

اصول مهمی که باید درباره سیستم‌های سازه‌ای هوشمند بدانید.



اجازه دهید در ابتدا بفهمیم، سازه چیست؟ یک سازه (ساختمان‌ها، پل‌ها و برج‌ها) سیستمی است که حامل و / یا انتقال دهنده بارهایی مانند بارهای گرانشی از نوع استاتیکی و یا بارهای ناشی از زلزله، باد یا سونامی از نوع دینامیکی می‌باشد. درست همانند انسان که در مقابل هر نیرو یا فشار خارجی واکنش نشان می‌دهند، یک سازه نیز با تغییر شکل تحت بارهای استاتیک و ارتعاش تحت بارهای دینامیکی واکنش نشان می‌دهد. این رفتار سازه به عنوان پاسخ سازه شناخته می‌شود.

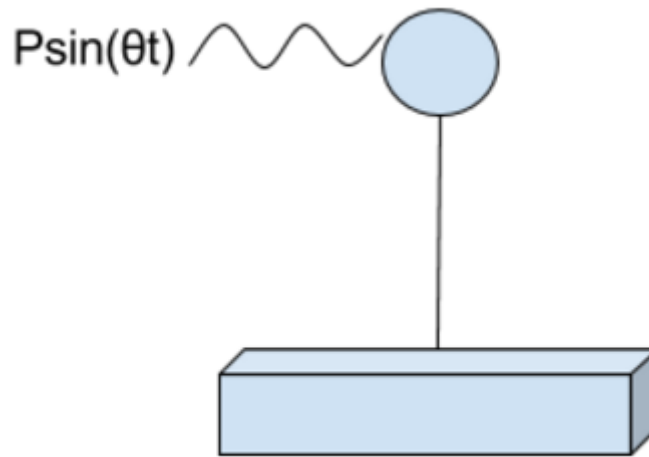
یک سازه معمولی بر اساس علم مصالح (که برای تعیین حالت حدی، انعطاف پذیری کلی مصالح مانند فولاد یا بتن کمک می‌کند)، ریاضیات (برای محاسبه جابجایی، شتاب و سرعت سیستم کمک می‌کند) و مکانیک (به تعیین تعادل و پایداری کمک می‌کند) طراحی شده است. نتایج حاصل از ادغام این زمینه‌ها به طراحان برای اطمینان از ایمنی سازه و سرویس دهی تحت بارهای مورد انتظار کمک می‌کند.

محدودیت‌های طراحی سنتی: رویکرد سنتی سازه را به میرایی ذاتی مصالح با مقادیر کم، شکل پذیری ثابت و وابستگی کامل به میزان صلبیت برای مقاومت در برابر بارها محدود کرده است. انگیزش‌های زیست محیطی همیشه در حال تغییر، سوالاتی در مورد انعطاف پذیری ساختمان‌های مدرن ایجاد کرده زمانی خواهد آمد که سازه‌های مرسوم طراحی شده دیگر قادر به تأمین سطح امنیت زندگی نخواهد بود.

یک سازه هوشمند چیست و چگونه بر محدودیت‌های طراحی سنتی غلبه می‌کند؟ سازه‌های هوشمند از مصالح هوشمند و سیستم‌های قابل تطبیق ساخته می‌شوند که به طور خودکار می‌توانند با تغییرات محیطی محتمل سازگار شوند. سازه هوشمند به هر گونه تغییر در محیط و یا سیستم حساس است، هر گونه مشکل در مکان‌های مهم را تشخیص می‌دهد، داده‌های ثبت شده را ذخیره و پردازش می‌کند و در نهایت فرمان اقدام مناسب برای بهبود عملکرد سیستم و حفظ تمامیت سازه‌ای، ایمنی و بهره برداری را بدهد.

رابطه بین پاسخ سازه و دستگاه‌هایی که سازه را «هوشمند» می‌کنند (MATH ALERT):

سعی می‌کنیم که سازه را با فرض این که یک پاندول معکوس است (سیستمی با یک درجه آزادی) تا جای ممکن ساده کنیم، بنابراین نیروی P در اثر زلزله به شکل سینوسی و با فرکانس تحریک (θ) که تابعی از زمان است به پاندول وارد می‌شود.



