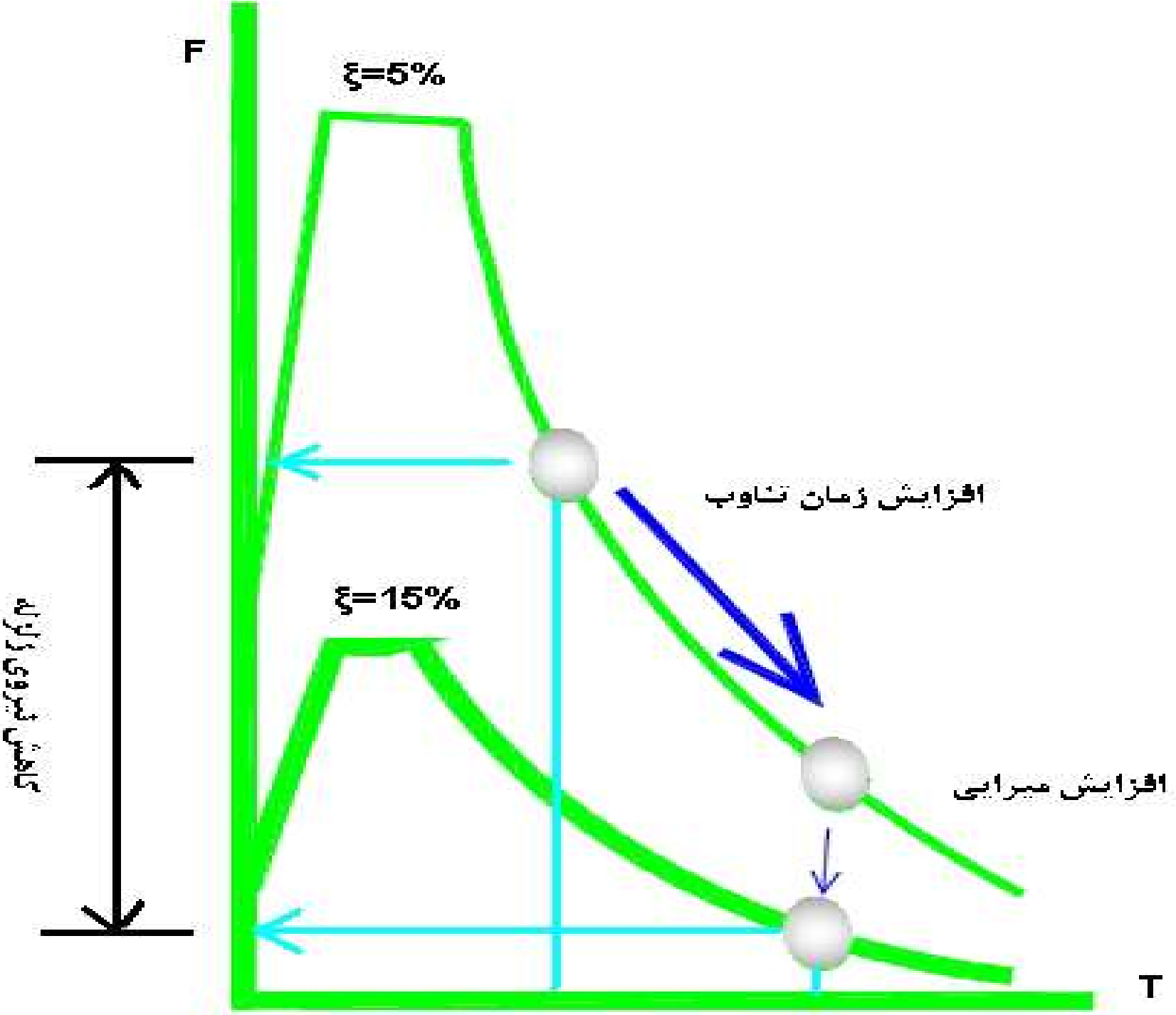
بسم الله الرحمن الرحيم

# سیستم های مدرن جنب انرژِی در

# سازه های فولادی

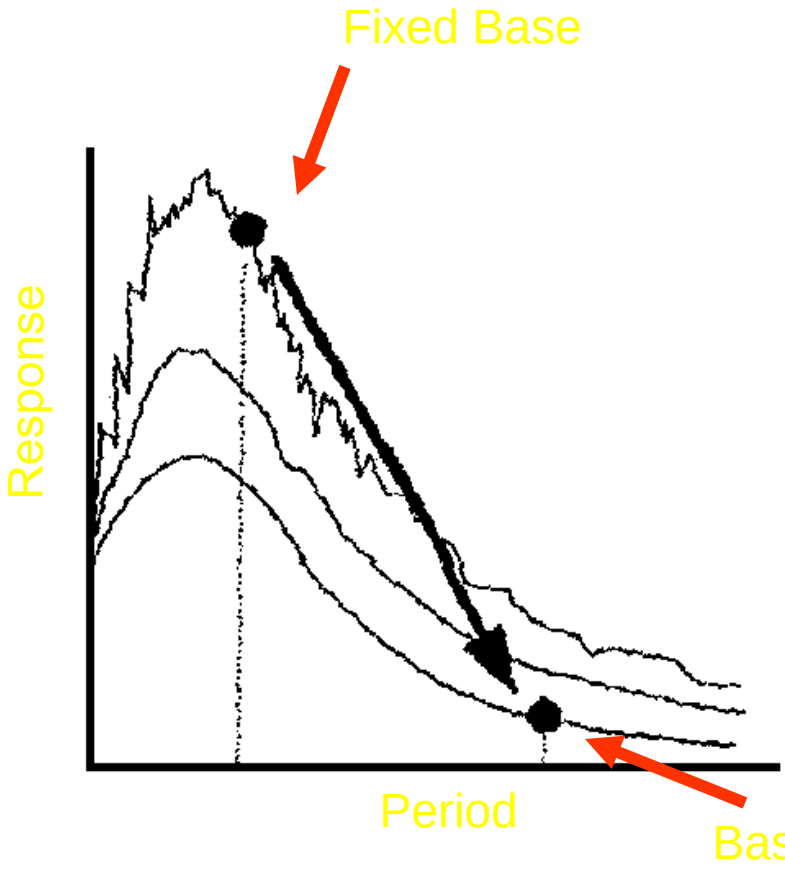
# 1- سیستم های جداگر لرزه ای
# Base Isolation

- در سالهاي اخير، تكنولوژي جداسازي لرزه اي پيشرفت قابل ملاحظه اي داشته است . نصب سيستمهاي جداساز لرزه اي منجربه *افزايش زمان تناوب اصلی سازه* و كاهش نيروهاي وارد بر آن ميگردد .اين روش براي *ساختمانهاي كوتاه و متوسط* بدليل پائين بودن زمان تناوب آنها، موثرتر از ساختمانهاي بلند ميباشد .نصب جداگر باعث افزايش *زمان تناوب و ميرايی سازه* ميگردد.
- عملكرد سيستم هاي جداسازي شده نسبت به ساختمانهاي داراي پايه ثابت در حين زلزله هاي معمولي و شديد بهتر مي باشد .
- مهمترين عامل در جداسازي لرزه اي افزايش شكل پذيري است، كه باعث افزايش پريود مي شود و به علت افزايش پريود در حين زلزله هاي شديد از *تشديد جلوگيري شده* و پاسخ شتاب لرزه اي كاهش مي يابد.
- جداسازها درساختمانها معمولا بين صفحه ستون و ستون قرار مي گيرند .اين مواد بايستی داراي سختي كافي باشند تا بتوانند نيروي عمودي ستونها را تحمل نمايند وهمچنين در جهت افقي نيزداراي شكل پذيري كافي باشند تا انرژي توليد شده توسط حركت هاي زمين را جذب نمايند.


F
ξ=5%
ξ=15%
افزایش زمان تناوب
افزایش میرایی
T

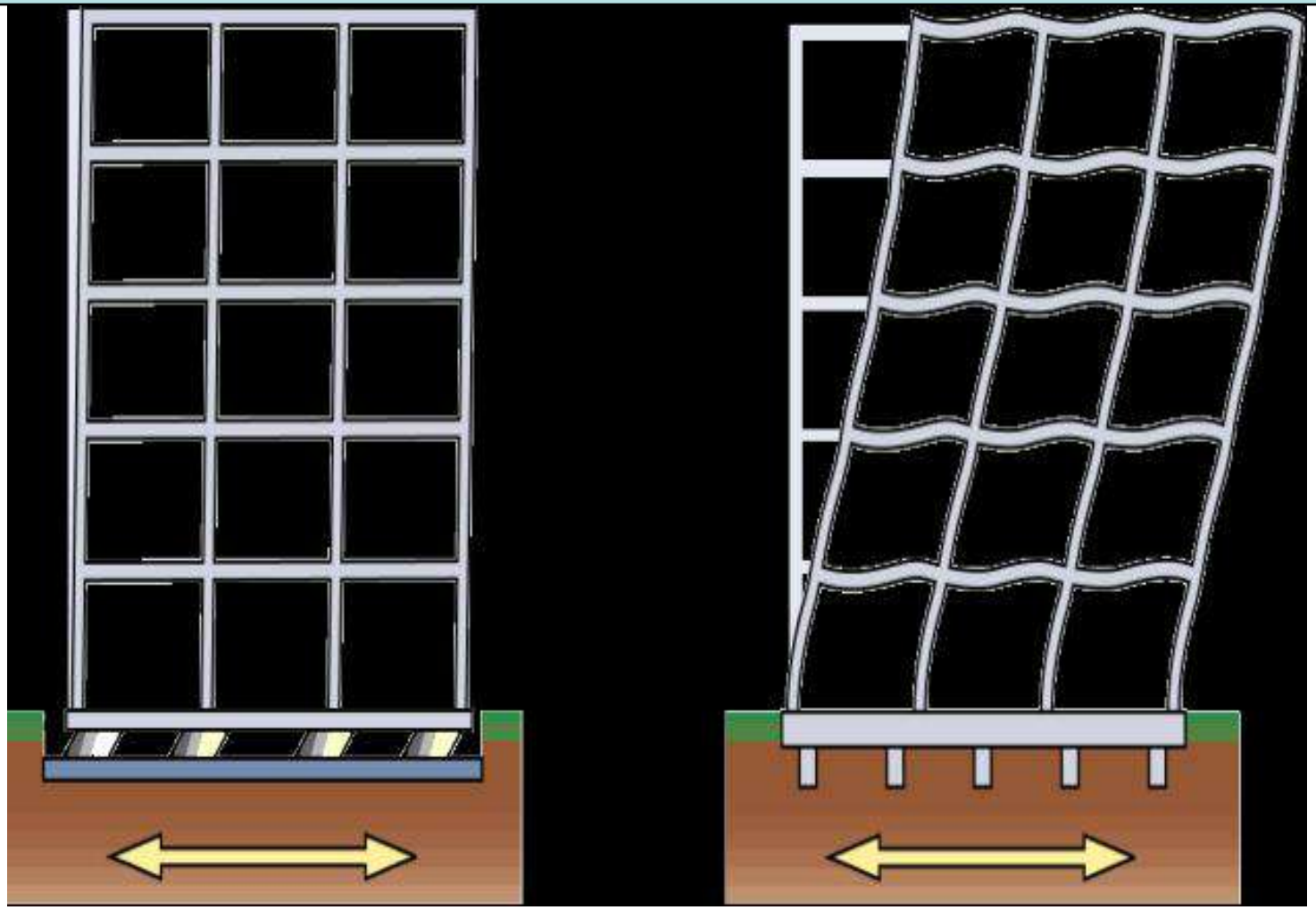
- جداسازي همچنين باعث افزايش ميرايي سازه مي گردد و پاسخ شتاب سازه را كاهش مي دهد . دردهه های گذشته تعداد ساختمانهاي ايزوله شده رشد قابل توجهي يافته است . شايعترين استفاده درجداسازي لرزه اي پايه در ژاپن مي باشد و براي اولين بار در ايالات متحده استفاده شده است .
- اين سيستمها بدليل داشتن نرمي و قابليت جذب انرژي نسبتاً زياد باعث انعكاس بخشي از انرژي ورودي زلزله مي‌شوند و بخش ديگر اين انرژي را قبل از انتقال به سازه جذب مي‌نمايند كه در نهايت باعث كاهش تقاضاي اتلاف انرژي در سيستم سازه‌اي مي‌شوند.

# The Concept of Base Isolation




Significantly Increase the Period of the Structure and the Damping so that the Response is Significantly Reduced

# Base Isolation
# How It Works



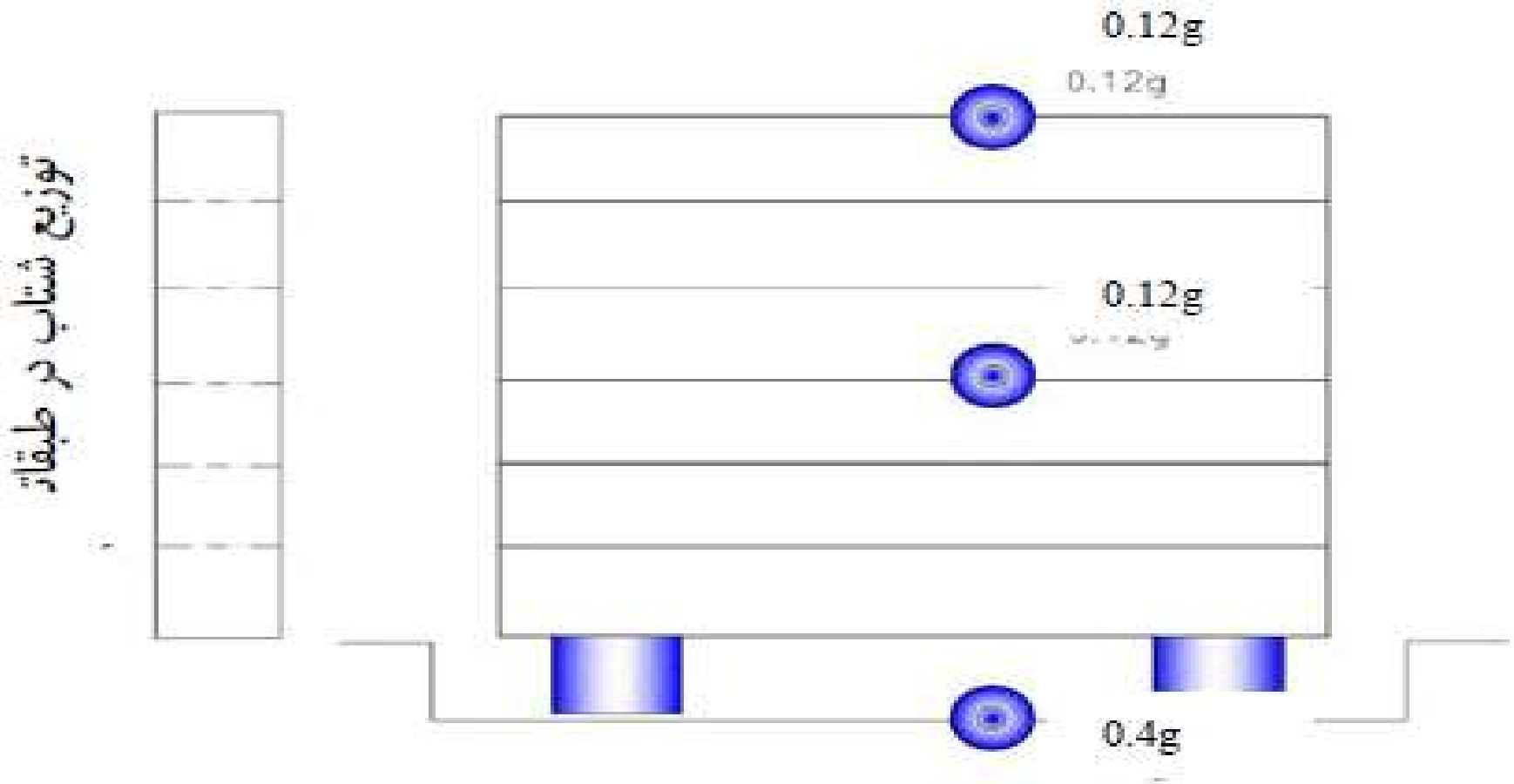
**Isolated Structure**

**Conventional Structure**

- ***در استفاده از جداسازهای لرزه ای موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:***
- الف -جداسازی از پایه برای ساختمانهای *سختتر* نتایج بهتری بدست میدهد (در ساختمانهای با زمان تناوب کمتر از 1ثانیه، با نصب جداگر لرزه ای زمان تناوب اصلی سازه به بیش از 2ثانیه افزایش مییابد).
- ب -امواج زلزله در حین عبور از لایه های خاک فیلتر میشوند .شتاب حرکت زمین در *خاکهای سخت از مولفه های فرکانس بالا* و در *خاکهای نرم از مولفه های فرکانس پائین* تشکیل میشود .از این رو در *خاکهای سخت جداگر لرزه ای بسیارکاربردی بوده* و درخاکهای نرم ازکارایی آن کاسته میشود .درخاکهای خیلی نرم بعلت نزدیکی زمان تناوب سازه جداشده به زمان تناوب حداکثر پاسخ سازه، جداسازی نتیجه مطلوبی نداشته و در مواردی باعث افزایش نیروهای وارد بر سازه نیز میگردد.

