

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**ΒΛΑΧΑ ΜΑΡΙΝΑ
ΦΛΟΓΕΡΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

Περίληψη

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να παρουσιαστεί όσο είναι δυνατόν πληρέστερα η μέθοδος της ενίσχυσης κτιρίων με τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Στο πλαίσιο αυτό, αναφέρονται οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη εφαρμογή της μεθόδου, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της, καθώς επίσης και ορισμένα σημαντικά στοιχεία που αφορούν το σχεδιασμό. Ακόμη, προτείνονται και ορισμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες που έχουν προκύψει από πειραματικά και παραμετρικά αποτελέσματα. Τέλος, στα συμπεράσματα γίνεται μια προσπάθεια αποτίμησης της αποτελεσματικότητας της μεθόδου αυτής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι επιπτώσεις των σεισμικών δράσεων στις κατασκευές οδήγησαν στην εξεύρεση και ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών για την ενίσχυση τους. Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους είναι η προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, μέθοδος που επιδρά στο σύνολο της κατασκευής. Τα τοιχώματα τοποθετούνται είτε περιμετρικά στην κατασκευή είτε στο εσωτερικό της και έχουν ως βασικό στόχο την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής, ενώ παράλληλα μειώνεται η ένταση στα αδύναμα στοιχεία της σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια αντοχής τους. Η μέθοδος της ενίσχυσης με τοιχώματα είναι από τις πρώτες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν πρακτικά, χωρίς όμως να υπάρχει ούτε πειραματικό ούτε θεωρητικό υπόβαθρο. Για το λόγο αυτό, οι αρχικές παρεμβάσεις βασιζόνταν στην κρίση των μηχανικών, οι οποίοι στόχευαν να μειώσουν τις μετακινήσεις του κτιρίου κάνοντάς το πιο δύσκαμπτο.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

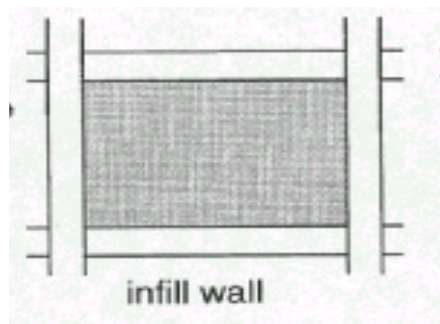
Οι τεχνικές προσθήκης τοιχωμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους είναι οι ακόλουθες τρεις:

- 1) Τοιχώματα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευαζόμενα επί τόπου. (σχήμα α)
Τα τοιχώματα αυτά τοποθετούνται σε επιλεγμένα πλαίσια εσωτερικά ή περιμετρικά της κάτοψης. Η πλήρωση αυτή γίνεται είτε κατά μήκος όλου του ανοίγματος είτε σε ένα μέρος αυτού, ενώ η σύνδεση γίνεται κατά μήκος της περιμέτρου. Με την τεχνική αυτή προσδίδεται αντοχή και δυσκαμψία στη κατασκευή, αν όμως απαιτείται πλάστιμη συμπεριφορά, η σύνδεση γίνεται μόνο στις δοκούς, αφήνοντας μικρά κενά μεταξύ τοιχώματος και υποστυλωμάτων.
- 2) Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels) (σχήμα α)

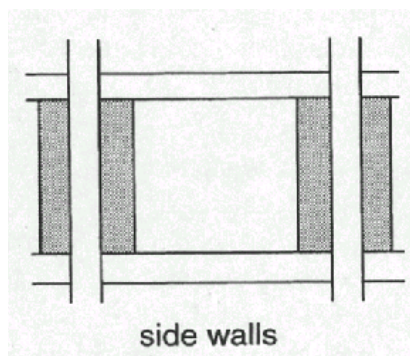
Η τεχνική αυτή είναι πιο εύκολη κατασκευαστικά και οικονομικότερη σε σχέση με την προηγούμενη. Η τοποθέτηση των τοιχωμάτων γίνεται όπως και πριν, αλλά η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας είναι μικρότερη.

3) Πλευρικά τοιχώματα σε συνέχεια υποστυλωμάτων (σχήμα β)

Τα τοιχώματα αυτά προστίθενται με στόχο την αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής, με ταυτόχρονη μικρή αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της. Τοποθετούνται σε γωνιακά υποστυλώματα σε δύο διευθύνσεις ή σε εσωτερικά υποστυλώματα κατά μία διεύθυνση. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ή ακόμη και προκατασκευασμένα στοιχεία (Δρίτσος).



