

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

ΝΤΕΓΙΑΝΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

Περίληψη

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τρόπους επέμβασης στις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Οι τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης που θα αναφερθούν στην παρούσα εργασία, αναλύονται καθεμία χωριστά και υποστηρίζονται από πειράματα. Για τις μεθόδους αυτές που μπορεί να εφαρμόζονται είτε σε πραγματικά κτίρια, είτε σε πειραματικά δοκίμια, παρουσιάζονται μετά από κάθε πείραμα, αποτελέσματα που δείχνουν την αποδοτικότητα ή όχι της συγκεκριμένης μεθόδου. Στη συνέχεια ακολουθεί και το παράδειγμα μιας ήδη υπάρχουσας κατασκευής η οποία ενισχύθηκε και επισκευάστηκε. Τέλος διεξάγονται κάποια συμπεράσματα στα οποία σχολιάζονται και συγκρίνονται οι τεχνικές που αναφέρθηκαν.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τοιχοποιία είναι ένα πολύ κοινό δομικό υλικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για πολλούς αιώνες. Στην εποχή μας συνεχίζει να είναι ένα πολύ σημαντικό κατασκευαστικό στοιχείο, εξαιτίας του χαμηλού κόστους των υλικών και της κατασκευής του, της καλής θερμομόνωσης και της αισθητικής του, αλλά παράλληλα παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα τα οποία όμως αντιμετωπίζονται.

Από πειραματικές έρευνες που έγιναν, προέκυψαν ποικίλες λύσεις για επισκευές και ενισχύσεις των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, άλλες με χρήση παραδοσιακών υλικών και άλλες με προηγμένα υλικά, που είναι:

1. Χρήση παραδοσιακών υλικών :
 - Τεχνική ενέσεων ρευστού κονιάματος.
2. Χρήση προηγμένων υλικών:
 - Τεχνική ινοπλισμένων πολυμερών FRP, όπως άνθρακα, γυαλιού και νυροί.
3. Παραδοσιακές μπορούν να θεωρηθούν και οι επεμβάσεις που έχουν ήδη γίνει σε υπάρχον μνημείο και είναι οι εξής:
 - Χρήση οριζόντιων μεταλλικών δακτυλίων.
 - Χρήση ράβδων ενίσχυσης στους αρμούς της κατασκευής.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

2.1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΕΣΕΩΝ (M. Corradi, A. Borri, A. Vignoli 2001)

Η πιο διαδεδομένη χρησιμοποιούμενη μέθοδος επισκευής, αλλά και ενίσχυσης, είναι οι ενέσεις ρευστού κονιάματος, που θεωρήθηκε η λύση για τις περισσότερες περιπτώσεις βλαβών τοιχοποιίας. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γέμισμα των κενών και των ρωγμών μέσα σε τοίχους, με ενέσεις νέου κονιάματος, αποκαθιστώντας τη συνέχεια. Οι ενέσεις επιτρέπουν την ομογενοποίηση της τοιχοποιίας, διαποτίζοντας τις κοιλότητες.

Τα πειράματα που διεξήχθησαν για τη διερεύνηση αυτής της τεχνικής, πραγματοποιήθηκαν σε πάνελ που πάρθηκαν από πραγματικές κατασκευές. Αυτά υποβλήθηκαν σε τρεις δοκιμές:

Δοκιμή θλίψης

Η δοκιμή θλίψης διεξήχθη σε πάνελ διαστάσεων 180×90 εκ, με πάχος τμήματος 65εκ. Η δοκιμή αποτελείται από τρεις κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης αυξάνοντας τις μέγιστες τιμές, που εκτιμούνται 0,1, 0,2 και 0,3 MPa.

Δοκιμή διαγώνιας συμπίεσης

Η δοκιμή αυτή διεξήχθη σε πάνελ διαστάσεων 120×120 εκ, με πάχος τμήματος που ποικίλει ανάλογα με την κατασκευή που η έρευνα διεξήχθη. Ο σκοπός αυτής της δοκιμής, ήταν να καθοριστεί η διατμητική δύναμη t_k και το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας G .

Το φορτίο ασκήθηκε ακολουθώντας μια σειρά από ζεύγη ίσων κύκλων φόρτισης και αποφόρτισης, με αύξηση φορτίου σε κάθε κύκλο 10 kN.

