

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ

ΛΙΟΦΑΓΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να παρουσιάσει την χρήση εξωτερικών προεντεταμένων χαλύβδινων τενόντων ως μέσο ενίσχυσης και επισκευής. Στην μια περίπτωση παρουσιάζεται η ενίσχυση και η επισκευή μελών πλαισιακού φορέα και στην άλλη τρόποι αύξησης της δυσκαμψίας πλαισιακού φορέα έτσι ώστε να έχει καλύτερη συμπεριφορά σε σεισμική ένταση. Παράλληλα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μεθόδων καθώς και παρατηρήσεις για την βέλτιστη εφαρμογή τους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ[1][2]

Η έννοια της προέντασης ανάγεται στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα, όταν κατασκευαστήκαν οι πρώτες προεντεταμένες δοκοί από το Γαλλο μηχανικό E.Freyssinet. Η πρώτες ενισχύσεις με χρήση προέντασης χρονολογούνται στη δεκαετία του 1950. Από τότε μέχρι σήμερα η ενίσχυση και η επισκευή με προένταση χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε γέφυρες και κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία, Αν και δεν υπάρχει μεγάλη εφαρμογή σε πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος οι λύσεις που προσφέρονται είναι αρκετές.

2. ΥΛΙΚΑ-ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ[1]

Ο εξοπλισμός και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι αυτά του συνηθισμένου προεντεταμένου σκυροδέματος.

Τένοντας: Ραβδος ή συρματοσχοινο από χάλυβα υψηλής αντοχής(Όριο διαρροής 800-1600MPa) και σχετικά χαμηλής χαλάρωσης.

Αγκύρωση: Μεταφέρει την δύναμη προέντασης από τον τένοντα στην κατασκευή, διακρίνεται σε δυο τύπους τις σταθερές και τις κινητές, όπου γίνεται η προένταση.

Εκτροπές/Στηρίξεις: Βάση που βοηθά στην δημιουργία των εκκεντροτήτων του τένοντα.

Σωλήνας περιβολής: Σωλήνας που περιβάλλει τον τένοντα για προστασία, κατασκευασμένος ανάλογα από χαλυβδοφυλλα ή πλαστικό.

Υλικά πλήρωσης σωλήνα: Για προένταση χωρίς συνάφεια του τένοντα με το σκυρόδεμα το υλικό είναι συνήθως γράσο αλλιώς τσιμεντένεμα.



Σχήμα 1: Αγκύρωση, Τένοντας, Σύστημα προέντασης με εκτροπή[3],[4],[5]

3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ –ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕΛΩΝ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ

Χρήση

Οι τένοντες χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της αντοχής(κυρίως καμπτικής αλλά και διατμητικής) κάποιου μέλους ή για την εξάλειψη ρωγμών ή τέλος για την μείωση βέλους κάμψης. Συχνότερα η ενίσχυση γίνεται λόγω αλλαγής χρήσης, αλλαγής κανονισμών και λόγω σχεδιαστικών και κατασκευαστικών ατελειών.[6],[2]

Δοκοί

Η συνήθης ενίσχυση των δοκών γίνεται με διάταξη των τενόντων είτε αριστερά και δεξιά της δοκού, είτε στο κάτω μέρος αυτής. Οι αγκυρώσεις είναι συνήθως τοποθετημένες στα άκρα της, οι εκτροπείς είναι τοποθετημένοι σε στρατηγικά σημεία ώστε να δημιουργούνται εκκεντρότητες του τένοντα. Το προφίλ του εξωτερικού τένοντα αποτελείται από παραβολικά ή γραμμικά μέρη ανάλογα με τις ανάγκες. Πιο συχνά χρησιμοποιούνται γραμμικά μέρη που διαφέρουν σε σχεδίαση ανάλογα με την κατανομή του φορτίου που πρέπει να παραλάβουν. Στα σημεία που δημιουργείται γωνιά στον τένοντα, εφαρμόζεται σημειακά δύναμη στην δοκό. Η ενίσχυση αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε κάμψη και διάτμηση καθώς και στην διόρθωση τυχόν βέλους κάμψης. Επίσης μπορεί να βοηθήσει στην καθυστέρηση ανάπτυξης ή την αποφυγή ρωγμών, την μείωση των δονήσεων στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της δοκού. [6][5][7][8]



Σχήμα 2: Ενίσχυση δοκού με εξωτερικό τένοντα 2 στηρίξεων[7]

