

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ FRP

ΚΑΒΒΑΔΙΑ ΧΑΡΙΣ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την παρουσίαση των τρόπων ενίσχυσης και επισκευής κτιρίων από προκατασκευασμένα στοιχεία και των συνδέσεων αυτών με ινοπλισμένα πολυμερή. Στα ερευνητικά πειράματα που παρατίθενται στη συνέχεια οδήγησε η ανάγκη αποκατάστασης και πρόληψης βλαβών που παρουσιάζονται σε υφιστάμενες κατασκευές λόγω σεισμικών δράσεων και άλλων παραγόντων. Επίσης γίνεται μία εισαγωγή στα συστήματα δόμησης με προκατασκευή και Tilt-Up καθώς και στα ινοπλισμένα πολυμερή και σύγκριση με άλλες μεθόδους βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προκατασκευή έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρύτατα μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο ιδιαίτερα στις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, της Ανατολικής Ευρώπης και της Κεντρικής Ασίας. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται πιο συστηματικά από τη δεκαετία του 80' για την ανέγερση σχολικών κτιρίων αλλά και βιομηχανικών χώρων, όμως έχει ήδη κάνει την εμφάνισή της πριν το 1970 [1],[2].

Αποτελεί μία αρκετά δημιουργική μέθοδο κάλυψης των εκάστοτε αναγκών της κοινωνίας για τη γρήγορη ανέγερση διαφόρων τύπων κτιρίων, ωστόσο παρατηρείται μία προκατάληψη στις χώρες με μεγάλη σεισμική επικινδυνότητα.[3]

2.ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΚΑΙ TILT-UP ΚΤΙΡΙΑ

Τα κτίρια αυτά αποτελούνται από προκατασκευασμένα στοιχεία, τα οποία παρασκευάζονται στο εργοστάσιο και μεταφέρονται στην οικοδομή για τη συναρμολόγηση, και από διάφορους τύπους σύνδεσής τους που γίνονται κατά τη συναρμολόγηση. Η διαφορά στη συμπεριφορά και στον τρόπο ενίσχυσης αυτών των κτιρίων σε σχέση με τα μονολιθικά κτίρια έγκειται στο γεγονός ότι τα προκατασκευασμένα μέλη έχουν αρκετά αυστηρή τήρηση των κανόνων παραγωγής και συνεπώς αρκετά καλή συμπεριφορά, ενώ η δημιουργία των συνδέσεων γίνεται επι τόπου στο έργο και αποτελεί την αδυναμία της κατασκευής. Η ενίσχυση και επισκευή των προκατασκευασμένων κτιρίων εστιάζει κατά κύριο λόγο στην αντοχή των συνδέσεων διότι η συμπεριφορά του κτιρίου εξαρτάται ουσιαστικά από τις συνδέσεις του.[4]

Η προκατασκευή αποτελείται από τρεις κύριες τεχνολογίες:

Τα Τοιχωματικά Συστήματα αποτελούνται από προκατασκευασμένα πάνελ τοιχωμάτων (συμπαγή ή τύπου σάντουιτς) και προκατασκευασμένα πάνελ πατωμάτων-οροφής. Χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με το σε ποιά διεύθυνση βρίσκονται τα τοιχώματα, δηλαδή στην εγκάρσια (Cross Wall System), στη διαμήκη (Longitudinal Wall System) ή και στις δύο (Two-Way System).

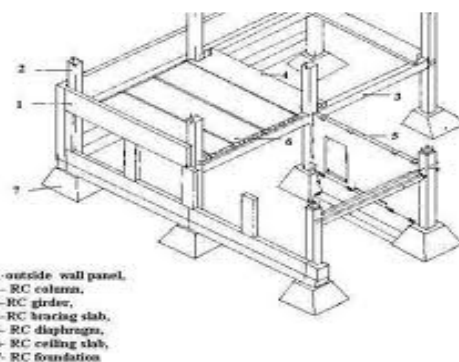
Η συμπεριφορά σε σεισμό είναι αρκετά καλή.[2]



Σχήμα 1: Κτίριο τοιχωματικού συστήματος [5]

Τα πλαίσια συστήματα αποτελούνται από προκατασκευασμένα υποστηλώματα, προκατασκευασμένες πλάκες, προκατασκευασμένες δοκούς και συνήθως προκατασκευασμένα τοιχώματα. Χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται προσυναρμολογημένα στοιχεία δοκών υποστυλωμάτων ή γραμμικά στοιχεία.

