

Ενίσχυση γραμμικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με την τεχνική του μεταλλικού κλωβού

Ευάγγελος Αγ. Μανιαδής
Πολιτικός Μηχανικός Π.Π.
Μεταπτυχιακή ειδίκευση Δομοστατικός Ε.Μ.Π.
Ηράκλειο, Ελλάδα
emaniad@yahoo.gr

1.Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται παραδείγματα ενίσχυσης φορέων οπλισμένου σκυροδέματος με χρήση μεταλλικών στοιχείων σε τοπικό επίπεδο. Η ενίσχυση του φέροντος οργανισμού παλαιών κτισμάτων καθίσταται όλο και πιο επιτακτική, λόγω της ανάγκης επαναλειτουργίας και συμπίευσής τους με τους πλέον σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Επιπρόσθετα οι σύγχρονες κανονιστικές διατάξεις είναι πιο απαιτητικές, κυρίως στους ελέγχους διάτμησης και πλαστιμότητας. Η τεχνική που αναλύεται διεξοδικά και αφορά την ενίσχυση στοιχείων ο.σ. σε τοπικό επίπεδο μέλους είναι αυτή του μεταλλικού κλωβού. Μια αρκετά γνωστή τεχνική, η οποία είναι διαδεδομένη σε αρκετές σεισμογενείς χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ιαπωνία, Η.Π.Α., κ.τ.λ.) και δείχνει να είναι μια οικονομική και γρήγορη μέθοδος ενίσχυσης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η συνηθέστερη εφαρμογή του μεταλλικού κλωβού σε κάποιο γραμμικό στοιχείο αφορά την ενίσχυση του σε περίσφιξη, τέμνουσα και αξονική καταπόνηση και λιγότερο σε κάμψη. Με την παρούσα εργασία διερευνάται η εφαρμογή της τεχνικής αυτής στην αύξηση της ροπής αντοχής της ενισχυόμενης διατομής, σε σχέση με την εντατική κατάστασή του κατά την κατά την εφαρμογή της διαδικασίας. Τέλος παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικά έργα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας μεγάλος αριθμός κτιρίων στην χώρα μας έχει κατασκευαστεί με διατάξεις παλαιών κανονισμών, οι οποίοι όπως αποδείχτηκε δεν παρείχαν πλήρη αντισεισμική προστασία και κυρίως δεν έδιναν την δέουσα σημασία στον τρόπο αστοχίας των επιμέρους στοιχείων τους, ο οποίος θα πρέπει να είναι πλαστιμος. Στην πορεία του χρόνου συντάχθηκαν οι νέοι αντισεισμικοί κανονισμοί (μετά το 1985 και κυρίως μετά το 1992 και 2000), λαμβάνοντας περισσότερα μέτρα προκειμένου να θωρακιστούν αντισεισμικά οι κατασκευές, ενώ παράλληλα αυξήθηκε και το σεισμικό φορτίο σχεδιασμού που λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς μας. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την φθορά η οποία επέρχεται με την πάροδο του χρόνου οδηγούν στην επιτακτική ανάγκη για ενίσχυση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Εξάλλου για το λόγο αυτόν έχουν συνταχθεί και εξειδικευμένοι κανονισμοί επεμβάσεων σε παλαιά κτίσματα (ΚΑΝΕΠΕ).

Οι μορφές ενίσχυσης ενός στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος, σε τοπικό επίπεδο, που συναντάμε στην βιβλιογραφία αλλά και στην πράξη είναι κυρίως τρεις, α) ενίσχυση με νέο οπλισμό και μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (έγχυτο ή εκτοξευόμενο), β) ενίσχυση με FRP (ανθρακοϋφάσματα και ανθρακοελάσματα κτλ) και γ) ενίσχυση με μεταλλικά στοιχεία.

