تأثیر شکل‌پذیری سازه‌های ساختمانی در طراحی مقاوم در برابر زلزله

یکی از موارد مهم در حین طراحی مقاوم در برابر زلزله ساختمان‌ها و سازه‌ها؛ شکل‌پذیری است. در این پست در مورد شکل‌پذیری و اهمیت آن در طراحی بحث می‌شود.

برای درک اهمیت شکل‌پذیری و اثر آن بر عملکرد ساختمان ابتدا باید بدانیم که شکل‌پذیری چیست. شکل‌پذیری در حالت کلی در علم مهندسی مواد به‌عنوان نسبت کرنش نهایی به کرنش جاری شدن مصالح تعریف می‌شود.

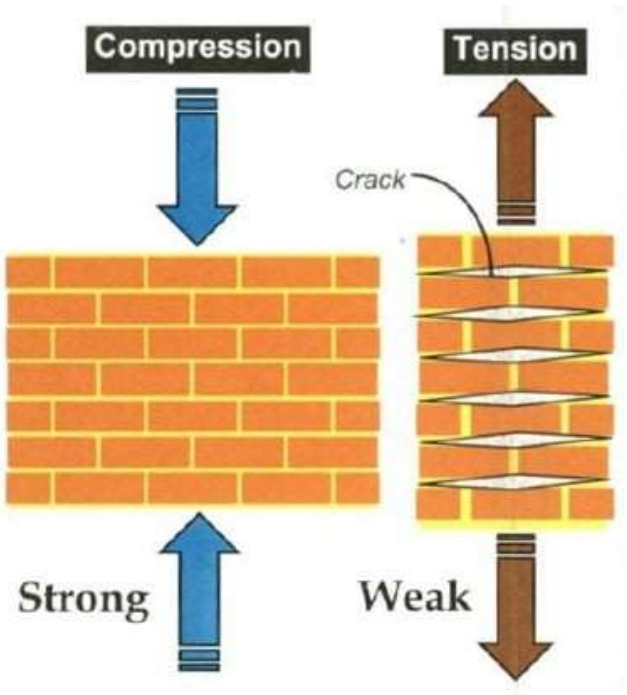
شکل‌پذیری را باید به‌عنوان قابلیت یک سازه برای تحمل تغییر شکل‌های بزرگ‌تر بدون فروریختن درک کنیم. یک مهندس باید چنین عاملی را در طراحی مدنظر قرار دهد و مطمئن شود که سازه طراحی شده این بارها را بدون ایجاد تغییر شکل‌های بزرگ‌تر یا فروریختن، تحمل می‌کند. بدین منظور باید شکل‌پذیری را در ساختمان در نظر گرفت و یا آن را افزایش داد.

شکل‌پذیری مصالح سازه‌ای

شکل‌پذیری آجر

یکی از پراستفاده‌ترین مصالح برای ساخت و ساز، آجرهای ساخته شده از رس و ملات سیمان هستند. در مناطق جلگه‌ای به دلیل دسترسی به مواد تشکیل دهنده ملات سیمان، از ملات گل استفاده می‌شود.

به لحاظ مشخصات سازه‌ای این مصالح مقاومت فشاری بالایی دارند اما در کشش همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، عملکرد ضعیفی خواهند داشت.



شکل ۱. مصالح بنایی در فشار، قوی و در کشش، ضعیف هستند

در اینجا فشردگی به معنای فشار آوردن دو انتهای دیوار به همدیگر است. مصالح بنایی در برابر این فشار مقاومت می‌کنند. این مصالح نمی‌توانند در مقابل نیروی کششی مقاومت کنند.

شکل‌پذیری بتن

بتن ماده دیگری است که در چهار دهه اخیر به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که می‌دانید بتن از سیمان، سنگ‌دانه و آب تشکیل شده است. سنگ‌دانه‌های بتن از سنگ‌دانه‌های ریز و درشت تشکیل شده که با نسبت مناسبی از آب مخلوط می‌شوند

بتن هم در فشار، قوی و در کشش، ضعیف است. بتن در مقایسه با مصالح بنایی مقاومت فشاری بالاتری دارد اما در مقابل نیروهای کششی ضعیف عمل می‌کند.

با این وجود مقاومت بتن به نسبت‌های آب بستگی دارد و مقدار کم یا زیاد آب، مقاومت مخلوط بتنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بتن و مصالح بنایی شکننده هستند و به‌طور ناگهانی دچار شکست می‌شوند.

شکل‌پذیری آرماتورهای فولادی

فولاد یکی از مقاوم‌ترین مصالح مورد استفاده در ساخت و ساز است که در ساختمان‌های بتنی و مصالح بنایی به شکل آرماتورهای تقویتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آرماتورها را می‌توان با قطرهای مختلف در بازار پیدا کرد. معمولاً آرماتورهایی با قطر ۶ تا ۴۰ میلی‌متر به‌عنوان آرماتورهای تقویتی به کار می‌روند.