Πλάκες

Η ενίσχυση των πλακών γίνεται με τοποθέτηση τενόντων στο κάτω μέρος αυτών, συνήθως με τένοντα τριγωνικής μορφής με την στήριξη τοποθετημένη στο κέντρο της πλάκας. Οι αγκυρώσεις για μικρά φορτία μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στην πλάκα, στις υπόλοιπες περιπτώσεις τοποθετούνται σε δοκούς ή σε υποστυλώματα. Στα κτήρια με δοκάρια είναι πιο εύκολα εφαρμόσιμη η ενίσχυση πλακών γιατί υπάρχει δυνατότητα να ανοιχτούν τρύπες σε ψηλά σημεία στα δοκάρια έτσι ώστε να δημιουργηθεί εκκεντρότητα[7]

Αφαίρεση υποστυλώματος

Στην περίπτωση που μετά από μελέτη αφαιρεθεί κολόνα για την δημιουργία μεγαλύτερου ανοίγματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τένοντες για να μεταφέρουν τα φορτία στα υποστυλώματα ή στις δοκούς.[7]

Παρατηρήσεις ως προς την εφαρμογή της μεθόδου[7][9][10]

1. Πρέπει να γίνεται προσεκτική τοποθέτηση των τενόντων ώστε να μην επηρεάζεται το υπάρχον κτήριο.
2. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται για να αποφευχθεί η συγκέντρωση τάσεων σε περιοχές πολλαπλών αγκυρώσεων.
3. Οποιαδήποτε αστοχία στο υπό ενίσχυση μέλος πρέπει να έχει διορθωθεί πριν την προένταση του τένοντα έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων σε αυτό. Συνήθως κλείνουμε με ρητίνες τις ρωγμές και επιδιορθώνουμε οποιαδήποτε βλάβη του σκυροδέματος και του οπλισμού.
4. Οι αγκυρώσεις πρέπει να γίνονται όσο πιο συμμετρικά γίνεται σε σχέση με το κέντρο βάρους του μέλους.
5. Πριν την εφαρμογή είναι απαραίτητη η επιθεώρηση ώστε να διαπιστωθεί ότι το μέλος είναι ικανό να παραλάβει τις υψηλές δυνάμεις προέντασης.
6. Πρέπει να αποφεύγεται η ψαθυρή αστοχία του μέλους.

Πλεονεκτήματα[6]

[2]

1. Αποτελεσματική και οικονομική μέθοδος για μεγάλους μήκους δοκούς και προβόλους.
2. Μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής της κατασκευής λόγω της συμπίεσης του σκυροδέματος.
3. Μικρή και σύντομη ενόχληση του χώρου επισκευής.
4. Ελαφρύς και εύχρηστος εξοπλισμός.
5. Ενίσχυση της αντοχής χωρίς ταυτόχρονη μεγάλη αύξηση του βάρους της κατασκευής
6. Εύκολα προσβάσιμος τένοντας για την διαπίστωση βλαβών.
7. Εύκολα αντικαταστάσιμοι και περαιτέρω προεντάσιμοι τένοντες .

Μειονεκτήματα[6][7]

1. Απαιτεί εκπαιδευμένο και πεπειραμένο μηχανικό για την μελέτη και την κατασκευή.
2. Ευάλωτα υλικά σε φωτιά και διάβρωση.
3. Η εγκατάσταση των αγκυρώσεων μπορεί να είναι δύσκολη σε ορισμένες περιπτώσεις .
4. Ο χάλυβας προέντασης διαβρώνεται πιο εύκολα.
5. Μείωση του ύψους του ορόφου σε πιθανή τοποθέτηση του τένοντα στο κάτω μέρος δοκού.
6. Δυσκολία στην αύξηση της αντοχής σε διάτμηση κοντά στις στηρίξεις.
7. Η αντοχή σε διάτμηση δοκαριού με εξωτερικούς τένοντες είναι δύσκολο να βρεθεί.
8. Η εμφάνιση των εξωτερικών τενόντων του συστήματος μπορεί να είναι εμπόδιο στη χρήση της μεθόδου.

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Χρήση[11]

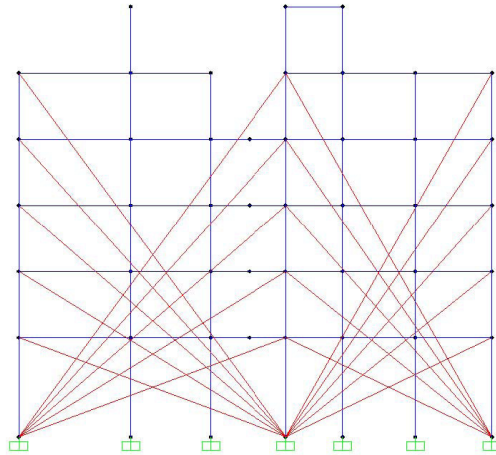
Οι τένοντες χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί στο κτήριο μεγαλύτερη δυσκαμψία έτσι ώστε τα υπάρχοντα εύθραυστα μέλη του κτηρίου να παραλαμβάνουν λιγότερη σεισμική ένταση και να προλαμβάνεται η τυχούσα ψαθιρή αστοχία τους.