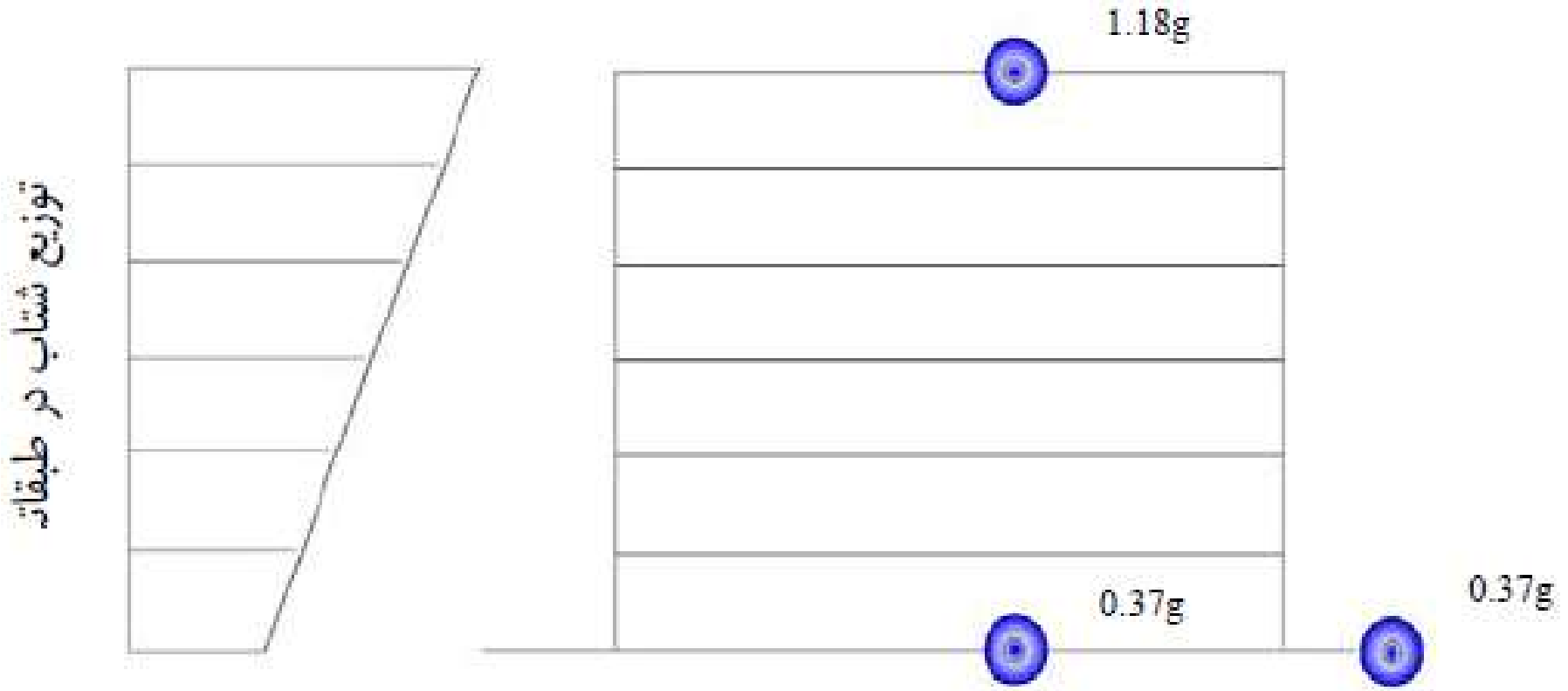
- **جداگرها به دلایل زیر باعث کاهش نیروی زلزله وارد برسازه می گردند:**
- *۱- افزایش زمان تناوب مود اول (مود جداشده).*
- *۲- کاهش شتاب طیفی (شبه شتاب) به علت افزایش زمان تناوب(برای اکثر طیف های طراحی در زمینهای سخت این موضوع صادق است).*
- *۳- عدم تحریک مودهای بالاتر توسط حرکت زمین .هر چند که ممکن است شتاب طیفی آنها بزرگ باشد، لیکن به علت کوچک بودن پاسخ استاتیکی مودی(مشارکت جرمی)، برش پایه مودهای بالاتر خیلی کوچک میباشد.*
- *۴- بالا بودن میرایی سیستم جداگر و خاصیت جذب انرژی که به عنوان عامل ثانویه در نظر گرفته میشود.*

- ***مقایسه ساختمان با و بدون جدا سازی لرزه ای***
- در ساختمان ۷ طبقه مرکز کامپیوتر غرب ژاپن شتاب زلزله وارد به ساختمان در تراز پایه ۰/۴g بود که در این وضعیت با توجه به استفاده از سیستم جدا ساز لرزه ای، شتاب وارد به طبقات و بام ۰/۱۲ gاندازه گیری شد که نشان دهنده کاهش مقدار شتاب وارد به سازه به میزان ۷۰ درصد میباشد.

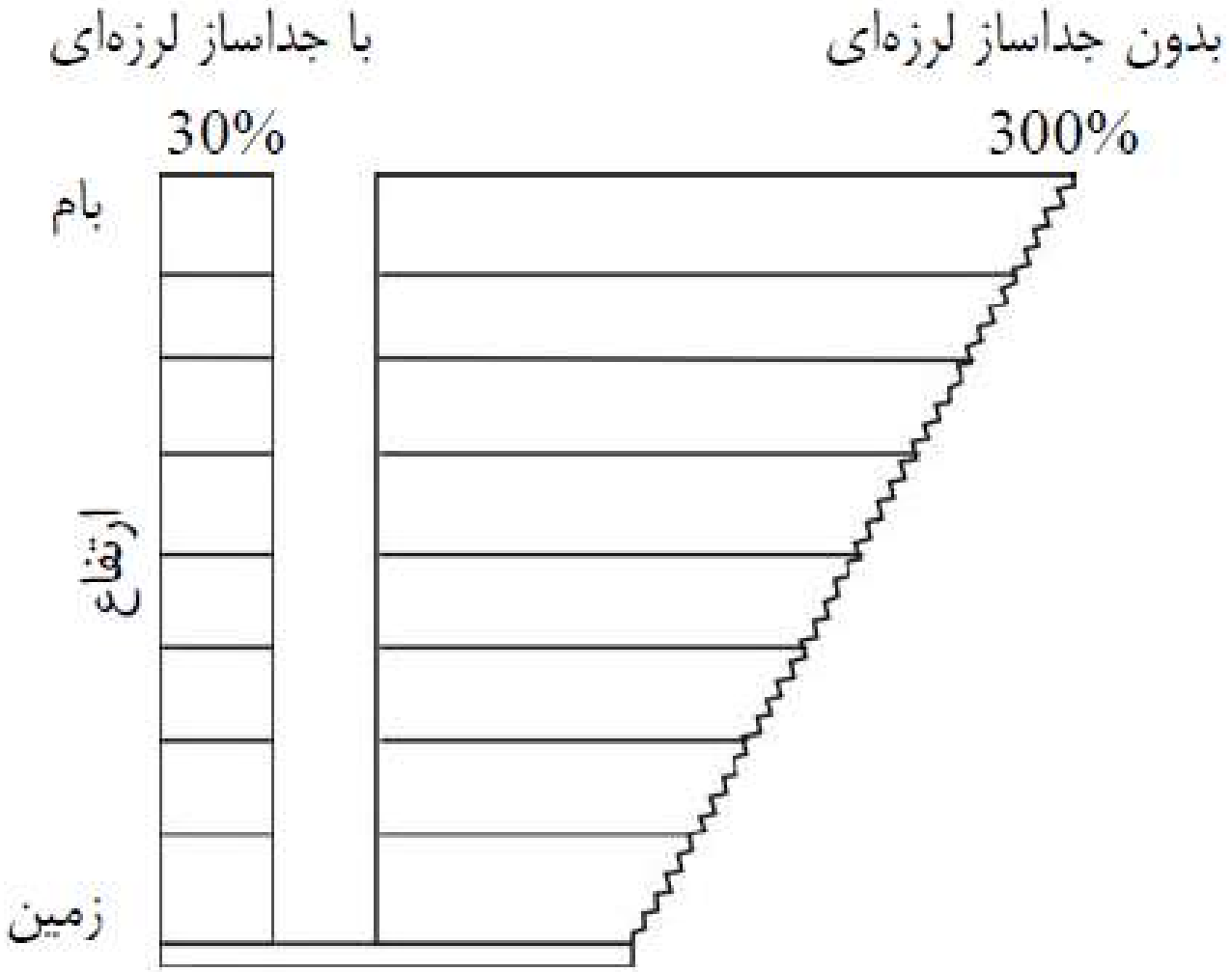



ساختمان مرکز کامپیوتر غرب ژاپن(جداشده از پایه)، زلزله کوبه ۱۹۹۵

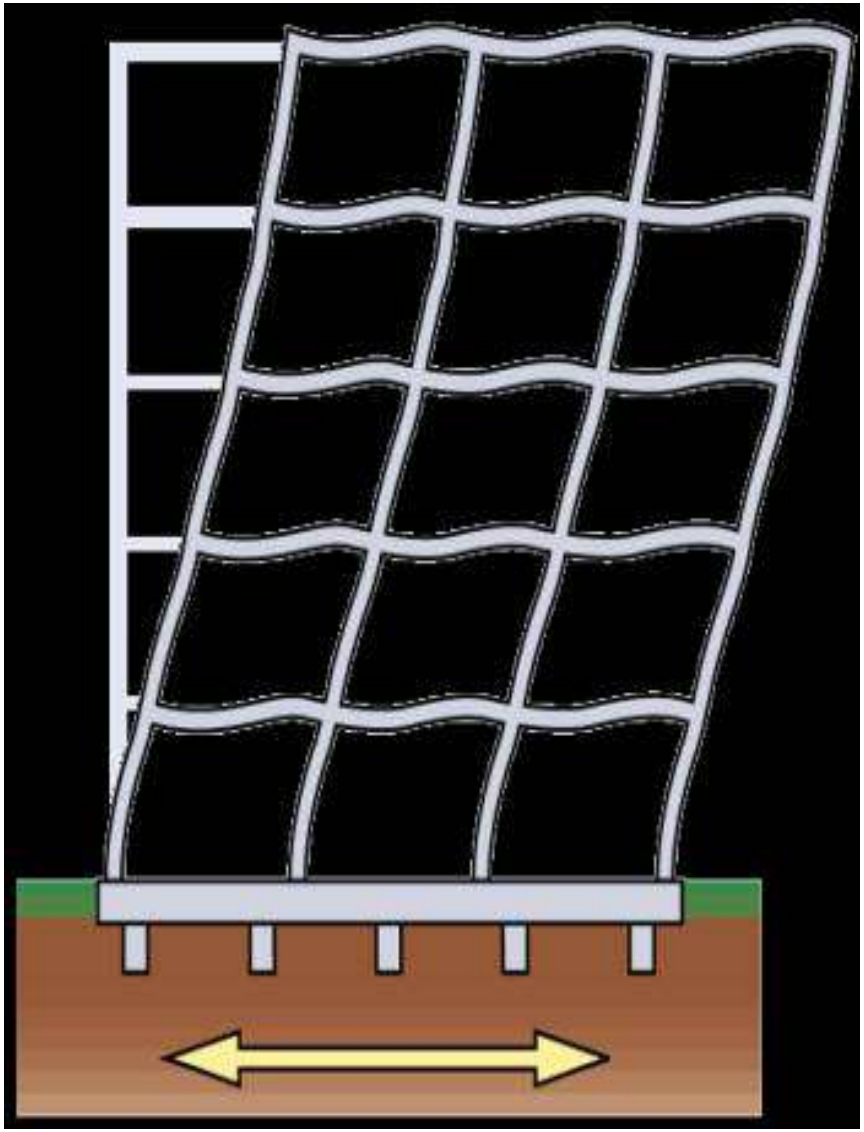
- در ساختمان مشابهی که از سیستم جداساز استفاده نشده، میزان شتاب زلزله در تراز پایه۰/۳۷gاندازه گیری شد لیکن مقدار شتاب اندازه گیری شده در تراز بام۱/۱۸g میباشد که نشان دهنده افزایش شتاب در طبقه بام به میزان ۳۰۰ درصد میباشد.




ساختمان سنتی(جدانشده)، زلزله کوبه ۱۹۹۵

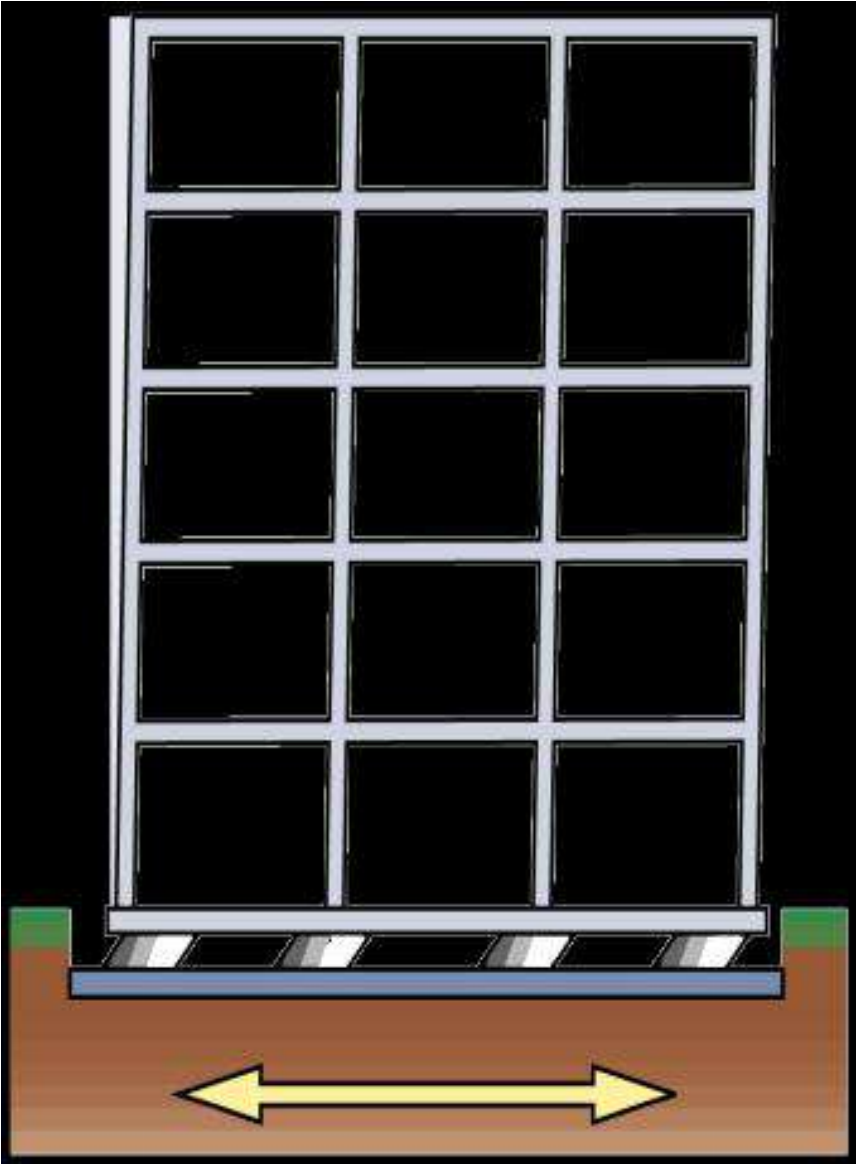



مقایسه درصد شتاب افقی دو ساختمان مزبور در زلزله کوبه ۱۹۹۵



Conventional Structure

- Ground Forces are amplified by a factor of 3 to 4 at the roof.

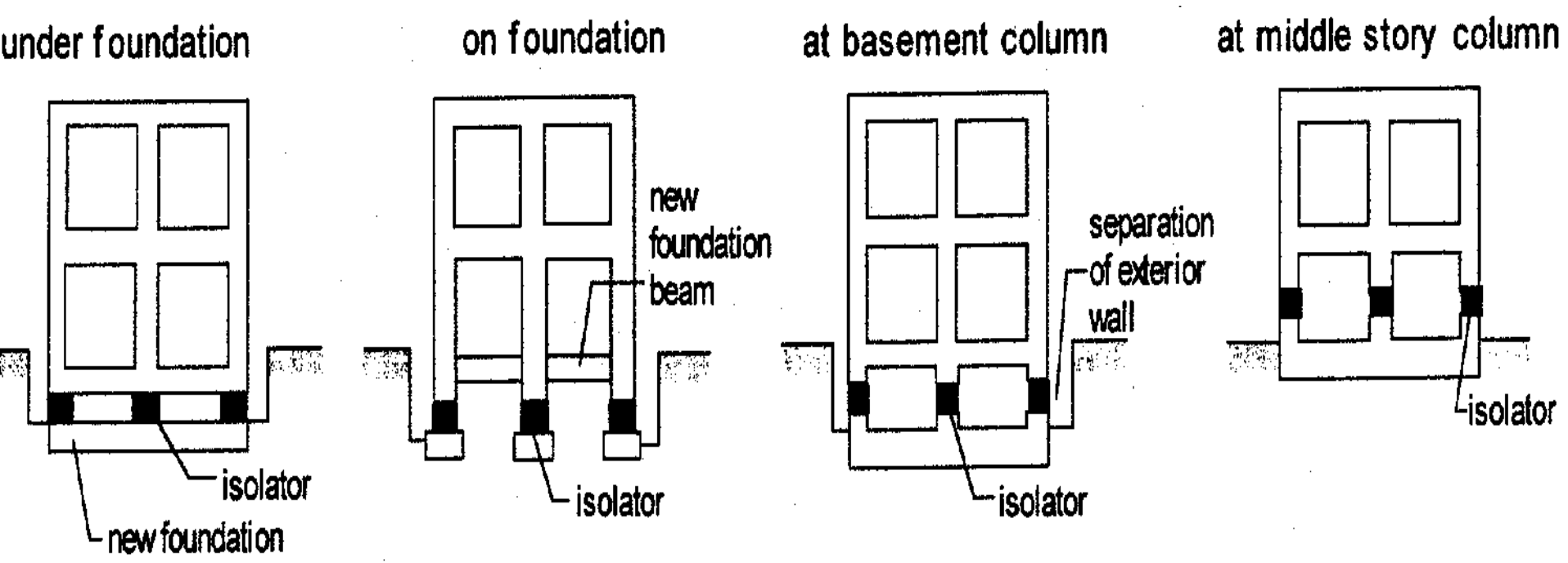


Isolated Structure

- Forces reduced by 3 to 6 across the isolators
- Forces reduced by 8 to 12 at the roof

# Base Isolation in Buildings

Isolator Components Between the Foundation and Superstructure




An Isolation Interface is formed

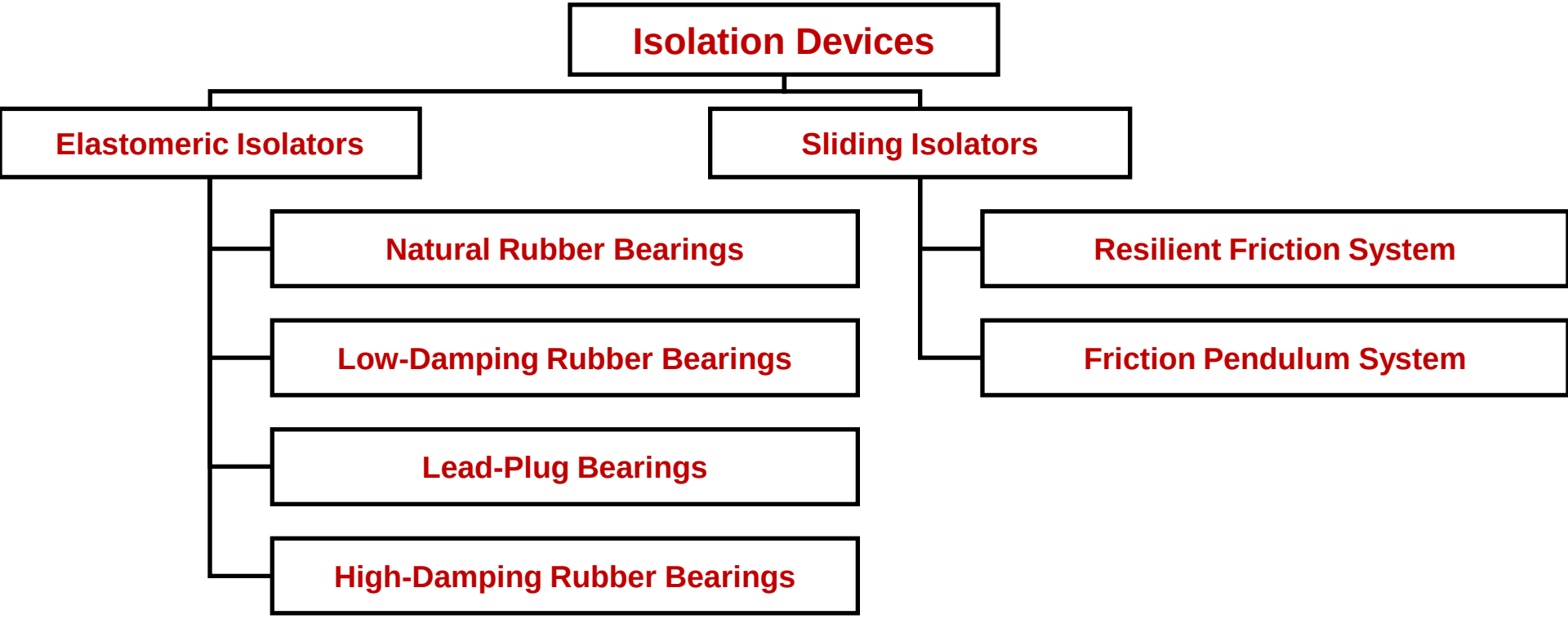
- اما این سیستم‌ها دارای معایبی هستند که تعدادی از آنها عبارتند:
- ۱- سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در مقابل بارهای جانبی ناشی از نیروی باد بخوبی عمل نمی‌کنند.
- ۲- این سیستم‌ها جهت استفاده در ساختمانهای با ارتفاع کم و متوسط مناسب بوده و تاثیر ناچیزی بر ساختمانهای بلند دارند.
- ۳- سازه‌ای که بر روی این سیستم‌ها قرار می‌گیرد، محدودیت وزنی دارد.
- ۴- درصورت بروز نیروی بالابرنده(Uplift) در ستونها، عملکرد این سیستم‌ها دچار مشکل می‌شود.
- ۵- این سیستم‌ها در مقابل زمینلرزه‌هایی با پریود بلند مناسب نیستند.
- ۶- سیستم‌های جداساز لرزه‌ای برای سازه‌هایی که بر روی خاک نرم قرار گرفته‌اند مناسب نمی‌باشند.
- ۷- هزینهٔ ساخت و یا مقاوم سازی ساختمانهای موجود با استفاده از این سیستم‌ها بسیار بالا است.