Σχήμα α



Σχήμα β

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η συμπεριφορά των ενισχυμένων πλαισίων με τοιχώματα εξετάστηκε πειραματικά κατά κύριο λόγο πρώτα στην Ιαπωνία. Στα πειράματα αυτά τα πλαίσια ήταν ενός ανοίγματος, ενός ή ακόμα και τριών ορόφων. Εξετάστηκαν επίσης και οι τρόποι σύνδεσης, ενώ τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο για σχεδιαστικές οδηγίες. Γενικά, τα ενισχυμένα με τοιχώματα πλαίσια, όταν υπήρχε επαρκής σύνδεση, συμπεριφέρθηκαν παρόμοια με τα μονολιθικά, παρόλο που η αντοχή ήταν ελάχιστα μικρότερη. Τα προκατασκευασμένα με τη σειρά τους παρουσίασαν καλή πλαστιμότητα, αλλά όπως αναμενόταν, αρκετά μικρότερη αντοχή.

Οι Sugano και Endo το 1984 έκαναν μια σειρά από πειράματα χρησιμοποιώντας τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Παρατήρησαν ότι η αντοχή του ενός ορόφου τοιχώματος ήταν 1.5 με 7.0 Mpa σε σχέση με την ονομαστική διατμητική αντοχή, και ήταν φανερό ότι αυξανόταν με την αντοχή της σύνδεσης. Είχαν 0.6 με 1.0 φορές την αντοχή του μονολιθικού και 2.0 με 5.0 φορές την αντοχή του αρχικού πλαισίου. Αυτά τα τοιχώματα είχαν μετατόπιση από 0.3 μέχρι 1.0% όταν η αντοχή ήταν η τελική. Άλλα τοιχώματα των τριών ορόφων και αυτά με κενό μεταξύ υποστυλώματος και τοιχώματος και με προκατασκευασμένα στοιχεία, έδειξαν διαφορετική συμπεριφορά λόγω της καμπτικής ιδιότητας, δηλαδή είχαν μικρότερη αντοχή αλλά αρκετά μεγαλύτερη πλαστιμότητα (Essentials of Current Evaluation and Retro Fitting for Existing and Damaged Buildings in Japan).

Όσον αφορά την μελέτη πραγματικών κτιρίων ενισχυμένων με τοιχώματα ύστερα από κάποιο σεισμό δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα. Ωστόσο, υπάρχουν ελάχιστα παραδείγματα

τέτοιων κτιρίων στην Ιαπωνία. Πιο συγκεκριμένα, ένα τριώροφο ενισχύθηκε με τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος μόνο στον πρώτο όροφο ύστερα από τον σεισμό του Tokachi-oki το 1968. Παρουσίασε όμως σημαντικές βλάβες(διατμητικές ρωγμές) στα υποστυλώματα του δευτέρου ορόφου μετά από ένα σεισμό το 1994 (Nakano 1995). Παράλληλα, γειτονικό κτίριο ενισχυμένο με τον ίδιο τρόπο και στο δεύτερο όροφο δεν εμφάνισε σημαντικές βλάβες (Japanese seismic rehabilitation of concrete buildings after the Hyogoken-Nanbu Earthquake). Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι η τοποθέτηση των τοιχωμάτων επέδρασε θετικά στην συμπεριφορά του κτιρίου, όταν όμως αυτή δεν επέφερε ανομοιομορφία στην δυσκαμψία του.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος είναι μια μέθοδος που έχει τη μορφή ριζικής παρέμβασης σε ένα κτίριο, όταν η ανάλυση δείξει γενικότερες ατέλειες σε αυτό. Τα τοιχώματα μειώνουν τις συνολικές μετατοπίσεις του κτιρίου κατά τη σεισμική κίνηση σε επίπεδα ανεκτά για την παραμορφωσιακή ικανότητα των παρουσών μελών. Με τον τρόπο αυτό, ένα κτίριο που μπορεί να χαρακτηριστεί εύκαμπτο, γίνεται πιο ευσταθές, μειώνεται η επιρροή των φαινομένων δευτέρας τάξεως, ενώ πιθανά προβλήματα σε δευτερεύοντα στοιχεία (τοιχοί πληρώσεως, υαλοστάσια) ή με γειτονικά κτίρια αποφεύγονται σε πιθανό μελλοντικό σεισμό.

Παράλληλα, τα τοιχώματα συμβάλλουν στη αύξηση της αντοχής των επιμέρους πλαισίων, η έλλειψη αντοχής και πλαστιμότητας των οποίων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βλάβες και απώλεια αντοχής στα υποστυλώματα του ορόφου. Επίσης προσδίδουν έναν διαφορετικό τρόπο μεταφοράς των δυνάμεων. Παραλαμβάνουν μέρος των επιβαλλόμενων δυνάμεων, μειώνοντας τα φορτία στα υποστυλώματα, οδηγώντας έτσι στην αύξηση της αντοχής του συνόλου της κατασκευής. Οι δυνάμεις μεταφέρονται έτσι με έναν πιο σταθερό τρόπο στη θεμελίωση, καταργώντας πιθανές αβεβαιότητες για τη συμπεριφορά του κτιρίου σε σεισμό (π.χ. προσθήκη τοιχώματος στην αδύναμη πλευρά ενός κτιρίου) (Φαρδής 1998).

