

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μια παρουσίαση της συμπεριφοράς των εμφανιζόμενων τοιχοπληρώσεων σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Διερευνάται ο τρόπος λειτουργίας τους, η αλληλεπίδραση με τον υπόλοιπο φορέα, οι διάφοροι τρόποι αστοχίας τους καθώς και η συνολική συμπεριφορά της κατασκευής που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση. Επίσης παρουσιάζονται οι μέθοδοι προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων που υιοθετούνται και προτείνονται σε κανονισμούς, και τέλος παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι νέοι κανονισμοί συμπεριλαμβάνουν τις τοιχοπληρώσεις στο σχεδιασμό νέων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

ΓΕΝΙΚΑ

Οι τοιχοπληρωμένοι (χρήση άοπλης οπτοπλινθοδομής για τη μερική ή ολική κάλυψη των φατνωμάτων) φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, αποτελούν τον κοινότερο τύπο κτιριακού φορέα στην Ελλάδα και σε πολλές άλλες χώρες. Οι φορείς οπλισμένου σκυροδέματος σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται "γυμνοί", απουσία δηλαδή τοιχοπληρώσεων, και μετά την σκυροδέτηση χτίζονται οι τοιχοπληρώσεις σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις (πλήρης κάλυψη φατνώματος ή μερική, με ανοίγματα). Έτσι στην πράξη και τις περισσότερες περιπτώσεις οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται ως μη φέροντα στοιχεία και απουσιάζουν από το μοντέλο και τους υπολογισμούς στο σχεδιασμό των νέων κατασκευών (λαμβάνονται υπόψη μόνο ως κατακόρυφα φορτία). Αγνοείται δηλαδή η αλληλεπίδρασή τους με τον περιβάλλοντα φορέα. Παρ'όλα αυτά, η αντοχή τους δεν είναι αμελητέα, και είναι σίγουρο πως οι τοιχοπληρώσεις ενεργοποιούνται και δουλεύουν με τον υπόλοιπο φορέα, όταν αυτός υποβάλλεται σε πλευρικές, σεισμικές κατα κύριο λόγο φορτίσεις. Αγνοώντας έτσι την παρουσία τους, συχνά κατά το σεισμό αναπτύσσονται τάσεις στον υπόλοιπο φορέα οπλισμένου σκυροδέματος, που απέχουν αρκετά από αυτές για τις οποίες αυτός σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε. Γενικά έχει διαπιστωθεί πως η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική συμπεριφορά ενός φορέα μπορεί, κατά περίπτωση, να είναι είτε ευμενής είτε δυσμενής, και αυτό καθορίζεται από διάφορους παράγοντες τους οποίους και θα αναπτύξουμε παρακάτω.

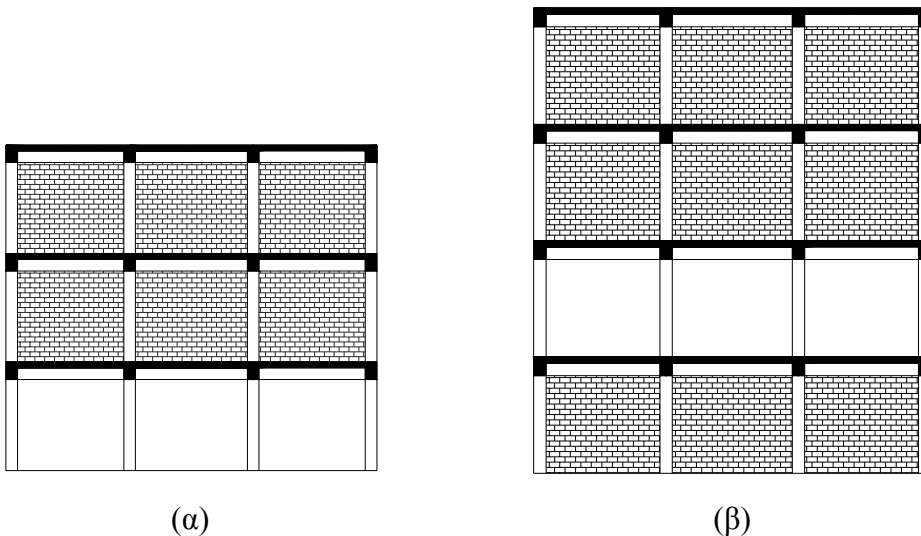
ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει το αν οι τοιχοπληρώσεις έχουν ευμενή ή δυσμενή επιρροή στη συμπεριφορά – απόκριση μιας κατασκευής, είναι η διάταξή τους σε κάτοψη, σε τομή, αλλά και μέσα στα φαντώματα οπλισμένου σκυροδέματος.

