سازه‌های بتنی

در این متن به توصیف برخی از تکنیک‌های ساخت و طراحی که معمولاً برای خلق یک ساختمان بتنی کم خسارت استفاده می‌شود، می‌پردازیم و در مورد موضوعات زیر بحث خواهیم کرد:

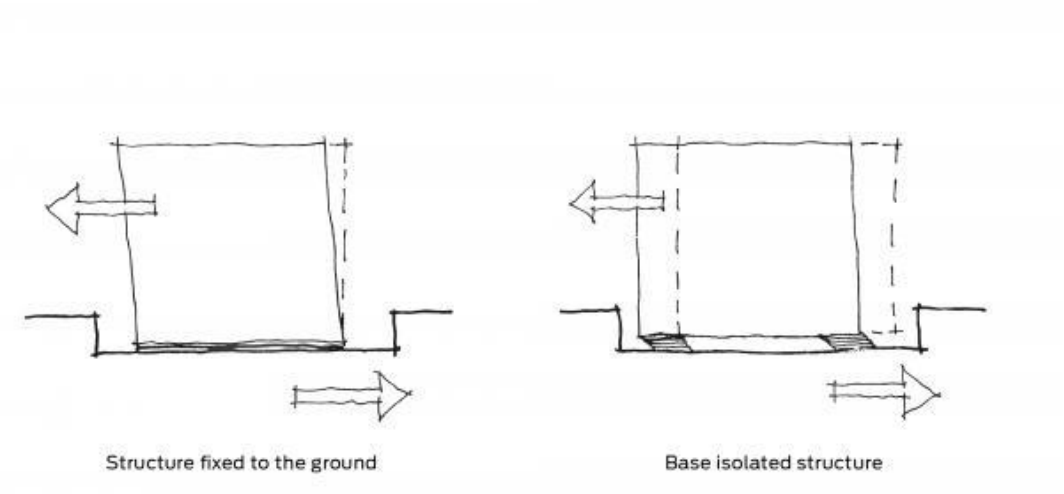
- جداسازهای فونداسیون- شامل یاتاقان‌های الاستومری و سیستم‌های جداگر لغزشی
- سیستم پس تنیدگی با استفاده از تکنولوژی پرس
- دستگاه‌های میراگر در بتن- اعم از میراگر سیال، میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای هیسترسیس

جداساز فونداسیون

سیستم‌های جداساز فونداسیون از یکسری یاتاقان طراحی شده خاص در بین فونداسیون و سازه فوقانی بهره می‌برد، به طوری که ساختمان و اتصالات صلب افقی آن از زمین جدا می‌شود. در طی یک زلزله، تمام شتاب‌های افقی زمین به یاتاقان‌ها منتقل شده و یا فقط قسمتی از آن به سازه فوقانی وارد می‌شود و به این صورت مانع از بروز خسارت به سازه می‌گردند.

جداگرهای فونداسیون را می‌توان به صورت یک ساختمان که روی غلتک‌ها قرار گرفته است، فرض کرد. زمانی که زمین به شکل ناگهانی به سمت چپ یا راست حرکت می‌نماید، غلتک‌ها چرخیده اما ساختمان در موقعیت خود باقی می‌ماند. این موضوع بدان سبب است که نیروی افقی حاصل از جابجایی زمین از طریق غلتک‌ها منتقل نشده و بنابراین هیچ نیرویی به ساختمان وارد نمی‌شود.

در صورتی که ساختمان مشابهی بر روی یک لاستیک ارتجاعی قرار گرفته باشد و زمین نیز به طریقی مشابه حرکت کند، بالشتک‌ها تا حدودی در برابر نیروهای جانبی مقاومت خواهند نمود. این روند موجب انتقال بخشی از نیرو از طریق بالشتک شده و ساختمان جابجا می‌گردد. با این حال، چنانچه ساختمان به طور مستقیم به زمین گیردار شده باشد، نیروی حاصله نیز کوچک‌تر خواهد بود. این مسئله یک اصل کلیدی در مقوله جداگرهای فونداسیون می‌باشد.



