

ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ III

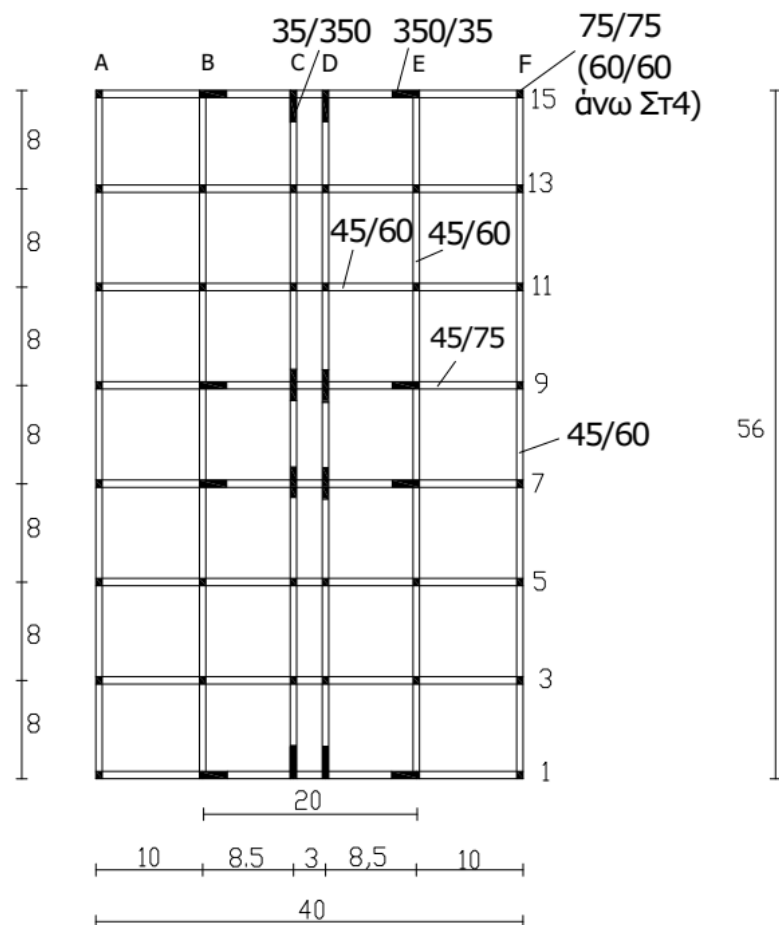
Γ. Παναγόπουλος, Λέκτορας Εφαρμογών
Δ. Κακαλέτσης, Καθηγητής



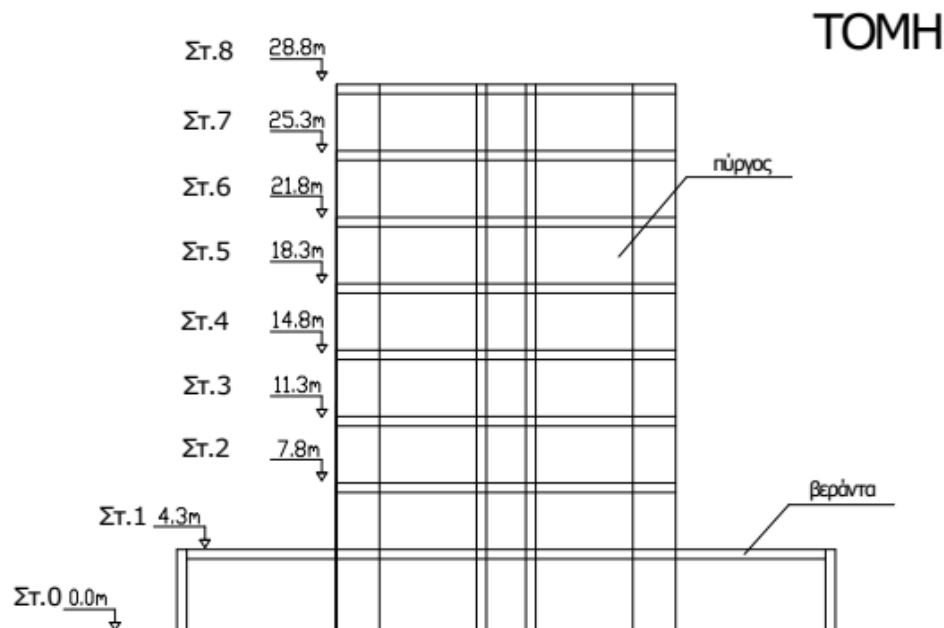
Σχεδιασμός τοιχωμάτων (μέρος 2)

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Δεδομένα



C25/30
S500 (B500C)
 $d_1=4.5\text{cm}$
DCM



Σχ. 11.1 Δομικό Σύστημα

Δίδεται οκταώροφο ξενοδοχείο με μεικτό δομικό σύστημα από πλαίσια και τοιχώματα (σχ.

