

ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΠΑΥΛΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ , ΠΑΝΑΓΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Περίληψη

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας αναφέρονται χρήσεις εξωτερικής προέντασης για την ενίσχυση και επισκευή υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Συγκεκριμένα διερευνάται η δυνατότητα χρήσης της για ανάληψη κατακόρυφων δράσεων(χαρακτηριστική περίπτωση γέφυρας) καθώς και για την ενίσχυση πλαισιακών κατασκευών σε σεισμικές δράσεις. Επιπροσθέτως γίνεται παρουσίαση της χρήσης προέντασης για επισκευή τοξωτών φραγμάτων που παρουσίασαν ρηγματώσεις λόγω αλκαλοπυρρικών αντιδράσεων και φαινόμενα ασυνέχειας μεταξύ των επιπέδων σκυροδέτησης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρεία χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος ως δομικού υλικού στο δευτερο μισό του εικοστού αιώνα, η αδιάλειπτη φθορά χρήσης που παρουσιάζει σε συνδυασμο με τη διαρκή αναβάθμιση των κτιριοδομικών κα αντισεισμικών κανονισμών εισάγει την ανάγκη για ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών. Ανάμεσα στις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί τόσο για την ενίσχυση όσο και για την επισκευή βλαβών η προένταση ξεχωρίζει για την ευκολία εφαρμογής της, την αποτελεσματικότητα τη δυνατότητα διατήρησης της αρχιτεκτονικής φυσιογνωμίας του υπο επισκευή κτιρίου , την εξασφάλιση εν μέρει της λειτουργικότητας της κατασκευής κατά την εκτέλεση των εργασιών και τέλος υπό προυποθέσεις το σχετικά χαμηλό κόστος.

ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ¹

Η πρόσθετη προένταση είναι η πιο δημοφιλής και εύκολα υλοποιήσιμη μέθοδος ενίσχυσης προεντεταμένων γεφυρών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την αντοχή καθώς και να βελτιώσει τη λειτουργικότητα απέναντι στην κάμψη και στη διάτμηση. Σε περιπτώσεις που κρίθηκαν απαραίτητες εργασίες ώστε να κλείσουν υφιστάμενες ρωγμές η πρόσθετη προένταση ήταν η μόνη αποτελεσματική λύση. Βασικός παράγοντας που συμβάλει στη χρησιμότητα της μεθόδου είναι η δυνατότητα εκτέλεσης των εργασιών περάτωσης της με πολύ μικρό περιορισμό της κυκλοφορίας. Αν και στα ακραία σημεία της γέφυρας απαιτούνται εκτεταμένες εργασίες για την δημιουργία χώρου για τις αγκυρώσεις, αυτές είναι εφικτό να υλοποιηθούν με διακοπή της κυκλοφορίας λωρίδα-λωρίδα. Όταν νέο σκυρόδεμα προστίθεται στην κατασκευή κρίνεται χρήσιμο για την ασφάλεια να διακόπτεται η κυκλοφορία καθώς και κατά τη διάρκεια της έντασης των τενόντων , όμως όταν οι αγκυρώσεις και εκτροπείς έχουν τοποθετηθεί οι εργασίες έντασης γρήγορα ολοκληρώνονται.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η προένταση ασκείται εξωτερικά λόγω της δυσκολίας που παρατηρείται στη διάνοιξη αγωγών για τη διέλευση των κύριων διαμηκών καλωδίων. Έσωτικοί τένοντες έχουν χρησιμοποιηθεί όταν κατακόρυφη πρόσθετη προένταση απαιτείται για την αύξηση της αντοχής διάτμησης(ακόμα και αυτοί οι σχετικά κοντοί αγωγοί δύσκολα διανοίγονται).

Στις γέφυρες που οι πλάκες καταστρώματος στηρίζονται σε δοκούς πρόσθετη προένταση μπορεί να ασκηθεί τοποθετώντας εξωτερικούς τένοντες ανάμεσα στα δοκάρια.Είναι πιθανό να απαιτηθεί πρόσθετο σκυρόδεμα ή κατακόρυφα χαλύβδινα μέλη για την αγκύρωση των

τενόντων. Η προένταση είναι ο πιο οικονομικός τρόπος ενίσχυσης όταν απαιτείται αύξηση της δυνατότητας μεταφοράς φορτίου. Στις κιβωτιοειδείς γέφυρες έχει παρατηρηθεί πως

χρήση προέντασης έχει γίνει για να επιδιορθωθούν ρωγμές πιο πολύ για λόγους λειτουργικότητας παρά αντοχής.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

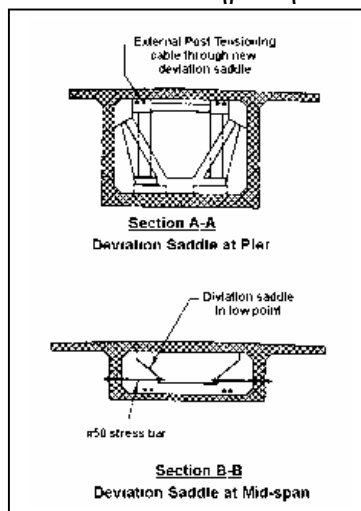
Η τροποποίηση μιας υπάρχουσας δομής ώστε να προσαρμοστούν πρόσθετες αγκυρώσεις και εκτροπείς είναι τόσο δύσκολη όσο και ακριβή συνεπώς είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση του αριθμού τέτοιων στοιχείων σε οποιοδήποτε σχέδιο ενίσχυσης. Ως εκ τούτου πρέπει να υιοθετηθούν λύσεις με ευθείς τένοντες που συνεχίζουν σε όλο το μήκος μεμονωμένων στοιχείων ή ακόμα και όλης της κατασκευής. Μπορεί αυτή η μέθοδος να απαιτεί μεγαλύτερη δύναμη προέντασης όμως είναι πιο ευκολη και οικονομική.

Οι αγκυρώσεις των καλωδίων μπορούν να τοποθετηθούν σε σκυρόδεμα πίσω από εσωτερικά ή διαφράγματα τέλους ώστε να επιτρέψουν το συνυπολογισμό της πρόσθετης ενίσχυσης και οι αγκυρώσεις να ενταθούν απευθείας στην υφιστάμενη κατασκευή. Εναλλακτική προσέγγιση είναι να αγκυρώθει πρόσθετη διαμήκης προένταση σε υπάρχοντα διαφράγματα ή στις πλευρές των ιστών. Το παραπάνω θα απαιτήσει τα πιάτα των αγκυρώσεων να κολληθούν και να καρφωθούν στο σκυρόδεμα αφού δεν είναι δυνατό το υφιστάμενο σκυρόδεμα να είναι σε θέση να αναλάβει τις πρόσθετες δυνάμεις. Η ένωση των αγκυρών στις πλευρές του ιστού μπορεί να γίνει με τη χρήση βιομηχανοποιημένης χαλύβδινης κατασκευής. Αν η πρόσθετη προένταση βρίσκεται μόνο στη μία πλευρά του ιστού δημιουργείται σημειακή ροπή και θα πρέπει τα πιάτα να συνδεθούν με το σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας υψηλής αντοχής προεντεταμένες μπάρες. Μια εναλλακτική λύση είναι να γίνει αγκύρωση σε νέα εγκάρσια χαλύβδινα δοκάρια που εκτείνονται μεταξύ των υπάρχοντων ιστών έτσι ώστε να απαιτείται μόνο αντίσταση σε διάτμηση.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ²

Η γέφυρα Puttesund βρίσκεται 100 χλμ. νότια του Όσλο και ολοκληρώθηκε το 1970 με την μέθοδο της προβολοδόμησης.

