

ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ II

Γ. Παναγόπουλος, Λέκτορας Εφαρμογών
Δ. Κακαλέτσης, Καθηγητής



Ικανοτικός σχεδιασμός

Ικανοτικός σχεδιασμός

Βασικές αρχές

Εξασφάλιση της ικανότητας για τη μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση ενέργειας χωρίς μερική ή ολική αστοχία (κατάρρευση).

- Χρήση όλων των αποθεμάτων αντοχής της κατασκευής (αντοχή επί μέρους στοιχείων).
- Ιεράρχηση βλαβών και εξασφάλιση εκδήλωσής τους με την επιθυμητή σειρά.
- Κατανομή των βλαβών σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό δομικών στοιχείων.

Ειδικές διαδικασίες σχεδιασμού (CEB 1998, ΕΑΚ-2000, EC8) με σκοπό:

α) Την εξασφάλιση της γενικής και τοπικής πλαστιμότητας.

β) Την αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

γ) Την εξασφάλιση των κρίσιμων διατομών έναντι ψαθυρών διατμητικών μορφών αστοχίας.

Ικανοτικός σχεδιασμός

Ο ικανοτικός σχεδιασμός στον Ευρωκώδικα 8

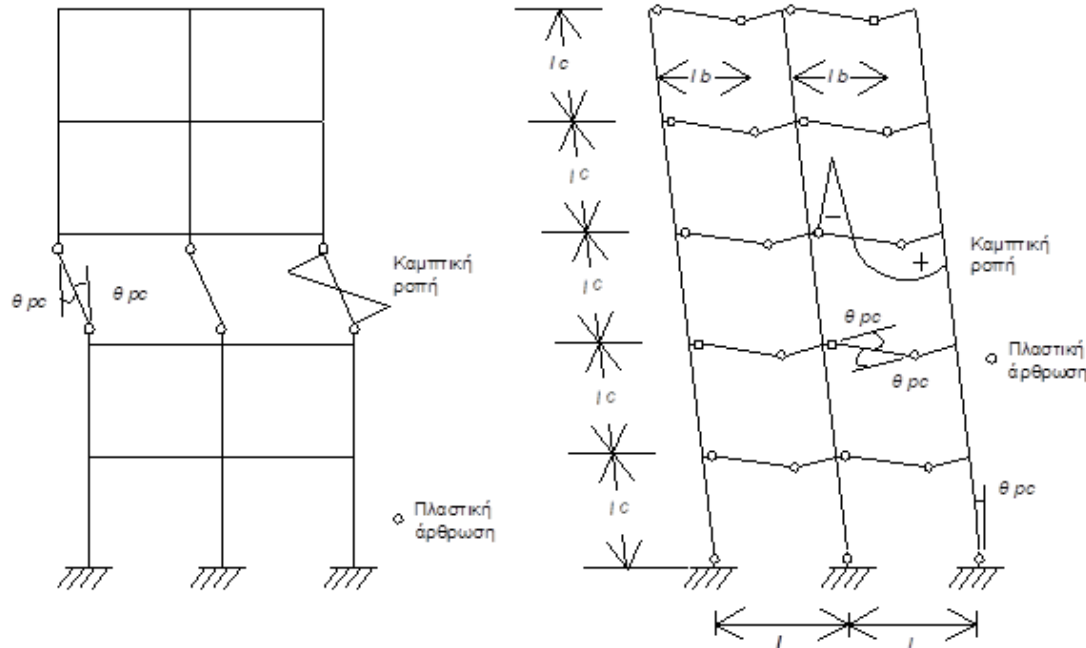
- α. Ειδική συνθήκη στους κόμβους για την αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου.
- β. Συνθήκη τοπικής πλαστιμότητας
- γ. Ικανοτικός σχεδιασμός δοκών. Υπολογισμός ειδικών τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού δοκών για την αποφυγή ψαθυρής αστοχίας στις θέσεις όπου είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων
- δ. Ικανοτικός σχεδιασμός Υποστυλωμάτων. Υπολογισμός ειδικών τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού υποστυλωμάτων για την αποφυγή ψαθυρής αστοχίας στις θέσεις όπου είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων.
- ε. Ικανοτικός σχεδιασμός Πλάστιμων Τοιχωμάτων. Υπολογισμός ειδικών τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού τοιχωμάτων για την ενδεχόμενη αύξηση της τέμνουσας δύναμης μετά τη διαρροή.

Αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

Σκοπός

Το σύνολο της αντοχής των υποστυλωμάτων στους κόμβους είναι μεγαλύτερο από το σύνολο της αντοχής των δοκών.

Εφαρμόζεται στα πλαισιωτά δομικά συστήματα καθώς και σε συστήματα ισοδύναμης πλαισιακής λειτουργίας.



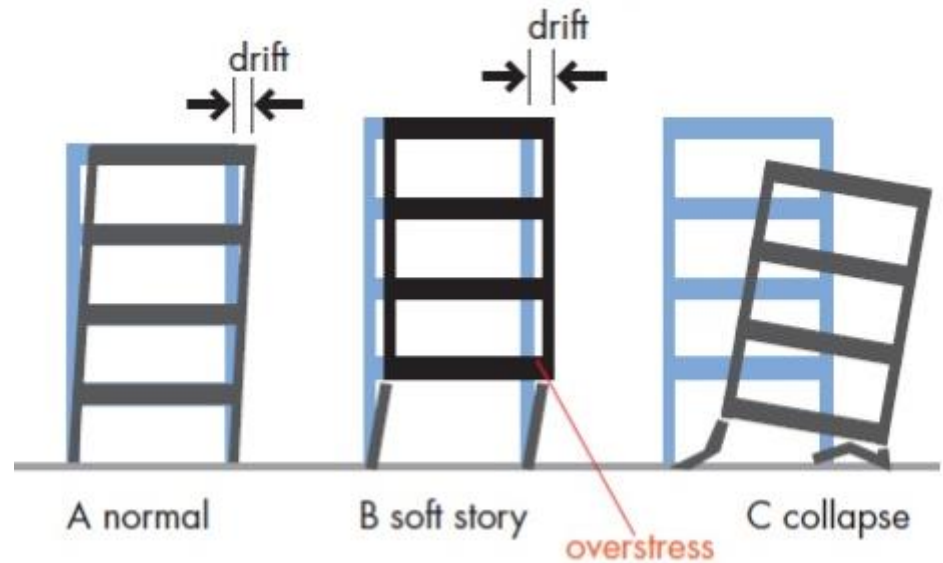
Μηχανισμοί κατάρρευσης

πλαισιακών φορέων:

Μηχανισμός στύλων ή ορόφου (αριστερά)

Μηχανισμός δοκών (δεξιά)

Αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου



Αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

Απαιτείται κατά το σχεδιασμό έναντι κάμψεως των υποστυλωμάτων και ανεξαρτήτως των ροπών σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων, να ληφθεί υπόψη ότι πρέπει να ισχύει η παρακάτω συνθήκη σε όλους τους κόμβους:

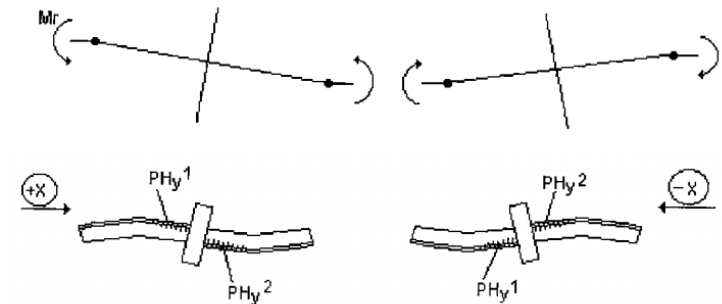
$$\Sigma M_{Rc} \geq 1.3 \Sigma M_{Rb}$$

Η εφαρμογή της σχέσης πρέπει να ικανοποιείται κατά τους δύο άξονες ανάλυσης x και y και κατά τις δύο διευθύνσεις (θετική και αρνητική) σε κάθε άξονα

α) Για κάθε διεύθυνση σεισμού στον εν λόγω κόμβο εφαρμόζονται ετερόσημες ροπές στα άκρα, ώστε να σχηματισθούν οι παρακάτω μηχανισμοί:

β) Προσδιορίζονται οι ροπές αστοχίας με τον υπάρχοντα πραγματικό οπλισμό των δοκών και υποστυλωμάτων στις διατομές παρειών.

