

دیوار برشی فولادی مرکب

محل ضرب مهرهای تحت کنترل - منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
		ا. ساعدی		و. پاچیده	دیوار برشی فولادی مرکب		۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه		REV

دیوار برشی فولادی مرکب										
صفحه: ۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
بهمین ۹۳								۰۱		

فهرست مطالب

۳	مقدمه
۴	انواع دیوارهای برشی مرکب
۷	مزایای دیوار برشی فولادی مرکب
۸	طراحی دیوارهای برشی فولادی مرکب
۸	توصیه های طراحی دیوار برشی مرکب
۸	مقاومت در برابر لنگر واژگونی
۸	طراحی رابط های برشی
۹	طراحی تیرهای بالا و پایین و ستونهای مرزی دیوار برشی مرکب
۹	توصیه های طراحی لرزه ای دیوار برشی فولادی مرکب
۱۰	مثالی از کاربرد دیوارهای برشی فلزی مرکب

دیوار برشی فولادی مرکب

صفحه: ۳

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

SEQ

REV

پروژه:

بهمین ۹۳

۰۱

مقدمه

استفاده از دیوار برشی به اشکال گوناگون بتن مسلح، فلزی و یا ترکیب این دو به عنوان سیستم رایج مقاوم در برابر بارهای جانبی روشی متداول در سازه ها می باشد. تا حدود ۳۰ سال پیش تنها دیوار برشی بتن مسلح مورد استفاده قرار می گرفت، اما همواره نگرانی هایی در زمینه مقاومت موضعی، شکل پذیری و قابلیت استفاده از این سیستمها در سازه های فولادی بلند، مخصوصا در مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد وجود داشته است. دیوارهای برشی فولادی از دهه ۱۹۷۰ میلادی در ساختمان های مختلف به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی مورد استفاده قرار گرفته اند. در طی سه دهه اخیر مطالعات و تحقیقات گستردهای روی دیوارهای برشی فلزی صورت گرفته است که منجر به استفاده روزافزون این سیستم ابتکاری هم در سازه های نوساز و هم برای مقاوم سازی سازه های موجود شده است.

این سیستم شامل پانلهای مجزا است که هر پانل در داخل دو تیر و ستون جانبی قرار گرفته است. مقاومت مجموعه نیز پس از کمانش ورق فولادی از طریق عمل میدان کشش قطری بوجود آمده در ورق فولادی در ترکیب با عمل خمشی قاب تامین میشود. این سیستم نوین در عین حال که قابلیت سایر سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی، مانند قاب خمشی، مهاربندی هممحور و مهاربندی برونمحور را دارا می باشد به لحاظ میزان مصرف فولاد و همچنین اجرای ساده تر و سطح تمام شده تمیزتر برتر از سایر سیستمها می باشد. بررسیهای انجام شده نشانگر آن است که این سیستم تا حدود ۵۰ درصد در میزان فولاد مصرفی نسبت به قاب خمشی فولادی به صرفه تر بوده که این نسبت در مورد مهاربندیهای هم محور حدود ۱۵ درصد است.