Είναι μια προεντεταμένη ενιαία κιβωτιοειδής γέφυρα με μια άρθρωση στο μέσο. Με την πάροδο των ετών το κύριο τμήμα έχει εκτραπεί περίπου 450 χιλιοστά στην άρθρωση. Επίσης η γέφυρα βρέθηκε να έχει ανεπαρκή διατμητική αντοχή η οποία και είναι η κύρια αιτία για την ενίσχυση. Εντούτοις η καμπτική ικανότητα βρέθηκε επαρκής. Υπάρχει λόγος να θεωρηθεί ότι το βέλος κάμψης προκαλείται από διάφορους παράγοντες αλλά δεν συνδέεται απαραίτητα με οποιαδήποτε αδυναμία της γέφυρας. Το σύστημα επέκτασης αποτελείται από δύο ζευγάρια καλωδίων παραμονής για κάθε πρόβολο που συνδέεται με το ανεστραμμένο Υ που σχηματίζεται από τους χαλύβδινους πύργους στις υπάρχουσες στηρίξεις.



Εφαρμόζοντας 3.15MN δύναμη έντασης σε κάθε ζευγάρι καλωδίων παραμονής περίπου 300 χιλιοστά βέλους κάμψης έχει αποβληθεί μέχρι σήμερα και οι αναλύσεις

δείχνουν πως η ανακουφισμένη από διάτμηση δοκός τώρα καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις των φορτίων κυκλοφορίας. Η κατάσταση της γέφυρας έχει αναλυθεί με χρήση ανώτερης μη γραμμικής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Επίσης πραγματοποιούνται μετρήσεις στο σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας την αποκαλούμενη 'stress-relief' τεχνική αφαίρεσης πυρήνα. Οι τάσεις που μετρούνται βρίσκονται σε καλή αντιστοιχία με τις τάσεις που υπολογίζονται με την ανάλυση.

ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Σύνοψη

Στο συγκεκριμένο εδάφιο γίνεται αναφορά στην χρήση της προέντασης για την αναβάθμιση της σεισμικής συμπεριφοράς κτηρίων οπλισμένου σκυροδέματος. Τα στοιχεία τα οποία παραθέτονται προέρχονται από αναφορές για υπάρχοντα κτήρια που ενισχύθηκαν με προένταση καθώς και από μια ερευνητική εργασία που έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός συστήματος προεντεταμένων καλωδίων –αποσβεστήρων (DCS) το οποίο προσαρμοζόμενο σε υπάρχουσες κατασκευές θα παρελάμβανε το σύνολο της σεισμικής δράσης. Η έλλειψη αναφορών για την στρατηγική πρακτικής εφαρμογής των μεθόδων αυτών, οριοθετεί τα πλαίσια αυτής της εργασίας στην αποτίμηση οφελών και στην επισήμανση σημείων ιδιαίτερης βαρύτητας για την επιτυχία της ενίσχυσης.

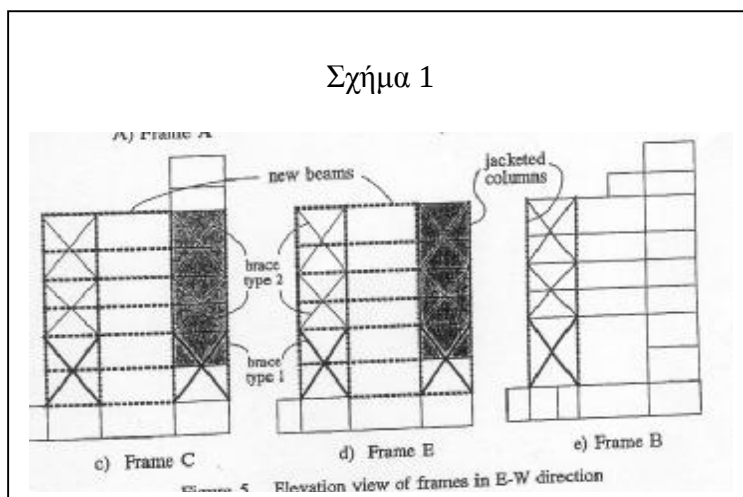
Περιοχή εφαρμογής

Η συγκεκριμένη μέθοδος βρίσκει εφαρμογή σε :

- 1) Εύκαμπτες κατασκευές που αποτελούνται από πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίοι δεν ικανοποιούν τις σύγχρονες απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού.
- 2) Κτήρια που λόγω κατασκευαστικών λαθών ή αλλαγής αρχιτεκτονικής διαρρύθμισης μπορούν να αναπτύξουν ανεπιθύμητο τρόπο αστοχίας όπως η εμφάνιση μαλακού ορόφου.
- 3) Κατασκευές που εμφανίζουν μεγάλες εκκεντρότητες στην κατανομή είτε της μάζας είτε της δυσκαμψίας με αποτέλεσμα τις έντονες στροφές των πλακών σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης.

Μηχανισμός λειτουργίας⁵

Η χρησιμότητα της προέντασης στην ενίσχυση της σεισμικής συμπεριφοράς πηγάζει από την δυνατότητα εκμετάλλευσης της αξονικής ατένειας των τενόντων στην ανάληψη οριζοντίων δράσεων λόγω σεισμού. Τυπική εφαρμογή της μεθόδου εμφανίζεται στο σχήμα 1 όπου παρατηρούμε την τοποθέτηση δύο τενόντων που συνδέουν τους κόμβους των πλαισίων



δημιουργώντας την χαρακτηριστική μορφή Χ.

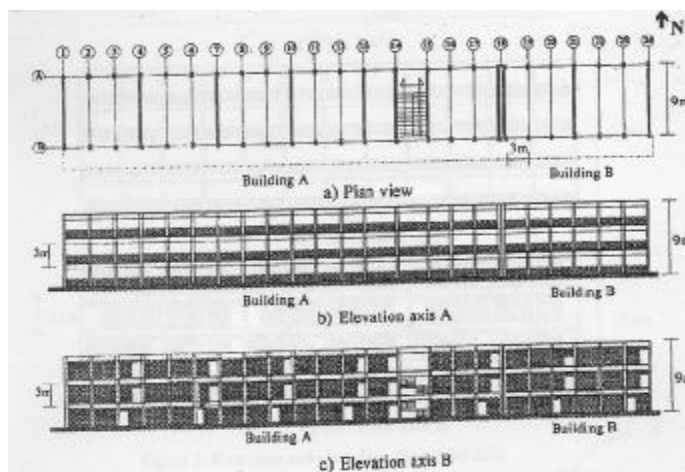
Είναι φανερό πως η τοποθέτηση τους δεν αυξάνει καθόλου την ικανότητα του πλαισίου να ανθίσταται σε κατακόρυφες δυνάμεις ενώ αντιθέτως αυξάνει αισθητά την πλευρική του δυσκαμψία. Είναι γνωστό ότι η πλειονότητα των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος συμπεριφέρονται διατμητικά και συνεπώς το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η σχετική οριζόντια μετατόπιση των ορόφων. Αυτήν ακριβώς την μετατόπιση καλείται να μειώσει η σύζευξη των κόμβων με προεντεταμένους τένοντες.