Θα πρέπει να προηγηθεί διαστασιολόγηση των δοκών και υποστυλωμάτων.



Σχ. 1.2 Στροφές διατομών και Πλαστικές αρθρώσεις.

Αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

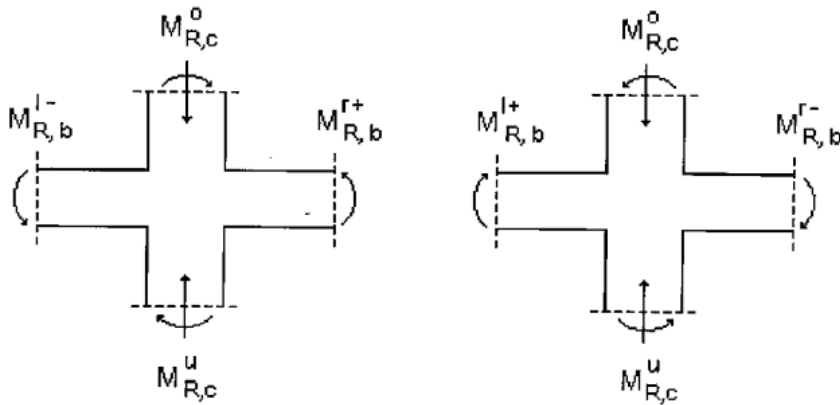
ΣM_{Rc} : Άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

ΣM_{Rb} : Άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

$$\text{Πρέπει: } |M_{R,c}^o| + |M_{R,c}^u| \geq \gamma_{Rd} \cdot (|M_{R,b}^{l-}| + |M_{R,b}^{r+}|)$$

$$\text{και } |M_{R,c}^o| + |M_{R,c}^u| \geq \gamma_{Rd} \cdot (|M_{R,b}^{l+}| + |M_{R,b}^{r-}|)$$

$$\text{ή } \Sigma |M_{R,c}| > \gamma_{Rd} \cdot \Sigma |M_{R,b}| \text{ και } \gamma_{Rd} = 1.30$$



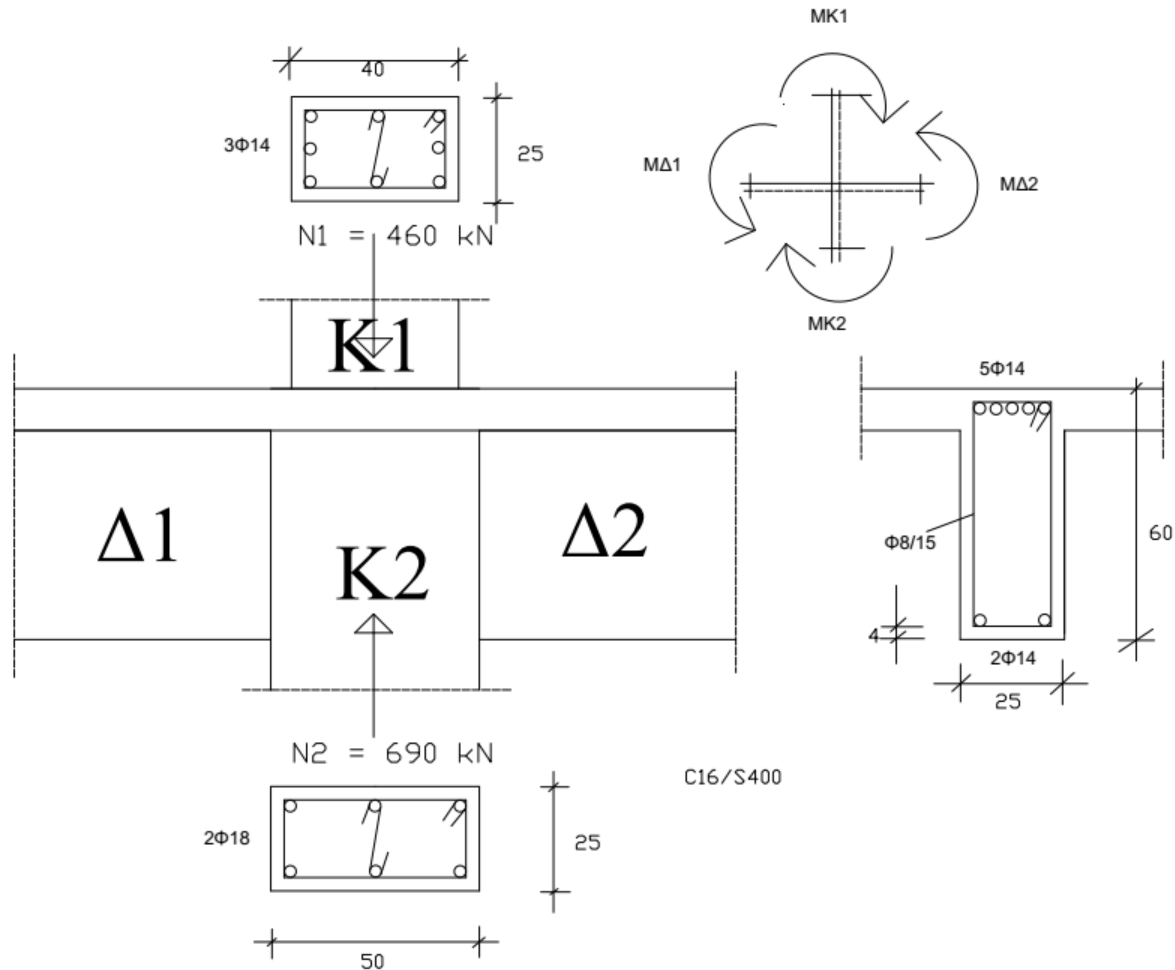
Σχ. 1.3 Ροπές αντοχής κόμβου.