Τοιχοπληρώσεις οι οποίες κατανέμονται ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου του κτηρίου και χωρίς ασυνέχειες καθ' ύψος έχουν γενικά ευνοϊκό ρόλο σε σχέση με την αντίσταση του κτηρίου σε σεισμικά φορτία. Η θετική αυτή επιρροή είναι σημαντική κυρίως για πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος σχεδιασμένους με παλαιότερες αντιλήψεις, αφού αυξάνουν την αντοχή τους υπό οριζόντια φορτία. Εκτός από την αντοχή, αυξάνεται και η συνολική πλευρική δυσκαμψία αυτών των φορέων, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι μετακινήσεις λόγω σεισμού, άρα και οι ροπές και τέμνουσες δευτέρας τάξεως φαινόμενα (έντονα σε εύκαμπτες πλαισιακές κατασκευές) τα οποία προκαλούν την τελική κατάρρευση υπό σεισμικά φορτία.

Στην πραγματικότητα όμως ελάχιστοι είναι οι πλαισιακοί φορείς με γεωμετρία που να χαρακτηρίζεται από συμμετρίες και τοιχοπληρώσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες σε κάτοψη και τομή. Στις περισσότερες των περιπτώσεων τουλάχιστον η διάταξη των τοιχοπληρώσεων, αν όχι και η γεωμετρία του φορέα, για διάφορους λόγους (αρχιτεκτονικούς, γωνιακές οικοδομές κ.α) χαρακτηρίζεται από σημαντική ασυμμετρία και μη κανονικότητα. Τέτοια διάταξη τοιχοπληρώσεων συνήθως οδηγεί σε δυσμενή επιρροή στην απόκριση του φορέα κατά τη σεισμική διέγερση.

Δυσμενής Διάταξη των τοιχοπληρώσεων



(α)

(β)

Σχήμα 1 - Διάταξη τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος

Εξαιρετικά δυσμενής διάταξη είναι εκείνη κατά την οποία οι τοιχοπληρώσεις είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες καθ' ύψος όπως στην περίπτωση του σχήματος (1). Τέτοια διάταξη (σχήμα 1(α) πιλοτή, σχήμα 1(β) ενδιάμεσος μη τοιχοπληρωμένος όροφος) οδηγεί σε πολλές περιπτώσεις στην ανάπτυξη μηχανισμού μαλακού ορόφου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης σε έναν όροφο συνεισφέρει σημαντικά στη διατμητική αντοχή του ορόφου, εμποδίζει την ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων του περιβάλλοντος πλαισίου με αποτέλεσμα όλες οι παραμορφώσεις που αναπτύσσει η κατασκευή από το σεισμό να συγκεντρώνονται στον μη τοιχοπληρωμένο όροφο. Ουσιαστικά έχουμε δημιουργία μηχανισμού με πλαστικές αρθρώσεις στην κορυφή και τη βάση των υποστλωμάτων του γυμνού ορόφου και συγκέντρωση εκεί όλων των μετακινήσεων της κατασκευής με επακόλουθο την ανάπτυξη φαινομένων δευτέρας τάξεως που οδηγούν σε μερική ή ολική κατάρρευση (Φωτογραφία 1 (α), 1(β), [5]).



(α)

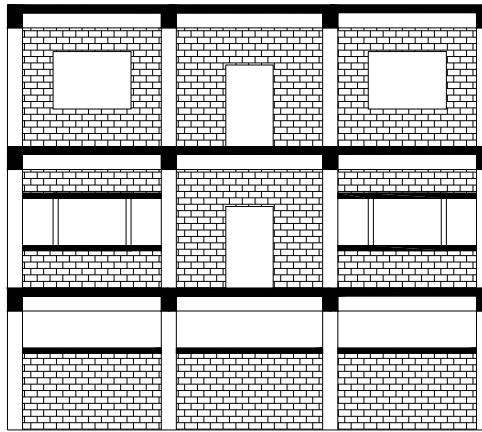


(β)

Φωτογραφία 1 - (α) Olive View Hospital, σεισμός San Fernando, Καλιφόρνια 1971

(β) Διώροφη κατοικία με πιλοτή, σεισμός Αγίου 1995

Μια επίσης δυσμενής διάταξη των τοιχοπληρώσεων ακόμη και αν αυτές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περίμετρο της κατασκευής, δημιουργείται όταν οι τοιχοπληρώσεις διακόπτονται καθ' ύψος π.χ στη στάθμη της ποδιάς παραθύρων σε όλο το μήκος του φανώματος ή σε ψηλότερη στάθμη (για λόγους φωτισμού) που συναντάται σε πολλές περιπτώσεις σχολείων (Σχήμα 2).



Σχήμα 2 - Διακοπή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος ενός φατώματος

Αποτέλεσμα της διακοπής των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος μέσα σε ένα φάτνωμα είναι η δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων (τμήμα του υποστυλώματος που δεν έρχεται σε επαφή με τον τοίχο, σχήμα 2 φεγγίτης). Τα κοντά υποστυλώματα είναι στοιχεία μικρής λυγηρότητας που κατά τη σεισμική διέγερση της κατασκευής και ειδικά όταν αυτά είναι στον κατώτατο όροφο όπου αναπτύσσεται η μέγιστη σεισμική τέμνουσα, αστοχούν διατμητικά, αναπτύσσοντας διαγώνιες ρωγμές (Φωτογραφία 2,[5]).