Η τελευταία μέθοδος ενίσχυσης, και συγκεκριμένα η μέθοδος του μεταλλικού κλωβού, συγκεντρώνει τα τελευταία χρόνια διεθνώς (κυρίως από το 2006 [2]-[11] και έπειτα) αρκετό ενδιαφέρον, παρόλο που οι βάσεις της τέθηκαν αρκετά παλαιότερα [1]. Η μέθοδος αυτή είχε εφαρμογή και ως άμεση - προσωρινή ενίσχυση σε στοιχεία που είχαν υποστεί βλάβες μετά από σεισμούς. Όπως αναφέρουν οι περισσότεροι ερευνητές δείχνει να είναι μια γρήγορη, οικονομική και αποτελεσματική διαδικασία ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία μπορεί να συνδυαστεί και με τις άλλες δυο μεθόδους ενίσχυσης. Στην συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από την εφαρμογή της μεθόδου.



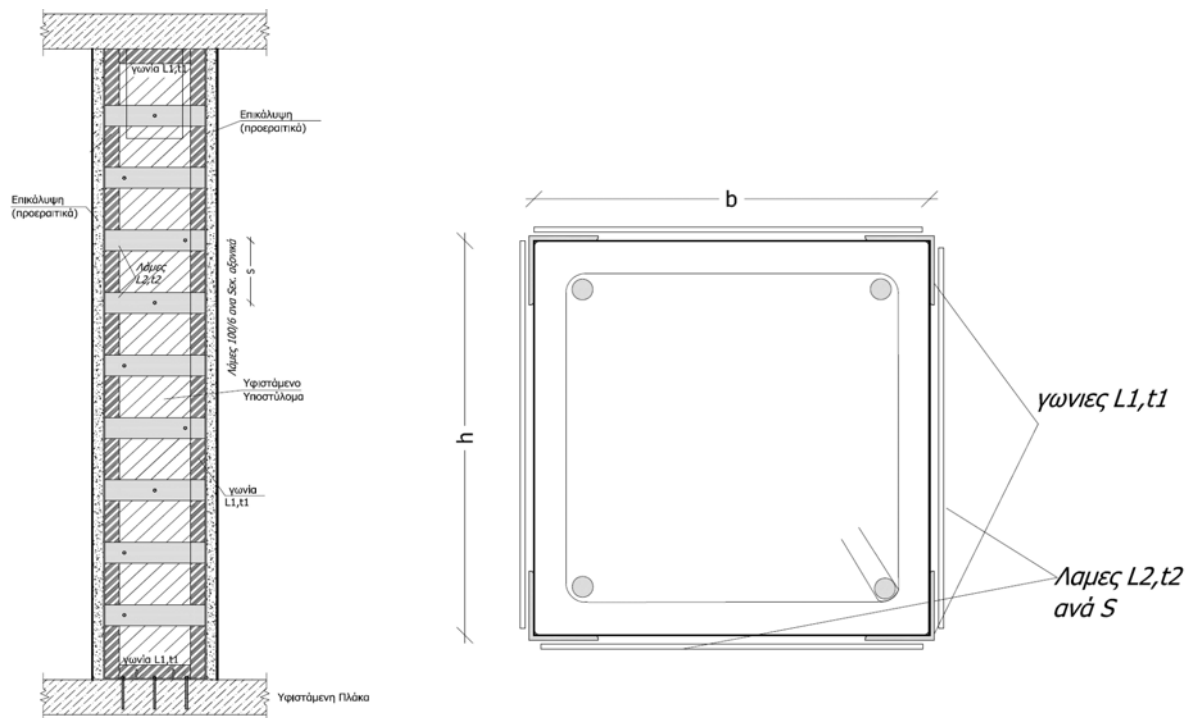
Φωτ. 1,2 εφαρμογή ενίσχυσης μεταλλικού κλωβού σε υποστυλώματα



