

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

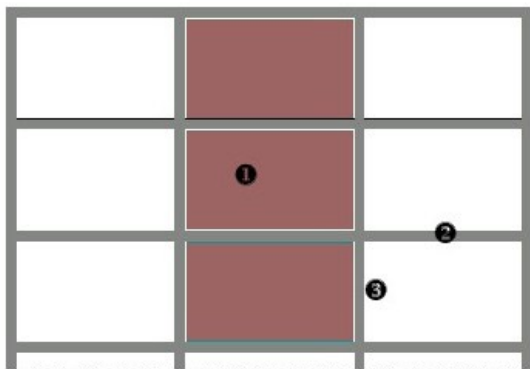
Άνθιμος Σ. Αναστασιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Τζανετής Ι. Βογιατζής, Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός
Α. Αναστασιάδης & Συνεργάτες- Ομάδα Μηχανικών

1. Εισαγωγή

Στην χώρα μας τα δομικά συστήματα μεταλλικών-σύμμικτων τοιχωμάτων τα έχουμε γνωρίσει, κυρίως, σε εφαρμογές ενισχύσεων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Ωστόσο, όταν αυτά εντάσσονται σε μεταλλικά πλαίσια δημιουργούν ένα νέο δομοστατικό μικτό σύστημα πλαίσιο-τοιχώμα (μεταλλικό ή σύμμικτο) κατ' αντιστοιχία με τα ομοειδή συστήματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, Σχ. 1. Ουσιαστικά, η εμφάνιση του μεταλλικού ή σύμμικτου τοιχείου εντός του μεταλλικού πλαισίου δημιουργεί ένα φέροντα οργανισμό ο οποίος συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο ανεξάρτητων συστημάτων και αλληλοαναιρεί τα μειονεκτήματα αυτών. Γενικά, η προσθήκη του τοιχώματος παρέχει υψηλή δυσκαμψία στο σύστημα μειώνοντας την μετακίνηση του φορέα, αυξημένη υπερστατικότητα, αντοχή και πλαστικότητα αναπτύσσοντας τις κατάλληλες συνθήκες για την αποφυγή μηχανισμού ορόφου (μαλακού ορόφου) ή συνολικής κατάρρευσης του φορέα. Τα μεταλλικά τοιχεία ως δομοστατικό σύστημα ικανοποιούν τις βασικές απαιτήσεις του αντισεισμικού σχεδιασμού εξασφαλίζοντας δυσκαμψία-αντοχή-πλαστικότητα, ενώ παράλληλα ανάλογα με την μόρφωση του συστήματος είναι δυνατό να επιτευχθεί αυξημένη ενεργειακή απόσβεση της εισαγόμενης ενέργειας (π.χ. χρήση χάλυβα χαμηλής διαρροής 80-230 MPa, σύστημα τοιχείου αποσβεστήρα⁽¹⁾).



Τυπικός φέρον οργανισμός με μεταλλικά τοιχώματα



- ❶ Τοίχωμα
- ❷ Δοκός
- ❸ Στύλος

Σχ. 1 Μικτό δομοστατικό σύστημα πλαίσιο-τοιχώμα

Σχηματική τομή

Η συμπεριφορά των εν λόγω συστημάτων, όπως αυτή έχει καταγραφεί σε κτίρια που βρίσκονται στην περιοχή του Kobe (υψηλό κτίριο 35 ορόφων, Ιαπωνία) και του Northridge (Sylmar Hospital, Καλιφόρνια, Η.Π.Α.) έχει αποδειχθεί, σε πραγματικές συνθήκες καταπόνησης, ότι είναι άριστη⁽¹⁾. Περαιτέρω αναλύσεις, έδειξαν ότι η συνεισφορά των τοιχωμάτων ήταν σημαντικότερη για την αποφυγή κατάρρευσης των κτιρίων εξασφαλίζοντας παράλληλα αυξημένη στάθμη επιτελεστικότητας σε ειδικά κτίρια όπως π.χ. νοσοκομεία.

Χαρακτηριστικό, της εξαιρετικής συμπεριφοράς, είναι το δείγμα που παρουσιάζεται στις φωτογραφίες 1α, 1β όπου κατά το σεισμό του Kobe (1995) το κτίριο με μεταλλικά τοιχεία δεν υπέστη βλάβες στον φέροντα οργανισμό ενώ το διπλανό από αυτό εμφάνισε μηχανισμό ορόφου σε ενδιάμεσο όροφο.

Την τελευταία εικοσιπενταετία σημαντικός αριθμός επιστημόνων, κυρίως από χώρες όπως ο Καναδάς, Ιαπωνία, Η.Π.Α. έχει ασχοληθεί με την καταγραφή της συμπεριφοράς, την ανάλυση και τον σχεδιασμό των μεταλλικών και σύμμικτων διατμητικών τοιχωμάτων^(1,2).

Σημαντική υστέρηση παρουσιάστηκε, αν και υπήρχαν τα κατάλληλα δεδομένα, στην παραγωγή κανονιστικού πλαισίου και προδιαγραφών σχεδιασμού. Πρωτοπόρος στην εισαγωγή κανονισμού για τον σχεδιασμό μεταλλικών τοιχείων εμφανίζεται ο Καναδάς (CAN/CSA-516.1-94, CCBFC 1995) και ακολουθούν οι Η.Π.Α. (ANSI/AISC 341-2005). Παραταύτα, είναι άλλωστε γνωστό ότι την τελευταία δεκαπενταετία στις Η.Π.Α. η εφαρμογή της έρευνας στην παραγωγή κανονισμών είναι άμεση, έτσι ο νέος κανονισμός AISC 2010 (ANSI/AISC 341-2010) θα ενσωματώνει όλες τις τελευταίες εξελίξεις στον σχεδιασμό των μεταλλικών διατμητικών τοιχωμάτων⁽³⁾. Στην Ευρώπη υπάρχει έλλειψη κανονιστικών προδιαγραφών όσο αφορά τον αντισεισμικό σχεδιασμό μεταλλικών και διατμη-