Χρήση προέντασης για την ενίσχυση σχολικού κτηρίου στο Μεξικό¹

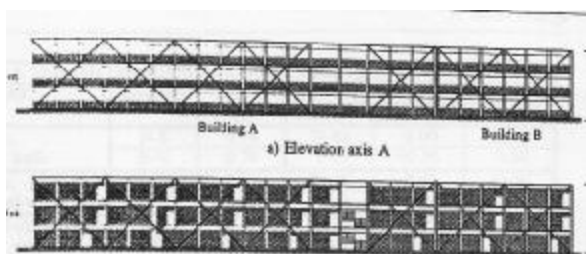
Η εφαρμογή της μεθόδου και τα αποτελέσματά της μπορούν να αποσαφηνιστούν με την παράθεση του παρακάτω παραδείγματος.

Το 1985 κατά την διάρκεια του σεισμού Michoacan στην πόλη του Μεξικό παρατηρήθηκαν μέτριας σοβαρότητας βλάβες σε σχολικά κτήρια κατασκευασμένα την δεκαετία του εξήντα. Οι βλάβες εντοπίζονται στην διαμήκη διεύθυνση του κτηρίου όπου το σύνολο των υποστυλωμάτων έχουν τον ασθενή τους άξονα. Επίσης η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων που δεν καλύπτανε το σύνολο του ύψους των ανοιγμάτων οδήγησε στην έντονη διατμητική καταπόνηση των υποστυλωμάτων λόγω μη επαρκούς ύψους (κοντά υποστυλώματα). Η χρήση προεντεταμένων τενόντων επιλέχθηκε για την ενίσχυση ως η πλέον οικονομική και δημοφιλής.

Σχήμα 2



Σχήμα 3

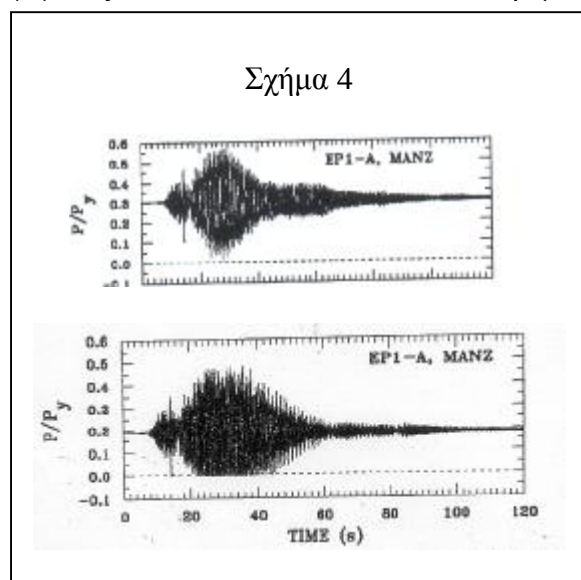


Το σχολικό συγκρότημα αποτελείται δύο τριώροφα κτήρια ύψους 9 μέτρων με πλαισιακό φορέα οπλισμένου σκυροδέματος με τυπικά ανοίγματα 3 μέτρων στην διαμήκη διεύθυνση και 9 μέτρων στην εγκάρσια. Τα πλαίσια αποτελούνται από ορθογωνικά υποστυλώματα 30*50 εκ. ,δοκούς 25*65 εκ. (άξονας Α) ,15*65 εκ. (άξονας Β), 30*65 εκ. (άξονες 1 έως 24) και πλάκες πάχους 10εκ. σχήμα 2. Η αντοχή του σκυροδέματος υπολογίστηκε στα 20 Μpa ενώ το όριο διαρροής του χάλυβα στα 420 Μpa. Η τοποθέτηση των τενόντων έγινε όπως φαίνεται στο σχήμα 3 σύμφωνα με τον σχεδιασμό της κατασκευάστριας εταιρίας. Οι τένοντες είναι συνδεδεμένοι με τα θεμέλια και με την οροφή. Χρησιμοποιήθηκαν δέσμες

των έξι καλωδίων διαμέτρου μισής ίντσας το καθένα. Για την προστασία των τενόντων από την διάβρωση τους τοποθέτησαν σε χαλύβδινους σωλήνες τους οποίους γέμισαν μετά την τάνυση με τσιμεντένεμα. Ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε είχε όριο διαρροής 1320 Μpa και τανύστηκε στο 20% της δύναμης διαρροής του.

Στην προσπάθεια για αποτίμηση της αποδοτικότητας του συστήματος έγιναν διάφορες αναλύσεις και για αρκετά επιταχυνσιογραφήματα ώστε να διαπιστωθεί τόσο ο τρόπος της αστοχίας όσο και η

Αντοχή του κτηρίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν την σημαντική μείωση της φυσικής περιόδου κατά τον διαμήκη άξονα, που δείχνει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου για την απομάκρυνση της 'εύκαμπτης' κατασκευής από την κορυφή των φασμάτων, επίσης η αυξημένη δυσκαμψία προκαλεί την σημαντική μείωση της πλευρικής μετατόπισης. Παρά το γεγονός ότι δεν αλλάζει ο μηχανισμός αστοχίας, η χρήση των προεντεταμένων καλωδίων αυξάνει την αντοχή σε σημείο που να μπορεί η κατασκευή να παραμείνει στην ελαστική περιοχή είτε αναφερόμαστε σε μαλακά είτε σε σκληρά εδάφη. Η αρχική τιμή της προέντασης κρατήθηκε στο σχετικά μικρό ποσοστό 20% ώστε να αποφύγουμε την διαρροή των τενόντων ακόμα και για ισχυρές σεισμικές κινήσεις. Πάντως είναι κάθε φορά απαραίτητη η προσεκτική επιλογή της αρχικής προέντασης αφού είναι από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες της συμπεριφοράς του κτηρίου. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι για ένα συγκεκριμένο επιταχυνσιογράφημα είναι αποδοτικότερη η επιλογή ποσοστού γύρω στο 32% αφού ήταν αυξημένος ο κίνδυνος χαλάρωσης των τενόντων, στο σχήμα 4 φαίνεται η χρονική εξέλιξη της δύναμης του τένοντα για ποσοστό προέντασης 20% και 32% της δύναμης διαρροής. Αυτή η επιλογή πρέπει να συνδυαστεί με ενίσχυση των δοκών της οροφής με μανδύες ώστε να μπορούν να παραλάβουν την επιπλέον ένταση. Δεν κρίνεται απαραίτητη η ενίσχυση και των υποστυλωμάτων που μεταφέρουν πρόσθετο αξονικό φορτίο παρά το γεγονός ότι κάτι τέτοιο θα δεν έκανε την μέθοδο ασύμφορη.



Η προηγούμενη εφαρμογή της μεθόδου έγινε πάνω σε ένα αρκετά κανονικό και ως προς την κατανομή μάζας και ως προς την κατανομή της δυσκαμψίας και απέβλεπε μόνο στην αύξηση της αντοχής του. Μεγαλύτερες δυνατότητες της μεθόδου παρατηρούνται όταν γίνεται εφαρμογή της σε μη κανονικά κτήρια όπως αυτό στο οποίο αναφέρεται το άρθρο των Teran-Gilmore, A. Bertero στο Earthquake Spectra². Σε αυτό το παράδειγμα πέρα από τα προβλήματα που ήδη αναφέρθηκαν σχετικά με την επιλογή της δύναμης προέντασης εμφανίζονται και προβλήματα σχετικά με την διάταξη των τενόντων ώστε να προστατευθούν τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και να αντιμετωπίσουν τις εκκεντρότητες.