Φωτογραφία. 3,4 εφαρμογή ενίσχυσης μεταλλικού κλωβού σε υποστυλώματα και δοκούς

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η ενίσχυση ενός στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος περιλαμβάνει την τοποθέτηση 4 γωνιακών ελασμάτων στα άκρα του, διαστάσεων $L1,t1$, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με ελάσματα διαστάσεων $L2,t2$, επαναλαμβανόμενα ανά απόσταση S . Στην κορυφή και τη βάση του υποστύλωματος τοποθετούνται γωνιακά ελάσματα, όπως φαίνεται στις φωτογραφίες 1-4, με στόχο την καλύτερη έδραση – ένωση κλωβού στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος. Οι γωνίες πριν τοποθετηθούν στο υποστύλωμα πληρώνονται με μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής ώστε να πετύχουμε την πλήρη προσαρμογή τους με το υφιστάμενο στοιχείο. Η πλήρης επαφή γωνιακών ελασμάτων – υφιστάμενου σκυροδέματος είναι καθοριστικής σημασίας καθώς με αυτόν τον τρόπο μεταφέρονται οι δυνάμεις μεταξύ των δύο υλικών. Επίσης κατά την τοποθέτηση των γωνιακών γίνεται περίσφιξη τους με σφικτήρες ώστε να βεβαιωθούμε ότι το μη συρρικνούμενο υλικό έχει καλύψει όλα τα κενά χάλυβα – σκυροδέματος.



Σχ. 1: Κάτοψη και όψη ενισχυμένου υποστύλωματος



Φωτογραφία 5. Πλήρωση γωνιακού ελασματος με μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής πριν την τοποθέτησή του

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Η συνεισφορά του μεταλλικού κλωβού στην ενίσχυση μιας διατομής οπλισμένου σκυροδέματος είναι διττή. Κατά πρώτον συντελεί στη σημαντική αύξηση της περίσφιξης της διατομής και κατά δεύτερον, υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις, συνεισφέρει στην αύξηση της διατμητικής και καμπτικής αντοχής της, τείνοντας να μετατρέψει τη διατομή ο.σ. σε σύμμικτη. Μια διατομή υποστυλώματος θεωρείται σύμμικτη εάν ο λόγος δ της πλαστικής αξονικής αντοχής του χαλύβδινου στοιχείου προς την πλαστική αξονική αντοχή όλου του στοιχείου είναι από 0.2 έως 0.9 [12].

Σε κάποιες αναφορές [1], γίνεται λόγος για προθέρμανση των ελασμάτων 200-400° προτού συγκολληθούν, ώστε με την ψύξη τους να συρρικνωθούν και να δώσουν αποτελεσματικότερη περίσφιξη στην διατομή οπλισμένου σκυροδέματος. Το είδος αυτό μπορεί να ονομαστεί ενεργητική περίσφιξη [11] καθώς αποτελεί ένα είδος επιβολής προέντασης της διατομής πριν αυτή αναλάβει το οριακό φορτίο της. Το συνηθέστερο όμως στην πράξη είδος περίσφιξης μιας διατομής είναι αυτό της παθητικής περίσφιξης. Στην περίπτωση αυτή τοποθετείται ο μεταλλικός κλωβός με τον τρόπο που περιεγράφηκε και με την αύξηση του φορτίου της διατομής, αυξάνονται οι εγκάρσιες παραμορφώσεις της, λόγω της δράσης poisson ενεργοποιώντας την δράση του κλωβού. Η εγκάρσια δύναμη που προκύπτει από την δράση poisson (διόγκωση διατομής) συντελεί και στην αύξηση της τριβής χάλυβα-σκυροδέματος, οδηγώντας τη διατομή να λειτουργήσει σε κάποιο βαθμό ως σύμμικτη. Η αξονική δύναμη που μεταβιβάζεται στο γωνιακό έλασμα λόγω της τριβής και της κάθετης σε αυτό πίεσης f_l είναι [2,3] :