Η προσθήκη τοιχωμάτων επιδρά επίσης και στη δυσκαμψία της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή αρχικά αυξάνει την συνολική δυσκαμψία ενώ συνεισφέρει στη αντιμετώπιση προβλημάτων που έχουν σχέση με ασυνέχειες στη δυσκαμψία μεταξύ των ορόφων. Για παράδειγμα, αν ένας όροφος είναι σημαντικά πιο δύσκαμπτος από τον επόμενο, ενδεχόμενη σεισμική διέγερση θα δημιουργήσει βλάβες στα υποστυλώματα του λιγότερο δύσκαμπτου ορόφου. Και αυτό γιατί η απορρόφηση ενέργειας συγκεντρώνεται στον λιγότερο δύσκαμπτο δημιουργώντας στα υποστυλώματα πλαστικές αρθρώσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα κτίρια με πυλωτή ή τα κτίρια στα οποία τα τοιχώματα διακόπτονται σε κάποια στάθμη και τα κατακόρυφα φορτία μεταβιβάζονται στα υποστυλώματα. Για το λόγο αυτό, μετά την ενίσχυση με τοιχώματα πρέπει να ελέγχεται πιθανή απότομη μεταβολή καθ' ύψος του κτιρίου (Χρονόπουλος, ΤΕΕ).

Επίσης, τα τοιχώματα βοηθούν στην αντιμετώπιση προβλημάτων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού από την έκκεντρη τοποθέτηση των δύσκαμπτων στοιχείων στην κάτοψη. Ειδικότερα, η προσθήκη των τοιχωμάτων μπορεί να συμβάλλει στο να πλησιάσουν το κέντρο μάζας και το κέντρο δυσκαμψίας. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η επιβολή πρόσθετων δυνάμεων λόγω στρέψης στα μέλη του φορέα, οι οποίες οδηγούν σε μεγαλύτερες διατμητικές δυνάμεις και στην πιθανότητα διατμητικής αστοχίας στα υποστυλώματα.

Τέλος, η προσθήκη των τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση προβλημάτων που έχουν να κάνουν με σφάλματα κατά τον σχεδιασμό. Για παράδειγμα, είναι πιθανόν οι δυνάμεις που δέχονται ορισμένα μέλη στο σεισμό σχεδιασμού να είναι μεγαλύτερες από αυτές που μπορούν να παραλάβουν σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό (έλλειψη οπλισμού, μικρές διαστάσεις).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η μεταφορά μεγάλων δυνάμεων και ροπών στη θεμελίωση. Η προσθήκη τοιχώματος έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση της κατασκευής με πρόσθετο βάρος, δηλαδή ουσιαστικά με αύξηση των κατακόρυφων δυνάμεων. Ακόμη δημιουργούνται αρκετά μεγάλες ροπές ανατροπής που θα πρέπει να αναληφθούν με ένα σωστά δομημένο σύστημα θεμελίωσης. Για αυτό είναι αναγκαίο να αυξηθεί η αντοχή της θεμελίωσης, ώστε να παραληφθούν με ασφάλεια οι παραπάνω δυνάμεις και ροπές. Αυτό όμως έχει μεγάλο κόστος, κατασκευαστικά είναι ιδιαίτερα δύσκολο, χρειάζεται ειδικούς υπολογισμούς, και τέλος δεν είναι βολικό για κτίρια με ανεπαρκές σύστημα θεμελίωσης.

Ακόμα, και στην περίπτωση που ένα καινούριο τοίχωμα κατασκευάζεται με την πλήρωση ενός πλαισίου το κατακόρυφο φορτίο είναι δυσανάλογα μικρό σε σύγκριση με την ροπή ανατροπής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το “σήκωμα” και την εμφάνιση μεγάλων στροφών στο στοιχείο της θεμελίωσης, γεγονός που μειώνει την υπολογισθείσα φέρουσα ικανότητα. Μετατόπιση του τοιχώματος στη βάση θα αυξήσει τις μετατοπίσεις στα επίπεδα των ορόφων και θα μειώσει την αποτελεσματικότητα του νέου μέλους στο να προστατέψει τα υπάρχοντα στοιχεία από μεγάλες παραμορφώσεις. Ειδικότερα, παρόλο που το τοίχωμα θα λειτουργούσε σαν δύσκαμπτο στοιχείο αποφεύγοντας τον σχηματισμό μηχανισμού ορόφου, θα εισάγει μεγάλες στροφικές μετατοπίσεις στις δοκούς του συστήματος, ειδικά σε αυτές που συνορεύει. Αυτές οι δοκοί μπορεί να μην είναι ικανές να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις, ιδιαίτερα αν δεν έχουν ενισχυθεί (Φαρδής).

Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα της προσθήκης τοιχωμάτων είναι ότι έχει μεγαλύτερο κόστος από τις μεθόδους που βασίζονται στην ενίσχυση επιμέρους μελών. Εκτός από τη θεμελίωση που αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά την χρονική διάρκεια που γίνεται η ενίσχυση το κτίριο δεν είναι κατοικήσιμο, γεγονός που προσμετράται στο κόστος. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν προστίθενται τοιχώματα στο εσωτερικό της κάτοψης και όχι στην περίμετρο, γιατί καταστρέφονται διαχωριστικοί τοίχοι, διάφορες αρχιτεκτονικές κατασκευές και άλλα μη φέροντα μέλη, που είναι απαραίτητο να επισκευαστούν αργότερα. Επιπλέον η προσθήκη τοιχωμάτων εσωτερικά οδηγεί σε μείωση των χώρων και κατά συνέπεια στον περιορισμό της λειτουργικότητας του.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

Παρακάτω θα αναπτυχθούν μερικά βασικά σημεία της μεθόδου που αφορούν τον σχεδιασμό των τοιχωμάτων, ενώ παράλληλα θα δωθούν και ορισμένες κατασκευαστικές διατάξεις. Οι διατάξεις αυτές προέρχονται από παραμετρική μελέτη σε συνδυασμό με πειραματικές παρατηρήσεις από διάφορα πειραματικά προγράμματα, τα οποία συστηματικά συνοψίζονται και αναφέρονται στο [Phan et al, 1993, 1994]. Οι διατάξεις αυτές έχουν ως

στόχο την βελτίωση των οδηγιών για την σεισμική ενίσχυση πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος με την τεχνική της προσθήκης τοιχωμάτων. Οι πειραματικές αυτές παρατηρήσεις είναι σημαντικές γιατί επιβεβαιώνουν τα αναλυτικά αποτελέσματα και δίνουν πληροφορίες για σχεδιαστικές λεπτομέρειες που είναι δύσκολο να εξαχθούν από τα αναλυτικά μοντέλα(NIST).

Τα νέα τοιχώματα σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται όπως ακριβώς και στις νέες κατασκευές. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη αστοχία λαμβάνει χώρα στην περιοχή της βάσεως με την δημιουργία πλαστικής άρθρωσης (ΕΚΩΣ 2000).

Το πάχος του τοιχώματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα 2/5 του πάχους του συνοριακού υποστρώματος ή της άνω δοκού του πλαισίου, όποιο είναι μικρότερο, και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος της άνω δοκού.

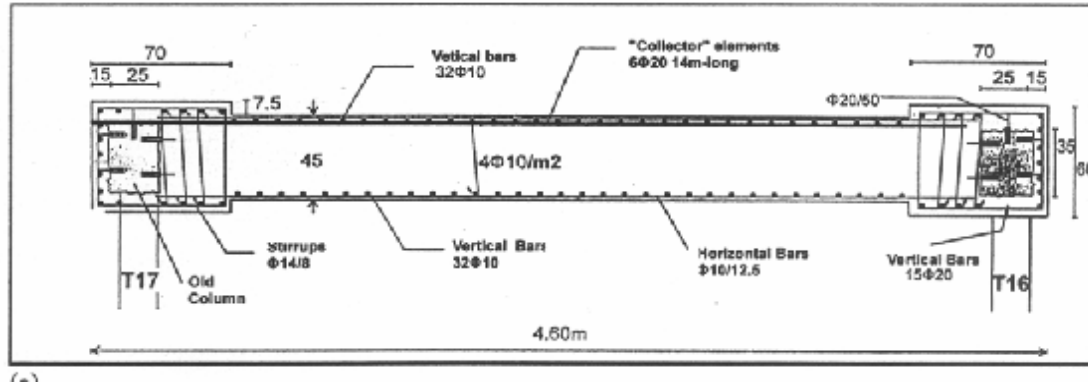
Όσον αφορά τον οπλισμό κάμψης, το ποσοστό του δεν ήταν μεταβλητή στα περισσότερα από τα πειράματα που εκτελέστηκαν. Πάντως, η συμπεριφορά του τοιχώματος παρατηρήθηκε ικανοποιητική σε πειράματα που το ποσοστό του οπλισμού, στην κατακόρυφη αλλά και στην οριζόντια διεύθυνση, ήταν μεγαλύτερο ή ίσο του 0,75%. Η παραμετρική μελέτη έδειξε ότι ο οπλισμός δεν επηρέαζε τη συμπεριφορά τοιχώματος-πλαισίου. Ωστόσο, η ικανότητα των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στην παραμετρική ανάλυση για να προβλέψουν την επίδραση του οπλισμού διάτμησης είναι περιορισμένη. Και αυτό γιατί τα μοντέλα αναπτύχθηκαν με βάση αποτελέσματα πειραμάτων που δεν θεωρούσαν τον οπλισμό του τοιχώματος μεταβλητή. Για το λόγο αυτό, τα ποσοστά οπλισμού για όλες τις τεχνικές, προτείνονται και στις δύο διευθύνσεις να μην είναι μικρότερα από 0,75%. Οπλισμός διάτμησης της τάξεως του 0,25-1%(αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα πειράματα) πρέπει να τοποθετούνται στα τοιχώματα. Τα τοιχώματα πρέπει να κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας σκυρόδεμα συμβατό με αυτό του υπάρχοντος πλαισίου (θλιπτική αντοχή 14 – 50 MPa) (NIST).

