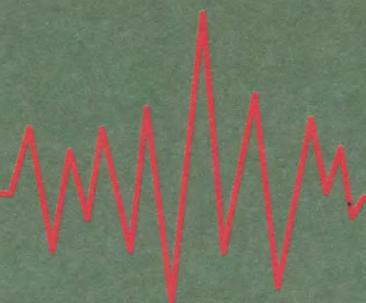




ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ



2^ο



**ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
& ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ**



ΤΟΜΟΣ Β'

**Θ Ε Σ Σ Α Λ Ο Ν Ι Κ Η
Μ Α Κ Ε Δ Ο Ν Ι Α Π Α Λ Λ Α Σ
28 - 30, Νοεμβρίου, 2001**

ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ

Ο.Α.Σ.Π. - Ι.Τ.Σ.Α.Κ. - Σ.Π.Μ.Ε.

Πειραματική διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς επισκευασμένων και ενισχυμένων κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία.

Repair and strengthening of seismically damaged traditional masonry buildings.

ΚΑΡΥΔΗΣ, Π. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΜΟΥΖΑΚΗΣ, Χ. Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΤΠ Ε.Μ.Π.

BENEDETTI, D. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Πολυτεχνείου του Μιλάνο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Τρία δοκίμια φέρουσας τοιχοποιίας από συμπαγή τούβλα και τρία από λιθοδομή με τις ίδιες γεωμετρικές διαστάσεις σχεδιασμένα και κατασκευασμένα, υπό κλίμακα $\frac{1}{2}$ καταπονήθηκαν από σεισμικές διεγέρσεις με τη χρήση του σεισμικού προσομοιωτήρα. Το κόνιαμα ήταν χαμηλής αντοχής, σε αντιστοιχία με αυτό των παραδοσιακών κτηρίων, τα δάπεδα ήταν ξύλινα και τα υπέρθυρα των ανοιγμάτων τοξωτά. Μετά την πρώτη σειρά δοκιμών, όπου οι αρχικές κατασκευές υπέστησαν σοβαρές βλάβες, επισκευάστηκαν, ενισχύθηκαν και υποβλήθηκαν σε νέες δοκιμές, ώστε να διερευνηθεί η συμπεριφορά των δοκιμίων και η καταλληλότητα των μεθόδων ενίσχυσης.

ABSTRACT: Three solid brick and three limestone masonry buildings, two storied, identical in geometry scaled models were tested. The mortar was of low quality, corresponding to those of traditional buildings, the floors of models were horizontal out of wood and the openings had vaults as lintels. After the first series of tests, by which the original structures were damaged, the second series tests was carried out in order to evaluate the effectiveness of repair and strengthening. Three types of strengthening methods were selected. Besides the accelerometric data, macroscopic observation of the response was systematically recorded. In this way a comparison among the response of the repaired and strengthened buildings was carried out.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Προκειμένου να καταγραφεί ο παραδοσιακός τρόπος κτισίματος και η τυπολογία των κατασκευών στην περιοχή της Μεσογείου ερευνήθηκαν τα υπάρχοντα παραδοσιακά κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία σε περισσότερες από σαράντα περιοχές της Ελλάδας. Σε πολλές περιπτώσεις μπορούσε κανείς να παρατηρήσει την επίδραση της παλαιότερης δυτικής Ευρωπαϊκής αρχιτεκτονικής. Σαν αποτέλεσμα αυτής της έρευνας, προέκυψαν δύο τύποι κατασκευής ως προς τα υλικά κατασκευής τους: συμπαγή τούβλα και λιθοδομή. Για κάθε κατηγορία κατασκευάστηκαν τρία δοκίμια: τρία δοκίμια φέρουσας τοιχοποιίας από συμπαγή τούβλα και τρία δοκίμια φέρουσας τοιχοποιίας από λιθοδομή. Τα δοκίμια ήταν διώροφα και

κατασκευάστηκαν υπό κλίμακα 1:2. Τα υπέρθυρα στις πόρτες και τα παράθυρα είχαν σχήμα τόξου και τα δάπεδα των ορόφων ήταν ξύλινα. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα σημεία της έρευνας ήταν και η σεισμική συμπεριφορά των τόξων. Τα τοξωτά υπέρθυρα από τοιχοποιία, σε αντίθεση με τη μη συμμετρική σεισμική δύναμη που δέχονται γενικά, απέδειξαν ότι μπορούν να αναπτύξουν αρκετά μεγάλη αντίσταση σε σεισμικά φορτία. Η μέθοδοι ενίσχυσης κυρίως αποτελούνται από διάφορες μορφές περίσφιξης γύρω από την περιοχή των τοξωτών υπέρθυρων. Κάθε δοκίμιο τοποθετήθηκε στο σεισμικό προσομοιωτήρα και διεγέρθηκε με σεισμό αυξανόμενης σταδιακά έντασης. Τα αρχικά δοκίμια μετά την πρώτη καταπόνηση υπέστησαν σοβαρές βλάβες, χωρίς όμως να φτάσουν σε οριακή κατάσταση αστοχίας, Στη

συνέχεια τα δοκίμια επισκευάστηκαν και ενισχύθηκαν. Για να διερευνηθεί η επίδραση του τύπου επισκευής και ενίσχυσης στη συμπεριφορά των δοκιμίων, τα ενισχυμένα και επισκευασμένα δοκίμια διεγέρθηκαν με τον ίδιο σεισμό, η επιτάχυνση του οποίου αυξανόταν με βήματα όπως και στα αρχικά δοκίμια.