Δοκιμή διατμητικής συμπίεσης

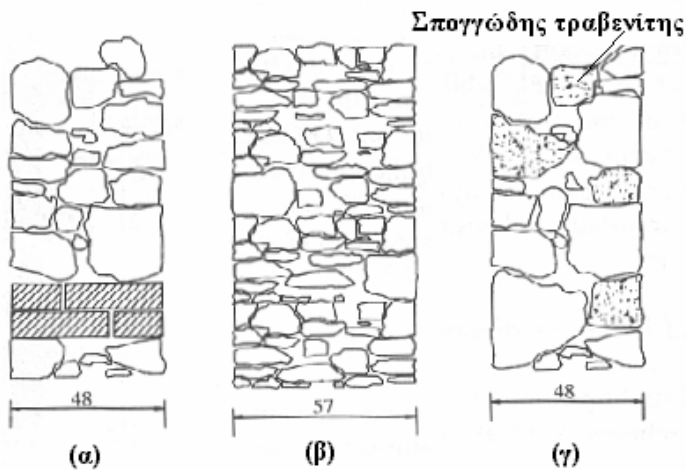
Η δοκιμή αυτή διεξήχθη επιτυχώς σε πάνελ όμοια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή θλίψης και αναλογικά με αυτή της διαγώνιας συμπίεσης, σχεδιάστηκε για να καθορίσει τη διατμητική δύναμη και τα διατμητικά ελαστικά χαρακτηριστικά της φέρουσας τοιχοποιίας. Για τη διεξαγωγή του πειράματος ασκήθηκε μονοτονική φόρτιση μέχρι αστοχίας, υπό κατάσταση σταθερής φόρτισης.

Οι δοκιμές αυτές αφορούν τη χρήση πάνελ διαφόρων διαστάσεων, δομής και σύστασης.

Η πρώτη κατηγορία δοκιμών περιελάμβανε τοιχοποιία με μέσο πάχος περίπου 48εκ., από πρόχειρα κομμένη πέτρα ασβεστολιθικής σύστασης και τούβλα, δυο σειρές των οποίων παρεμβάλλονταν σε διάστημα περίπου ενός μέτρου (σχ. 2.1.1 α). Για τη δοκιμή διατμητικής συμπίεσης χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα πάνελ διαστάσεων 180×90 εκ. Το πρώτο δοκιμάστηκε χωρίς καμία επέμβαση, για τον καθορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών και τα άλλα τρία ενισχύθηκαν με ενέσεις.

Η δεύτερη κατηγορία προέρχεται από κτίριο χτισμένο από μικρές πέτρες και φτωχό ασβεστολιθικό κονίαμα. Η τοιχοποιία αποτελείται από δυο σειρές ανεπεξέργαστων πετρών (σχ. 2.1.1. β). Δοκιμάστηκαν αρχικά χωρίς να τους γίνει κάποια επέμβαση, ενώ διαδοχικά ενισχύονταν με ενέσεις και ξαναδοκιμαζόταν.

Τέλος, η τρίτη κατηγορία περιελάμβανε δοκίμια διπλής τοιχοποιίας φτιαγμένα από ασβεστολιθικές πέτρες και σπογγώδες τραβενίτη (ορυκτό), ενώ βασικό συστατικό του κονιάματος είναι ασβεστολιθικής βάσης (σχ. 2.1.1. γ). Το πάνελ που υπέστη διατμητική συμπίεση, δοκιμάστηκε αρχικά χωρίς κάποιο τύπου ενίσχυση, ενώ γίνονταν διαδοχικές επεμβάσεις με ενέσεις και ξαναδοκιμαζόταν.



Σχ. 2.1.1. Δομή πάνελ 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} κατηγορίας

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τα παραπάνω πειράματα είναι τα ακόλουθα:

- Ø Τα πάνελ της 1^{ης} κατηγορίας δεν παρουσίασαν καμία εκτιμητή αύξηση στην τιμή της διατμητικής δύναμης, συγκρινόμενα με αυτό χωρίς ενίσχυση. Αυτό δείχνει την ανεπάρκεια αυτής της μεθόδου για τη δομή της συγκεκριμένης τοιχοποιίας.
- Ø Η τάση αστοχίας των πάνελ της 2^{ης} κατηγορίας, αποδείχτηκε πολύ υψηλότερη από αυτού που δεν ενισχύθηκε, με αύξηση περίπου 145% τονίζοντας την αποδοτικότητα αυτής της τεχνικής, ενώ η διατμητική ακαμψία επέδειξε μια τεράστια αύξηση από 26 σε 685 MPa.
- Ø Τα αποτελέσματα των δοκιμών στα πάνελ της 3^{ης} κατηγορίας έδειξαν σημαντική αύξηση και στη δύναμη και στη διατμητική ακαμψία

2.2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕ ΙΝΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Για τη διερεύνηση της τεχνικής αυτής εξετάστηκαν τέσσερα πειράματα τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

1^ο πείραμα (M. Corradi, A. Borri, A. Vignoli 2001)

Πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές για τη διερεύνηση της τεχνικής και αφορούσαν δοκίμια που πάρθηκαν από πραγματικές κατασκευές. Οι δοκιμές ήταν θλίψης, διαγώνιας συμπίεσης και διατμητικής συμπίεσης, που τα χαρακτηριστικά τους περιγράφηκαν πιο πάνω. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από τις τρεις κατηγορίες που αναφέρθηκαν στην τεχνική των ενέσεων.