Κύριος στόχος της τεχνικής είναι η ενίσχυση πλαισίων που είτε έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό είτε η υπολογισμένη αντοχή τους προέκυψε μικρότερη από την αναγκαία. Τα πειράματα έδειξαν ότι εάν είναι διαθέσιμη η επιλογή ανάμεσα σε προκατασκευασμένο τοίχωμα ή τοίχωμα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, η απόφαση πρέπει να βασίζεται στο εάν απαιτείται αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία ή αυξημένη πλαστιμότητα. Ένα επί τόπου κατασκευαζόμενο τοίχωμα αυξάνει σημαντικά την αντοχή και την δυσκαμψία του πλαισίου ενώ ένα προκατασκευασμένο είναι πιθανό να αυξήσει ελάχιστα την αντοχή, αλλά μπορεί να είναι πιο πλάστιμο σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγεται η έκκεντρη τοποθέτησή τους γιατί προκαλείται στροφή του κτιρίου, επιβάλλοντας με τον τρόπο αυτό πρόσθετες δυνάμεις στα υπόλοιπα φέροντα μέλη της κατασκευής. Η συμμετρία αυτή άλλωστε προτείνεται και από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, στο κεφάλαιο που αναφέρεται στη διαμόρφωση του συστήματος σε κάτοψη (σελ 133 – 134).

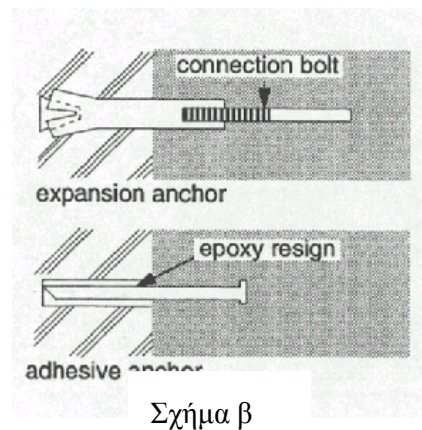
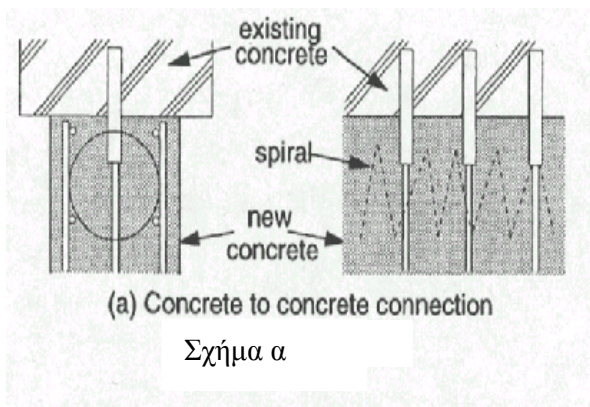
Απαραίτητος είναι επίσης και ο έλεγχος της επίδρασης του νέου τοιχώματος στα υποστρώματα του πλαισίου. Και αυτό γιατί τα υπάρχοντα υποστρώματα συνήθως δεν έχουν την απαιτούμενη παραμορφωσιακή ικανότητα εξαιτίας της έλλειψης απαιτούμενου οπλισμού, της ύπαρξης μικρών ματίσεων κτλ (Φαρδής). Ακόμη τα υποστρώματα αυτά λειτουργούν ως άκρα του τοιχώματος και δέχονται αυξημένη ένταση (Δρίτσος). Συνίσταται λοιπόν η κατασκευή μανδύων στις κολώνες αυτές με νέο διαμήκη και διαγώνιο οπλισμό.