11.1). Θα μελετηθούν τα δομικά τοιχώματα στις γραμμές του καννάβου 1, 7, 9 και 15.

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Δεδομένα

- Η κατασκευή έχει υπολογισθεί για φορτία βαρύτητας και σεισμική ισοδύναμη πλευρική φόρτιση.
- Τα τοιχώματα έχουν διαστάσεις 350cm × 35cm με την εξωτερική πλευρά να βρίσκεται στις γραμμές καννάβου Β και Ε.
- Η σεισμική δράση να θεωρηθεί μόνο στη x διεύθυνση.

Τα πλευρικά φορτία ορόφων δίδονται από ισοδύναμη πλευρική φόρτιση:

<u>Στάθμη</u>	<u>Πλευρική δύναμη (kN)</u>
8	3448
7	4592
6	3952
5	3328
4	2720
3	2112
2	1456
<u>1</u>	<u>1384</u>
Τέμνουσα βάση	22.992 kN

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Συντελεστής συμπεριφοράς q

Παραδοχή:

$$V_{\text{total}} = 22.992 \text{ kN}$$

$$V_{\text{frames}} = 8.218 \text{ kN}$$

$$V_{\text{walls}} = 14.774 \text{ kN}$$

$$V_{\text{wall}}/V_{\text{total}} = 14774/22992 = 0,64 \geq 0,5 \leq 0,65$$

Δυαδικό σύστημα, ισοδύναμο με τοιχωματικό

$$q = q_0 \cdot k_w \quad \text{DCM} + \text{δυαδικό σύστημα} \rightarrow q_0 = 3a_u/a_1$$

Για πολυώροφα, πολύστυλα, ισοδύναμα προς τοιχωματικά δυαδικά συστήματα: $a_u/a_1 = 1,2$

$$q_0 = 3 \times 1,2 = 3,6$$

$$k_w = (1 + h_w/l_w)/3 \leq 1$$

$$k_w = (1 + 28,8/3,5)/3 = 3,06$$

Ως εκ τούτου $k_w = 1$, οπότε

$$q = 3,6 \times 1 = 3,6$$

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε κάμψη – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Δράσεις σχεδιασμού (υπολογισμένες από τη στατική επίλυση)

Για μέγιστη αξονική δύναμη

$$N_{Ed} = 5956 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 21282 \text{ KNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_d &= \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{21282 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,50^2 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,248 \\ v_d &= \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{-5956 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,5 \cdot \frac{30}{1,5}} = -0,243 \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = 0,42$$

Για ελάχιστη αξονική δύναμη

$$N_{Ed} = 3097 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 20947 \text{ KNm}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_d &= \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{20947 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,50^2 \cdot \frac{30}{1,5}} = 0,244 \\ v_d &= \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{-3097 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 3,5 \cdot \frac{30}{1,5}} = -0,126 \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = 0,50$$

$v_{max} < 0,4 \rightarrow$ η αξονική δύναμη δεν υπερβαίνει το μέγιστο όριο για κατασκευές DCM.

$v_{max} > 0,2 \rightarrow$ χρειάζεται ρητά να σχεδιασθούν τα οριακά στοιχεία για πλαστιμότητα

$$A_{s,tot} = \omega \cdot bh \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,50 \times 35 \times 350 \times \frac{\frac{30}{1,5}}{1,15} = 281,75 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \times 140,875 \text{ cm}^2$$

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε κάμψη – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Ελάχιστο μήκος κρυφοκολώνων

$$l_{c,min} \geq \max(0.15l_w, 1.5b_w)$$

$$0.15l_w = 0.15 \times 3.5 = 0.525\text{m}$$

(l_w είναι το μήκος της διατομής του τοιχώματος)

$$1.5b_w = 1.5 \times 0.35 = 0.525\text{m}$$

(b_w είναι το πλάτος της διατομής του τοιχώματος)