- ***معیارهای طراحی جداگرها***
- در طراحی جداگرها معیارهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
- ***۱ - جداگرها در حداکثر تغییرمکانهای ناشی از زلزله پایدار باقی بمانند.***
- ***۲ - با افزایش تغییرمکان، مقاومت جداگر نیز افزایش یابد.***
- ***۳ - تحت سیکلهای ناشی از بارگذاری زلزله، جداگر زوال محدود شونده داشته باشد.***
- ***۴ - مشخصات مکانیکی(سختی موثر و میرایی)تکرار شونده و در عین حال پایدار داشته باشد.***

# انواع جداسازهای لرزه ای

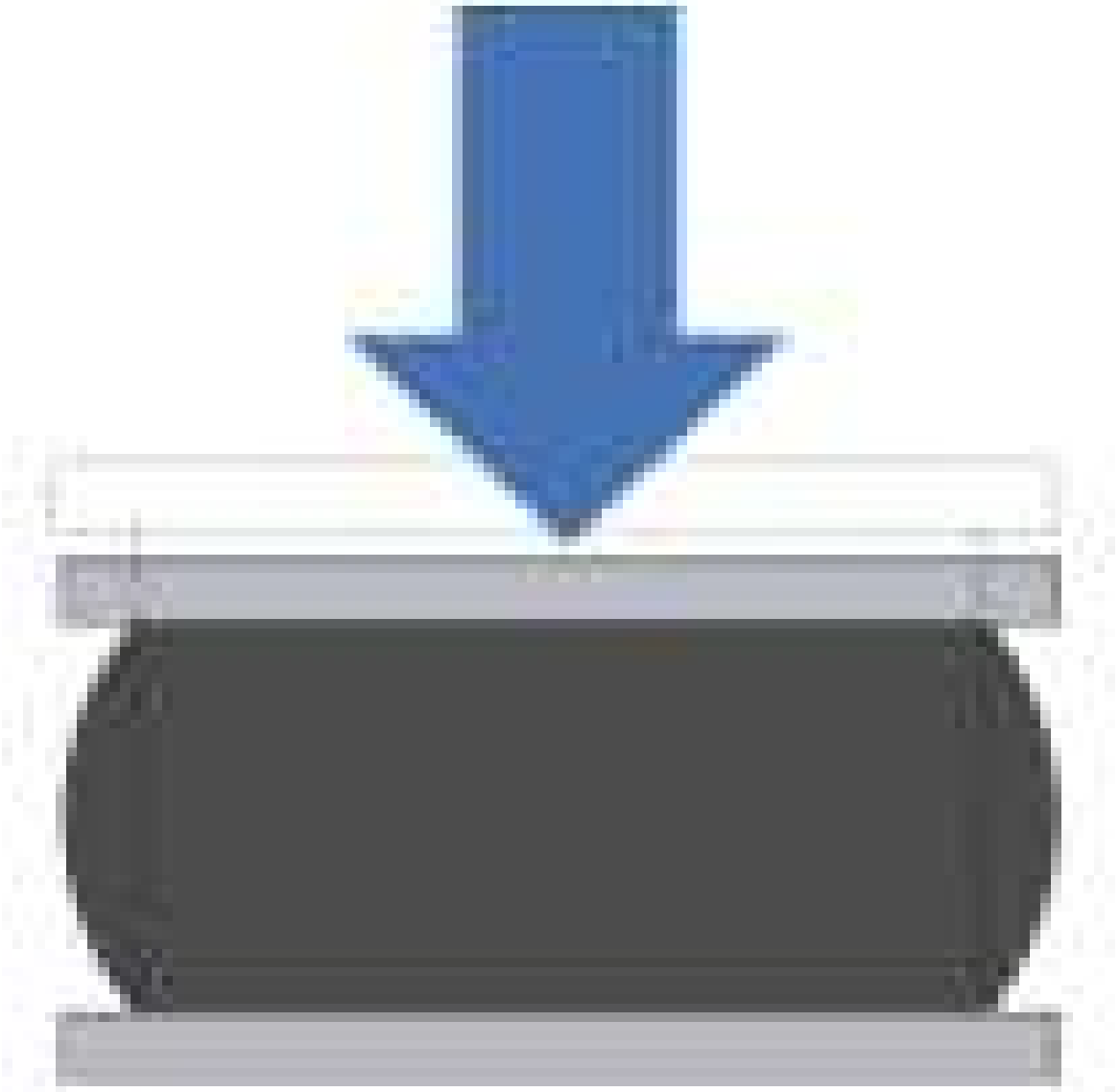
- به طور کلی جداسازهای لرزه ای را می توان به دو دسته ی جداسازهای لاستیکی و جداسازهای اصطکاکی تقسیم بندی کرد.
- جداساز هاي ***لاستيكي*** براي افزايش دوره ي تناوب طبيعي سازه:
- *- جداسازهای لاستیکی با ورقه های فولادی (و میرایی کم)؛*
- *- جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد؛*
- *- جداسازهای لاستیکی با هسته ی سربی.*
- جداساز هاي ***اصطكاكي*** جهت كنترل حداكثر نيروي منتقل شده به روسازه و استهلاك انرژي در محل جداساز:
- *- جداسازهای اصطکاکی؛*
- *- جداساز های الاستیک اصطکاکی؛*
- *- جداساز های اصطکاکی پاندولی.*

- جداساز هاي تركيبی ***لاستيکی*** و ***اصطکاکي*** جهت استفاده همزمان از قابليت هر دو جداساز:
- *- ترکیب سری جداساز لاستیکی اصطکاکی ؛*
- *- ترکیب موازی جداساز لاستیکی اصطکاکی ؛*


Isolation Devices
Elastomeric Isolators
Sliding Isolators
Natural Rubber Bearings
Low-Damping Rubber Bearings
Lead-Plug Bearings
High-Damping Rubber Bearings
Resilient Friction System
Friction Pendulum System

- ***سیستمهای الاستومر (لاستیک طبیعی)***
- نشیمن لاستیک طبیعی، نخستین بار در سال ۱۹۶۹ برای حفاظت لرزه ای ساختمان مدرسه پستالوزی شهر اسکوپیه مقدونیه به کار رفت. این نشیمنها، بلوکهای لاستیکی بزرگی میباشند که برخلاف نمونه های امروزی، فاقد صفحات فولادی تقویت کننده بوده و در اثر وزن ساختمان، حدود ۲۵٪ فشرده میشوند.
- سختی قائم نشیمن ها فقط چند برابر سختی افقی بوده و لاستیک مورد استفاده تقریباً فاقد میرایی است. در هر دو سمت نشیمنهای لاستیکی بلوکهائی از جنس شیشه اسفنجی(فوم) قرار داده میشود که جهت جلوگیری از حرکت ساختمان در اثر باد، تردهای داخلی ساختمان یا زمین لرزه های با شدت کم میباشد.

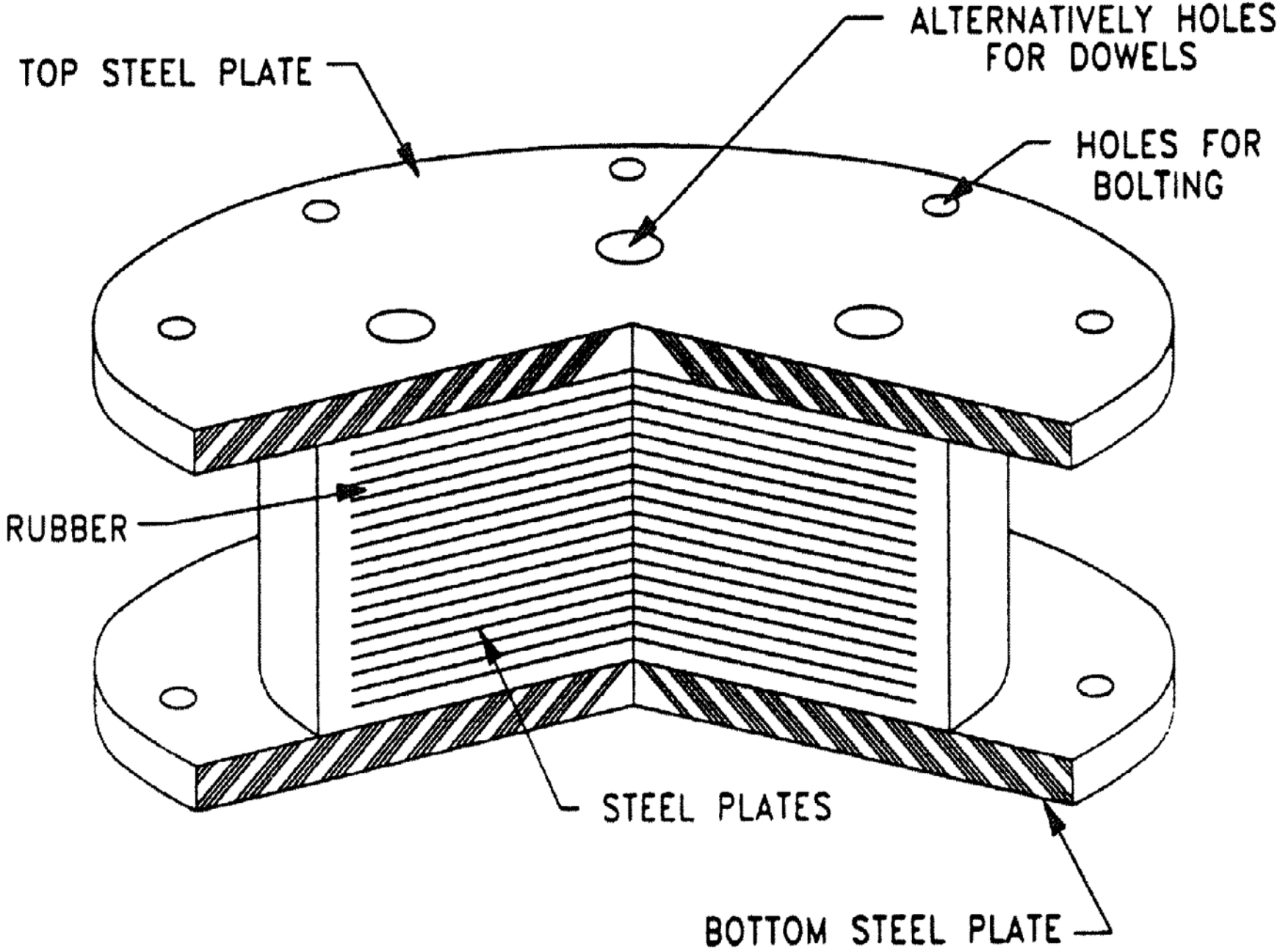
بار قائم



- ***از جمله مشخصات این نوع از سیستم های ایزولاسیون :***
- - حرکت افقی به شدت به حرکت نوسانی همبسته است لذا حرکت افقی زمین موجب بوجود آمدن شتاب قائم در مد نوسانی می گردد.
- - همچنین سیستم فوق دارای بلوک هایی از جنس شیشه های فومی (foam-glass blocks) در طرفین تکیه گاه لاستیکی می باشد تا همچون یک فیوز عمل کرده و در برابر حرکت جانبی ناشی از باد ، حرکت زنده درون سازه و زلزله ی خفیف مقاومت نماید.

- ***جداساز های لاستیکی با ورقه های فولادی و با میرایی کم***
- تکیه گاه لاستیکی طبیعی و ترکیبی به طور گسترده در ژاپن به همراه *ابزارهای میراکننده ای چون میراگرهای ویسکوز*، میله های فولادی ، میله های سربی ، وسایل اصطکاکی و غیره .... مورد استفاده قرار گرفته است.
- این جداگرها از دو ورق ضخیم فولادی در بالا و پائین، و ورقهای نازک لاستیکی و فولادی که به ترتیب بر روی هم چیده شده و تحت فشار و حرارت به شکل مجموع های متورق و یکپارچه در آمده اند، تشکیل شده است.
- *ورقهای فولادی مسلح کننده از انبساط جانبی لاستیک جلوگیری کرده و سختی قائم* را به مقدار زیادی افزایش می دهند اما هیچ تاثیری بر سختی افقی سیستم که بوسیله مدول برشی الاستومر کنترل میشود، ندارند. رفتار ماده در برش تا کرنشهای بیش از ۱۰۰ ٪ کاملاً خطی بوده و میرایی آن در حدود ۲ تا ۳ درصد مقدار بحرانی میباشد.

# *Elastomeric Isolators*



- لاستیک ها یا الاستومرها ترکیباتی از پلیمرها، فیلرها (پرکننده ها)، روغن، شتاب دهنده ها، مواد ضد ازن، مواد دیرگیر و کندگیرکننده هستند که با هم مخلوط و توسط حرارت با هم ترکیب و ولکانیزه می شوند.
- لاستیک هایی که بیش ترین کاربرد را در جداساز های لاستیکی دارند عبارتند از: ***لاستیک طبیعی، نئوپرن، بوتیل و نیتریل***. همه این لاستیک ها تحت بارگذاری، فرآیند "***کریستالی شدن کرنشی***" را از خود نشان می دهند. این ویژگی بروز ترک در لاستیک را محدود کرده همچنین باعث می شود تا در کرنش های زیاد سختی برشی لاستیک افزایش یافته و از تغییر مکان بی رویه به نحوی جلوگیری گردد.
- توجه به این امر ضروری است که همه لاستیک ها ویژگی کریستالی شدن را ندارند. به عنوان مثال لاستیک استایرن بوتادین دارای ویژگی کریستالی شدن کرنشی نیست و نباید به عنوان لاستیک در جداساز ها استفاده شود.

- مشخصات مکانیکی لاستیک طبیعی مانند مقاومت در مقابل پارگی، مقاومت و خستگی در تغییر مکا نهای زیاد، خزش و خصوصیات آن در دمای پایین، از بیشترلاستیک های مصنوعی که برای ساخت جداسازهای لرزه ای مورد استفاده قرار می گیرند بهتر است. بنابراین *لاستیک طبیعی و پس از آن نئوپرن بیش تر از هرگونه لاستیک دیگری* در ساخت این امکانات مورد استفاده قرار می گیرند.
- نسبت میرایی به دست آمده از این جداساز ها بسیار کم و در محدوده ۲ تا ۴ درصد میرایی بحرانی است. از این رو طراح در زمان به کارگیری این نوع جداساز باید به کمک ساز و کاری دیگر استهلاک انرژی مورد نیاز را تامین نماید.

- به منظور دستیابی به عملکرد بهتر این جداساز ها اغلب مواد پرکننده به لاستیک اضافه می شود. رفتار نیرو- تغییرمکان این جداساز ها به مقدار زیادی بستگی به نوع و میزان ماده پرکننده در آن ها دارد. این مواد پرکننده موجب بهبود عملکرد در موارد زیر می گردد:
  - ***میرایی بیشتر؛***
  - ***سختی اولیه بیشتر؛***
  - ***تغییر شکل برشی کمتر.***
- میرایی قابل دسترس توسط این روش به حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد میرایی بحرانی میرسد. مواد پرکننده مختلفی برای این منظورمورد استفاده قرار گرفته اند که از آن جمله می توان به *اکسیدهای فلزی، رس و سلولز* اشاره نمود. اما ماده پرکننده ای که بیش از همه مورد استفاده قرار گرفته دوده است.

- استفاده از ورقه های فولاد سبب افزایش سختی قائم این جداساز ها می شود. اما از سوی دیگر سبب افزایش وزن آن ها شده و کارساخت، حمل و نصب را دشوار می نماید.
- اخیراً شبکه های الیافی جایگزین ورق های فولادی شده و وزن این جداساز ها را به اندازه قابل توجهی کاهش می دهند.
- لاستیک ها معمولا با میزان سفتی مشخص می شوند. سفتی با بعضی از خصوصیات فیزیکی مهم لاستیک مانند مدول برشی و مدول فشاری آن ارتباط دارد. یک واحد برای اندازه گیری این ویژگی درجه سفتی بین المللی IRHD است که برای لاستیک ولکانیزه بین ۲۰ تا ۱۰۰ تغییر می کند.به عنوان مثال مقدارIRHD برای مداد پاک کن ۳۰ و برای لاستیک اتومبیل در حد.د ۶۰ است. لاستیک های مورد استفاده برای جداساز های مورد نظر در این مجموعه دارای IRHD در حدود ۵۰ الی ۶۰ هستند.
- واحد دیگر اندازه گیری سفتی لاستیک ها durometer است.

جدول نمونه از مشخصات یک نمونه‌ی لاستیک که در سال ۱۹۹۰ توسط شرکت بریجستون منتشر شده است جدول، رابطه‌ی بین سفتی الاستومر و سایر مشخصات آن را در موارد آزمایش شده نشان می‌دهد.