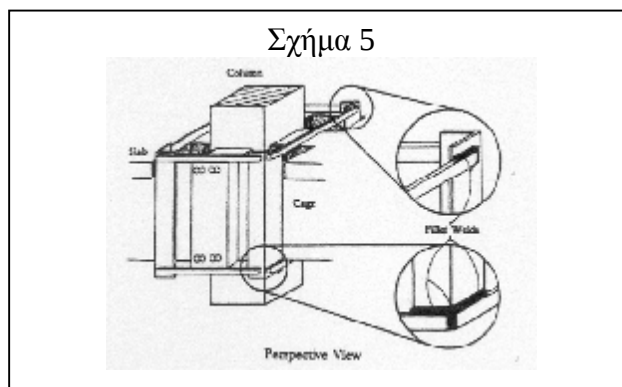
Παρατηρήσεις και σημεία προσοχής

Η προένταση ως μέθοδος ενίσχυσης είναι αρκετά δύσκολη και απαιτεί ένα σημαντικό πλήθος υπολογισμών καθώς και καλή γνώση του αντικειμένου από τον μελετητή μηχανικό και την ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού (όχι εύκολο για την Ελλάδα). Παρακάτω αναφέρονται κάποια σημεία που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.

- 1) Χρειάζεται εκτεταμένος αριθμός αναλύσεων για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών της κατασκευής ακόμα και του τύπου του εδάφους και για υπάρχοντα επιταχυνσιογραφήματα (όπου αυτά υπάρχουν). Αναλύσεις με όρους επιτρεπτών μετακινήσεων είναι απαραίτητες.
- 2) Προσοχή πρέπει να δοθεί στο εάν ο υπάρχων φέρων οργανισμός είναι σε θέση να αναλάβει τις επιπλέον εντάσεις που αναμένονται να αναπτυχθούν από την επιβολή της προέντασης.
- 3) Η πλέον πιθανή αιτία αστοχίας της μεθόδου είναι η αδυναμία μεταβίβασης των δυνάμεων από σύστημα των τενόντων στους κόμβους των πλαισίων που ενισχύονται. Συνήθης είναι η σύνδεση των τενόντων με τον σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος μέσω μεταλλικών ελασμάτων τα οποία σχεδιάζονται σύμφωνα με τους κανονισμούς για διατμητικές συνδέσεις. Για την ενίσχυση του κόμβου είναι δυνατή η πλήρης περιβολή³ του όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Μπορούμε να είμαστε απόλυτα εξασφαλισμένοι απέναντι στο ενδεχόμενο αστοχίας εάν διαστασιολογήσουμε την σύνδεση για δύναμη ίση με την δύναμη θραύσης του τένοντα πολλαπλασιασμένη με κάποιον συντελεστή ασφαλείας υλικού.
- 4) Γνωρίζοντας την έντονη διάβρωση που μπορεί να παρουσιαστεί στους τένοντες πρέπει να λάβουμε όλα τα απαραίτητα μέτρα στεγανοποίησης (στεγανοποίηση του σωλήνα περιβολής, ακόμα και χρήση συνθετικών τενόντων).

Διαδικασία εφαρμογής (γενικοί κανόνες)

- 1) Αποκάλυψη φέροντος οργανισμού στα σημεία όπου θα τοποθετηθούν τα μεταλλικά ελάσματα (Σε περίπτωση που η μέθοδος συνοδεύεται από την ενίσχυση των δοκών και των υποστρωμάτων που φέρουν πρόσθετη ένταση προηγείται η σκυροδέτηση των μανδυνών).
- 2) Τοποθέτηση των ελασμάτων με προεπιλεγμένη μέθοδο σύνδεσης.
- 3) Μονόπλευρη αγκύρωση στα ελάσματα τενόντων και τοποθέτηση των σωλήνων περιβολής.
- 4) Τάνυση και αγκύρωση του τένοντα στο έτερο έλασμα. Η μέτρηση της αρχικής δύναμης προέντασης να επιβεβαιώνεται τόσο από την ένδειξη του δυναμόμετρου όσο και από την μέτρηση της μήκυνσης του τένοντα.
- 5) Επανάληψη της ίδιας διαδικασίας και σε πιθανά ανώτερα επίπεδα.
- 6) Κάλυψη των τενόντων (όταν αυτό προβλέπεται) και ανακατασκευή των τοιχοπληρώσεων



Παρουσίαση προγράμματος SPIDER⁴

Το πρόγραμμα SPIDER ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2000 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβρη του 2002 χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή ένωση. Η προτεινόμενη τεχνική στηρίχθηκε σε δύο βασικές ιδέες:

- 1) Η κατασκευή πρέπει να αντιμετωπιστεί με μία καθολική προσέγγιση ώστε να εκμεταλλευτούμε την μεγαλύτερη σχετική μετατόπιση που προκύπτει στην οροφή του κτηρίου. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν τένοντες που συνδέουν τους αποσβεστήρες με όλους τους συσχετιζόμενους ορόφους.

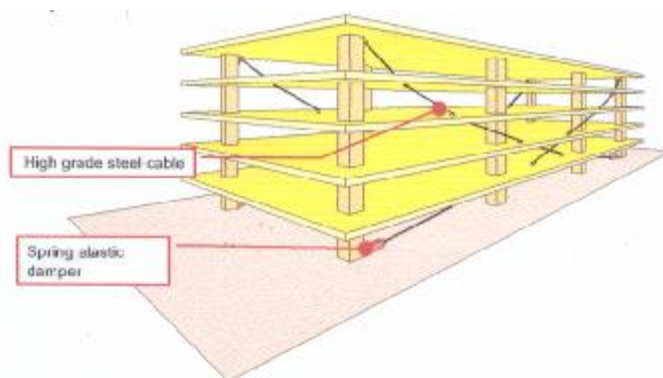
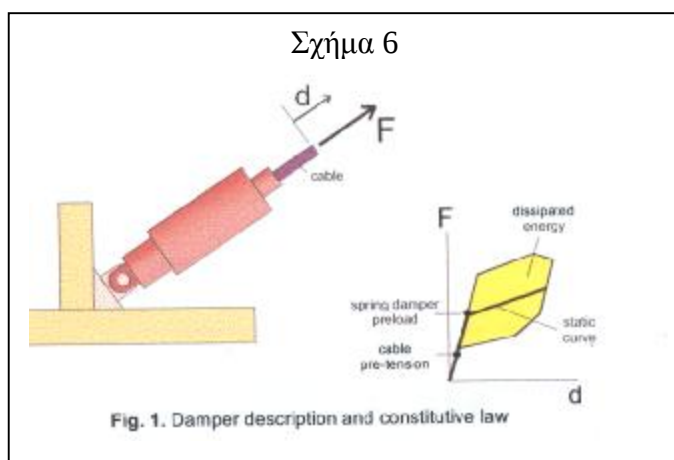


Fig. 2. Damper Cable System in building

- 2) Επειδή η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προτάθηκε η χρήση αποσβεστήρων.

