



Διαστασιολόγηση Επεμβάσεων

➤ Στέφανος Δρίτσος

Καθηγητής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Σ. Η. Δ Ρ

ΟΑΣΠ - ΤΕΕ / Τμ. Πελοποννήσου
Κόρινθος, Ναύπλιο και Καβάλα 12/2011

1



2



Βλάβες σε Δοκίμιο με Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα και Βλήτρα

3



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

4



5

Έλεγχος Συνεργασίας στη Διεπιφάνεια

Ανίσωση Ασφαλείας

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

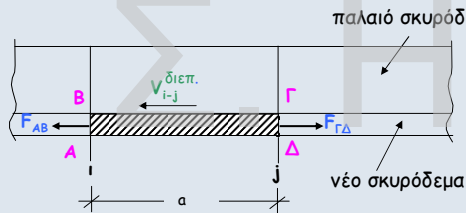
Αντίσταση Διεπιφάνειας
(σε θλίψη, σε εφελκυσμό, διατμητική)
(βλ. Κεφ. 6)

Εντατικά Μεγέθη
που δρουν στη διεπιφάνεια

- Ελάχιστα και Μέγιστα

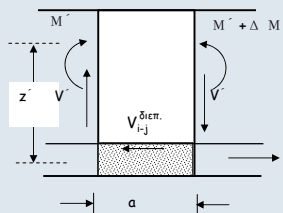
6

Έλεγχος Διεπιφανειών



$$V_{i-j}^{διεπ.,BG} = F_{AB} - F_{GD}$$

ή



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

$M', V' =$ Ροπή, Τέμνουσα λόγω δράσεων μετά την επέμβαση

$$V_{i-j}^{διεπ.} \leq \frac{V_{i-j}^{διεπ.}}{R_d}$$

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

IOK ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
(ΠΕΤΕΠ)

Εργασίες Αποκατάστασης Ζημιών Κατασκευών
από τον Σεισμό και λοιπούς Βλαπτικούς Παράγοντες

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
Αθήνα 2008

8



Εκτράχυνση με Αμμοβολή

9



Προετοιμασία Επιφάνειας με Αεροματσάκονο

10

ΜΑΝΔΥΕΣ Ο.Σ.



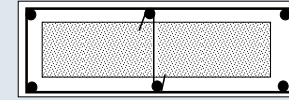
11



12



13

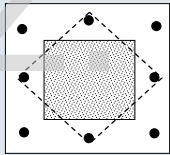


Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε επιμήκεις διατομές

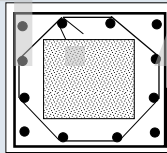
14

Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε τετραγωνικές διατομές

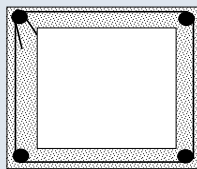
ΟΧΙ



ΝΑΙ



γωνία 45°



15



Άνοιγμα Συνδετήρων

16



Ηλεκτροσυγκόλληση Άκρων Συνδετήρων Μανδύα 17

Θλίβουσα Δύναμη Μανδύα

$$F_{cm} = \underbrace{4u_o \mu}_{\text{Τριβή}} f_{ctm} + \underbrace{10n_b}_{\text{Αναρτήρες}} \frac{A_{sb}}{h_s} + \underbrace{n_D}_{\text{Βλήτρα}} F_{uD}$$

Τριβή Αναρτήρες
“πάπιες”