Μήκος κρυφοκολώνων

$$l_c = x_u(1 - \varepsilon_{cu2}/\varepsilon_{cu2,c})$$

$$h_0 = x_u \cdot (1 - \varepsilon_{cu2}/\varepsilon_{cu2,c})$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0.0035$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0.0035 + 0.1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}$$

$$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_0}$$

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30\mu_\phi (v_d + \omega_v) \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_0} - 0.035$$

b_0 είναι η ελάχιστη διάσταση του πυρήνα σκυροδέματος

x_u είναι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης

ε_{cu2} είναι η μέγιστη παραμόρφωση του απερίσφιγκτου σκυρ/τος.

$\varepsilon_{cu2,c}$ είναι η μέγιστη παραμόρφωση του περισφιγμένου σκυρ/τος.

α είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης.

ω_{wd} είναι το μηχανικό ποσοστό του οπλισμού περίσφιξης.

$$\omega_{wd} = \frac{V_{\text{οπλισμού περίσφιξης}} f_{yd}}{V_{\text{πυρήνα σκυροδέματος}} f_{cd}}$$

Απαιτείται προεπιλογή διαμήκους οπλισμού και συνδετήρων για τον υπολογισμό του ω_{wd}

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

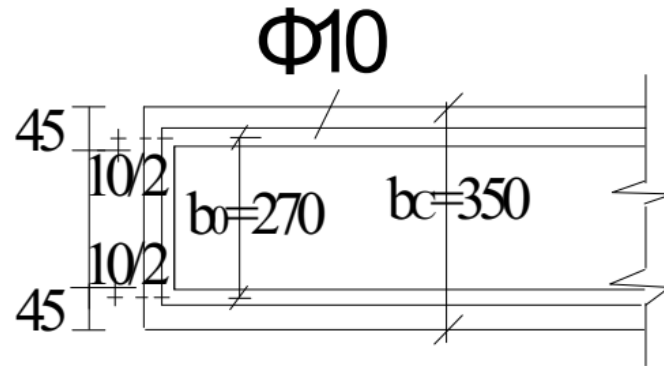
Σχεδιασμός σε κάμψη – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Μήκος κρυφοκολώνων

Με παραδοχή επικάλυψης σκυροδέματος του κύριου καμπτικού οπλισμού 45mm και συνδετήρες $\Phi 10$ mm, Σχ. 11.2:

$$b_0 = 350 - 2 \times 45 + 10 = 270\text{mm}$$

$$b_c = 350\text{mm}$$



$\rho_v = A_{s,v}/A_c$ ο λόγος του κατακόρυφου οπλισμού του κορμού

ελάχιστο ποσό του κατακόρυφου οπλισμού κορμού:

$$A_{s,v_{\min}} = 0,002A_c = 0,002 \times 35 \times 100 = 7,00\text{cm}^2/\text{m} \rightarrow 9\Phi10/\text{m} \rightarrow \Phi10/11 \text{ ή } 2 \text{ σκέλη}$$

$\Phi10/22$

Τελικά τοποθετούνται $\Phi10/20$ δίτητοι ($7,85\text{cm}^2/\text{m}$)

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε κάμψη – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Μήκος κρυφοκολώνων

Έλεγχος της ανίσωσης: $\alpha\omega_{wd} \geq 30\mu_{\phi}(v_d + \omega_v)\epsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_0} - 0,035$

Θεωρώντας ότι $M_{Rd} = M_{Ed}$ και $T_1 > T_c$

ω_v = μηχανικό ποσοστό κατακόρυφου οπλισμού κορμού.

$$\mu_{\phi} = 2q_0 - 1 = 2 \times 3,6 - 1 = 6,2$$

$$\omega_v = \rho_v \frac{f_{yd,v}}{f_{cd}} = \frac{7,85}{35 \times 100} \frac{500/1,15}{30/1,5} = 0,049$$

$$\epsilon_{sy,d} = \frac{500/1,15}{200000} = 0,002175$$

$$\alpha\omega_{wd} = 30 \cdot 6,2 \cdot (0,243 + 0,049) \cdot 0,002175 \frac{350}{270} - 0,035 = 0,118$$

$$\epsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,0035 + 0,1 \times 0,118 = 0,0153$$