Φωτογραφία 2 - Αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων, σεισμός Αθήνας 1999

Όταν οι τοιχοπληρώσεις είναι αρκετά δύσκαμπτες, με υψηλή αντοχή και περιβάλλονται από σχετικά αδύνατα πλαίσια, τότε μπορούν να προκαλέσουν τοπικές αστοχίες στα γειτονικά στοιχεία. Η διαγώνια δύναμη που εισάγει ο τοίχος στο πλαίσιο μπορεί να προκαλέσει διατμητική αστοχία του υποστύλωματος η οποία συνεχίζεται και στον υπερκείμενο κόμβο. Επίσης ένα υποστύλωμα μπορεί να είναι αρκετά ασθενέστερο από την τοιχοπλήρωση, ώστε η ρηγμάτωση που αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση να το διαπερνάει με αρκετή ευκολία. (φωτογραφία 3,[5]).



Φωτογραφία 3 - Αστοχία υποστυλωμάτων λόγω ισχυρών τοιχοπληρώσεων

Ασύμμετρη διάταξη των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη

Όταν η κατανομή των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη είναι έντονα ανομοιόμορφη δημιουργούνται ασυμμετρίες που οδηγούν σε εκκεντρότητα μεταξύ του κέντρου μάζας και του ενεργού κέντρου δυσκαμψίας με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στρέψη περί τον κατακόρυφο άξονα της κατασκευής, όταν αυτή υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση. Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφική αναφορά [5], επειδή οι τοιχοπληρώσεις συμβάλλουν στη συνολική αντοχή και δυσκαμψία και στις δυο οριζόντιες διευθύνσεις, η ένταση και οι σεισμικές μετακινήσεις και παραμορφώσεις στο τμήμα της κάτοψης με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις δεν ξεπερνούν αυτές που θα αναπτύσσονταν στο γυμνό δομικό σύστημα από την ίδια σεισμική δράση. Το πρόβλημα είναι αρκετά σημαντικό σε κτίρια με έντονη εκκεντρότητα (λόγω των τοιχοπληρώσεων) σε κάτοψη (γωνιακές οικοδομές).

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

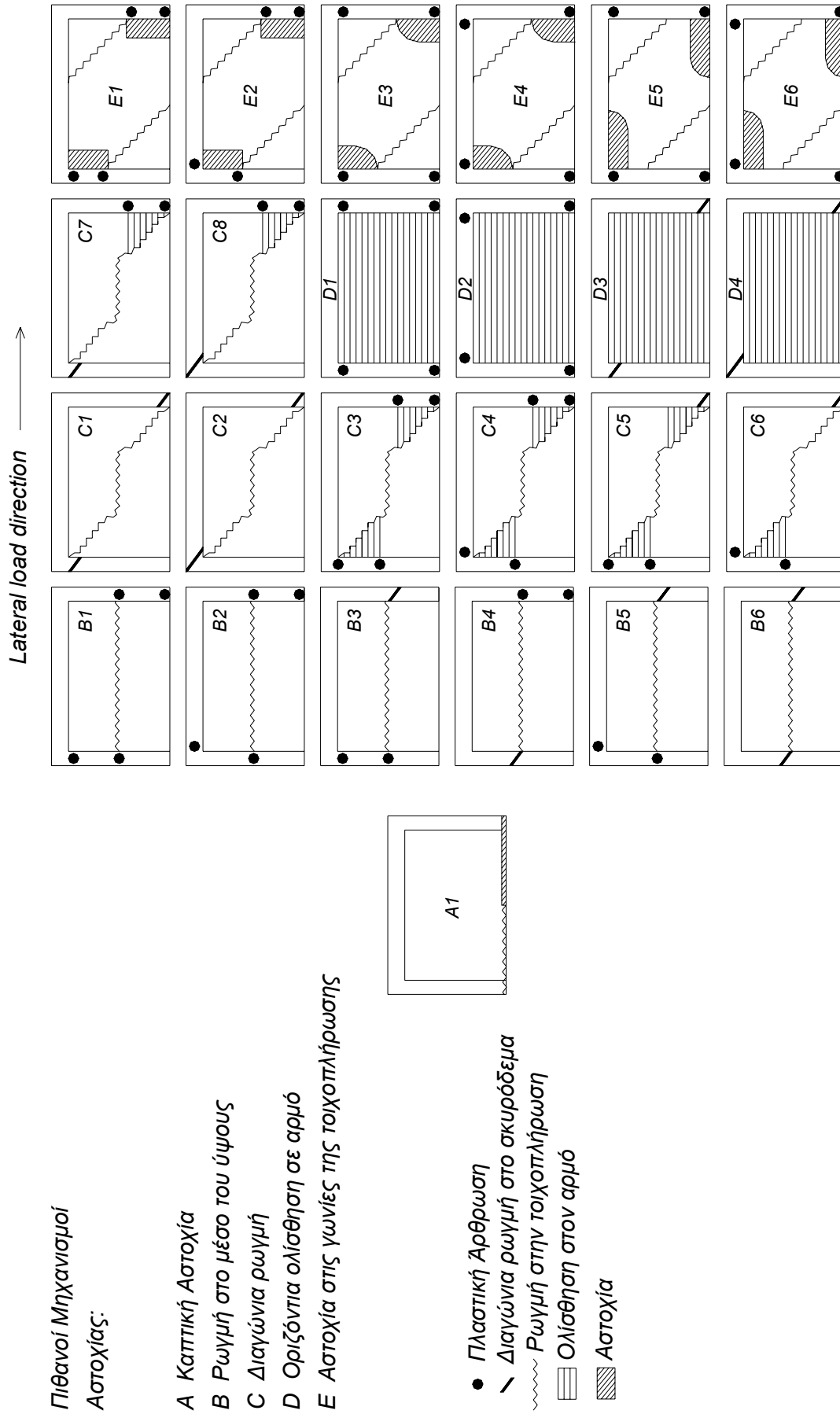
Όπως αναφέρεται στην εργασία των (Mehrabi 2002) η συμπεριφορά τοιχοπληρωμένων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος αλλά και μεταλλικών τοιχοπληρωμένων πλαισίων υπό πλευρική φόρτιση μελετήθηκε από αρκετούς ερευνητές. Τέλη της δεκαετίας του 60' οι Fiorato et al. μελέτησαν τη συμπεριφορά μη πλάστιμων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος (πειράματα σε κλίμακα 1/8) τοιχοπληρωμένων με κοινό τούβλο, υπό μονοτονική αλλά και ανακυκλιζόμενη ένταση. Τα πειράματα αυτά συνεχίστηκαν από τους Klinger and Bertero, Bertero and Brokken, Zarnic and Tomazevic και Schmid. Παρόμοια πειράματα τοιχοπληρωμένων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος μελετήθηκαν αργότερα από τους Mehrabi et al και τους Angel et al .Οι τελευταίοι μελέτησαν τη συμπεριφορά τόσο για φορτία εντός, όσο και για φορτία εκτός επιπέδου της τοιχοπλήρωσης.