مقایسه یک ساختمان با فونداسیون گیردار به زمین (سمت چپ) و ساختمانی با جداگر فونداسیون (سمت راست) تحت بار جانبی

جداگرهای فونداسیون علاوه بر آن که امکان حرکت در طی یک زلزله را مهیا می‌نمایند، بلکه به نحوی طراحی می‌شوند که توانایی اتلاف انرژی را نیز داشته باشند. این موضوع موجب افزودن میرایی به سیستم و کاهش بیشتر پاسخ لرزه‌ای ساختمان می‌گردد.

با وجود آن که جداگرهای فونداسیون موجب تحمیل هزینه‌های اضافی به فونداسیون ساختمان می‌گردد، اما کل هزینه طراحی و ساخت تنها مقدار کمی بیشتر از یک ساختمان متداول خواهد بود. این امر بدین خاطر است که جداگر فونداسیون به محافظت از هر گونه ملحقات و سازه بالاتر از صفحه جداکننده کمک خواهد کرد. از این تکنیک می‌توان برای مقاوم سازی ساختمان‌های موجود نیز بهره برد. در عمل، کماکان به مقداری مقاومت جانبی برای مقابله با نیروهای روزانه باد نیاز داریم.

اگرچه جداگرهای فونداسیون در حال حاضر یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین تکنیک‌های مقابله با صدمات سازه‌های بتنی می‌باشند، اما از آن نمی‌توان برای کلیه سازه‌ها بهره برد. جداگرهای فونداسیون به این علت ثمربخش هستند که موجب کاهش سختی افقی ساختمان می‌گردد. بیشترین اثر بخشی این جداگرها در ساختمان‌های کم ارتفاع تا متوسط است که روی زمین محکم ساخته شده‌اند. سازه‌های بلندتر که نیروهای واژگون کننده بیشتری دارند، به سادگی نمی‌توان با استفاده از جداگرهای فونداسیون مقاوم سازی کرد. برای ساختمان‌هایی که بر خاک به شدت سست قرار دارند نیز جداگرهای فونداسیون گزینه مناسبی نیستند.

بایستی به این مطلب نیز اشاره داشته باشیم که با وجود آنکه جداگرهای فونداسیون یک استراتژی مؤثر برای کاهش اثرات شتاب افقی زمین می‌باشند، اما دارای اثر کمی بر روی شتاب قائم هستند. شتاب قائم سبب برخی از ویران‌کننده‌ترین وقایع می‌شود و به سختی قادر به کاهش نیروهای طراحی سازه خواهند شد. در طی زلزله فوریه ۲۰۱۱، حومه شهر کرایستچرچ متحمل بزرگ‌ترین شتاب‌های قائم در طی تاریخ خود شد که مقدار آن بالغ بر ۲g یا دو برابر شتاب ثقلی زمین بود.