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Οι εξωτερικές διαστάσεις της κάτοψης για όλα τα δοκίμια ήταν $2.75 \times 2.20 \text{ m}^2$ και το συνολικό τους ύψος ήταν 3.08m. Η μόνη διαφορά όσο αφορά τη γεωμετρία μεταξύ των δοκιμίων ήταν ότι το ύψος των τόξων στα ανοίγματα ήταν 0.25 m για τα δοκίμια από τούβλα και 0.15 m για τα δοκίμια από φυσική λίθο.

Οι διαστάσεις των τούβλων ήταν $210 \times 100 \times 52 \text{ mm}$ με πυκνότητα 1570 Kg/m^3 και αντοχή σε θλίψη ίση με 39 MPa . Οι ακανόνιστοι φυσικοί λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν καλής ποιότητας με αντοχή αρκετά ψηλή. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι για το εύκολο κόψιμο των λίθων από τους κτίστες, οι πέτρες που επιλέχθηκαν ήταν μάλλον ψαθυρές. Η σύνθεση του κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν: 200Kg άμμος, 10Kg Υδραυλική Άσβεστος, 10Kg Υδράσβεστος σε μορφή σκόνης και 40kg νερό. Η θλιπτική αντοχή που επιτεύχθηκε ήταν μέση τιμή 0.63 MPa με ελάχιστο 0.47 MPa και μέγιστο 0.81 MPa . Το συνολικό βάρος κάθε ενός δοκιμίου από συμπαγή τούβλα ήταν 97.50kN και 138kN για κάθε ένα δοκίμιο από λιθοδομή. Για να είναι τα δοκίμια δυναμικά όμοια με τις πρότυπες κατασκευές, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της πρόσθετης μάζας: 54.64kN στον πρώτο όροφο και 30.34kN στο δεύτερο όροφο για το δοκίμιο από συμπαγή τούβλα και 67.50kN στον πρώτο όροφο και 41.50kN στο δεύτερο όροφο για το δοκίμιο από λιθοδομή. Για λόγους κωδικοποίησης τα δοκίμια κωδικοποιήθηκαν με τα ονόματα: I1, M1 και L1 τα αρχικά δοκίμια από τούβλα και N1, O1 και P1 τα αρχικά δοκίμια από λιθοδομή.

Ως διέγερση χρησιμοποιήθηκαν το ισχυρό τμήμα της κατακόρυφης και των δύο οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού της 23 Νοεμβρίου 1980 που καταγράφηκε στο Calitri της Ιταλίας. Η διάρκεια της διέγερσης ήταν 23.17sec. Η μέγιστη επιτάχυνση βάσης που αναπτύχθηκε και οι συντελεστές μεγέθυνσης δίνονται στον Πίνακα 1. Η μεταβολή των ιδιοσυχνοτήτων δίνεται στον Πίνακα 2.

3. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Το δοκίμιο από συμπαγή τούβλα, I1, υπέστη εκτεταμένες βλάβες στην περιοχή μεταξύ των υπερθύρων των ανοιγμάτων του πρώτου ορόφου και του κάτω τμήματος των ανοιγμάτων του δεύτερου ορόφου. Μεγαλύτερες ρωγμές παρατηρήθηκαν στη περιοχή που βρίσκεται πάνω από τα υπέρθυρα του δεύτερου ορόφου. Οι ξύλινες δοκοί στις θέσεις στήριξης τους στην τοιχοποιία έσπρωξαν τους αντίστοιχους τοίχους. Ρωγμές λόγω στρέψης παρατηρήθηκαν επίσης, κυρίως κατά μήκος του νότιου, ανατολικού και δυτικού τοίχου του πρώτου ορόφου.