Οι μανδύες αυτοί πρέπει να συνεχίζονται από όροφο σε όροφο. Στο παρακάτω σχήμα (Φαρδής) δίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα αυτού του τρόπου ενίσχυσης:



Η διασφάλιση της μεταφοράς των οριζοντίων δυνάμεων στα τοιχώματα είναι μία βασική παράμετρος. Αν διαπιστωθεί ότι οι δοκοί δεν έχουν επαρκή διαμήκη οπλισμό, απαιτείται προσθήκη νέου, η οποία μπορεί να γίνει με την συγκόλληση μεταλλικών πλακών πάνω σε αυτές. Οι πλάκες αγκυρώνονται κατάλληλα στις δοκούς και καλύπτονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (collector beams, Φαρδής).

Κρίσιμο σημείο της μεθόδου αποτελεί η σύνδεση του τοιχώματος με τα υπάρχοντα μέλη. Αυτό αποδεικνύεται και από τα πειραματικά δεδομένα ,που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έδειξαν ότι η αντοχή του ενισχυμένου πλαισίου είναι ανάλογη με τον βαθμό σύνδεσης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρησιμοποιούνται βλήτρα ή αγκύρια όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Στο σχήμα α η σύνδεση του παλαιού με το νέο σκυρόδεμα και η μεταφορά των δυνάμεων γίνεται με την χρήση βλήτρων. Στο σχήμα β η σύνδεση και η μεταφορά αυτή γίνεται με αγκύρια μηχανικά σφηνωμένα στην πρώτη περίπτωση και με την χρήση εποξειδικής ρητίνης στη δεύτερη.



Σύμφωνα με τις οδηγίες του NIST προκύπτει ότι για την σύνδεση τοιχωμάτων κατασκευαζόμενων επί τόπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανικά σφηνωμένα αγκύρια ή βλήτρα με εποξειδική ρητίνη. Για τα προκατασκευασμένα προτείνεται να χρησιμοποιούνται μόνο βλήτρα με εποξειδική ρητίνη. Οι σύνδεσμοι πρέπει να τοποθετούνται όσο πιο κεντρικά γίνεται στην κατά μήκος διεύθυνση έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την εκκεντρότητα της μεταφερόμενης διατμητικής δύναμης στο τοίχωμα. Βασισμένη σε πειραματική παρατήρηση, η αναλογία της συνολικής επιφάνειας των συνδετικών αγκυρώσεων προς το εμβαδόν της διεπιφάνειας τοιχώματος-πλαισίου (Ac/Aw) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0,8% για επιτυχή σύνδεση του τοιχώματος και του υπάρχοντος πλαισίου. Ωστόσο, πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν δύο λόγους, 0,3% και 0,81%. Συνεπώς, πιστεύεται ότι η τιμή 0,81% είναι μάλλον συντηρητική. Η παραμετρική μελέτη έδειξε μία σταθερή αύξηση στη μέγιστη μετατόπιση ορόφου και στη διατμητική αντοχή όταν ο λόγος είναι 0,45%, και η αύξηση έγινε λιγότερο σημαντική για λόγους 0,9%. Επιπλέον, για να είμαστε συντηρητικοί ο αριθμός των συνδετικών αγκυρίων καθώς και το μέγεθός τους προτείνονται να είναι περίπου 0.8% όπως παρατηρήθηκε στα προηγούμενα πειράματα.

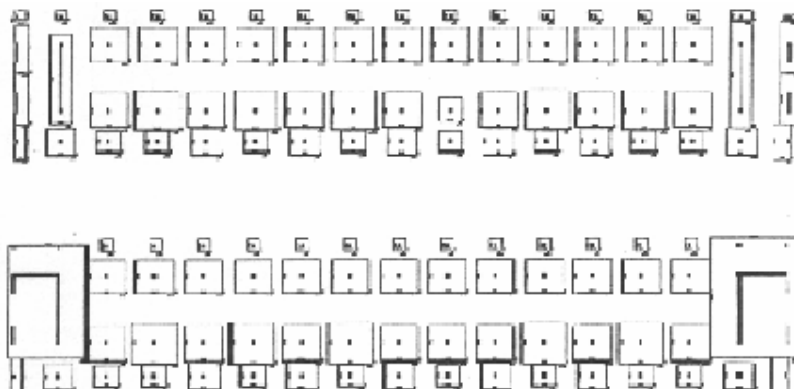
Επίσης, η απόσταση μεταξύ των συνδέσμων πρέπει να μην είναι μικρότερη από 7Db και όχι μεγαλύτερη από 30 cm (Db είναι η εξωτερική διάμετρος των συνδέσμων), ενώ όταν πάνω από μια σειρά συνδέσμων απαιτείται στη διεπιφάνεια, η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 5Db. Τέλος, το βάθος έμπηξης των συνδέσμων δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 5Db ή το πάχος της επικάλυψης, όποιο είναι μεγαλύτερο (Recommended Design Guidelines For Strengthening With Infill Walls, NIST).