جدول پ-۲-۱- مشخصات یک نمونه‌ی لاستیک معرفی شده توسط کارخانه‌ی تولیدکننده

| Rubber Hardness IRHD ±2 | Young's Modulus E ($N/cm^2$) | Shear Modulus G ($N/cm^2$) | Modified Factor k |
|---|---|---|---|
| 30 | 92 | 30 | 0.93 |
| 35 | 118 | 37 | 0.89 |
| 40 | 150 | 45 | 0.85 |
| 45 | 180 | 54 | 0.8 |
| 50 | 220 | 64 | 0.73 |
| 55 | 325 | 80 | 0.64 |
| 60 | 445 | 106 | 0.57 |
| 65 | 585 | 137 | 0.54 |
| 70 | 735 | 173 | 0.53 |
| 75 | 940 | 222 | 0.52 |

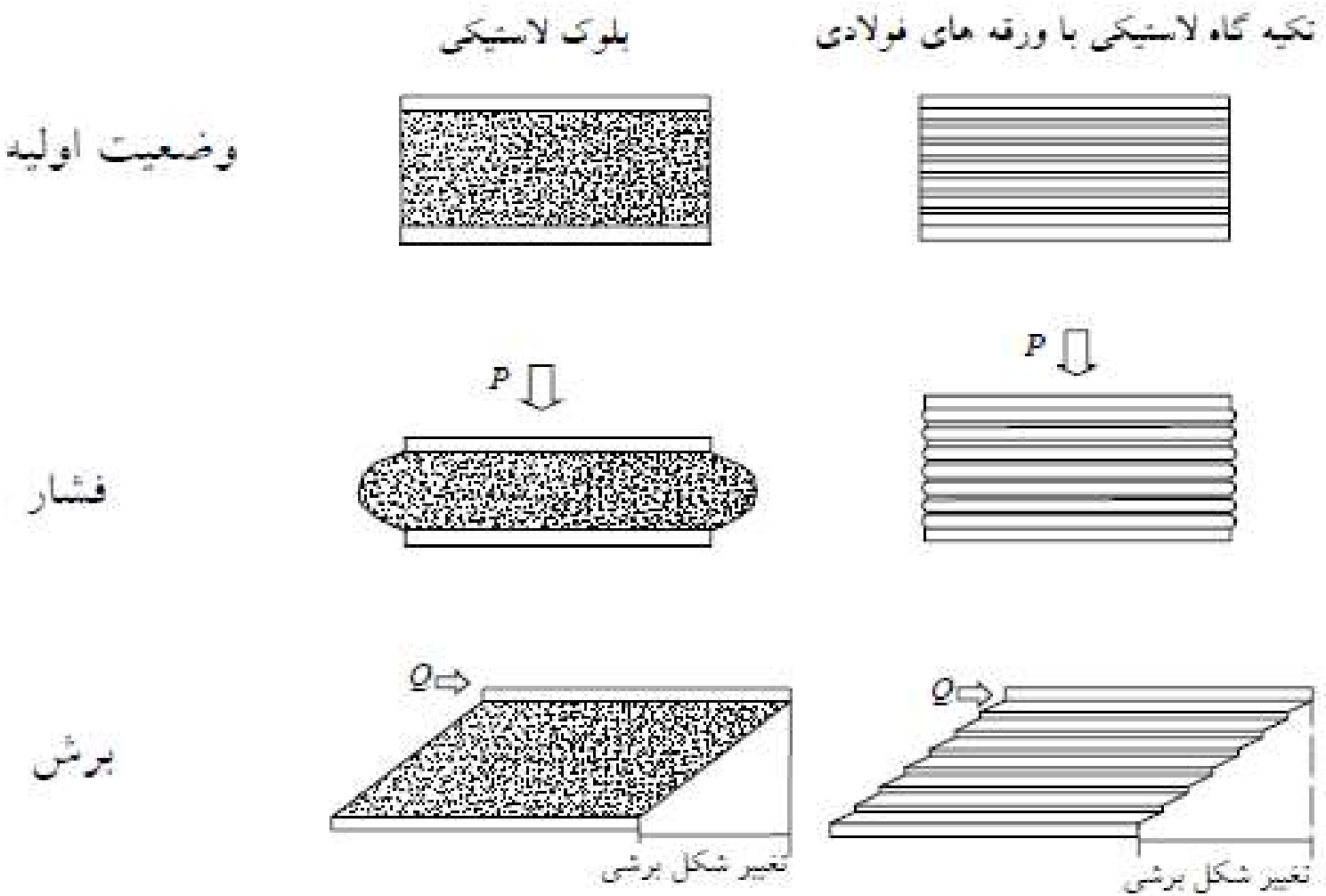
- سختی قائم مجموعه لاستیک و فولاد متورق باید متناسب با نیروی ناشی از ستون بالای خود باشد. به عنوان مثال ، برای جداسازی به قطر ۷۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۴ سانتی متر ، ستون بتن مسلح به ابعاد ۷۰*۷۰ سانتی متر را در نظر بگیرید. سختی عمودی جداساز به کمک رابطه ای که در بخش مربوط پیشنهاد شده با در نظر گرفتن ثابت های زیر برای لاستیک:

- $\kappa=0.5$
- $E_b=20 \quad ton/cm^2$
- $G=4 \quad kg/cm^2$

- و مدول یانگ برای بتن ۲۱۰ تن بر سانتی متر مربع
- برابر است با حدود ۲۱۴۰ تن برسانتی متر. از سوی دیگر با توجه به ابعاد، سختی ستون بتن مسلح حدود ۲۵۰۰ تن بر سانتی متر است.

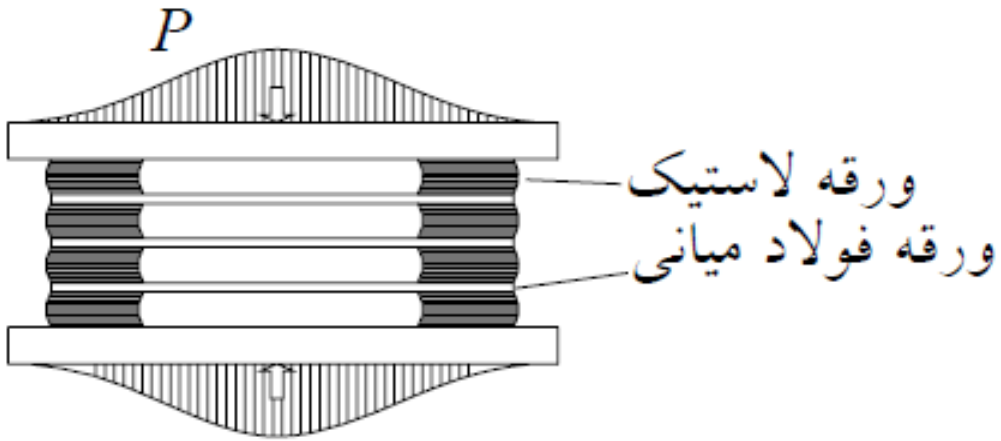
- جداساز های لاستیکی با ورقه های فولادی با استفاده مناسب از ویژگی های لاستیک، دارای سختی کم و قابلیت تغییر مکان زیاد در جهت افقی هستند.
- در حال حاضر این جداساز ها با سختی افقی حدود یک هزارم سختی عمودی خود هم تولید میشوند. در مثال بالا،قابلیت تغییر مکان یک جداساز لاستیکی با ورقه های فولادی به قطر ۷۰ سانتی متر حدود ۴۰ سانتی متر است در حالی که اگر نسبت تغییر مکان جانبی یک ستون بتن مسلح در یک طبقه را ۱/۲۰۰ فرض نماییم، این مقدار متناظر است با تغییر مکانی حدود ۲ سانتی متر.

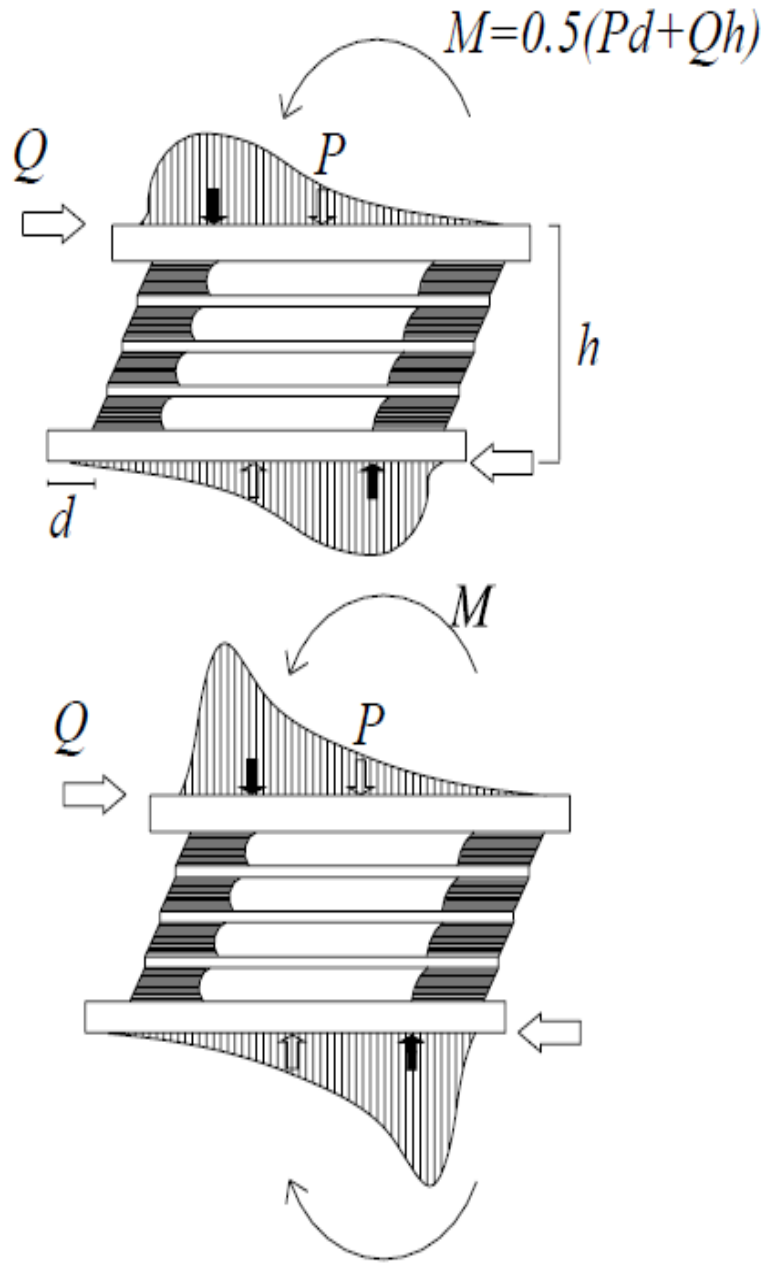
- **رفتار جداسازها در برابر بار جانبي و قائم**




تاثیر ورقه‌های فولاد بر روی سختی قائم جداساز لاستیکی

- با تحت فشار قرار گرفتن جداساز لاستیکی، ورقه لاستیکی تمایل به تغییر شکل در جهت شعاعی و به سمت بیرون دارد.اما به دلیل ممانعت ورقه های فولادی قادر به این تغییر مکان نیست.
- تنش فشاری در جداساز با توزیعی ***سهمی شکل*** دارای حداکثر مقدار خود در مرکز جداساز خواهد بود. این شرایط به دلیل اثر گیرداری ورقه های فولادی و ویژگی فیزیکی لاستیک ( *ضریب پواسن در حدود ۰/۵* ) و در نتیجه آن ها بروز شرایط تنش فشاری سه محوری (فشار هیدرواستاتیکی) است.
- به این دلیل ، وقتی جداساز تحت فشار قرار می گیرد، درصد الاستیسیته ظاهری جداساز، از درصد الاستیسیته ظاهری خود لاستیک بسیار بیش تر خواهد بود.






- در زمان اعمال بار افقی به جداساز های لاستیکی با ورقه های فولادی، از آنجا که ورقه های فولادی تغییر شکل برشی ورقه های لاستیکی را محدود نمی کنند، تغییر شکل جداساز برابر با تغییر شکل برشی لاستیک شده و سختی افقی کمی را نشان می دهد. با بزرگ شدن تغییر شکل برشی، نیروی حاصل از تنش توزیع شده به سمت جداساز منتقل می شود اما تنش کششی به وجود آمده در سمت مخالف کوچک است. به دلیل اینکه در تغییر شکل های بزرگ هم در مرکز جداساز شرایط تنش فشاری سه محوری ادامه می یابد، علاوه بر حفظ قابلیت باربری میزان کاهش ارتفاع جداساز هم کمتر می شود. از این رو می توان گفت بخش مرکزی جداساز از نقطه نظر تحمل بار دارای اهمیت است.

- ***عملکرد در برابر بارهای فشاری***
- در جداساز های لاستیکی با ورقه های فولادی با فرض یکسان بودن ارتفاع لایه ها، اگر *ضخامت لایه های لاستیک را کاهش داده وتعداد آن را افزایش دهیم* (ضریب شکل یک بعدی بزر گتر) *به سختی قائم جداساز افزوده و نیرو و تغییرشکل رابطه خطی* پیدا خواهندکرد.
- از سوی دیگر با ضخیمتر شدن ضخامت یک لایه لاستیک و کاهش ضریب شکل یک بعدی، سختی قائم کاهش یافته و جداسازقادر به کاهش اثر نیروها در جهت قائم می گردد.

- ***عملکرد در برابر بارهای کششی***
- این جداساز ها در مقابل نیروی کششی رفتاری دو خطی از خود نشان می دهند. *سختی کششی این جداساز ها به مراتب از سختی آن ها در جهت فشاری کمتر است.*
- با تداوم اعمال بار کششی در جداساز ها لاستیک از فولاد جداشده و حفره هایی در بین لایه های لاستیک و فولاد پدید می آید. بروز این حفره ها موجب کاهش میزان سختی قائم در جهت فشاری تا حد ۵۰ درصد میزان اولیه میگردد. از این رو تحت کشش قرار گرفتن این جداساز ها اثر منفی بر روی آن ها داشته و توصیه نمی گردد. آزمایش های انجام شده هم حداکثر میزان قابل قبول تنش کششی بر روی این تجهیزات را در حد کمتر از ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع نشان داده است.

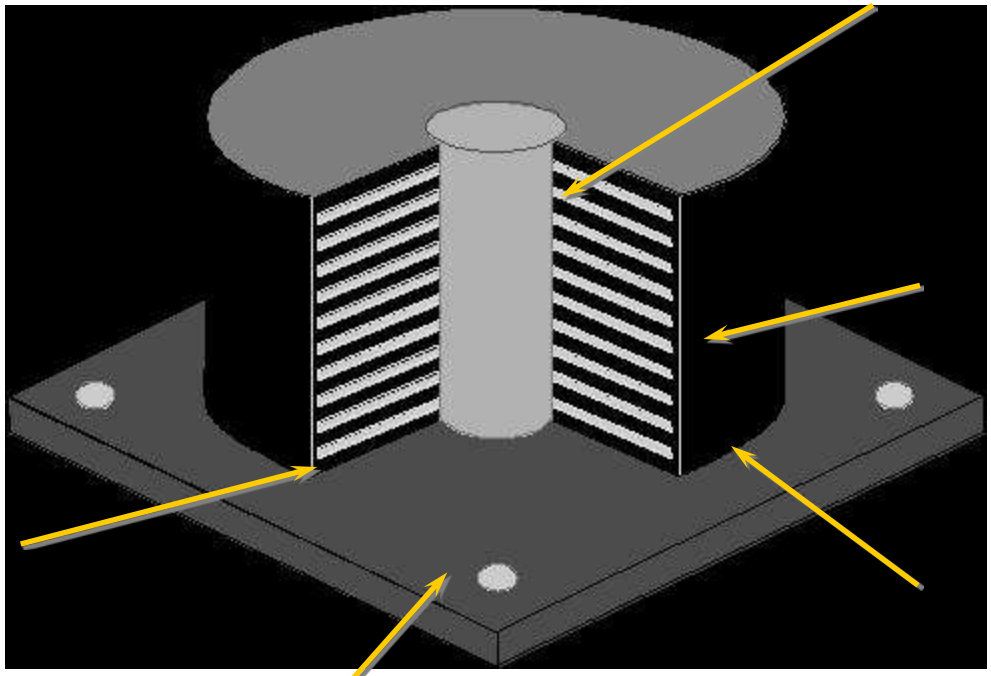
- ***عملکرد در برابر بارهاي فشاري و برشي***
- جداسازها باید ضمن تحمل وزن سازه در شرایط عادی، با نشان دادن سختی کم و تغییر مکان قابل توجه در زمان زلزله، نیروی موثرزلزله بر سازه را کاهش دهند. در زمان زلزله با به وجود آمدن لنگر واژگونی در سازه و ارتعاش غیر یکنواخت پی، تنش های فشاری اضافی در جداساز به وجود می آید. در این حال لازم است تا به منظور حفظ باربری و پایداری جداساز ها، تحلیل، طراحی و ساخت این *تجهیزات به گونه ای صورت پذیرد که تغییرات تنش فشاری تاثیری بر روی باربری نیروی برشی آنها وارد نکند*. برای این منظور انتخاب ابعاد و مصالح مناسب برای جداساز ضروری است.
- افزایش *تغییر شکل برشی جداساز باعث بروز پدیده سخت شدگی در رفتار نیرو-تغییر شکل جداساز می گردد*. اگرچه این پدیده ممکن است موجب کاهش تغییر شکل ایجاد شده در جداساز گردد، اما در عین حال نیروی منتقل شده به سازه و در نتیجه پاسخ طبقات افزایش می یابد. *از این رو مطلوب است تا در زمان طراحی، تغییر شکل طراحی جداساز در محدوده خطی تعیین گردد.*

- از مزاياي اين نوع نشيمن به موارد زير ميتوان اشاره كرد:
- - ساخت آسان نشيمن ها (فرآيند تركيب مصالح و پيوند آن با فولاد).
- - مدلسازي آسان و عدم وابستگی پاسخ ديناميكی آنها به دما و سن نمونه ها.
- اين نشيمن ها معمولاً به سيستم ميراگر مكمل نياز دارند كه داراي اتصالات دقيق و پيچيدهاي بوده و نوع فلزي آنها درسيكلهاي پايين دستخوش پديده خستگی ميگردد. اجزاي مستهلک کننده انرژي شامل مجموعهاي از تجهيزات فولادي تسليم شونده ميباشند.

- **سیستم جداگر لاستیکی با هسته سربی *LRB***
- این جداساز شامل یک یا چندهسته سربی است که در داخل جداساز لاستیکی محصور شده است به همین دلیل از میرایی بالایی برخوردار میباشند.
- صفحات فولادی به کار رفته در این سیستم سبب تغییرشکل هسته سربی در برش میشوند. هسته سربی در جداساز های لاستیکی با تسلیم شدن در زمان ارتعاش، *میزان میرایی را از حدود ۳ درصد میرایی بحرانی در جداساز های لاستیکی به چیزی در حدود بیش از ۱۰ درصد می افزایند.* هسته های سربی در برابر نیروهای برشی تغییرشکل داده و سبب ایجاد پاسخ دوخطی در نشیمن میشوند.
- همچنین هسته سربی با تامین *سختی اولیه کافی*، سازه جداسازی شده را در برابر بارهای جانبی ضعیف مانند باد یا زلزله های خفیف مقاوم می کند.