Το δοκίμιο από συμπαγή τούβλα, L1, υπέστη σχεδόν τις ίδιες βλάβες όπως το δοκίμιο I1. Μια αξιοσημείωτη διαφορά παρουσιάστηκε στο πάνω τμήμα του δοκιμίου λόγω της διαφορετικής κατανομής των μαζών στο σημείο αυτό. Εκεί, παρατηρήθηκε μειωμένη ρηγμάτωση στο ανατολικό και δυτικό τμήμα στην περιοχή πάνω από τα υπέρθυρα του δεύτερου ορόφου ενώ περισσότερο ρηγματωμένο εμφανίστηκε το δοκίμιο στη νότια και βόρεια πλευρά στην περιοχή αυτή, συγκρινόμενο πάντα με το δοκίμιο I1. Για την ακρίβεια, στο δοκίμιο I1 όλα τα κατακόρυφα φορτία που αντιστοιχούσαν στο δεύτερο όροφο επιβάλλονταν μόνο στο πάνω τμήμα του βόρειου και νότιου τοίχου, ενώ σε όλα τα άλλα πειράματα τα φορτία επιβάλλονταν μέσω των πατωμάτων.

Το δοκίμιο από συμπαγή τούβλα, M1, υπέστη τις ίδιες βλάβες όπως τα δοκίμια I1 και L1. Οι ρωγμές κατανέμονταν στην περιοχή μεταξύ υπερθύρων πρώτου ορόφου και κάτω τμήματος ανοιγμάτων του δεύτερου ορόφου και στην περιοχή πάνω από τα υπέρθυρα του δεύτερου ορόφου.

Το πέτρινο δοκίμιο, N1, υπέστη σχεδόν του ίδιου τύπου βλάβες όπως τα δοκίμια από τούβλα αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό.

Το πέτρινο δοκίμιο, O1, υπέστη τις ίδιες βλάβες όπως και τα άλλα δοκίμια, σε χαμηλότερο όμως επίπεδο σεισμικής έντασης σε σχέση με όλα τα άλλα δοκίμια.

Το πέτρινο δοκίμιο, P1, υπέστη τις ίδιες βλάβες όπως και τα άλλα δοκίμια.

Πίνακας 1. Μέγιστες επιταχύνσεις βάσης και συντελεστές μεγέθυνσης της τελευταίας δοκιμής.
Table 1. Peak base accelerations and amplification factors of the last test.

Δοκίμιο	Μέγιστη επιτάχυνση βάσης (m/sec ²)			Συντ. Μεγένθυσης 2ος όροφος		Συντ. Μεγένθυσης 1ος όροφος	
	Υ	Χ	Z	Χ	Υ	Χ	Υ
I1	1.46	1.83	1.26	2.32	2.69	1.88	1.64
L1	1.63	1.86	1.96	2.44	2.70	1.48	1.43
M1	1.55	1.87	1.85	2.91	2.90	1.82	1.66
N1	1.07	1.58	1.72	2.12	2.36	1.30	1.36
O1	0.85	1.13	1.06	2.58	2.73	1.94	1.50
P1	1.23	-	1.16	2.15	-	1.14	-

Πίνακας 2. Μεταβολή ιδιοσυχνοτήτων μεταξύ πρώτης και τελευταίας δοκιμής.
Table 2. Decrease of natural frequencies between the first and the last test.

Δοκίμιο	Αριθμός Δοκιμής	1 ^η Ιδιομορφή		Δοκίμιο	Αριθμός Δοκιμής	1 ^η Ιδιομορφή	
		Χ	Υ			Χ	Υ
I1	Πρώτη	8.33	5.27	N1	Πρώτη	6.60	5.39
	Τελευταία	6.47	2.68		Τελευταία	5.57	3.37
L1	Πρώτη	7.25	6.73	O1	Πρώτη	7.60	5.39
	Τελευταία	5.65	3.88		Τελευταία	6.56	4.88
M1	Πρώτη	7.04	6.60	P1	Πρώτη	6.56	5.91
	Τελευταία	4.01	2.68		Τελευταία	5.57	3.88

4. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για όλα τα δοκίμια, η γενική διαδικασία επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκε είναι η ακόλουθη:

α. Κλείσιμο των ρωγμών με κονίαμα
β. Πλευρική περίσφιξη με μεταλλικά σύρματα, μεταλλικά δοκάρια και ελατήρια. Τα ελατήρια χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μόνιμης πλευρικής θλιπτικής πίεσης σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η ακαμψία των ελατηρίων ήταν περίπου 500kN/m. Οι επισκευές που εφαρμόστηκαν φαίνονται στα Σχήματα 1 μέχρι 6.

γ. Τοποθέτηση μεταλλικών λαμών 45.3mm στις δύο πλευρές και τα τόξα των ανοιγμάτων, στο δεύτερο ή στον πρώτο όροφο. Οι περιοχές γύρω από τα παράθυρα ενισχύθηκαν περισσότερο χρησιμοποιώντας δύο μεταλλικές γωνίες L60.6 και στις δύο πλευρές των ανοιγμάτων.