τικών τοιχωμάτων, ενώ παρουσιάζεται ένα ελάχιστο πλαίσιο σχεδιασμού για τα σύμμικτα μεταλλικά τοιχώματα (EC8-Μέρος 1-1:2004 Κεφ. 7. παρ.7.3.1, 7.11)⁽⁵⁾. Βέβαια, το “μελεπτικό και κατασκευαστικό δαιμόνιο”, παρά την έλλειψη κανονισμών, ήδη από το 1970 έχει εφαρμόσει τα μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα σε σημαντικό αριθμό κτιρίων σε Ιαπωνία και Η.Π.Α. προσομοιώνοντας τα τοιχώματα, για τις ανάγκες του σχεδιασμού, με την συμπεριφορά των υψίκορμων μεταλλικών δοκών. Ως βασικά πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων λύσεων μπορούν να αναφερθούν:

- Η μεγάλη υπερστατικότητα του συστήματος με την οποία αποφεύγονται τοπικές ή καθολικές καταρρεύσεις σε ισχυρούς σεισμούς.
- Υψηλή πλαστιμότητα με μεγάλη ικανότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας προστατεύοντας, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, τον πλαισιακό φορέα. Έτσι εξασφαλίζουν υψηλή αντισεισμική προστασία έναντι κατάρρευσης αλλά και σχετικά ελεγχόμενες βλάβες.
- Ταχύτητα στην κατασκευή. Ειδικά η χρήση προκατασκευής μειώνει σημαντικά τόσο το κόστος όσο και τον χρόνο ανέγερσης.
- Μετά από σεισμό τα πλάστιμα στοιχεία (τοιχώματα) εάν υποστούν βλάβες εύκολα επισκευάζονται ή ενισχύονται επί τόπου ή σε κάθε περίπτωση εύκολα αφαιρούνται και επανατοποθετούνται νέα τοιχώματα.
- Μειωμένες διαστάσεις θεμελίωσης συγκριτικά με αντίστοιχα μικτά φέροντα συστήματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης χρησιμοποιούνται σε περιοχές με ευαίσθητα εδάφη θεμελίωσης λόγω του μειωμένου “νεκρού φορτίου”.

Η έλλειψη γενικής πληροφόρησης, όπως αυτή καταγράφεται στην Ελληνική βιβλιογραφία αλλά και στα τελευταία Εθνικά συνέδρια μεταλλικών κατασκευών, καθώς επίσης και η ενασχόληση των συγγραφέων με το συγκεκριμένο θέμα, δημιούργησε την ανάγκη για την συγγραφή του άρθρου με κεντρικό στόχο την παρουσίαση του αντισεισμικού συστήματος μεταλλικών και σύμμικτων τοιχωμάτων εστιάζοντας κυρίως στην δομοστατική συμπεριφορά τους, την μόρφωση καθώς και τις γενικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, χωρίς να υπεισέρχεται σε κανονιστικές-υπολογιστικές διατάξεις.

2. Μεταλλικά Διατμητικά Τοιχώματα

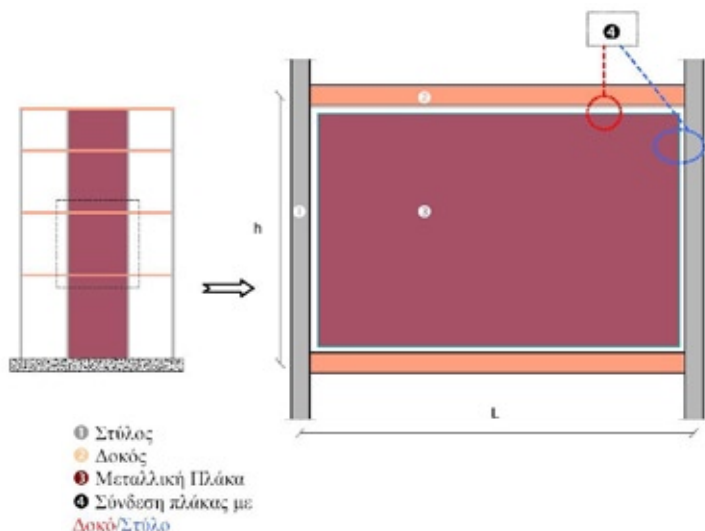
Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν τους φορείς μεταλλικών διατμητικών τοιχωμάτων (Steel Plate Shear Walls, SPSW) είναι οι στύλοι (Vertical boundary elements, columns) και οι δοκοί (Horizontal boundary elements, beams) που οριοθετούν το φάντωμα, η μεταλλική πλάκα (steel plate) που ορίζει το τοίχωμα και τέλος οι συνδέσεις της μεταλλικής πλάκας με τα στοιχεία (στύλος, δοκός) που την περιβάλλουν περιμετρικά Σχ. 2.



1α) Σεισμός Kobe-1995

1β) Μετά την σεισμική επέμβαση Kobe-1996

Φώτο. 1 Συμπεριφορά κτιρίων στο σεισμό του Kobe [1995, Ιαπωνία]⁽¹⁾



Σχ.2 Βασικά δομικά στοιχεία σύνθεσης συστήματος μεταλλικών διατμητικών τοιχωμάτων

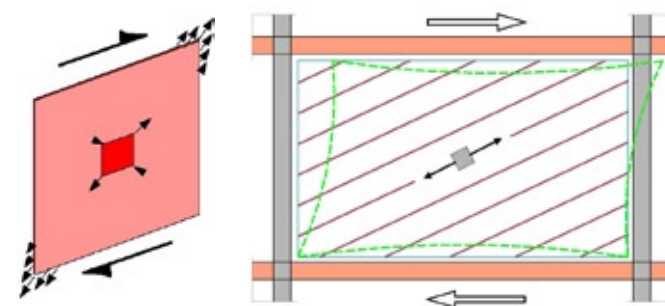
Η συμπεριφορά των μεταλλικών τοιχωμάτων εξαρτάται από την μόνωση του τοιχώματος, δεδομένου ότι η μεταλλική πλάκα έχει μικρό πάχος (5-25 mm) και ως εκ τούτου δεν διαθέτει θλιπτική αντοχή. Συνεπώς, η κατασκευαστική διαμόρφωση αποτελεί καθοριστική παράμετρο για την ανελαστική απόκριση του συστήματος. Βασικά στοιχεία επιρροής αποτελούν το άνοιγμα του φατνώματος, L , το ύψος του ορόφου, h , το πάχος του ελάσματος της πλάκας t_w , ($0.80 < L/h < 2.50$, $L/t_w = 300 \dots 800$), η σύνδεση τοιχείου με τα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία και τέλος η ποιότητα του χάλυβα (80-230MPa, χάλυβας χαμηλής διαρροής, ή κοινός χάλυβας 275-355MPa). Γενικά, τα μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα παραλαμβάνουν τις οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις με την βοήθεια ενός μηχανισμού δράσης εφελκυστικού πεδίου (tension field action) που αναπτύσσεται στον κορμό της μεταλλικής πλάκας (τοιχώματος) ενώ οι δυνάμεις ανατροπής παραλαμβάνονται από τους στύλους που περιβάλλουν το τοίχωμα, Σχ.3.