Παρατήρηση: Δεν απαιτείται εδώ ο υπολογισμός του α

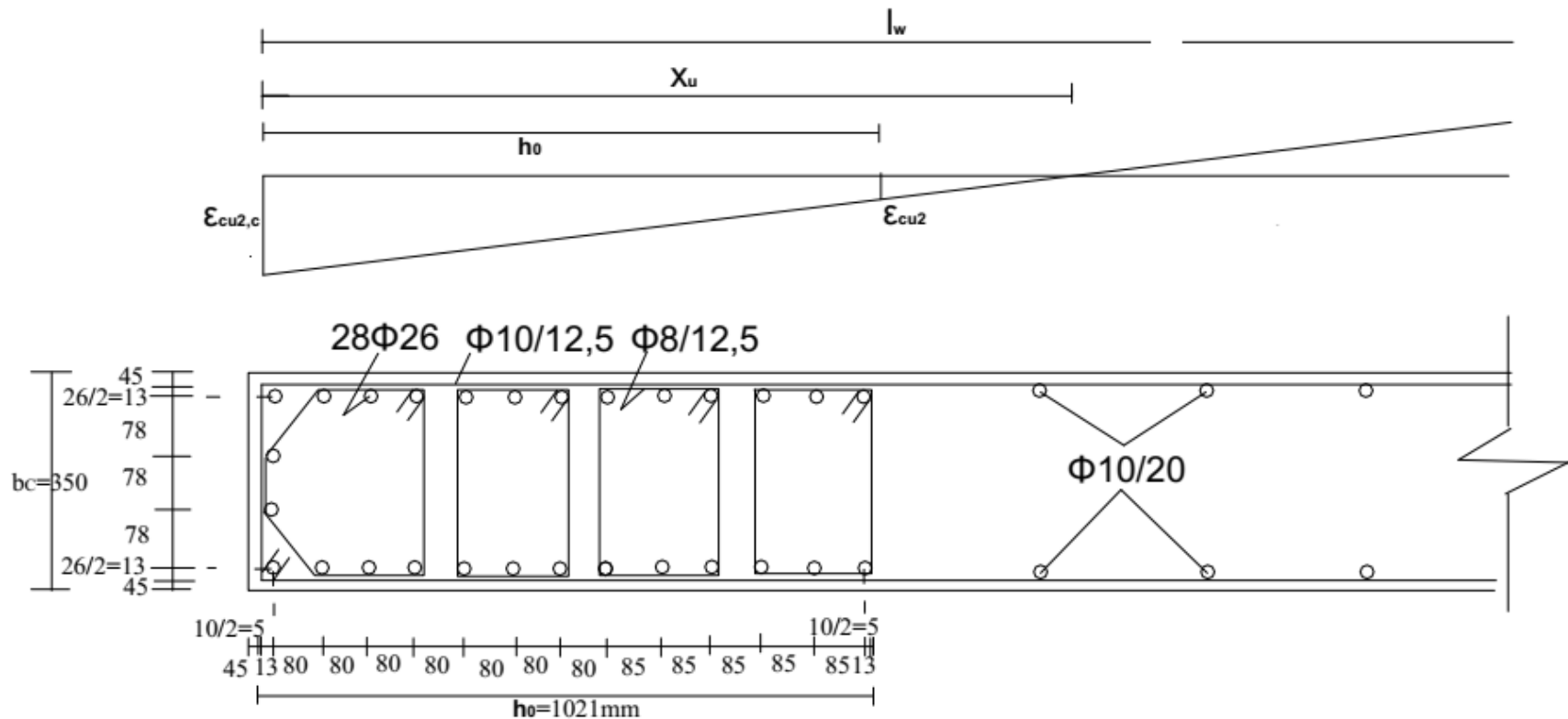
$$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_0} = (0,243 + 0,049) \frac{350 \times 35}{27,0} = 132,5\text{cm}$$

$$h_0 = 132,5 \cdot (1 - 0,0035/0,0153) = 102,2\text{cm}$$

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε κάμψη – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Οπλισμός κρυφοκολώνων

