



“Επισκευές και Ενισχύσεις Διαστασιολόγηση Επεμβάσεων”

καθ. Στέφανος Η. Δρίτσος

Πάτρα, 2015

1

Διαδικασία

1^ο Στάδιο:

Τεκμηρίωση υφιστάμενης κατάστασης- Αξιοπιστία Δεδομένων

2^ο Στάδιο:

Αποτίμηση επάρκειας κατασκευής

3^ο Στάδιο:

Λήψη απόφασης επέμβασης - Επιλογή λύσης

4^ο Στάδιο:

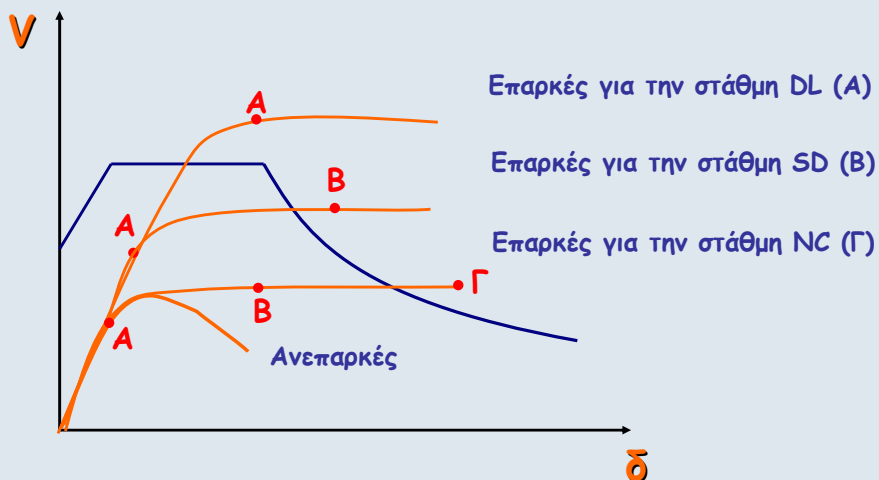
Αρχικός σχεδιασμός της λύσης επέμβασης

5^ο Στάδιο:

Κατασκευή του Έργου **↑ ↓ →**

2

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



3

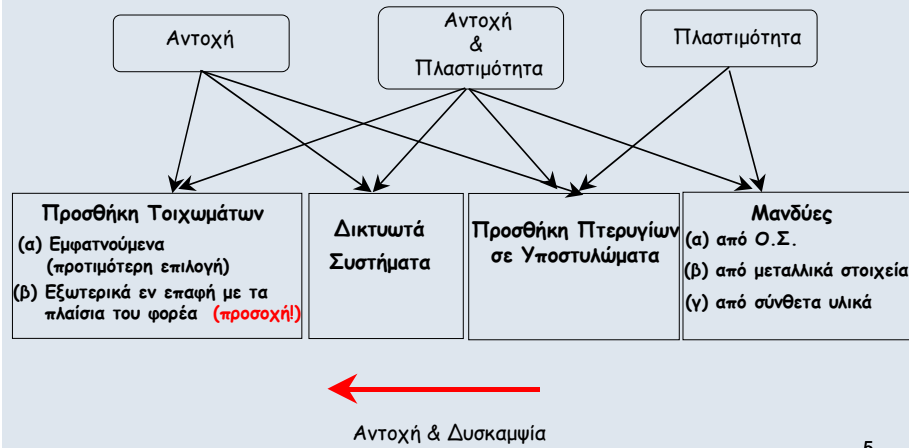
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟΥ



Στρατηγικές Ενίσχυσης

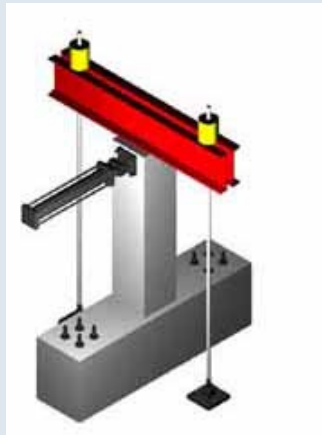
4

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

	Σκυρόδεμα	Χάλυβας	Σύνθετα
Γενικές Απαιτήσεις			
▪ Έλεγχος διεπιφανειών	Red	Blue	Yellow
Επεμβάσεις σε Κρίσιμες Περιοχές Ραβδόμορφων Δομικών Στοιχείων			
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της ικανότητας έναντι μεγεθών ορθής έντασης	Red	Blue	Yellow
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας έναντι τέμνουσας	Red	Blue	Yellow
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της τοπικής πλαστικότητας	Red	Blue	Yellow
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της δυσκαμψίας	Red	Blue	Yellow
Επεμβάσεις σε Κόμβους Πλαισίων			
▪ Ανεπάρκεια λόγω διαγώνιας θλίψης κόμβου	Red	Blue	Yellow
▪ Ανεπάρκεια οπλισμού κόμβου	Red	Blue	Yellow
Επεμβάσεις σε Τοιχώματα			
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση ικανότητας έναντι μεγεθών ορθής έντασης	Red	Blue	Yellow
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας τέμνουσας	Red	Blue	Yellow
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της τοπικής πλαστικότητας	Red	Blue	Yellow
▪ Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της δυσκαμψίας	Red	Blue	Yellow
Εμφάνωση Πλαισίων			
▪ Προσθήκη απλού "γεμίματος"	Red	Blue	Yellow
▪ Τοιχωματοποίηση πλαισίων	Red	Blue	Yellow
▪ Ενίσχυση υφιστάμενων τοίχων πληρώσεως	Red	Blue	Yellow
▪ Προσθήκη ράβδων δικτύωσης, μετατροπή πλαισίων σε κατακόρυφα δικτυώματα	Red	Blue	Yellow
Προσθήκη Νέων Παράπλευρων Τοιχωμάτων και Δικτυωμάτων			
▪ Σύνδεσμοι	Red	Blue	Yellow
▪ Θεμελίωση νέων τοιχωμάτων	Red	Blue	Yellow
▪ Διαφράγματα	Red	Blue	Yellow
Επεμβάσεις σε Στοιχεία Θεμελίωσης	Red	Blue	Yellow



Βλάβες σε Δοκίμιο με Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα και Βλήτρα

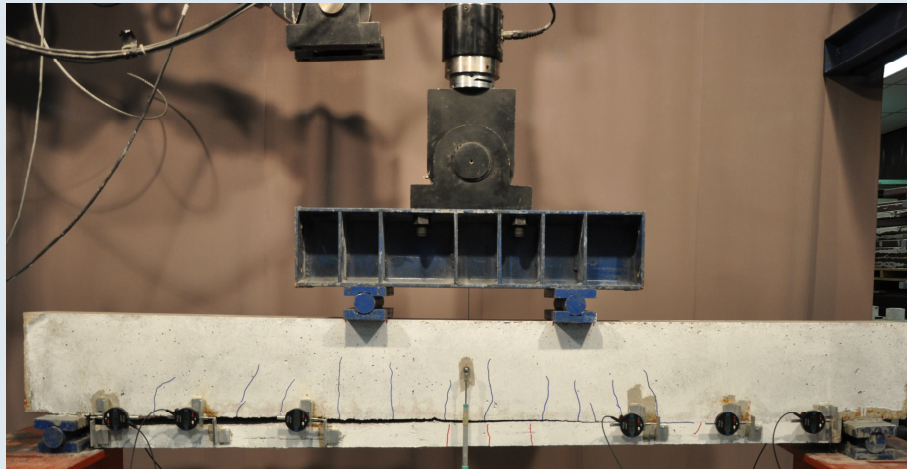


Βλάβες σε Δοκίμιο με Έγχυτο Σκυρόδεμα, Λεία Διεπιφάνεια χωρίς Διατμητικούς Συνδέσμους

9



10



Απώλεια Σύνδεσης στη Διεπιφάνεια

11

Έλεγχος Συνεργασίας στη Διεπιφάνεια

Ανίσωση Ασφαλείας

$$R_{id} \geq S_{id}$$

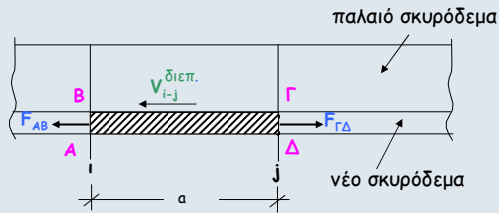
Αντίσταση Διεπιφάνειας
(σε θλίψη, σε εφελκυσμό, διατμητική)
(βλ. Κεφ.6)

