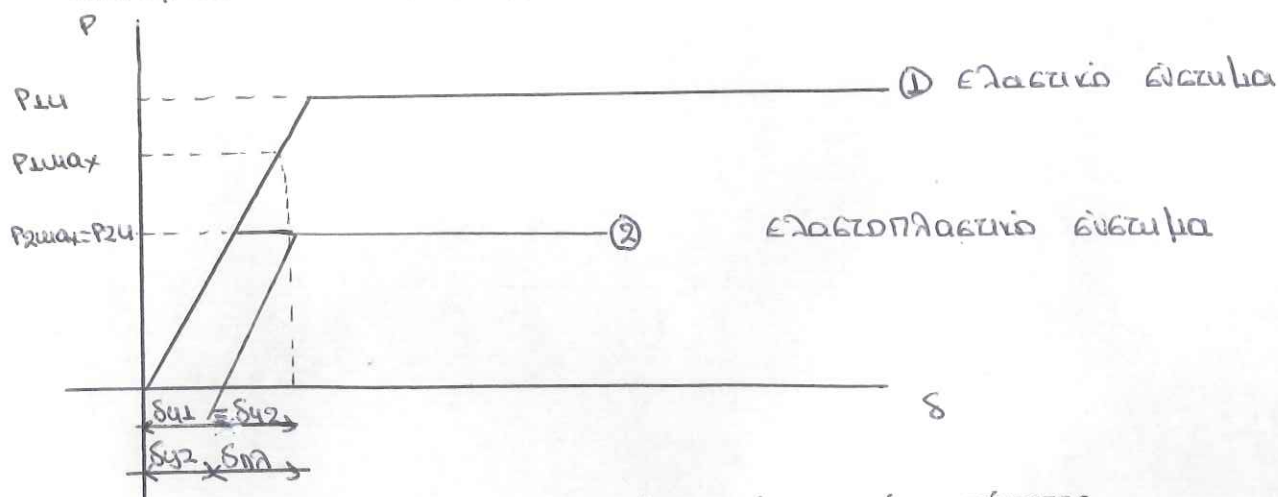
$$\text{Για } \mu=1.00 \quad \frac{S_a(\text{ελαστοπ.})}{S_a(\text{ελαστικ.})} = \frac{1}{1} = 1 \quad S_a(\text{ελαστοπ.}) = S_a(\text{ελαστικό})$$

$$\text{Για } \mu=3.00 \quad \frac{S_a(\text{ελαστοπ.})}{S_a(\text{ελαστικ.})} = 0.44 = 45\% \quad S_a(\text{ελαστοπ.}) = 0.45 S_a(\text{ελαστικό})$$

$$\text{Για } \mu=6.00 \quad S_a(\text{ελαστοπλαστικό}) = 0.30 S_a(\text{ελαστικό})$$

$$\text{Για } \mu=12.00 \quad S_a(\text{ελαστοπλαστικό}) = 0.21 S_a(\text{ελαστικό}).$$

Αν τώρα οι μέγιστες μετακινήσεις που προκύπτουν από την ανάλυση είναι οι ίδιες, είτε είμαστε στην ελαστική είτε στην ελαστοπλαστική περιοχή, τότε προκύπτει το επόμενο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Συσχέτιση ελαστικού και ελαστοπλαστικού συστήματος
Ισχύει για $T > 0.50$

ισχύει για $T > 0.50$ sec.

Από το σχήμα 2 προκύπτει $\delta u_1 = \delta u_2$ και ακόλουθη σχέση

$$\frac{P(\text{ελαστοπλαστικό})}{P(\text{ελαστικό})} = \frac{1}{\mu} \frac{S_a(\text{ελαστοπλασ.})}{S_a(\text{ελαστικό})} = \frac{1}{\mu}$$