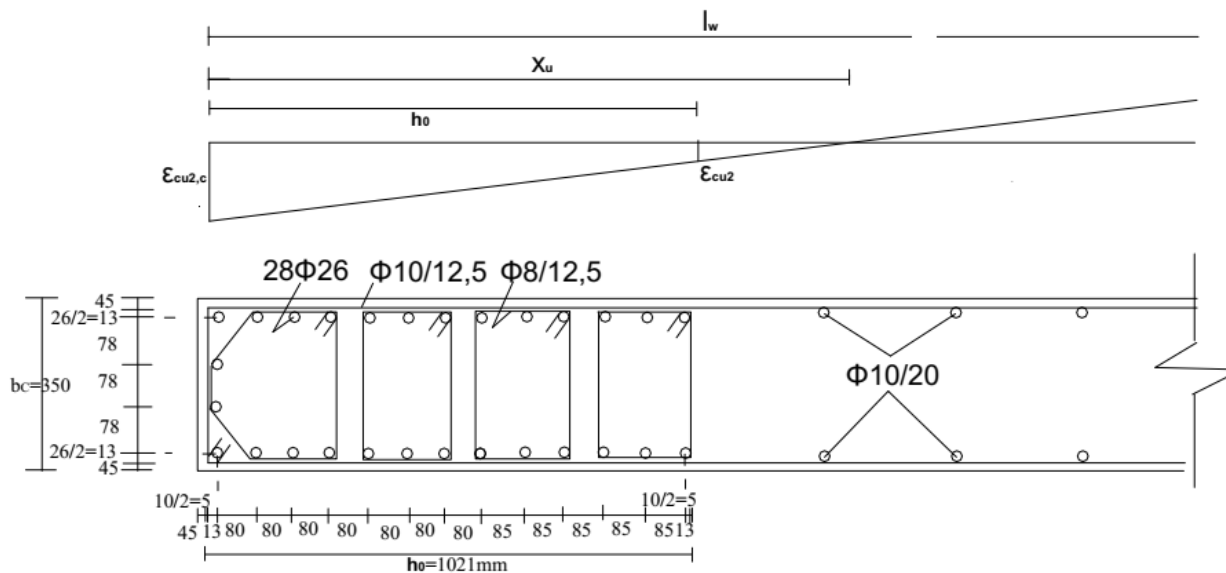


Τοποθετούνται 28 Φ 26

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε κάμψη – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Οπλισμός κρυφοκολώνων



- κάθε κατά μήκος ράβδος να περιβάλλεται με συνδετήρες ή εγκάρσιο άγκιστρο και
- η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κατά μήκος ράβδων που περιβάλλονται με συνδετήρες και εγκάρσια άγκιστρα να μην ξεπερνά τα 200mm.
- καμμία ράβδος σε θλιβόμενη ζώνη δεν πρέπει να απέχει περισσότερο από 150mm από μια εντεινόμενη ράβδο.

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε διάτμηση – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Τέμνουσα σχεδιασμού

Από τη γενική δομική ανάλυση έστω ότι αποκτάται ως:

$V_{Ed} = 2401\text{kN}$ οπότε, τιμή σχεδιασμού, κατά το Σχ. 11.5, $V_{Sd} = 2401 \cdot 1,5 = 3602\text{kN}$

Τέμνουσα αντοχής θλιβόμενης διαγωνίου

$$V_{Rd,max} = \frac{a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

$a_{cw} = 1$ για μη προεντεταμένες κατασκευές

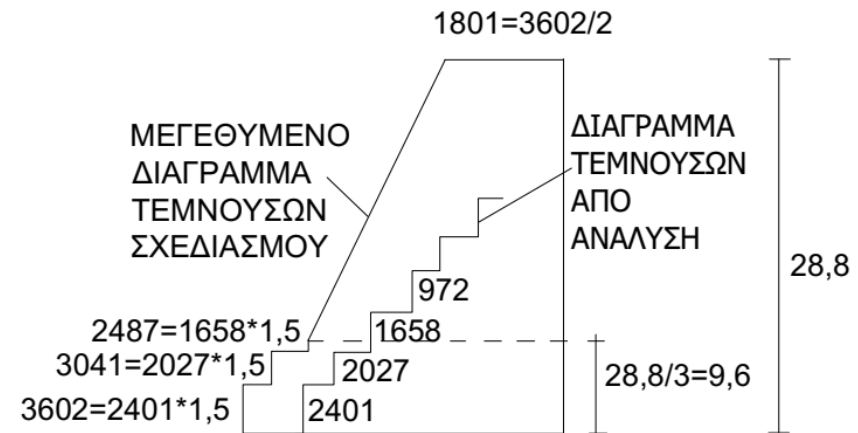
$b_w = 0,35\text{m}$

$z = 0,9d = 0,9 \cdot (0,9 \cdot 3,5) = 2,835\text{m}$, $d = 0,9 \times 3,5$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