Το σύστημα περιλαμβάνει προεντεταμένα καλώδια συνδεδεμένα εν σειρά με συσκευές απόσβεσης (JARRET). Τα προεντεταμένα καλώδια πακτώνονται στο ένα άκρο της βάσης και στο αντίθετο άκρο της κορυφής του κτηρίου. Οι μηχανές απόσβεσης τοποθετούνται στην βάση του κτηρίου για την εξασφάλιση εύκολης εγκατάστασης και συντήρησης. Η τελική μορφή των καλωδίων εξαρτάται από την δυσκαμψία και την αρχιτεκτονική του κτηρίου. Μικρές δονήσεις απορροφώνται από την ελαστικότητα του καλωδίου. Οι αποσβεστήρες των οποίων η συμπεριφορά αναπαρίσταται στο σχήμα 6 (ουσιαστικά είναι ένα σύστημα ελατηρίων και ενός μηχανισμού γλοιωτικής απόσβεσης) σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν πάνω από μια συγκεκριμένη τιμή δύναμης, με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής τους χωρίς να απαιτηθεί κάποια συντήρηση ακόμα και μετά από αρκετά χρόνια.



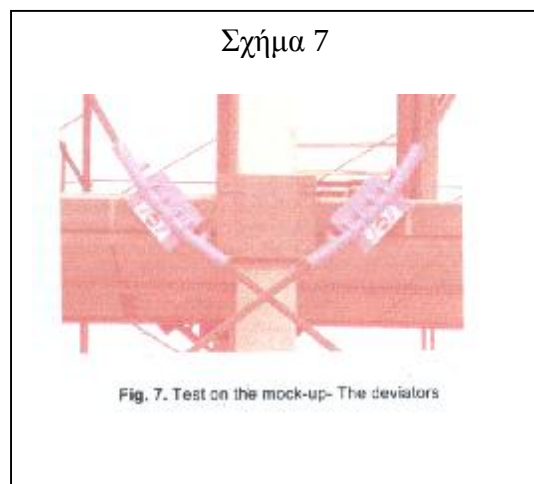
Το πανεπιστήμιο του Ούντινε δημιούργησε μια μέθοδο ανάλυσης για την σεισμική συμπεριφορά κτηρίων που φέρουν το σύστημα DCS όπου το κριτήριο σχεδιασμού ήταν η απαίτηση για μέγιστη μετατόπιση διαδοχικών ορόφων $H/400 H$: ύψος ορόφων. Διάφορες μελέτες έδειξαν ότι το DCS δεν οφελεί τις πολύ δύσκαμπτες ούτε τις πολύ ψηλές κατασκευές (κτίρια με

ύψος πάνω από 10-12 ορόφους λόγο της κατακορύφωσης των τενόντων).

Τεχνικές λεπτομέρειες

Για τα καλώδια προτιμήθηκαν επτάκλινα συρματόσκοινα τα οποία αφού γρασώθηκαν και τους τοποθετήθηκε ένα είδος επικάλυψης (για την διαφύλαξη της

ικανότητας επανατάνυσης) τοποθετήθηκαν σε σωλήνα περιβολής, τανύστηκαν και τελικά γεμίστηκαν με τσιμεντένεμα για την προστασία από εξωτερικούς παράγοντες.



Για την σύνδεση των καλωδίων με το επίπεδο του κάθε ορόφου χρησιμοποιήθηκαν και εδώ μεταλλικά ελάσματα τα οποία συνδέθηκαν στον σκελετό της υπάρχουσας κατασκευής επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν ειδικές συσκευές (εκτροπείς deviators) για την εξασφάλιση της επιθυμητής γωνίας εκτροπής όπως δείχνει το σχήμα 7. Η κατασκευάστριες εταιρίες διαβεβαιώνουν την ύπαρξη πλήθους εναλλακτικών τρόπων σύνδεσης που καθιστούν το σύνολο της επέμβασης πολύ ευέλικτο αρχιτεκτονικά και κατασκευαστικά. Δυστυχώς δεν υπήρξε η δυνατότητα εμφάνισης στην παρούσα εργασία των συνδέσεων αυτών.

Πειραματικά αποτελέσματα

Πέρα από τις αναλύσεις, για τον υπολογισμό της σεισμικής συμπεριφοράς του DCS πραγματοποιήθηκαν πειράματα πάνω σε κτηριακό μοντέλο εξοπλισμένο με το σύστημα καλωδίων αποσβεστήρων και μάλιστα για διάφορες τιμές αρχικής προέντασης. Το μοντέλο είναι ένα τριόροφο (σχήμα 8) στο οποίο ασκείται οριζόντια ημιτονοειδής φόρτιση με μέγιστη τιμή 70 kN και εύρος συχνοτήτων από 1-20 Hz. Οι συνδιασμοί που ελέγχθηκαν ήταν οι εξής:

- A) DCS με ονομαστική δύναμη εκκίνησης αποσβεστήρα 300 kN
- C) DCS με μειωμένη δύναμη 240 kN
- D) DCS με μειωμένη δύναμη 150 kN
- E) Χωρίς DCS

Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται η μετατόπιση της κορυφής ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης δύναμης (γράφημα 1), το ποσοστό της αναλίσκόμενης ενέργειας στον αποσβεστήρα σε σχέση με την μέγιστη μετατόπιση της οροφής (γράφημα 2), και τέλος το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης που επιτυγχάνεται ως προς την μέγιστη μετατόπιση της οροφής (γράφημα 3).