Στην ενότητα αυτή πρέπει επίσης να αναφερθεί και ένα πιθανό κατασκευαστικό πρόβλημα. Αυτό αποτελεί συνέπεια της συστολής ξήρανσης στη διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος (ρηγμάτωση), πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπισθεί είτε με χρήση κατάλληλου τύπου σκυροδέματος είτε με σκυροδέτηση σε ένα ύψος και μετά χρήση διάφορων υλικών για την πλήρωση του κενού (Δρίτσος).

ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Για να επιτρέψουμε στο τοίχωμα να λειτουργήσει όπως επιθυμούμε, είναι αναγκαίο να ενισχύσουμε και την θεμελίωση, γεγονός που λόγω της δυσκολίας του αποτελεί το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

α) Με το να αυξήσουμε το μέγεθος του πεδύλου, έτσι ώστε να αυξηθεί το βάρος του και η αντίσταση του εδάφους ή με το να δημιουργήσουμε ένα ενιαίο πέδιλο με τα γειτονικά του (π.χ. πεδילוδοκός), μεταβάλλοντας τον τρόπο μεταβίβασης των κατακόρυφων φορτίων και ροπών στο έδαφος. Στο παρακάτω σχήμα (Φαρδής) φαίνεται η μεταβολή στη θεμελίωση ενός τριώροφου κτιρίου λόγω της ενίσχυσης με τοιχώματα στην διαμήκη διεύθυνση. Παρατηρούμε τη δημιουργία δύο ενιαίων πεδύλων στην βάση των τοιχωμάτων καθώς και την μικρή αύξηση των διαστάσεων και ορισμένων εσωτερικών πεδύλων έτσι ώστε να αποφευχθούν ανακατανομές στην αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελίωσης.

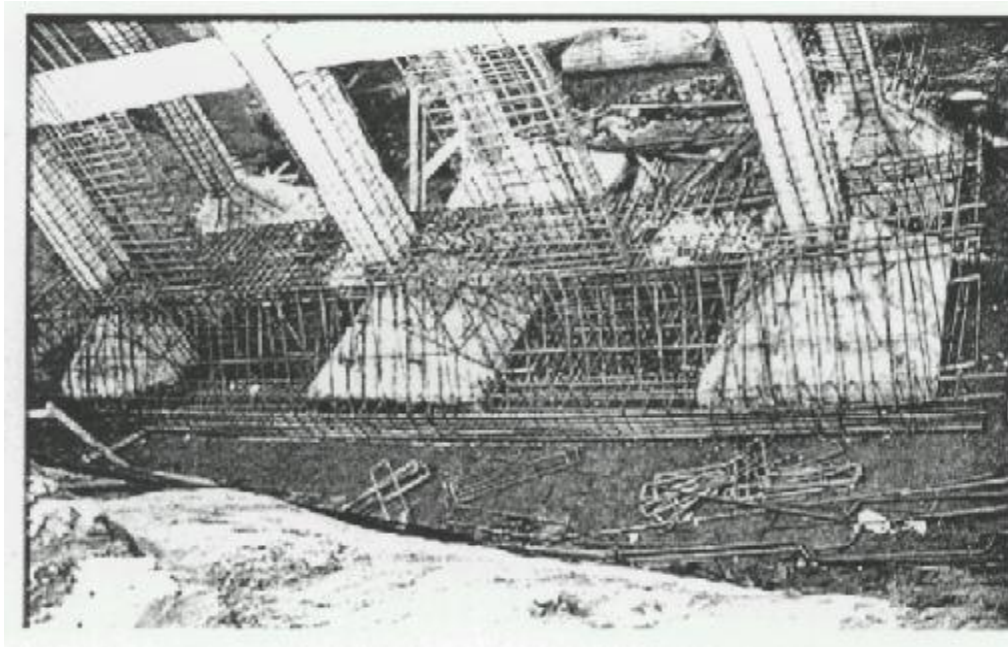


β) Συνδέοντας το νέο πέδιλο με τα διπλανά του με δύσκαμπτα μέλη ή με συνδετήρια δοκό.

γ) Χρησιμοποιώντας μικροπασφάλους, αγκύρια ή κάποια άλλη τεχνική με στόχο να αποφύγουμε το “σήκωμα” της θεμελίωσης.

Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι η εφαρμογή οποιασδήποτε από τις παραπάνω προτεινόμενες λύσεις είναι εξαιρετικά ακριβή και δύσκολη, τόσο υπολογιστικά όσο και κατασκευαστικά. Είναι ακόμη δυσκολότερη για κτίρια που δεν έχουν ήδη μία δύσκαμπτη συνδετήρια δοκό στην περίμετρο, στην οποία μπορεί το νέο τοίχωμα να συνδεθεί (Φαρδής).