Όλες οι εργασίες των ερευνητών που αναφέρθηκαν παραπάνω, κατέδειξαν πως η συνολική συμπεριφορά ενός τοιχοπληρωμένου πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την αλληλεπίδραση της τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο. Στις περισσότερες περιπτώσεις η συνολική πλευρική αντίσταση δεν μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα των επιμέρους (άθροισμα αντίστασης πλαισίου και τοιχοπλήρωσης) , και αυτό γιατί ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα δυο αλληλεπιδρούν, μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά το μηχανισμό αντίστασης που αναπτύσσεται από το καθένα ξεχωριστά.

Για χαμηλά επίπεδα φόρτισης ένα τοιχοπληρωμένο πλαίσιο συμπεριφέρεται μονολιθικά σαν ένα σύνολο, όπου τοιχοπλήρωση και περιβάλλον πλαίσιο αντιστέκονται ταυτόχρονα. Όσο το φορτίο αυξάνεται η τοιχοπλήρωση αρχίζει να αποκολλάται από το πλαίσιο στις δύο απέναντι γωνίες και μηχανισμός θλιβόμενης διαγωνίου αναπτύσσεται ανάμεσα στις δυο γωνίες που βρίσκονται σε επαφή με το πλαίσιο (η εικόνα αυτή για την συμπεριφορά έχει διαπιστωθεί στις περισσότερες εργασίες που έχουν γίνει).

Ο μηχανισμός θλιβόμενης διαγωνίου που αναφέρθηκε παραπάνω είναι πολύ συνηθισμένος αλλά δεν είναι ο μοναδικός. Ο κύριος μηχανισμός αντίστασης εξαρτάται από πολλές παραμέτρους με σημαντικότερη τη σχετική δυσκαμψία και αντοχή περιβάλλοντος πλαισίου και τοιχοπλήρωσης.

Στη συνέχεια (Σχήμα 3, Mehrabi 2002) παρουσιάζονται οι κυριότεροι μηχανισμοί αστοχίας που έχουν διαπιστωθεί στις διάφορες ερευνητικές εργασίες (πειράματα).



Σχήμα 3 - Μηχανισμοί Αστοχίας Τοιχοπληρωμένων Πλαισίων

Ο μηχανισμός αστοχίας **(A)** είναι ένας καθαρά καμπτικός τρόπος αστοχίας στη βάση πλαισίου τοιχοπλήρωσης, όπου αναπτύσσεται εφελκυσμός στο ένα και θλίψη στο άλλο άκρο. Τέτοιος μηχανισμός εμφανίζεται σπάνια και αναπτύσσεται σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης όπου δεν υφίσταται διαχωρισμός πλαισίου τοιχοπλήρωσης. Παρουσιάζεται κυρίως σε πλαίσια μεγάλου ύψους (λυγηρά πλαίσια) με χαμηλό ποσοστό διαμήκους οπλισμού στα υποστυλώματα. Το χαμηλό αυτό ποσοστό οδηγεί στην πρόωρη διαρροή του διαμήκους οπλισμού των υποστυλωμάτων που βρίσκονται στην πλευρά της φόρτισης. Τονίζεται πάντως ότι, στις περισσότερες των περιπτώσεων και για συνήθη επίπεδα φόρτισης, υφίσταται αποκόλληση της τοιχοπλήρωσης από το πλαίσιο.