Εντατικά Μεγέθη
που δρουν στη διεπιφάνεια

- Ελάχιστα και Μέγιστα

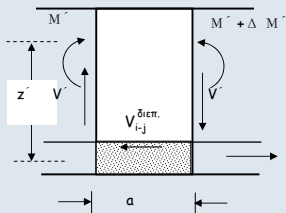
12

Έλεγχος Διεπιφανειών



$$V_{i-j}^{\text{διεπ.}, \text{B}\Gamma} = F_{\text{AB}} - F_{\text{\Gamma}\Delta}$$

ή



$$V_{i-j}^{\text{διεπ.}} = \frac{\Delta M'}{z'} = V' \frac{a}{z'}$$

$M', V' = \text{Ροπή, Τέμνουσα λόγω δράσεων μετά την επέμβαση}$

$$V_{i-j}^{\text{διεπ.}} \leq V_{\text{Rd}}^{\text{διεπ.}}$$

Ελάχιστο Ποσοστό Βλήτρων $\rho_{\delta} = \frac{A_{\text{sd}}}{A_{\text{c}\delta} \sin \alpha} \geq 0,18 \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}}$ ¹³

ΠΡΟΣΩΡΙΝΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ (ΠΕΤΕΠ)

Εργασίες Αποκατάστασης Ζημιών Κατασκευών από τον Σεισμό και λοιπούς Βλαπτικούς Παράγοντες

ΕΤΕΠ

ΦΕΚ 2221B/30-7-2012



Εκτράχυνση με Αμμοβολή



Προετοιμασία Επιφάνειας με Αεροματσάκονο

ΜΑΝΔΥΕΣ Ο.Σ.



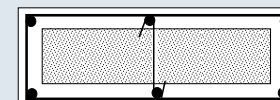
17



18



19

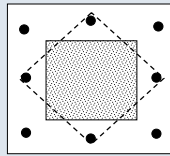


Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε επιμήκεις διατομές

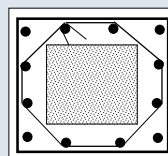
20

Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε τετραγωνικές διατομές

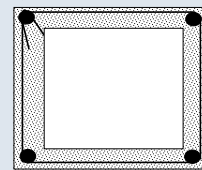
ΟΧΙ



ΝΑΙ



γωνία 45°



21



Άνοιγμα Συνδετήρων

22



Ηλεκτροσυγκόλληση Άκρων Συνδετήρων Μανδύα 23

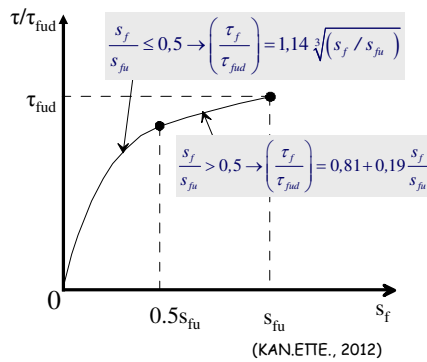
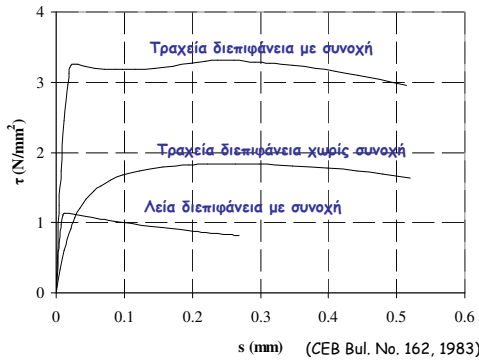
Διατμητική Αντίσταση Διεπιφάνειας: $V_{Rd}^{διεπιφ.}$

Μηχανισμοί

- Τριβή και Συνοχή
- Δράση Βλήτρου
- Δράση Σφικτήρα
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις

24

ΑΟΠΛΕΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ



$$\tau_c = \begin{cases} 0.25 f_{ct} & \text{για λείες διεπιφάνειες} \\ 0.75 f_{ct} & \text{για εκτραχυμένες διεπιφάνειες} \\ 1.00 f_{ct} & \text{για εκτοξευόμενο ή με χρήση ρητίνης} \end{cases}$$

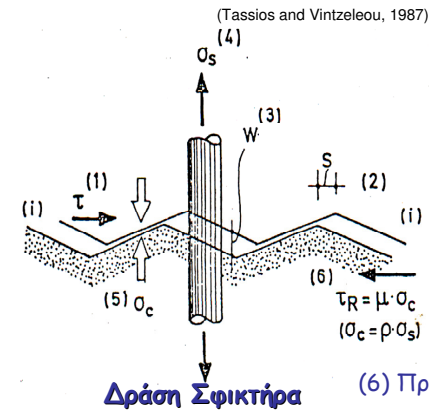
$$\tau_{fu} = 0.4 (f_c^2 * \sigma_c)^{1/3}$$

ΟΠΛΙΣΜΕΝΕΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

Πρόσθετη Τριβή

Όταν μια Χαλύβδινη Ράβδος διαπερνά μια Διεπιφάνεια, μπορεί να προκύψει δράση σφικτήρα, εάν:

- Η επιφάνεια του υφιστάμενου σκυροδέματος έχει εκτραχυθεί
- Η χαλύβδινη ράβδος είναι επαρκώς αγκυρωμένη



(1) Όταν εφαρμόζεται Διατμητική Τάση

(2) Προκαλείται Ολίσθηση

(3) Ανοίγει η Επιφάνεια Επαφής (επειδή εξαιτίας της τραχύτητας η μια επιφάνεια κινείται πάνω στην άλλη)

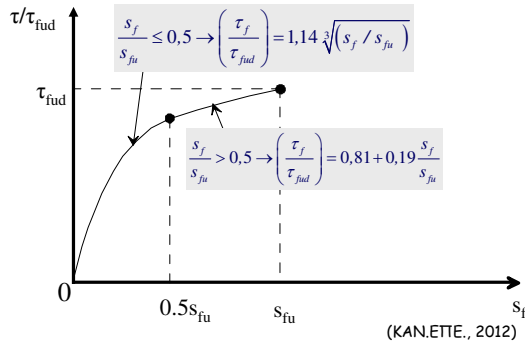
(4) Ενεργοποιείται Εφελκυστική Δύναμη στη χαλύβδινη ράβδο

(5) Ασκείται Θλιπτική Τάση (σ_c) στη διεπιφάνεια

(6) Πρόσθετη Τριβή → Πρόσθετη Διατμητική Αντίσταση

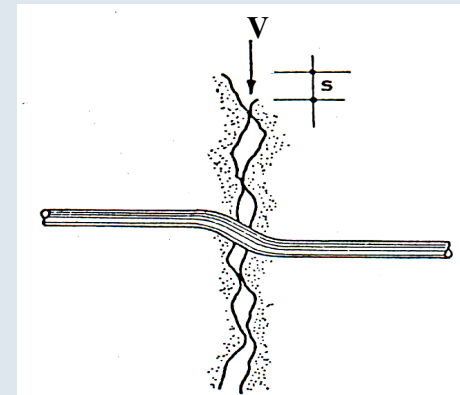
Οπλισμένες Διεπιφάνειες

Αντίσταση Τριβής



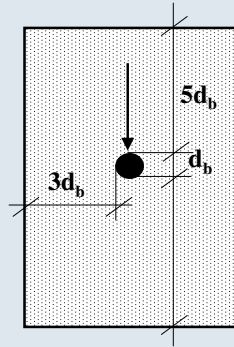
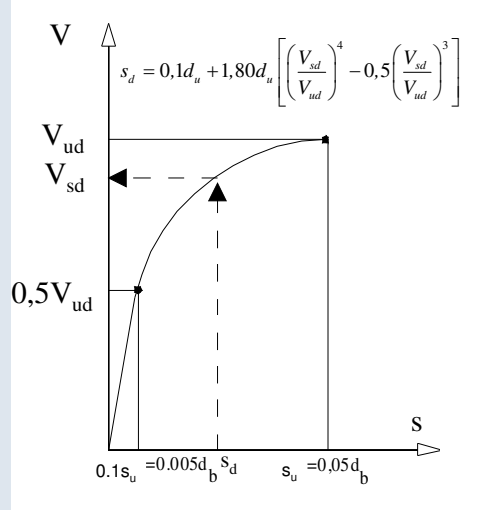
$$\tau_{fud} = 0.4 (f_{cd}^2 * (\sigma_{cd} + \rho_d f_{yd}))^{1/3}$$