Όπως φαίνεται και από τα αντίστοιχα σχέδια ο μηχανισμός πλευρικής περίσφιξης μπορεί να αναλυθεί στους ακόλουθους τρεις τύπους ενίσχυσης:

Κατά τον πρώτον τύπο ενίσχυσης (I) τοποθετήθηκαν οριζόντιες μεταλλικές ράβδοι Φ12 γύρω από τα ξύλινα πατώματα στον

πρώτο και δεύτερο όροφο αντίστοιχα. Οι δυνάμεις εφαρμόζονται στο σώμα της κατασκευής μέσω των ελατηρίων. Το ένα άκρο του ελατηρίου συνδέεται με το ένα άκρο της ράβδου και το άλλο άκρο πιέζει μια κατακόρυφη μεταλλική γωνία στην αντίστοιχη γωνία της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό οι θλιπτικές οριζόντιες δυνάμεις από την περίσφιξη κατανέμονται στην κατασκευή. Οι κατακόρυφες μεταλλικές γωνίες, στα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν επεκτείνονται μέχρι τη βάση των δοκιμών ή σταματούσαν στο ύψος της αρχής των τοξοτών ανοιγμάτων του πρώτου ορόφου.

Κατά τον δεύτερο τύπο ενίσχυσης (II) τοποθετήθηκαν οριζόντιες μεταλλικοί δοκοί (UPN 100) γύρω από τις πλάκες στον πρώτο και δεύτερο όροφο αντίστοιχα. Οι δοκοί αυτοί συνδέονταν εγκάρσια η μια στην άλλη μέσω ελατηρίων έτσι ώστε να μεταφέρεται στην κατασκευή θλιπτική δύναμη. Δύο τένοντες με τα αντίστοιχα ελατήρια τοποθετούνται επίσης στο μέσο των ανοιγμάτων σε κάθε όροφο. Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται μια μάλλον ισχυρή διαφραγματική δράση η οποία λειτουργεί σε μάλλον μικρό ύψος του τοίχου.

Κατά τον τρίτο τρόπο ενίσχυσης (III) τοποθετήθηκαν οι ίδιες μεταλλικές δοκοί και

ράβδοι όπως στην προηγούμενη περίπτωση και επιπρόσθετα φύλλα αντεπικολητής ξυλείας μεταξύ των οριζόντιων δοκών και των τοίχων. Με τον τρόπο αυτό η δράση των τενόντων κατανέμεται σε μεγαλύτερη περιοχή της τοιχοποιίας, επιτυγχάνεται καλύτερη συνεργασία μεταξύ μεταλλικών δοκών και τοιχοποιίας καθώς επίσης η τριβή μεταξύ τοιχοποιίας και μεταλλικών δοκών αυξάνεται δραστικά. Το μέγεθος της εφελκυστικής δύναμης που εφαρμόστηκε ήταν της τάξης που αναφέρεται στα σχήματα.

Αρχικά, κάθε τύπος ενίσχυσης που αναφέρθηκε πιο πάνω προβλεπόταν να εφαρμοστεί σε κάθε ένα από τα τρία δοκίμια από τούβλα και σε κάθε ένα από τα δοκίμια από πέτρα.

Κατά την εξέλιξη όμως των πειραμάτων και τη συλλογή των αποτελεσμάτων και των παρατηρήσεων, γινόταν τροποποίηση στις τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης. Για παράδειγμα, ο δεύτερος τύπος ενίσχυσης καταργήθηκε αφού αποδείχθηκε ότι η απευθείας σύνδεσης των μεταλλικών δοκών πάνω στην τοιχοποιία ήταν επιβλαβής. Για το λόγο αυτό, ο τύπος ενίσχυσης I και III τροποποιήθηκαν. Σε κάθε ένα από τα δοκίμια, εφαρμόστηκε τελικά η ακόλουθη μέθοδος επισκευής και ενίσχυσης.

Κατά αντιστοιχία με τα αρχικά δοκίμια τα επισκευασμένα δοκίμια κωδικοποιούνται I2, M2, L2 τα δοκίμια από τούβλα και N2, O2, P2 τα δοκίμια από πέτρα.

Δοκίμιο I2, τύπος ενίσχυσης I για τοιχοποιία από συμπαγή τούβλα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1:

Κλείσιμο ρωγμών με μη συρρικνούμενο κονίαμα.

Εφαρμογή του πρώτου τύπου ενίσχυσης με μεταλλικές γωνίες να επεκτείνονται από την οροφή του δοκιμίου μέχρι ύψος 0.95m από τη βάση του.

Ενίσχυση των τόξων του δεύτερου ορόφου με δύο μεταλλικές λάμες 45.3mm και στις δύο πλευρές των τόξων.

Δοκίμιο L2, τύπος ενίσχυσης II για τοιχοποιία από συμπαγή τούβλα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2:

Αφού σφραγίσθηκαν οι ρωγμές με κονίαμα, εξασφαλίστηκε η διαφραγματική λειτουργία με τη χρήση μεταλλικών δοκών διατομής UPN100 στο πάνω μέρος του δοκιμίου και στο μέσο του ύψους του.

Δοκίμιο M2, τύπος ενίσχυσης III για τοιχοποιία από συμπαγή τούβλα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3:

Κλείσιμο ρωγμών με κονίαμα.

Χρησιμοποίηση φύλλων αντεπικολητής ξυλείας και μεταλλικών δοκών

Ενίσχυση των τόξων του δεύτερου ορόφου με δύο μεταλλικές λάμες 45.3mm και στις δύο πλευρές των τόξων (ίδιο όπως το δοκίμιο I2).

Δοκίμιο N2, τύπος ενίσχυσης IV για τοιχοποιία από φυσικό λίθο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4:

Κλείσιμο ρωγμών με κονίαμα.

Χρήση της ενίσχυσης τύπου I, αλλά με τις κατακόρυφες μεταλλικές γωνίες να εκτείνονται μέχρι τη βάση του δοκιμίου όπου και συγκολλήθηκαν.

Δοκίμιο O2, τύπος ενίσχυσης V για τοιχοποιία από φυσικό λίθο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5:

Κλείσιμο ρωγμών με κονίαμα.

Χρήση της ενίσχυσης τύπου I, με τις κατακόρυφες μεταλλικές γωνίες να εκτείνονται μέχρι τη βάση του δοκιμίου όπου και συγκολλήθηκαν.

Ενίσχυση των τόξων του πρώτου ορόφου με γωνίες L60.6 και στις δύο πλευρές των τόξων.

Δοκίμιο P2, τύπος ενίσχυσης VI για τοιχοποιία από φυσικό λίθο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6:

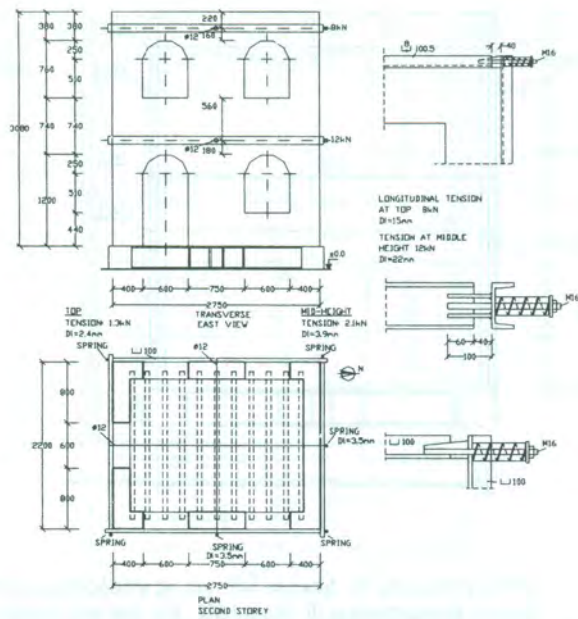
Κλείσιμο ρωγμών με κονίαμα.

Χρήση της ενίσχυσης τύπου III.

Ενίσχυση των τόξων του πρώτου ορόφου με μεταλλικές λάμες 45.3mm και στις δύο πλευρές των τόξων.

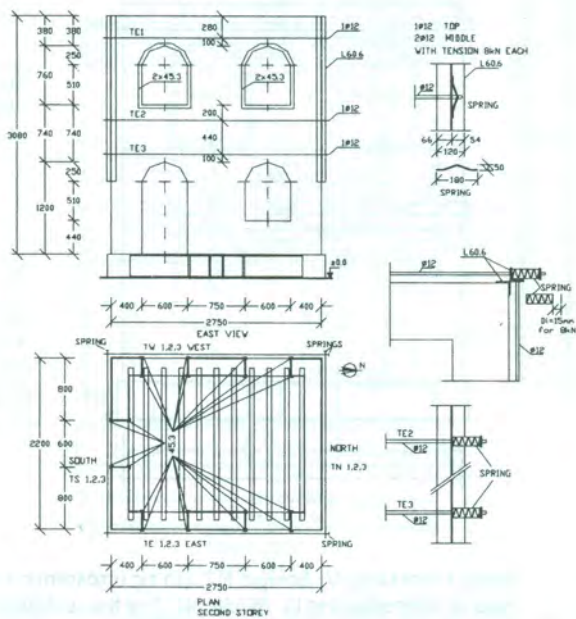
5. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Το ενισχυμένο δοκίμιο I2, αν και διεγέρθηκε τρεις με τέσσερις φορές ισχυρότερα από το δοκίμιο I1, οι ρωγμές που παρατηρήθηκαν ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλο το δοκίμιο. Οι σχετικά μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις που παρατηρήθηκαν στη νότια πλευρά μεταξύ πάνω μέρους δοκιμίου και υπερθύρων δεύτερου ορόφου κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, δεν ήταν εμφανείς μετά το τέλος των δοκιμών. Τα στρεπτικά φαινόμενα ήταν πιο εμφανή στον πρώτο όροφο.