Διακρίνουμε δύο τύπους τοιχωμάτων:

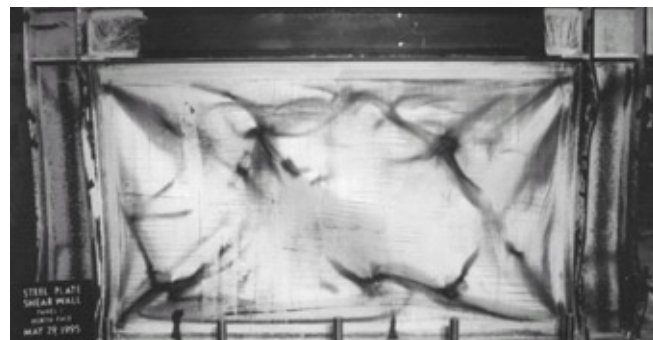
- Μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα χωρίς ενισχύσεις, Σχ. 4.
- Μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα με εγκάρσιες / διαμήκεις ενισχύσεις, Σχ. 5.

Στα μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα χωρίς ενισχύσεις, δεδομένης της αμελητέας θλιπτικής αντοχής σε λυγισμό του τοιχώματος, και ενώ σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης το τοίχωμα λυγίζει, παραλαμβάνουμε την τέμνουσα ορόφου εκμεταλλευόμενοι τον μηχανισμό δράσης εφελκυστικού πεδίου, Σχ. 3. Στην συγκεκριμένη κατασκευαστική διαμόρφωση τα περιμετρικά υποστύλωματα παραλαμβάνουν τις ροπές ανατροπής (προκύπτουν ισχυροί στύλοι) ενώ το τοίχωμα, μέσω διατμητικής ανελαστικής παραμόρφωσης, απορροφά την σεισμική ενέργεια. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, στα μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα με ενισχύσεις ο βασικός στόχος συμπεριφοράς εί-

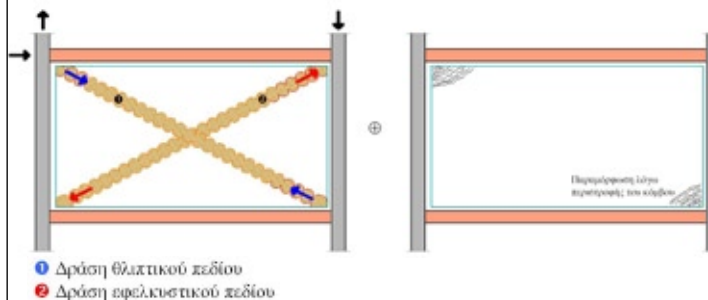
Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού δράσης εφελκυστικού πεδίου



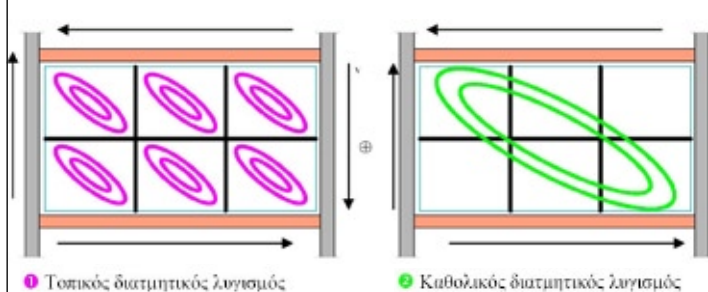
Μηχανισμός απορρόφησης ενέργειας μέσω διατμητικής παραμόρφωσης