دلیل استفاده از فولاد را می‌توان ویژگی‌های قابل قبول آن هم در کشش و هم در فشار دانست. مهم‌تر از همه اینکه فولاد ماده‌ای شکل‌پذیر است. این ویژگی به ما کمک می‌کند که از فولاد برای افزایش شکل‌پذیری در ساختمان استفاده کنیم. این ویژگی در المان‌های سازه‌ای باعث می‌شود که تغییر طول بیشتری را بدون فروریختن تحمل کنند.

شکل‌پذیری بتن مسلح

بتن به همراه آرماتور فولادی، تحت عنوان بتن مسلح در ساختمان‌سازی استفاده می‌شود؛ بنابراین RCC نوعی از مصالح ساختمانی ترکیبی است.

جایگذاری آرماتور تقویتی فولادی در بتن به نحوی انجام می‌شود که تحت بار نهایی، فولاد قبل از رسیدن بتن به حداکثر مقاومت فشاری، به حداکثر مقاومت کششی برسد. این کار باعث شکست شکل‌پذیر سازه می‌شود.

در سازه‌های خاصی انتظار می‌رود شکست شکل‌پذیر وجود داشته باشد. این به بدان معنی نیست که آرماتور فولادی اضافی نقش خوبی ایفا خواهد کرد. آرماتور اضافی هم برای سازه مضر است.

نیاز به آرماتورهای تقویتی شکل‌پذیر برای سازه‌های ساختمانی

اگر بخواهیم که سازه طی بزرگ‌ترین زلزله‌ی مورد انتظار در منطقه‌ی مورد نظر، الاستیک باقی بماند، باید از آرماتورهای تقویتی شکل‌پذیر استفاده کنیم؛ اما افزایش خاصیت الاستیک روشی مقرون‌به‌صرفه در ساخت و ساز نیست.

برای صرفه‌جویی اقتصادی و تأمین ایمنی در سازه‌های ساختمانی که زلزله‌هایی پیش‌بینی نشده را تجربه می‌کنند، بهترین روش این است که اجازه دهیم سازه متحمل آسیب‌هایی به شکل پلاستیسیته، شکست، خرد شدن و ... شود و اما مقاومت آن در برابر بار عمودی به‌واسطه تغییر شکل حین زلزله حفظ شود.

برای مثال ستون‌هایی را در نظر بگیرید که باید شکل‌پذیر طراحی شوند. بدین منظور می‌توان بتن را با آرماتورهای تقویتی محدود و از کمانش آرماتورهای تقویتی طولی جلوگیری کرد. این کار به ستون کمک می‌کند که بتواند بارهای عمودی را حتی بعد از ترک خوردن، خرد شدن بتن یا جاری شدن آرماتورهای تقویتی؛ تحمل کند.

در این روش مقادیر نیروی سختی در سازه و اجزای مربوط کاهش می‌یابد. اگر سازه الاستیک باقی می‌ماند، نیروهای داخلی بزرگ‌تر و برش پایه‌ی کل بیشتری هم وجود خواهد داشت.

برش پایه‌ی کل را می‌توان به‌صورت جمع نیروهای برشی داخلی در تمام اعضای سازه‌ای باربر عمودی تعریف کرد؛ بنابراین شکل‌پذیری در مصالح به این معنی است که سازه دچار آسیب می‌شود، اما نیروهای داخلی کمتری خواهیم داشت. این مبتنی بر پاسخ دینامیکی است.

ضریب اصلاح یا ضریب شکل‌پذیری هم در آیین‌نامه‌های ساختمانی تمام دنیا وجود دارد. ضریب شکل‌پذیری بستگی به سیستم سازه‌ای جانبی دارد. برای سیستم‌هایی که باید تغییر شکل‌های بزرگ‌تری را بدون فروریختن تحمل کنند، ضریب شکل‌پذیری هم بالاتر خواهد بود.

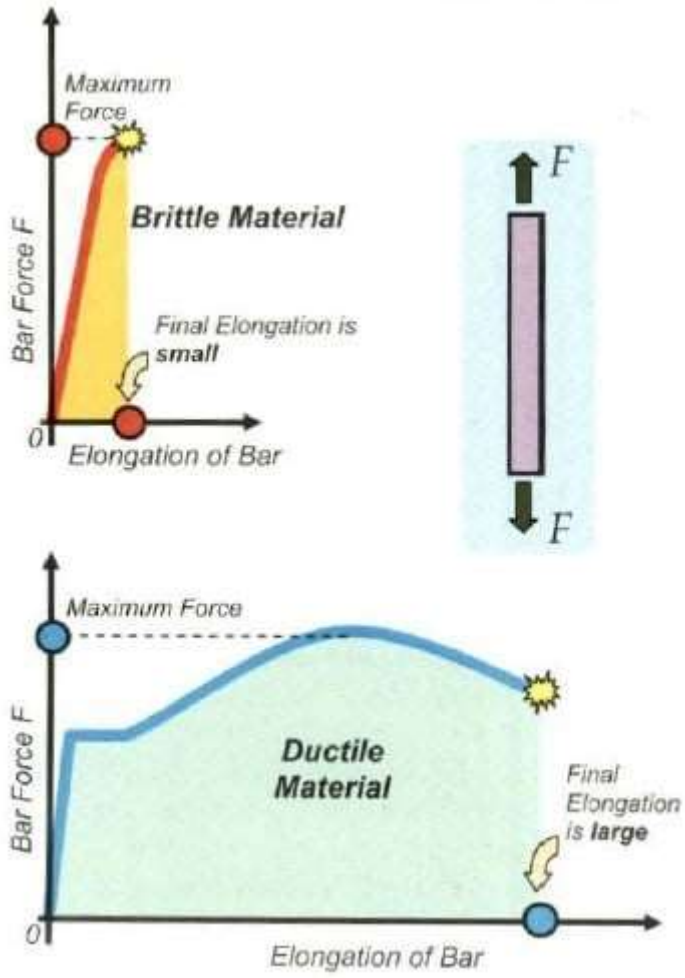
بنابراین برای یک سیستم سازه‌ای که باید تغییر شکل‌های کوچکی را قبل از فروریختن تحمل کند، ضریب شکل‌پذیری پایین‌تری خواهیم داشت.