Για $\mu = 1.00$ $S_a(\text{ελαστοπλασ.}) = S_a(\text{ελαστικό})$

Για $\mu = 3.00$ $S_a(\text{ελαστοπλασ.}) = 0.33 S_a(\text{ελαστικό})$

Για $\mu = 6.00$ $S_a(\text{ελαστοπλασ.}) = 0.16 S_a(\text{ελαστικό})$

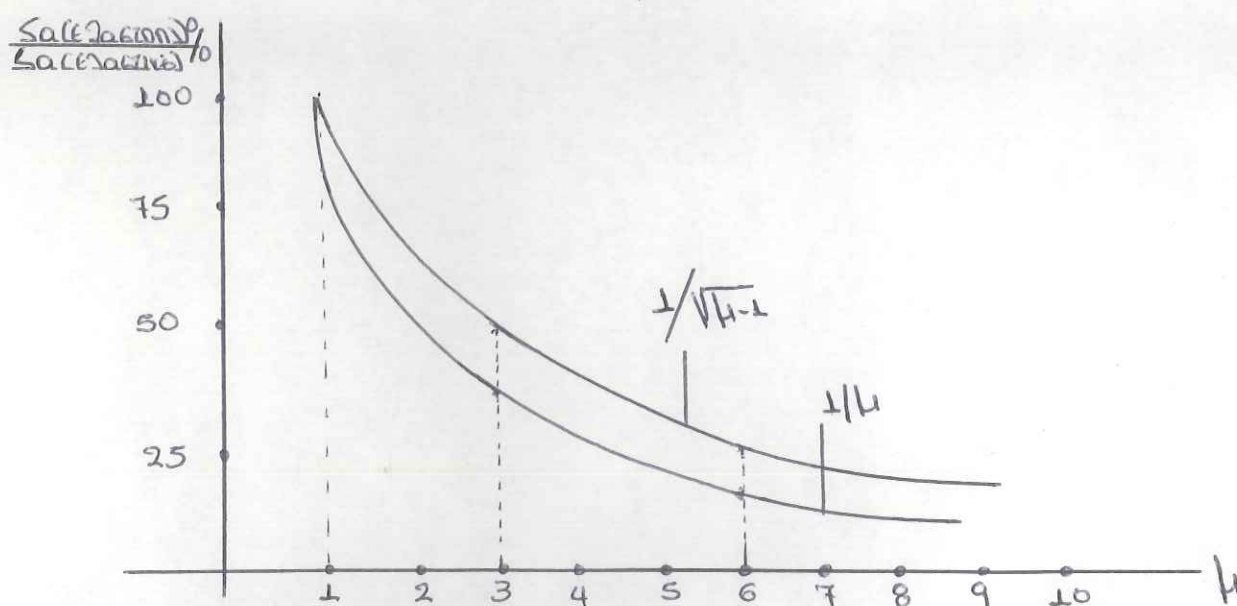
Για $\mu = 12.00$ $S_a(\text{ελαστοπλασ.}) = 0.08 S_a(\text{ελαστικό})$.

Το επόμενο σχήμα 3 δείχνει τη μείωση του σεισμικού συντελεστή της ελαστοπλαστικής απόκρισης σε σχέση με αυτόν της ελαστικής απόκρισης συναρτήση του δείκτη πλαστιμότητας μ .