Μηχανισμός τοιχωμάτων χωρίς ενισχύσεις



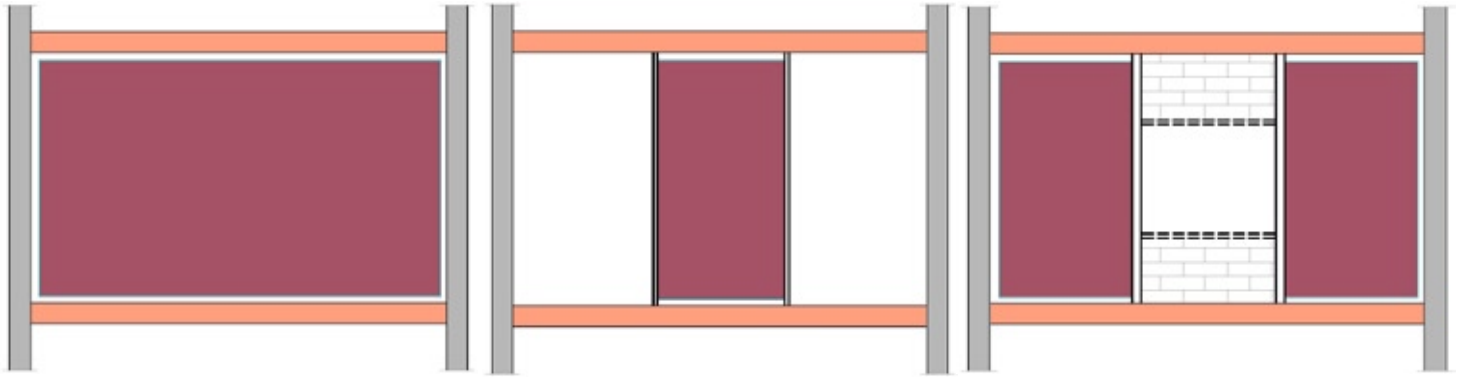
Μηχανισμός τοιχωμάτων με ενισχύσεις



Φωτογραφική απεικόνιση πειραματικής συμπεριφοράς μεταλλικών τοιχωμάτων



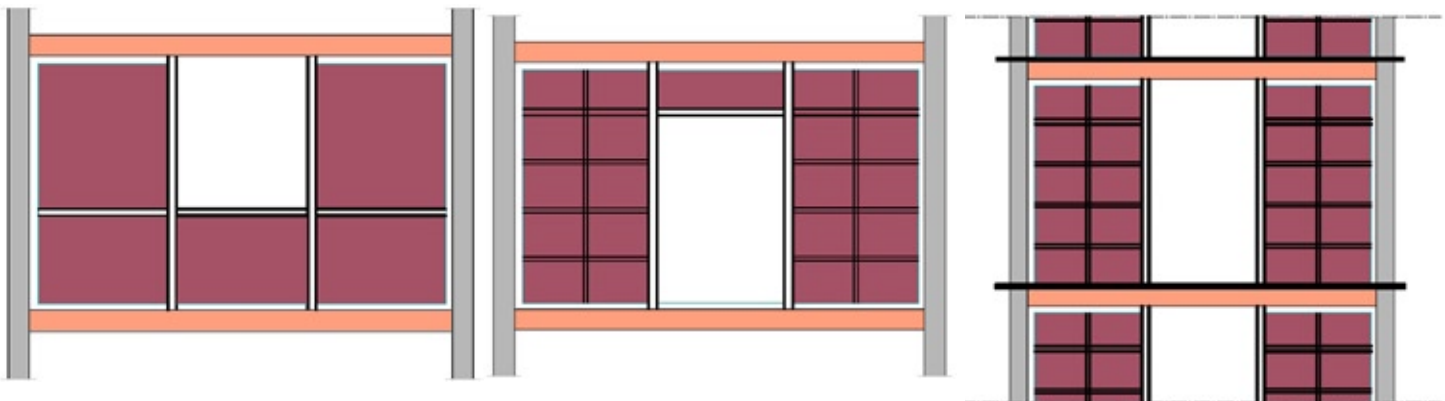
Σχ. 3 Ανελαστικός μηχανισμός απόκρισης μεταλλικών διατμητικών τοιχωμάτων



Τυπική κατασκευαστική διαμόρφωση τοιχωμάτων χωρίς εγκάρσιες ενισχύσεις

Νέες κατασκευαστικές διατάξεις. Τοίχωμα με οπές και με απόμιση

Σχ. 4 Μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα χωρίς ενισχύσεις



Τυπικές κατασκευαστικές διατάξεις

Σχ. 5 Μεταλλικά Διατμητικά τοιχώματα με ενισχύσεις



Courtesy of Nippon Steel



Courtesy of Takana

ναι η παρεμπόδιση του λυγισμού (με την χρήση ενισχύσεων) πριν από την εμφάνιση της διατμητικής διαρροής της μεταλλικής πλάκας, Σχ. 3. Ο ανελαστικός μηχανισμός περιλαμβάνει, η δυνατόν, πλήρη διαρροή της πλάκας και στην συνέχεια, με την αύξηση της εξωτερικής φόρτισης, λυγισμό της μεταλλικής πλάκας.

Συγκρίνοντας από οικονομικής άποψης τις δύο παραπάνω κατασκευαστικές λύσεις, η χρήση εγκάρσιων/ διατμητικών ενισχύσεων οδηγεί σε μικρότερο πάχος πλάκας τοιχώματος, ωστόσο το κόστος συγκολλήσεων των ελασμάτων είναι υπερβολικό αυξάνοντας υπέρμετρα το τελικό κόστος του φέροντος οργανισμού. Στο παρελθόν και κυρίως στην Ιαπωνία χρησιμοποιή-




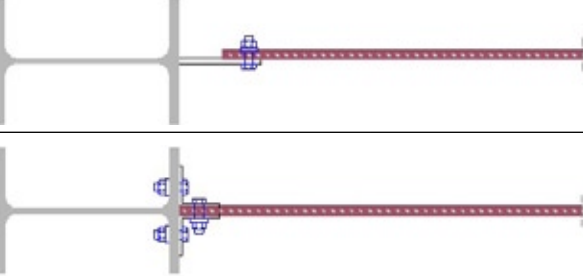
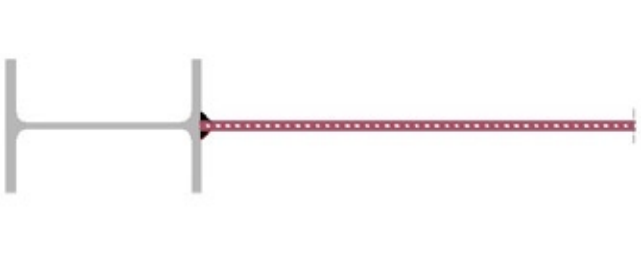
θηκαν ευρύτητα τα μεταλλικά τοιχεία με ενισχύσεις ενώ στον Καναδά⁽⁷⁾ και τις Η.Π.Α. αυτά χωρίς ενισχύσεις.

Η σύγχρονη τάση αναφέρεται στον σχεδιασμό μεταλλικών τοιχωμάτων χωρίς ενισχύσεις έτσι ώστε να επιτευχθούν οικονομικότερες κατασκευές μεγιστοποιώντας την εκμετάλλευση της ολκιμότητας του χάλυβα η οποία οδηγεί σε πλάστιμους μηχανισμούς συμπεριφοράς των μεταλλικών πλακών. Προς αυτή την κατεύθυνση, χρησιμοποιώντας την φιλοσοφία του ικανοτικού σχεδιασμού η μόρφωση των τοιχωμάτων πρέπει να βασίζεται στην εξασφάλιση ανάπτυξης πλάστιμων μηχανισμών (π.χ. λυγισμός πλάκας, διαρροή πλάκας κ.α.) πριν από την εμφάνιση ψαθυρών μηχανισμών (π.χ. θραύση πλάκας, σύνδεσης κ.α.). Περαιτέρω, η ανελαστική δράση πρέπει να ξεκινάει από τα δομικά στοιχεία τα οποία δεν φέρουν βαρυτικά φορτία (δηλ. τα μεταλλικά τοιχώματα τα οποία απορροφούν σεισμική ενέργεια) και ανάλογα με την εξέλιξη της σεισμικής καταπόνησης να επεκτείνεται και στα δομικά στοιχεία (δοκοί, υποστύλωματα) που περιβάλλουν το τοίχωμα.