Σχήμα 8



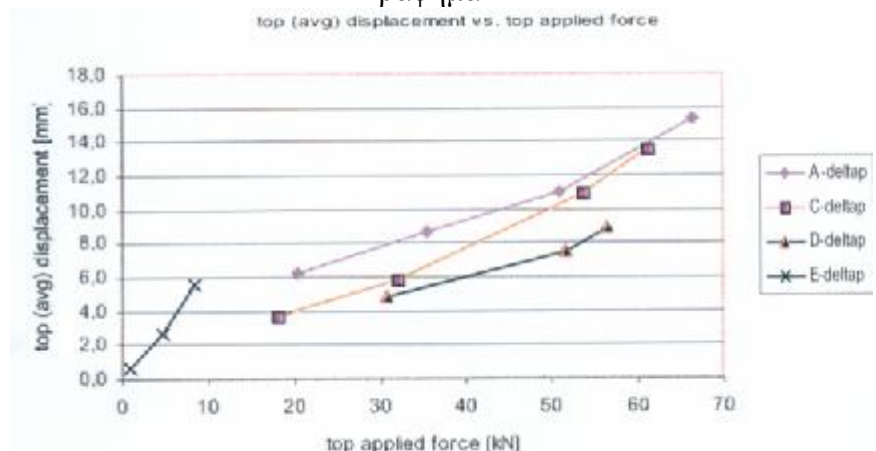
Fig. 12. Mock-up equipped with DCS

Συμπεράσματα

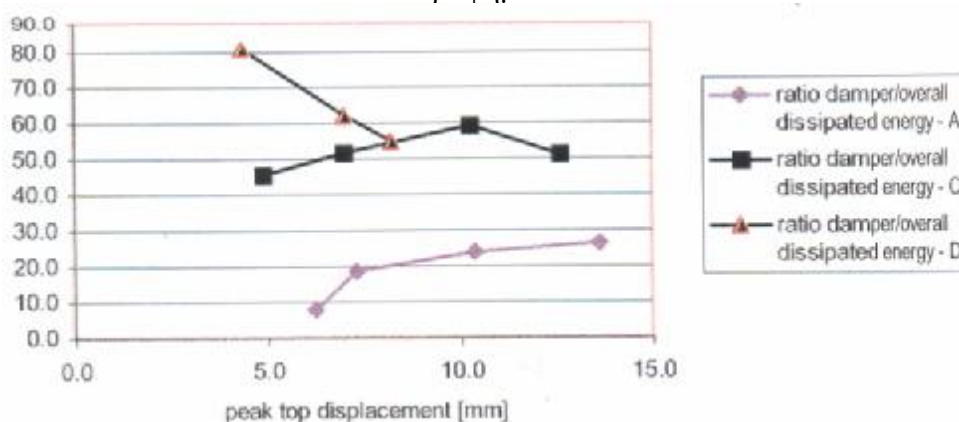
Το σύστημα DCS, του οποίου οι δυνατότητες εξετάστηκαν εδώ, αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποδοτικό στην ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η γρήγορη εγκατάστασή του η ευχερής συντήρηση και η δυνατότητά του να κρατά το κτήριο στην ελαστική περιοχή (περιορίζοντας απόλυτα τις βλάβες που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης) είναι πλεονεκτήματα που το κάνουν ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ενίσχυσης των κατασκευών. Οι εταιρίες που συνεργάστηκαν και μπορούν να αποτελέσουν πιθανό προμηθευτή εξοπλισμού είναι:

- 1) JARRET (France) προμηθευτής αποβεστικών συσκευών
- 2) VSL (France) προμηθευτής τενόντων
- 3) BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS προμηθευτής συνδέσμων

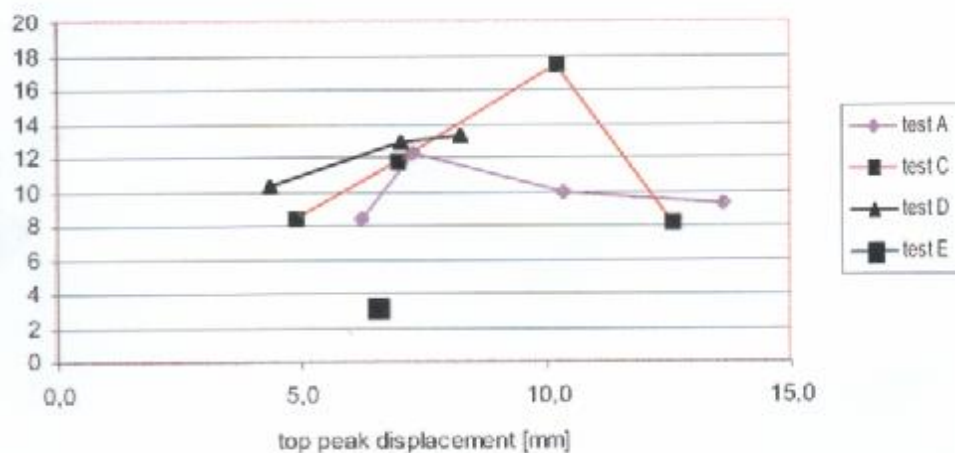
Γράφημα 1



Γράφημα 2

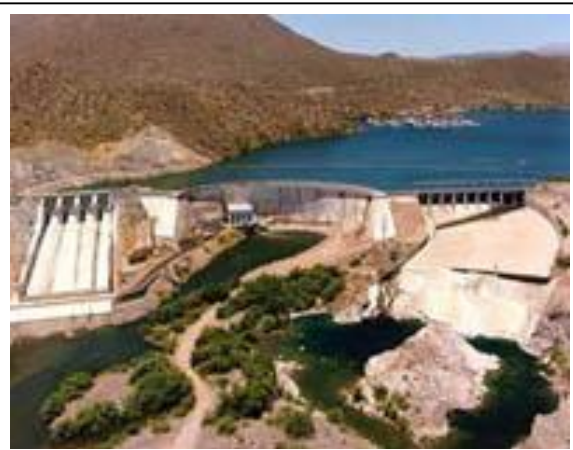


Γράφημα 3



ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ-ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ ΑΨΙΔΑΣ¹

Σε πολλά φράγματα που χτίστηκαν πριν από το 1945 και που βρίσκονται στις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάστηκαν σημάδια αλκαλοπυριτικών αντιδράσεων που είχαν επιπτώσεις στην αντισεισμική συμπεριφορά των κατασκευών. Στην συνέχεια θα περιγραφεί έρευνα που έχει γίνει στο φράγμα Stewart Mountain στην Αριζόνα για τη ενίσχυσή του με χρήση προέντασης. Οι βασικές αρχές της έρευνας είναι δυνατό να γενικευτούν για κάθε φράγμα που παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα.



Το φράγμα Stewart Mountain βρίσκεται 66χλμ ανατολικά του Φοίνιξ στην Αριζόνα και ολοκληρώθηκε το 1930. Το φράγμα έχει αναπτύξει αλκαλοπυριτικές αντιδράσεις επίσης δεν υπάρχουν δεσμοί στα ανώτερα οριζόντια επίπεδα του σκυροδέματος. Για την καλύτερη αξιολόγηση της κατάστασης κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ 1943 και 1985 έγιναν πολλές επιτόπιες δοκιμές καθώς και εξαγωγές πυρήνων σκυροδέματος. Οι έρευνες αποκάλυψαν πως οι αλκαλοπυριτικές αντιδράσεις έχουν προκαλέσει ράγισμα στην ανώτερη επιφάνεια, οι αξιολογήσεις όμως που βασίζονται στις μετρήσεις εκτροπής του φράγματος προβλέπουν αμελητέα ποσά μελλοντικών αντιδράσεων. Από το 1937 μέχρι σήμερα το φράγμα έχει μόνιμη μετατόπιση προς τα πάνω περίπου έξι ίντσες, εντούτοις η αύξηση της μετατόπισης είναι αμελητέα από το 1964. Με βάση χημικές αναλύσεις βρέθηκε πως το ποσό διαθέσιμου διαλυτού αλκαλίου που απαιτείται για τη συνέχιση της αντίδρασης είναι

αμελητέο συνεπώς το εσωτερικό σκυρόδεμα είναι σχετικά απρόσβλητο και θα μπορούσε να έχει πολλά ακόμα έτη λειτουργική διάρκεια ζωής. Στα κατώτερα στρώματα οι αλκαλοπυριτικές αντιδράσεις δεν έχουν τις ίδιες επιπτώσεις επειδή λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας που επικρατεί υπάρχει υψηλότερη διύλιση του διαθέσιμου πηκτώματος, που προκαλεί την αλκαλοπυριτική αντίδραση, στο τριχοειδές διάστημα.

Επίσης η φτωγή σύνδεση στις ανώτερες οριζόντιες επιφάνειες οφείλεται στην διαρροή σε κάθε επίπεδο του υψηλής περιεκτικότητας σε νερό σκυροδέματος. Οι κατασκευαστικές πρακτικές το 1930 δεν αναγνώριζαν τη σημασία του καθαρισμού των ενώσεων της κατασκευής πριν τις επόμενες σκυροδετήσεις. Οι φτωχοί δεσμοί επομένως επεκτείνονται σε όλη την ασπίδα.

ΟΡΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Το φράγμα Stewart Mountain αναλύθηκε για τα φορτία κανονικής λειτουργίας, βαρύτητα, την πίεση του νερού της δεξαμενής, τη θερμοκρασία καθώς και για τα φορτία που προκαλούνται από τυχούσα σεισμική δράση. Οι μόνιμες δράσεις ασκούσαν σχετικά μικρές τάσεις στην κατασκευή και δεν επηρέαζαν ουσιαστικά τη στατικότητα της κατασκευής. Τα σεισμικά φορτία που υπολογίστηκαν με βοήθεια της φασματικής μεθόδου έντασης επιτάχυνσης για σεισμό υπολογισμένης διάρκειας 12 δευτερόλεπτα δεν είναι δυνατό να αναληφθούν από την κατασκευή χωρίς εκτροπή από την αρχική θέση. Συνεπώς η κατασκευή χρειάζεται ενίσχυση.

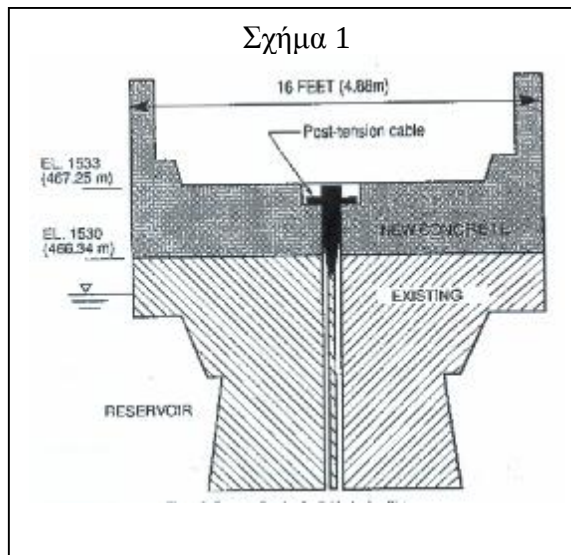
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η αιτιολόγηση της απόφασης να τροποποιηθεί η κατασκευή και η επιλεγμένη μέθοδος τροποποίησης είναι βασισμένη στα ακόλουθα συμπεράσματα έρευνας. Οι δυνάμεις στη κορυφή της ασπίδας είναι αρκετά μεγάλες κρίνοντας τις προκύπτουσες μέγιστες επιταχύνσεις 2,32 g στη στέψη. Οι οριζόντιες επιφάνειες έχουν ελάχιστη συνοχή. Τριαξονικές δοκιμές συμπίεσης σε πυρήνες σκυροδέματος δείχνουν πως το εσωτερικό σκυρόδεμα είναι πολύ ισχυρό (37.21 MPa). Η αντίδραση δεν έχει επιδεινώσει το φράγμα σε σημείο που να απαιτείται πλήρης αντικατάστασή του. Η μη μονολιθική συμπεριφορά του φράγματος είναι αποδεκτή μόνο για στατικές φορτίσεις, σε περίπτωση δυναμικής φόρτισης προοδευτική αστοχία της κατασκευής θα μπορούσε να εμφανιστεί.

Εξετάστηκαν μέτρα για την πρόληψη της επιδείνωσης. Το εσωτερικό υλικό των φραγμάτων βρισκόταν σε πολύ καλή κατάσταση εκτός από τα επίπεδα ασυνεχειών, αυτά τα σημεία θα μπορούσαν να αντικατασταθούν, όμως τα επίπεδα αυτά ήταν απεριόριστα, όπως φάνηκε από αφαίρεση πυρήνων, οπότε η διαδικασία θα ήταν δύσκολη και πολυδάπανη. Επίσης για την εκτέλεση μιας τέτοιας διαδικασίας απαιτείται χαμήλωμα της στάθμης του ύδατος γεγονός που αποτελεί μεγάλο πλήγμα για μια περιοχή με έλλειψη νερού.

Ερευνήθηκαν και άλλες μέθοδοι όπως η συγκόλληση με ρητίνες, η προσθήκη συσκευής απόσβεσης, η αποξήρανση μέσα στην ασπίδα για την μείωση των δυνάμεων ανύψωσης. Όμως όλες παρουσίαζαν δυσκολίες καθώς και αβεβαιότητα για την αποτελεσματικότητά τους. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος της προέντασης μπορούσε να αυξήσει την αντίσταση της τριβής ανάμεσα στα οριζόντια επίπεδα προσφέροντας βεβαιότητα για το αποτέλεσμα χωρίς να δημιουργεί λειτουργικές δυσκολίες αφού εφαρμόζεται χωρίς απαίτηση τροποποίησης της κατασκευής ή διακοπή λειτουργίας της. Πρέπει να επισημανθεί το σχετικά με τις άλλες μεθόδους χαμηλό κόστος.

Οι προεντεταμένοι τένοντες αυξάνουν τις κανονικές δυνάμεις στα ασύνδετα επίπεδα και συνεπώς την τριβή σχήμα1. Τα καλώδια επίσης παράγουν τρισδιάστατες πιέσεις σε όλο το τμήμα των αψίδων ανάλογα με τον προσανατολισμό και την εκκεντρότητα τους. Η προένταση δημιουργεί δύο ίσα και αντίθετα φορτία στις άκρες του ελεύθερου μήκους του, το φορτίο αυτό μπορεί να θεωρηθεί συγκεντρωμένο ή και σημειακό. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους και της διάταξης της προέντασης επιλύεται ένα δισδιάστατο πρόβλημα ολίσθησης συστατικά του οποίου είναι τα παρακάτω.



Οι κατευθυντήριες στην προς τα πάνω ακτινωτή κίνηση οφείλονται στις οριζόντιες προκληθείσες από το σεισμό δυνάμεις αδρανείας. Αυτές επηρεάζονται από το μέγεθος του σεισμού την απόσταση και τη συχνότητα, επίσης από την απόσβεση της κατασκευής, την αλληλεπίδραση των φυσικών συχνοτήτων της κατασκευής και του σεισμού. Τέλος επηρεάζονται από την υδροδυναμική αλληλεπίδραση της δεξαμενής.

Από την άλλη πλευρά οι δυνάμεις αντίστασης οφείλονται στην τριβή ανάμεσα στις οριζόντιες επιφάνειες λόγω βάρους και πιέσεων του νερού, επίσης οφείλονται στη συνοχή των οριζοντίων επιπέδων και τέλος στη διάτμηση στις κάθετες ενώσεις συστολής. Με τη βοήθεια δυναμικής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων υπολογίστηκαν οι αδρανειακές

δυνάμεις του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια του σεισμού. Με το στοιχείο αυτό και τη βοήθεια της παραπάνω εξίσωσης υπολογίστηκε πως για να εμποδισθεί η ολίσθηση του σκυροδέματος απαιτείται προένταση 62 καλωδίων που αποτελούνται από μέλη διαμέτρου 15.24 χιλιοστών τανυσμένων με φορτίο 3.114 kN σε απόσταση μεταξύ τους 3.05 μέτρα.

Πριν από τη διαδικασία της προέντασης έγιναν πλήρεις εργαστηριακοί έλεγχοι. Πλήρεις εργαστηριακοί έλεγχοι έγιναν για τον καθορισμό του μίγματος του ενέματος. Σε σωλήνα από plexiglass τοποθετήθηκε τένοντας, αποστατήρες και ο σωλήνας του ενέματος και μελετήθηκε η ροή του ενέματος καθορίζοντας έτσι τη σύσταση του μίγματος.