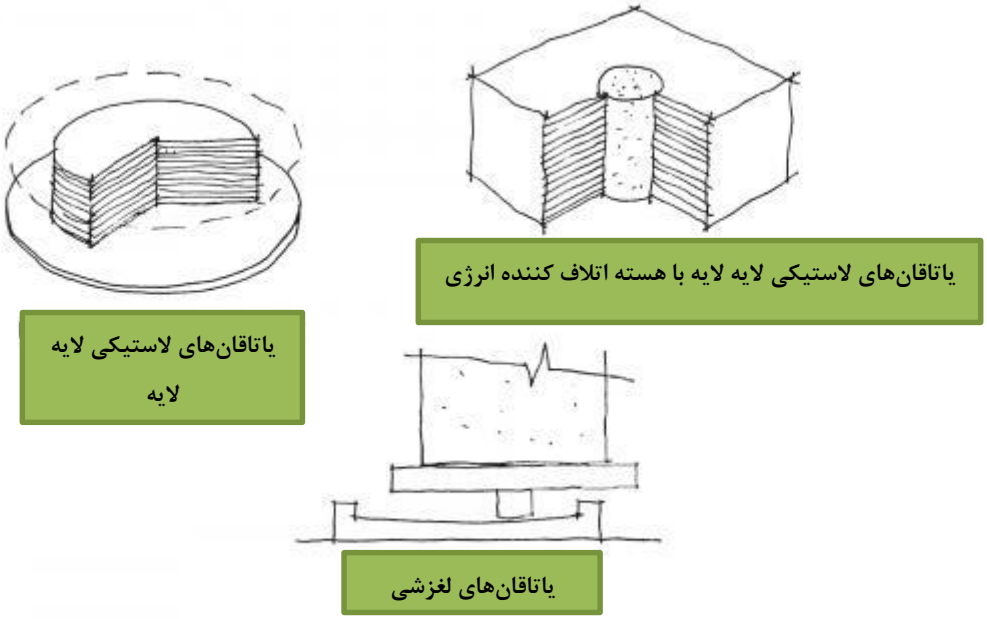
جداگرهای فونداسیون دارای شکل‌های بسیاری اعم از یاتاقان‌های لغزشی، ورقه‌های فلزی صلب و بالشتک‌های لاستیکی بزرگ بوده اما به دو دسته کلی یاتاقان‌های الاستومری و جداگرهای لغزشی تقسیم می‌گردد.

یاتاقان‌های الاستومری

یک یاتاقان الاستومری عمدتاً متشکل از لایه‌های متناوبی از ورق‌های فلزی و یک الاستومر نازک نظیر لاستیک طبیعی یا نئوپرن است.

در یک یاتاقان لاستیکی چندلایه، لایه‌ها به طریقی به یکدیگر می‌چسبند که بیشترین صلبیت ممکن در راستای قائم و بیشترین انعطاف پذیری در راستای افقی ایجاد شود. وجوه فوقانی و تحتانی یاتاقان متناسب با ورقه‌های فولادی هستند که به سطح فوقانی فونداسیون و سطح زیرین ساختمان متصل هستند.

نمونه مشابهی از این جداگرها موسوم به یاتاقان لاستیکی سربی، از یک هسته سربی تشکیل شده که تا مرکز آن امتداد یافته و به هنگام تغییر شکل افقی آن، به مانند یک اتلاف کننده انرژی عمل می‌نماید.



انواع متداول یاتاقان‌های جداگر فونداسیون

سیستم‌های جداگر لغزان

نحوه عملکرد جداگر لغزان بدین ترتیب است که امکان حرکت مستقل ساختمان نسبت به فونداسیون را مانند غلتکی که در بالا تشریح گردید، فراهم می‌کند.

یک جداگر لغزشی متداول موسوم به یاتاقان لغزشی مدور، از یک سطح کاو و یک یاتاقان کروی کم اصطکاک یا بالشتک برای نگهداری ساختمان استفاده می‌نماید. در طی یک زلزله، یاتاقان کروی در راستای سطح کاو لغزش می‌کند و به دلیل شکل کاو بودن آن در هر دو راستای افقی و قائم جابجا می‌شود. انرژی اتلاف شده در این سیستم برابر است با نیروی مورد نیاز برای بالا بردن ساختمان در نزدیکی لبه‌های بیرونی ضربدر ارتفاع بالارونده. این مقدار برای محدود نمودن نیروهای جانبی وارد بر ساختمان کفایت می‌کند.