Με άλλα λόγια, τα περιμετρικά στοιχεία (δοκοί, στύλοι), κατά την διάρκεια σεισμικής δράσης, λειτουργούν στο ελαστικό στάδιο με πλήρη διαρροή του μεταλλικού τοιχώματος, ενώ σε πολύ υψηλά επίπεδα φόρτισης επιτρέπεται ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται δύο "ζώνες άμυνας". Η πρώτη αφορά το τοίχω-

μα το οποίο απορροφά σημαντικό ποσοστό ενέργειας και στην συνέχεια όταν αυτό τίθεται εκτός λειτουργίας δρα η δεύτερη με την λειτουργία του πλαισιακού φορέα (η οποία παραλαμβάνει τα βαρυτικά φορτία και σε εξαιρετικά ισχυρούς σεισμούς μέρος της σεισμικής δράσης). Αναλυτικότερα, ιεραρχώντας τις μορφές αστοχίας μέχρι την κατάρρευση του φορέα πρέπει να ακολουθείται η παρακάτω διαδρομή: εμφάνιση πλάστιμων μορφών αστοχίας στο τοίχωμα, ακολούθως πλάστιμες μορφές αστοχίας στις δοκούς (π.χ. διατμητική διαρροή, τοπικός λυγισμός κ.α.), πλάστιμες μορφές αστοχίας στα υποστύλωματα (π.χ. τοπικός λυγισμός, σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων, κ.α.), και στη συνέχεια ψαθυρές αστοχίες στο τοίχωμα (π.χ. θραύση τοιχώματος), στην δοκό (π.χ. θραύση σύνδεσης), και τέλος στο υποστύλωμα (π.χ. θραύση ματίσεων, αγκυρώσεων). Για την επίτευξη όλων των παραπάνω σημαντική είναι η συνεισφορά και η συμπεριφορά των συνδέσεων μεταξύ τοιχώματος και περιμετρικών στοιχείων (δοκοί, υποστύλωματα), για τις οποίες είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται σημαντική υπεραντοχή έναντι των στοιχείων που συνδέουν. Στο σχήμα 6 παρουσιάζονται τυπικές κατασκευαστικές διαμορφώσεις συνδέσεις τοιχώματος-δοκού και τοιχώματος-στύλου.

Περισσότερα για θέματα σχεδιασμού δίνονται στον ANSI-AISC 341/2005 (Part I, §17 και Comm. C17), CAN/CSA-S16-01 (CSA 2001) καθώς και στη σχετική βιβλιογραφία^(1,4,7).

Σύνδεση			
Δοκός - Τοίχωμα			
	Κοκλιωτές συνδέσεις	Συγκολλητή σύνδεση	
Στύλος - Τοίχωμα			
	Κοκλιωτές συνδέσεις		Συγκολλητή σύνδεση

Σχ. 6 Συνδέσεις τοιχωμάτων-δοκών, τοιχώματος-στύλου

3. Σύμμικτα Διατμητικά τοιχώματα

Η μόρφωση των σύμμικτων τοιχωμάτικων κατασκευών παρουσιάζει ευρεία δυνατότητα σύνθεσης, εκμεταλλευόμενοι αντίστοιχα τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα του δομικού χάλυβα και του σκυροδέματος. Γενικά διακρίνουμε 2 τύπους σύμμικτων διατάξεων, ανάλογα με τη διατομή του τοιχώματος, Σχ. 7:

- Ο πρώτος τύπος αφορά σύμμικτα συστήματα στα οποία ο κορμός του τοιχώματος αποτελείται από στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος ενώ οι κεφαλές από δομικό χάλυβα δημιουργώντας υποστυλώματα μερικώς ή πλήρως εγκιβωτισμένα στο σκυρόδεμα. Ουσιαστικά έχουμε ένα τοίχωμα ο/σ το οποίο μετατρέπεται σε σύμμικτο με την προσθήκη, στα άκρα, των μεταλλικών διατομών Σχ. 7α.
- Ο δεύτερος τύπος αφορά σύμμικτα συστήματα στα οποία ο κορμός του τοιχώματος αποτελείται από σύμμικτο στοιχείο (μεταλλική πλάκα και λεπτή πλάκα σκυροδέματος) ενώ οι κεφαλές από συμβατικές μεταλλικές διατομές (ή και με εγκιβωτισμό-πλήρωση από σκυρόδεμα) Σχ. 7β. Εφαρμόζονται είτε ως προκατασκευασμένα είτε ως κυτά δομικά στοιχεία.

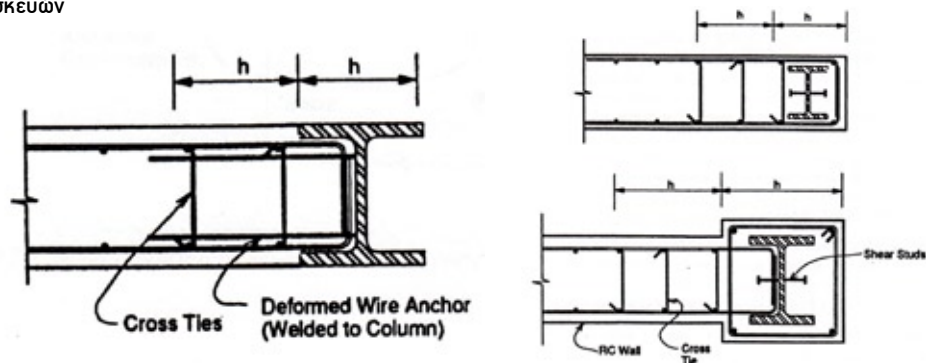
Τα σύμμικτα τοιχώματα με μεταλλική πλάκα χρησιμοποιού-

νται σε περιπτώσεις πολύ υψηλής τέμνουσας ορόφου, όταν η λύση των μεταλλικών τοιχείων δεν προσφέρει επαρκή δυσκαμψία στο σύστημα και τέλος όπου λόγω αντίστοιχων προβλημάτων δυσκαμψίας και αντοχής τα τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος απαιτούν εξαιρετικά μεγάλο πάχος προκειμένου να επιτευχθούν τα όρια που ορίζουν οι σχετικοί κανονισμοί. Στο άρθρο παρουσιάζεται και αναπτύσσεται μόνο ο δεύτερος τύπος. Περισσότερα στοιχεία για τον σχεδιασμό του πρώτου τύπου τοιχώματος ο αναγνώστης μπορεί να βρει στον EC8-1-1, §7.3.1, 7.11⁽⁵⁾, όσο αφορά τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς, καθώς και στο ANSI-AISC 341-2005 (Part II, §16)⁽⁶⁾.