Για παράδειγμα αν $u_g/g = 0.60 = S_a(\text{ελαστικό})$ και για

$\mu = 6$ είναι $S_a(\text{ελαστοπλαστικό}) = 0.16 \times 0.60 = 0.10$

για $\mu = 12$ είναι $S_a(\text{ελαστοπλαστικό}) = 0.08 \times 0.60 = 0.05$

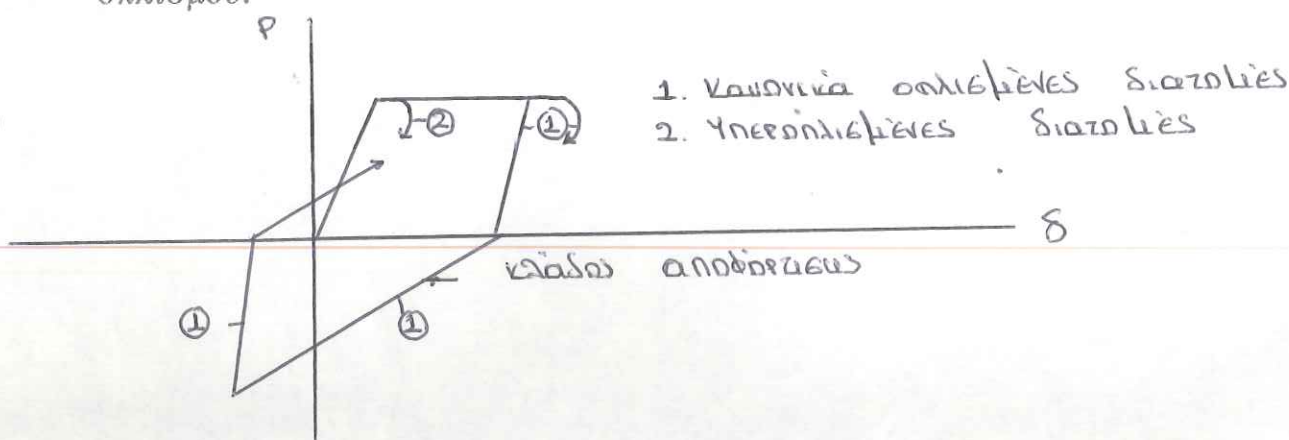


Σχήμα 3: Μείωση σεισμικού συντελεστή ϵ ελαστοπλαστικών συστημάτων, σε σχέση με τον συντελεστή ελαστικών συστημάτων.

Παρατηρούμε από το σχήμα 3 ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής πλαστιμότητας τόσο μειώνονται τα σεισμικά φορτία που επιτείνουν την κατασκευή και κατά συνέπεια μειώνεται ο σεισμικός συντελεστής των ελαστοπλαστικών συστημάτων σε σχέση με αυτόν των ελαστικών συστημάτων.

Είναι σκόπιμο να εξηγήσουμε τι σημαίνει για το Ο.Σ. ελαστοπλαστική συμπεριφορά.

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε έναν πρόβολο που φορτίζεται με μία οριζόντια δύναμη η οποία αυξάνεται μέχρις ότου ο πρόβολος να φτάσει στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Η αστοχία αυτή εκδηλώνεται με δύο τρόπους. α) Με διαρροή του οπλισμού σε κανονικά οπλισμένες διατομές και β) με συντριβή του σκυροδέματος σε ισχυρά οπλισμένες διατομές όπου η αντοχή της θλιβόμενης ζώνης είναι μικρότερη από την αντοχή διαρροής του οπλισμού.



Σχήμα 4: Ανελαστική απόκριση προβόλου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Στην 1η περίπτωση όπου η δύναμη P είναι σχεδόν σταθερή η μετακίνηση δ αυξάνει και έχουμε διεύρυνση ρηγμάτων λόγω διαρροής οπλισμού. Σε κάποια στιγμή και αφού αναπτύχθησαν μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, λόγω της διεύρυνσης των ρηγμάτων μικράνει η θλιβόμενη ζώνη και το σκυρόδεμα συνθλίβεται (καμπτικός μηχανισμός αστοχίας, πλάσιμη αστοχία- μεσολάβηση πλαστικών παραμορφώσεων).

Στην 2η περίπτωση έχουμε ψαθυρή θραύση χωρίς μεσολάβηση πλαστικών παραμορφώσεων (απότομη αστοχία).

Στην 1η περίπτωση έχουμε μεγάλη διαθέσιμη πλαστιμότητα με κάποιο ποσοστό βλάβης, ενώ στη 2η περίπτωση η διαθέσιμη πλαστιμότητα είναι πολύ μικρή. καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι οι υπεροπλισμένες διατομές δεν ενδίκνεται στις αντισεισμικές κατασκευές γιατί έχουν μικρή διαθέσιμη πλαστιμότητα και η θραύση είναι ψαθυρή και χωρίς προειδοποίηση.