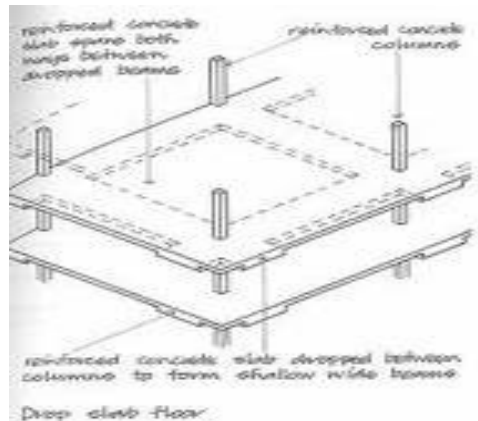
Η συμπεριφορά σε σεισμό είναι αρκετά μέτρια και για το λόγο αυτό αναπτύσσονται υβριδικά συστήματα με προένταση.[2]



Σχήμα 2: Κτίριο πλαίσιακού συστήματος [6]

Τα Συστήματα Πλάκας-Υποστυλώματος με Διατμητικούς τοίχους (Slab-Column Systems with Shear Walls) αποτελούνται από προκατασκευασμένες πλάκες, προκατασκευασμένα υποστυλώματα και ενίοτε προκατασκευασμένα τοιχώματα. Χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με το αν η τοποθέτηση των στοιχείων πλάκας γίνεται μέσω ανύψωσης ή προέντασης. Εκτιμάται ότι η χρήση της προέντασης στο σύστημα αυτό παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια.

Το σύστημα αυτό δε θεωρείται αντισεισμικό αν και τα προεντεταμένα στοιχεία έχουν δείξει καλή συμπεριφορά υπό σεισμική φόρτιση.[2]



Σχήμα 3: Κτίριο Slab- Column συστήματος [7]

Τα TILT-UP κτίρια αποτελούν ιδιαίτερη κατηγορία κτιρίων διότι αποτελούνται από πανελ τοιχωμάτων που φτιάχνονται σε οριζόντια θέση στο εργοτάξιο και στη συνέχεια τοποθετούνται στην κατασκευή. Συνεπώς δεν πρόκειται για προκατασκευασμένα κτίρια αλλά ούτε και συμβατικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα κτίρια αυτά είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε σεισμό.



Σχήμα 4: Κτίριο τύπου Tilt-Up [8]

3.ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ενίσχυση των προκατασκευασμένων στοιχείων και συνδέσεων με FRP και CFRP ως πολύ διαδεδομένη, αρκετά τεκμηριωμένη και πολλά υποσχόμενη μέθοδος.

Τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι ανισότροπα υλικά και έχοντας τις ίνες ως τον κύριο φορέα ανάληψης των δυνάμεων επιτυγχάνουν μεγάλη παραμορφωσιμότητα και διατμητική αντοχή με σχεδόν γραμμικό διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης [9]. Επιπλέον η αστοχία επέρχεται για αρκετά μεγάλες παραμορφώσεις, γεγονός που σε συνδυασμό με την ευκολία στην εφαρμογή καθιστά τη μέθοδο αυτή ιδιαίτερα αποδοτική και συμφέρουσα [10].

Στις ενότητες 4 έως 6 παρουσιάζονται πειραματικές διατάξεις για τον έλεγχο τριών διαφορετικών περιπτώσεων ενίσχυσης αλλά και επισκευής κτιρίων από προκατασκευασμένα μέλη. Η ανάγκη πραγματοποίησης των μελετών αυτών προέκυψε μετά από τη δράση σεισμικών δυνάμεων (ενότητες 5, 6) και την εφαρμογή επιπλέον μονίμου φορτίου (ενότητα 4). Η αναλυτική παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων γίνεται στην ενότητα 7

όπου συγκρίνονται τα αποτελέσματα και με άλλες μεθόδους.

