

11. ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

11.1 Γιατί ο Σχεδιασμός σε Κάμψη των Υποστυλωμάτων δεν γίνεται με την Τιμή M_E της Στατικής Επίλυσης

Με τον προηγούμενο ικανοτικό σχεδιασμό εξασφαλίζεται ότι ζυγώματα και στύλοι θα αστοχήσουν καμπτικά και όχι διατμητικά.

Με τον δεύτερο ικανοτικό σχεδιασμό πρέπει να εξασφαλιστεί ότι θα αστοχήσουν τα ζυγώματα και όχι οι στύλοι.

Στον ακραίο κόμβο του πλαισίου η καμπτική δρώσα ροπή του στύλου είναι ίδια μ' αυτήν του ζυγώματος.

Για να μην αστοχήσει ο στύλος πρέπει η καμπτική αντοχή του να μην υπολείπεται της καμπτικής αντοχής του ζυγώματος.

Αν ο στύλος σχεδιαστεί θέτοντας $M_E = M_{Rdu}$ (όπως στην περίπτωση σχεδιασμού με κατακόρυφα φορτία) υπάρχει περίπτωση η πραγματική καμπτική αντοχή να προκύψει μικρότερη απ' αυτή της δοκού για τους παρακάτω δύο λόγους:

1) Εν γένει τοποθετείται περισσότερος οπλισμός από αυτόν που προκύπτει από το σχεδιασμό.

Η ποσότητα του οπλισμού που προκύπτει από το σχεδιασμό δεν είναι αυτή η οποία και θα τοποθετηθεί στην πράξη και, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 10.3, η πραγματική καμπτική αντοχή θα είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν που έχει ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό.

Αν το ποσοστό αύξησης της καμπτικής αντοχής του στύλου είναι μικρότερο από το ποσοστό αύξησης της αντοχής της δοκού, η πραγματική αντοχή των στύλου θα είναι μικρότερη απ' αυτήν της δοκού και θα αστοχήσει ο στύλος.

Για παράδειγμα:

Για ακραίο κόμβο είναι $M_{sd}^c = M_{sd}^b$
όπου: c: υποσύλωμα (column)
b: δοκός (beam)

Εφαρμόζοντας την ανίσωση ασφαλείας προκύπτει:

Για το υποσύλωμα:

$$M_{sd}^c = M_{Rdu}^c \Rightarrow A_{s1} = 4.3 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\Phi 14 \Rightarrow A_{seff} = 4.5 \text{ cm}^2$$

Για τη δοκό:

$$M_{sd}^b = M_{Rdu}^b \Rightarrow A_{s1} = 4.8 \text{ cm}^2 \Rightarrow 5\Phi 14 \Rightarrow A_{seff} = 6.9 \text{ cm}^2$$

Η υπέρβαση της (υπολογιστής) αντοχής στην κατασκευή θα είναι 4.5/4.3 για το υποσύλωμα και 6.0/4.8 για τη δοκό και μολονότι και τα δύο στοιχεία έχουν σχεδιαστεί να έχουν την ίδια αντοχή, η αντοχή του υποστυλώματος θα υπολείπεται της αντοχής της δοκού και θα αστοχήσει το υποσύλωμα.

2) Η ενεργοποίηση του εφελκόμενου οπλισμού είναι μεγαλύτερη στις δοκούς.

Στο σχεδιασμό η αντοχή του εφελκόμενου χάλυβα λαμβάνεται ίση με την τάση διαρροής του f_{yd} .

Όπως φαίνεται στο Σχ. 10.2(a), η τιμή αυτή είναι ακριβής, αν η παραμόρφωση αστοχίας του εφελκόμενου χάλυβα είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την παραμόρφωση ϵ_{yd} διαρροής του (για χάλυβα S500 είναι: $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 435/200.000 = 2,17\%$).

Η παραμόρφωση αστοχίας του εφελκόμενου οπλισμού των δοκών (λόγω του σημαντικού θλιβόμενου οπλισμού και αρα του μικρού βάθους x της θλιβόμενης ζώνης) και ιδιαίτερα των πλακοδοκών (λόγω του ακόμη μικρότερου x του οφειλόμενου στο μεγάλο εντεινόμενο πλάτος της θλιβόμενης ζώνης τους) είναι, κατά κανόνα, **πολύ μεγαλύτερη** από την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα.

Γι' αυτό, η τάση του εφελκόμενου οπλισμού των δοκών κατά την αστοχία τους υπερβαίνει την τάση f_{yd} με βάση την οποία έχει προκύψει η καμπτική αντοχή τους M_{Rdu} και ενδέχεται να φθάσει την μέγιστη τιμή της $f_{sd,max}$, όπως φαίνεται στο Σχ. 10.2(a).

Στο υποσύλωμα, λόγω της συνύπαρξης θλιπτικής αξονικής δύναμης, η παραμόρφωση αστοχίας του εφελκόμενου χάλυβα παραμένει μικρή και δεν υπερβαίνει (ή υπερβαίνει λίγο μόνον) την τάση διαρροής f_{yd} .