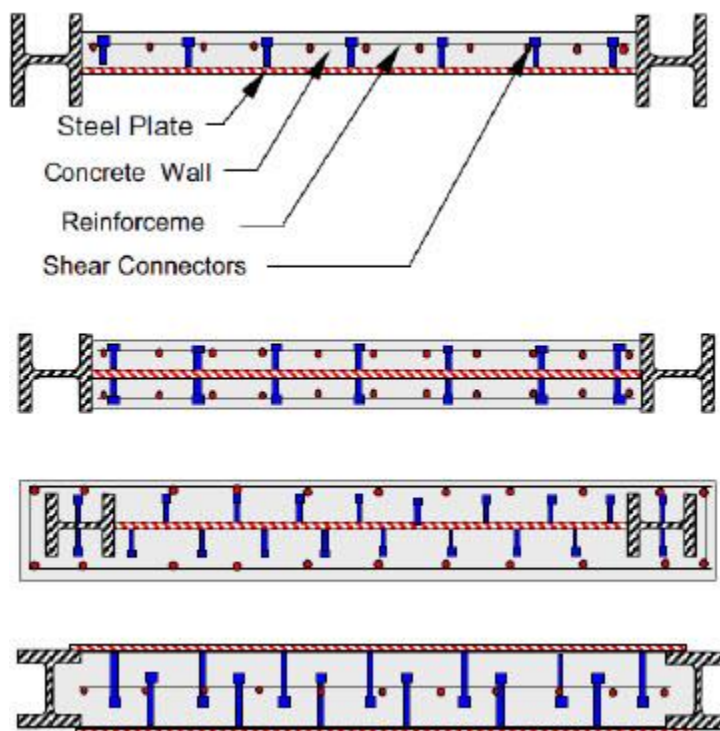
برتری ویژه این نوع دیوارها، قابلیت شکل پذیری بالا می باشد، اما هنوز نگرانی هایی در زمینه کمانش کلی ورقهای فولادی که منجر به کاهش مقاومت برشی کلی، سختی و ظرفیت اتلاف انرژی میشود، وجود دارد. همچنین تغییر شکل غیر الاستیک بزرگ ورقهای فولادی منجر به پیچشهای دوری بزرگ اتصالات خمشی و تغییر مکانهای بین طبقات بزرگ میشود. بنابراین دیوارهای برشی مرکب ممکن است که معایب دیوارهای برشی بتن مسلح و دیوارهای برشی فولادی را جبران کنند و محاسن این دو نوع دیوار را با هم ترکیب کنند. دیوارهای برشی مرکب اخیرا در تعدادی از ساختمانهای مدرن مانند بیمارستان اصلی در سان فرانسیسکو استفاده شده است، اما این سیستم به اندازه سیستمهای دیگر رایج نشده است. دیوارهای برشی مرکبی معمولاً از یک ورق فولادی و نیز پوشش بتنی مسلحی که در یک سو یا هر دو سوی ورق به کمک اتصالات مخصوصی وصل میشود، تشکیل می شوند. این اتصالات، برشگیرها (در حالت استفاده از پوشش بتنی مسلح درجا) یا پیچها (در حالت استفاده از پوشش بتنی مسلح پیش ساخته) می باشند.

دیوار برشی فولادی مرکب									
صفحه: ۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمین ۹۳								۰۱	

انواع دیوارهای برشی مرکب

دیوارهای برشی مرکب متشکل از ورق فولادی و بتن، دیوارهای سازهای اخیرا توسعه یافته‌ای هستند که در عمل استفاده شده‌اند. این دیوارهای مرکب متشکل از ورق فولادی و بتن (شکل ۱) می‌توانند به دو نوع کلی زیر طبقه‌بندی شوند:

۱. دیوارهای مرکب متشکل از بتن مسلح و ورق فولادی (SPRC)
۲. دیوارهای مرکب متشکل از دو ورق فولادی پیرامونی و بتن بین آنها (در اصلاح بتن ساندویچ شده - CFDSP)



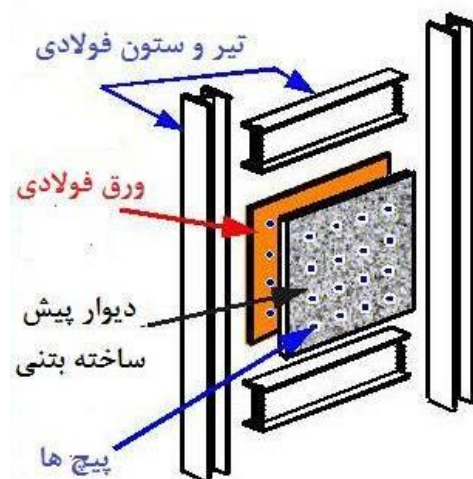
شکل ۱: شکل های مختلف دیوار برشی فولادی مرکب