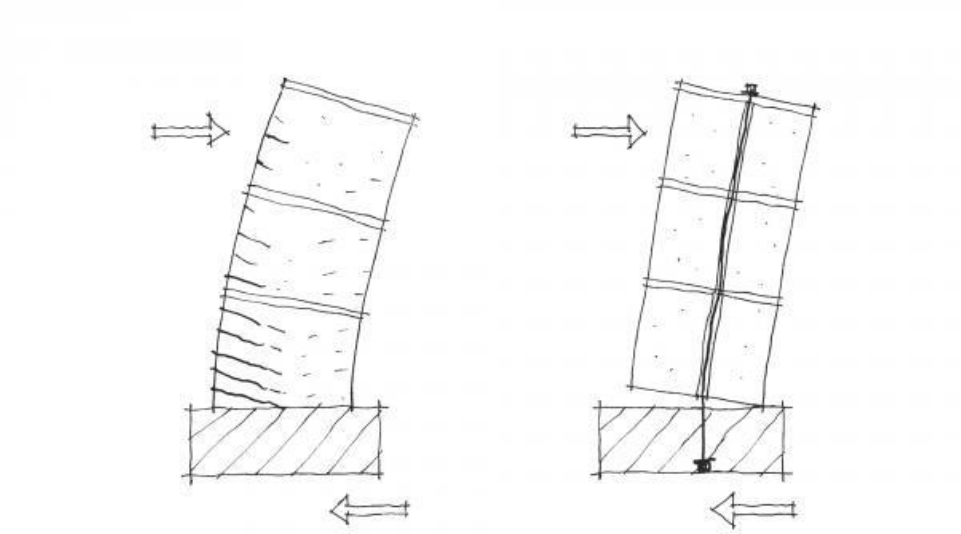
سیستم پس تنیده با استفاده از تکنولوژی پرس

سیستم پس تنیده، تکنیکی برای مقاوم سازی یک ستون یا تیر به واسطه اعمال فشار بر آن، توأم با کابل‌های پیش تنیدگی یا میلگردهای فولادی پر مقاومت غیر چسبنده می‌باشد. کابل‌ها به نحوی کشیده می‌شوند که در طی عمر ساختمان در وضعیت ثابتی به لحاظ تنش باقی بماند. این تکنیک به واسطه گیرداری و سفت کردن اعضا در کنار یکدیگر، موجب افزایش مقاومت سازه می‌گردد.

سیستم سازه‌ای و لرزه‌ای PREcast یا PRESSS، نوعی سیستم کم خسارت است که از تکنولوژی پس تنیده بهره می‌برد.

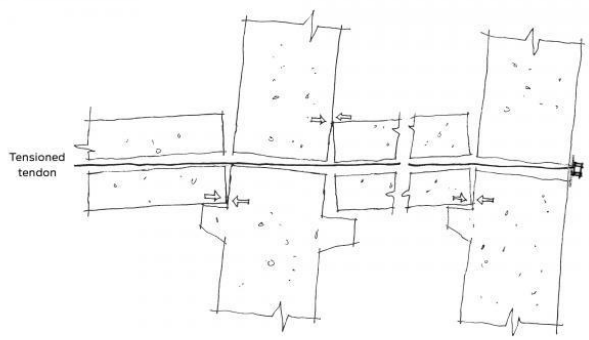
این سیستم از مجموعه‌ای از اعضای بتنی پیش ساخته تشکیل شده که به کمک کابل‌های پیش تنیدگی غیر چسبنده یا میلگردهای فولادی به هم متصل می‌شوند تا یک قاب خمشی را پدید آورند.

در طی یک زلزله کوچک، سختی اضافی قاب موجب کاهش حرکات سازه خواهد گردید. به هنگام مواجهه با نیروهای لرزه‌ای جانبی بزرگ‌تر، عملکرد ارتجاعی کابل‌های پیش تنیدگی موجب باز شدن شکاف‌های مابین اعضای منفرد در درون قاب می‌گردد. سازه دچار نوسان یا غلتش جانبی کنترل شده‌ای می‌گردد. کابل‌های پیش تنیده، اتصالات را کشیده و بنابراین، سازه را به هنگام کاهش لرزه به موقعیت اصلی خود بازمی گردانند.



مقایسه یک دیوار برشی تسلیم شونده (سمت چپ) و یک دیوار غلت خورده (سمت راست) تحت بار جانبی.