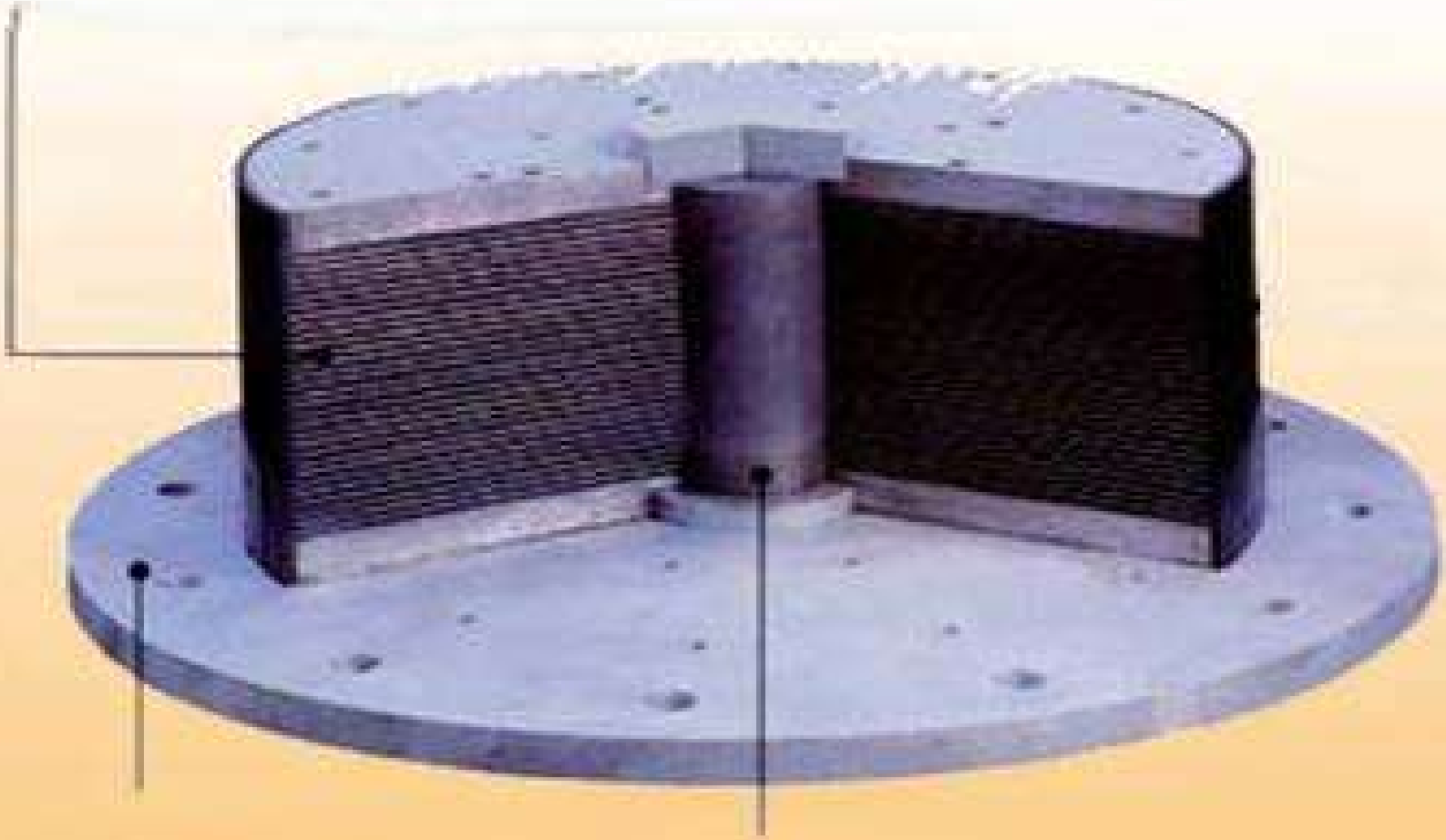
# Lead Rubber bearing

(Top Mounting Plate Not Shown)



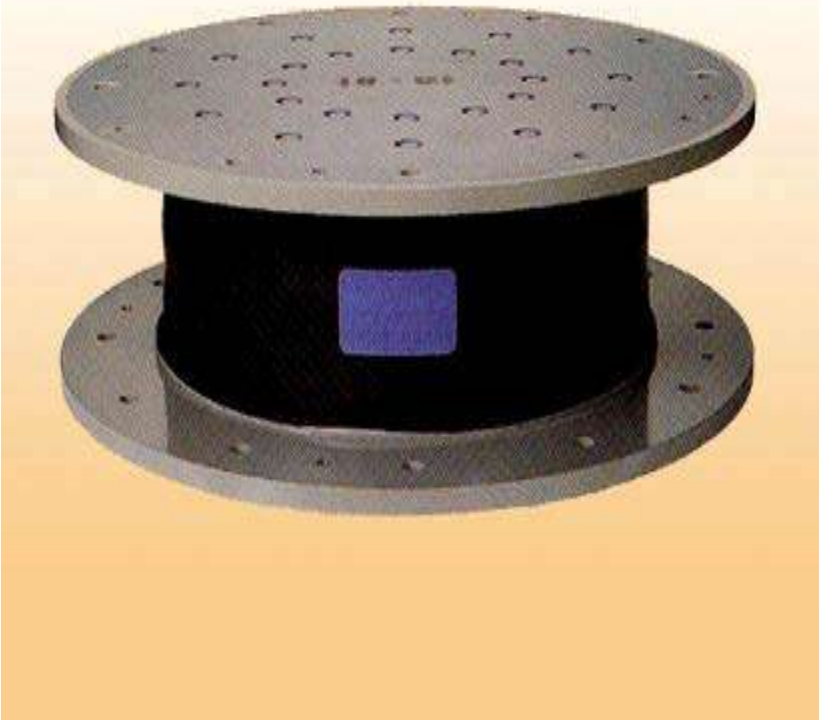
- دلیل انتخاب سرب برای این جداساز این است که فلز سرب دارای ساختمانی کریستالی است. *ساختار کریستالی سرب با تغییر مکان تغییر می کند* اما بلافاصله با برگشت تغییر مکان به *حالت اولیه بازگشته* و به این ترتیب تسلیم های متوالی تحت بارهای ارتعاشی دینامیکی جانبی باعث به وجود آمدن پدیده خستگی در آن نمی شود.
- با توجه به اینکه مدول برشی سرب نسبتاً بالا ودر حدود ۱۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد،سختی اولیه این جداساز مناسب می باشد.
- سرب تحت نیروی برشی در تنش های نسبتا پایین در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع به حد تسلیم میرسد و *بنابراین رفتارهیسترزیس پایداری نشان داده* و میزان قابل توجهی از انرژی را در زمان رخداد زلزله های نسبتا بزرگ از بین می برد.
- سختی اولیه این سیستم برابر مجموع سختی های بلوک لاستیکی وهسته سربی است وسختی ثانویه آن پس از تسلیم هسته سربی برابر با سختی بلوک لاستیکی است.

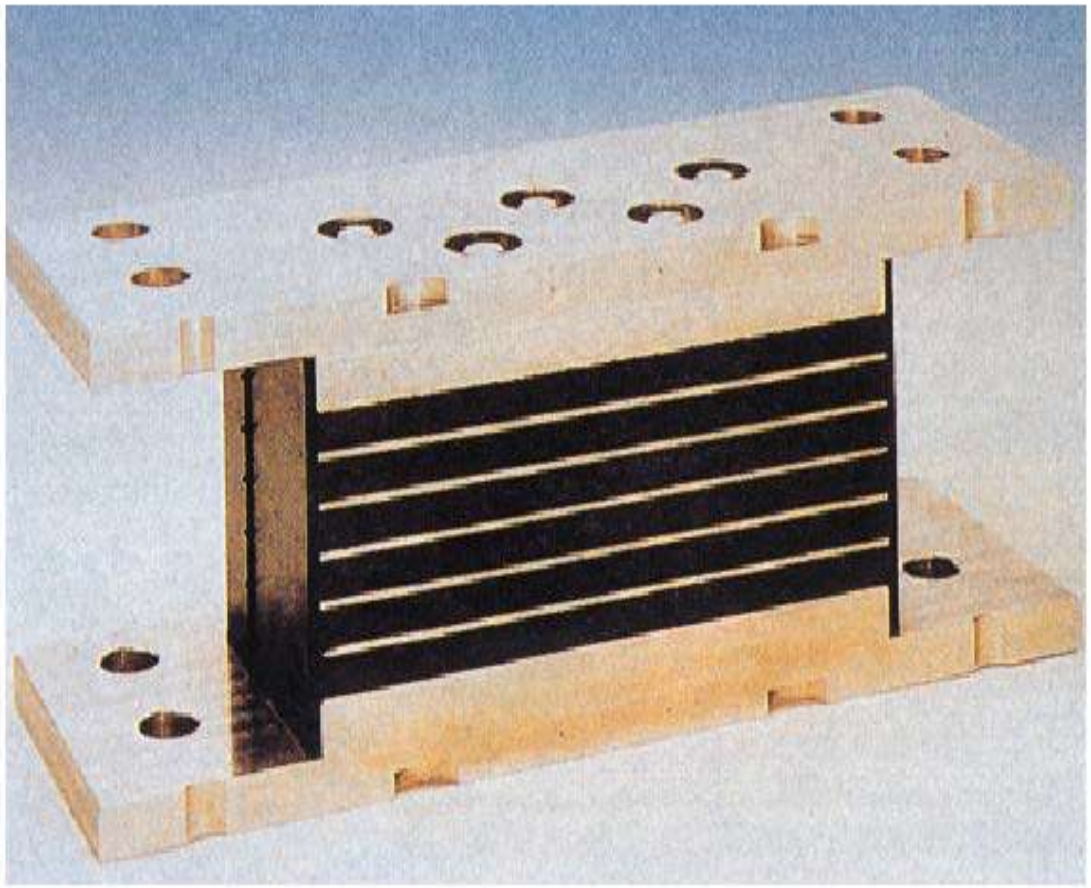
- رفتار هیسترزیس این جداساز ها را می توان به صورت دوخطی با سختی اولیه ای در حدود ۹ تا ۱۶ برابر سختی پس از تسلیم آن ها در نظر گرفت.
- بخش لاستیکی این تجهیزات مشابه جداساز های لاستیکی با ورقه های فولادی است و وظیفه تامین نیروی بازگرداننده به مبدا را پس از پایان ارتعاش سازه به عهده دارد.
- ***مزیت استفاده از این نوع جداساز ، کاهش شتاب مبنای طرح وافزایش همزمان پریود سازه می باشد که این امر موجب کاهش نیروهای اعمال شده به سازه ودر نهایت سبک تر شدن سازه می گردد.***

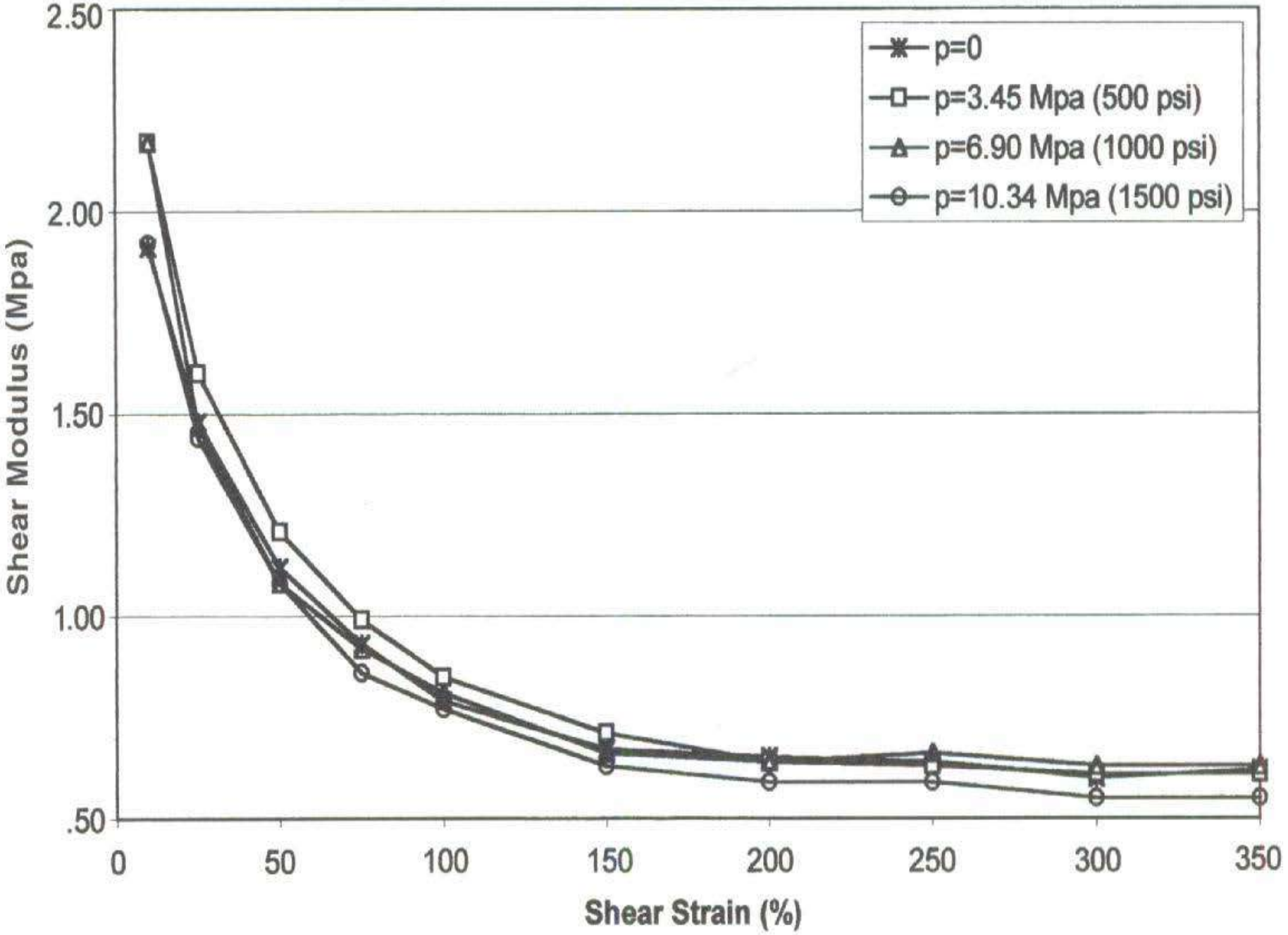


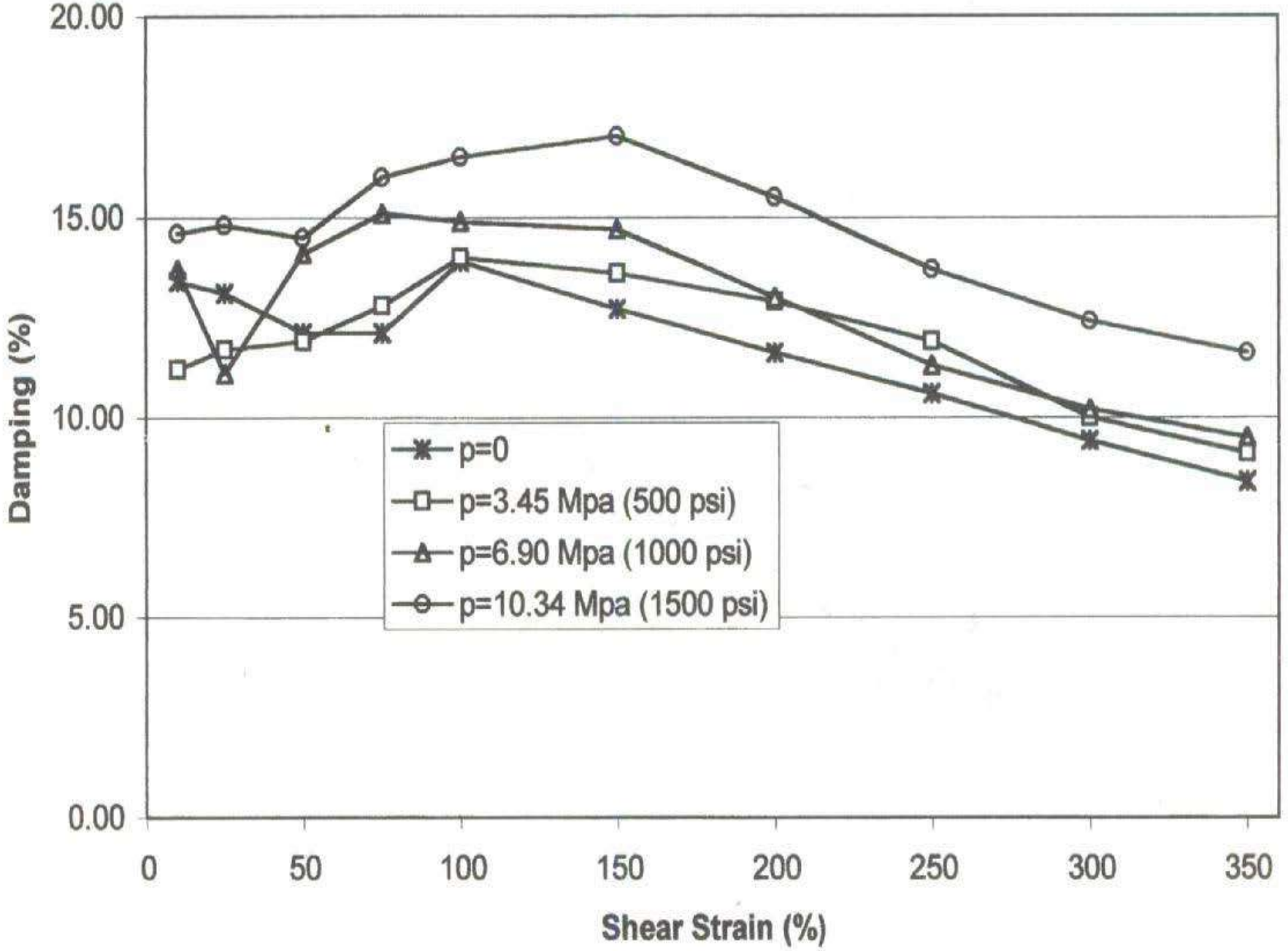
- **سیستمهای لاستیک طبیعی با میرایی زیاد *HDNR***
- تلاش برای ساخت تکیه گاه لاستیکی طبیعیِ دارای میرائی ذاتی جهت از بین بردن نیاز به ابزار میراگرِ تکمیلی در سال ۱۹۸۲ و توسط انجمن تولیدکنندگان لاستیک مالزی (MRPRA)در انگلستان به نتیجه رسید.
- میرایی این سیستم از افزودن *بلوکهای کربنی بسیار ریز، روغنها،رزین ها* و سایر پرکننده های ویژه به لاستیک حاصل میشود.
- میزان میرائی در کرنش برشی ۱۰۰ ٪ به میزان ۱۰ الی ۲۰ درصد قابل افزایش می باشد.
- حد پایین میرایی(۱۰٪) مربوط به سختی کم (۵۵-۵۰ durometer ) و مدول برشی در حدود ۰/۳۵ Mpa و حد بالایی میرایی(۲۰٪) مربوط به سختی زیاد(۷۵-۷۰ durometer ) و مدول برشی بالا ۱/۴۰Mpa می باشد.