اجزای دیوار برشی فولادی مرکب:

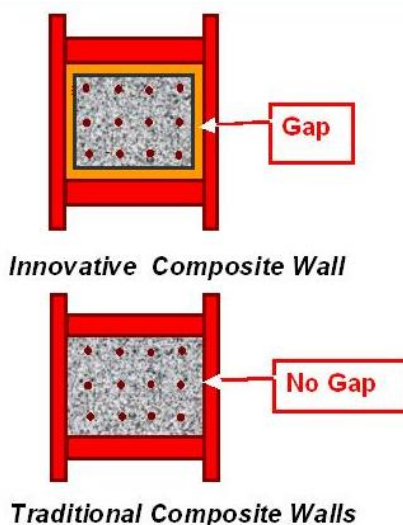
یک دیوار برشی مرکب از دیوار برشی فلزی، دیوار بتنی، رابط های برشی، تیر و ستون های مرزی، اتصالات دیوار برشی فلزی به تیر و ستون های مرزی و اتصالات تیر به ستون تشکیل شده است که در ادامه به معرفی این اجزا و نقش هر یک در کل سیستم پرداخته می شود (شکل ۲).

دیوار برشی فولادی مرکب									
صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳								۰۱	

دیوارهای برشی مرکب نیز خود به دو نوع دیوار برشی مرکب بدون درز (ستتی) و دیوار برشی مرکب با درز (نوین) تقسیم میگردند (شکل ۳) که در نوع دوم، وجود درز سبب افزایش چشمگیر شکل پذیری و کاهش آسیب دیدگی سازه می شود.



شکل ۲: اجزای اصلی تشکیل دهنده سیستم دیوار برشی مرکب



شکل ۳: دیوار برشی فولادی با درز و بدون درز

دیوار برشی فلزی

نقش اصلی صفحه فلزی در دیوار برشی مرکب تامین مقاومت و سختی و همچنین مشارکت در محدود کردن اندازه لنگر واژگونی است. در دیوار برشی فلزی برش طبقه توسط توسعه عمل میدان کششی قطری تحمل می شود ولی در دیوار برشی مرکب دیواربتنی با مهار کردن صفحه فلزی و جلوگیری از کمانش آن باعث

دیوار برشی فولادی مرکب									
صفحه: ۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمن ۹۳								۰۱	

بالا رفتن ظرفیت برشی دیوار برشی فلزی، تا حد تسلیم در برش می شود. البته دیوار بتنی نیز در تحمل مقداری از برش طبقه مشارکت می کند.

این عضو معمولاً یک صفحه فلزی نسبتاً نازک است، ولی صفحات نازکتر از ۳/۸ اینچ به دلیل مشکلات در حمل و نقل، ساخت و نصب توصیه نمی شود. همچنین صفحات نازک برای عملکرد مناسب احتیاج به تعداد زیادتری رابطهای برشی دارد تا کمانش صفحه را تا تسلیم در برش به عقب بپندازد.

دیوار بتنی مسلح

دیوار بتنی مسلح می تواند در یک یا دو طرف یا بین دو دیوار برشی فلزی (ساندویچی) قرار داشته باشد. در همه این موارد دیوار بتنی بواسطه تشکیل میدان فشاری قطری در سختی و مقاومت برشی سیستم مشارکت می کند و بخاطر وجود آرماتور در دیوار اندکی شکل پذیر است. دیوار بتنی می تواند در محل اجرا یا به صورت پیش ساخته استفاده شود ولی در هر صورت نقش اصلی آن ممانعت از کمانش دیوار برشی فلزی قبل از رسیدن به نقطه تسلیم برشی است. این عمل بوسیله پیوند صفحه فلزی و دیوار بتنی با رابطهای برشی انجام می شود.