بر طبق انجمن سیمان و بتن نیوزیلند (CCANZ)، نکته اصلی در سیستم PRESSS آن است که برخلاف سازه‌های متداولی که در آن فولاد به صورت فیزیکی به بتن مجاور خود چسبیده یا در آن محصور گردیده است، تاندون‌های فولادی به هم نچسبیده‌اند. در طی یک زلزله، اعضای بتنی در محل اتصالات به سادگی از سویی به سوی دیگر نوسان می‌کنند و در عین حال کابل‌های فولادی نیروهای کششی لازم برای نگهداری همه چیز را در موقعیت خود تأمین می‌کند.



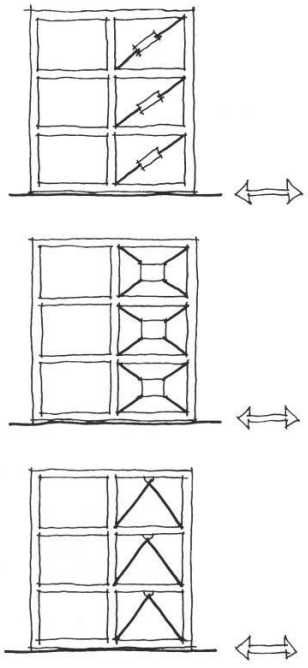
سیستم PRESSSموجب ایجاد یک حرکت غلتشی کنترل شده در پاسخ به رویداد لرزه‌ای می‌گردد.

میراگرهای درون بتن

میراگر یک مکانیسم اتلاف کننده انرژی است که در یک سازه قرار می‌گیرد و ظرفیت جذب انرژی لرزه‌ای در آن را افزایش می‌دهد. همه ساختمان‌ها به طور طبیعی انرژی را اتلاف می‌نمایند؛ اما میراگرها تا حد زیادی موجب افزایش قابلیت ساختمان در حذف سریع انرژی از سیستم و در نتیجه از بین بردن مقدار قابل ملاحظه‌ای از خسارات حاصله می‌شوند.

عملکرد دستگاه‌های میراگر سرکوب کردن واکنش ساختمان نسبت به نیروهای جانبی است. از این دستگاه‌ها می‌توان به صورت مجزا یا صورت بخشی از یک سیستم هیبریدی استفاده کرد تا عملکرد سیستم‌های کم خسارت دیگر مثل جداگرهای فونداسیون یا PRESSS ارتقا یابد. استفاده از میراگرهای تقویت کننده در یک سازه غالباً نسبت به جداگرهای تقویت کننده فونداسیون سهولت بیشتری دارند. این دستگاه‌ها غالباً برای آن دسته از ساختمان‌های مرتفعی مناسب است که از تکنیک جداگر فونداسیون نمی‌توان برای آن‌ها بهره برد.

محدوده وسیعی از دستگاه‌های میراگر برای سازه‌های بتنی در دسترس می‌باشد.

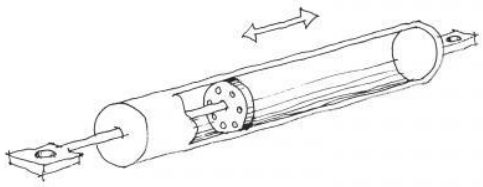


آرایش متداول دستگاه‌های میراگری در یک قاب خمشی

میراگر سیال

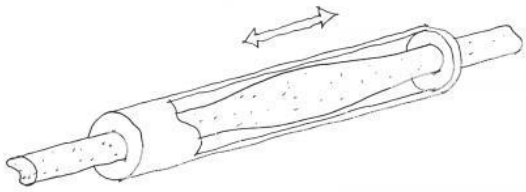
میراگر سیال از یک پیستون محصور در سیلندری تشکیل شده که مملو از یک سیال ویسکوز نظیر روغن سیلیکون می‌باشد. میراگرها به واسطه انتقال انرژی جنبشی از سازه به سیال در قالب حرارت، در زمان فشرده شدن پیستون به درون آن عمل می‌نماید که چیزی شبیه ضربه گیر ماشین خواهد بود.