Τα αποτελέσματα που εξήγησαν είναι τα ακόλουθα:

- Ø Τα πάνελ της 1^{ης} κατηγορίας ανεξάρτητα από τον τύπο των ινών, δείχνουν μια αύξηση περίπου 55% στη διατμητική δύναμη σε σύγκριση με τα μη ενισχυμένα πάνελ. Αυτό εξαρτάται από το συγκεκριμένο τρόπο αστοχίας που δεν περιλαμβάνει την αστοχία του σύνθετου υλικού. Στην πραγματικότητα οι ίνες παρέμειναν ενωμένες με το τσιμεντοκονίαμα. Τα δοκίμια που ενισχύθηκαν με ίνες άνθρακα, εξαιτίας της επιρροής του περιορισμού των ινών και εξαιτίας της συγκεκριμένης δομής των τούβλων, αποδείχτηκε ότι ήταν πολύ ανθεκτικά. Στο φορτίο αστοχίας, η τοιχοποιία υπέστη θραύση υπό πίεση, προκαλώντας την αποκόλληση μικρών τμημάτων τούβλων από το πάνελ, ενώ τα σύνθετα υλικά (CFRP) παρέμειναν προσαρτημένα στην τοιχοποιία.
- Ø Τα πάνελ της 2^{ης} κατηγορίας και συγκεκριμένα αυτά που ενισχύθηκαν με ίνες άνθρακα έδειξαν αύξηση στη δύναμη 140% και αύξηση στη διατμητική ακαμψία 110%. Η αστοχία επήλθε από το διαχωρισμό των δύο σειρών της τοιχοποιίας.
- Ø Τέλος, τα δοκίμια της 3^{ης} κατηγορίας εμφάνισαν αύξηση στην αντοχή περίπου 190% που είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή των πάνελ που ενισχύθηκαν με ίνες. Η αστοχία των πάνελ που ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή άνθρακα, επήλθε με αποκόλληση των δυο σειρών της τοιχοποιίας.

2^ο πείραμα (M. R. Valluzzi, D. Tinazzi, C. Modena 2002)

Για τη διεξαγωγή αυτού του πειράματος κατασκευάστηκε μια σειρά από 33 πάνελ φέρουσας τοιχοποιίας, με ονομαστικές διαστάσεις 51,5×51×12cm, φτιαγμένα από αργιλώδες στερεά τούβλα που ενώνονται με λεπτό συνδετικό κονίαμα πάχους 10mm. Εννιά από αυτά ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή άνθρακα CFRP και δέκα με ινοπλισμένα πολυμερή γυαλιού GFRP.

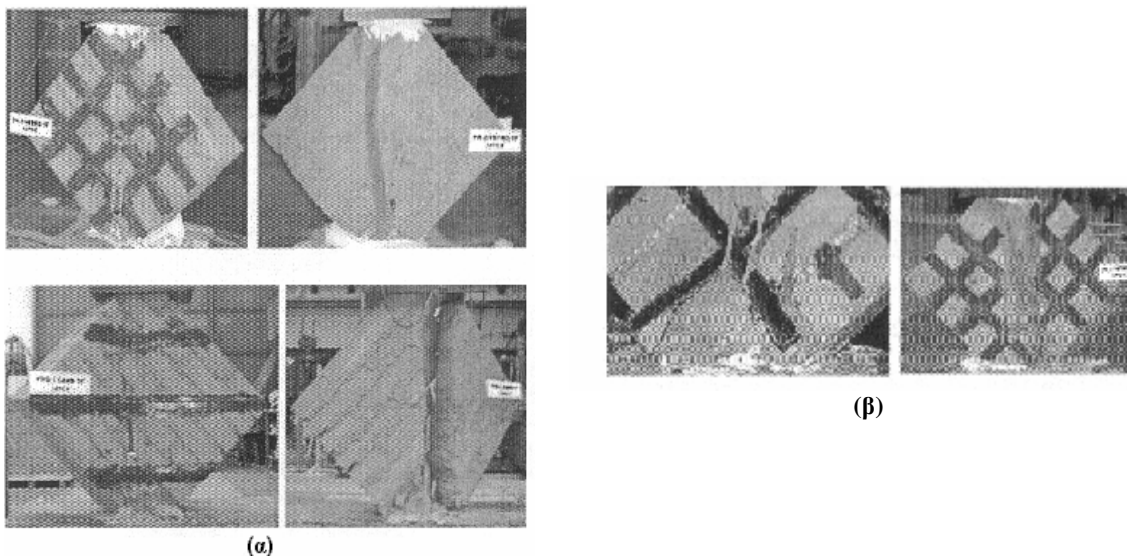
Για να μελετηθεί η επιρροή της εκκεντρότητας της ενίσχυσης, οι ταινίες εφαρμόστηκαν τόσο στη μια πλευρά του πάνελ, όσο και στις δυο πλευρές, όπου στην πρώτη περίπτωση το πάχος των ινοπλισμένων πολυμερών FRP διπλασιάστηκε ώστε να διατηρηθεί η ποσότητα του FRP η ίδια. Επιπλέον μελετήθηκε ο σχηματισμός του συστήματος ενίσχυσης. Εφαρμόστηκαν λωρίδες σαν πλέγματα και διαγώνιες λωρίδες κάθετες στη διαγώνια φόρτιση. (βλέπε Σχ. 2.2.1. α, β). Το ίδιο ποσό ενίσχυσης χρησιμοποιήθηκε και στους δύο διαφορετικούς σχηματισμούς που αναφέρθηκαν, για κάθε είδος υλικού ενίσχυσης. Ως συνέπεια οφειλόμενη στα διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά των ινών, κάθε δοκιμή χαρακτηρίζεται από διαφορετικό πάχος λωρίδων και διαφορετικό αριθμό στρωμάτων που είναι ενωμένα μεταξύ τους.

Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε δοκιμή διαγώνιας συμπίεσης και έγιναν μετρήσεις τόσο της κάθετης όσο της οριζόντιας παραμόρφωσης. Το μέσο φορτίο αστοχίας που χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των ενισχυμένων δειγμάτων είναι ίση με 100,7 kN.

Παρακάτω σχολιάζεται η συμπεριφορά των δοκιμών τα οποία ενισχύθηκαν είτε από τη μια πλευρά είτε και από τις δυο και με δυο διαφορετικούς τρόπους διαμόρφωσης των λωρίδων ενίσχυσης.

Ενίσχυση από τη μια πλευρά του πάνελ

Παρατηρήθηκε αστοχία λόγω θραύσης με μια εμφανή διαγώνια ρωγμή, ενώ το τελικό φορτίο ήταν πολλές φορές μικρότερο από το προτεινόμενο. Τα δοκίμια παρουσίασαν μια καμπτική παραμόρφωση κατά τη διάρκεια της φάσης φόρτισης κατά μήκος της μη ενισχυμένης διαγωνίου, με συνέπεια η κύρια ζημιά να συγκεντρωθεί στην μη ενισχυμένη πλευρά. Το φαινόμενο αυτό της κάμψης, ήταν αποτέλεσμα της ασύμμετρης ενίσχυσης.



Σχ. 2.2.1 α) Αστοχία πάνελ που έχει ενισχυθεί από τη μια πλευρά του τοίχου
β) Αστοχία πάνελ που έχει ενισχυθεί και από τις δυο πλευρές του τοίχου

Ενίσχυση και των δυο πλευρών του πάνελ

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις ο μηχανισμός αστοχίας συνίσταται στην ξαφνική απώλεια συνεργασίας μεταξύ της ενίσχυσης και του υποστρώματος, γεγονός που οφείλεται τόσο στην αποκόλληση του επιφανειακού τμήματος της τοιχοποιίας, όσο και στη διάρρηξη των λαριδών των ινοπλισμένων πολυμερών.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας ακολουθούν παρακάτω:

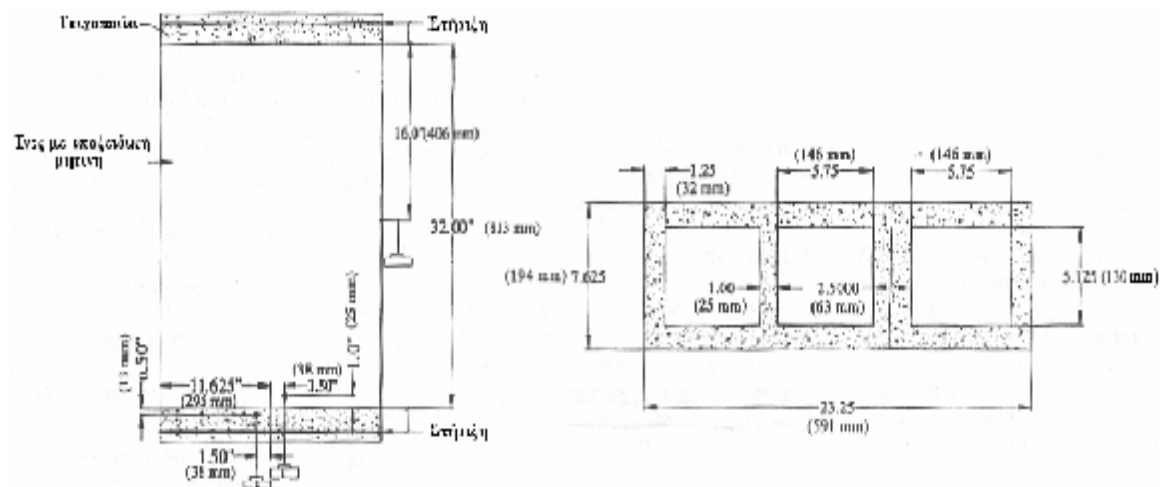
- Ø Η διαγώνια διαμόρφωση του υλικού κατά μήκος της ενισχυμένης πλευράς, είναι περισσότερο αποδοτική ως προς την διατμητική ικανότητα σε σχέση με τον τρόπο της ενίσχυσης με τη μορφή τετραγωνισμένου πλαισίου. Παρολαυτά ο δεύτερος τρόπος προσφέρει καλύτερη αναδιανομή της δύναμης με αποτέλεσμα την ευρέως διάδοση των ρωγμών, για ένα λιγότερο ψαθυρό τρόπο αστοχίας.
- Ø Στις περισσότερες περιπτώσεις το λιγότερο σκληρό FRP υλικό, εμφανίζεται να είναι περισσότερο αποδοτικό, τόσο στην αύξηση της δύναμης, όσο και στην αύξηση της ακαμψίας του πάνελ. Αυτό οφείλεται στη χρήση του συγκεκριμένου κριτηρίου σχεδιασμού (ασθενέστερο υλικό έχει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών), και στο γεγονός ότι το σκληρότερο υλικό είναι περισσότερο ευπαθές στη αποσύνδεση.
- Ø Η μικρή αύξηση της διατμητικής δύναμης, επίσης αποδίδεται στην αποφλοίωση που συμβαίνει σε τμήμα δίπλα στο εφαρμοζόμενο φορτίο συμπίεσης και στη χαμηλή εφελκυστική δύναμη των τούβλων, που αποτελούν την κύρια αιτία αστοχίας του συστήματος λόγω διαχωρισμού τους.
- Ø Τα δείγματα που ενισχύθηκαν με πλέγμα, καθόρισαν τον τρόπο διάδοσης των ρωγμών, ενώ σε όλα τα διαγωνίως ενισχυμένα πάνελ, εμφανίστηκε μια καθαρή διαχωριστική ρωγή. Η αύξηση της τελικής δύναμης ήταν αξιοσημείωτη σε όλες τις περιπτώσεις και μόνο το πάνελ που ενισχύθηκε με CFRP επηρεάστηκε σημαντικά από την αποφλοίωση.

3^ο πείραμα (S. Hamoush, M.McGinley, P. Mlakar, M. J. Terro 2002)

Δεκαοχτώ κοίλοι τοίχοι φέρουσας τοιχοποιίας κατασκευάστηκαν σε συνθήκες εργαστηρίου και δοκιμάστηκαν (σχ. 2.2.1). Εννέα από τους τοίχους ενισχύθηκαν επαρκώς με ένα στρώμα σύνθετων ινών γυαλιού και η ενίσχυση έγινε από την πλευρά που ο τοίχος καταπονείται με εφελκυσμό. Οι υπόλοιποι ενισχύθηκαν ομοίως εξωτερικά, με δυο στρώματα ινών γυαλιού. Οι ίνες συνδέονται με τον τοίχο με εποξειδική ρητίνη τύπου Tyfo S υψηλής καθαρότητας. Η ρητίνη αυτή αποτελείται από δυο μέρη: την Tyfo A και B, που αναμιγνύονται με λόγο 100 : 42 σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Tyfo S.

Για την προετοιμασία των τοίχων πάνω στους οποίους θα τοποθετηθούν τα ινοπλισμένα πολυμερή FRP, έγινε καθαρισμός της επιφάνειάς τους με αμμοβολή. Επίσης

αρκετή προσοχή δόθηκε στον καθαρισμό των αρμών και στην απομάκρυνση της υπερβολικής ποσότητας κονιάματος στην επιφάνεια των τοίχων. Τέλος, μετά την αμμοβολή ακολούθησε η εκτόξευση νερού χαμηλής πίεσης, ώστε να απομακρυνθεί η εναπομένονσα σκόνη.