Στην εφαρμογή επιλέγεται η γωνία $\theta = 21,8^\circ \rightarrow \cot\theta=2,5$, $\tan\theta = 0,4$ διότι δεν είναι επιθυμητή η πιθανή αλλαγή του d

Αν $V_{Rd,max} < V_{Sd}$ μπορεί να ληφθεί μικρότερη τιμή για την $\cot\theta$ έως ότου $V_{Rd,max} > V_{Sd}$. Αυτό προφανώς οδηγεί σε μεγαλύτερο ποσοστό συνδετήρων.



Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός σε διάτμηση – Διατομή στη βάση του τοιχώματος

Τέμνουσα αντοχής συνδετήρων (διαγωνίος εφελκυσμός)

$$V_{Rd,s} = \frac{A_s}{s} z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Sd}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta} = \frac{3602 \cdot 10^{-3}}{2,835 \cdot \left(\frac{500}{1,15}\right) \cdot 2,5} = 0,00117 \text{m} = 0,117 \text{cm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq 0,117 \text{ cm. Έστω } \varnothing 10 \text{ δίτμητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,79 = 1,58 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{0,117} = \frac{1,58}{0,117} \rightarrow s \leq 13,5 \text{ cm}$$

Ελάχιστες απαιτήσεις και επιλογή συνδετήρων

$$s = \min\left(\frac{b_0}{2}, 175, 8d_{bl}\right) = \min\left(\frac{270}{2}, 175, 8 \cdot 26\right) = 135 \text{mm}$$

Θέτω Φ10/12,5 δίτμητους ($12,56 \text{cm}^2/\text{m}$) – Σχ. 11.3

$$A_{sh,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot A_{sv,min} = 0,25 \cdot 7,85 = 1,97 \text{cm}^2/\text{m} \\ 0,001 A_c = 0,001 \cdot 35 \cdot 100 = 3,50 \text{cm}^2/\text{m} \end{array} \right.$$

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες για τοπική πλαστιμότητα

Ύψος της πλαστικής άρθρωσης

$$h_{cr} = \max\{l_w, h_w/6\} \rightarrow h_{cr} = \max\left\{3,5, \frac{28,8}{6}\right\} = 4,8\text{m}$$

$$h_{cr} \leq 2 \times l_w = 2 \times 3,5 = 7\text{m}$$

$$h_{cr} \leq 2h_s = 2 \times 4,3 = 8,6\text{m}$$

$$\text{Αρα } h_{cr} = 4,8\text{m}$$

Οπλισμός περίσφιξης κρυφοκολώνων

$$a\omega_{wd} \geq 0,118$$

$$a = a_n \cdot a_s$$

$$a_n = 1 - \Sigma b_i^2 / (6 \cdot b_0 \cdot h_0)$$

$$a_s = \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right)$$

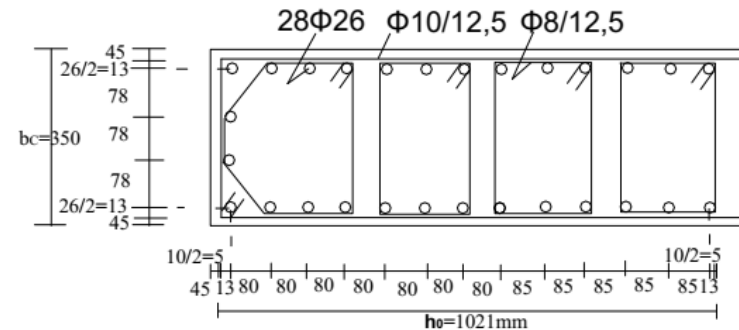
$$a_n = 1 - \frac{[2 \times (80^2 + 160^2 + 80^2 + 160^2 + 80^2 + 170^2 + 85^2 + 170^2) + 3 \times 78^2]}{(6 \times 270 \times 1021)} = 0,825$$