ستون های مرزی

از جمله وظایف ستونهای مرزی کنترل لنگر واژگونی توسط بار ثقلی ستونهای اطراف دیوار برشی مرکب می باشد. همچنین ستونها، یک نقطه مهار برای عمل میدان کششی قطری صفحه فلزی و یک عضو باربر برای عنصر فشاری قطری دیوار بتنی هستند. در سازه های با ستونهای نسبتاً بزرگ ستونها می توانند مقدار قابل توجهی از برش طبقه را نیز منتقل کنند.

تیرهای مرزی

تیرهای فوقانی و تحتانی دیوار برشی مرکب همچون ستونهای مرزی نقش مهار کننده برای عمل میدان کششی صفحه فلزی و یک عنصر باربر برای عضو فشاری قطری دیوار بتنی را دارد. به دلیل لنگر واژگونی، تیرها در معرض جریان برشی نسبتاً بزرگی در انتهایشان هستند. این تیرها علاوه بر نیروهای فوق، بارهای ثقلی منتقل شده از کف را نیز تحمل می کنند.

اتصال دیوار برشی به قطعات مرزی

دیوار برشی فلزی بوسیله پیچ یا جوش به تیر و ستونهای مرزی متصل می شود. نقش اصلی این اتصالات انتقال برش و کشش می باشد. همچنین امکان اتصال دیوار بتنی بوسیله رابطهای مکانیکی به اجزای مرزی وجود دارد. این رابطها، نیروی برشی وارد بر دیوار بتنی را منتقل می کنند.

دیوار برشی فولادی مرکب

صفحه: ۷

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

SEQ

REV

پروژه:

بهمین ۹۳

۰۱

اتصال تیر به ستون

برای کارکرد مناسب دیوار برشی، این اتصالات بسیار مهم می باشند. در یک سیستم دو گانه، وقتی که قاب خمشی به عنوان پشتیبان سیستم دیوار برشی استفاده میشود، اتصالات باید خمشی باشند.

نحوه اتصال دیوار برشی مرکب به سازه بتنی بدین نحو است که، ابتدا در طرفین دیوار یک ردیف نبشی قرار داده می شود و سپس به کمک بالابر ورق را بلند کرده و در محل مورد نظر (پانل مورد نظر) روی نبشی ها قرار میدهند. سپس دور تا دور ورق را به اندازه مناسب به نبشی های دور، جوش داده تا ورق به حالت قائم بایستد بعد از برپا کردن ورقها، به آرماتوربندی روی ورقها پرداخته و قالبها را مستقر کرده و عمل بتن ریزی را انجام میدهند. بدین ترتیب می توان در سازه های بتنی که دیوار برشی آنها به هر دلیلی ضعیف شده یا از بین رفته است با برداشتن دیوار قبلی و جایگزینی دیوار برشی مرکب، به ترمیم و مقاوم سازی سازه مورد نظر اقدام نمود.

مزایای دیوار برشی فولادی مرکب:

- در مقایسه با یک دیوار برشی بتن مسلح، دیوار برشی مرکب با مقاومت برشی یکسان و در عین حال سختی برشی بیشتر، حجم کمتری از فضا را اشغال میکند که این خاصیت در معماری سازه و استفاده مفید از فضا بسیار سودمند است.
- وزن دیوار برشی مرکب از دیوار برشی بتن مسلح کمتر بوده و این خاصیت علاوه بر کاهش وزن در طراحی فونداسیون برای وزن کمتر، کمک بسزایی میکند.
- دیوارهای برشی مرکب می توانند در محل کارگاه ساخته شوند و یا پیشساخته باشند و در قسمت مخصوص وصل شوند.
- خسارات ناشی از زلزله در دیوارهای برشی بتنی موجب ترک برداشتن و شکستن و در دیوارهای برشی فولادی سبب گسیختگی فولاد میشود، اما در دیوارهای برشی مرکب (مخصوصاً وقتی از دیوار برشی نوین استفاده میشود) در حد جاری شدن ورق بوده و حتی در بتن هم ترکی ایجاد نمیشود.
- بتن مسلح موجود در دیوار برشی مرکب به عنوان عایق حرارتی و صوتی و نیز محافظ ورق فولادی در برابر آتش سوزی میباشد.