Εξαιρέσεις

- Η σχέση δεν εφαρμόζεται στο δώμα πολυωρόφων συστημάτων.
- Σε επίπεδα πλαίσια με περίπου ίδιες διατομές η σχέση δεν είναι αναγκαίο να ικανοποιείται σε όλα τα υποστυλώματα αλλά επιτρέπεται να ικανοποιείται σε 3 από κάθε 4 υποστυλώματα.
- Η σχέση δεν είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται στο ισόγειο διωρόφων κατασκευών εφόσον για την ανηγμένη αξονική v_d όλων των υποστυλωμάτων ισχύει $v_d \leq 0.3$.

Εφαρμογή αποφυγής σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

Να γίνει ο έλεγχος της ανίσωσης στον κόμβο του σχήματος



Εφαρμογή αποφυγής σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

Ροπές αντοχής στύλων

K1:

$$A_s = 3\Phi 14 = 4,62 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{stot} = 2 \cdot 4,62 = 9,24 \text{ cm}^2 \rightarrow$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{stot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{9,24}{25 \cdot 40} \cdot \frac{400/1,15}{16/1,5} = 0,30$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-460}{0,25 \cdot 0,40 \cdot \frac{16 \cdot 10^3}{1,5}} = -0,43$$

$$\mu = 0,21$$

$$M_{RK1} = \mu_{sd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,21 \cdot 0,25 \cdot 0,40^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 89,6 \text{ kNm}$$

K2:

$$A_s = 2\Phi 18 = 5,09 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{stot} = 2 \cdot 5,09 = 10,18 \text{ cm}^2 \rightarrow$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{stot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{10,18}{25 \cdot 50} \cdot \frac{400/1,15}{16/1,5} = 0,27$$

$$v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-690}{0,25 \cdot 0,50 \cdot \frac{16 \cdot 10^3}{1,5}} = -0,52$$

$$\mu = 0,19$$

$$M_{RK2} = \mu_{sd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,19 \cdot 0,25 \cdot 0,50^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 126,7 \text{ kNm}$$

Εφαρμογή αποφυγής σχηματισμού μηχανισμού ορόφου

Ροπές αντοχής δοκών

Δ1 :

Εφελκυσμός άνω ίνας : $A_s = 5\Phi 14 = 7,7 \text{ cm}^2$.