$$a_s = \left(1 - \frac{125}{2 \times 270}\right) \times \left(1 - \frac{125}{2 \times 1021}\right) = 0,72$$

$$a = 0,825 \times 0,72 = 0,59$$

$$a\omega_{wd} = 0,118 \rightarrow 0,59 \cdot \omega_{wd} = 0,118 \rightarrow \omega_{wd} = 0,20$$

$$\omega_{wd} \geq \omega_{wd, \min} = 0,08$$



Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες για τοπική πλαστιμότητα

Οπλισμός περίσφιξης κρυφοκολώνων

Μήκος των συνδετήρων περισφιγξης:

$$\text{Εξωτερικοί συνδετήρες} = 270 + 2 \cdot 1021 = 2312\text{mm}$$

Εσωτερικοί συνδετήρες

$$\begin{aligned} &= 2 \times (2 \times 80 + 26 + 10) + 2 \times (2 \times 85 + 26 + 10) + 7 \times 270 + 78 + 2 \\ &\times \sqrt{(78 + 26 + 10/2)^2 + (80 + 26/2 + 10/2)^2} = 2879,16\text{mm} \end{aligned}$$

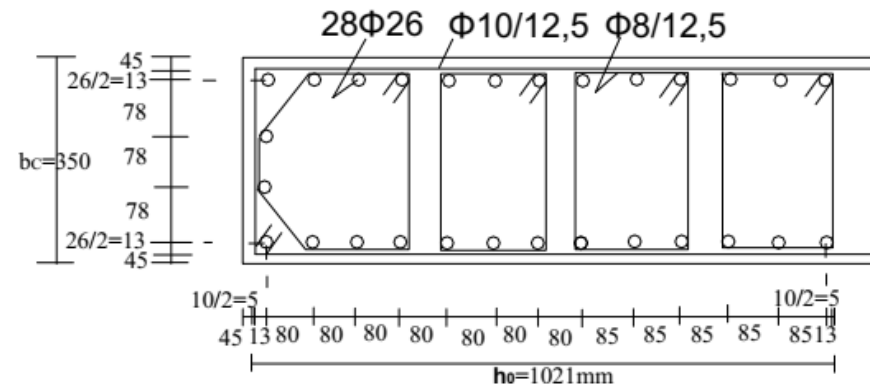
Εξωτερικοί συνδετήρες (=συνδετήρες που επίσης συνεισφέρουν στη περισφιγξη του σκυροδέματος) $\Phi = 10\text{mm}$

Εσωτερικοί συνδετήρες $\Phi = 8\text{mm}$

Όγκος συνδετήρων/m ($s=0,125\text{m}$)

$$V = \frac{1}{0,125} \times (2312 \times \pi \times 10^2/4 + 2879,16 \times \pi \times 8^2/4) = 2.609.127,99 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\omega_{\text{wd}} = \frac{2.609.127,99}{1021 \cdot 270 \cdot 1000} \cdot \frac{\frac{500}{1,15}}{\frac{30}{1,5}} = 0,206 > 0,20 \text{ ο.κ.}$$

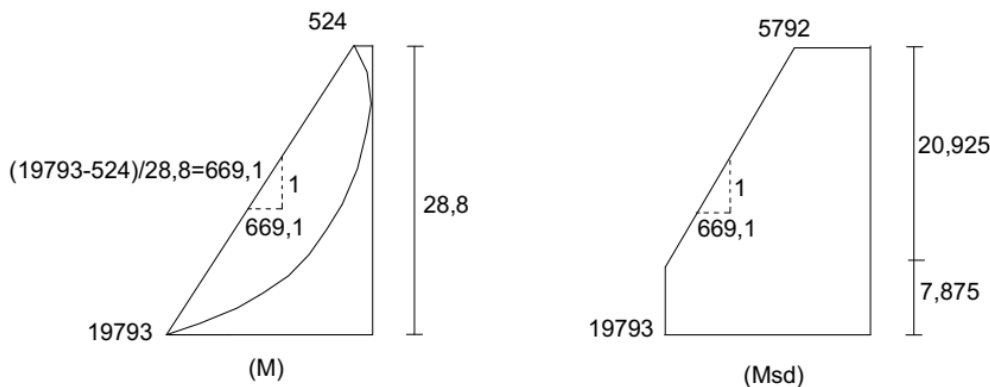


Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός τοιχώματος πάνω από το κρίσιμο ύψος