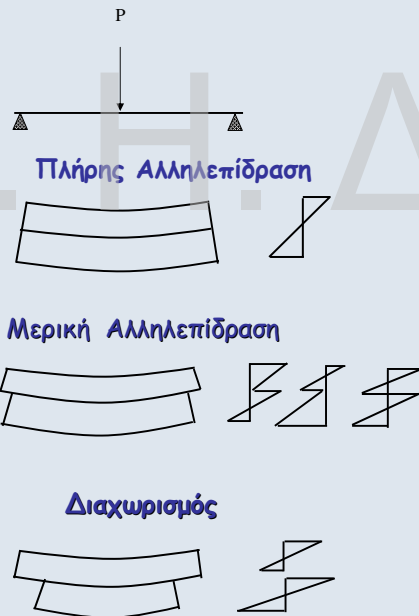
Ελάχιστοι Συνδετήρες Μανδύα

ΕΚΩΣ 2000

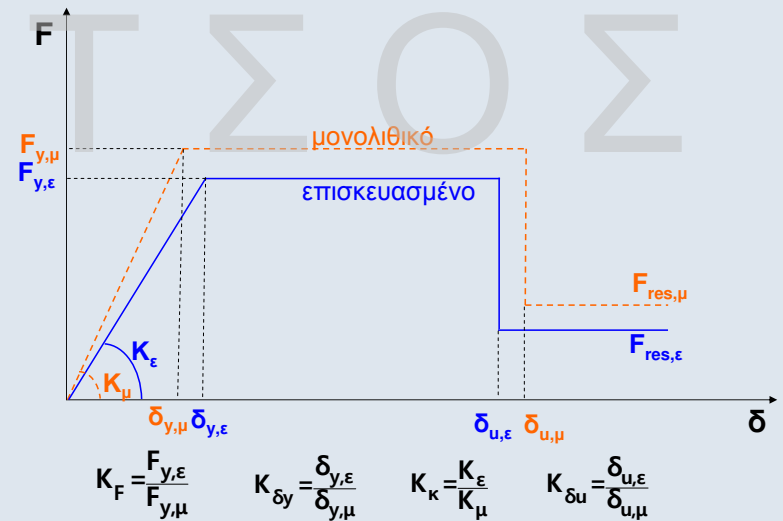
Και $\frac{A_{sw}}{a_{sw}} \geq \frac{t \cdot f_{ctm}}{f_{ywd}}$, δηλ. $\alpha_{sw} \leq 0.8 \left(\frac{f_{ywd}}{f_{ctm}} \right) \cdot \frac{d_h^2}{t}$

Προσεγγιστική Μέθοδος Μονολιθικής Συμπεριφοράς

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



Καμπύλες Εντατικού Μεγέθους-Παραμόρφωσης με Επισκευασμένα Στοιχεία



Συντελεστές Μονολιθικότητας

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

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

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

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

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

Προσεγγιστική Μέθοδος Μονολιθικής Συμπεριφοράς

Αντοχή, Πλαστιμότητα, Δυσκαμψία, Ικανότητα Παραμόρφωσης Ενισχυμένου Στοιχείου = k_i (Αντοχή, Πλαστιμότητα, Δυσκαμψία, Ικανότητα Παραμόρφωσης Μονολιθικού Στοιχείου)

21

Προσθήκη Νέας Στρώσης Σκυροδέματος

Εκτίμηση Ικανότητας

- Με συνεκτίμηση της ολίσθησης
- Προσεγγιστικά με χρήση συντελεστών μονολιθικότητας

Για πλάκες:

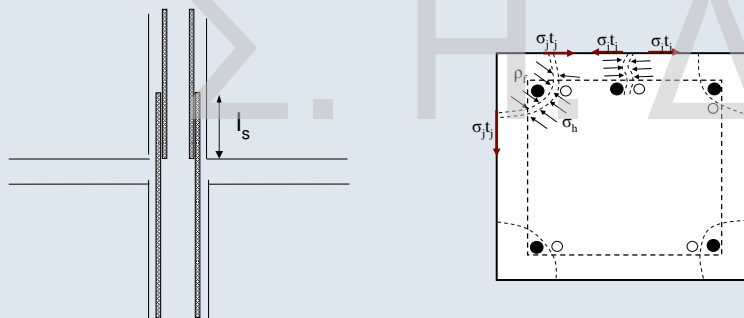
$$k_k = 0,85 \quad k_r = 0,95 \quad k_{\theta y} = 1,15 \quad k_{\theta u} = 0,85$$

