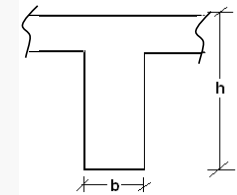


ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3^η ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

1

Ζητείται η διατμητική ενίσχυση πλακοδοκού με χρήση επικολλητών στοιχείων από χάλυβα ή σύνθετα υλικά. Τα στοιχεία ενίσχυσης μπορεί να είναι είτε υπό την μορφή κολλάρων είτε υπό την μορφή ελασμάτων ή υφασμάτων. Να θεωρηθεί ότι η αναλαμβανόμενη τέμνουσα στο αρχικό στοιχείο είναι $V_{Rd,s}=50\text{kN}$ και η απαιτούμενη προς ανάληψη τέμνουσα είναι $V_{s,d}=70\text{kN}$



Δίνονται:

$b=250\text{mm}$, $h=500\text{mm}$, $d=480\text{mm}$, C16/20

2

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ($V_{Sd} > V_{Rd,3}$)

$$V_{Rd, \text{tot}} = V_{Rd,s} + V_{jd} \Rightarrow 70 = 50 + V_{jd} \Rightarrow V_{jd} = 20\text{KN} \quad \text{KAN.EPE. (εξίσωση 8.12)}$$

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,\text{ef}} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin^2\alpha \quad \text{KAN.EPE. (εξίσωση 8.13)}$$

α : είναι η γωνία του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης ως προς τον διαμήκη άξονα του στοιχείου

θ : είναι η γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών που μπορεί να θεωρηθεί ίση προς 45°

$$\text{KAN.EPE. (εξ. 8.8)}: \frac{2 \cdot A_j}{s_j \cdot b_w \cdot \sin\alpha} \quad V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \frac{2 \cdot t_j \cdot w_j}{s_j \cdot b_w \cdot \sin\alpha} \cdot b_w \cdot \frac{2}{3} \cdot d \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin^2\alpha \Rightarrow$$

ΚΑΝ.ΕΠΕ. από (§8.2.2.2 iii):

$$h_{j,\text{ef}} = \frac{2}{3} \cdot d, \quad A_j = t_j \cdot s_j \quad \text{με} \quad w_j = s_j$$

Συνεχρή Φύλλα

$$\Rightarrow V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \frac{4 \cdot t_j \cdot w_j}{3 \cdot s_j} \cdot d \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha$$

3

Έστω: $\alpha=90^\circ$ και $\theta=45^\circ$, άρα, η τέμνουσα που αναλαμβάνει ο νέος οπλισμός διάτμησης ισούται:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \frac{4 \cdot t_j \cdot w_j}{3 \cdot s_j} \cdot d \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha \Rightarrow V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \frac{4 \cdot t_j}{3} \cdot d$$

Από την παραπάνω σχέση προσδιορίζεται το ελάχιστο πάχος.

$$\frac{A_j}{s_j} = t_j = \frac{3 \cdot V_{jd}}{4 \cdot d \cdot \sigma_{jd}}$$

4

■ **Κλειστή Ενίσχυση**

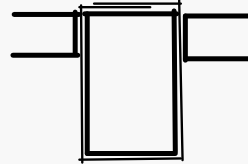
Η εφαρμογή πραγματικά κλειστής ενίσχυσης στην περίπτωση πλακοδοκών θα μπορούσε θεωρητικά να γίνει μόνο με χρήση κολλάρων, όμως και τότε είναι κατασκευαστικά δύσκολη και πιθανότατα αδύνατη. Γενικώς δεν συνίσταται. Στην συνέχεια δίνεται η επίλυση για διδακτικούς μόνο λόγους.

Έστω Ενίσχυση με κολλάρα από χαλύβδινα ελάσματα Fe 360

⇒ $f_{jk} = 235 \text{ MPa}$ και $E_j = 200 \text{ GPa}$

ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξίσωση 8.14): $\sigma_{jd} = \frac{f_{jk}}{\gamma_m} = \frac{235}{1.2} = 195.8 \text{ MPa}$

$\gamma_m \geq$ από τιμή που χρησιμοποιείται στις μεταλλικές κατασκευές *ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§ 4.5.3.2α)*. Λαμβάνεται 1,2.