Ο δεύτερος μηχανισμός **(B)** αστοχίας χαρακτηρίζεται από μια οριζόντια ρωγή στην τοιχοπλήρωση η οποία συνήθως εμφανίζεται στη θέση του αρμού. Ο μηχανισμός αυτός οδηγεί στην εμφάνιση κοντών υποστυλωμάτων. Πλαστικές αρθρώσεις δημιουργούνται στα υποστυλώματα, ενώ είναι συνηθισμένη η περίπτωση κατά την οποία τα υποστυλώματα αστοχούν διατμητικά αναπτύσσοντας διαγώνιες ρωγμές.

Στον τρίτο μηχανισμό **(C)** αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση μια διαγώνια ρωγή η οποία ξεκινάει από τη γωνία που ασκείται το φορτίο, καταλήγει στην απέναντι γωνία, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να συνοδεύεται και από ολίσθηση σε ενδιάμεσο αρμό. Στην περίπτωση αυτή η τοιχοπλήρωση λειτουργεί σαν θλιβόμενη διαγώνιος η οποία συνήθως οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία των γωνιών του τοίχου και ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων ή διατμητικών ρωγμών (διατμητικές αστοχίες) στα μέλη οπλισμένου σκυροδέματος.

Ο μηχανισμός **(D)** είναι η περίπτωση κατά την οποία αναπτύσσονται ρωγμές οριζόντιες στους περισσότερους, αν όχι σε όλους, τους αρμούς της τοιχοπλήρωσης. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που το κονίαμα που έχει χρησιμοποιηθεί έχει πάρα πολύ μικρή διατμητική αντοχή. Με την προϋπόθεση ότι τα υποστυλώματα δεν θα αστοχήσουν διατμητικά, ο μηχανισμός αυτός μπορεί να οδηγήσει σε μια πλάστιμη συμπεριφορά του πλαισίου συνολικά, με υψηλά ποσοστά απόσβεσης σε δυναμική απόκριση.

Ο πέμπτος μηχανισμός **(E)** αστοχίας αποτελεί και αυτός περίπτωση θλιβομένης διαγώνιου όπου όμως αναπτύσσονται δύο παράλληλες διαγώνιες ρωγμές στον τοίχο. Συχνά ο μηχανισμός αυτός συνοδεύεται από αστοχία του στις γωνίες (άκρα της θλιβόμενης διαγώνιου) ενώ έχουν παρατηρηθεί και περιπτώσεις όπου υπήρξαν ταυτόχρονα αστοχίες στο κέντρο του φαντώματος.

Εργασίες των Merhabi et al έχουν δείξει ότι σχετικά αδύναμες τοιχοπληρώσεις μπορούν να ενισχύσουν την αντοχή και τη δυσκαμψία σε μη πλάστιμα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος οδηγώντας σε μια ικανοποιητική συνολική απόκριση κατά το σεισμό.

Συμπερασματικά, ο μηχανισμός αντίστασης σε πλευρικά φορτία και ο μηχανισμός αστοχίας εξαρτάται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά και τις σχετικές δυσκαμψίες πλαισίων, τοιχοπληρώσεων. Είναι επίσης προφανές ότι η αντοχή του κονιάματος που χρησιμοποιείται παίζει σημαντικό ρόλο, ενώ μια σχετικά ασθενής τοιχοπλήρωση μειώνει τις πιθανότητες αστοχίας των φερόντων στοιχείων Ο.Σ που την περιβάλλουν.

Φόρτιση εκτός επιπέδου

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές εργασίες για τη μελέτη των τοιχοπληρώσεων σε φόρτιση εκτός επιπέδου. Όλες οι εργασίες έδειξαν ότι τοιχοπληρώσεις που είναι σε αρκετά καλή επαφή με το περιβάλλον πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος μπορούν να αναπτύξουν σημαντική αντίσταση εκτός επιπέδου, μέσω μηχανισμού τόξου. Η αντίσταση αυτή εξαρτάται άμεσα από το λόγο ύψους προς πάχος τοιχοπλήρωσης (λυγηρότητα τοιχοπλήρωσης, slenderness). Τοιχοπληρώσεις με μικρό λόγο ύψους προς πάχος αναπτύσσουν σημαντική αντίσταση και ο κίνδυνος της αστοχίας τους εκτός επιπέδου είναι μικρός.

ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (ΚΑΝΕΠΕ)

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, η συνεισφορά (θετική ή αρνητική) των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση των κατασκευών είναι αδιαμφισβήτητη. Αν και κάποιος θα μπορούσε να προτείνει την τοποθέτηση τοιχωμάτων (μόρφωση φέροντος οργανισμού μεικτού συστήματος, πλαίσια με τοιχώματα) που ουσιαστικά απαλλάσσουν, το πρόβλημα της συνεισφοράς των τοιχοπληρώσεων στην ανάλυση των κατασκευών παραμένει σημαντικό και ιδίως όταν πρόκειται για υφιστάμενες κατασκευές των οποίων η σεισμική ικανότητα πρέπει να εκτιμηθεί.