دیوار برشی فولادی مرکب									
صفحه: ۸		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمین ۹۳								۰۱	

طراحی دیوارهای برشی فولادی مرکب

توصیه های طراحی دیوار برشی مرکب

- ۱- در صورتیکه بتن در یک طرف صفحه فلزی باشد باید ضخامت آن حداقل ۸ اینچ و چنانچه بتن در هر دو طرف صفحه فلزی اجرا شود حداقل ضخامت آن باید در هر دو طرف ۴ اینچ در نظر گرفته شود.
- ۲- از گل میخهای کلاهی دار و یا از دیگر اتصالات مکانیکی برشی برای جلوگیری از کمانش موضعی ورق استفاده شود.
- ۳- آرماتورهای افقی و عمودی باید در دیوار بتنی کار گذاشته شوند و حداقل نسبت آرماتورها در هر دو جهت نباید از ۰.۰۲۵ کمتر باشد.
- ۴- در صورت نیاز به ایجاد بازشو در دیوار برشی باید به اندازه کافی اعضای مرزی تعبیه گردد.
- ۵- در محاسبه ظرفیت برشی یک دیوار برشی مرکب ظرفیت برشی بتن را در نظر نمی گیرند و ظرفیت برشی صفحه فلزی محاسبه می شود. که این یک رویه محافظه کارانه می باشد ولی با این حال در محاسبه سختی دیوار برشی مرکب که برای تعریف پریود ارتعاش استفاده می شود توصیه شده که سختی بتن نیز لحاظ گردد.

مقاومت در برابر لنگر واژگونی

در دیوارهای برشی مرکب در صد قابل توجهی از لنگر واژگونی توسط دیوار تحمل می شود در مرحله تحلیل هر دوی دیوار فلزی و بتنی به صورت عنصر صفحه ای موازی مدلسازی می شود. توصیه های زیر برای سازگاری با فلسفه کلی طراحی ارائه شده است:

- کل نیروی برشی وارده بر دیوار برشی فلزی مرکب توسط صفحه فلزی تحمل می گردد.
- دیوار بتنی بر اساس بارهای ثقلی و لنگر خمشی طراحی می شود.

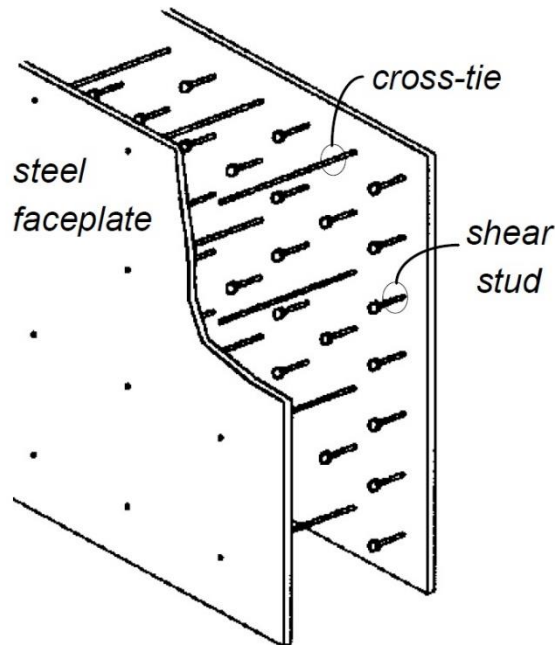
طراحی رابط های برشی

نقش اصلی رابط های برشی (شکل ۴) مهار کردن صفحه فلزی و جلوگیری از کمانش کلی آن می باشد. توصیه می شود که اتصالات برشی برای دو دسته شرایط طراحی شوند:

- هر رابط برشی باید قادر به تحمل نیروی کششی ناشی از کمانش موضعی غیر الاستیک صفحه فلزی در حین اعمال چرخه بارگذاری باشد که مقدار نیروی کششی در اتصالات برشی با لحاظ کردند تعادل نیروها محاسبه می شود.