پاسخ آونگ معکوس در اثر موج سینوسی و جابجایی $x(t)$ که نسبت به زمین اندازه گیری می‌شود، تعیین می‌شود. برای این کار می‌توان از معادله زیر استفاده کرد:

$$x(t) = e^{-\zeta \omega_n t} (C_1 \cos \bar{\omega}_n t + C_2 \sin \bar{\omega}_n t) + \frac{P \sin(\theta t - \varphi)}{m \sqrt{(\omega_n^2 - \theta^2)^2 + 4\zeta^2 \omega_n^2 \theta^2}}$$

$$\text{where } \varphi = \tan^{-1} [2\zeta \omega_n \theta / (\omega_n^2 - \theta^2)].$$

از این معادله ریاضی نترسید، این معادله فقط برای این است که به شما مبنایی در مورد اینکه یک نیروی قابل اندازه گیری چگونه پاسخی ایجاد می‌کند، بدهد. با اینکه کمی پیچیده به نظر می‌رسد اما در نظر ریاضیدانان و مهندسان سازه این یک مسئله پیش پا افتاده است.

در دنیای واقعی، نیروهای زلزله را نمی‌توان پیش بینی کرد، از این رو شناسایی رفتار سازه در هنگام زمین لرزه دشوار می‌شود. با این وجود، یک دسته از این معادلات پیچیده مبنایی برای نتیجه گیری‌های مهم زیر در مورد چگونگی کاهش دادن پاسخ لرزه‌ای سازه ارائه می‌کند. پاسخ لرزه‌ای به دلایل زیر کاهش می‌یابد:

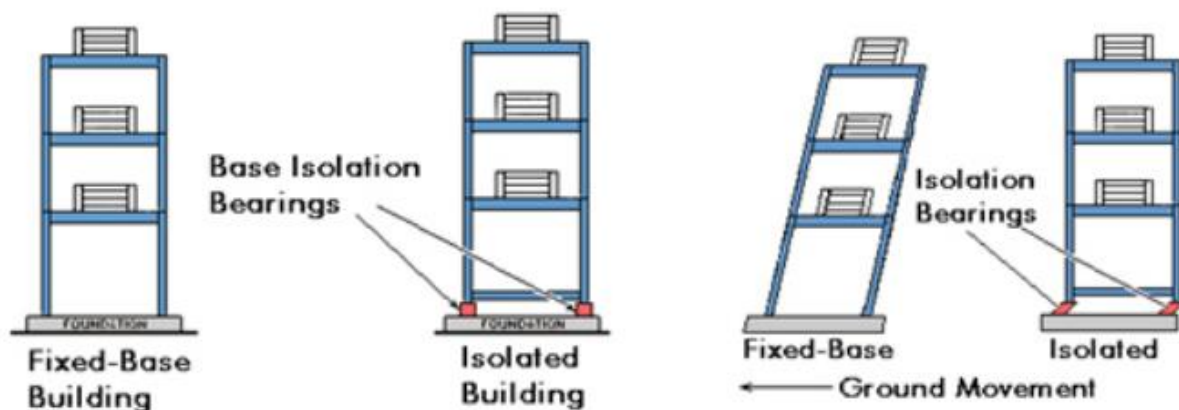
۱. کاهش تحریک زلزله
۲. افزایش نسبت میرایی ζ
۳. افزایش اختلاف بین فرکانس طبیعی سیستم ω_n و فرکانس تحریک θ .