Για την πρακτική προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων, οι συνήθεις περιπτώσεις που προτείνονται και υιοθετούνται και από τον κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ) είναι δύο:

1. Προσομοίωση με τη χρήση θλιβομένης διαγωνίου
2. Προσομοίωση με χρήση διατμητικού φατνώματος

Κάτι που έχει προκύψει από τη χρήση των δυο αυτών μοντέλων και έχει πρακτική σημασία, είναι ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους δεν είναι ταυτόσημα. Ενώ και τα δυο μοντέλα δίνουν ίδια αποτελέσματα για τις οριζόντιες μετακινήσεις, διαφορές προκύπτουν στα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων. Οι διαφορές αυτές μειώνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου. Στη δοκιμή που έγινε σε μερικώς τοιχοπληρωμένο κτίριο (Fardis et al,[4]) οι αξονικές επιμηκύνσεις που μετρήθηκαν δεν διέφεραν σημαντικά από τις αντίστοιχες που μετρήθηκαν στο γυμνό φορέα. Επομένως δεν φαίνεται να υπήρξε σημαντική διαφοροποίηση στα αξονικά φορτία λόγω της ύπαρξης των τοιχοπληρώσεων.

Μέθοδος της θλιβόμενης διαγωνίου

Στην περίπτωση αυτή η τοιχοπλήρωση εξιδανικεύεται με ένα γραμμικό στοιχείο που δουλεύει μόνο σε θλίψη. Το πάχος του στοιχείου εξαρτάται από το πάχος της τοιχοπλήρωσης ενώ το πλάτος του εξαρτάται από το μήκος επαφής της τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο. Όσο αυξάνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις τόσο προχωράνε οι βλάβες στις τοιχοπληρώσεις και μειώνεται το πλάτος επαφής.

Ο κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ) προτείνει τιμές για το πλάτος της θλιβόμενης διαγωνίου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση, ανάλογα με τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας:

“Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά το σεισμό” $w = 0.2L$

“Άμεση χρήση μετά το σεισμό” $w = 0.15L$

“Προστασία ζωής” $w = 0.1L$

ενώ στην τελευταία στάθμη επιτελεστικότητας “Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης” όπου οι βλάβες στο φέροντα οργανισμό είναι πολύ προχωρημένες, οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται πλήρως αποδιοργανωμένες και δεν λαμβάνονται υπόψη $w = 0$.

Στην περίπτωση που οι τοιχοπληρώσεις διαθέτουν ανοίγματα ελέγχεται το κατά πόσον η διάταξη των ανοιγμάτων επιτρέπει τη διαμόρφωση λοξών θλιβομένων διαγωνίων και η προσομοίωση προσαρμόζεται κατάλληλα. Εναλλακτικά και ελλείψει λεπτομερέστερης διερευνήσεως προτείνεται: όταν υπάρχουν ανοίγματα κοντά στα άκρα του φαντώματος η τοιχοπλήρωση αμελείται., όταν υπάρχει άνοιγμα του οποίου οι διαστάσεις είναι μικρότερες από το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος και είναι τοποθετημένο κοντά στο κέντρο, η επιρροή του στα χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης μπορεί να αμελείται. Όταν το άνοιγμα αυτό έχει διαστάσεις >50% του φαντώματος, αγνοείται ολόκληρη η τοιχοπλήρωση. Για διαστάσεις ανοίγματος μεταξύ του 20% και του 50% μπορεί να γίνει γραμμική

παρεμβολή για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του φατνώματος ή χρήση δυο λοξών θλιβομένων διαγωνίων ανά φάτνωμα. Οι θλιπτήρες αυτοί θα ξεκινούν από τα άκρα της θλιβομένης διαγωνίου και θα καταλήγουν στο μέσον της υποκείμενης και της υπερκείμενης δοκού αντιστοίχως. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των θλιπτήρων στην έναντι τέμνουσας ασφάλεια των δοκών.

Ανάλυση με τη χρήση διατμητικού φατνώματος

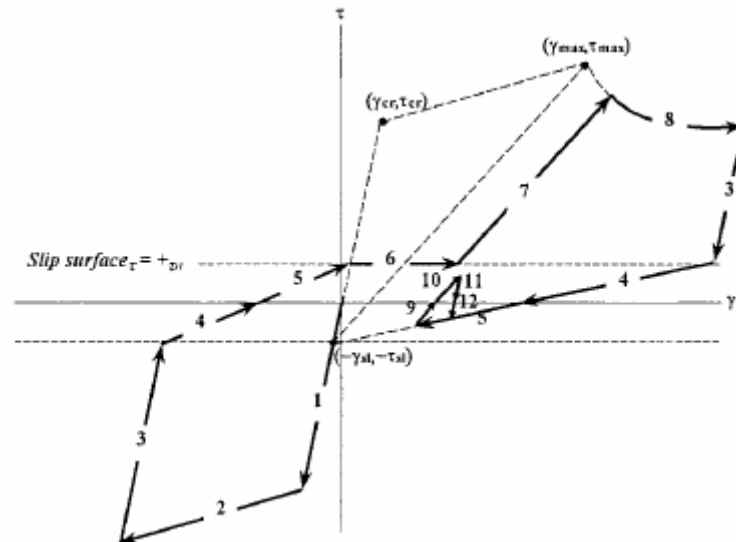
Στην περίπτωση που η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση διατμητικού φατνώματος, η αντιστοίχιση δυστένειας (EA) – δυστμησίας (GA) θλιβόμενης διαγωνίου - διατμητικού φατνώματος δίδεται από την σχέση: $E_s A_s = \frac{G_w A_w}{\cos^2 \alpha \sin \alpha}$ όπου α η γωνία της θλιβομένης διαγωνίου.