- رفتار مصالح در *کرنش های برشی کمتر از ۲۰٪ غیر خطی میباشد* و دارای مشخصات سختی و میرائی بالایی است به طوریکه سبب ایجاد پاسخ اندکِ سیستم در برابر بار باد و یا بار ناشی از زلزله های خفیف میگردد. در کرنش برشی در محدوده ۲۰ الی ۱۲۰ درصد ، مدول برشی کم و ثابت میباشد.



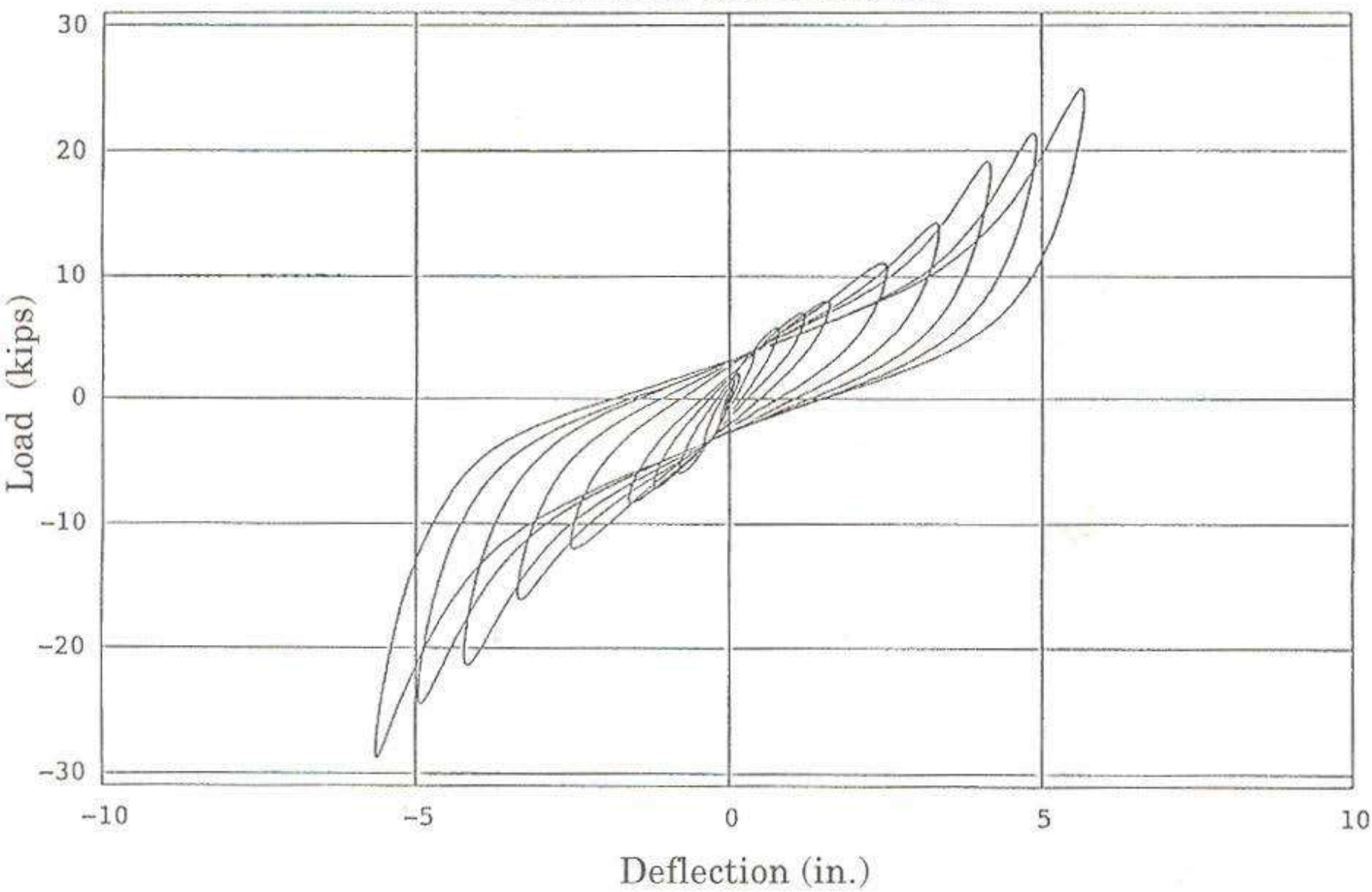



2.50
2.00
1.50
1.00
.50
Shear Modulus (Mpa)
0
50
100
150
200
250
300
350
Shear Strain (%)
p=0
p=3.45 Mpa (500 psi)
p=6.90 Mpa (1000 psi)
p=10.34 Mpa (1500 psi)


20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
Damping (%)
0
50
100
150
200
250
300
350
Shear Strain (%)
p=0
p=3.45 Mpa (500 psi)
p=6.90 Mpa (1000 psi)
p=10.34 Mpa (1500 psi)

- در مقادیر *بزرگتر کرنش برشی، مدول برشی* بواسطه فرآیند کریستالی شدن کرنش در لاستیک که همراه با افزایش در مستهلک کردن انرژی میباشد ، *افزایش* می بابد.
- میرائی در اینگونه ایزولاتورها نه از نوع ویسکوز و نه از نوع هیسترزیس بلکه چیزی بین این دو میباشد . در المان *ویسکوزِ کاملاً خطی ، میزان استهلاک انرژی از مرتبه ۴ تغییر مکان و در سیستم هیسترزیس میزان استهلاکِ انرژی نسبت به تغییر مکان، خطی* میباشد.
- با انجام آزمایشات بسیار بر روی ایزولاتور فوق در مرکز تحقیقات مهندسی زلزله EERCمشخص شد که *استهلاک انرژی این نوع از جداگرها در هر سیکل از بارگذاری متناسب با تغییر مکانِ از مرتبه ۱/۵* می باشد.

Bearing ID: HR030-2
Vertical pressure: 1000 PSI
Strain ranges: 5% 10% 25% 50% 75% 100% 150% 200% 250% 300% 350%



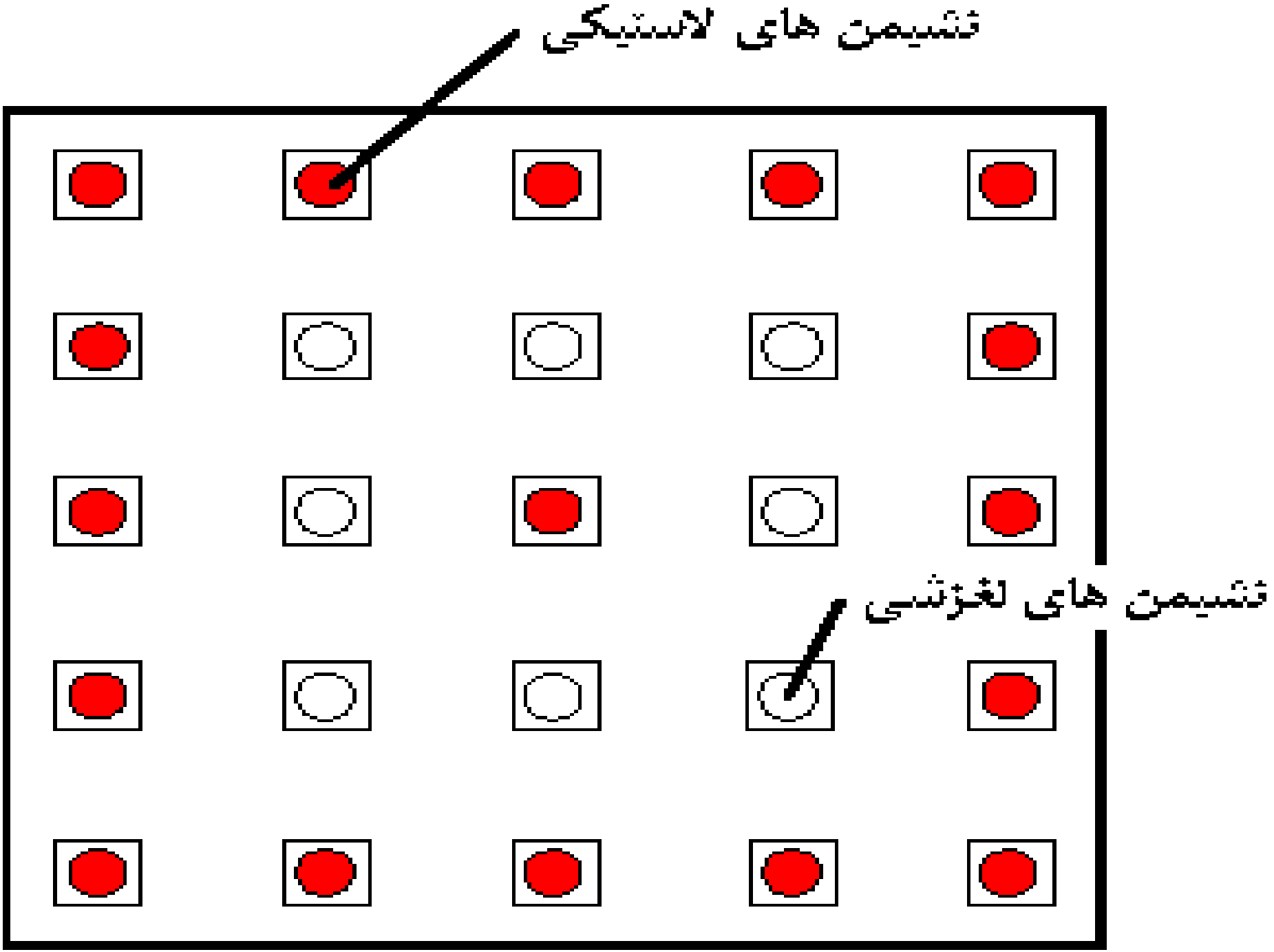
# سیستم جداگر لغزشی

- ساده ترین وابتدایی ترین را حل ایزوله نمودن ساختمان از زمین،استفاده از لایه ای از ماسه بین سازه و پی و یا قرار دادن گوی هایی در زیر ستون ها جهت ایجاد آزادی حرکت افقی برای سازه می باشد.
- مصالح متداول در ساخت سیستم های لغزشی شامل *Polytetrafluoroethylene (PTFE یا Teflon) توپر یا تو خالی بر روی فولاد ضد زنگ میباشند* ؛ مشخصات اصطکاکی سیستم مذکور وابسته به حرارت ، سرعت حرکت سطح تماس ، درجه ساییدگی و میزان تمیزی سطح میباشد.
- *سیستم فوق شامل ترکیب لایه های باربر نئوپرن با آلیاژی از سرب و ُبرنِز درتماس با فولاد ضد زنگ* و سطح تماسی که بر روی بخش باربر الاستومریک قرار گرفته میباشد.

# سیستم ترکیبی EERC

- این سیستم متشکل از دو سیستم الاستومری و لغزنده بوده و در موسسه تحقیقاتی EERCابداع شده است. در این سیستم *ستونهای داخلی ساختمان برروی المانهای لغزنده ای که از جنس تفلون به همراه فولاد ضدزنگ* میباشند قرارمیگیرند و *ستونهای خارجی برروی نشیمن های لاستیک طبیعی با میرایی کم* واقع میگردند.
- *نشیمنهای الاستومری سبب بازگشت سیستم به حالت اولیه و کنترل پیچش ساختمان* میگردند و *اجزاء لغزنده، میرایی مورد نیاز سیستم* را فراهم میآورند.

- **سیستم ترکیبی *TASS***
- این سیستم توسط گروه TAISEIتوسعه داده شده است. در این سیستم، تمام *بارهای قائم سنگین بوسیله لغزنده تفلونی با فولادضدزنگ* حمل میشود و *نشیمنهای لایه ای نئوپرنی که باری به آنها وارد نمیشود به منظور ایجاد نیروی جانبی بازگرداننده* مورداستفاده قرار میگیرند.
- سطح لغزشی تفلون فشاری در حدود 10 Mpaرا تحمل نموده وضریب اصطکاک سطح تفلون بین ۵٪ برای سرعت پایین لغزش وتا ۱۵٪ برای سرعت بالای لغزش متغیر میباشد.
- سیستم فوق دارای معایبی است :
- ***- تکیه گاه های الاستومریک هیچگونه بار قائمی را حمل نمیکنند، لذا ممکن است به کشش بیافتند.***
- ***- حساسیت سطح لغزش به سرعت سبب افزایش سختی مدل کردن سیستم میشود .***


نشیمن های لاستیکی
نشیمن های لغزشی

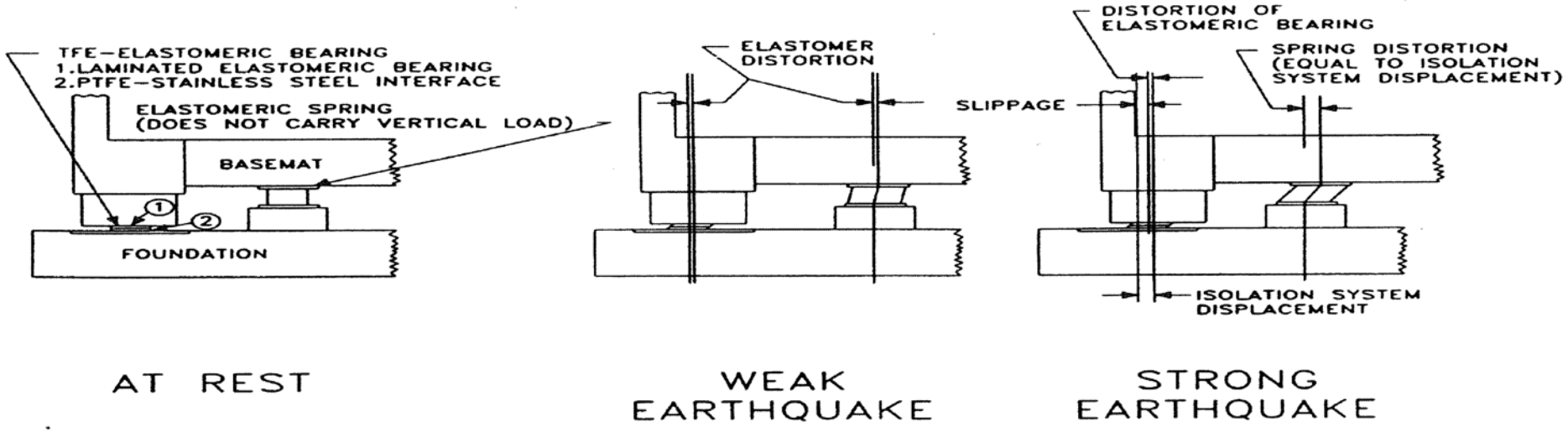
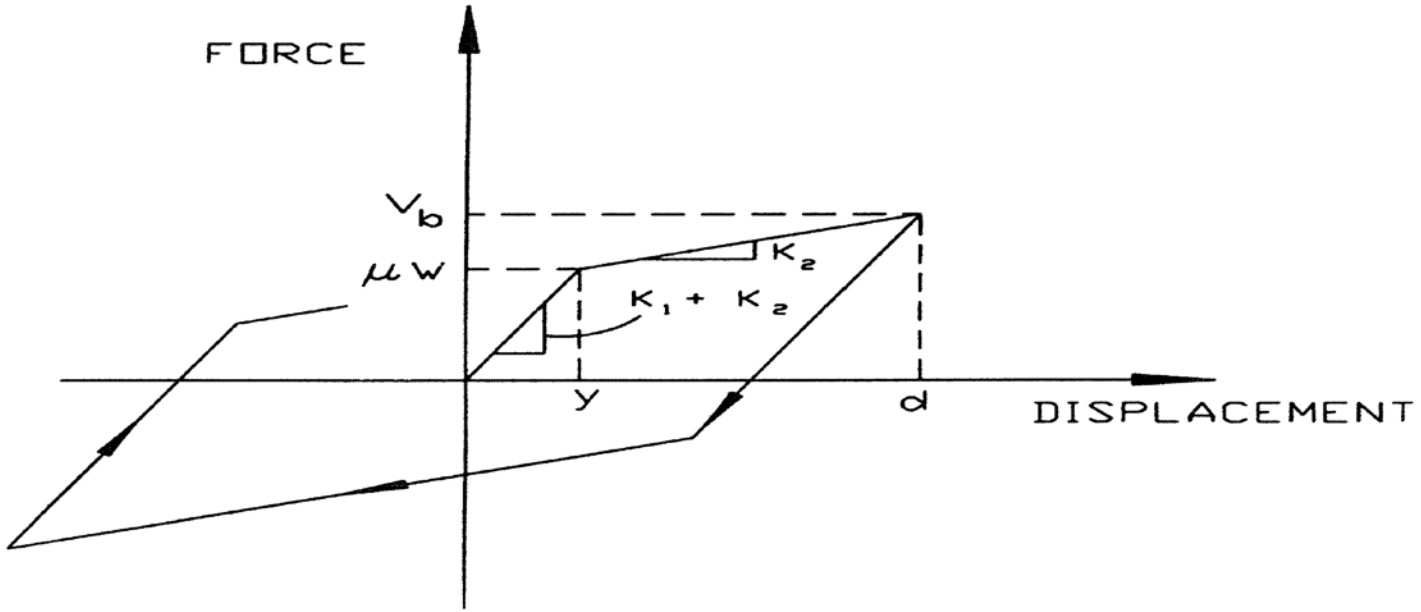