Οπλισμένες Διεπιφάνειες



Μηχανισμός Δράσης Βλήτρου

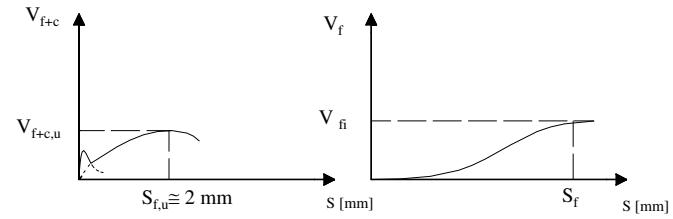
Διατμητική Αντίσταση Δράσης Βλήτρου



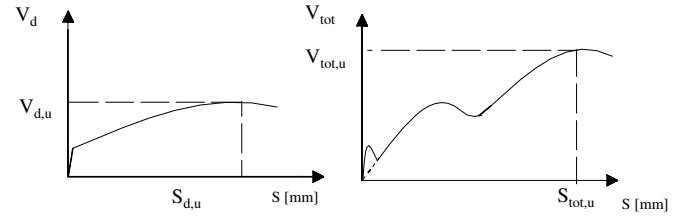
Ελάχιστη απαιτούμενη επικάλυψη οπλισμού για πλήρη ενεργοποίηση της Δράσης Βλήτρου

$$F_{ud} = \frac{1,30d_b^2}{\gamma_{Rd}} \sqrt{f_{cd}f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \gamma_{Rd} = 1.3$$

Αλληλεπίδραση Μηχανισμού Ανάλυσης Διατμητικού Φορτίου



α) Δράση συνοχής και τριβής β) Δράση τριβής λόγω εγκάρσιου οπλισμού



γ) Δράση βλήτρου δ) Δράση όλων των μηχανισμών

$$V_{tot} = \beta_D V_d + \beta_f V_f$$

Εκτράχυνση και Χρήση Χαλύβδινων Βλήτρων



Οπλισμένες Διεπιφάνειες



Χαλύβδινοι Ηλεκτροσυγκολλημένοι Σύνδεσμοι (Αναρτήρες)

Θλίβουσα Δύναμη Μανδύα

$$F_{cm} = \underbrace{4\alpha_o \mu}_{\text{Τριβή}} f_{ctm} + \underbrace{10\eta_b}_{\text{Αναρτήρες "πάπιες"}} \frac{A_{sb}}{h_s} + \underbrace{\eta_D}_{\text{Βλήτρα}} F_{uD}$$

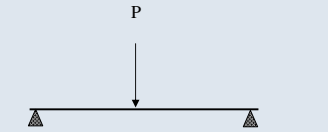
Ελάχιστοι Συνδετήρες Μανδύα

ΕΚΩΣ 2000

Και $\frac{A_{sw}}{a_{sw}} \geq \frac{t \cdot f_{ctm}}{f_{ywd}}$, δηλ. $\alpha_{sw} \leq 0.8 \left(\frac{f_{ywd}}{f_{ctm}} \right) \cdot \frac{d_h^2}{t}$

Προσεγγιστική Μέθοδος Μονολιθικής Συμπεριφοράς

$k_k = 0,80$ $k_r = 0,90$ $k_{\theta y} = 1,25$ $k_{\theta u} = 0,80$



Πλήρης Αλληλεπίδραση



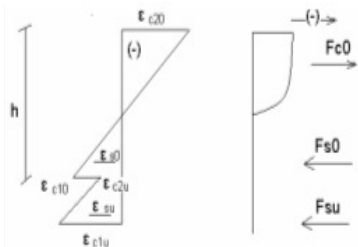
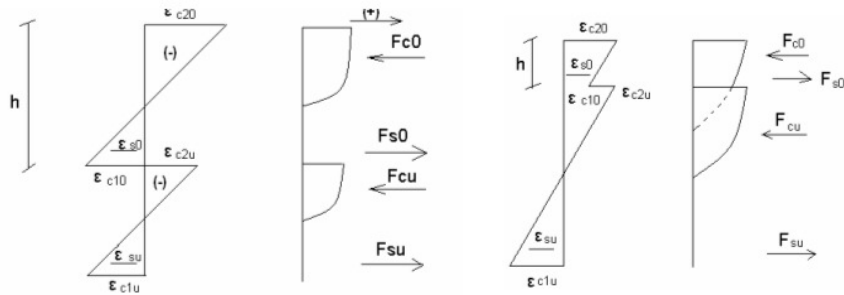
Μερική Αλληλεπίδραση



Διαχωρισμός

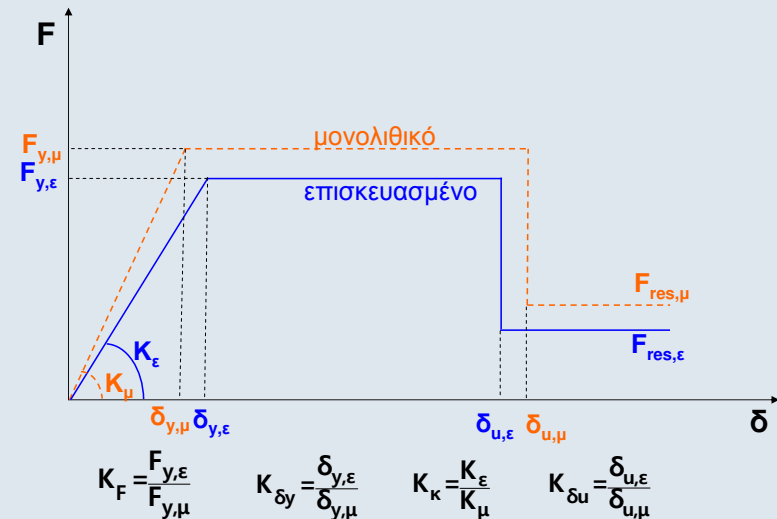


Πιθανή Κατανομή Παραμορφώσεων και Τάσεων



Πόσο θα ήταν το λάθος αν θεωρούσαμε μονολιθική συμπεριφορά;

Καμπύλες Εντατικού Μεγέθους-Παραμόρφωσης με Επισκευασμένα Στοιχεία



$$K_F = \frac{F_{y,\epsilon}}{F_{y,\mu}} \quad K_{\delta y} = \frac{\delta_{y,\epsilon}}{\delta_{y,\mu}} \quad K_K = \frac{K_\epsilon}{K_\mu} \quad K_{\delta u} = \frac{\delta_{u,\epsilon}}{\delta_{u,\mu}}$$

Συντελεστές Μονολιθικότητας

$$k_k = \frac{\text{Δυσκαμψία πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Δυσκαμψία μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$k_r = \frac{\text{Αντοχή πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Αντοχή μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$k_k \leq k_r \leq 1,0$$

$$k_\mu = \frac{\text{Πλαστιμότητα πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Πλαστιμότητα μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$k_{\delta u} = \frac{\text{Οριακή παραμόρφωση πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Οριακή παραμόρφωση μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$R_{i,ενισχ.} = K_i \times R_{i,μονολ.}$$

Προσθήκη Νέας Στρώσης Σκυροδέματος

Εκτίμηση Ικανότητας

- Με συνεκτίμηση της ολίσθησης
- Προσεγγιστικά με χρήση συντελεστών μονολιθικότητας

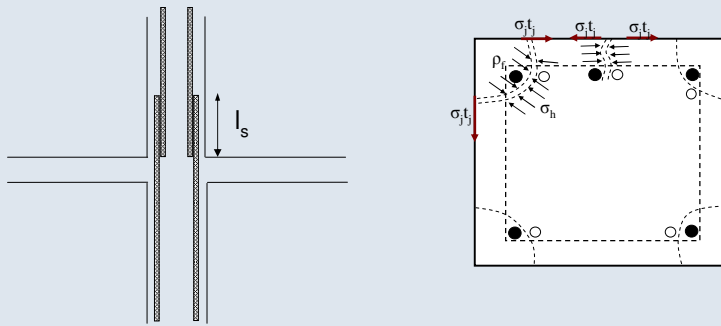
Για πλάκες:

$$k_k = 0,85 \quad k_r = 0,95 \quad k_{\theta y} = 1,15 \quad k_{\theta u} = 0,85$$

Για λοιπά στοιχεία:

$$k_k = 0,80 \quad k_r = 0,85 \quad k_{\theta y} = 1,25 \quad k_{\theta u} = 0,75$$