Χιαστοί εμφαντούμενοι σύνδεσμοι[12]

Σε μια εναλλακτική πρόταση από τους κλασικούς εμφαντούμενους συνδέσμους δυσκαμψίας, χρησιμοποιούνται τένοντες για την ανάληψη της έντασης, οι οποίοι αν είναι σωστά προεντεταμενοί (όχι χαλαροί), λειτουργούν παρόμοια παρέχοντας περίπου την ίδια ανταπόκριση στο σεισμό , χωρίς παράλληλα να έχουν τα ίδια προβλήματα λυγισμού. Στο σύστημα αυτό όλη την δύναμη την αναλαμβάνει ο ένας εφελκόμενος τένοντας κάθε φορά.

Χρήση τενόντων σε ολόκληρο το κτήριο [11][14]

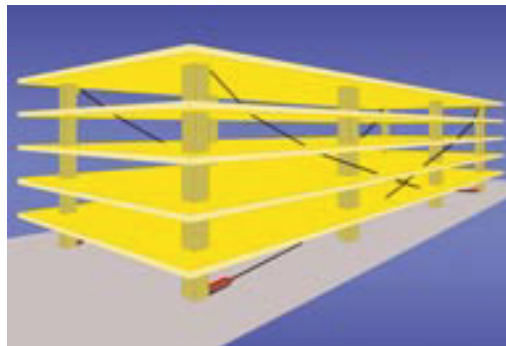
Μια διαφορετική διάταξη τενόντων για την παραλαβή της σεισμικής δύναμης είναι η εφαρμογή ελκυστήρων (τενότων) που εκτίνονται για αρκετούς ορόφους και συνήθως από την θεμελίωση μέχρι την οροφή. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη χάρη στη ταχύτητα εφαρμογής της αλλά κυρίως χάρη στη μικρή «ενόχληση» του χώρου ενίσχυσης. Ιδιαίτερη προσοχή θέλει η επιλογή της δύναμης προέντασης, η οποία αν είναι πολύ μεγάλη δημιουργεί μεγάλη χαλάρωση στη πάροδο του χρόνου. Συνήθως η δύναμη προέντασης είναι 20%-35% της δύναμης διαρροής, αλλά έχει αναφερθεί μέχρι και 75% έπειτα από αναλυτική μελέτη.



Σχήμα 3: Ενίσχυση κτηρίου με τένοντες από τα θεμελια στη οροφή[14]

Ειδική περίπτωση εφαρμογής: Σύστημα SPIDER[13]

Η μέθοδος βελτιστοποιεί την παραπάνω χρήση των τενόντων, τοποθετώντας αποσβεστήρες στα άκρα των τενόντων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η σεισμική δύναμη που παραλαμβάνεται από το κτήριο ενώ παράλληλα βάζει όριο στην κίνηση του. Η μέθοδος είναι πολλά υποσχόμενη κυρίως για κτήρια που δεν έχουν ανάγκη μεγάλη ενίσχυση και πάντα αν ικανοποιούνται οι αρχιτεκτονικοί σκοποί του κτηρίου.



Σχήμα 4: Σύστημα SPIDER[13]

Παρατηρήσεις ως προς την εφαρμογή της μεθόδου[11]

Φροντίδα για την δημιουργία ενός δομικά ισορροπημένου κτηρίου.
Τα στοιχειά περιμετρικά των εμφανωμάτων πρέπει να ελέγχονται.

Η θεμελίωση καλό είναι να ελέγχεται για διάτμηση σε περίπτωση προσθήκης μεγάλου φορτίου.

Χαλαροί τένοντες δεν λειτουργούν σωστά.

Σε περίπτωση εφαρμογής μεγάλης δύναμης στον τένοντα, πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι αυξάνεται η χαλάρωση του με τον χρόνο.

Ιδιαίτερη μέριμνα χρειάζεται για την προστασία των υλικών για διάβρωση.

Στα ψηλά και μεσαία κτήρια πρέπει να ελέγχονται τα υποστυλώματα γιατί δημιουργούνται μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις σε αυτά.