4.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ-ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΔΟΚΟΥ ΜΟΡΦΗΣ ΔΥΟ “Τ” ΜΕ DAPPED-END ΑΚΡΑ

Οι προκατασκευασμένες-προεντεταμένες δοκοί με μορφή δύο “Τ” με dapped-end άκρα χρησιμοποιούνται σε κτίρια και εγκαταστάσεις parking σε ζώνες υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας λόγω της πλευρικής σταθερότητας που παρέχουν και της μείωσης του ύψους ορόφου. Αν και ο σχεδιασμός των δοκών αυτών είναι πολύπλοκος εξαιτίας του σχήματος της σύνδεσης είναι πολύ διαδεδομένες. Επιπλέον, το συγκεκριμένο είδος σύνδεσης προκαλεί έντονη συγκέντρωση τάσεων στο άκρο με αποτέλεσμα, στην περίπτωση που η κατάλληλη ενίσχυση κοντά στο άκρο δεν είναι εφικτή, να υπάρχει το ενδεχόμενο δημιουργίας διαγώνιων ρωγμών, η οποίες αναπτύσσονται γρήγορα με ελάχιστη έως καθόλου προειδοποίηση.[9], [11]



Σχήμα 5: Δοκός με δύο “Τ” [12]

Η ενίσχυση με FRP των συνδέσεων έχει μελετηθεί με βάση την ανάγκη ενίσχυσης ήδη υπάρχοντων κτιρίων, όπως παραδείγματος χάριν ένα τριόροφο parking στο Pittsburg. Στην περίπτωση αυτή οι δοκοί δεν ήταν ικανές να παραλάβουν ολόκληρο το φορτίο σχεδιασμού το οποίο προστέθηκε πέντε χρόνια μετά την παράδοση και έναρξη λειτουργίας του έργου [11]. Από την μελέτη των δοκών του parking αλλά και από άλλες πειραματικές διαδικασίες προέκυψε ότι η ενίσχυση με FRP είναι πλήρως ικανοποιητική. Πιο συγκεκριμένα:

Το FRP εφαρμόστηκε πλευρικά και κάτω από το μέλος (U-wrap) σε διεύθυνση κάθετη (90°) και παράλληλη (0°) στον διαμήκη άξονα ανάλογα με τις απαιτήσεις, το οποίο αποτελεί την πιο διαδεδομένη τεχνική για την ενίσχυση σε διάτμηση. Προέκυψαν πέντε πιθανές αιτίες αστοχίας όπως φαίνεται στο σχήμα(6):

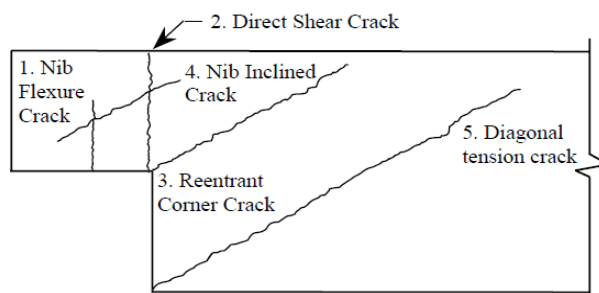


Figure 1: Five Failure Modes Proposed by PCI

Σχήμα 6: Τρόποι στοχίας δοκού με Dapped-End άκρα [9]

Τα δοκίμια αστόχησαν όλα σε διάτμηση από ρωγμές που ξεκίνησαν από το σημείο της σύνδεσης της δοκού και οφείλονται. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αστοχία οφείλεται στην αποκόλληση των φύλλων του FRP ενώ στην περίπτωση χρήσης αγκυρίου τύπου U η αστοχία επήλθε από την αστοχία των ινών του πολυμερούς.

Τα συμπεράσματα που διεξάγονται από τις μελέτες αυτές είναι τα ακόλουθα:

- Τα συστήματα ενίσχυσης και επισκευής δοκών με μορφή δύο “T” και dapped-end άκρα με FRP είναι αξιόπιστα λόγω της ψευδοπλάστιμης συμπεριφοράς που παρέχεται από τον οπλισμό του σκυροδέματος μετά την εμφάνιση ρωγμών.
- Η χρησιμοποίηση αγκυρίων τύπου U εξασφαλίζει τη μέγιστη απόδοση της δοκού και ταυτόχρονα την αστοχία των ινών και όχι της σύνδεσης μεταξύ σκυροδέματος και ινοπλισμένων πολυμερών. [9] [11]