Για λοιπά στοιχεία:

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

22

ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΑ ΜΗΚΗ ΜΑΤΙΣΜΕΝΩΝ ΡΑΒΔΩΝ



$$T_{απ} = (1-\lambda_s) A_b f_s$$

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

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

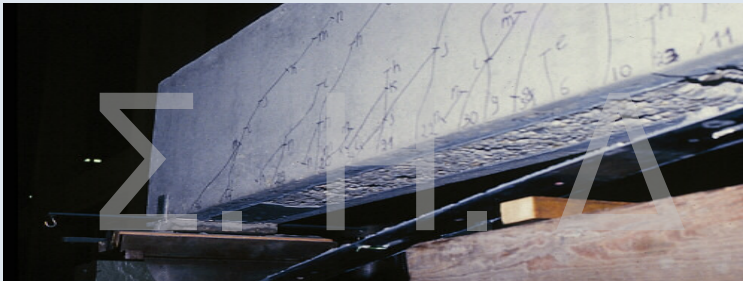
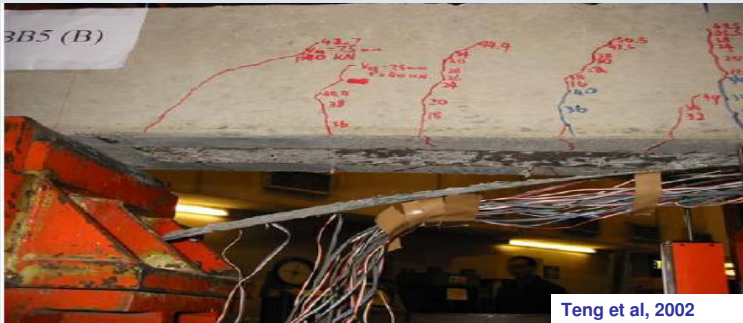
$$t_{j,απ} = \frac{(1-\lambda_s) A_b f_s}{\beta \mu l_s \sigma_j}$$

23

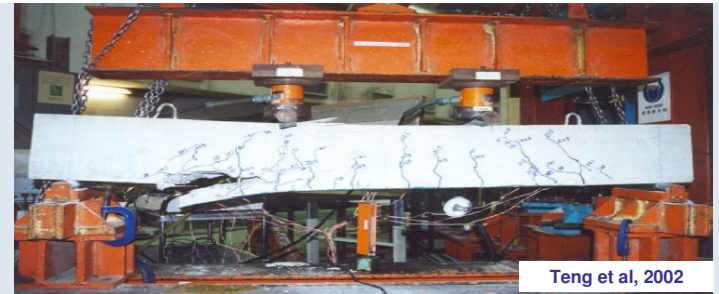
Καμπτική Ενίσχυση

Building Klinkerstr, Amsterdam





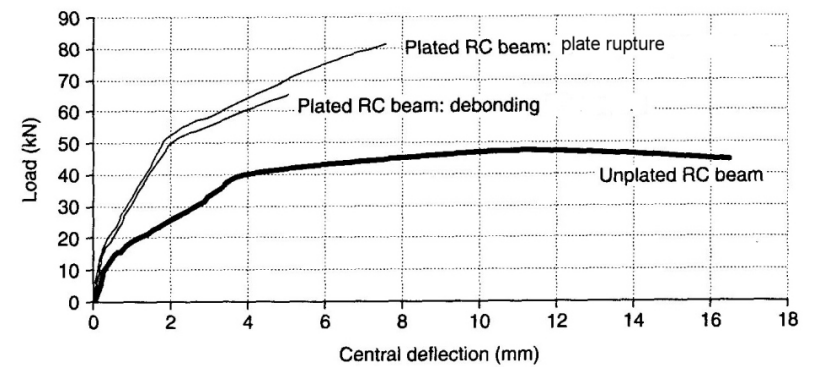
Αναλαμβανόμενη δύναμη επικολλητών φύλλων συναρτήσεως του μήκους αγκύρωσης