Αποκατάσταση Ικανότητας Περιοχής με Μειωμένα Μήκη Ματισμένων Ράβδων



$$T_{απ} = (1-\lambda_s) A_b f_s$$

$$T = \mu (\rho_f l_s) \sigma_h \rightarrow \sigma_{h,απ} = \frac{(1-\lambda_s) A_b f_s}{\mu \rho_f l_s}$$

$$\sigma_j t_j = \sigma_h B \quad \text{όπου:} \quad \beta = \frac{\rho_f}{B}$$

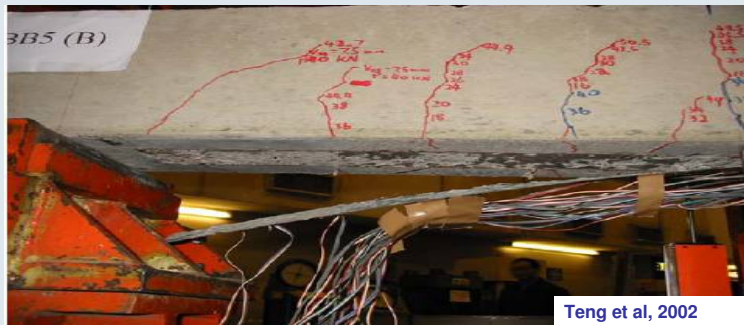
$$\left(\frac{A_j}{s}\right)_{απαιτ.} = \frac{(1-\lambda_s) A_b f_s}{\beta \mu l_s \sigma_j}$$

$$\left(\frac{A_j}{s}\right)_{απ.} = \frac{12}{(s_d : s_u)} \left(\frac{f_{sy}^3}{f_u f_c^2}\right) \left(\frac{d_s^2}{a_N l_s}\right)^3 (a_N) \quad (A_j/s)_{απ.} = 1.3 \left[k_1 \left(\frac{f_{sy} d_s}{f_c l_s}\right) - 0.4 \frac{c}{d_s} - 0.30 \right]^2 \frac{f_c^2 d_s^2}{k_2 E_j f_{ctm}}$$

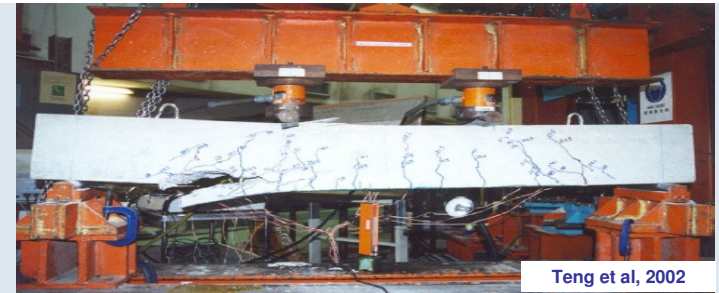
Για μανδύες $t_j = \left(\frac{A_j}{s}\right)_{απαιτ.}$

Καμπτική Ενίσχυση

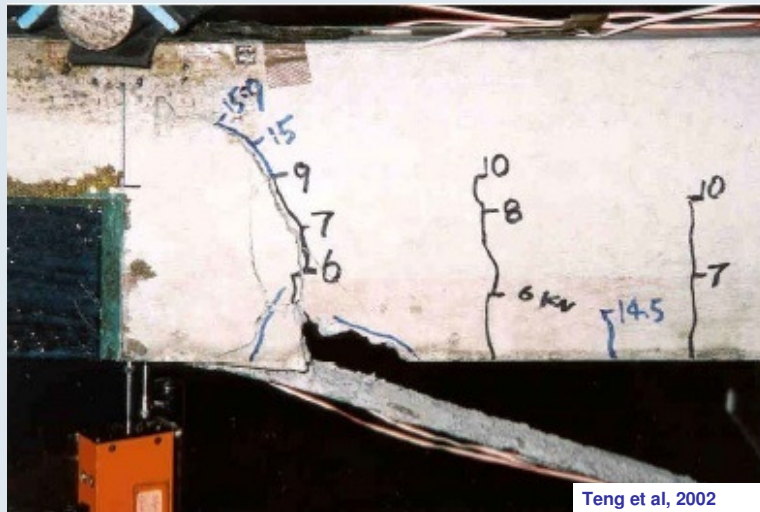




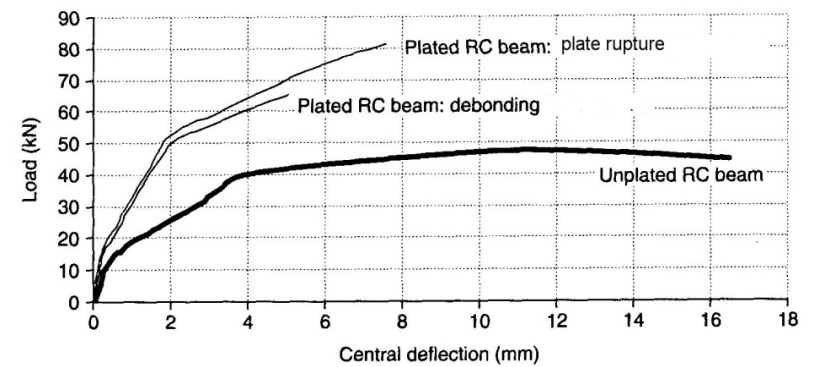
Αναλαμβανόμενη δύναμη επικολλητών φύλλων συναρτήσει του μήκους αγκύρωσης



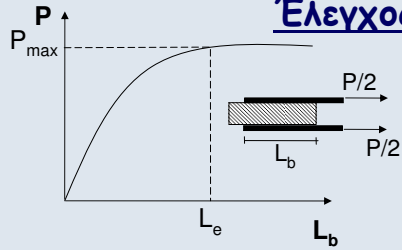
Απόσχιση επικάλυψης σκυροδέματος στο πέρας του σύνθετου υλικού



Διάγραμμα Φορτίου-Βύθισης για Δοκούς Ενισχυμένες με Επικολλητά Ελάσματα



Έλεγχος Αποκόλλησης



$$L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2f_{ctm}}} \quad P_{max} = \beta f_{ctm} b_j L_e$$

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{max}}{b_j t_j} \cong \beta \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2t_j}}$$

$$\beta = \beta_w \beta_L \quad \beta_w = \sqrt{\frac{2 - b_j/b_w}{1 + b_j/b_w}}$$

$\beta_L = 1$ για πλήρη αγκύρωση

ΚΑΝ.ΕΠΕ.
§ 8.2.1.3

$$\sigma_{j,d} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} = 1,2$$

Ας θεωρηθεί η περίπτωση μίας δοκού από σκυρόδεμα C16/20 που ενισχύεται στο εφελκόμενο πέλμα με ένα έλασμα ΙΟΤ-Άνθρακα, πάχους $t_j=1mm$ και πλάτους $b_j=1/2b_w$. Εξετάζοντας την 2η μορφή αστοχίας λαμβάνεται:

$$f_{ctm} \cong 0.3f_{ck}^{2/3} = 0.316^{2/3} = 1.92 MPa, \quad \beta = 1 \text{ και}$$

$$\sigma_{j,crit} = \sqrt{\frac{200 \times 1.92 \times 10^3}{2}} = 438 MPa, \quad \sigma_{j,d} = \frac{438}{1,2} = 365 MPa$$

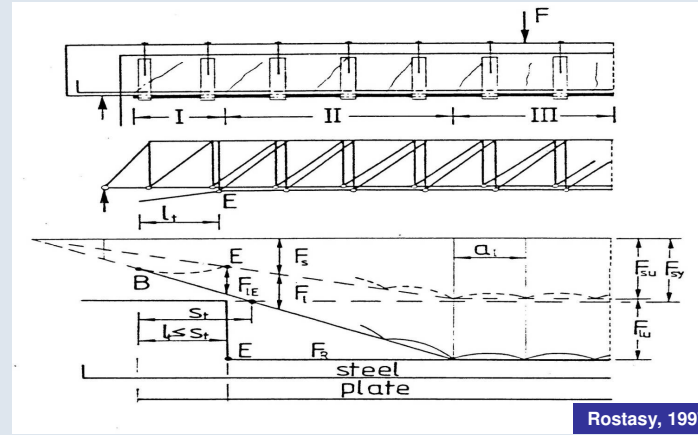
$$t_j \uparrow \Rightarrow \sigma_{j,crit} \downarrow$$