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{7,7 \cdot 400/1,15}{25 \cdot 56 \cdot 16/1,5} = 0,18 \rightarrow \mu_{sd} = 0,16$$

$$M_{R\Delta 1} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,16 \cdot 0,25 \cdot 0,56^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 133,8 \text{ kNm}$$

Δ2 :

Εφελκυσμός κάτω ίνας : $A_s = 2\Phi 14 = 3,08 \text{ cm}^2$.

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{3,08 \cdot 400/1,15}{25 \cdot 56 \cdot 16/1,5} = 0,07 \rightarrow \mu_{sd} = 0,07$$

$$M_{R\Delta 1} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,07 \cdot 0,25 \cdot 0,56^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 58,54 \text{ kNm}$$

Έλεγχος :

$89,6 + 126,7 > 1,3 (133,8 + 58,54) \rightarrow \underline{216,3 > 250,04} \rightarrow$ δεν ισχύει και άρα δεν εξασφαλίζεται μηχανισμός δοκών.

Συνθήκες τοπικής πλαστιμότητας

Σκοπός

Πρέπει να παρέχεται ικανοποιητική πλαστιμότητα καμπυλοτήτων στις πιθανές περιοχές σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων, για την εξασφάλιση της απαιτούμενης γενικής πλαστιμότητας του δομικού συστήματος.

Οι περιοχές αυτές είναι κυρίως οι κρίσιμες περιοχές των σεισμικών στοιχείων (δοκών, υποστυλωμάτων, πλάστιμων τοιχωμάτων).

Απαίτηση

Η διαθέσιμη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων μ_{ϕ} των περιοχών όπου είναι πιθανό να σχηματισθεί πλαστική άρθρωση να έχει τουλάχιστον τις ακόλουθες τιμές:

$$\mu_{\phi} = 2q_0 - 1$$

$$\text{αν } T_1 \geq T_C$$

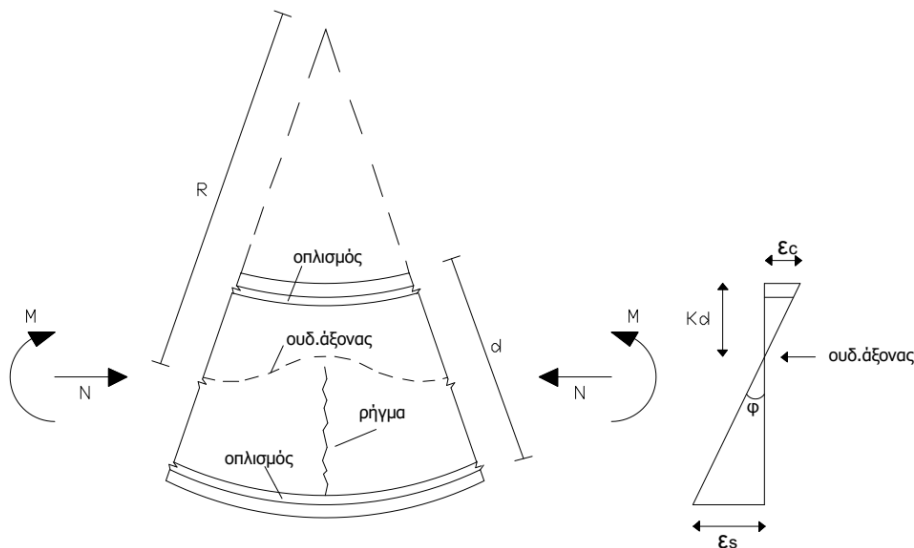
$$\mu_{\phi} = 1 + 2(q_0 - 1) T_C / T_1$$

$$\text{αν } T_1 < T_C$$

q_0 συντελεστής συμπεριφοράς (βασική τιμή)

T_1 θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_C άνω όριο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος σχεδιασμού