Σχ. 2.2.2. Όψη και τομή των δοκιμίων

Για την εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης πάνω στην προετοιμασμένη επιφάνεια του δείγματος, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη βούρτσα. Πάνω στο στρώμα εποξειδικής ρητίνης τοποθετήθηκαν τα FRP, κατά την τοποθέτηση των οποίων δόθηκε προσοχή στις φουσαλίδες που τυχόν υπάρχουν μεταξύ της επίστρωσης και της επιφάνειας. Κατά την εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης η αλλαγή του κατασκευαστικού χρώματος από άσπρο σε κίτρινο, υποδηλώνει ότι έχει επιτευχθεί κορεσμός υλικού. Κατά τη διαδικασία της δοκιμής τα φορτία ασκήθηκαν μονοτονικά.

Τα αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας ακολουθούν παρακάτω:

- Ø Ενισχύοντας τον τοίχο φέρουσας τοιχοποιίας, με εξωτερικούς συνδέσμους σύνθετων επιστρώσεων, αυξάνουμε την ελαστική ικανότητα του.
- Ø Προσθέτοντας περισσότερα από ένα στρώματα FRP (για παράδειγμα δυο) αυξάνεται η κατασκευαστική ακεραιότητα του συστήματος και τα δείγματα των τοίχων που έχουν ενισχυθεί με τα δυο στρώματα επίστρωσης συμπεριφέρονται ως ένα ενιαίο σύστημα, ειδικά όταν αυτή επεκτείνεται ως τις στηρίξεις.
- Ø Οι τοίχοι με μικρότερου μήκους μονή επίστρωση, επιδεικνύουν συμπεριφορά με τάση προς την αστοχία, γεγονός που αφορά και τους τρεις τοίχους που δοκιμάστηκαν. Παρ'όλα αυτά με μια αύξηση στο μήκος του στρώματος επίστρωσης, μπορούν να παρατηρηθούν καθαρά διαφορές στην συμπεριφορά παρεκτροπής φόρτισης. Με τη μικρότερου μήκους μονή επίστρωση, η δύναμη ελέγχεται κυρίως από τη δύναμη του μπλοκ της τοιχοποιίας και η συνεισφορά του στρώματος του FRP στη διατμητική δύναμη δεν είναι σημαντική για το σύστημα.
- Ø Τέλος, παρατηρούμε ότι όταν χρησιμοποιείται μικρότερου μήκους FRP, το σύστημα των δυο στρώσεων φαίνεται ότι συνεισφέρει ελαφρώς στη συμπεριφορά του συστήματος του τοίχου, ενώ το σύστημα της μιας στρώσης δεν συμβάλλει σχεδόν καθόλου στην διατμητική συμπεριφορά του συστήματος. Γενικά όμως συμπεραίνουμε ότι η επίδραση της περιοχής των ενισχυμένων ινών, καθώς και του ποσοστού των ινών που επεκτείνονται ως τη στήριξη, δεν ήταν σημαντική για την διατμητική δύναμη και τη συνοχή του τοίχου.

4^ο πείραμα (B. Luis, J.Reixach, C. Xavier, T. Lluís)

Ένα πειραματικό πρόγραμμα είναι υπό ανάπτυξη στα εργαστήρια κατασκευών του πανεπιστημίου της Girona. Το πρόγραμμα αυτό αποτελείται από ένα τοίχο δοκιμών διαστάσεων 2×2×0,15m, ο οποίος καταπονείται με οριζόντια φόρτιση.

Δυο καινοτόμες τεχνικές ενίσχυσης δοκιμάστηκαν κατά την πειραματική αυτή δοκιμή.

1. Η πρώτη τεχνική συνίσταται από την προσθήκη στο τοίχο πλάκα από πολυεστερικές ίνες γυαλιού, που ονομάζονται γυροί και τοποθετούνται μία σε κάθε επιφάνεια του τοίχου. Οι πλάκες γυροί έχουν η κάθε μια πλάτος 2mm και είναι φτιαγμένες από πολυεστερική ρητίνη και ίνες γυαλιού. Η επιλογή αυτής της πλάκας ήταν ένας συνδυασμός οικονομίας και αντοχής ενώ το όλο σύστημα δεν αυξάνει το αρχικό βάρος του τοίχου, γεγονός που ευνοεί έναντι των σεισμικών δράσεων. Οι πλάκες αυτές συνδέονται με την τοιχοποιία με τη χρήση της ρητίνης sikadure 32N. Καμία διάταξη δεν προβλέπεται για τη χρήση της ρητίνης, εκτός από το να λειανθεί η πλάκα έτσι ώστε να είναι σίγουρη η συνοχή μεταξύ αυτής και των τούβλων.
2. Η δεύτερη τεχνική συνίσταται στη χρήση ινών γυαλιού στους αρμούς της τοιχοποιίας, που καλύπτονται από σκυρόδεμα για προστασία. Αυτή η τεχνική έχει το πλεονέκτημα ότι αποφεύγεται η χρήση ρητίνης και το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται, προστατεύει τα υλικά από φωτιά. Επίσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι πιο οικονομικά από τη σύνθετη πλάκα, για την κατασκευή της οποίας απαιτείται πρόσθετη διαδικασία.