Χρήσιμη τεχνική για ενισχύσεις γύρω από νέα ανοίγματα σε πλάκες, τοιχώματα

Έλεγχος Απόσχισης Άκρου

$$V_{sd,απολ.} \leq V_{cd,απολ.}$$

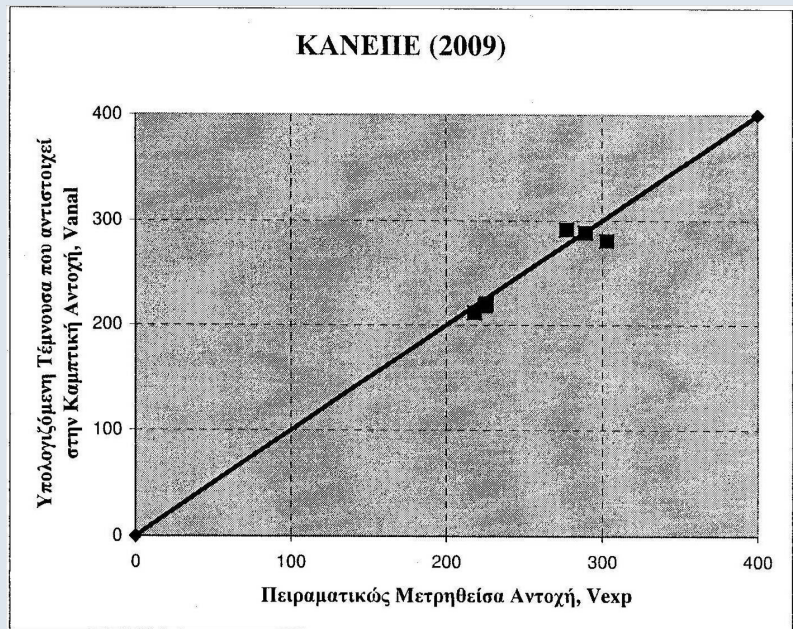
$$M_{sd,απολ.} \leq 0.67 M_{Rd,απολ.}$$



Rostasy, 1997

$$V_{sdj} = \frac{A_j \sigma_{jd}}{A_{so} f_{ydo} + A_j \sigma_{jd}} V_{sd,απ.όλ.}$$

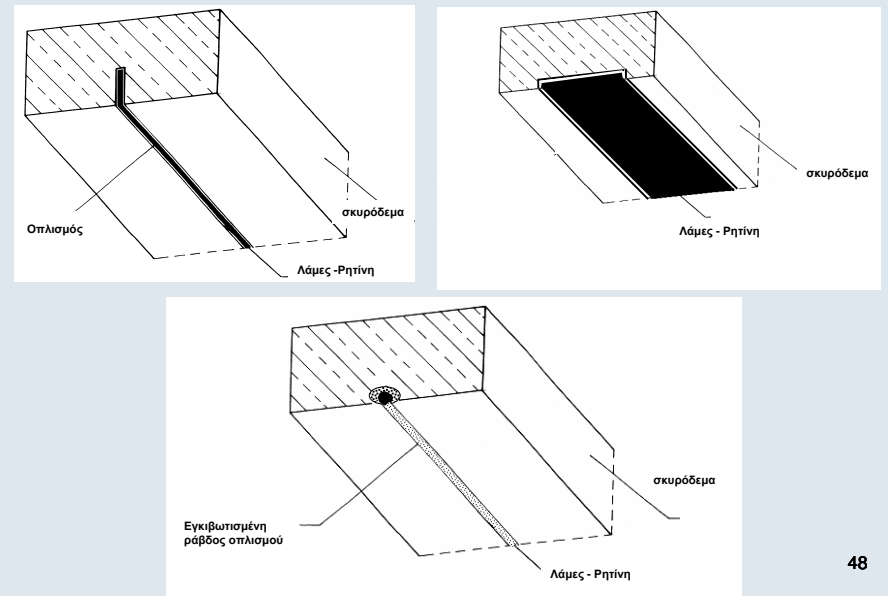
ΚΑΝΕΠΕ (2009)



Μιτολιδης, Διδακτορική Διατριβή 2009, ΑΠΘ.

Καμπτική Ενίσχυση με Οπλισμούς εντός "Αυλακιών"

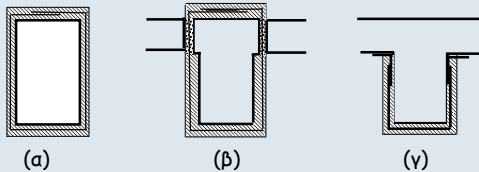
(Δεν καλύπτεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.)



Αύξηση Φέρουσας Ικανότητας Έναντι Τέμνουσας

Ανεπάρκεια Έναντι Λοξής Θλίψης ($V_{sd} > V_{Rd2}$)

- Με περίσφιγξη
 $f_{ck,c} = (1,125 + 1,25a_w) f_{ck}$
- Με προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος
 - κλειστός μανδύας (συνιστάται)
 - τρίπλευρη ενίσχυση

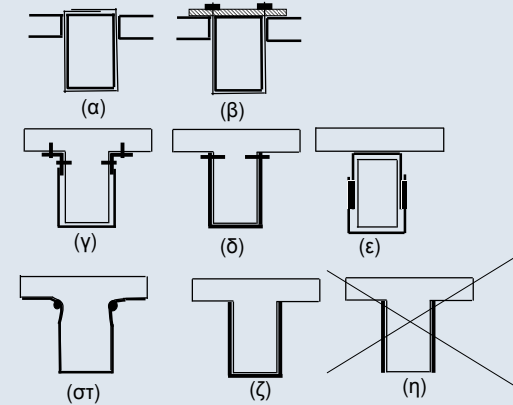


Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας σε λοξή θλίψη:
 (α), (β) Κλειστές ενισχύσεις, (γ) Ανοικτές ενισχύσεις

$$V_{sd} \leq \frac{1}{\gamma_{Rd}} (V_{Rd,r} + V_{RM})$$

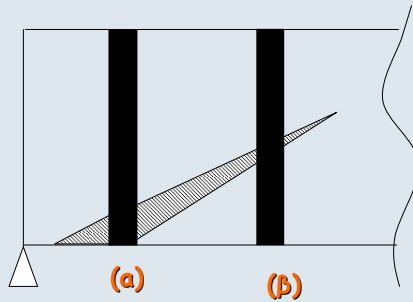
Ανεπάρκεια Οπλισμού Διάτμησης ($V_{sd} > V_{Rd3}$)

- Με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος
- Με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα ή ΙΟΠ



Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης:
 (α), (β) "κλειστή" ενίσχυση, (γ), (δ), (ε), (στ) "ανοικτή" ενίσχυση με αγκυρωμένα άκρα & (ζ) "ανοικτή" ενίσχυση αποδεκτή κατά παρέκκλιση

Διατμητική Ενίσχυση με ΙΟΠ



- Η τάση στις ίνες εξαρτάται από το εύρος της ρωγμής που γεφυρώνουν.
 - Δεν υπάρχει ανακατανομή της έντασης
 - Αστοχούν οι ίνες στη θέση (α) πριν καλά-καλά ενεργοποιηθούν οι ίνες στην θέση (β)
- ➔ Μέση τιμή αντοχής $\approx \frac{1}{2} \max$ Αντοχής ➔ $k_v = 0,5$

Περίσφιγξη με Μεταλλικό Κλωβό



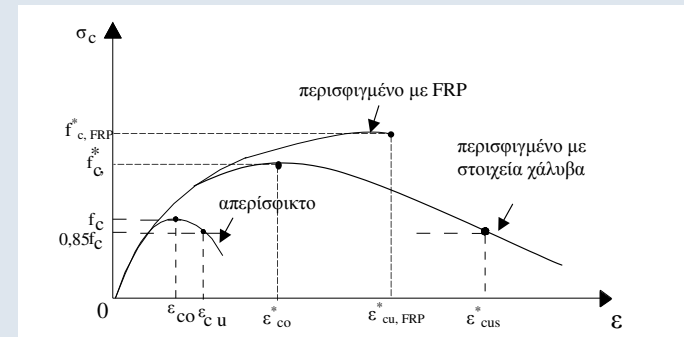
Περίσφιξη με ΙΟΠ



53



54



Χαλύβδινη περίσφιξη

$$\epsilon_{cu}^* = 0,0035 + 0,1\alpha_w \omega_w$$

Περίσφιξη ΙΟΠ με ίνες άνθρακος

$$\epsilon_{cu}^* = 0,0035 (f_c^* : f_c)^2$$

Περίσφιξη ΙΟΠ με ίνες γυαλιού

$$\epsilon_{cu}^* = 0,007 (f_c^* : f_c)^2$$

όπου $f_c^* = (1,125 + 1,25\alpha_w \omega_w) f_c$

56

Απαιτούμενος Οπλισμός Περίσφιξης - Αύξηση Πλαστιμότητας

Απαίτηση Στοχευόμενου q :

- Υπολογίζεται ο απαιτούμενος δείκτης συμπεριφοράς $q_{\mu} = q/q_0$ (q_0 παράγοντας υπεραντοχής δομήματος κατά EC8)
- Υπολογίζεται ο απαιτούμενος δείκτης πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων:

$$\mu_d = \begin{cases} q_{\mu} & \text{όταν } T > T_2 \\ 1 + \frac{T_2}{T} (q_{\mu} - 1) & \text{όταν } T < T_2 \end{cases}$$

- Υπολογίζεται η απαιτούμενη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας σε όρους καμπυλότητας : $(\mu_d - 1) : (\mu_{1/r} - 1) = 3$
- Υπολογίζεται η απαιτούμενη μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση σκυροδέματος: $\epsilon_{cu}^* = 2,2 \cdot \mu_{1/r} \cdot \epsilon_{sy} \cdot \nu$

Ογκομετρικό μηχανικό ποσοστό περίσφιξης ω_w :

Χαλύβδινη Περίσφιξη: $\epsilon_{cu}^* = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_w$

Περίσφιξη με CFRP: $\epsilon_{cu}^* = 0,0035 (f_c^* : f_c)^2$ με $f_c^* = (1,125 + 1,25 \cdot \alpha \cdot \omega_w) f_c$

Περίσφιξη με GFRP: $\epsilon_{cu}^* = 0,007 (f_c^* : f_c)^2$

57

Απαιτούμενος Οπλισμός Περίσφιξης - Αύξηση Πλαστιμότητας

Απαίτηση Στοχευόμενου m :

Ομοίως με δείκτη συμπεριφοράς q , μόνο που το μ_d αντικαθιστάται με $m_{\text{απ}}$.