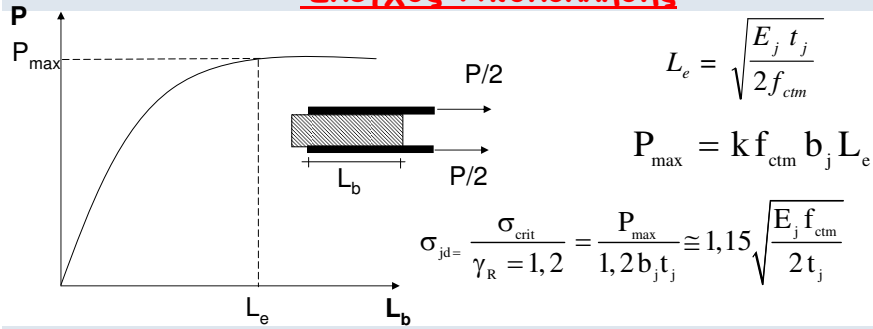
Απόσχιση επικάλυψης σκυροδέματος στο πέρας του σύνθετου υλικού



Διάγραμμα Φορτίου-Βύθισης για Δοκούς Ενισχυμένες με Επικολλητά Ελάσματα



Έλεγχος Αποκόλλησης



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

$$f_{ctm} \cong 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,316^{2/3} = 1,92 \text{ MPa} \text{ και}$$

$$\sigma_{j,crit} = 1,15 \sqrt{\frac{200 \times 1,92 \times 10^3}{2}} = 504 \text{ MPa}$$

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

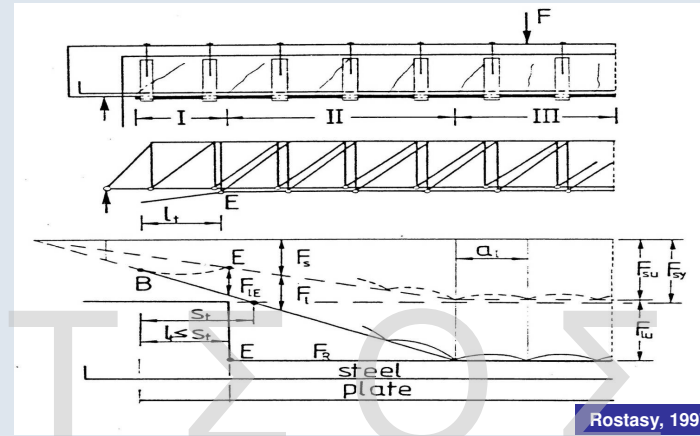
$$t_j \uparrow \Rightarrow \sigma_{j,crit} \downarrow$$