دیوار برشی فولادی مرکب									
صفحه: ۹		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمین ۹۳								۰۱	

- تمامی رابط های برشی باید قادر به انتقال کوچترین دو مقدار، ظرفیت برشی صفحه فلزی و دیوار بتنی باشند.



شکل ۴: جزئیات اتصال صفحه فولادی و بتن بوسیله رابط های برشی

طراحی تیرهای بالا و پایین و ستونهای مرزی دیوار برشی مرکب

در سیستم دیوار برشی مرکب که در این مقاله بحث شده تیرها و ستونها بخشی از قابهای خمشی ویژه به حساب می آیند و ضوابط قابهای خمشی ویژه برای طراحی این تیرها و ستونها به کار می رود . علاوه بر این ضوابط، تیرها و ستونهای مرزی دیوار برشی مرکب باید احتیاجات زیر را برای نسبت b/t که توسط ضوابط لرزه ای آیین نامه *AISC* ارائه شده، برآورده شود.

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{f_y}$$

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{f_y}$$

توصیه های طراحی لرزه ای دیوار برشی فولادی مرکب

در طراحی سیستمهای باربر جانبی در مناطق زلزله خیز دو موضوع اساسی باید مد نظر باشد ابتدا اینکه سیستم دارای شکل پذیری کافی برای جذب انرژی مناسب در سازه باشد و دیگر اینکه باید دارای مقاومت کافی برای ایجاد سختی در سازه در جهت کنترل تغییر مکان جانبی باشد بدین منظور باید سعی شود در سیستم های باربر

دیوار برشی فولادی مرکب									
صفحه: ۱۰		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
بهمین ۹۳								۰۱	

جانبی که در سازه به کار می بریم مد شکست شکل پذیر قبل از مد شکست ترد به وقوع به پیوند و ابتدا رفتار غیر ارتجاعی (خمیری) در اعضای که وظیفه تحمل بارهای جانبی را دارند صورت پذیرد و در صورت نیاز در لحظات پایانی زلزله در اعضای که وظیفه تحمل بارهای ثقلی را دارند گسترش پیدا کند و به این ترتیب از تخریب پیشرونده اعضای سازه‌های و غیر سازه‌های تحت زلزله جلوگیری به عمل می آید.

مثالی از کاربرد دیوارهای برشی فلزی مرکب

مهندسان دیوار برشی فلزی مرکبی را در یک بیمارستان در سانفرانسیسکو به کار بردند. این ساختمان مثال خوبی از کاربرد آسان دیوار برشی فلزی مرکب در ساختمان یک بیمارستان در منطقه با خطر نسبی زلزله زیاد مثل کالیفرنیا می باشد. مهندسان بعد از بررسی تحلیل دینامیکی سازه متوجه نیروی بسیار بزرگ جانبی در سازه شدند که در نتیجه نیاز به یک دیوار برشی بتنی مسلح تنها به ضخامت ۴ فوت دارد. این دیوار برشی هم از نظر معماری غیر قابل قبول است و هم وزن سازه را افزایش که باعث افزایش نیروهای طراحی می شود. نصب دیوار برشی فلزی مرکب در این بیمارستان راه بسیار مناسبی بود که اجرا شد. این دیوار برشی شامل یک دیوار برشی فلزی که دو طرف آن توسط دیوارهای بتنی مسلح پوشیده شده است و به تیر و ستونهای مرزی جوش شده است و رابطهای برشی آن عبارتند از بست هایی که از میان سوراخ های صفحه فلزی و جان تیرهای مرزی، عبور کرده است.