Περιβάλλουσα καμπτικών ροπών

- Θεώρηση ότι το τοίχωμα παραμένει στην ελαστική περιοχή.
 - Διατάξεις EC2.
 - Δεν απαιτείται οπλισμός περίσφιξης
- Χρήση της περιβάλλουσας ροπών



Σχ. 11.4 Διαγράμματα καμπτικών ροπών

Απο το διάγραμμα καμπτικών ροπών που αποκτήθηκε από την ανάλυση προκύπτει η **γραμμική περιβάλλουσα καμπτικών ροπών σχεδιασμού**

Το διάγραμμα σηκώνεται προς τα πάνω σε μια απόσταση a_1 προσδιορίζοντας ανύψωση εφελκυσμού που συμφωνεί με την κλίση της αντηρίδας που λαμβάνεται κατά τον υπολογισμό σε διάτμηση στην ΟΚΑ.

$$a_1 = d \times \cotg\theta = 3150 \times 2,5 = 7875\text{mm} = 7,875\text{m} \quad (d = 0,9 \times 3500)$$

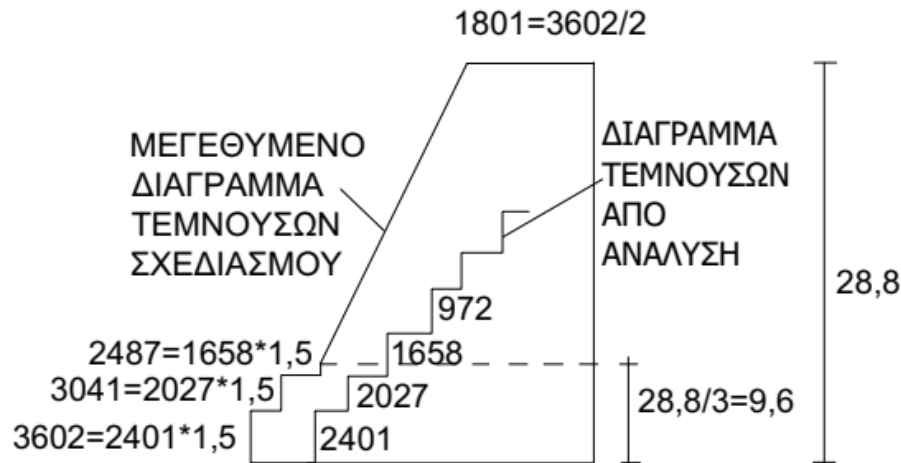
Η τελική ροπή στην κορυφή δίνεται ως:

$$M_{\text{top}} = 19793 - 669,1 \times (28,8 - 7,875) = 5792\text{KNm}$$

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Σχεδιασμός τοιχώματος πάνω από το κρίσιμο ύψος

Περιβάλλουσα τεμνουσών δυνάμεων



$$V_{\text{wall,base}} = 2401 \times 1,5 = 3602 \text{ kN}$$

$$V_{\text{wall,top}} = \frac{V_{\text{wall,base}}}{2} = \frac{3602}{2} = 1801 \text{ kN}$$

Σχ. 11.5 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων

Η προσέγγιση στο σχεδιασμό των ελαστικών διατομών στις υψηλότερες στάθμες είναι η εξής:

- Επιλογή μίας στάθμης η οποία θα ήταν κατάλληλη για το πρώτο κομμάτισμα του καμπτικού οπλισμού (έστω η στάθμη του τρίτου ορόφου σ' αυτήν την περίπτωση).
- Εκτέλεση του σχεδιασμού για τις ροπές και τις τέμνουσες όπως περιγράφηκε προηγουμένως με χρήση των τιμών από τα Σχ. 11.4β και Σχ. 11.5β και την κατάλληλη αξονική δύναμη της στάθμης που επιλέχθηκε.
- Δεν υπάρχουν άλλες απαιτήσεις για την διαμόρφωση των συνοριακών στοιχείων υπεράνω του ύψους της κρίσιμης περιοχής, πέραν των οδηγιών του EC2.

Σχεδιασμός Τοιχωμάτων - Εφαρμογή

Διαμόρφωση οπλισμού τοιχώματος