Έλεγχος έγινε και σε κάθε εποξειδικά καλυμμένο μέλος τένοντα για να βρεθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ χάλυβα και εποξειδικής κάλυψης, ακόμα εξετάστηκε η πιθανότητα ολίσθησης των μελών του τένοντα μέσα στο ένεμα. Τέλος έγινε έλεγχος σε εφελκυσμό και διάτμηση τενόντων με δεσμούς ανά τρία και έξι μέτρα.

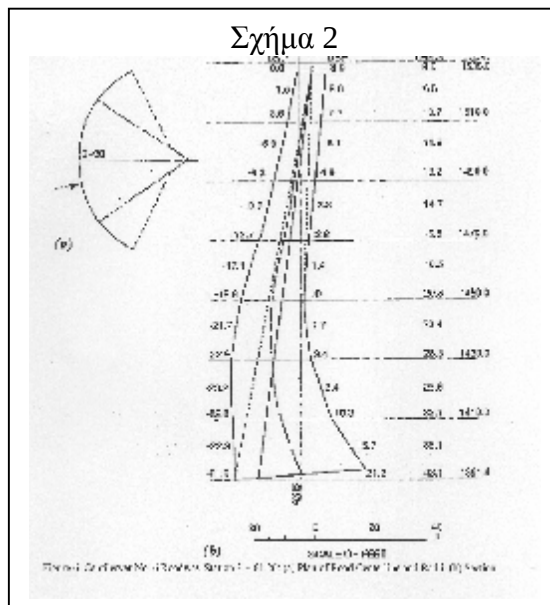
Η διάνοιξη των οπών διαμέτρου 254 χιλιοστών για τα καλώδια έγινε με ένα Casagrande Model C-12 diesel υδραυλικό τρυπάνι εξοπλισμένο με σφυρί που φτάνει στο κάτω μέρος της οπής. Η οπή αυτή ήταν σε βάθος 70 μέτρων με κλίση 7 μοίρες και απόκλιση 140 χιλιοστών από το επιθυμητό σημείο στα 70 μέτρα. Η ταχύτητα διάνοιξης της οπής ήταν 3.75mm/sec ταχύτητα πολύ χαμηλή λόγω της δυσκολίας της εργασίας.

Το τεράστιο φορτίο που δέχεται το πιάτο τύπου ρουλεμάν της προέντασης πρέπει να διανεμηθεί στην αψίδα του φράγματος. Μια στρώση ενισχυμένου σκυροδέματος πάχους 0.194 μέτρων με διαμορφωμένες εδράσεις δέχεται το μηχανισμό της αγκύρωσης. Οι μελέτες πεπερασμένων στοιχείων διεξήχθησαν σε χαρακτηριστικό εντοπισμένο τμήμα της κορυφής

του φράγματος. Απαιτήθηκε ενίσχυση του χάλυβα για να αντισταθεί στις πιέσεις που αναπτύχθηκαν κάτω από το πιάτο τύπου ρουλεμάν και επάνω από τις νέες και υπάρχουσες διεπαφές από σκυρόδεμα.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του συστήματος καλωδίων στο φράγμα ήταν μια πρόκληση λόγω του καλυμμένου χώρου έντασης. Οι αδρανειακές δυνάμεις υπολογίσθηκαν σε 15 σημεία κατά μήκος του πάνω μέρους του φράγματος. Τα καλώδια τοποθετήθηκαν όσο το δυνατό πιο κοντά στο κέντρο της κάθετης διεύθυνσης Σχημα2.

Μελέτες με χρήση πεπερασμένων στοιχείων έδειξαν ευεργετική κατανομή τάσης μέσα στο φράγμα λόγω της προέντασης κατά τη διάρκεια περιόδων ομαλής λειτουργίας. Ειδικές απαιτήσεις σχεδιασμού υπήρχαν για τις μεθόδους διάνοιξης οπών όπου απαιτούνταν ακρίβεια και ύπαρξη ανοχών, για τη συχνότητα έντασης, την τοποθέτηση στο φράγμα, την προστασία από διάβρωση και την προένταση.



Για την διάνοιξη οπών λήφθηκε υπ'όψιν ο περιορισμός των απωλειών τριβής, των βλαβών των καλωδίων καθώς και της διάβρωσης. Για τον περιορισμό της διάβρωσης προτιμάται η εποξειδική κάλυψη των καλωδίων.

Ο σκοπός του σχεδιασμού των τενόντων ήταν να προσδώσει μια ομοιόμορφη δύναμη στις ασύνδετες οριζόντιες επιφάνειες για δυναμική ευστάθεια. Επειδή οι τένοντες δεν ήταν εφικτό να τοποθετηθούν σε ισαπέχοντα διαστήματα λόγω των κατασκευαστικών δεσμών απαιτείται κάθε τένοντας να έχει διαφορετικό φορτίο. Συνεπώς για να φορτιστεί η αψίδα ομοιόμορφα οι τένοντες εντάθηκαν με συγκεκριμένη ακολουθία. Όταν το ελεύθερο

μήκος του τένοντα έχει δεχθεί το ένεμα το φορτίο στο φράγμα και τους τένοντες δεν είναι δυνατό να χαθεί. Ως εκ τούτου πρωταρχικό μέτρο είναι να εκτιμηθεί η κατασκευαστική συμπεριφορά των τενόντων πριν δεχθούν το ένεμα. Αυτό έγινε με τις εργαστηριακές έρευνες

Επίλογος

Η χρήση της προέντασης για την ενίσχυση κατασκευών παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και μπορεί να βρεί εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων. Είναι ασφαλώς απαραίτητη η μεγάλη προσοχή τόσο στον σχεδιασμό όσο και στην εφαρμογή της αφού πιθανά λάθη μπορούν να έχουν καταστροφικά αποτελέσματα. Σίγουρα με την πρόοδο στον τομέα της εφαρμογής αναμένεται και η αύξηση της χρήσης της και στην Ελλάδα.

ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ

Ενίσχυση γεφυρών

- 1) Strengthening, repair and monitoring of post-tensioned concrete bridge decks, Part2, Section 3, Design manual for roads and bridges, The highways agency
- 2) Strengthening of Puttesund bridge, Steinar Fjeldheim & Jan Teigen, Tenth international conference on 'Extending the life of bridges ... July 2003 London The Commonwealth Institute.

Ενίσχυση πλαισίων

- 1) Some retrofit options for the seismic upgrading of some old low-rise school buildings in Mexico, Arturo Tena-Colunga, EARTHQUAKE SPECTRA 1996 vol.12 p.883-902
- 2) Seismic rehabilitation of infilled non ductile frame buildings using post-tensioned steel braces, Teran-Gilmore Bertero and Youssef ,EARTHQUAKE SPECTRA 1996 vol. 12 p.863-882
- 3) State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the USA, Jack P. Moehle, Pacific earthquake engineering research center University of California Berkeley
- 4) New technology to protect Structures against earthquake-SPIDER project
- 5) 5.6.6 Retrofitting with post- tensioned cables, Fib bulleting 24: Seismic assesment and retrofit of reinfoced concrete buildings

Ενίσχυση Φραγμάτων

- 1) Cable anchoring of deteriorated arch dam, Avinash C. Singhal, Fellow, ASCE, and Larry K. Nuss