Απαίτηση Επιθυμητής Ικανότητας Γωνίας Στροφής Χορδής θ_{μ} :

Υπολογίζεται η $\mu_{1/r}$ μέσω αξιόπιστων συσχετισμών με τη μ_{θ}

$$\theta_{\mu, \text{απ}} = \mu_{\theta, \text{απ}} \cdot \theta_y$$

Όπου η θ_y :

Για δοκούς ή υποστυλώματα

Για τοιχώματα

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_y z}{3} + 0,0013 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad \theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_y z}{3} + 0,002 \left(1 - 0,125 \frac{L_s}{h} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8 \sqrt{f_c}}$$

Η συσχέτιση των μ_{θ} και μ_d γίνεται μέσω των σχέσεων:

- $\mu_{\theta} = \mu_d$ μη σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφων
- $\mu_{\theta} = \mu_d \frac{H_{\text{tot}}}{H_{\text{οπ}}}$ πιθανός σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού σε όροφο

$$\mu_{1/r, \text{απ}} = 3\mu_{d, \text{απ}} - 2 \quad \rightarrow \quad \epsilon_{cu, \text{απ}}^* \quad \rightarrow \quad \omega_{w, \text{απ}}$$

58

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία



59

Επισκευή με ρητινενέσεις



CEA, Sacley

60

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

Προσθήκη επικολλητών ελασμάτων από χάλυβα



61

Ενίσχυση κόμβων με ΙΟΤ



CEA, Sacley

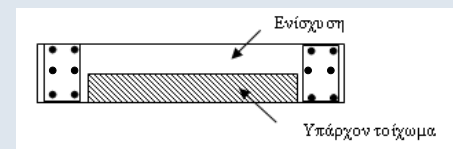
62



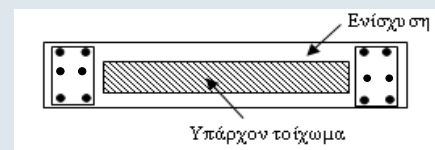
CEA, Sacley

Ενίσχυση Τοιχωμάτων

- Αποκατάσταση Ανεπαρκών Αναμονών Όπως και στα υποστυλώματα
- Αύξηση Φέρουσας Ικανότητας Έναντι Κάμψης
 - ✓ Προσθήκη υποστυλωμάτων στα άκρα
 - ✓ Μονόπλευρη ενίσχυση και προσθήκη υποστυλωμάτων



- ✓ Ολόπλευρος κλειστός μανδύας (συνιστάται)



64

Ενίσχυση Τοιχωμάτων

- **Αύξηση Φέρουσας Ικανότητας Έναντι Τέμνουσας**
 - ✓ Ανεπάρκεια λόγω λοξής θλίψης κορμού
 - ✓ Προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος ή μανδύα
 - ✓ Ανεπάρκεια οπλισμού διάτμησης
 - ✓ Προσθήκη Εξωτερικών στοιχείων χάλυβα ή ΙΟΠ ή μανδύας
- **Ολίσθηση Τοιχώματος**
 - ✓ Προσθήκη κατακόρυφων μεταλλικών στοιχείων εκατέρωθεν του αρμού
 - ✓ Τοπικός μανδύας
- **Αύξηση Πλαστιμότητας**
(Δεν προσφέρονται οι μέθοδοι περίσφιγξης)
 - ✓ **Αύξηση διατομής θλιβόμενου πέλματος**
με προσθήκη εγκάρσιου τοιχώματος
με τοπική διεύρυνση του άκρου
 - ✓ Τοποθέτηση εγκαρσίων διαμπερών σφικτήρων

65

Εμφάνωση Πλαισίων

- Σημαντική Αύξηση της Δυσκαμψίας και της Σεισμικής αντίστασης του φορέα

Μορφές:

- Προσθήκη Απλού "Γεμίματος"
- Τοιχωματοποίηση Πλαισίου
- Ενίσχυση Υφισταμένων Τοίχων Πληρώσεως

Κρίσιμα σημεία της μελέτης

- Έλεγχος επάρκειας μεταφοράς τέμνουσας στις στάθμες των ορόφων
- Μικρή Αξονική → Μειωμένη Ενεργός Δυσκαμψία, Μεγάλη Στροφή στο Θεμέλιο

Κατασκευαστικά θέματα

- Δυσκολία σκυροδέτισης (ανεπαρκής πρόσβαση στην κορυφή)
- Αντιμετώπιση συστολής ξήρανσης

66

Προσθήκη Απλού "Γεμίματος"

- Τοιχώματα από: α) Άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα
(επί τόπου κατασκευαζόμενα ή προκατασκευασμένα)
β) Άοπλη ή οπλισμένη τοιχοποιία
- Δεν λαμβάνονται ειδικά μέτρα σύνδεσης του γεμίματος με το πλαίσιο
- Προσομοίωση του γεμίματος μέσω διαγώνιου θλιπτήρα
- Χαμηλή πλαστιμότητα. Συνιστάται $m \leq 1,5$

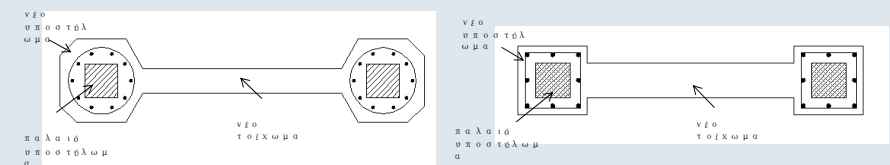
Προσοχή

Πρόσθετες Τέμνουσες σε Δοκούς και Υποστυλώματα

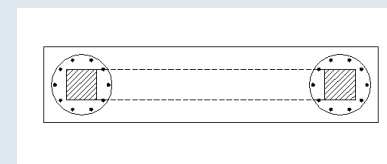
67

Τοιχωματοποίηση Πλαισίου

Εμφανώσεις πάχους μικρότερου ή ίσου με το πλάτος της δοκού

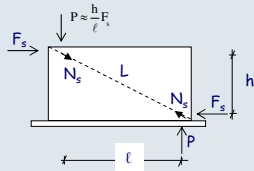


Εμφανώσεις πάχους μεγαλύτερου του πλάτους της δοκού



68

Τοιχωματοποίηση Πλαισίου Προσομοίωμα Ελέγχου Επάρκειας



Ασκούμενη Τένουσα στο
Τοίχωμα:

$$F_s = V_s - \frac{2V_{Rc}}{\gamma_{sd}}$$

Έλεγχος Αντίστασης Φατνώματος:

- Θλίψη Διαγώνιου Θλιπτήρα:

$$N_s = \frac{L}{\ell} F_s \quad N_R = \lambda f'_c t_w b_w$$

$$f'_c = 0,6 f_c$$

b_w = ενεργό πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα
 $\lambda \approx 0,4$, συντελεστής απομένουσας απόκρισης
του διαγώνιου θλιπτήρα μετά την
υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσής του

- Διάτμηση κατά Μήκος των Διεπιφανειών:

$$F_{\beta\lambda...οριζ.} = F_s - \frac{\ell}{L} N_R > \frac{1}{2} n_v D_u$$

$$F_{\beta\lambda...κατ.} = \frac{h}{\ell} F_{\beta\lambda...οριζ.} > \frac{1}{2} n_v D_u$$

Ελάχιστη ποσότητα βλήτρων 3Φ16 ανά μέτρο της περιμέτρου και ρ_{min}

Ενίσχυση Υφιστάμενων Τοίχων Πληρώσεως

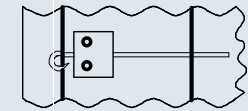
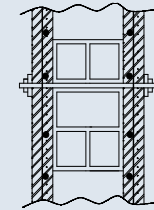
- Με αμφίπλευρες οπλισμένες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος χωρίς υποχρεωτική αγκύρωση στο περιβάλλον πλαισίωμα.