میراگرهای سیال به گونه‌ای طراحی می‌شوند که به سادگی انرژی را اتلاف نموده و یا یک عملکرد فنری دارند که با نیروی عامل تغییر مکان مقابله می‌نمایند. این میراگرها یکی از بهترین روش‌ها برای کاهش خسارات ناشی از شتاب‌های بسیار بزرگ و سریع زمین می‌باشند. با این حال، هزینه میراگرهای ویسکوز غالباً قابل ملاحظه می‌باشد.



میراگر سیال ویسکوز متداول

یکی از انواع میراگرهای سیال، میراگر بیرون آمده سربی است که از یک هسته سربی صلب به عنوان یک ماده ویسکوز بهره می‌برد. این دستگاه به واسطه فشردن یک شفت، همراه با ایجاد یک شکم در هسته مجوف سربی عمل می‌نماید. سیستم مذکور موجب انتقال انرژی جنبشی به سرب و در نتیجه، ایجاد گرما و نرم‌تر شدن مواد می‌گردد.



یک میراگر اکستروژن سربی متداول

میراگرهای ویسکوالاستیک

میراگر ویسکوالاستیک از یک ماده الاستومری نظیر لاستیک یا نئوپرن بهره می‌برد که مابین دو وجه فلزی فشرده و محصور گردیده است. در طی یک زلزله، انرژی توسط برش کنترل یافته الاستومر جذب می‌گردد. چندین متغیر در این زمینه اعم از میراگرهای ویسکوالاستیک سیال و جامد و سیستم‌های مشتمل بر اثرات اصطکاکی وجود دارد.

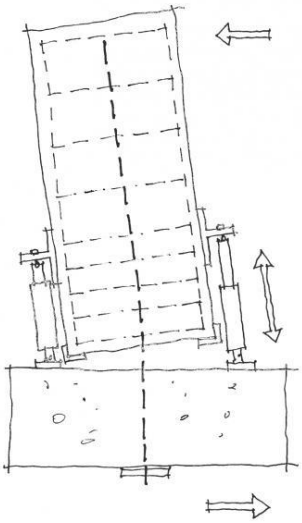
میراگرهای هیسترسیس

یک میراگر هیسترسیس یا میراگر تسلیمی از یک عضو فلزی و اغلب فولادی تشکیل می‌شود. در طی یک زلزله، میراگر به واسطه تسلیم فلز خواه به صورت خمشی، کششی و فشاری و بسته به طراحی میراگر، انرژی را جذب خواهد نمود.

ورقه‌های خمشی U شکل و ورقه‌های خمشی مثلثی، انواع متداولی از میراگرهای هیسترسیس خمشی مورد استفاده در بسیاری از انواع سازه‌ها، اعم از بتنی می‌باشند. ورقه‌های خمشی U شکل بین دیوارهای سازه‌ای نزدیک به هم که امکان غلتیدن آن‌ها به صورت مستقل وجود دارد، نصب می‌گردند. این ورقه‌ها به نحوی طراحی می‌شوند که تسلیم فولاد در کل طول آن پخش شود و مانع از کرنش‌های زیاد و خستگی سیکلی گردد.

دستگاه‌های کششی و فشاری نیز به نحوی طراحی می‌گردند که در طول خود تسلیم شده و تاب مقاومت در برابر کمانش ناشی از فشار را داشته باشند. این امر غالباً به واسطه بهره گیری از یک لوله فولادی به عنوان ماده تسلیم شونده و پر کردن آن با بتن یا اپوکسی به عنوان یک ماده نگه دارنده محقق می‌گردد.

ورقه‌های خمشی U شکل مابین دیوارهای برشی در یک سازه بتنی صلیبی در منطقه جنوبی کرایستچرچ.



میراگرهای تعویض پذیر فولاد نرمه در محل اتصال مابین ستون‌ها یا دیوارها و فونداسیون و مابین ستون‌ها و تیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مترجم: پوریا نخعی

منبع:

http://www.seismicresilience.org.nz/index.php/topics/superstructure/commercial-buildings/concrete-structures/