Πλεονεκτήματα[2][14]

1. Ελαφρύς και εύχρηστος εξοπλισμός
2. Ενίσχυση της αντοχής χωρίς ταυτόχρονη μεγάλη αύξηση του βάρους της κατασκευής
3. Εύκολα προσβάσιμος τένοντας για την διαπίστωση βλαβών.
4. Δυνατότητα προσαρμογής της διάταξης των τενόντων.
5. Μικρότερη όχληση και ύψιστος βαθμός ταχύτητας εκτέλεσης.
6. Βολική τοποθέτηση στη πρόσοψη του κτηρίου.

Μειονεκτήματα [12][7]

1. Απαιτεί εκπαιδευμένο και πεπειραμένο μηχανικό για την μελέτη και την κατασκευή.
2. Ευάλωτα υλικά σε φωτιά και διάβρωση.
3. Η εγκατάσταση των αγκυρώσεων μπορεί να είναι δύσκολη σε ορισμένες περιπτώσεις.
4. Η εμφάνιση των εξωτερικών τενόντων μπορεί να δημιουργεί αρχιτεκτονικά και αισθητικά προβλήματα.
5. Ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή και εφαρμογή της δύναμης προέντασης.
6. Προβλήματα εφαρμογής στα πολύ ψηλά κτήρια λόγω εμφάνισης μεγάλων δυνάμεων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενίσχυση και η επισκευή κατασκευών είναι μια πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία τόσο κατά την μελέτη όσο και κατά την κατασκευή των επεμβάσεων. Η επισκευή με χρήση προέντασης με εξωτερικούς τένοντες έχει πολλά πλεονεκτήματα κυρίως τη ταχύτητας εφαρμογής, την οικονομία και τη μικρή όχληση κατά τη διάρκεια των έργων. Από την άλλη πλευρά προβλήματα όπως η διάβρωση, η μικρή αντοχή στη φωτιά και το αισθητικό αποτέλεσμα, που δημιουργούν οι εξωτερικοί τένοντες, αποτελούν δεδομένα τα οποία πρέπει να τα λάβει σοβαρά υπόψη ο μελετητής κατά την επιλογή της μεθόδου. Τέλος λόγω της επιβολής μεγάλων δυνάμεων διάμεσου του τένοντα στη κατασκευή και της αλλαγής της έντασης των μελών, η μελέτη απαιτεί δύσκολους υπολογισμούς και μεγάλη εμπειρία εκ μέρους του μηχανικού έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν νέα προβλήματα στη κατασκευή.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μ.Ν.ΦΑΡΔΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ, 2007.
- [2] T.Alkhrdaji, Keys to Success: Structural Repair and Strengthening Techniques for Concrete Facilities, www.spsrepair.com, May 2004
- [3] www.vsl.net/ (Ανάκτηση 17/1/2011)
- [4] www.bbrnetwork.com/ (Ανάκτηση 17/1/2011)
- [5] www.freyssinet.com/, Additional Prestressing, (Ανάκτηση 14/1/2011)
- [6] REHABCON Manual, 5.3.9, Strengthening using external post-tensioning

- [7] Larry Krauser, REPAIRS, MODIFICATIONS, AND STRENGTHENING WITH POST-TENSIONING, PTI Journal, V.4, No.1, July 2006
- [8] Alkhrdaji and J.Thomas, Structural Strengthening Using External Post-Tensioning Systems, STRUCTURE magazine, July 2009
- [9] REHABCON Annex L Strengthening of concrete structures using external post-tensioning
- [10] Eurocode 2 Part 1,1 - EN1992-1-1 Oct2004
- [11] Fib Bulletin 24: Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings 2003
- [12] J.A.Pincheira, J.O.Jirsa, SEISMIC RESPONSE OF RC FRAMES RETROFITTED WITH STEEL BRACES OR WALLS, Journal of Structural Engineering, Vol.121, No8, August, 1995
- [13] Earthquake protection-Spider on its way, NEWS(The VSL-INTRAFOR magazine) ISSUE 2, 2002
- [14] Ι.ΤΕΓΟΣ, Γ. ΛΙΑΚΟΣ, Σ.ΤΕΓΟΥ, Γ. ΡΟΥΠΑΚΙΑΣ, Κ-Α. ΣΤΥΛΙΑΝΙΔΗΣ, Μία εναλλακτική πρόταση αντισεισμικής ενίσχυσης υφιστάμενων οικοδομών Ο/Σ μέσω ελκυστήρων, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009