طراحی ظرفیت برای افزایش شکل‌پذیری در سازه

معیاری که در فوق توضیح داده شد، به‌عنوان روش طراحی ظرفیت تعریف می‌شود که در آن شکل‌پذیری در اجزای ساختمان جای داده می‌شود. این روش مشکل تعیین مکانیزم شکست اعضا را هم در نظر می‌گیرد.

مفهوم آن هم این است که با افزایش ظرفیت اعضا در دیگر مودهای احتمالی شکست، اعضا را مجبور کنیم که شکست شکل‌پذیری را تجربه کنند.

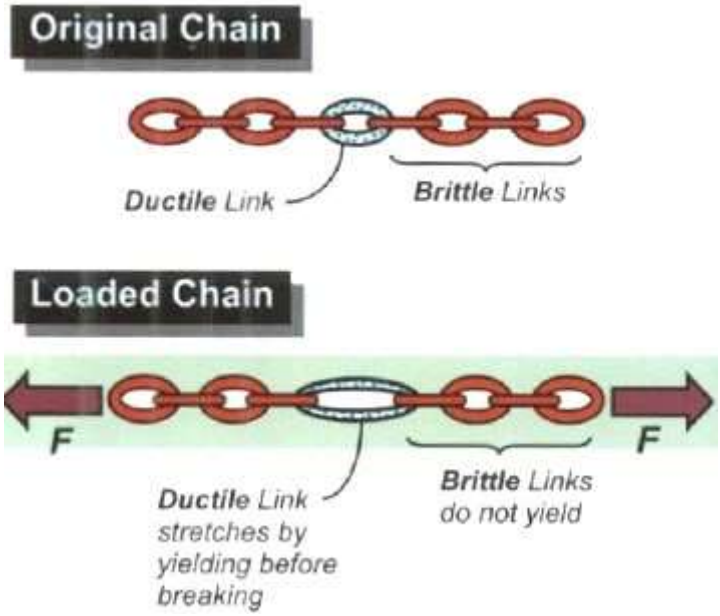
دو آرماتور با طول و مساحت سطح مقطع یکسان را در نظر بگیرید. یکی از آن‌ها از مصالح شکل‌پذیر و دیگری از مصالح شکننده تشکیل شده است. کشیدن دو انتهای این دو آرماتور همانند شکل ۲ باعث خواهد شد که آرماتور تحت بار زیاد بشکند.



شکل ۲. مصالح شکل‌پذیر و مصالح شکننده

وقتی یک زنجیر شکننده از دو انتها کشیده شود، ناگهان دچار شکست خواهد شد. در داخل زنجیر هم ضعیف‌ترین حلقه زودتر خواهد شکست. اگر ما ضعیف‌ترین حلقه را شکل‌پذیر کنیم، می‌توانیم تغییر طول بیشتری را به دست بیاوریم و زنجیر را شکل‌پذیرتر کنیم. در ساختمان‌ها، ما همین مفهوم را به‌صورت یک زنجیره‌ی شکل‌پذیر اعمال می‌کنیم.

نیروهای اینرسی لرزه‌ای از کف‌ها به تیرها و سپس به ستون‌ها منتقل می‌شوند. شکست ستون، پایداری ساختمان را بیش از شکست تیر تحت تأثیر قرار می‌دهد. پس بهتر است که تیرها را به‌عنوان حلقه‌های شکل‌پذیر زنجیر انتخاب کنیم (نه ستون‌ها). این روش طراحی، با عنوان تیر ضعیف – ستون قوی شناخته می‌شود.



شکل ۳. زنجیر شکل‌پذیر در مفهوم طراحی ظرفیت

مترجم: علی‌اکبر خلیلی

منبع:

https://theconstructor.org/structural-engg/ductility-for-earthquake-resistant-design-buildings-structures/#/۱۴۱۵۸