Γι' αυτό, η αντοχή των δοκών ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν των υποστυλωμάτων κατά 25% περίπου ($f_{sd,max}/f_{yd} \approx 1,25$).

11.2 Τιμή Ικανοτικής Ροπής για το Σχεδιασμό Ακραιοῦ Υποστυλώματος

Για να αποφευχθεί η αστοχία του υποστυλώματος για τους παραπάνω δύο λόγους, το

υποστυλώμα σχεδιάζεται όχι με τη ροπή M_E^c που προκύπτει από τη στατική επίλυση, αλλά με τη ροπή M_{cd} ικανοτικού σχεδιασμού που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{cd}^c = \alpha \cdot M_E^c \quad (5)$$

όπου: $\alpha = Mr_{du}^b / M_E^b$ ή

$$\alpha = Mr_{du}^b / M_E^b \cdot \gamma_{cd} \text{ και}$$

M_E^c : η ροπή του υποστυλώματος που προκύπτει από τη στατική επίλυση, βλ. Σχ. 10.1

Mr_{du}^b : η πραγματική καμπτική αντοχή της δοκού της συνδεδεμένης με το υποστυλώμα ($M_{ru} = A_s \cdot f_{sk, \max} \cdot Z$)

Mr_{du}^b : η καμπτική αντοχή σχεδιασμού της δοκού ($M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot Z$)

M_E^b : η ροπή της δοκού που προκύπτει από τη στατική επίλυση

c: column (υποστυλώμα),
b: beam (δοκός)

Στο συντελεστή α ο λόγος Mr_{du}^b / M_E^b αποτελεί διόρθωση της ροπής για τον πρώτο λόγο και ο συντελεστής $\gamma_{cd} = 1,40$ διόρθωση της ροπής για τον δεύτερο λόγο που σχολιάζονται στο κεφ. 11.1.

11.3 Τιμή Ικανοτικής Ροπής για το Σχεδιασμό Ενδιάμεσου Υποστυλώματος

Αν στο υποστυλώμα συντρέχουν περισσότερες από μία δοκοί (ενδιάμεσο υποστυλώμα) η σχέση (5) λαμβάνει τη μορφή της σχέσης (6):

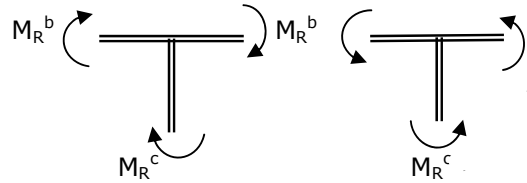
$$M_{cd} = \alpha \cdot M_E^c \quad (6)$$

όπου: $\alpha = \Sigma Mr_{du}^b / \Sigma M_E^b$ ή

$$\alpha = \Sigma Mr_{du}^b / \Sigma M_E^b \cdot \gamma_{cd}$$

Στο άθροισμα Σ των ροπών των δοκών που συντρέχουν στο υποστυλώμα, οι τιμές των ροπών τίθενται με το πρόσημό τους, όπως αυτό προκύπτει από τη μορφή του διαγράμματος των ροπών για τη σεισμική δύναμη προς τις δύο διευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Προκύπτουν δύο τιμές για το συντελεστή α , μία για κάθε διεύθυνση της σεισμικής δύναμης. Στη σχέση (6) τίθεται η μεγαλύτερη τιμή του.



11.1 Υπολογισμός τιμής του συντελεστή α

11.4 Ικανοτικός Έλεγχος Υποστυλωμάτων

Σε περίπτωση ελέγχου η ανίσωση ασφαλείας παίρνει τη μορφή της σχέσης (7):

$$Mr_{uc} \geq \Sigma Mr_{ub} \cdot 1,25 \quad (7)$$

Ο συντελεστής 1,25 τίθεται για τους λόγους που σχολιάστηκαν στο κεφ. 10.2.

11.5 Παράδειγμα Αστοχίας Ικανοτικού Σχεδιασμού

Κατασκευή αστοχεί για πολύ μικρότερη σεισμική επιπόνηση απ' αυτήν που αντιστοιχεί στο σεισμό σχεδιασμού.

Η αστοχία εμφανίζεται με τη μορφή καμπτικής αστοχίας των υποστυλωμάτων.

Η μελέτη ελέγχεται ορθή. Κατά τον έλεγχο της καλής εφαρμογής της μελέτης εντοπίζεται ότι ο οπλισμός των δοκών 5Φ14 S400 έχει αντικατασταθεί με 5Φ14 S500. Αναζητείται ο λόγος αστοχίας.

Λόγω της αύξησης της ποιότητας του οπλισμού των δοκών, αυξήθηκε η ροπή αστοχίας τους χωρίς να αυξηθεί και αυτή των υποστυλωμάτων.

Ασθενής κρίκος της κατασκευής αναδειχθηκε το υποστυλώμα η πλαστιμότητα του οποίου καθόρισε και την πλαστιμότητα του συνόλου της κατασκευής.

Η αστοχία υποστυλώματος χαρακτηρίζεται από μικρή πλαστιμότητα (ψαθυρότητα) και η εν δυνάμει μεγαλύτερη πλαστιμότητα της κατασκευής σε άλλες θέσεις έμεινε ανενεργή.