2.3. ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΜΠΑΝΑΡΙΟΥ ΤΟΥ ΚΑΘΕΔΡΙΚΟΥ ΝΑΟΥ ΤΗΣ MONZA. (C. Modena, M. R. Valluzzi, R. Tongini Folli, L. Binda, 2002)

Περιγραφή των ζημιών και των συμπτωμάτων τους.

Η μόνη σοβαρή ζημιά στο καμπαναριό αναφέρθηκε το 1740 και οφείλονταν σε μια φωτιά που αναπτύχθηκε σε αυτό και προκάλεσε την κατάρρευση των καμπάνων και του πλαισίου που τις στηρίζει. Αργότερα βαθιές και μεγάλες ρωγμές εμφανίστηκαν στις τέσσερις γωνίες του πύργου στο ύψος περίπου των 10 - 30m, ενώ άλλες μικρού πάχους, κάθετες που διαχέονται στις τέσσερις πλευρές του πύργου, μπορούν να φανούν από τους εσωτερικούς τοίχους του καμπαναριού. Η έρευνα που έγινε αποκάλυψε επίσης τη διανομή των κάθετων λεπτών ρωγμών οι οποίες διέσχισαν τα τούβλα μέσα και έξω, ξεκινώντας από τα 12 μέτρα μέχρι και τα δυο τρίτα του πύργου, των οποίων το άνοιγμα αυξάνονταν με την πάροδο του χρόνου.

Το πάχος των τοίχων είναι περίπου 1800mm και είναι φτιαγμένοι από στερεά τούβλα. Μετά από τον εργαστηριακό έλεγχο που έγινε στα συστατικά της τοιχοποιίας, τόσο το κονίαμα, όσο και στα τούβλα που χρησιμοποιήθηκαν, προέκυψαν πολύ αδύναμα, καθιστώντας και την τοιχοποιία επίσης αδύναμη.

Γενικά οι πύργοι υπόκεινται σε πολύ βαριά φορτία, γεγονός που οφείλεται στο μεγάλο ίδιο βάρος τους λόγω της ογκώδης μορφής τους. Στην περίπτωση του καμπαναριού της Monza όλες οι δοκιμές που διεξήχθησαν έδειξαν ότι η κατάσταση είναι επικίνδυνη και μπορεί ξαφνικά να καταρρεύσει ο πύργος, τονίζοντας την αναγκαιότητα για ενίσχυση και επισκευή.

Με σκοπό να βελτιωθεί η κατασκευαστική συμπεριφορά του πύργου προτάθηκαν για την ενίσχυση και την επισκευή της κατασκευής οι παρακάτω παρεμβάσεις:

1. Για την ενίσχυση κρίθηκε αναγκαία η τοποθέτηση οριζόντιων μεταλλικών δακτυλίων, σε διαφορετικά σημεία καθ' ύψους του πύργου ώστε να επιτευχθεί ο περιορισμός της τοιχοποιίας και η σύνδεση των γειτονικών τοίχων μεταξύ τους. Η χρήση δακτυλίων κρίθηκε αναγκαία και στο επίπεδο της θεμελίωσης, όπου επετεύχθη με τη χρήση τεσσάρων ενισχυμένων δοκαριών που ενώνονται από μια σειρά ράβδους που εισήχθησαν μέσα από τρύπες (βλέπε Σχ. 2.3.1.)
2. Προτάθηκε επίσης μια τεχνική ενίσχυσης κατά την οποία τοποθετούνται χαλύβδινοι ράβδοι σε διάφορα τμήματα του τοίχου, ώστε να εμποδίζεται η διάδοση των ρωγμών, ενώ ιδιαίτερη σημασία δίνεται στις γωνίες των οποίων η ενίσχυση γίνεται με εντοιχισμένες λωρίδες. Αυτή η τεχνική ενίσχυσης βασίζεται στην εισαγωγή μικρής διαμέτρου ενισχυμένων ράβδων (ράβδοι από ανοξείδωτο ατσάλι ή FRP) μέσα στους αρμούς που προηγουμένως είχαν σκαφτεί και στη συνέχεια ξαναγεμίστηκαν με νέο καλύτερο κονίαμα. Με σκοπό να βελτιωθεί η τάση συνάφειας των ράβδων, χρησιμοποιήθηκε μια σειρά από εγκάρσιους ήλους από ανοξείδωτο ατσάλι, σχήματος U που τοποθετήθηκαν σε τρύπες με κλίση, καλύφθηκαν με κονίαμα και έτσι επετεύχθη η σύνδεση των ενισχυμένων στρωμάτων και των εσωτερικών κενών που δημιουργήθηκαν στην τοιχοποιία για την εισαγωγή των ράβδων. (βλέπε Σχ. 2.3.2.)
3. Αναγκαία επίσης κρίθηκε η τοπική επέμβαση με ενέσεις, που περιελάμβανε την ανακατασκευή και την επεξεργασία των αρμών με ασβεστοκονίαμα, για την αποκατάσταση των ζωνών στις οποίες έχουμε αλλοίωση των υλικών.