29

Έλεγχος Απόσχισης Άκρου

$$V_{sd,απολ} \leq V_{cd,απολ}$$

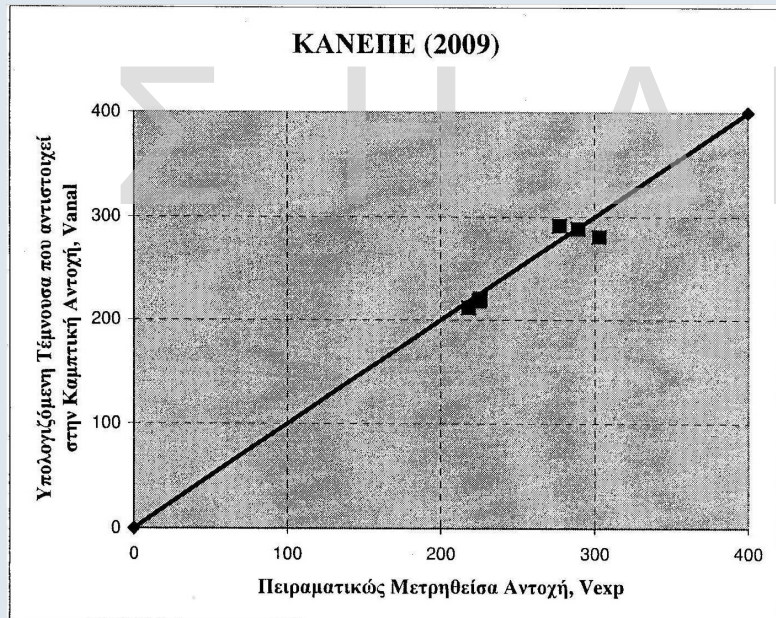
$$M_{sd,απολ} \leq 0,67 M_{Rd,απολ}$$



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

30

ΚΑΝΕΠΕ (2009)

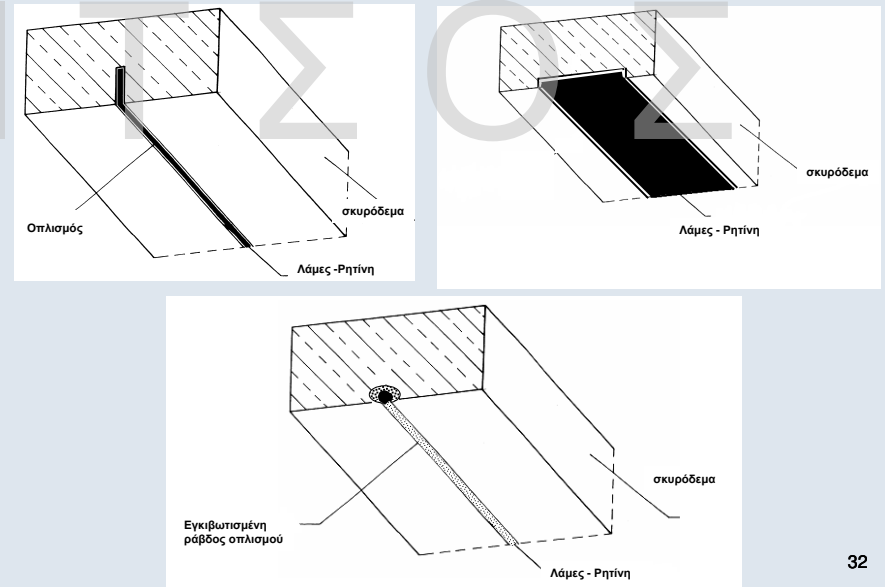


Μιτολίδης, Διδακτορική Διατριβή 2009, ΑΠΘ.

31

Καμπτική Ενίσχυση με Οπλισμούς εντός "Αυλακιών"

(Δεν καλύπτεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

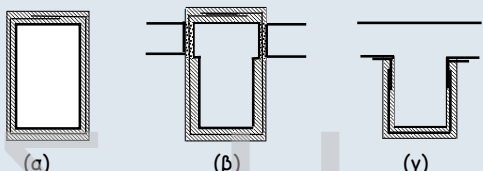


32

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
 - κλειστές μανδύας (συνιστάται)
 - τρίπλευρη ενίσχυση



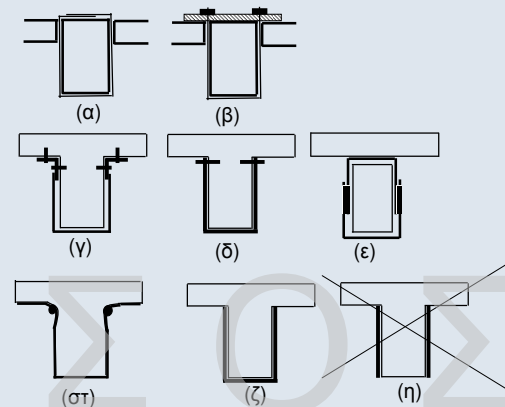
Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας σε λοξή θλίψη:
 (α), (β) Κλειστές ενισχύσεις, (γ) Ανοικτές ενισχύσεις