Figure 2 Configuration of TASS System

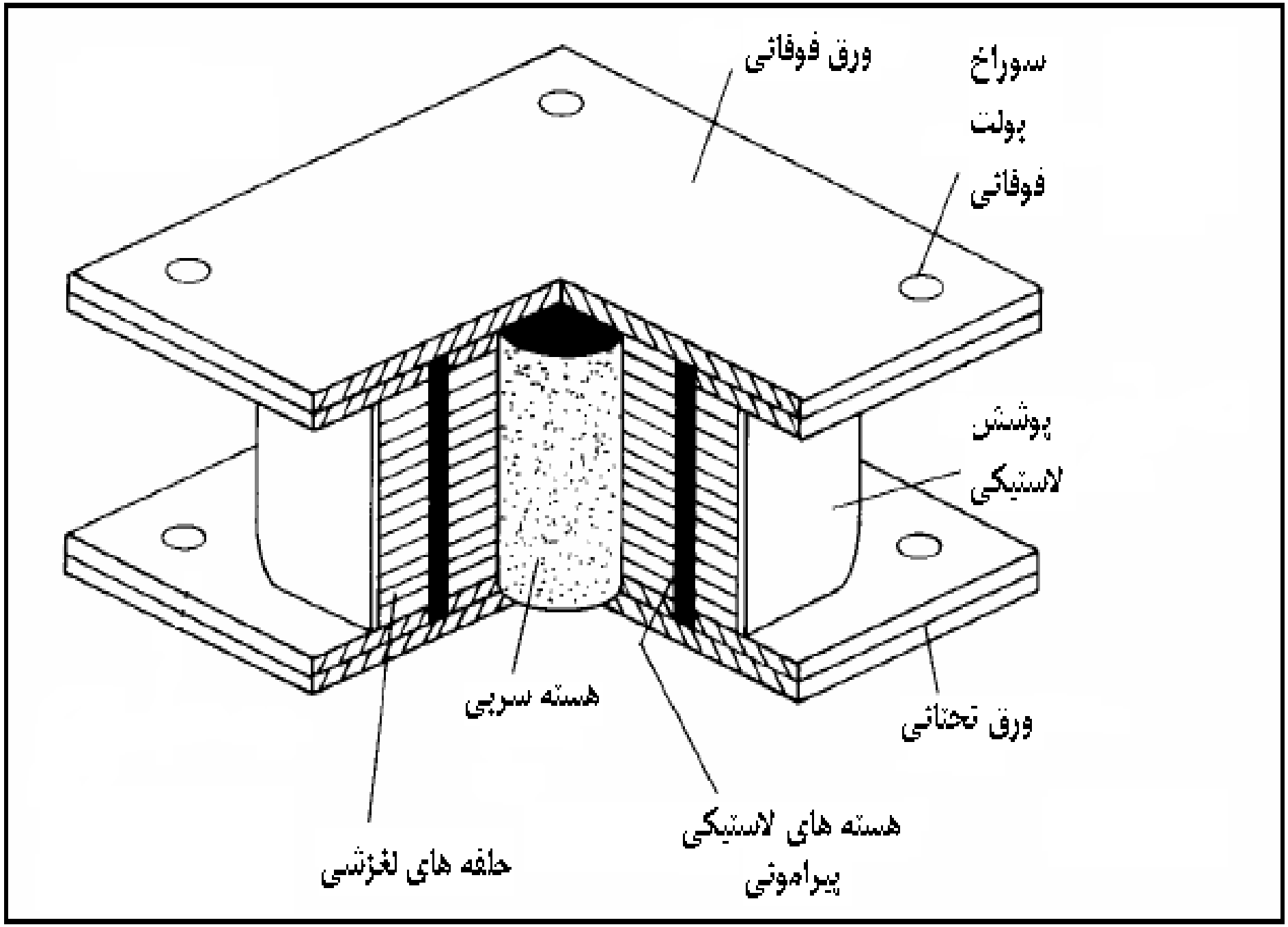


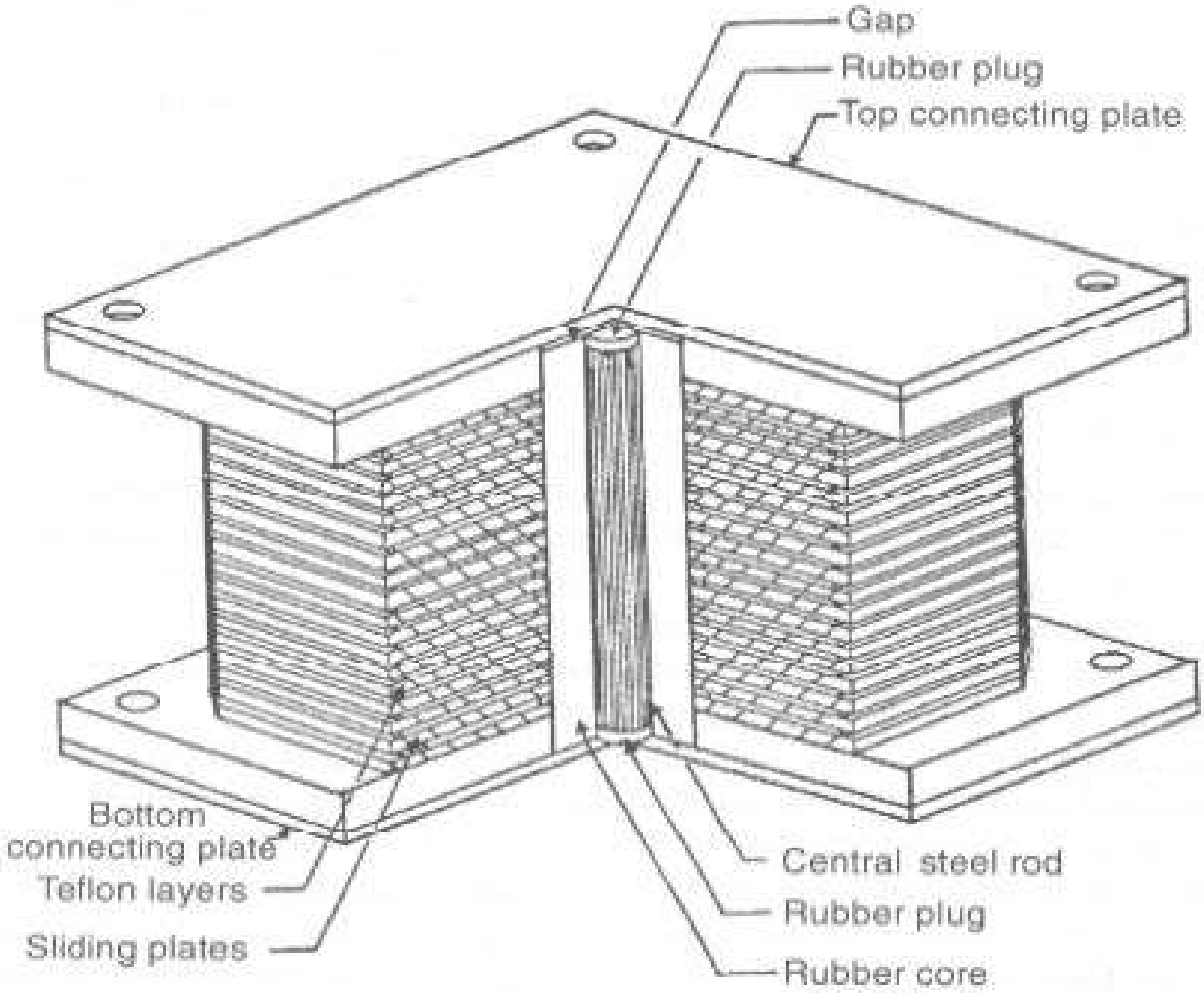

Idealized Force-displacement Relation of TASS System

- ***جداساز های اصطکاکی***
- در این نوع از جداسازی، روسازه اجازه می یابد تا در زمان رخداد زلزله های نسبتا بزرگ *بر روی جداساز بلغزد*. سازه به محض تجاوزنیروی برشی در طبقه جداسازی شده از میزان نیروی اصطکاکی در نظر گرفته شده برای جداساز ها بر روی آن ها شروع به لغزش می کند و به این ترتیب از ارسال نیروهای لرزه ای بزرگ به سازه جلوگیری می شود.
- در این حال *نیروی اصطکاکی به وجود آمده درجداساز ها* در مقابل نیروی محرک زلزله عمل کرده و *انرژی جنبشی را مستهلک* می کند. در مواردی که از این نوع جداساز ها به تنهایی استفاده می شوند ، سامانه جداسازی به محتوای فرکانس موجود در ارتعاش تحریک حساس نبوده و موجب تشدید مولفه های خاصی ازآن نیز نمی گردد.
- در این حالت *شتاب موجود در طبقه جداسازی متناسب با ضریب اصطکاک* در نظر گرفته برای جداساز ها خواهد بود. ازاین رو با *کاهش ضریب اصطکاک* می توان *شتاب اعمال شده به سازه در طی ارتعاش را کاهش داد*. برای کاهش میزان اصطکاک موادی مانند تفلون و فولاد استیل کارایی قابل توجهی در این گونه جداساز ها از خود نشان داده اند. هرچند کاهش ضریب اصطکاک به هر میزان دلخواه به معنای افزایش تغییر مکان به وجود آمده در تراز جداسازی است.

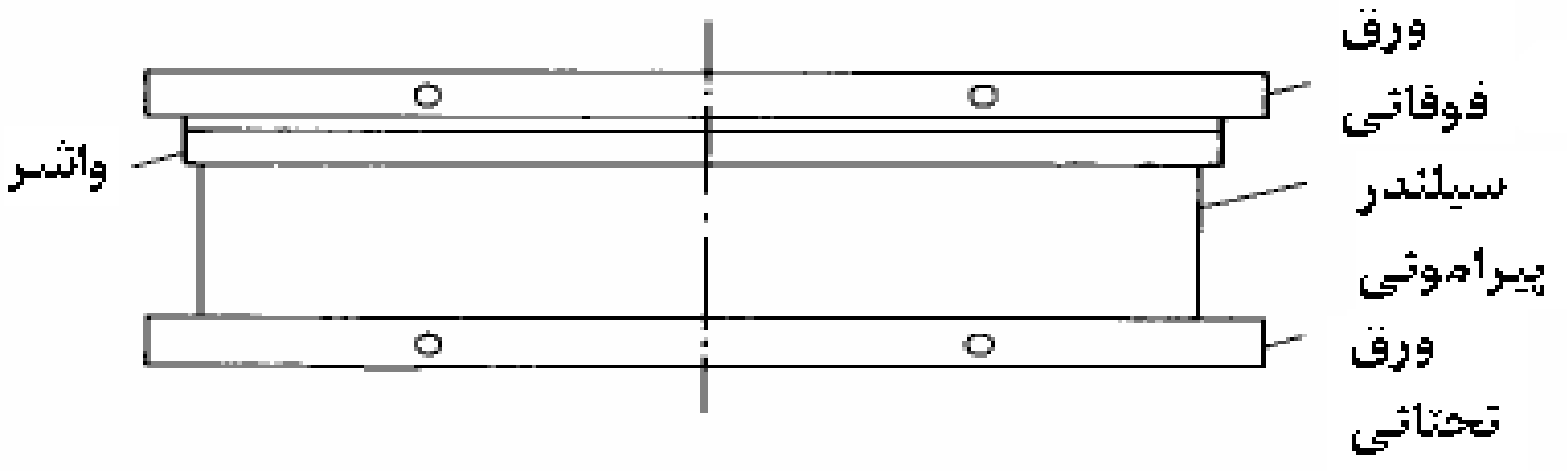
- خصوصیت دیگر این نوع جداسازی *تناسب نیروی اعمالی* از سامانه جداسازی با *جرم سازه* است. *بنابراین مرکز جرم سازه با مرکزاعمال نیرو یکی خواهد بود* و در نتیجه آن پیچش در سازه های غیرمتقارن به وجود نخواهد آمد.
- یک نکته قابل توجه در این گونه سامانه های جداسازی، نبود نیروی بازگرداننده در آن است. این امر ممکن است موجب شود تا سازه پس از اتمام لرزه به محل اولیه خود باز نگردد. علاوه بر این طراح باید در طی طراحی به موارد زیر در طول دوره ساخت و نگهداری سامانه نیز توجه کافی داشته باشد:
- - امکان جوش خوردن سطح تماس جداسازها در طول زمان؛
- - وقوع یخ زدگی؛
- - بروز خوردگی؛
- - از بین رفتن سطح کم اصطکاک این تجهیزات.

- سیستم جداگر اصطکاکی پس جهنده R-FBI
- در این جداگر با استفاده از *سطوح متعدد لغزنده* مشترك مشكل *ضريب اصطكاك زياد تفلون روي فولاد ضد زنگ* درسرعتهاي بالا رفع شده است.
- *سرعت بين لايه هاي مختلف تقسيم شده* و با كاهش سرعت هر لايه، ضريب اصطكاك كاهش مييابد. علاوه بر المانهاي لغزنده، هسته مركزي كه از جنس لاستيک ميباشد، نيرويی بازگردانندهاي در سيستم ايجاد ميكند.
- آزمايشهاي صورت گرفته برروي اين سيستم نشان ميدهند كه هسته لاستيكی توانايی توزيع مناسب تغييرمكانها را ندارد، براي رفع اين مشكل ميله فولادي در داخل هسته لاستيكی قرار گرفته تا توزيع تغييرمكان بين لايه هاي لغزنده را بهبود بخشد.

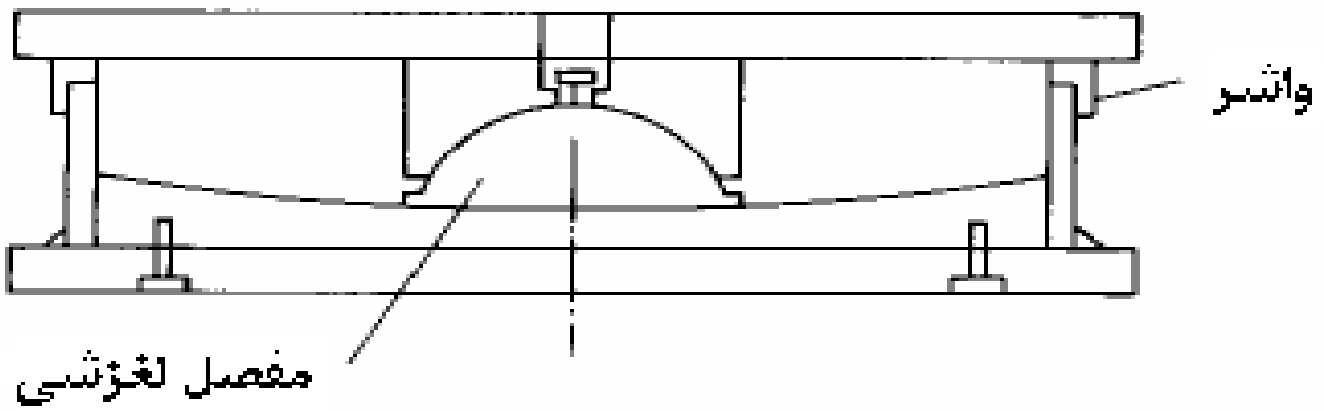

سوراخ
بولت
فوفائی
ورق فوفائی
پوشش
لاستیکی
هسته سربی
ورق تحتانی
هسته های لاستیکی
پیراموتی
حلقه های لغزشی


Gap
Rubber plug
Top connecting plate
Bottom connecting plate
Teflon layers
Sliding plates
Central steel rod
Rubber plug
Rubber core

- **سیستم آونگ اصطکاکی *FPS***
- این سیستم بوسیله هندسه خاص خود، *عمل لغزش و نیروی بازگرداننده* را فراهم میکند.
- جداسازFPS دارای قسمت لغزنده مفصلی است که بر روی سطح کروی از جنس فولاد ضدزنگ میلغزد. سطح دیگر این لغزنده نیز کروی بوده و با لایه ای از فولاد ضد زنگ پوشیده شده است.
- حرکت قسمت لغزنده مفصلی و سطح کروی باعث ایجاد میرایی در جداساز میشود. *سختی موثر جداساز و میرائی آن به وسیله شعاع انحنای سطح محدب* کنترل میشود.
- *شعاع انحنای این جداساز دوره تناوب سامانه جداسازی را مشخص می کند.* بنابراین در صورتی که وزن سازه تغییر کند یا بامیزان برآورد شده متفاوت باشد ، دوره تناوب تغییری نخواهد کرد.