این نتیجه گیری توسط سازه‌های هوشمند از طریق مکانیسم‌های زیر درک می‌شود:

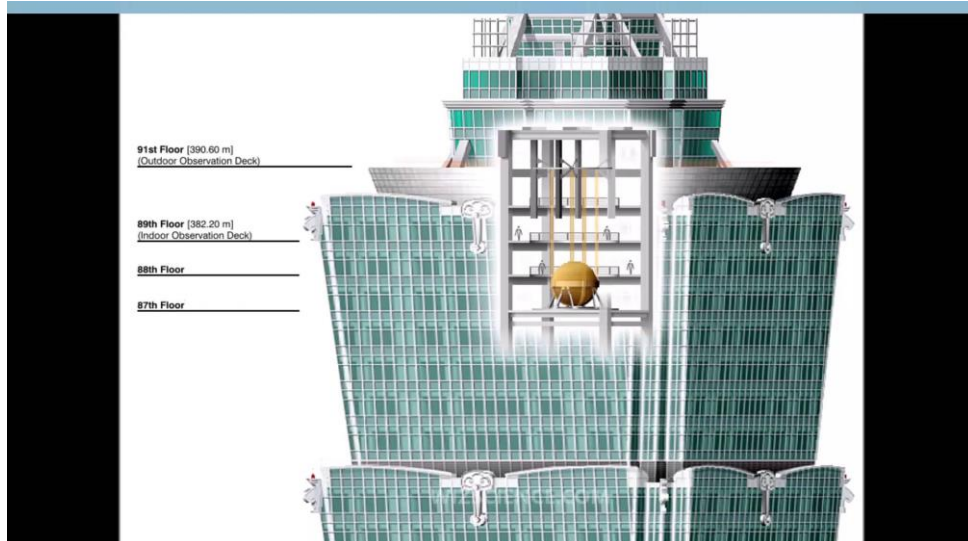
- سیستم‌های دارای جداساز لرزه‌ای که انتقال انرژی حرکات زلزله زمین لرزه به سازه را قطع می‌کنند.
- دستگاه‌های کنترل یا سیستم‌هایی که نیروی کنترل شونده اعمال می‌کنند. در این دستگاه‌ها از کمک فنر و میراگر جرمی، تاندون‌ها و یا بادبند، برای افزایش میرایی استفاده می‌شود.
- دستگاه‌های کنترل و یا سیستم‌هایی که از قابلیت جذب انرژی مواد به وسیله ویسکوزیته و یا ویژگی‌های غیرخطی، مانند تسلیم شدگی استفاده می‌کنند.
- دستگاه‌های کنترل یا سیستم‌هایی که پیوند طبیعی سازه را از فرکانس غالب حرکات زمین دور می‌کند.

چه نوع دستگاه‌ها یا تکنیک‌های هوشمندی برای حفظ ارتعاشات خارجی وجود دارد؟

جداسازهای فونداسیون: فونداسیون ساختمانی که بر روی یک ماده با سختی جانبی کم مانند لاستیک قرار دارد، رفتاری انعطاف پذیر خواهد داشت. در حین زلزله، فونداسیون انعطاف پذیر قادر به فیلتر کردن فرکانس‌های بالای حرکت زمین است و مانع از آسیب و یا فروریزش ساختمان می‌شود. به طور کلی دو نوع اصلی از جداسازها وجود دارد: الاستومریک و بلبرینگ‌های لغزشی.



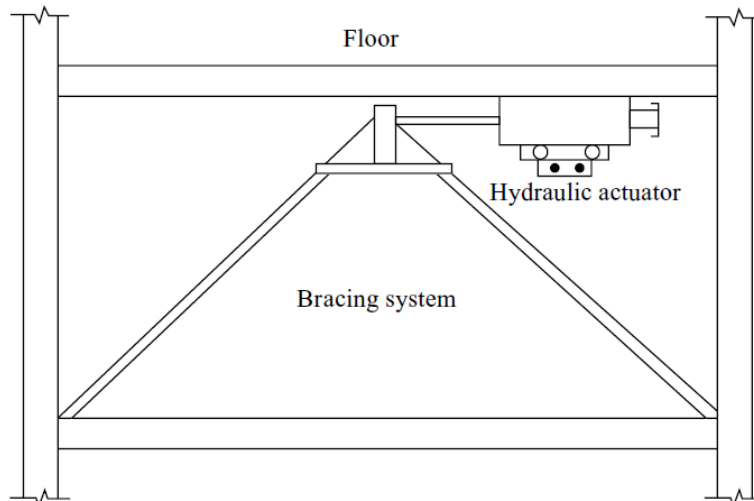
کنترل غیرفعال: دستگاه‌های مکانیکی هستند که نیاز به هیچ نیرویی برای کنترل تحریکات خارجی ندارند. به عنوان مثال: میراگر جرمی تنظیم شده (TMD)، میراگر مایع تنظیم شده (TLD)، دستگاه‌های اصطکاکی، دستگاه‌های متالیک، میراگرهای ویسکو - الاستیک و میراگرهای مایع ویسکوز.