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

33

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

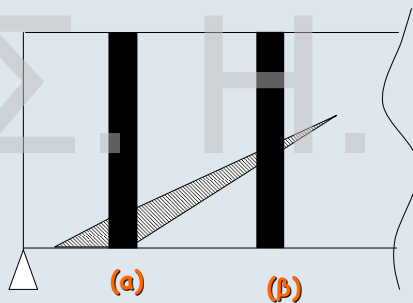
- Με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος
- Με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα ή ΙΟΠ



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

34

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 ➔ $k_v = 0,5$

35

Περίσφιγξη με Μεταλλικό Κλωβό



36

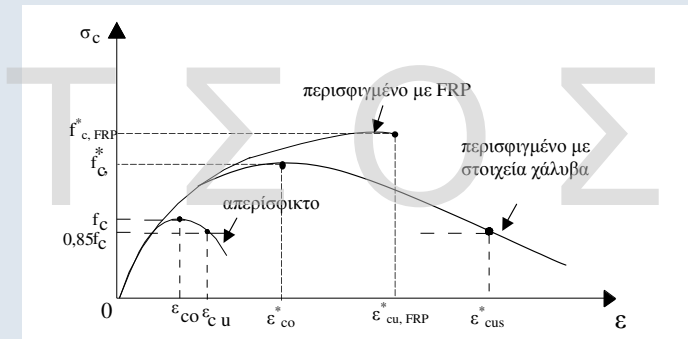
Περίσφιξη με ΙΟΠ



37



38



Χαλύβδινη περίσφιξη

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

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

40

Απαιτούμενος Οπλισμός Περίσφιξης - Αύξηση Πλαστιμότητας

Απαίτηση Στοχευόμενου q :

- Υπολογίζεται ο απαιτούμενος δείκτης συμπεριφοράς $q_u = q/q_0$ (q_0 παράγοντας υπεραντοχής δομήματος κατά EC8)
- Υπολογίζεται ο απαιτούμενος δείκτης πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων:

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

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

41

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_u :

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

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

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

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

42

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία



43

Επισκευή με ρητινενέσεις



CEA, Sacley

44

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

Προσθήκη επικολλητών ελασμάτων από χάλυβα



45

Ενίσχυση κόμβων με ΙΟΠ



CEA, Sacley

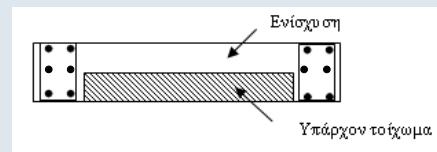
46



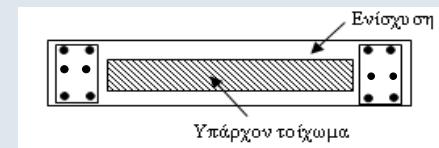
CEA, Sacley

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)



48

Ενίσχυση Τοιχωμάτων

- **Αύξηση Ξέρουσας 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 περισφιγξης)
 - ✓ **Αύξηση διατομής θλιβόμενου πέλματος** με προσθήκη εγκάρσιου τοιχώματος με τοπική διεύρυνση του άκρου
 - ✓ **Τοποθέτηση εγκαρσίων διαμπερών σφικτήρων**