Σύμφωνα με τον κανονισμό επεμβάσεων, όταν γίνεται συνεκτίμηση των τοιχοποιιών πλήρωσης, πρέπει να γίνονται δυο αναλύσεις ώστε να γίνεται συνεκτίμηση τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών συνεπειών των τοιχοπληρώσεων:

- Η μία ανάλυση γίνεται θεωρώντας για τα στοιχεία τοιχοπλήρωσης τη δυστένεια ή δυστμησία που αντιστοιχεί στο σημείο του διαγράμματος δύναμης – μετακίνησης της τοιχοπλήρωσης που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή της.
- Η δεύτερη ανάλυση γίνεται θεωρώντας δυστένεια ή δυστμησία που αντιστοιχεί σε σχετικό βέλος ορόφου συμβατό με τις μετακινήσεις του φορέα. Διαδικασία η οποία απαιτεί επαναλήψεις – διαδοχικές προσεγγίσεις. Απλοποιητικά μπορεί να λαμβάνεται δυστμησία που αντιστοιχεί σε γωνιακή παραμόρφωση 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από την $\gamma(\tau_{\max})$.

Προκειμένου για δυναμική ανάλυση (ελαστική ή ανελαστική) με συνεκτίμηση των τοιχοπληρώσεων, πρέπει να χρησιμοποιείται μοντέλο που να ενσωματώνει κατάλληλα τον καταστατικό νόμο συμπεριφοράς της τοιχοπλήρωσης υπό ανακυκλιζόμενη ένταση. Ένα μοντέλο για τέτοιες αναλύσεις έχει αναπτυχθεί (Dymiotis et al 2001,[3]) αλλά περιορίζεται για δυναμικές αναλύσεις σε επίπεδους φορείς (Drain-2D/90). Ο καταστατικός νόμος παρουσιάζεται παρακάτω στο Σχήμα 4. Παρόμοιο μοντέλο έχει αναπτυχθεί και από τους (Fardis and Panagiotakos 1997,[7]). Και τα δυο αυτά μοντέλα αναφέρονται σε τοιχοπληρώσεις από οπτοπλινθοδομή που περιβάλλονται από πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος. Γενικά τονίζεται ότι οι δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις των κατασκευών στο χώρο με συνεκτίμηση και των τοιχοπληρώσεων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες και τα

αποτελέσματά τους πρέπει να ελέγχονται. Χρήση πολυπλοκότερων πεπερασμένων στοιχείων περιορίζει το μέγεθος της ανάλυσης και ξεφεύγει από τα όρια της καθημερινής πρακτικής.



Σχήμα 4 – Καταστατικός νόμος για τοιχοπληρώσεις από οπτοπλινθοδομή υπό ανακυκλιζόμενη ένταση (Karpos et al.1998,Dymiotis et al.2001,[7])

Ευρωκώδικας 8

Ο Ευρωκώδικας 8 για το σχεδιασμό νέων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος [6] περιλαμβάνει διατάξεις για τη συνεκτίμηση της αλληλεπίδρασης των τοιχοπληρώσεων με τους πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος.

Συγκεκριμένα αν σε κτίριο με πλαισιακό δομικό σύστημα οι τοιχοπληρώσεις προκαλούν έντονη εκκεντρότητα, ο κανονισμός απαιτεί για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (H) – και συνιστά για Μέση (M) ή Χαμηλή (L) – να συμπεριλαμβάνονται οι τοιχοπληρώσεις στο προσομοίωμα για την ανάλυση της κατασκευής στο χώρο.

Στο προσομοίωμα αυτό οι τοιχοπληρώσεις μπορούν να περιληφθούν ως θλιβόμενες διαγώνιοι των οποίων οι διαστάσεις θα λαμβάνονται κατάλληλα. Προτείνει επίσης ο κανονισμός να γίνεται επιλεκτική αφαίρεση των τοιχοπληρώσεων από ένα ποσοστό (π.χ. του 25%) των τοιχοπληρωμένων φανωμάτων, κυρίως από την πλευρά του κτιρίου με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις και να εξετάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών.

Αν η ανομοιομορφία της κατανομής των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη δεν είναι έντονη ο Ευρωκώδικας 8 δέχεται την υποκατάσταση της προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων στην

ανάλυση του δομήματος στο χώρο, με διπλασιασμό της τυχηματικής εκκεντρότητας (δηλαδή από 5% της κάθετης διάστασης του ορόφου σε κάτοψη, σε 10%).