Επομένως θα πρέπει να παύσουμε να χρησιμοποιούμε την τακτική που εφαρμόζουμε πολλές φορές μέχρι σήμερα, ότι δηλ. να τοποθετούμε κατά τη

διάρκεια του κατασκευαστικού σταδίου της οικοδομής παραπάνω οπλισμό σε σχέση με αυτόν που προέκυπτε από τους υπολογισμούς.

Βασικές αρχές που απαιτούνται για ένα σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό

Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα, για έναν σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό, βασική προϋπόθεση είναι να έχει η κατασκευή μεγάλη διαθέσιμη πλαστιμότητα.

Για να συμβή αυτό θα πρέπει να τηρούνται κάποιες βασικές αρχές. Αυτές είναι:

α) Η απόσβεση της σεισμικής ενέργειας πρέπει να γίνεται κυρίως σε στοιχεία που διαθέτουν μεγάλη πλαστιμότητα και που είναι εύκολο να επισκευαστούν, π.χ. σε κτίρια απαίτηση είναι να προηγηθεί αστοχία στις δοκούς όπου έχουν και τη μεγαλύτερη πλαστιμότητα ενώ σε γέφυρες η αστοχία θα πρέπει να εμφανίζεται στα βάθρα και ότι στη θεμελίωση.

β) Η απόσβεση πρέπει να γίνεται μέσα από καμπτικούς μηχανισμούς διαρροής (πλάστιμη αστοχία) και όχι μέσα από διατμητικούς ή ολισθητικούς (ψαθυρή αστοχία). Αυτό σημαίνει ότι η καμπτική αστοχία θα πρέπει να προηγείται της διατμητικής αστοχίας ή της αστοχίας λόγω αγκύρωσης οπλισμού.

Πρέπει και να ισχύει λοιπόν για τα μέλη μεγάλος λόγος διάτμησης δηλ. για δοκούς $\alpha_s = l/h = \frac{M}{Qd} \geq 4$ και υποστηλώματα $\alpha_s = \frac{L}{2h} = \frac{M}{Qd} \geq 3.50$
όπου l = μήκος δοκού

L = ύψος υποστυλώματος.

γ) οι κόμβοι που συντρέχουν τα δομικά στοιχεία δεν πρέπει να αστοχούν πριν εξαντλήσουν την αντοχή τους.

δ) Ο απαιτούμενος οπλισμός για τη διασφάλιση πλάστιμης συμπεριφοράς να μην δημιουργεί κατασκευαστικά προβλήματα.

ε) Επαρκής περίσφιξη. Με την περίσφιξη (εγκάρσιος οπλισμός) η μονοαξονικά ~~θλιπτική~~ ένταση μεταβάλλεται σε τριαξονική. Μεταβάλλεται αυξητικά η αντοχή του σκυροδέματος και έτσι θα μπορέσουν να αναπληρωθούν κάποιες απώλειες που δημιουργούνται λόγω θραύσης της επικάλυψης του οπλισμού όταν οι θλιπτικές παραμορφώσεις ξεπερνούν το 4‰.

Αύξηση του ογκομετρικού ποσοστού ρω του εγκαρσίου οπλισμού και ~~η αύξηση των αρδεωδών των βινετάρδετοι αλζυαυι ολζαεαμίζαυα~~

Επίσης με την περίεφξη μειώνεται η κλίση του φθίνοντα κλάδου του διαγράμματος τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος, αυξάνοντας έτσι την παραμόρφωση ~~εα~~ πάνω από το 3,50/00 με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πλαστιμότητα.

στ) Οι διαμήκεις οπλισμοί των υποστυλωμάτων να αποτελούν κατά το δυνατό το ελάχιστο ποσοστό ρ_{min} . Επιτυγχάνεται έτσι πλάστιμη συμπεριφορά του μέλους λόγω διαρροής του οπλισμού με αποτέλεσμα η πλαστιμότητα να αυξάνεται, ενώ σε αντίθεση, όσο αυξάνεται το ποσοστό ρ του διαμήκους οπλισμού η πλαστιμότητα μειώνεται μιά και πλησιάζουμε στην ψαθυρή αστοχία, λόγω συντριβή της θλιβόμενης ζώνης που θα προήγηθεί.