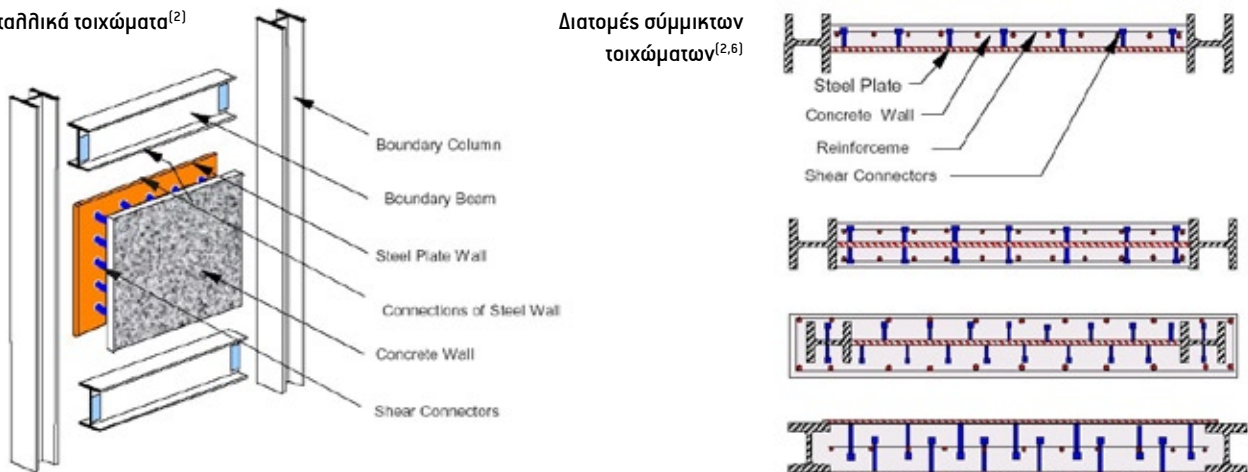
Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν τα σύμμικτα μεταλλικά διατμητικά τοιχώματα είναι οι στύλοι και οι δοκοί που οριοθετούν το φάνωμα, ή μεταλλική πλάκα, ή λεπτή πλάκα σκυροδέματος, ή σύνδεση (με χρήση διατμητικών υλών ή άλλου κατάλληλου συστήματος) της μεταλλικής πλάκας με την πλάκα σκυροδέματος και τέλος η σύνδεση του σύμμικτου τοιχώματος με τα περιμετρικά στοιχεία που το περιβάλλουν, Σχ. 7. Η ανελαστική συμπεριφορά του συστήματος καθορίζεται από το σύνολο των στοιχείων που σχηματίζουν το πλαίσιο-σύμμικτο μεταλλικό τοίχωμα όπως περιγράφεται στην συνέχεια αναλυτικότερα.

Σχ. 7 Συστήματα σύμμικτων τοιχωματικών κατασκευών

A) Τυπικές διατομές τοιχωμάτων ο/σ με μεταλλικές κεφαλές^(5,6)



B) Σύμμικτα μεταλλικά τοιχώματα⁽²⁾

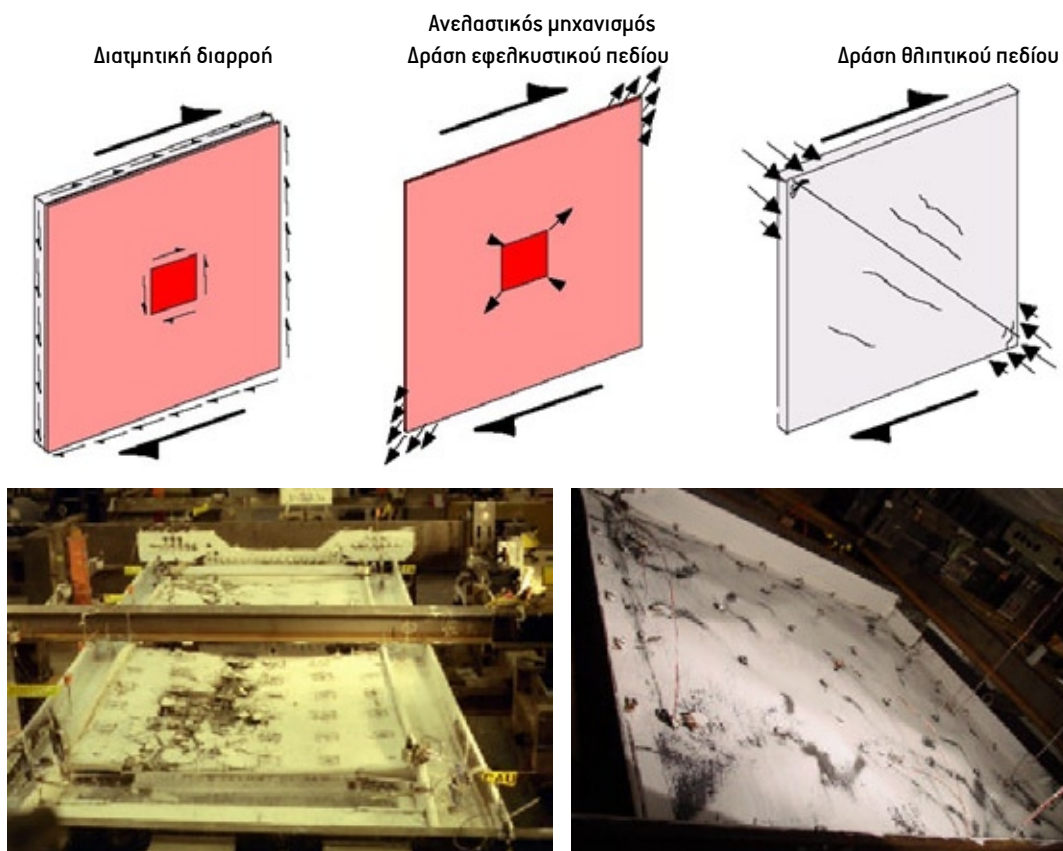


Η μεταλλική πλάκα παραλαμβάνει την τέμνουσα ορόφου μέσω ενός μηχανισμού διατμητικής διαρροής, όντας δυνάμενος να αναπτυχθεί λόγω της ύπαρξης της πλάκας σκυροδέματος, η οποία ουσιαστικά λειτουργεί ως “ενίσχυση” προστατεύοντας την μεταλλική πλάκα από πρόωρο λυγισμό και επιτρέποντας την να αναπτύξει το όριο διατμητικής διαρροής. Αναλογικά ένα ποσοστό της τέμνουσας ορόφου παραλαμβάνεται και από την πλάκα σκυροδέματος μέσω της ανάπτυξης μηχανισμού δράσης θλιπτικού πεδίου (compression field action), Σχ. 8.