Στην παρακάτω φωτογραφία, φαίνεται πως γίνεται η ενίσχυση μιας θεμελίωσης, όπου παρατηρούμε ότι η προσθήκη του τοιχώματος οδηγεί σε δημιουργία πεδילוδοκού, ενώ ταυτόχρονα ενισχύονται και τα υποστυλώματα, πιθανότατα με μανδύες.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος είναι μια τεχνική που επηρεάζει ριζικά την συμπεριφορά του συνόλου της κατασκευής. Αλλάζει σημαντικά τον τρόπο μεταφοράς των δυνάμεων και τον τρόπο μεταβίβασης τους στη θεμελίωση. Συνίσταται λοιπόν να χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν σοβαρές βλάβες στο κτίριο και όταν η δυσκαμψία και η αντοχή της κατασκευής δεν είναι επαρκής. Άλλωστε, η μέθοδος αυτή είναι η αποτελεσματικότερη για την αύξηση αυτών των δύο παραμέτρων. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να ενισχύονται τα επιμέρους μέλη ανάλογα με την βλάβη που έχουν αυτά ή και με τον τύπο ενίσχυσης που έχουμε επιλέξει (κάμψη, διάτμηση κτλ).

Για την σωστή εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να διασφαλίζεται η όσον είναι δυνατόν παρόμοια συμπεριφορά του τοιχώματος – πλαισίου με το αντίστοιχο μονολιθικό. Έτσι, επιβάλλεται να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον τρόπο σύνδεσης και στον τρόπο της μεταφοράς των δυνάμεων από τις δοκούς και τα υποστυλώματα τόσο υπολογιστικά όσο και κατά την διάρκεια της κατασκευής.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην τοποθέτηση των τοιχωμάτων με τέτοιο τρόπο στην κάτοψη έτσι ώστε να μην δημιουργούνται εκκεντρότητες και κατά συνέπεια πρόσθετες δυνάμεις στα υπόλοιπα μέλη. Επιπλέον, τα τοιχώματα πρέπει να συνεχίζονται καθ' ύψος για να μην έχουμε απότομη μεταβολή της δυσκαμψίας. Κάτι τέτοιο θα δημιουργήσει προβλήματα στον πιο εύκαμπτο όροφο.

Βασικό μειονέκτημα αυτής της τεχνικής αποτελεί η αναγκαία θεμελίωση του νέου τοιχώματος ή η ενίσχυση της θεμελίωσης. Το γεγονός αυτό καθιστά την μέθοδο ιδιαίτερα δύσκολη και απαγορευτική για κτίρια που δεν έχουν ήδη αξιόπιστο σύστημα θεμελίωσης.

Όσον αφορά την υπάρχουσα γνώση, αυτή είναι περιορισμένη και είναι απαραίτητο να υπάρξουν περισσότερα πειραματικά δεδομένα καθώς επίσης και παρατηρήσεις συμπεριφοράς ήδη ενισχυμένων κτιρίων σε σεισμό. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει και η δυνατότητα συνδυασμού των τοιχωμάτων με άλλες τεχνικές ενίσχυσης, εφόσον όμως διασφαλίζεται πάντα η σωστή συνεργασία τους. Για παράδειγμα, σε ένα κτίριο μπορούμε να αυξήσουμε την δυσκαμψία και την αντοχή του τοποθετώντας κατάλληλα περιμετρικά τοιχώματα και τη πλαστιμότητά του χρησιμοποιώντας φύλλα FRP σε εσωτερικά υποστυλώματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Shunsuke Sugano, Masaya Hirosawa and Takashi Kaminosono
“Essentials of Current Evaluation and Retro Fitting for Existing and Damaged Buildings in Japan”.
- Long T. Phan, Geraldine S. Cheock and Diana R. Todd (July 1995)
“Recommended Design Guidelines For Strengthening With Infill Walls”,
49-51, NIST, Gaithersburg.
- Hiroshi Fukuyama and Shunsuke Sugano, (2000)
“Japanese seismic rehabilitation of concrete buildings after the Hyogoken –Nanbu Earthquake”, Elsevier, Cement and Concrete Composites 22 (2000) 59 – 79, Japan.
- Δρίτσος Σ., (2002)
“Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Παν.Πατρών, Πάτρα.
- Χρονόπουλος, (1987)
“Επισκευές – Ενισχύσεις: Παραδείγματα διαστασιολόγησης”, ΤΕΕ, Αθήνα
- Φαρδής Μ.,
“Seismic retrofitting technics”, παρ 5.5.1 – 5.5.2, Πάτρα.