ζ) Είναι γνωστό ότι τα στοιχεία με μειωμένη αξονική δύναμη έχουν αυξημένη πλαστιμότητα (δοκοί) σε σχέση με άλλα που έχουν μεγάλη αξονική δύναμη (υποστηλώματα). Άρα εκ των πραγμάτων γνωρίζουμε ότι τα υποστυλώματα έχουν εξ αρχής μειωμένη πλαστιμότητα. Για να αυξηθεί η πλαστιμότητά τους πρέπει η κανονικοποιημένη αξονική δύναμη ηd να είναι μικρότερη από το 0.50 δηλ. πρέπει $\eta d = \frac{N_d}{A_c f_{cd}} < 0.50$

Η σπουδαιότητα της πλαστιμότητας στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, φάνηκε και στον πρόσφατο σεισμό του Αιγίου με την κατάρρευση του ενός από τα δύο κτίρια του διοικητηρίου της Ε.Β.Ο.

Συγκεκριμένα το κτίριο που κατέρρευσε είχε μελετηθεί με σεισμικό συντελεστή $\varepsilon=0.12$ (με τον προηγούμενο κανονισμό). Μετά από ανάλυση που έγινε σε ελαστοπλαστική απόκριση φάνηκε ότι το κτίριο ήταν σε θέση να παραλάβει οριζόντιο στατικό φορτίο που αντιστοιχούσε σε σεισμικό φορτίο $\varepsilon = 0.30$ για φόρτιση μίας κατεύθυνσης και $\varepsilon = 0.18$ για φόρτιση και στις δύο κατευθύνσεις δηλ. ήταν σε θέση να παραλάβει φορτίο που να αντιστοιχούσε σε συντελεστή κάπου στη μέση, $\varepsilon=0.24$, διπλάσιο απ' αυτόν που είχε μελετηθεί.

Παρ' όλα αυτά όμως κατέρρευσε, γιατί δεν διέθετε την απαιτούμενη διαθέσιμη πλαστιμότητα.

Είναι γνωστό ότι φορείς τύπου εύκαπτης πυλωτής, όπως το συγκεκριμένο κτίριο και σε σχέση με τους τότε ισχύοντες κανονισμούς που δεν περιείχαν διατάξεις για την πλαστιμότητα των υποστυλωμάτων ιδιαίτερα, (σε αντίθεση με το ΝΕΑΚ) δεν διέθεταν την απαιτούμενη διαθέσιμη πλαστιμότητα (αυξημένη απαίτηση λόγω πυλωτής για τη μη εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης στα υποστυλώματα της πυλωτής), για να αντιμετωπίσουν τη συγκεκριμένη εδαφική δόνηση. Συγκεκριμένα τα υποστυλώματα της πυλωτής είχαν διαθέσιμη πλαστιμότητα πολύ μικρότερη σε σχέση με την απαιτούμενη πλαστιμότητα, πράγμα που σημαίνει αστοχία των υποστυλωμάτων και κατάρρευση του κτιρίου ως μηχανισμού, όπως και έγινε.

Σε αντίθεση με το συγκεκριμένο κτίριο, το γειτονικό πανομοιότυπο κτίριο λόγω της υπάρξεως κλιμακοστασίου και τοιχωμάτων στο ισόγειο είχε πολύ καλύτερη συμπεριφορά στο συγκεκριμένο σεισμό και υπέστη ασήμαντες ζημιές, (απαίτηση τοιχωμάτων σε κτίρια Ο.Σ. με εύκαμπτο όροφο- ΝΕΑΚ κεφ. 4 παρ. 4.17.1).

Φαίνεται λοιπόν ξεκάθαρα ότι η πιο βασική αρχή για έναν σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι να έχουν τα υποστυλώματα μεγάλη διαθέσιμη πλαστιμότητα (επαρκή εγκάρσιο οπλισμό, ελάχιστο διαμήκη οπλισμό, μεγάλη οριακή θλιπτική παραμόρφωση ϵ_{cu} , αξονική δύναμη $V_d < 0.50$ κ.α.).