Η πλάκα σκυροδέματος συνεισφέρει στην διατμητική αντοχή και στη δυσκαμψία του τοιχώματος, ενώ ανάλογα με το ποσοστό όπλισης αυξάνει και την πλαστιμότητα. Στην περίπτωση των σύμμικτων τοιχωμάτων οι ροπές ανατροπής παραλαμβάνονται, εκτός από τους στύλους, και με τη συμμετοχή της σύμμικτης πλάκας. Η εξασφάλιση των παραπάνω μηχανισμών δεν θα είναι δυνατή εάν η μηχανική σύνδεση μεταξύ μεταλλικής πλάκας και πλάκας σκυροδέματος δεν είναι η κατάλληλη, διασφαλίζοντας την συνοχή και την ροή των δυνάμεων μεταξύ των δύο υλικών. Οι δοκοί και οι στύλοι που οριοθετούν το φάτνωμα παραλαμβάνουν τις ροπές ανατροπής, τα βαρυτικά φορτία (δηλ. δράση πλαισίου) και ενεργούν ως “σημεία αγκύρωσης”, για την ανάπτυξη

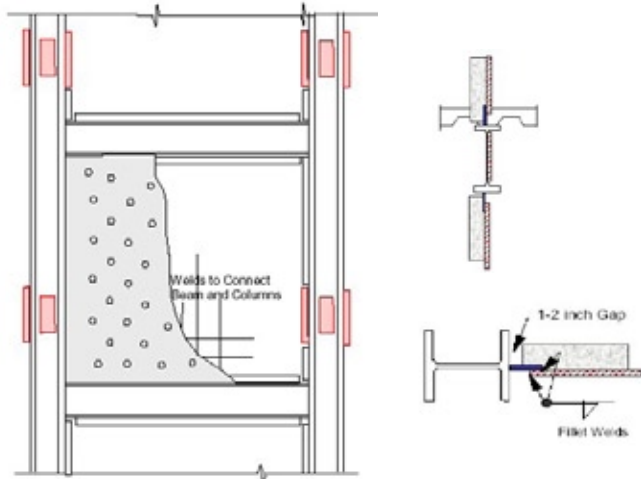
του εφελκυστικού και του θλιβόμενου πεδίου δράσης αντίστοιχα, καθώς επίσης και για την μεταλλική πλάκα και την πλάκα σκυροδέματος. Σε κάθε περίπτωση σημαντικό ρόλο παίζει και η σύνδεση, σύμμικτου τοιχώματος (είτε αυτό είναι προκατασκευασμένο είτε χυτό επί τόπου) με τα περιμετρικά στοιχεία (δοκοί – υποστύλωμα), η οποία μέσω κοχλίωσης ή συγκόλλησης καλείται να μεταφέρει δυνάμεις εφελκυσμού και διάτμησης, Σχ 9.

Ομοίως με τα όσα περιγράφηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, η κατασκευαστική μόρφωση και ο σχεδιασμός πρέπει να ακολουθούν την φιλοσοφία του ικανοτικού σχεδιασμού ιεραρχώντας τις διάφορες μορφές αστοχίας, προκειμένου να αναπτυχθεί ένας ελεγχόμενος μηχανισμός προκρίνοντας τις πλαστικές μορφές και στην συνέχεια τις ψαθυρές μορφές αστοχίας. Περισσότερα για τα θέματα σχεδιασμού δίνονται στους κανονισμούς, ANSI – AISC 341/2005 (Part II, §17 & Comm. C17)⁽⁶⁾ καθώς και στην σχετική βιβλιογραφία(2).



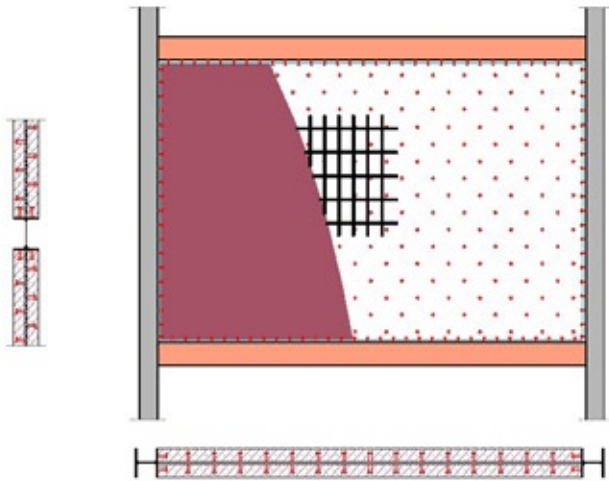
Σχ. 8 Ανελαστική συμπεριφορά σύμμικτων μεταλλικών τοιχωμάτων

Σχ. 9 Σχηματικές λεπτομέρειες σύνδεσης σύμμικτου τοιχώματος – δοκού-στύλου



Προκατασκευασμένα σύμμικτα τοιχώματα⁽²⁾

Χυτά επι τόπου σύμμικτα τοιχώματα



4. Μόρφωση Μικτών Συστημάτων με Μεταλλικά και Σύμμικτα Τοιχώματα.

Η εμφάνιση των μεταλλικών ή σύμμικτων τοιχωμάτων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, εντός μεταλλικών ή σύμμικτων πλαισίων δημιουργεί ένα μικτό δομοστατικό φέροντα οργανισμό (dual frames). Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή συγκριτικά πλεονεκτήματα αυτών είναι η αυξημένη υπερστατικότητα, δυσκαμψία, πλασιμότητα καθώς και η αποφυγή ανάπτυξης μηχανισμού ορόφου ή αλυσιδωτής κατάρρευσης.