Επομένως: $\frac{A_j}{s_j} = \frac{3 \cdot 1,2 \cdot 20 \cdot 10^3}{4 \cdot 480 \cdot 235} = 0,160 \text{ mm}$

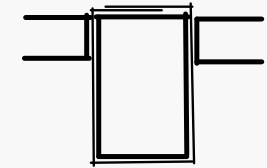
Έστω: $A_j = 20 \cdot 1,5 = 30 \text{ mm}^2$ άρα $s_j = \frac{30}{0,16} = 187,5 \text{ mm}$

Ελάχιστες αποστάσεις οπλισμού διάτμησης: $0,75d = 0,75 \cdot 480 = 360 \text{ mm} > 188 \text{ mm}$
τοποθετούνται δηλαδή ελάσματα $20 \cdot 1,5$ ανά 188mm

Έστω Ενίσχυση με σύνθετα υλικά (ΙΟΠ-G)

⇒ $\epsilon_{ju} = 2,8\%$ και $E_j = 70 \text{ GPa}$

$\sigma_{jd} = \frac{f_{jk}}{\gamma_m}$, $\gamma_m = 1,2$ *ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§ 8.2.2.2(iv))*.



ΚΑΝ.ΕΠΕ. από (§ 8.2.2.2(iv)):

$f_{jk} = E_j \cdot \epsilon_{j,crit}$

(α) $\epsilon_{j,crit} = k_v \cdot \epsilon_{j,max}$, με $k_v = 0,5$

(β) $\epsilon_{j,max} = \epsilon_{ju} \cdot \psi = 2,8\% \cdot 1 > 1,5\%$

⇒ $\epsilon_{j,max} = 1,5\%$

Θεωρείται ότι θα τοποθετηθούν λιγότερες από 4 στρώσεις ΙΟΠ ($\kappa < 4$).
Ειδικώς (δηλ. για $\kappa \geq 4$), $\psi = \kappa^{-1/4}$

⇒ $f_{jk} = E_j \cdot k_v \cdot \epsilon_{j,max} = \sigma_{jd} = \frac{525}{1.2} = 437,5 \text{ MPa}$

$= 70 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}$

⇒ $f_{jk} = 525 \text{ MPa}$

↓
 $\frac{A_j}{s_j} = \frac{3 \cdot 20 \cdot 10^3}{4 \cdot 480 \cdot 437,5} = 0,07 \text{ mm}$

Έστω: $A_j = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ mm}^2$ άρα $s_j = \frac{15}{0,07} = 214 \text{ mm}$

Έλεγχος με τις ελάχιστες αποστάσεις: $214 \text{ mm} < 360 \text{ mm}$

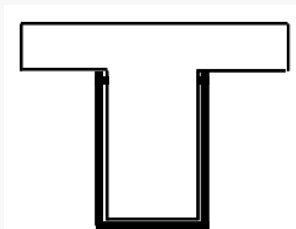
Έλεγχος Πρώρης Αποκόλλησης Υλικού Ενίσχυσης

■ **Ανοιχτή Ενίσχυση**

⇒ *ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξίσωση 8.15):* $\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}}$ με $\sigma_{j,crit} = k_v \cdot \sigma_{j,max}$

• *ΚΑΝ.ΕΠΕ. από (§8.2.2.2 (iv) B):* $k_v = 0,4 + 0,25\lambda \leq 0,65$

$\lambda = \frac{L_{av}}{L_e} = \frac{h_{j,ef}}{L_e} = \frac{2/3 d}{L_e}$, έστω $L_e \leq 2/3 d \rightarrow \lambda \geq 1$



• *ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξίσωση 8.10):* $\sigma_{j,max} \cong \beta \frac{T_b^{σποκ}}{t_j} L_e$

ΚΑΝ.ΕΠΕ. από (§8.2.2.2 (iv) B):

(α) $T_b^{σποκ} \cong f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.9 \text{ MPa}$

(β) $L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{ctm}}}$

(γ) $\beta = \beta_w \cdot \beta_L$

$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_j}{s_j} \sin \alpha}{1 + \frac{w_j}{s_j} \sin \alpha}}$, Συνεχή Φύλλα: $\beta_w = \frac{1}{\sqrt{2}}$

⇒ $\beta = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\beta_L = 1$ για $\lambda \geq 1$