Για τη δυσμενή επιρροή των τοιχοπληρώσεων λόγω ανομοιόμορφης κατανομής καθ' ύψος (δημιουργία μαλακού ορόφου, πιλοτή) ο ευρωκώδικας 8 αυξάνει τη σεισμική ένταση σχεδιασμού των στοιχείων των μη τοιχοπληρωμένων ορόφων ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα στη συνολική αντοχή του ορόφου από την παρουσία περισσότερων τοιχοπληρώσεων στον αμέσως επόμενο όροφο. Η αύξηση αυτή γίνεται με πολλαπλασιασμό των εντατικών μεγεθών (αξονικές δυνάμεις, τέμνουσες, ροπές) που προκύπτουν από την ανάλυση για το σεισμό σχεδιασμού επί έναν συντελεστή ο οποίος ισούται με μονάδα συν το λόγο του ελλείμματος συνολικής διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων του ορόφου ως προς τον ακριβώς από πάνω, δια τη τέμνουσα του ορόφου που προκύπτει από την ανάλυση.

Η προσαύξηση αυτή της έντασης σχεδιασμού χρειάζεται να γίνεται στα κατακόρυφα στοιχεία του λιγότερου τοιχοπληρωμένου ορόφου. Επιβάλλεται στα πλαίσιακά δομικά συστήματα πλαστιμότητας H ενώ καλό θα ήταν να εφαρμόζεται και για τα πλαστιμότητας M και L. Οι διατάξεις αυτές για την προσαύξηση της σεισμικής έντασης δεν ισχύουν όταν το κτίριο διαθέτει τοιχώματα δυσκαμψίας που αναλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% της σεισμικής τέμνουσας βάσης στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση.

Για εξαιρετικά δυσμενή περίπτωση της ύπαρξης κοντών υποστυλωμάτων και ειδικά στις περιπτώσεις όπου ο φορέας δεν διαθέτει τοιχώματα ο κανονισμός επιβάλλει μια σειρά υπολογιστικών και κατασκευαστικών μέτρων για την αποφυγή της διατμητικής τους αστοχίας. Συγκεκριμένα απαιτεί μέτρα όπως, υπολογισμό ικανοτικής τέμνουσας σχεδιασμού, ανάληψη της σεισμικής τέμνουσας με δισδιαγώνιο οπλισμό όταν το ύψος του κοντού υποστυλώματος είναι μικρότερο από $1.5h_c$ (h_c το πλάτος του υποστυλώματος στο επίπεδο του τοίχου) , τοποθέτηση του οπλισμού κρίσιμων περιοχών σε όλο το ύψος του υποστυλώματος. Επιβάλλει επίσης για τα υποστυλώματα ισογείου τοιχοπληρωμένου πλαισίου να θεωρούνται κρίσιμα σε όλο τους το ύψος ώστε να υπάρχει προστασία έναντι πρόωρης αστοχίας των τοιχοπληρώσεων του ισογείου και μετατροπής του ισογείου σε πιλοτή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσία των τοιχοπληρώσεων μέσα στα φατώματα πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος μεταβάλλει σημαντικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά των κατασκευών, άρα και την απόκρισή τους στα σεισμικά φορτία. Η εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων στο μοντέλο ανάλυσης της κατασκευής (κυρίως στις περιπτώσεις αποτίμησης υφισταμένων κτιρίων στα

οποία γίνεται έλεγχος της σεισμικής επάρκειας ή ανεπάρκειας), πρέπει να γίνεται με προσοχή και να πραγματοποιούνται εναλλακτικές αναλύσεις ώστε να γίνεται συνεκτίμηση όλων των πιθανών αποτελεσμάτων. Τα μέλη οπλισμένου σκυροδέματος πρέπει να είναι κατάλληλα διαστασιολογημένα ώστε να συμπεριφέρονται ικανοποιητικά σε οποιοδήποτε πιθανό τρόπο αστοχίας της τοιχοπλήρωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Στέφανος Η. Δρίτσος Αν.Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών "Ανασχεδιασμός Υφισταμένων Κατασκευών" Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος (2005)
2. P.Benson Shing, Armin B. Mehrabi "Behaviour and analysis of masonry-infilled frames" Prog. Struct. Engng Mater. 2002; 4:320–331
3. Christiana Dymiotis, Andreas J. Kappos, Marios K. Chryssanthopoulos "Seismic Reliability of masonry-infilled frames " *Journal of structural engineering, Vol.127, No. 3, March 2001*
4. M. N. Fardis, S. N. Bousias, G. Franchioni and T.B. Panagiotakos "Seismic response and design of RC structures with plan eccentric masonry infills" *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 28, 173-191 (1999)
5. Μιχαήλ Ν. Φαρδής "Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος " Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος (2005)
6. Eurocode 8 : Design of structures for earthquake resistance, Stage 64 CEN, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
7. Ανδρέας Ι. Κάππος "Ο ρόλος των τοιχοπληρώσεων: Μύθοι και πραγματικότητα" Άρθρο , Τεχνικές σελίδες , Περιοδικό Κτίριο, Τεύχος 166, Νοέμβριος 2004