49

Εμφάνιση 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

50

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 $m \leq 1,5$

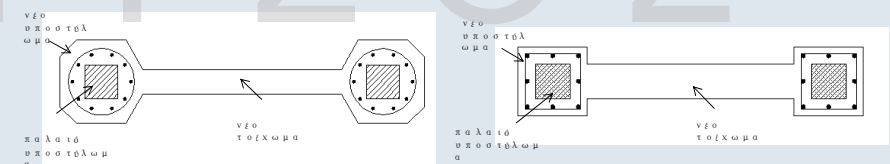
Προσοχή

Πρόσθετες Τέμνουσες σε Δοκούς και Υποστυλώματα

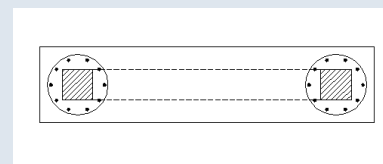
51

Τοιχωματοποίηση Πλαισίου

Εμφανώσεις πάχους μικρότερου ή ίσου με το πλάτος της δοκού

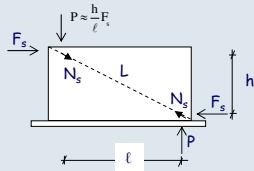


Εμφανώσεις πάχους μεγαλύτερου του πλάτους της δοκού



52

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:

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

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

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

53

Ενίσχυση Υφιστάμενων Τοίχων Πληρώσεως

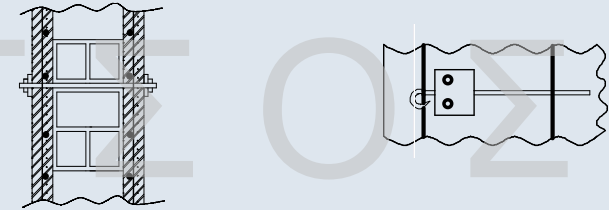
- Με αμφίπλευρες οπλισμένες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος χωρίς υποχρεωτική αγκύρωση στο περιβάλλον πλαισίωμα.

Ελάχιστο πάχος στρώσης 50 mm

Min $\rho_v = \rho_h = 0,005$

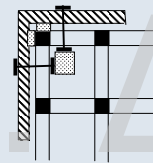
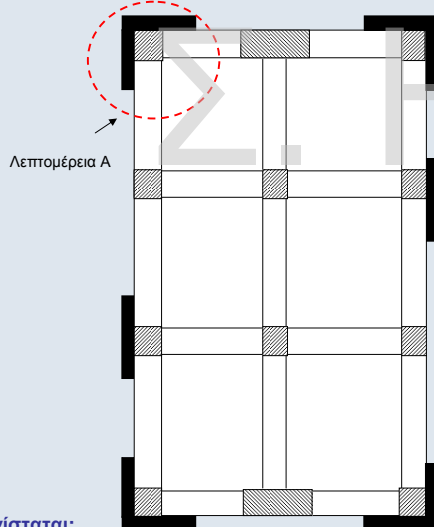
Εξασφάλιση της από κοινού λειτουργίας υφιστάμενης τοιχοποιίας με τις δύο στρώσεις ενίσχυσης μέσω διαμετρών κοχλωτών συνδέσμων:

- Αντίσταση ενισχυμένου τοίχου = Αντίσταση λοξού θλιπτήρα



54

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



Λεπτομέρεια Α- Κάτοψη

Συνιστώμενη θέση τοιχωμάτων
Ενδεικτική διάταξη συνδέσμων

Συνίσταται:

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

55

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



56

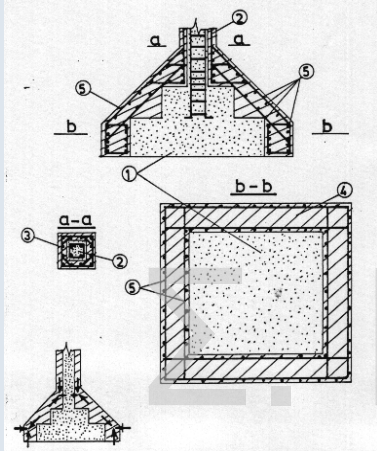
ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

- 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 μανδύων, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου

57

Ανάρτηση

www.episkeves.civil.upatras.gr

58

Σ. Η. Δ Ρ Ι Τ Σ Ο Σ