Σχ.1.5 Παραμόρφωση καμπτόμενου μέλους

Ικανοτικός σχεδιασμός σε τέμνουσα - Δοκοί

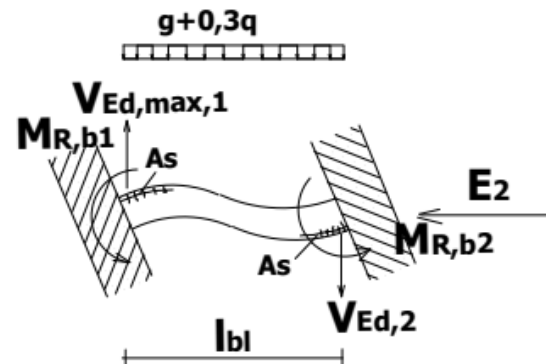
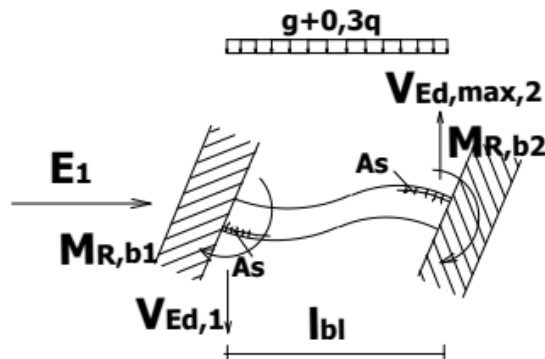
Σκοπός

Η αποφυγή ψαθυρών διατμητικών αστοχιών των δοκών, στις κρίσιμες περιοχές των οποίων είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων.

Πως γίνεται

Κατά το σχεδιασμό των άκρων της δοκού έναντι τέμνουσας και ανεξαρτήτως των τεμνουσών σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων, απαιτείται να ληφθούν ως δρώσες τέμνουσες σχεδιασμού οι ικανοτικές τέμνουσες $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ όπου $i = 1, 2$ τα δύο άκρα της δοκού.

Αυτές προκύπτουν όταν αναπτυχθούν στα άκρα 1, 2 της δοκού οι μέγιστες θετικές και οι μέγιστες αρνητικές ροπές $M_{i,d}$



Ικανοτικός σχεδιασμός σε τέμνουσα - Δοκοί

Οι ικανοτικές τέμνουσες $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ δίνονται από τις σχέσεις

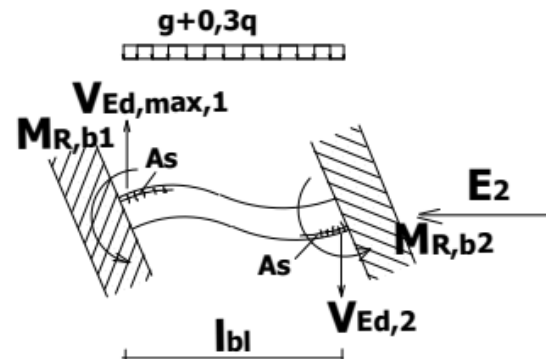
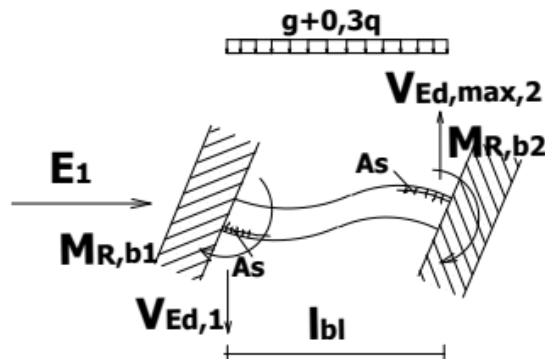
$$V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + (\vec{M}_{1,d} + \vec{M}_{2,d}) / l_{bl}$$

$$V_{Ed,min,i} = V_{0,i} + (\vec{M}_{1,d} + \vec{M}_{2,d}) / l_{bl}$$

$V_{0,i}$ η τέμνουσα που αναπτύσσεται στη δοκό από το εγκάρσιο φορτίο στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού. Στις συνήθεις περιπτώσεις των οικοδομικών έργων τα φορτία αυτά προέρχονται από τον συνδυασμό $g + 0.3q$.

$$V_{0,i} = \frac{(g + 0.3q)l_{bl}}{2}$$

l_{bl} το καθαρό μήκος της δοκού



Ικανοτικός σχεδιασμός σε τέμνουσα - Δοκοί

$\vec{M}_{1,d}, \vec{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά τη θετική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 της δοκού
 $\vec{M}_{1,d}, \vec{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά την αρνητική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 της δοκού

Οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται από τις σχέσεις

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rb,i} \quad \text{εφόσον } \Sigma M_{Rc} \geq \Sigma M_{Rb} \quad (4\alpha)$$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rb,i} \frac{\Sigma M_{Rc}}{\Sigma M_{Rb}} \quad \text{εφόσον } \Sigma M_{Rc} < \Sigma M_{Rb} \quad (4\beta)$$

γ_{Rd} συντελεστής που εκφράσει την επιρροή της κράτυνσης του χάλυβα

- για κατασκευές DCM $\gamma_{Rd} = 1.0$

- για κατασκευές DCH $\gamma_{Rd} = 1.2$

$M_{Rb,i}$ σχεδιαστική ροπή αντοχής της δοκού στο άκρο i κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

ΣM_{Rc} άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης. Χρησιμοποιείται η τιμή των ροπών αντοχής λαμβάνοντας υπόψη τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα υποστυλώματα κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

ΣM_{Rb} άθροισμα των σχεδιαστικών ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στο κόμβο κατά την εξεταζόμενη φορά της σεισμικής δράσης.

Ικανοτικός σχεδιασμός σε τέμνουσα - Υποστυλώματα

Σκοπός

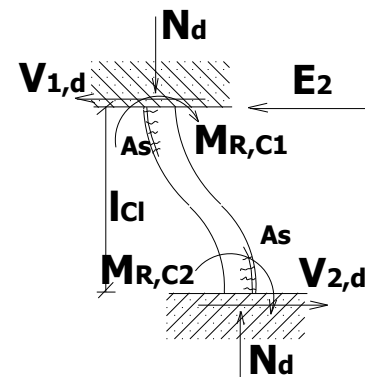
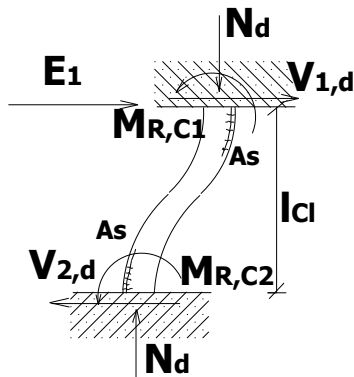
Η αποφυγή ψαθυρών διατμητικών αστοχιών των υποστυλωμάτων, στις άκρες των οποίων είναι πιθανή η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων.

Πως γίνεται

Κατά το σχεδιασμό των άκρων υποστυλώματος έναντι τέμνουσας και ανεξαρτήτως των τεμνουσών σχεδιασμού που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων, απαιτείται να ληφθούν ως δρώσες τέμνουσες σχεδιασμού οι ικανοτικές τέμνουσες

$$V_{Ed,max,i}, V_{Ed,min,i}$$

Οι $V_{Ed,max,i}$, $V_{Ed,min,i}$ προκύπτουν όταν αναπτυχθούν στα δύο άκρα 1, 2 του υποστυλώματος οι μέγιστες θετικές και οι μέγιστες αρνητικές ροπές $M_{i,d}$.



Ικανοτικός σχεδιασμός σε τέμνουσα - Υποστυλώματα

Τι μεγέθη παριστάνουν τα σύμβολα

$\vec{M}_{1,d}$, $\vec{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά τη θετική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 του υποστυλώματος

$\vec{M}_{1,d}$, $\vec{M}_{2,d}$ οι μέγιστες ροπές κατά την αρνητική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 του υποστυλώματος

l_{cl} το καθαρό μήκος του υποστυλώματος

Οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται από τις σχέσεις

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \quad \text{εφόσον } \Sigma M_{Rb} \geq \Sigma M_{Rc} \quad (6a)$$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}} \quad \text{εφόσον } \Sigma M_{Rb} < \Sigma M_{Rc} \quad (6b)$$

γ_{Rd} συντελεστής που εκφράσει την επιρροή της κράτυνσης του χάλυβα και της περίσφιξης του σκυροδέματος

- για κατασκευές DCM $\gamma_{Rd} = 1.1$

- για κατασκευές DCH $\gamma_{Rd} = 1.3$