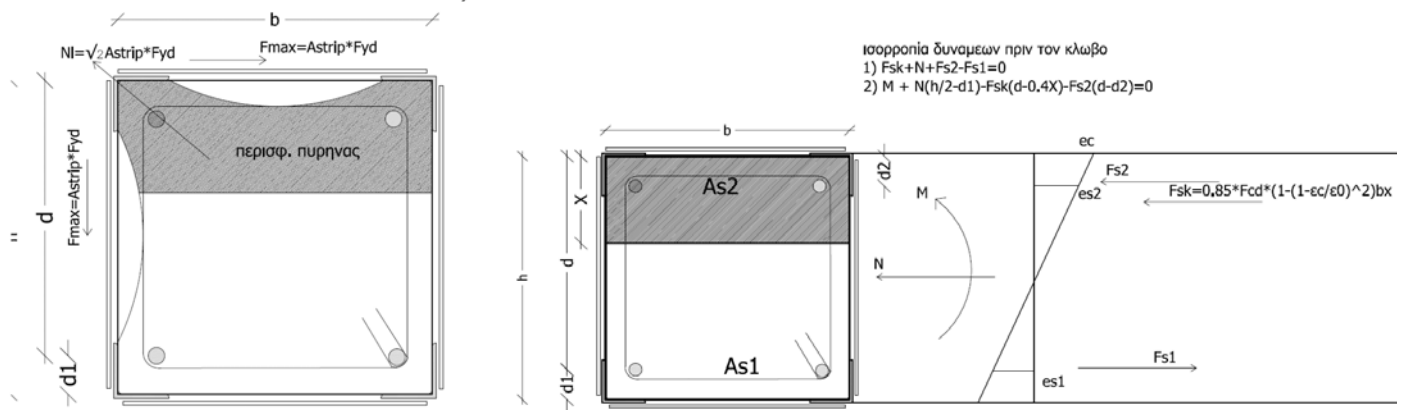
$$Tριβη = \mu N_{strip} = \sqrt{2} \cdot l_2 \cdot t_2 \cdot \sigma_{strip} \cdot \mu, \text{ όπου } \mu = \text{συντελεστής τριβής} = 0.5 [3] \quad (1)$$

Η δύναμη αυτή ασκείται στη θέση τοποθέτησης των εγκάρσιων ελασμάτων τα οποία τίθενται ανά απόσταση S . Η μέγιστη αξονική δύναμη η οποία μπορεί να δεχθεί το γωνιακό έλασμα χωρίς να ολισθήσει ή να διαρρεύσει (είτε το ίδιο είτε η εγκάρσια λάμα) είναι:

$$F_l = \min \left\{ \sqrt{2} \cdot l_2 \cdot t_2 \cdot F_{yd} \cdot \mu, N_{pl} \right\} \quad (2)$$

Η εγκάρσια πίεση f_l η οποία ασκείται από το σκυρόδεμα, λόγω της δράσης Poisson, στο κάθε γωνιακό έλασμα, στην παραπάνω περίπτωση θα ισούται προς (και ανάλογα με την περίπτωση διαρροής που λαμβάνουμε υπόψιν μας):

$$f_l = \frac{\sqrt{2} \cdot l_2 \cdot t_2 \cdot F_{yd}}{A_{επιρροής}} \quad (3)$$



Σχ. 2: (α) ισορροπία δυνάμεων κατά την διαρροή των εγκάρσιων ελασμάτων, (β) ισορροπία διατομής πριν την ενίσχυση

Η δύναμη αυτή είναι η μέγιστη η οποία μπορεί να ασκηθεί στο κάθε γωνιακό έλασμα πριν διαρρυσουν οι λάμες και θα πρέπει να ελέγχεται ώστε να είναι μικρότερη της αντοχής του (σχέση 2). Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε την ισορροπία της σύνθετης διατομής σκυροδέματος – ελασμάτων ξεκινώντας αρχικά από τη μη ενισχυμένη διατομή (σχήμα 2β). Μετά την ενίσχυση της διατομής έχουμε τις ακόλουθες αλλαγές στα μεγέθη :

Η αύξηση της θλιπτικής αντοχής του περισιγμένου σκυροδέματος [2]-[11] ισούται προς

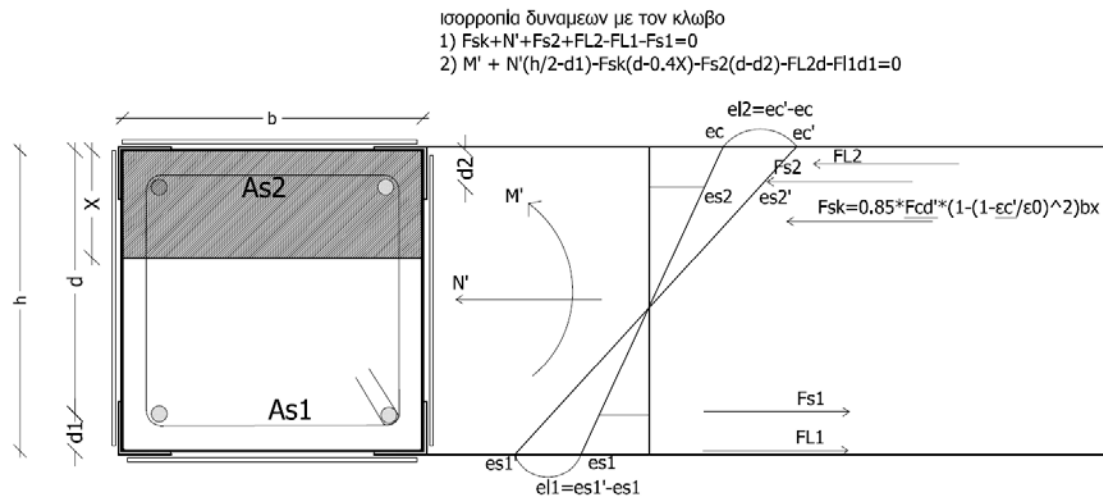
$$f_{cc} = \left[f_{c0} \left(1 + 3.7 \left(\frac{fl}{f_{c0}} \right)^{0.87} \right) \right] \quad (4)$$

Όπου fl η εγκάρσια πίεση της οποίας μια μέγιστη τιμή υπολογίστηκε από την σχέση 3, αλλά στην γενική περίπτωση μη διαρροής της λάμας δίνεται από την σχέση (5) [3] :

$$f_l = \frac{Nc}{b^2} \frac{v}{1-v + \frac{b \cdot Ec}{2 \cdot t2 \cdot E_l}} \quad (5)$$

Και η αύξηση της μέγιστης παραμόρφωσης του περισιγμένου σκυροδέματος [2]-[11]

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} \left(1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_{c0}} - 1 \right) \right) \quad (6)$$



Σχ. 3: ισορροπία διατομής σκυροδέματος μετά την ενίσχυση υπό ένταση N' , M'

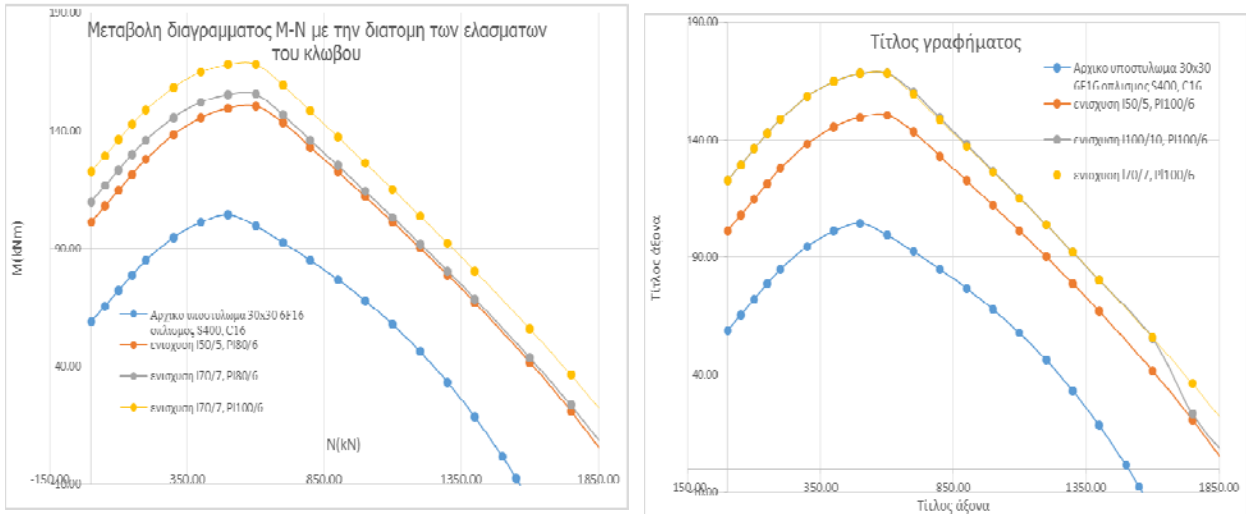
Οι δυνάμεις FL1 και FL2 είναι η συνεισφορά των γωνιακών ελασμάτων του κλωβού στην ενίσχυση σε κάμψη λόγω του θλιβόμενου και εφελκυσμένου δομικού χάλυβα και ισούνται προς (με μέγιστη τιμή αυτήν της σχέσης 2):

$$F_l = \varepsilon_L \cdot E_L \cdot A_L \quad (F_l \leq N_L) \quad (7)$$

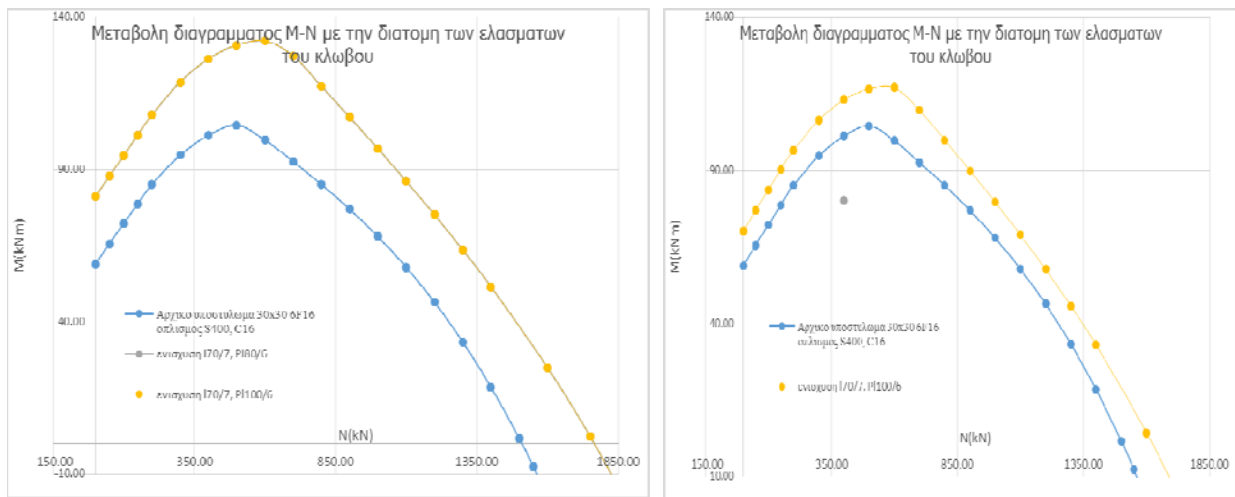
Όπου ε_L η παραμόρφωση του ελάσματος σε κάθε πλευρά ίση προς την διαφορά $\varepsilon_{L2} = \varepsilon_c' - \varepsilon_c$ και $\varepsilon_{L1} = \varepsilon_{s1}' - \varepsilon_{s1}$ αφού όταν τοποθετείται το έλασμα υπάρχει ήδη η εντατική κατάσταση του σχήματος 2β. Σε κάθε περίπτωση η τιμή της δύναμης της σχέσης 7 δεν μπορεί να υπερβεί την τιμή της σχέσης 2. Με την παραπάνω διαδικασία συσχετίζουμε την εντατική κατάσταση τη στιγμή της ενίσχυσης με το βαθμό ενίσχυσης της διατομής.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N μιας διατομής σκυροδέματος 30x30 με εμβαδόν οπλισμού 6cm² σε κάθε παρία της, ποιότητας χάλυβα S400, και θλιπτική αντοχή σκυροδέματος $F_{ck}=16\text{Μpa}$.



Σχ. 4.α: Μεταβολή M-N συναρτήσει του είδους του κλωβού για αρχική εντατική κατάσταση $N=162\text{Kη}$, $M=33\text{kNm}$, b: για την ίδια εντατική κατάσταση με διαφορετικά ελάσματα



Σχ. 5.α: Μεταβολή M-N συναρτήσει του είδους του κλωβού για μεγάλη αρχική εντατική κατάσταση $N=350\text{Kη}$, $M=70\text{kNm}$, b: για εντατική κατάσταση σχεδόν στην αντοχή της αρχικής διατομής ($N=400\text{Kη}$, $M=80\text{kNm}$)

Το γενικό συμπέρασμα το οποίο εξάγουμε είναι ότι ο βαθμός ενίσχυσης ενός στοιχείου μειώνεται με την αύξηση της εντατικής κατάστασης επιβολής της ενίσχυσης, ενώ σε «μικρές» αρχικές εντατικές καταστάσεις επιτυγχάνουμε ικανοποιητικό βαθμό ενίσχυσης της διατομής (όπως στο παραπάνω παράδειγμα της τάξης του 2). Επιπρόσθετα παρατηρούμε ότι λόγω της παραδοχής που έγινε, ότι η μέγιστη δύναμη που παραλαμβάνει το γωνιακό έλασμα εξαρτάται από την τριβή από κάποια διατομή του και έπειτα, το αποτέλεσμα της ενίσχυσης δεν επηρεάζεται. Σε περίπτωση αγκύρωσής του όμως με βλήτρα στο υφιστάμενο σκυρόδεμα μπορεί να λάβει και μεγαλύτερες δυνάμεις, αυξάνοντας το βαθμό ενίσχυσης της διατομής.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Frangou M, Pilakoutas K, Dritsos S (1995) Structural repair strengthening of RC columns. *Constr Build Mater J* 9(5):259–266
 - [2] Badalamenti V, Campione G, Mangiavillano M L. Simplified model for compressive behavior of concrete columns strengthened by steel angles and strips, *Journal of Engineering Mechanics*, No. 2, **136**(2010) 230-8.
 - [3] Calderón PA, Adam JM, Ivorra S, Pallarés FJ, Giménez E. Design strength of axially loaded RC columns strengthened by steel caging, *Materials & Design*, No. 10, 30(2009) 4069-80.
 - [4] Braga F, Gigliotti R, Laterza M. Analytical stress–strain relationship for concrete confined by steel stirrups and/or FRP jackets, *Journal of Structural Engineering*, No. 9, **132**(2006) 1402-16.
 - [5] Tarabia AM, Albakry HF. Strengthening of RC columns by steel angles and strips, *Alexandria Engineering Journal*, No. 3, **53**(2014) 615-26.
 - [6] Khalifa ES, Al-Tersawy SH. Experimental and analytical behavior of strengthened reinforced concrete columns with steel angles and strips, *International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE)*, No. 2, **6**(2014) 1-14.
 - [7] Campione G. RC columns strengthened with steel angles and battens: experimental results and design procedure, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, No. 1, **18**(2011) 1-11.
 - [8] Campione G. Simplified analytical model for RC columns externally strengthened with steel cages, *Journal of Civil Engineering and Science*, No. 4, **2**(2013) 212-8.
 - [9] Adam JM, Ivorra S, Pallarés FJ, Giménez E, Calderón PA. Axially loaded RC columns strengthened by steel caging, Finite element modeling, *Construction and Building Materials*, No. 6, **23**(2009) 2265-76.
 - [10] Montuori R, Piluso V (2009) Reinforced concrete columns strengthened with angles and battens subjected to eccentric load. *Eng Struct J* 31(2):539–550
 - [11] D. Sen and M. Begum. «A COMPARATIVE STUDY OF STEEL ANGLES AND STRIPS STRENGTHENED RC COLUMNS» *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BHRC)* VOL. 18, NO. 3(2017) PAGES 515-534
 - [12] Ιωάννης Βάγιας. «Συμμικτές Κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα»
-

Reinforcing Beam - Column element using steel caging method

Evangelos A. Maniadis

civil engineer, Msc

Heraklion, Greece

emaniad@yahoo.gr

SUMMARY

In the present work the steel caging method is analysed. This method is a fast and efficient way to reinforce an existing beam-column element. Nowadays the need of strengthening concrete structures is an essential requirement due to the increase of earthquake loadings. Also the present codes became stricter in shear and ductility demand. Steel caging reinforcement is a well-known method being used in many countries, but more frequently for axial and shear reinforcement. In this work we tried to give examples where moment capacity of column beam – column element is increased after reinforcement. Finally we tried to relate the present reinforcement method with column's initial stress when column is reinforced.