Ελάχιστο πάχος στρώσης 50 mm

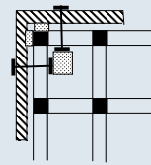
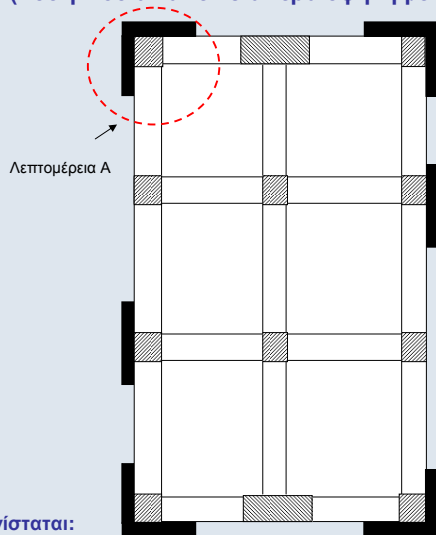
Μin $\rho_v = \rho_h = 0,005$

Εξασφάλιση της από κοινού λειτουργίας υφιστάμενης τοιχοποιίας με τις δύο στρώσεις ενίσχυσης μέσω διαμετρών κοχλωτών συνδέσμων:

- Αντίσταση ενισχυμένου τοίχου = Αντίσταση λοξού θλιπτήρα



ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΩΝ ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ Η ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΩΝ (Λύση που απαιτεί ιδιαίτερα υψηλή μελετητική και κατασκευαστική εμπειρία)



Συνιστώμενη θέση τοιχωμάτων
Ενδεικτική διάταξη συνδέσμων

Συνίσταται:

- (α) Ο συνδυασμός της θεμελίωσης των νέων τοιχωμάτων με τις υφιστάμενες θεμελιώσεις
- (β) Η κατά το δυνατόν αύξηση της αξονικής δύναμης που θα αναλάβουν τα νέα τοιχώματα κατά τον σεισμό

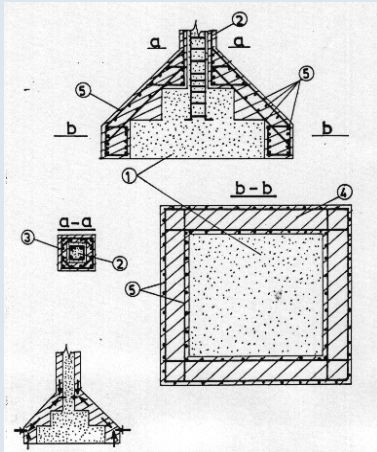
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

- Ανεπάρκεια επιφάνειας έδρασης
- Ανεπαρκές ύψος

➔ Αύξηση διαστάσεων
Συνδυασμός με ενίσχυση κατακόρυφων μελών



$$\sum A_{sw} \geq \frac{P_n \tan \alpha}{f_{ywd}}$$

Ενδεικτική ενίσχυση πεδίων με την τεχνική των μανδουλών, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου

ΑΣΚΗΣΗ

Επεμβάσεις με Στόχο την Αύξηση της Τοπικής Πλαστιμότητας

ΖΗΤΕΙΤΑΙ:

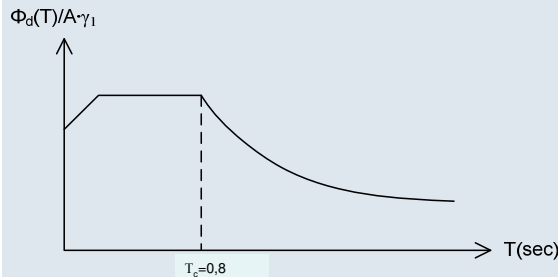
Να προσδιοριστεί η απαιτούμενη περίσφιξη στο πλέον εύτρωτο πρωτεύον υποστύλωμα της κατασκευής που να ικανοποιεί την απαίτηση για συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς $q=3,0$.
(Για τον ορισμό του πλέον εύτρωτου δομικού στοιχείου βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.3(iii))

ΔΙΝΕΤΑΙ:

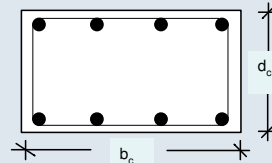
- Ορθογωνικό υποστύλωμα ύψους: $h_{καθ} = 3m$
- Διατομή: $dc = 500mm, bc = 350mm$
- Επικάλυψη σπλισμού: $c = 25mm$
- Σκυροδέματος με: $f_{ctm} = 17MPa$ και $f_{ck} = 14MPa$
- Ο χάλυβας αναγνωρίστηκε: S400
- Αξονική δύναμη: $N_d = -800 kN$
- Παράγοντας υπεραντοχής: $q_u = 1,2$

Για την επιλογή του παράγοντα υπεραντοχής q_u βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ.4, Παράρτημα 4.2 και EC8 § 5.2.2.2

Η ιδιοπερίοδος του κτιρίου να θεωρηθεί $T = 0,33 sec$



Σχήμα 1: Φάσμα σχεδιασμού



Σχήμα 2: Διαστάσεις διατομής

ΛΥΣΗ

Έλεγχος ικανότητας επιβολής περίσφιξης

Ο λόγος πλευρών του υποστυλώματος είναι : $d_c/b_c = 500/350 \approx 1,4 < 2$

Η τεχνική είναι ευχερής σε στοιχεία με κυκλική διατομή ή ορθογωνική διατομή σχετικά μικρών διαστάσεων, με λόγο πλευρών που δεν ξεπερνά το 2:1, ΚΑΝ.ΕΠΕ., § 8.2.3(α).

Ο απαιτούμενος δείκτης συμπεριφοράς λόγω πλαστιμότητας θα είναι

(ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.3δ (i)) $q_n = q \cdot q_0 = 3,0 \cdot 1,2 = 2,5$.

Ο απαιτούμενος δείκτης πλαστιμότητας μ_δ του δομήματος σε όρους μετακινήσεων, για $T = 0,33 sec < T_c = 0,8 sec$, είναι (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.17)):

$$\mu_\delta = 1 + \frac{T_c}{T} (q_n - 1) = 1 + \frac{0,8}{0,33} (2,5 - 1) = 4,6$$

Για το πλέον εύτρωτο πρωτεύον στοιχείο της κατασκευής απαιτείται $\mu_{\delta i} = \mu_\delta = 4,6$

Η απαιτούμενη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων $\mu_{1/r}$ για την κρίσιμη διατομή του υποστυλώματος υπολογίζεται (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.3δ (iv)):

$$(\mu_{1/r} - 1) / (\mu_{\delta i} - 1) = 3 \Rightarrow \mu_{1/r} = 3\mu_{\delta i} - 2 = (3 \cdot 4,6) - 2 = 11,8$$

Η απαιτούμενη τιμή μέγιστης θλιπτικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος είναι (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.11)):

$$\epsilon_{cu,c} = 2,2 \cdot \mu_{1/r} \cdot \epsilon_{sy} \cdot \nu = 2,2 \cdot 11,8 \cdot \frac{400 \cdot 1,15}{200.000} \cdot 0,27 \approx 0,016$$

για ανηγμένη αξονική θλιπτική δύναμη υπολογιζόμενη με τη μέση τιμή της ονομαστικής αντοχής του σκυροδέματος ίση με:

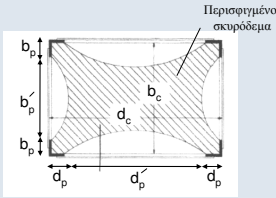
$$\nu = 800 / (0,5 \cdot 0,35 \cdot 17 \cdot 10^3) = 0,27 > 0,2$$

Οι τιμές ϵ_{sy} και ν υπολογίζονται με βάση τις μέσες αντοχές χάλυβα και σκυροδέματος. Λαμβάνεται $f_{ym} = 1,15 f_{yk}$.