Η τεχνική των ενέσεων μπορεί να είναι αποδοτική όταν χρησιμοποιείται ως τεχνική επισκευής και αυτό συμβαίνει γιατί η ύπαρξη ρωγμών διευκολύνει την εισχώρηση του ρευστού κονιάματος μέσα στην τοιχοποιία. Η χρήση της όμως στις κατασκευές που δεν έχουν υποστεί ζημιές, μπορεί να είναι χωρίς αποτέλεσμα και γι' αυτό χρειάζεται προηγουμένως να γίνει προσεκτική ανάλυση στη δομή και τα χαρακτηριστικά, για να εξακριβωθεί αν το ρευστό κονίαμα που θα χρησιμοποιηθεί είναι κατάλληλο για την τοιχοποιία.

Από την άλλη, η χρήση σύγχρονων υλικών όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή, ως τεχνική επέμβασης στην τοιχοποιία, είναι εξαιρετικά ευεργετική και αποτελεσματική, αρκεί βέβαια να χρησιμοποιούνται με τον κατάλληλο τρόπο και στις περιπτώσεις που απαιτείται. Ο συνηθέστερος τρόπος αστοχίας συστημάτων με FRP, είναι η αποκόλληση του στρώματος βάσης του τσιμεντοκονιάματος και των ινών από τον τοίχο που εφαρμόζεται και αυτό συμβαίνει λόγω της κακής συνάφειας μεταξύ του τοίχου και της βάσης τσιμεντοκονιάματος, που χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τις ίνες και ήταν το ασθενέστερο σημείο του συστήματος. Επομένως για να είναι αποδοτική αυτού του είδους η επέμβαση θα πρέπει τόσο η επιλογή του συνδετικού υλικού, όσο και η διαδικασία τοποθέτησης του να γίνεται έπειτα από προσεκτική μελέτη και σύμφωνα με κατάλληλες προδιαγραφές.

Επίσης για να πετύχουμε την καλύτερη απόδοση από τη χρήση του FRP, θα πρέπει η επένδυση του τοίχου με φύλλα FRP να γίνεται και από τις δυο επιφάνειες, για να υπάρχει συμμετρία και με περισσότερες από μια στρώσεις υλικού, ενώ καλό θα είναι τα φύλλα να επεκτείνονται από την μια στήριξη ως την άλλη. Από τις μελέτες προέκυψε ακόμα ότι όσο λιγότερο σκληρό είναι το FRP, τόσο η απόδοση του αυξάνεται.

Όσον αφορά τη διαμόρφωση των φύλλων FRP στον τοίχο που ενισχύεται, κάθε σχηματισμός, είναι ευεργετικός για την τοιχοποιία με διαφορετικό τρόπο. Ο διαγώνιος σχηματισμός συμβάλλει στην αύξηση της διατμητικής αντοχής περισσότερο από το σχηματισμό με τη μορφή πλέγματος. Η χρήση όμως του δεύτερου σχηματισμού, αποτρέπει την πιθανότητα μιας ψαθυρής αστοχίας, εξαιτίας της καλής ανακατανομής της δύναμης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- C. Modena, M. R. Valluzzi, R. Tongini Folli, L. Binda (2002)
'Design choices and intervention techniques for repairing and strengthening of the Monza cathedral bell – tower', *Construction and Building Materials*, Vol. 16, p. 385 – 395, 2002
- M. Corradi, A. Borri, A. Vignoli (2001)
'Strengthening techniques tested on masonry structures struck by the Umbria-Marche earthquake of 1997-1998', *Construction and Building Materials*, Vol. 16, p. 229 – 239, 2002
- M. R. Valluzzi, D. Tinazzi, C. Modena (2002)
'Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates', *Construction and Building Materials*, Vol. 16, p. 409 – 416, 2002
- S. Hamoush, M. McGinley, P. Mlakar, M. J. Terro (2002)
'Out- of- plane behavior of surface- reinforced masonry wall', *Construction and Building Materials*, Vol. 16, p. 341 – 351, 2002
- B. Luis, J. Reixach, C. Xavier, T. Lluis
'Structural rehabilitation of masonry buildings using advanced fabrics'