5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

Οι συγκολλητές (welding) ενώσεις μεταλλικών ελασμάτων αποτελούν μία πολύ συνηθισμένη τεχνική σύνδεσης προκατασκευασμένων στοιχείων. Ωστόσο παρατηρήθηκε σε πολλές περιπτώσεις ότι η σεισμική δράση τις καθιστά ευάλωτες διότι δεν παρουσιάζουν την απαραίτητη πλαστιμότητα ώστε τα στοιχεία να αναπτύξουν τη μέγιστη αντοχή. Επίσης η διάβρωση των ελασμάτων αποτελεί μία ακόμη παράμετρο για ανησυχία. [2] [10] [13] Σκοπός του πειράματος που διεξήχθη είναι η ενίσχυση σε διάτμηση των συνδέσεων με CFRP και η εκτίμηση και βελτιστοποίηση της μεθόδου αυτής. Το πολυμερές σε κάθε δοκίμιο είχε διαφορετική επιφάνεια κάλυψης, διαφορετικό αριθμό φύλλων και προσανατολισμού, καθώς και ο βαθμός επεξεργασίας της επιφάνειας για την εφαρμογή των φύλλων του CFRP μεταβαλλόταν ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο προετοιμασίας.



Σχήμα 7: Πειραματική διάταξη, το FRP τοποθετείται στις συνδέσεις [13]

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν

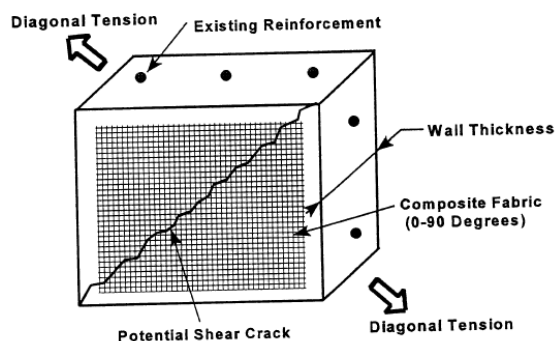
- η ικανοποιητική αποκατάσταση της διατμητικής αντοχής της σύνδεσης
- η εξαιρετική σημασία του σχεδιασμού του υλικού ενίσχυσης, δηλαδή αριθμός και προσανατολισμός φύλλων, επιφάνεια εφαρμογής
- η ανάγκη επαρκούς προετοιμασίας της επιφάνειας εφαρμογής των φύλλων: ενδείκνυται η χρήση υδροβολής η οποία έδωσε τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα σε αντίθεση με τη χρήση ειδικού μηχανισμού “βουρτσίσματος” της επιφάνειας, στην περίπτωση αυτή η αστοχία επήλθε από τη ρήξη της σύνδεσης πολυμερούς-σκυροδέματος.
- ο προσανατολισμός των ινών ενδείκνυται να είναι ορθογωνικός διότι στον

προσανατολισμό τύπου πεταλούδας παρατηρήθηκε μεγάλη συγκέντρωση τάσεων [13]

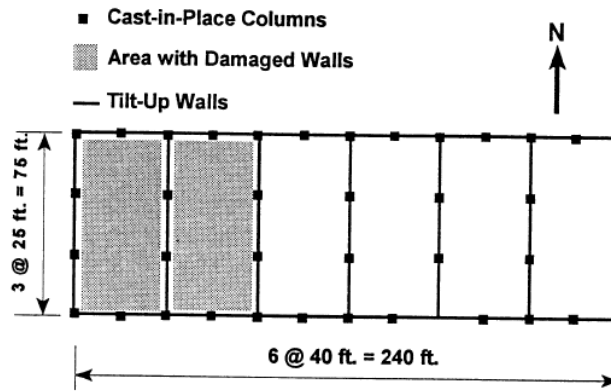
6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ TILT-UP ΚΤΙΡΙΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε τα κτίρια τύπου Tilt-Up είναι ευάλωτα σε σεισμό και δεν ανήκουν στην κατηγορία των προκατασκευασμένων, ωστόσο επειδή χρησιμοποιούνται αρκετά σε βιομηχανικούς χώρους αλλά και επειδή προβλήματα από σεισμό αντιμετωπίστηκαν με εφαρμογή FRP κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση των συμπερασμάτων της επισκευής [2] [10].