Εφαρμογή ενίσχυσης

- Χαλύβδινη περίσφιγξη (μεταλλικός κλωβός)

Η εφαρμογή του μεταλλικού κλωβού ακολουθεί τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. της §8.2.3, §6.2.2 και §6.2.2.



$$A_c = b_c \cdot d_c = 0,35 \cdot 0,5 = 0,175 \text{ m}^2 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 6.2.2β})$$

Για το μεταλλικό κλωβό θα χρησιμοποιηθούν 4 γωνιακά L50x50x5mm που θα τοποθετηθούν σε όλο το ύψος του υποστρώματος και ελάσματα ανά αποστάσεις s όλα ποιότητας χάλυβα Fe360 ($f_y = 235 \text{ N/mm}^2$)

Οπότε $b_p = d_p = 50 \text{ mm}$:

$$\rho = \frac{2b_p}{b_c} = \frac{2 \cdot 50}{350} \cong 0,286 \quad \gamma = \frac{2d_p}{d_c} = \frac{2 \cdot 50}{500} \cong 0,2 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 6.2.2β})$$

$$a_n = 1 - \frac{1}{3 \cdot 0,175} \left[0,35^2 (1 - 0,286)^2 + 0,5^2 (1 - 0,2)^2 \right] = \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. ε ξ ι σ ω σ η (6.13)})$$

$$= 1 - \frac{1}{0,525} (0,06245 + 0,16) \rightarrow a_n \cong 0,576$$

$$\alpha = a_n \cdot \alpha_s = 0,576 \cdot 0,9 \rightarrow \alpha = 0,5184 \quad (\alpha_s \text{ από ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 6.2.2β})$$

77

Υπολογίζεται το ω_{wd} :

$$\epsilon_{cu,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} \Rightarrow \omega_{wd} = \frac{0,016 - 0,0035}{0,1 \cdot 0,5184} \cong 0,24 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. ε ξ ι σ ω σ η (8.18)})$$

$$\omega_{wd} = 2\rho_{\min} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (\text{ΕΚΩΣ 2000 § 18.4.4.2})$$

όπου

$$\rho_{\min} = \min(\rho_b, \rho_h) = \min\left(\frac{n_b A_{sw}^{ok}}{b \cdot s}, \frac{n_h A_{sw}^{ok}}{h \cdot s}\right) = \frac{A_{sw}^{ok}}{s} \min\left(\frac{n_b}{b}, \frac{n_h}{h}\right) = \min\left(\frac{2}{0,5}, \frac{2}{0,35}\right) = \frac{A_{sw}^{ok}}{s} \times 4 (\text{m}^{-1}) \rightarrow 2 \times \left(\frac{A_{sw}^{ok}}{s} \times 4\right) \frac{235,25}{14 \times 1,15} = 0,24$$

$$\text{Έτσι: } \frac{A_{sw}^{ok}}{s} = \frac{0,24 \cdot 14 \times 1,15}{2 \times 14 \cdot 235 \times 1,5} \cdot 10^3 \cong 1,37 \text{ mm}$$

Έστω ελάσματα πλάτους 25mm και πάχους 5mm

$$\text{Οι αποστάσεις προκύπτουν: } s = \frac{A_{sw}}{A_{sw}^{ok}/s} = \frac{25 \times 5}{1,37} = \frac{125}{1,37} \cong 91 \text{ mm} \leq 0,5 \cdot b_c = 0,5 \cdot 350 = 175 \text{ mm}$$

Από ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.3 στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού αρκεί η ικανοποίηση της σχέσης $s \leq 0,5b_c$

Επομένως επιλέγονται να τοποθετηθούν οριζόντια χαλύβδινα ελάσματα $b_w \times t_w = 25 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ ανά 90 mm καθ' ύψος του υποστρώματος.

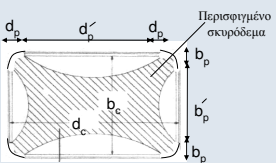
Προφανώς μπορούν να τοποθετηθούν και ελάσματα μεγαλύτερου πάχους π.χ. $25 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ αφού τότε: $s = \frac{25 \times 7}{1,37} = \frac{175}{1,37} \cong 128 \text{ mm} \leq 0,5 \cdot b_c = 0,5 \cdot 350 = 175 \text{ mm}$

Τελικά τοποθετούνται ελάσματα 25mm x 7mm ανά 125mm

78

Περίσφιγξη με επικολητά υφάσματα ΙΟΠ άνθρακα

Ακολουθούνται οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.3(α)(δ) και § 6.2.3



Γίνεται εξομάλυνση γωνιών σε μήκος $b_p = d_p = 50 \text{ mm}$
 $a_n = 0,576$ όπως και προηγουμένως έχει προκύψει, όμως
 $\alpha_s = 1,0$ επειδή το υφάσμα είναι συνεχές
 $\epsilon_{cu,c} = 0,0035 (f_{c,c} / f_c)^2$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. ε ξ ι σ ω σ η (8.19))
 Θα χρησιμοποιηθούν υφάσματα ινοπλισμένων πολυμερών με ίνες άνθρακα με $E_j = 231 \text{ GPa}$, $f_u = 3800 \text{ MPa}$

$$f_{c,c}^2 = \epsilon_{cu,c} \times f_c^2 / 0,0035 \rightarrow f_{c,c}^2 = 0,016 \times 14^2 / 0,0035 \approx 896 \rightarrow f_{c,c} = 29,9 \text{ MPa}$$

όπου

$$f_{c,c} = (1,125 + 1,25\alpha \cdot \omega_{wd}) f_c \rightarrow 1,25 \cdot 0,576 \cdot \omega_{wd} = \frac{29,9}{14} - 1,125 = 1,01 \rightarrow \omega_{wd} = 1,40 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. ε ξ ι σ ω σ η (6.21)})$$

$$f_{jd} = \frac{f_u}{1,2} \quad (\text{Λαμβάνεται } \gamma_m = 1,2)$$

οπότε:

Απαιτούμενο συνολικό πάχος υφάσματος ($t_{\text{ολ}}$):

$$t_{\text{ολ}} = \frac{A_{sw}^{ok}}{s} = \frac{\omega_{wd}}{2 \min\left(\frac{n_b}{b}, \frac{n_h}{h}\right)} \frac{f_{cd}}{f_{jd}} = \frac{\omega_{wd}}{2 \min\left(\frac{2}{0,35}, \frac{2}{0,5}\right)} \frac{f_{cd}}{f_{jd}} = \frac{1,40 \cdot 14 \times 1,2}{2 \times 4 \cdot 3800 \times 1,5} \times 10^3 \cong 0,516$$

79

Μπορούν να τεθούν 3 στρώσεις υφάσματος με πάχος ινών 0,17 mm.

Για την σχέση πάχους $t_{\text{ολ}}$ με το ω_w χρησιμοποιείται ο τύπος του ΕΚΩΣ 2000 (§ 18.4.4.2) όπου αντί του f_y τίθεται η εφελκυστική αντοχή f_{jd} των ΙΟΠ εφόσον το πλήθος κ των στρώσεων ΙΟΠ είναι ≤ 3 . Διαφορετικά αν ήταν ≥ 4 θα ετίθετο: $f_{jd} = f_{jd} \psi$ όπου $\psi = \kappa^{-1/4}$ (βλ. § 6.2.3).

Έτσι εάν επιλεγεί υφάσμα με πάχος ινών 0,12mm θα απαιτούνταν πάνω από 3 στρώσεις, άρα: $t_{\text{ολ}} = 0,516 / 7^{1/4} = 0,84 \text{ mm}$. Άρα το πλήθος των στρώσεων θα είναι $0,84 / 0,12 = 7$ στρώσεις.

ΑΣΚΗΣΗ 2

ΖΗΤΕΙΤΑΙ:

Να προσδιοριστεί η απαιτούμενη περίσφιγξη του υποστρώματος της Άσκησης 1 με απαίτηση τοπικού δείκτη συμπεριφοράς $m = 4,6$.

ΛΥΣΗ

Ισχύει: $m_{\text{απ.}} = \mu_{\delta, \text{απ.}}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.3(ε))

Επομένως $\mu_{\delta i} = 4,6$. Ισχύουν τα αποτελέσματα της Άσκησης 1

ΑΣΚΗΣΗ 3

ΖΗΤΕΙΤΑΙ:

Να προσδιοριστεί η απαιτούμενη περίσφιγξη του πλέον εύρωτου υποστρώματος περίσφιγξης της Άσκησης 1 με απαίτηση γωνίας στροφής στην αστοχία $\theta_c = \theta_{\text{υ,απαιτ.}}$

Να θεωρηθεί ότι το κτίριο είναι πενταόροφο με ισούψεις ορόφους και ότι είναι πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφου στο ισόγειο.

ΛΥΣΗ

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (\text{Σχέση Σ.2 § 7.2.2 ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

$$\text{Επομένως } \mu_{\theta, \text{απ.}} = \frac{\theta_{\text{υ,απ.}}}{\theta_y} \quad \text{Ισχύει } \mu_{\theta} = \frac{H_{\text{ορ.}}}{H_{\text{τοτ}}} \mu_{\theta} = \frac{1}{5} \mu_{\theta} \quad (\text{Σχέση 8 § 7.2.6 ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

Επομένως $\mu_{\delta, \text{απ.}} = (1/5) \mu_{\theta, \text{απ.}}$

Η Άσκηση επιλύεται όπως και η 1^η Άσκηση Θέτοντας $\mu_{\delta} = \mu_{\delta, \text{απ.}}$ αντί $\mu_{\theta} = 4,6$.

80