(میراگر جرمی تنظیم شده در مرکز مالی تایپه ۱۰۱، منبع تصویر: slate.com)

کنترل فعال: این دستگاه‌ها نیازمند نیروی خارجی برای تولید نیروی کنترل هستند. این روش‌های نوآورانه با استفاده از دستگاه‌های خاص، مانند محرک الکترو هیدرولیک و با برگرداندن پاسخ سازه‌ای اندازه گیری شده، نیروی کنترل مورد نیاز در برابر زلزله را تولید می‌کنند. این نیروی کنترل می‌تواند به عنوان میرایی اضافی عمل کند و در نتیجه موجب کاهش ارتعاشات سازه‌ای تحت تحریکات عبور و مرور، باد و زلزله شود.

به عنوان مثال می‌توان به سیستم میراگر جرمی فعال، سیستم تاندون فعال، سیستم مهاربند فعال و سیستم تولید پالس اشاره کرد.



(سیستم مهاربندی فعال با محرک هیدرولیکی، سازه‌های هوشمند)

کنترل نیمه فعال: این سیستم‌ها میراگرهای هوشمندی هستند که سیستم تطبیقی آن‌ها اطلاعات در مورد تحریک و پاسخ سازه را جمع آوری کرده و سپس به منظور افزایش عملکرد آن رفتار میراگر را بر اساس این اطلاعات تنظیم می‌کنند. یک سیستم میراگر نیمه فعال شامل حسگرها، یک کامپیوتر برای کنترل، محرک فعال و یک دستگاه میرایی غیرفعال است. سنسورها تحریک و / یا پاسخ سازه را اندازه گیری می‌کنند.

کامپیوتر کنترل مقادیر اندازه گیری شده را پردازش کرده و یک سیگنال کنترل برای محرک تولید می‌کند. سپس محرک، به جای اعمال مستقیم نیرو به سازه، رفتار دستگاه غیرفعال را تنظیم می‌کند. به عنوان مثال میراگر جرمی تنظیم شده نیمه فعال، جاذب ارتعاشات نیمه فعال (SAVA)، دستگاه‌های کنترل سختی فعال (SAVS) و غیره.

آیا این سیستم‌ها باید در تمام سازه‌ها نصب شود؟

خیر. از آنجا که استفاده از آن‌ها بسیار هزینه بر است، بنابراین در حال حاضر از این سیستم‌ها در سازه‌هایی با شرایط زیر استفاده می‌شود:

۱. سازه‌ای که تحت تحریکات غیرمعمول، مانند بادهای شدید و یا زلزله‌های قوی قرار دارد.
۲. سازه‌هایی با کاربری‌های مهم و ضوابط ایمنی بالا، مانند بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش نشانی و نیروگاه‌ها.
۳. سازه‌هایی که نیازمند ملاحظات بهره برداری هستند، مانند برج‌ها، ساختمان‌های بلند، سقف‌های دارای دهانه بلند یا پل‌ها و دیگر سازه‌های انعطاف پذیر. تحت تحریک‌های بزرگ زیست محیطی، ارتعاشات بیش از حد سازه می‌تواند راحتی سرنشینان و یا ایمنی سازه‌ای را تحت تأثیر قرار دهد.

مترجم: مریم گلستانی

منبع:

<https://www.linkedin.com/pulse/important-fundamentals-you-need-know-smart-structure-pradit/>