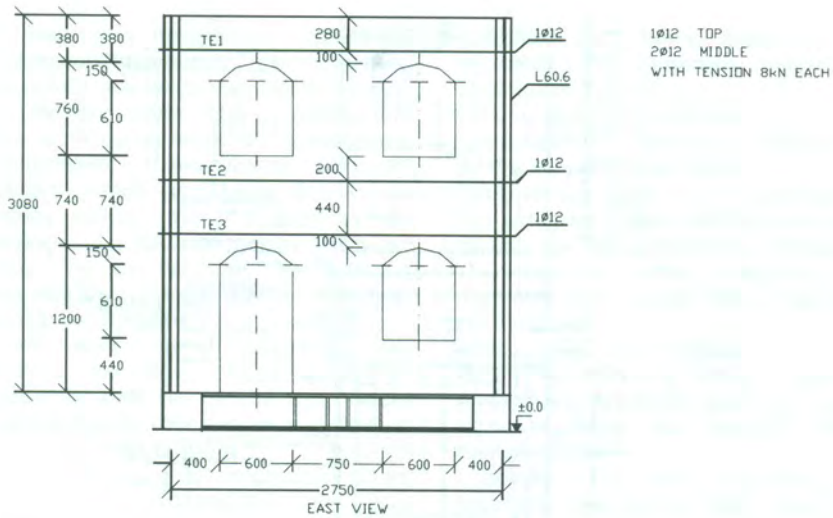
Σχήμα 1.
Figure 1.

Τύπος επισκευής Ι, Δοκίμιο Ι2
Type of strengthening I, Model I2

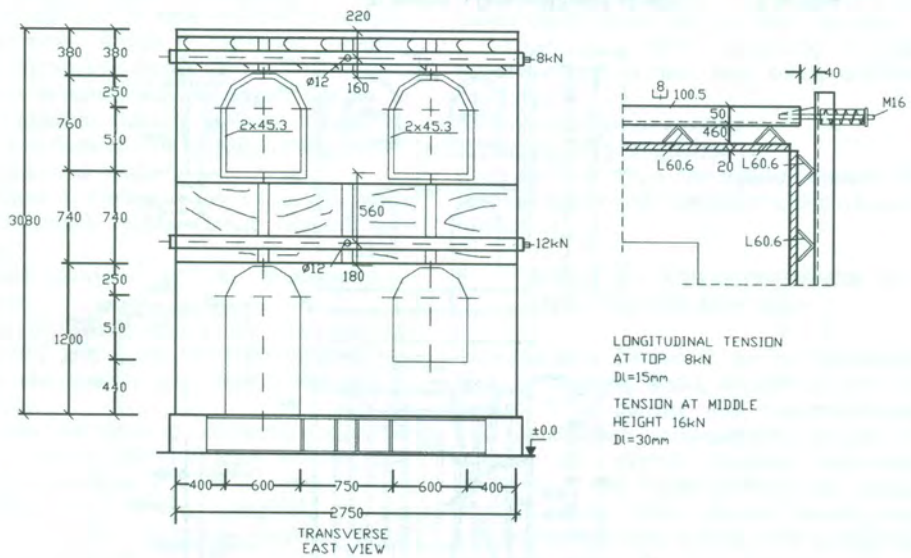


Σχήμα 2.
Figure 2.

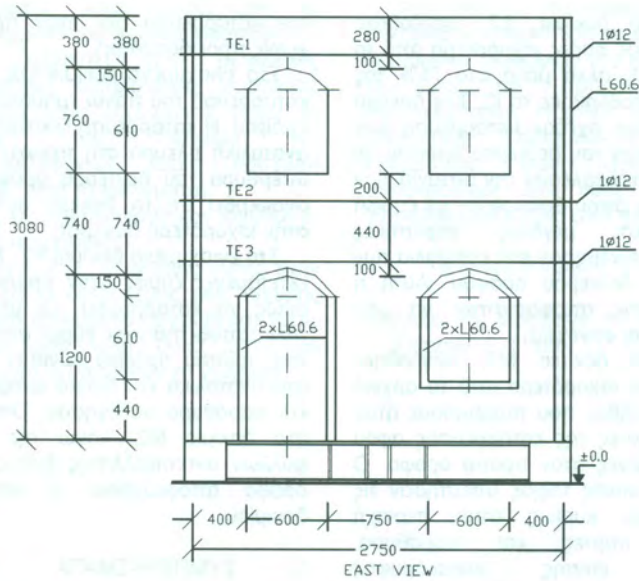
Τύπος επισκευής ΙΙ, Δοκίμιο Ι2
Type of strengthening II, Model L2.



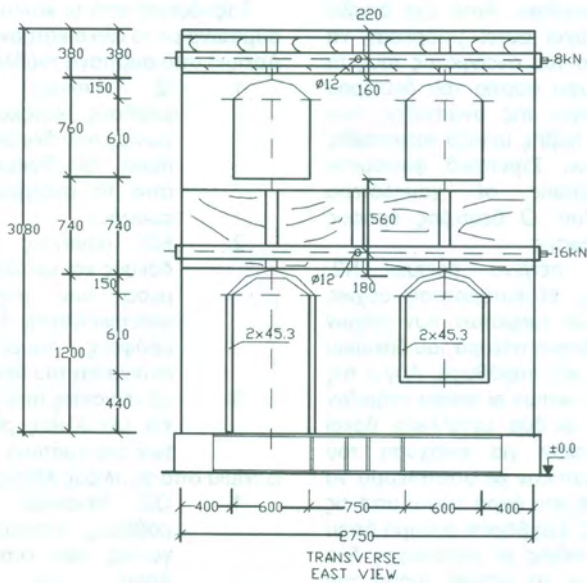
Σχήμα 3. Τύπος επισκευής III, Δοκίμιο M2, για τις υπόλοιπες λεπτομέρειες, βλ. Σχήμα 2
 Figure 3. Type of strengthening III. Model M2. For the rest details, see Figure 2.



Σχήμα 4. Τύπος επισκευής IV, Δοκίμιο N2, για τις υπόλοιπες λεπτομέρειες, βλ. Σχήμα 1
 Figure 4. Type of strengthening IV. Model N2. For the rest details, see Figure 1.



Σχήμα 5. Τύπος επισκευής V, Δοκίμιο O2, για τις υπόλοιπες λεπτομέρειες, βλ. Σχήμα 1
 Figure 5. Type of strengthening V. Model O2. For the rest details, see Figure 1.



Σχήμα 6. Τύπος επισκευής VI, Δοκίμιο P2, για τις υπόλοιπες λεπτομέρειες, βλ. Σχήμα 3
 Figure 6. Type of strengthening VI. Model P2. For the rest details, see Figure 3.

Το ενισχυμένο δοκίμιο, L2, διεγέρθηκε σχεδόν δύο με τρεις φορές ισχυρότερα από το αρχικό δοκίμιο L1, αλλά μόνο στο 75% της διέγερσης που υποβλήθηκε το I2. Στο δοκίμιο αυτό παρατηρήθηκε σχεδόν κατάρρευση των τοίχων στις θέσεις όπου βρίσκονταν σε επαφή με αυτούς και μεγάλες στρεπτικές παραμορφώσεις συνέβησαν στα κατώφλια των παραθύρων του δεύτερου ορόφου. Αυτή η μέθοδος ενίσχυσης αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.

Το ενισχυμένο δοκίμιο M2, διεγέρθηκε σχεδόν δύο φορές ισχυρότερα από το αρχικό δοκίμιο M1. Οι βλάβες που παρουσίασε ήταν πολύ κοντά σε αυτές της κατάρρευσης αφού ήταν συγκεντρωμένες στον πρώτο όροφο. Ο ανατολικός και δυτικός τοίχος υπέστησαν τις κυριότερες ζημιές κυρίως στην περιοχή ανάμεσα σε πόρτες και παράθυρα. Παρατηρήθηκε επίσης κατακόρυφος διαχωρισμός των τοίχων στις δύο αυτές πλευρές λόγω της κακής τεχνικής κατασκευής των γωνιών. Λόγω της ύπαρξης των φύλλων αντεπικολλητής ξυλείας που τοποθετήθηκε στο ύψος του πρώτου ορόφου η ολική κατάρρευση του δοκιμίου αποφεύχθηκε. Αυτό είχε συμβεί λόγω του ότι οι δοκοί αυτοί μπόρεσαν να αναλάβουν στο μέσο του ανοίγματος τους τα αντίστοιχα κατακόρυφα φορτία του δεύτερου ορόφου, κυρίως λόγω της ανάπτυξης των μεγάλων δυνάμεων τριβής μεταξύ τοιχοποιίας και ξύλινων φύλλων. Στρεπτικά φαινόμενα παρατηρήθηκαν επίσης σε χαμηλότερα τμήματα του δοκιμίου. Ο δεύτερος όροφος παρέμεινε σχεδόν άθικτος.

Το ενισχυμένο πέτρινο δοκίμιο N2, κατέρρευσε πλήρως. Η κατάρρευση άρχισε από την αστοχία δύο τμημάτων των τοίχων στην ανατολική και δυτική πλευρά του δοκιμίου ανάμεσα σε πόρτες και παράθυρα. Λόγω της αστοχίας των τοίχων αυτών οι οποίοι στήριζαν τις ξύλινες δοκούς, οι δύο μεταλλικές δοκοί που χρησιμοποιήθηκαν για ενίσχυση του δοκιμίου, υπερφορτίστηκαν με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί στροφή στα άκρα πάνω από τις θέσεις στήριξης τους. Στη βόρεια πλευρά όπου υπήρχε συμπαγή τοίχος οι αντίστοιχες δύο μεταλλικές έσπρωξαν το μεσαίο τμήμα του τοίχου. Το ίδιο συνέβηκε αμέσως και στη νότια πλευρά. Το δοκίμιο για κάποια στιγμή στηριζόταν μόνο στις τέσσερις κατακόρυφες δοκούς οι οποίες είχαν συγκολληθεί στη βάση του δοκιμίου. Οι συνθήκες που προκάλεσαν

την κατάρρευση δεν ήταν προβλέψιμες και χωρίς προειδοποίηση.

Στο ενισχυμένο δοκίμιο O2, παρατηρήθηκε κατάρρευση του πάνω τμήματος του δεύτερου ορόφου. Η κατάρρευση ξεκίνησε από τη νότιο-ανατολική πλευρά στη περιοχή πάνω από τα υπέρθυρα του δεύτερου ορόφου. Πρέπει να αναφερθεί ότι το δοκίμιο αυτό υποβλήθηκε στην ισχυρότερη διέγερση.

Στο ενισχυμένο δοκίμιο P2, παρατηρήθηκαν εκτεταμένες ζημιές στον πρώτο όροφο χωρίς όμως να καταρρεύσει. Οι μεταλλικές λάμες που τοποθετήθηκαν γύρω από τα ανοίγματα του πρώτου ορόφου λύγισαν. Οι δύο τοίχοι στα ανατολικά και δυτικά ανάμεσα σε πόρτες και παράθυρα αστόχησαν. Όπως συνέβη και στο δοκίμιο M2, λόγω της ύπαρξης των φύλλων αντεπικολλητής ξυλείας στον πρώτο όροφο αποφεύχθηκε η κατάρρευση του δοκιμίου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τη συμπεριφορά των ενισχυμένων και επισκευασμένων δοκιμίων και των αντίστοιχων μεθόδων ενίσχυσης και επισκευής τα δοκίμια ταξινομούνται ως εξής:

Ταξινόμηση από το καλύτερο στο χειρότερο σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους:

Δοκίμια από συμπαγή τούβλα

1. I2 (τένοντες από μεταλλικές ράβδους, κατακόρυφες μεταλλικές γωνίες που δεν εκτείνονταν μέχρι τη βάση του δοκιμίου, λάμες γύρω από τα ανοίγματα του δεύτερου ορόφου).
2. M2 (τένοντες από μεταλλικές δοκούς και μεταλλικές ράβδους στα μέσα των ανοιγμάτων, φύλλα αντεπικολλητής ξυλείας στους δύο ορόφους, λάμες γύρω από τα ανοίγματα του δεύτερου ορόφου).
3. L2 (τένοντες από μεταλλικές δοκούς και μεταλλικές ράβδους στα μέσα των ανοιγμάτων).

Δοκίμια από φυσικούς λίθους

1. O2 (τένοντες από μεταλλικές ράβδους, κατακόρυφες μεταλλικές γωνίες που εκτείνονταν μέχρι τη βάση του δοκιμίου και συγκολλούνται, γωνιακά γύρω από τα ανοίγματα του πρώτου ορόφου).
2. P2 (τένοντες από μεταλλικές δοκούς και μεταλλικές ράβδους στα μέσα των ανοιγμάτων, φύλλα αντεπικολλητής ξυλείας στους δύο

- ορόφους, λάμες γύρω από τα ανοίγματα του πρώτου ορόφου).
3. N2 (τένοντες από μεταλλικές ράβδους, κατακόρυφες μεταλλικές γωνίες που εκτείνονταν μέχρι τη βάση του δοκίμιου και συγκολλούνται, καμία ενίσχυση γύρω από τα ανοίγματα).

Για τις τεχνικές που ακολουθήθηκαν ισχύουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Για την εφαρμογή της επέμβασης αυτής στην πράξη απαιτείται η κατασκευή μιας ισχυρής δοκού (π.χ. από οπλισμένο σκυρόδεμα) γύρω από τη θεμελίωση. Στη δοκό αυτό θα καταλήξουν και θα στερεωθούν τα γωνιακά.

Από όλες τις πιο πάνω προαναφερθείσες επεμβάσεις η καλύτερη αποδείχτηκε αυτή που δημιουργεί περίσφιξη της κατασκευής σε όλο το ύψος της, εισάγοντας ομοιόμορφες θλιπτικές τάσεις. Η χρήση των ελατηρίων είναι ευεργετική. Επισημαίνεται ότι όλες οι επεμβάσεις που αναφέρθηκαν είναι αντιστρέψιμες, κάτι πολύ σημαντικό για τα παραδοσιακά κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία.

1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Carydis, P., Mouzakis, H., Benedetti, D. and Pezzoli, P. (1998) 11th ECEE