Η εφαρμογή έγινε σε ένα κτίριο στη νότια Καλιφόρνια που είχε υποστεί σοβαρές βλάβες από το σεισμό το 1994. Όπως φαίνεται στο σχήμα (10) τα τοιχώματα που χρειάζονταν επισκευή ήταν συγκεντρωμένα στη δυτική πλευρά του κτιρίου. Τα προκατασκευασμένα πάνελ τοιχωμάτων παρουσίασαν ρωγμές στην οριζόντια διεύθυνση διότι ο οπλισμός στην εγκάρσια διεύθυνση ήταν πολύ φτωχός. Συνεπάγεται, λοιπόν, ότι η ενίσχυση έγινε με την εφαρμογή φύλλων FRP στην εγκάρσια διεύθυνση σε κάθε πάνελ. [10]



Σχήμα 8: Μηχανισμός ενίσχυσης του τοίχου σε διάτμηση [10]



Σχήμα 9: Περιοχή του κτιρίου στην οποία τα τοιχώματα υπέστησαν σοβαρές βλάβες [10]

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επισκευή αυτή αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα έργα, σε επιφάνεια εφαρμογής (m²), ενίσχυσης με FRP.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή ινοπλισμένων πολυμερών στα προηγούμενα παραδείγματα-περιπτώσεις μας δίνει παρόμοια και αλληλοσυμπληρούμενα συμπεράσματα, απαιτήσεις, σημεία προσοχής.

Πιο συγκεκριμένα η χρήση του FRP κρίνεται πλέον ικανή να επισκευάσει και να ενισχύσει προκατασκευασμένα μέλη και συνδέσεις σε περιοχές με υψηλό δείκτη σεισμικότητας ώστε να προστεθεί στο δομικό στοιχείο παραμορφωσιμότητα και αντοχή σε διάτμηση.

Στην περίπτωση των τοιχωμάτων η οριζόντια διάσταση των φύλλων, είτε στη συνδεση είτε στην επιφάνεια, είναι εξαιρετικά σημαντική ώστε να επιτραπεί η πλήρης ανάπτυξη της αντοχής των ινών. Επίσης η εφαρμογή των φύλλων έγινε στη μία πλευρά μόνο των μελών συμπεραίνοντας ότι για επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει και στις δύο πλευρές ταυτόχρονα.

Παρατηρήθηκε ότι η χρήση αγκυρωμένων μπουλονιών βελτιστοποιεί την μέθοδο αυτή, επιτρέποντας την αστοχία των προκατασκευασμένων στοιχείων και όχι του πολυμερούς λόγω αποκόλλησης των φύλλων του.

Η εφαρμογή FRP υπερτερεί σε πολλές περιπτώσεις για την ενίσχυση στοιχείων σε κάμψη και διάτμηση λόγω του συνεχώς μειούμενου κόστους των υλικών τα τελευταία χρόνια, αλλά και των πλεονεκτημάτων της σε σχέση με άλλες μεθόδους. Στις προαναφερθείσες πειραματικές διαδικασίες έγινε σύγκριση με τις μεθόδους ενίσχυσης και επισκευής με μεταλλικά ελάσματα (πείραμα ενότητας 5 και 6) και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (πείραμα ενότητας).

- Τα μεταλλικά ελάσματα παρατηρήθηκε ότι είναι μη λειτουργική και αντικοινωνική λύση για εφαρμογή σε μεγάλες επιφάνειες, η απόδοσή τους στα συγκεκριμένα πειράματα κρίθηκε μη ικανοποιητική και επίσης είναι ευάλωτα σε διάβρωση η οποία επηρεάζει το δεσμό μεταξύ ριτίνης και σκυροδέματος [9] [10].
- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα προσδίδει μεγάλο βάρος και δυσκαμψία στην κατασκευή σε αντίθεση με το FRP και κρίθηκε ως μη ικανοποιητική λύση [10].

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την προετοιμασία της επιφάνειας εφαρμογής του FRP με επίτευξη καλύτερης αντοχής στη σύνδεση μεταξύ υλικού και σκυροδέματος με υδροβολή, ενώ μη ικανοποιητικό κρίθηκε το αποτέλεσμα από μηχανισμό “βουρτσίσματος” [13].

8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σ. Τσουκαντάς, Γ. Κρεμμύδα (2008), “Ο ελληνικός κανονισμός προκατασκευής και συγκρίσεις με τις διατάξεις του EC8, οι οποίες αναφέρονται στην προκατασκευή”, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1774
- [2] Μαρία Τσάτσου, “Συμπεριφορά σε σεισμό προκατασκευασμένων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα και τρόποι ενίσχυσης και επισκευής αυτών”, διπλωματική εργασία, Πάτρα
- [3] Robert E. Englekirk (2003), “Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings”, p.2
- [4] Σ. Τσουκαντάς (2003), “Σεισμικός Σχεδιασμός Προκατασκευασμένων Έργων”, Πρακτικά 14ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003
- [5] Mark Klyacho, Igor Mortchikchin, Igor Nuda, “Large reinforced concrete panel buildings (Series 122, 135 and 1-464c”, Word Housing Encyclopedia
- [6] Shamil Khakimov, Bakhtiar Nurtaev, “Precast reinforced concrete frame panel system of seria IIS-04”, Word Housing Encyclopedia
- [7] http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://www.bmtpc.org/compendium/flooring/text.h7.gif&imgrefurl=http://www.bmtpc.org/compendium/flooring/text.htm&usg=__UHqDP5mKYJU

UEDpQ60st2mfOROM=&h=880&w=662&sz=171&hl=el&start=32&zoom=1&tbnid=JwZS43BEsDC0kM:&tbnh=126&tbnw=95&prev=/images%3Fq%3Dslab-column%26um%3D1%26hl%3Del%26sa%3DN%26biw%3D1004%26bih%3D581%26tbs%3Disch:10%2C722&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=485&vpy=227&dur=109&hovh=259&hovw=195&tx=113&ty=181&ei=0602TefYPNODhQeG97zdAg&oei=j602TbzAEJKq8AOhrrCsAw&esq=12&page=3&ndsp=15&ved=1t:429,r:2,s:32&biw=1004&bih=581

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Tilt_up

[9] P.C. Huang, J. J. Myers, A. Nanni, “Dapped-End strengthening of precast prestressed concrete Double Tee beams with FRP composites”, 15-18 Aug. 2000, pp. 545-552

[10] M. R. Ehsani, M. EERI, Hamid Saadatmanesh (1997), “Fiber Composites: An Economical Alternative for Retrofitting Earthquake-Damaged Precast-Concrete Walls”, @Earthquake Spectra, Vol 13, No 2, May 1997

[11] W. J. Gold, G. J. Iaszak, M. Mettemeyer, A. Nanni, M. D. Wuerthele (), “Strengthening Dapped Ends of Precast Double Tees with Externally Bonded FRP Reinforcement”, ASCE Structures Congress 2000

[12] http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://www.highconcrete.com/products/Component_s/structural/images/DoubleTee1_pm.jpg&imgrefurl=http://www.highconcrete.com/products/Components/structural/CarbonCastTT.cfm&usg=__-I7V0losbrUDXPzDX5eQZaELQRg=&h=351&w=274&sz=15&hl=el&start=27&zoom=1&tbnid=5y5Bl6ddx37HmM:&tbnh=133&tbnw=104&ei=BMU2TfjOO8a38QP-gZmHDA&prev=/images%3Fq%3Ddouble%2Btee%26um%3D1%26hl%3Del%26sa%3DN%26biw%3D1004%26bih%3D581%26tbs%3Disch:1&um=1&itbs=1&iact=rc&dur=265&oei=_sQ2Tb37IYig8QP1ovGHDA&esq=3&page=3&ndsp=15&ved=1t:429,r:2,s:27&tx=60&ty=48

[12] http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://www.highconcrete.com/products/Component_s/structural/images/DoubleTee1_pm.jpg&imgrefurl=http://www.highconcrete.com/products/Components/structural/CarbonCastTT.cfm&usg=__-I7V0losbrUDXPzDX5eQZaELQRg=&h=351&w=274&sz=15&hl=el&start=27&zoom=1&tbnid=5y5Bl6ddx37HmM:&tbnh=133&tbnw=104&ei=BMU2TfjOO8a38QP-gZmHDA&prev=/images%3Fq%3Ddouble%2Btee%26um%3D1%26hl%3Del%26sa%3DN%26biw%3D1004%26bih%3D581%26tbs%3Disch:1&um=1&itbs=1&iact=rc&dur=265&oei=_sQ2Tb37IYig8QP1ovGHDA&esq=3&page=3&ndsp=15&ved=1t:429,r:2,s:27&tx=60&ty=48

[13] C. P. Pantelides, V. A. Volnyy, J. Gergely, L. D. Reaveley, “Seismic Retrofit of Precast Concrete Panel Connections with Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites”, PCI Journal, January-February 2003, Vol 48, no 1, pp. 92-104