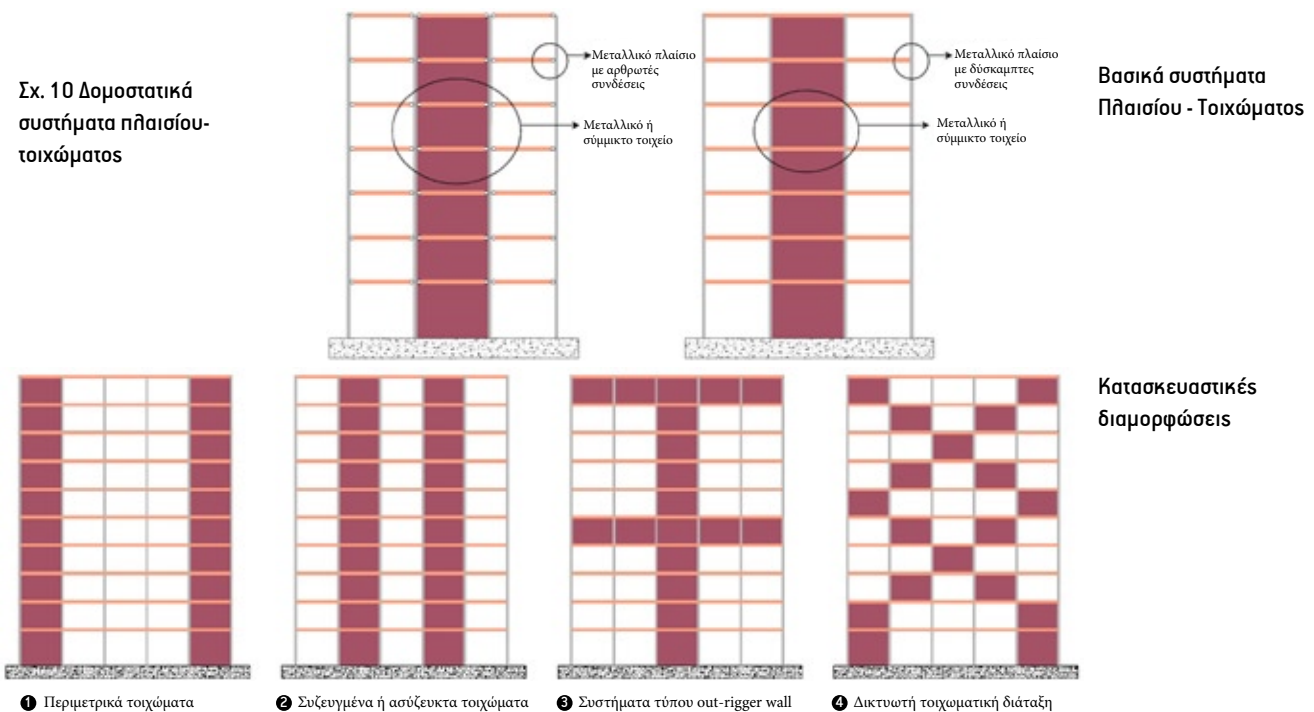
Γενικά, σε κάθε ύψος διαμόρφωση διακρίνουμε 2 βασικούς τύπους φορέα, Σχ. 10:

- Αρθρωτό πλαίσιο με μεταλλικά ή σύμμικτα τοιχώματα.
- Μικτό πλαισιακό φορέα με μεταλλικά ή σύμμικτα τοιχώματα.

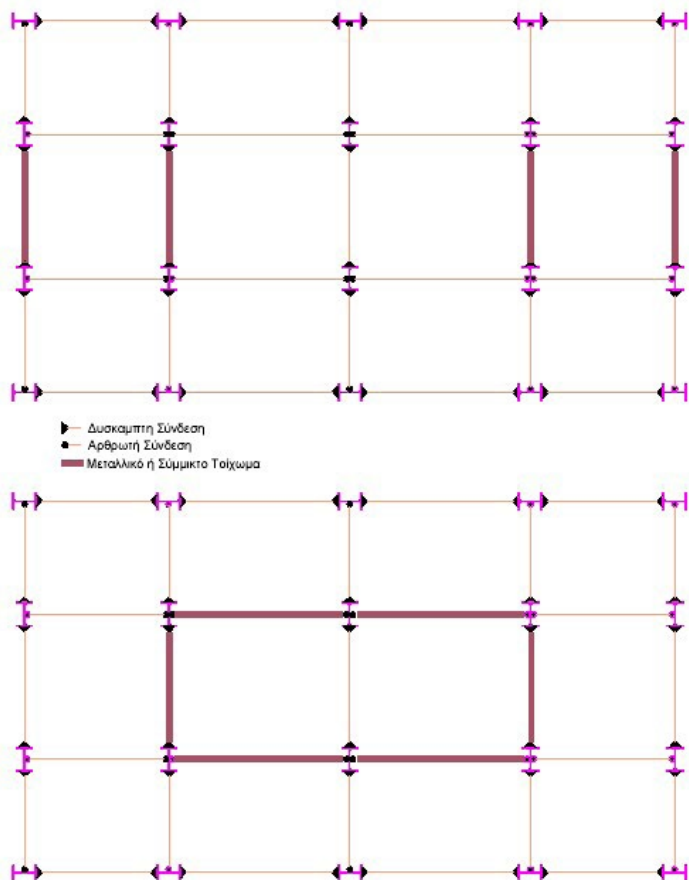
Παραλλαγές των βασικών συστημάτων παρουσιάζονται στο σχήμα 10 η διαμόρφωση των οποίων εξαρτάται από την αρχιτεκτονική, το ύψος του κτιρίου, την σεισμικότητα της περιοχής, κ.α.

Σε κάθε περίπτωση η τοποθέτηση των τοιχωμάτων ακολουθεί τους γνωστούς κανόνες της μηχανικής για την δημιουργία δύστροπων φορέων όπου ο πόλος στροφής να συμπίπτει, με το κέντρο βάρους, την ανάπτυξη πλήρους πλαισιακής λειτουργίας, την διασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας, Σχ 11.

Σχ. 10 Δομοστατικά συστήματα πλαισίου-τοιχώματος



Σχ 11 Σχηματικές διατάξεις φορέων σε κάτοψη



5. Αναφορές

1. Abolhassan Astanteh-Asl, 2001: Seismic Behaviour and Design of Steel Shear Walls, Steel Tips July 2001, Structural Steel Educational Council.
2. Abolhassan Astanteh-Asl, 2002: Seismic Behaviour and Design of Composite Steel Plate Shear Walls, Steel Tips, Structural Steel Educational Council.
3. Sabelli R, Bruneau M, Driver R, 2008 : Steel Plate Shear Walls in the Upcoming 2010 AISC Seismic Provisions and 2009 Canadian Standard S 16, Structures 2008: Crossing Borders, ASCE.
4. Sabelli R, Bruneau M, 2006: Steel plate shear walls, AISC Design Guide, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1, December 2004.
6. American Institute of Steel Construction, AISC, 2005: Seismic Provisions for Structural Steel Building, ANSI/AISC 341-05, Chicago, Illinois.
7. Canadian Standards Association, CSA, 2001: Limit State Design of Steel structures. CAN/CSA, S-16-01m Toronto, Ontario, Canada.



ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



Α. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ
ΟΜΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Email: anastasiadis@hol.gr