Συγκεντρώνοντας όλες τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η εξίσωση για την τέμνουσα και το πάχος του νέου σπλισμού διάτμησης:

$$(1) V_{jd} = \frac{4 \cdot t_j \cdot d \cdot \sigma_{j,crit}}{3 \cdot \gamma_{Rd}}$$

$$(2) \sigma_{j,crit} = k_v \cdot \sigma_{j,max}$$

$$(3) \sigma_{j,max} = \beta \cdot \frac{f_{ctm}}{t_j} \cdot \sqrt{\frac{E_j \cdot t_j}{2 \cdot f_{ctm}}}$$

$$(1) \xrightarrow{(2)} \xrightarrow{(3)} V_{jd} = \frac{4}{3} \cdot d \cdot k_v \cdot \beta \cdot \frac{f_{ctm}}{\gamma_{Rd}} \sqrt{\frac{E_j \cdot t_j}{2 \cdot f_{ctm}}}$$

$$t_j = \frac{V_{jd}^2 \cdot 9 \cdot \gamma_{Rd}^2}{8 \cdot d^2 \cdot k_v^2 \cdot \beta^2 \cdot f_{ctm} \cdot E_j}$$

9

Έστω Υλικό Ενίσχυσης ΧΑΛΥΒΑΣ Fe 360 $\Rightarrow f_{jk} = 235 \text{ MPa}$ και $E_j = 200 \text{ GPa}$

$\gamma_{Rd} \geq$ από τιμή που χρησιμοποιείται στις μεταλλικές κατασκευές (ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§ 4.5.3.2α)). Λαμβάνεται 1,2.

$$t_j = \frac{V_{jd}^2 \cdot 9 \cdot \gamma_{Rd}^2}{8 \cdot d^2 \cdot k_v^2 \cdot \beta^2 \cdot f_{ctm} \cdot E_j}$$

$$\text{Επομένως απαιτείται : } t_j = \frac{20000^2 \cdot 9 \cdot 1,2^2}{8 \cdot 480^2 \cdot 0,65^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,9 \cdot 200000} = 0,035 \text{ mm}$$

Τίθεται χαλύβδινο έλασμα πάχους $t_j = 1 \text{ mm}$

Έλεγχος τρόπου αστοχίας επειδή $t_j = 1 \text{ mm} \neq 0,035 \text{ mm}$

$$\bullet L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{ctm}}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ mm}}{2 \cdot 1,9 \text{ MPa}}} \Rightarrow L_e = 229 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{\frac{2}{3} d}{L_e} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 480}{229} = 1,4 > 1, \text{ επομένως σωστή η παραδοχή : } \lambda \geq 1$$

10

$$\bullet \sigma_{j,max} = \beta \cdot \frac{f_{ctm}}{t_j} \cdot L_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1,9}{1} \cdot 229 = 307,7 \text{ MPa}$$

$$\bullet \sigma_{j,crit} = k_v \cdot \sigma_{j,max} = 0,65 \cdot 307,7 = 200 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} = \frac{200}{1,2} = 166,7 \text{ MPa} < \sigma_{jd,αστοχ.υλικ.} = 195,8 \text{ MPa}$$



Επομένως, η αστοχία θα προέλθει από πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης

11

Έστω Υλικό Ενίσχυσης ΙΟΠ-G με $\epsilon_{ju} = 2,8\%$ και $E_j = 70 \text{ GPa}$

ΚΑΝ.ΕΠΕ. από (§8.2.2.2 (iv)): $\gamma_{Rd} = 1,2$

$$t_j = \frac{V_{jd}^2 \cdot 9 \cdot \gamma_{Rd}^2}{8 \cdot d^2 \cdot k_v^2 \cdot \beta^2 \cdot f_{ctm} \cdot E_j}$$

$$\text{Επομένως : } t_j = \frac{20000^2 \cdot 9 \cdot 1,2^2}{8 \cdot 480^2 \cdot 0,65^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,9 \cdot 70000} = 0,1 \text{ mm}$$

Τίθεται έλασμα πάχους $t_j = 0,1 \text{ mm}$

Έλεγχος τρόπου αστοχίας

$$\bullet L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{ctm}}} = \sqrt{\frac{70 \cdot 10^3 \text{ MPa} \cdot 0,1 \text{ mm}}{2 \cdot 1,9 \text{ MPa}}} \Rightarrow L_e = 42,9 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{\frac{2}{3} d}{L_e} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 480}{42,9} = 7,5 > 1, \text{ επομένως σωστή η παραδοχή : } \lambda \geq 1$$

12

- $\sigma_{j,max} = \beta \cdot \frac{f_{ctm}}{t_j} \cdot L_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1,9}{0,1} \cdot 42,9 = 576,3 \text{ MPa}$

- $\sigma_{j,crit} = k_v \cdot \sigma_{j,max} = 0,65 \cdot 576,3 = 374,6 \text{ MPa}$

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} = \frac{374,6}{1,2} = 312,1 \text{ MPa} < \sigma_{jd,αστοχ.υλικ.} = 437,5 \text{ MPa}$$



Επομένως, η αστοχία θα προέλθει από πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης