



Τεχνικές ενίσχυσης υποστυλωμάτων με περίσφιγξη

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με εξωτερική περίσφιγξη προσφέρεται στις παρακάτω περιπτώσεις :

- (α) Όταν απαιτείται αύξηση της πλάστιμότητας του υποστυλώματος.
- (β) Όταν απαιτείται αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.
- (γ) Όταν απαιτείται αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος.
- (δ) Όταν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών του υποστυλώματος λόγω μικρού μήκους υπερκάλυψής τους.

Όταν απαιτείται η μεταφορά ενός τμήματος των κατακόρυφων φορτίων του υποστυλώματος, η τεχνική συνδυάζεται με την εφαρμογή εξωτερικής σιδηροκατασκευής.

1. Διαδικασίες επιβολής της περίσφιγξης

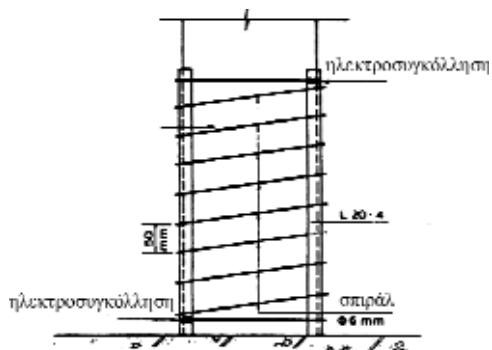
Η επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης σε υποστυλώματα μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους, (Δρίτσος, 2005):

- Με χρήση επικολλητών κοιλάρων που μπορεί να είναι μεταλλικά ελάσματα συνήθους πάχους 1-2 mm (Σχ.1) ή θωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).



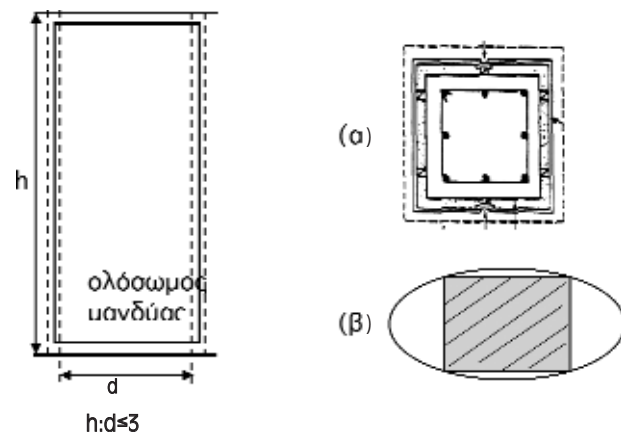
Σχήμα 1: Περίσφιγξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα

- Με χρήση προεντεταμένων κοιλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs), που μπορεί να έχουν τη μορφή ταινιών "πακεταρίσματος" (Frangou et al, 1993).
- Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού (Σχ.2) που μπορεί να είναι από μεταλλικό έλασμα ή από ινοπλισμένο πολυμερές (FRP).
- Με χρήση ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα ή ινοπλισμένο πολυμερές (FRP), επικολλητού επί των πλευρών του υποστυλώματος. Σήμερα, στην πράξη έχει αρχίσει να επεκτείνεται η εφαρμογή της τεχνικής με χρήση φύλλων FRPs. Αυτός ο τρόπος εφαρμογής θα αναπτυχθεί ημετομερέστερα στη συνέχεια.



Σχήμα 2: Περίσφιγξη με σπειροειδή οπλισμό

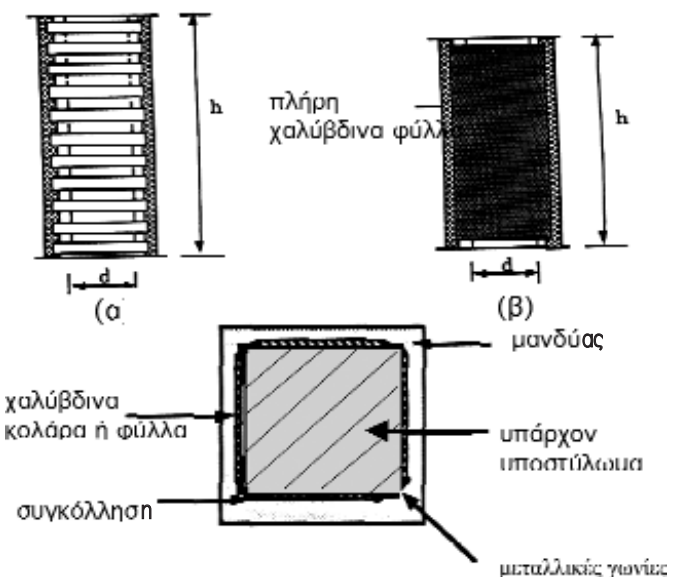
Στην περίπτωση των μεταλλικών μανδουσών η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί τοποθετώντας τα χαλύβδινα φύλλα σε μικρή απόσταση από τις παρειές του υποστυλώματος και στην συνέχεια το κενό γεμίζεται με μη-συρρικνούμενο κονίαμα (Σχ.3). Η τεχνική είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν ο μεταλλικός μανδύας έχει ελλειπτική ή κυκλική μορφή (Σχ.3β).



Σχήμα 3: Περίσφιγξη με γενικό μεταλλικό μανδύα

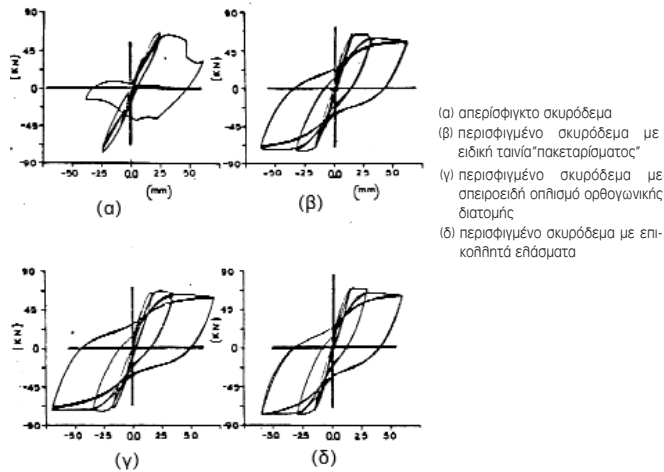
- (α) ορθογωνική
- (β) ελλειπτική

- Με χρήση μεταλλικού κλωβού που δημιουργείται με κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα και είτε οριζόντια μεταλλικά κοιλάρια (Σχ.4α) είτε πλήρη χαλύβδινα φύλλα (Σχ.4β) (Dritsos 1997a - Dritsos and Pilakoutas 1992, 1994 - Dritsos et al, 1993). Η τεχνική αυτή θα αναπτυχθεί ημετομερέστερα στη συνέχεια.



Σχήμα 4: Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό

Περισσότερες λεπτομέρειες για την τεχνολογία της τεχνικής μπορούν να αναζητηθούν στις Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Ε.Τ.Ε.Π.) Έργων Αποκατάστασης Ζημιών από Σεισμούς (Ι.Ο.Κ., 2004).



Σχήμα 5: Διαγράμματα πλεωρικής φόρτισης-οριζοντίων μετακινήσεων από πειραματική έρευνα για ενίσχυση υποστυλίων με την τεχνική της περίσφιξης (Kahn, 1980)

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται αποτελέσματα μίας πειραματικής έρευνας για τρεις διαφορετικές διαδικασίες περίσφιξης (Kahn, 1980). Πέρα από τα ειδικότερα συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν από συγκρίσεις των διαφορετικών διαδικασιών περίσφιξης, αξίζει να παρατηρηθεί μία εντυπωσιακή συνεισφορά στην πλαστικότητα του στοιχείου, για όλες τις διαδικασίες περίσφιξης που εξετάστηκαν.

2. Μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή

Οι μανδύες με ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) αποτελούν ίσως τον πλέον εύχρηστο τρόπο επιβολής της περίσφιξης. Αυτός είναι στην πραγματικότητα ο κύριος λόγος για τον οποίο η εφαρμογή αυτής της τεχνικής εξαπλώνεται ραγδαία στην πράξη.

Τα φύλλα εφαρμόζονται με τις ίνες τους σε οριζόντια διεύθυνση συμβάλλοντας έτσι ιδιαίτερα στον εγκιβωτισμό του στοιχείου και στην αύξηση της διατμητικής του αντοχής. (Σχ.6).



Σχήμα 6: Ενίσχυση με ΙΟΠ (Plakoutas, 2002)

Εάν αυτοί μόνο είναι οι λόγοι της ενίσχυσης, τα φύλλα μπορούν να αντικατασταθούν από οριζόντιες λωρίδες ("κοιλάρια"). Αυτή η εναλλακτική τεχνική έχει μεν οικονομία υλικού, αλλά απαιτεί περισσότερα "εργατικά" και γι' αυτό η επιλογή θα πρέπει να εξαρτηθεί από την εκτίμηση του συνολικού κόστους.

Εάν συγχρόνως επιδιώκεται και η αύξηση της καμπτικής αντοχής του στοιχείου, θα πρέπει προφανώς να χρησιμοποιηθούν και φύλλα με κατακόρυφη διεύθυνση ινών. Όμως, σ' αυτή την περίπτωση η τεχνική

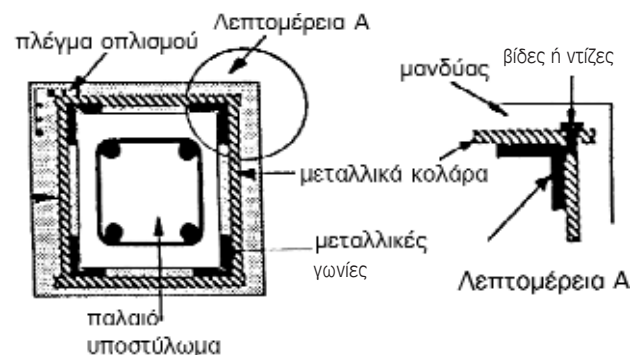
θα πρέπει να συνδυαστεί με ανάλογη εφαρμογή ενίσχυσης του κόμβου (δοκών-υποστυλίων) επειδή τα άκρα του υποστυλίου βρίσκονται σε περιοχές με αυξημένη καμπτική ένταση.

Η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστερη και περισσότερο αποδοτική στα κυκλικά υποστυλίσματα. Στα ορθογωνικά υποστυλίσματα απαιτείται προηγουμένως κατάλληλη εξομάλυνση των γωνιών, έτσι ώστε να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα τουλάχιστον 30 mm. Η αποδοτικότητα της τεχνικής μπορεί να αυξηθεί, εάν η εφαρμογή των φύλλων (ή των λωρίδων) γίνει με προένταση. Όμως, στην περίπτωση αυτή οι τεχνικές δυσκολίες του εγχειρήματος είναι αυξημένες και γι' αυτό η εφαρμογή της θα πρέπει να εξετάζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

3. Τεχνική του μεταλλικού κλωβού

Η τεχνική του μεταλλικού κλωβού είναι η πλέον διαδεδομένη διαδικασία επιβολής της περίσφιξης. Τέσσερα μεταλλικά γωνιακά ελάσματα, προσαρμόζονται στις γωνίες του υποστυλίου και οριζόντια μεταλλικά ελάσματα (ή ράβδοι από δομικό χάλυβα) υπό μορφή "κοιλάρων", συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά. Πριν γίνει η συγκόλληση προηγείται σύσφιξη των γωνιακών με ειδικά κλειδιά ή γίνεται προθέρμανση του οριζόντιου οπλισμού σε θερμοκρασία 200-400° C, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ενεργή περίσφιξη με τη συστολή που επέρχεται όταν γίνει απόψυξη. Εναλλακτικά αντί για συγκόλληση μπορεί να χρησιμοποιηθούν "βίδες" ή "ντίζες" όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.

Τα κενά που δημιουργούνται στην επαφή του μεταλλικού κλωβού και του σκυροδέματος, συμπληρώνονται με ένα μη-συρρικνούμενο κονίαμα ή εποξειδική κόλλα. Η τελική επιφάνεια μπορεί να δημιουργηθεί με μία ισχυρή τσιμεντοκονία οπλισμένη με ένα ελαφρύ πλέγμα ενώ δεν είναι απαραίτητη η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στις περιπτώσεις που το ύψος του υποστυλίου είναι σχετικά μικρό ($h/ \leq 3$) επιλέγεται συχνά η αντικατάσταση των κοιλάρων με χαλύβδινα φύλλα (Σχ.4β).



Σχήμα 7: Εναλλακτική εφαρμογή της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού χρησιμοποιώντας "βίδες" ή "ντίζες"

Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διαδικασίες αποτελεί πλεονέκτημα της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού η δυνατότητα μεταφοράς ενός τμήματος των κατακόρυφων φορτίων του υποστυλίου. Σε συνδυασμό μάλιστα με την ταχύτητα με την οποία μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η τεχνική αποτελεί κατάλληλη προσωρινή λύση άμεσης ανάληψης κατακόρυφων φορτίων σε στοιχεία που υπέστησαν βλάβες και αδυνατούν πλέον να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία (Σχ.8).

Εξάλλου στην περίπτωση τοπικής βλάβης του υποστυλώματος ο κλωβός μπορεί να εφαρμοστεί γύρω από τη βλαφθείσα περιοχή, όπως ακριβώς εφαρμόζεται ο “νάρθηκας” στην ορθοπεδική, στην “by pass” μεταφορά της έντασης.



Σχήμα 8: Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό για προσωρινή ανάληψη κατακόρυφων φορτίων (Πύργος, 1993)

Από τα μέχρι σήμερα περιορισμένα αναλυτικά και πειραματικά δεδομένα της έρευνας μπορούν να προταθούν οι παρακάτω περιορισμοί για την εφαρμογή της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού:

- (α) Η διατομή των γωνιακών πρέπει να είναι τουλάχιστον 50x50x5 (mm).
- (β) Η διατομή του οριζόντιου οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 25x4(mm) όταν χρησιμοποιούνται ελάσματα ή κατ'ελάχιστον Φ10, όταν χρησιμοποιούνται ράβδοι δομικού χάλυβα.
- (γ) Οι αποστάσεις του οριζόντιου οπλισμού συνίσταται να είναι μικρότερες από το μισό της μικρότερης διάστασης της διατομής και από 150 mm. Συνήθως επιλέγεται 100 mm.
- (δ) Για την περίπτωση τοπικής περίσφιξης, ο μεταλλικός κλωβός επεκτείνεται πάνω και κάτω από τη βλάβη σε απόσταση τουλάχιστον μιάμιση φορά στη μέση διάσταση της διατομής.
- (ε) Απαιτούνται πρόσθετα μέτρα πυροπροστασίας.

Η συνθησιμένη εφαρμογή της τεχνικής αφορά υποστυλώματα μικρής διατομής με επαρκή διαμήκη οπλισμό. Για παράδειγμα ως μέγιστη διάσταση διατομής θα μπορούσε να θεωρηθεί η διάσταση των 400 mm και ως ελάχιστος οπλισμός του υποστυλώματος τα 4Φ18. Σε περιπτώσεις μεγαλύτερων διαστάσεων απαιτούνται ενδιάμεσες διαμπερείς χαλύβιδινες ράβδοι δομικού χάλυβα σε αποστάσεις της τάξης των 300 mm, που

διαπερνούν μέσω οπών το πάχος του υποστυλώματος και ηλεκτροσυγκολλούνται στις απέναντι μεταλλικές ράβδες. Το κενό μεταξύ των ράβδων και των τοιχωμάτων των οπών συμπληρώνεται με εποξειδική ρητίνη.

Σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων που η μία πλευρά τους βρίσκεται σε επαφή με γειτονικό όριο και απαιτείται περίσφιξη, η τεχνική του μεταλλικού κλωβού αποτελεί μοναδική δυνατότητα διεξόδου. Σ' αυτήν την περίπτωση οι ράβδες ή ράβδοι, που θα χρησιμοποιηθούν στην “τυφλή” πλευρά, θα πρέπει να είναι από ανοξειδωτο χάλυβα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δρίτσος Σ., (2005) “Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Γ' Έκδοση, σελ. 352.
2. Ι.Ο.Κ. Ομάδα Εργασίας: Δρίτσος Σ., Θεοδωράκης Σ., Σπανός Χ., Τζανέτος Γ., (2004), “Π.Ε.ΤΕ.Π. (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) για Έργα Αποκατάστασης Ζημιών από Σεισμούς”, www.iok.gr, Αθήνα.
3. Dritsos S., Pilakoutas K., (1992) “Composite Technique for Repair/Strengthening of R.C. members”, Proc. of 2nd International Symposium on Composite Materials and Structures, 958-963 Beijing, China.
4. Dritsos S., Georgopoulos T., Pilakoutas K., (1993) “Experimental Study on a Composite Technique for Repair/Strengthening of R.C. Columns” Proc. of 5th International Conference on Structural Faults and Repair, Vol.3, 189-193, Edinburgh.
5. Dritsos S., Pilakoutas K., (1994) “Repair/Strengthening Techniques for Structurally Damaged R.C. Columns”, Proc. of the 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Vol.3, 667-676, Chicago, Illinois.
6. Dritsos S., (1997a) “Jacket Retrofitting of Reinforced Concrete Columns”, Journal of Construction Repairs, Vol.11(4), 35-40.
7. Frangou M., Pilakoutas K., Dritsos S., (1993) “Repair/Strengthening of Columns by a Simple Localized Strengthening Technique”, Proc. of the 5th International Conference on Structural Faults and Repair, Vol.3, 205-211, Edinburgh.
8. Kahn L., (1980) “Strengthening of Existing R.C. Columns for Earthquake Resistance”, Proc. of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 4, 327-334, Istanbul.
9. Pilakoutas K., (2002) Σημειώσεις Σεμιναρίου για FRP, Sheffield U.K.