ارتفاع جداگر FPS




مقطع جداگر FPS

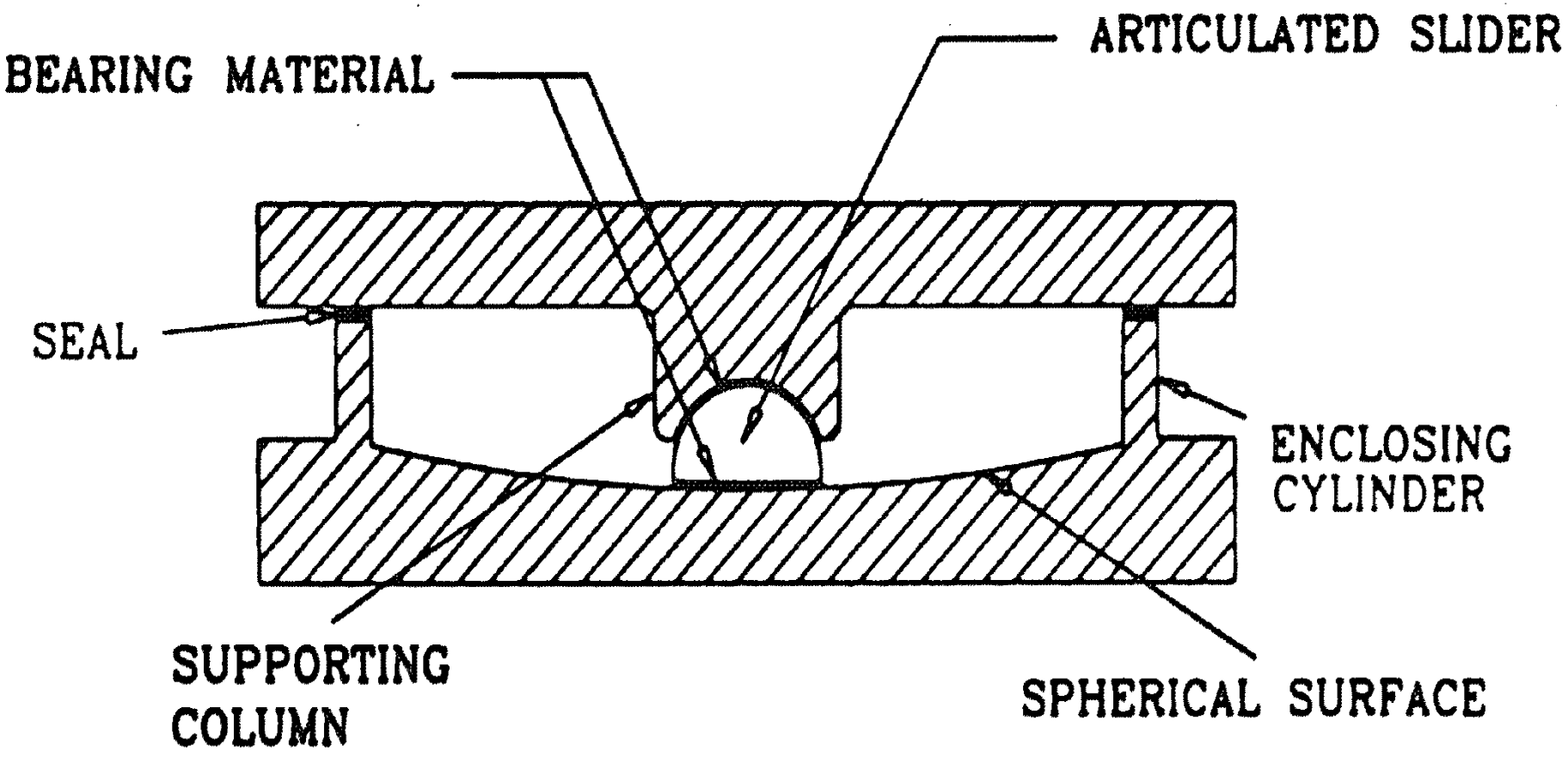
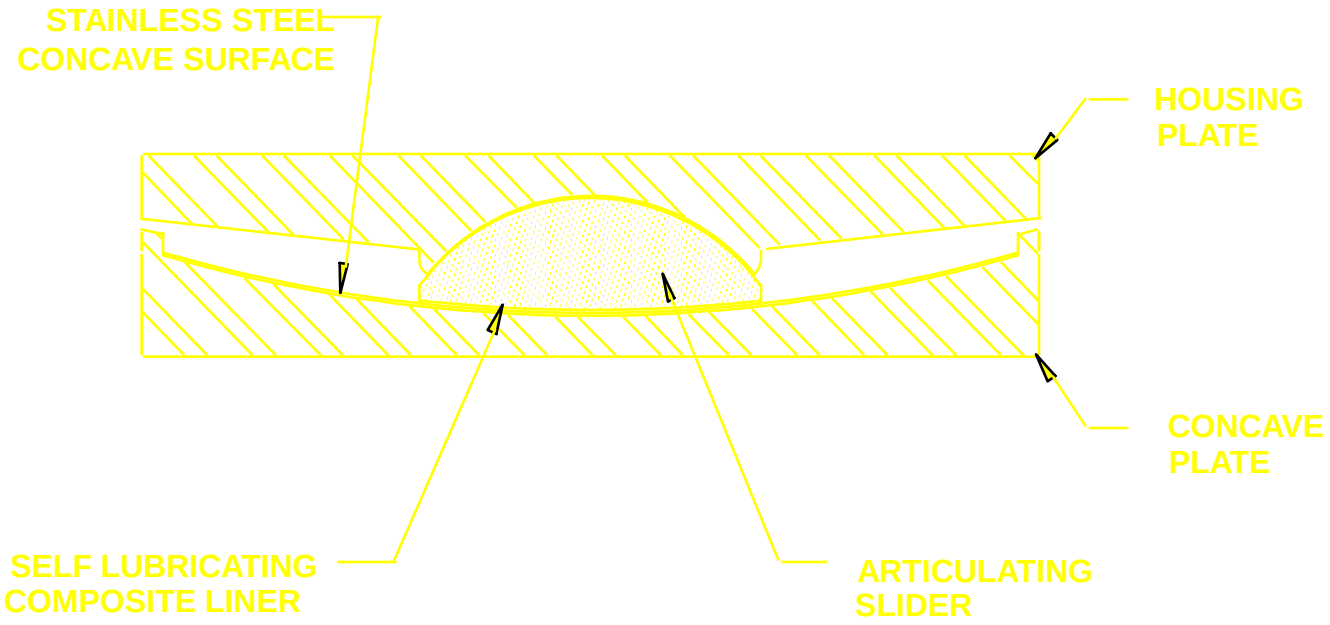
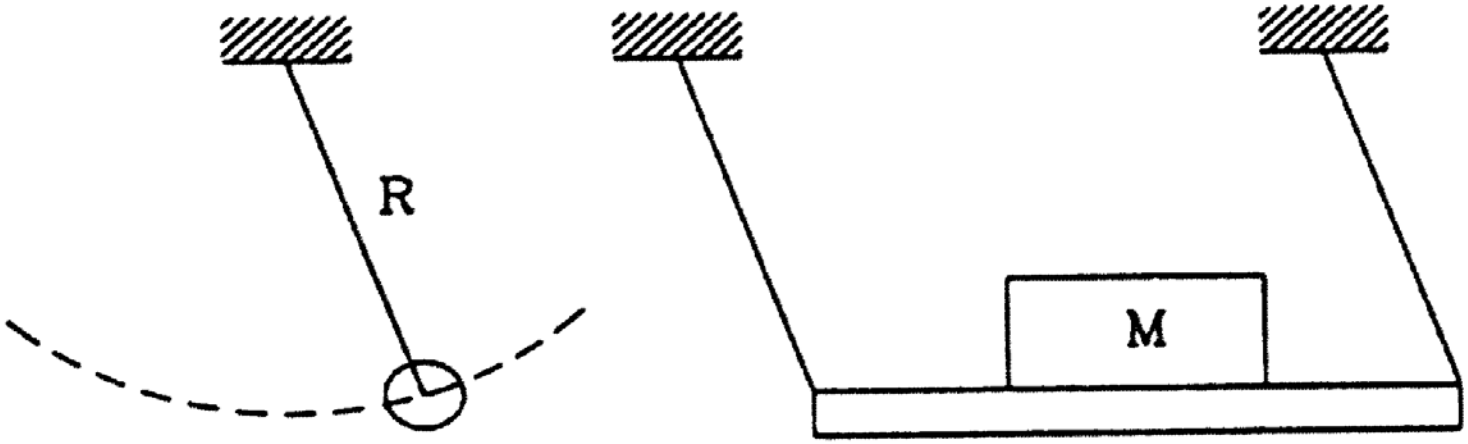



Figure 4 FPS Bearing Design

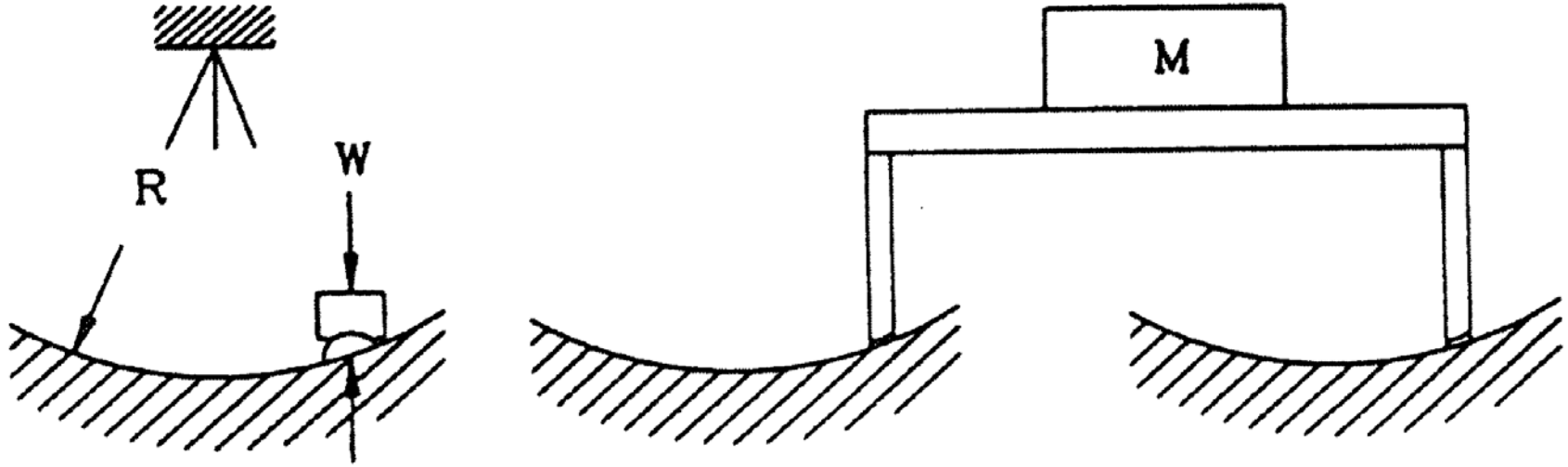
# Friction Pendulum Bearing



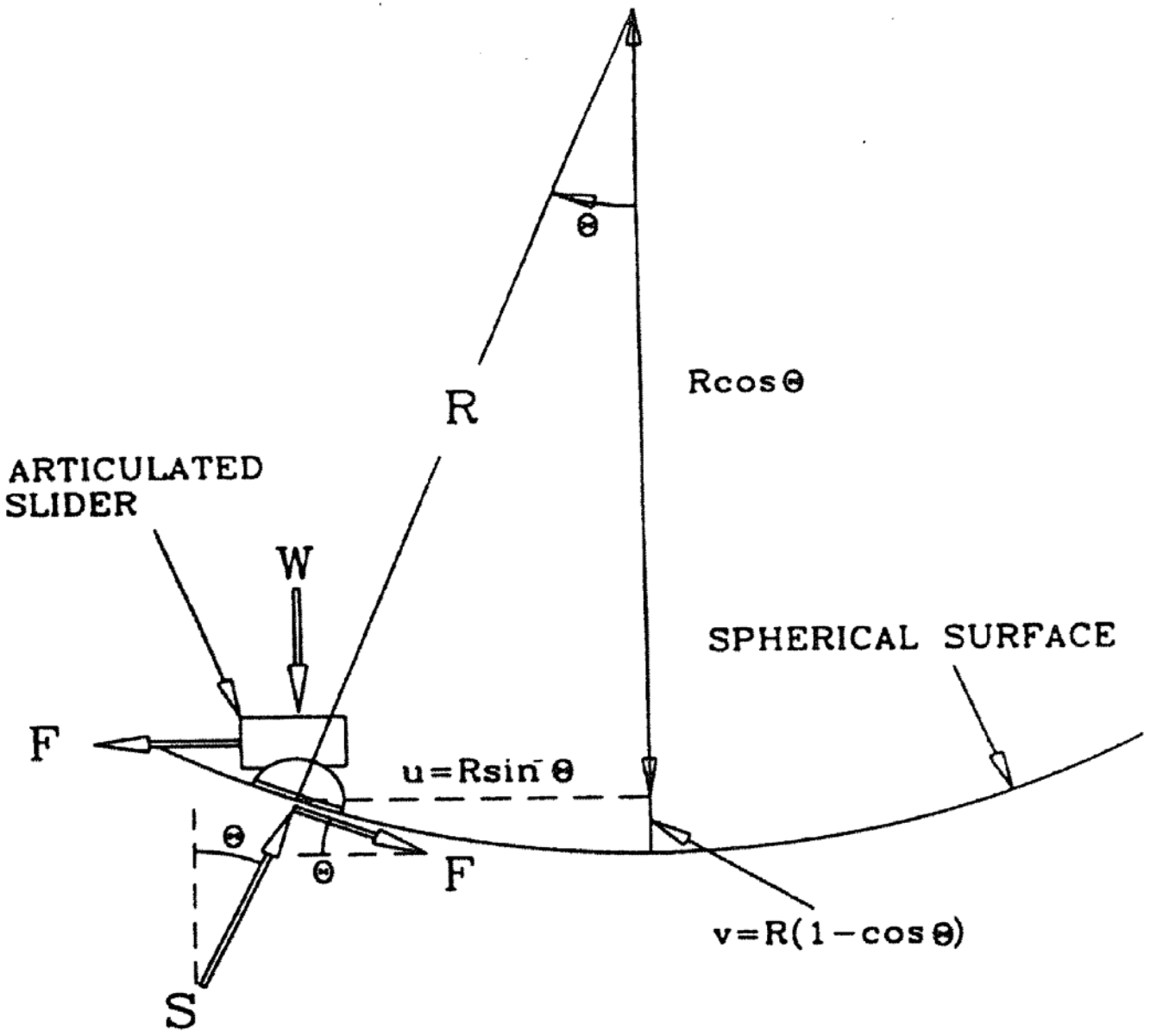

SECTION



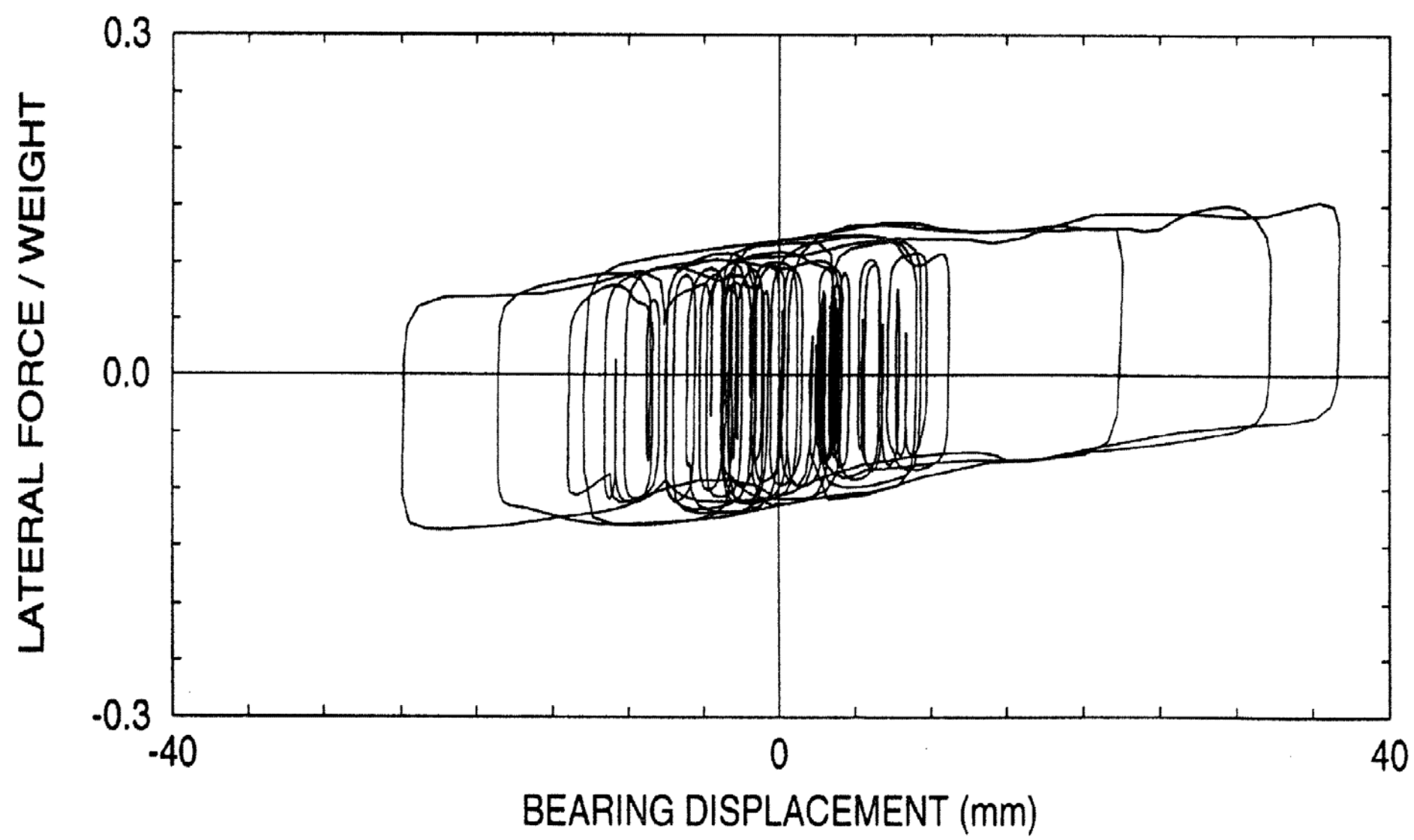

PENDULUM MOTION




MOTION OF STRUCTURE ON FPS BEARINGS



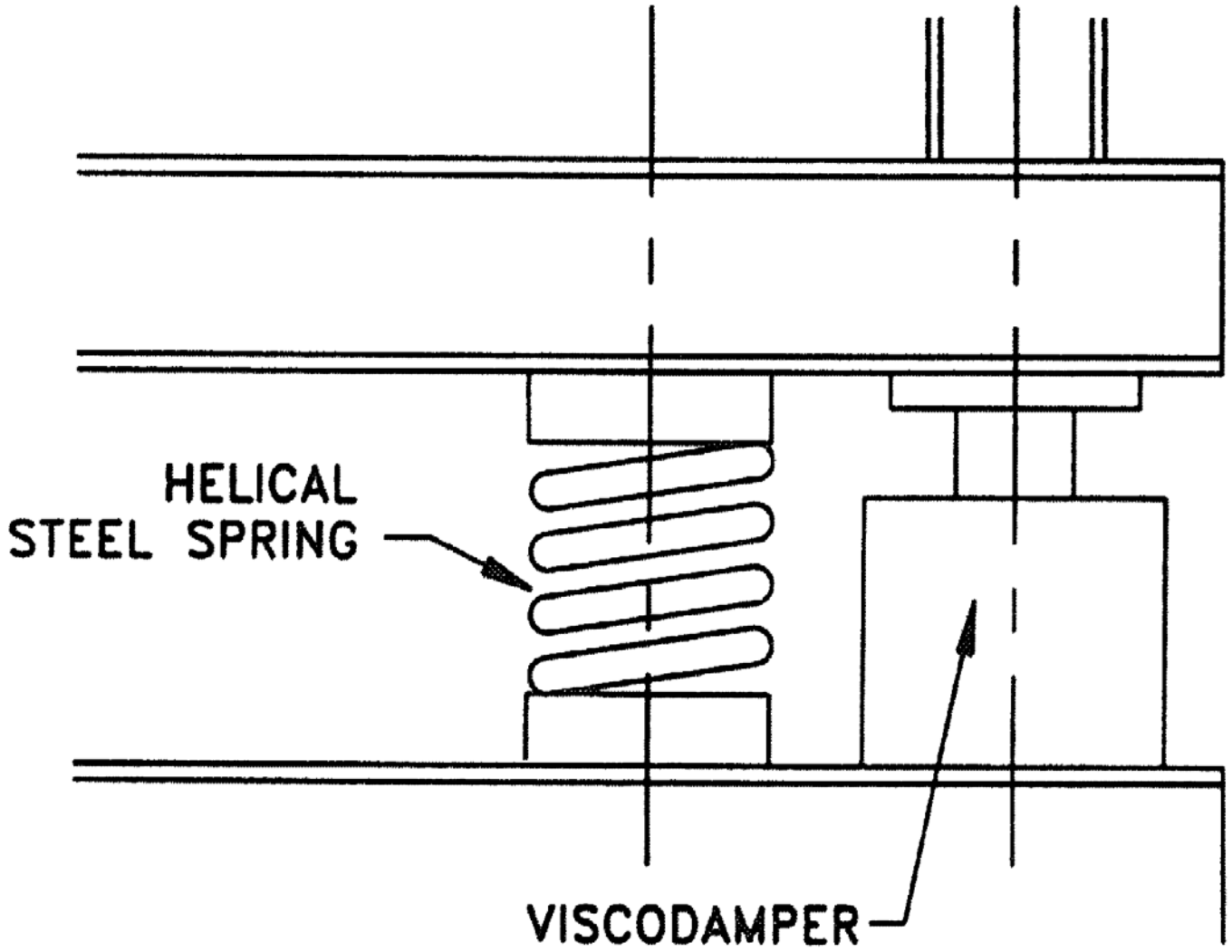

Free Body Diagram of FPS Bearing




Recorded Loop of Force-displacement of FPS Bearing during Shake Table Test. Excitation is 1940 El Centro Scaled to 0.68g

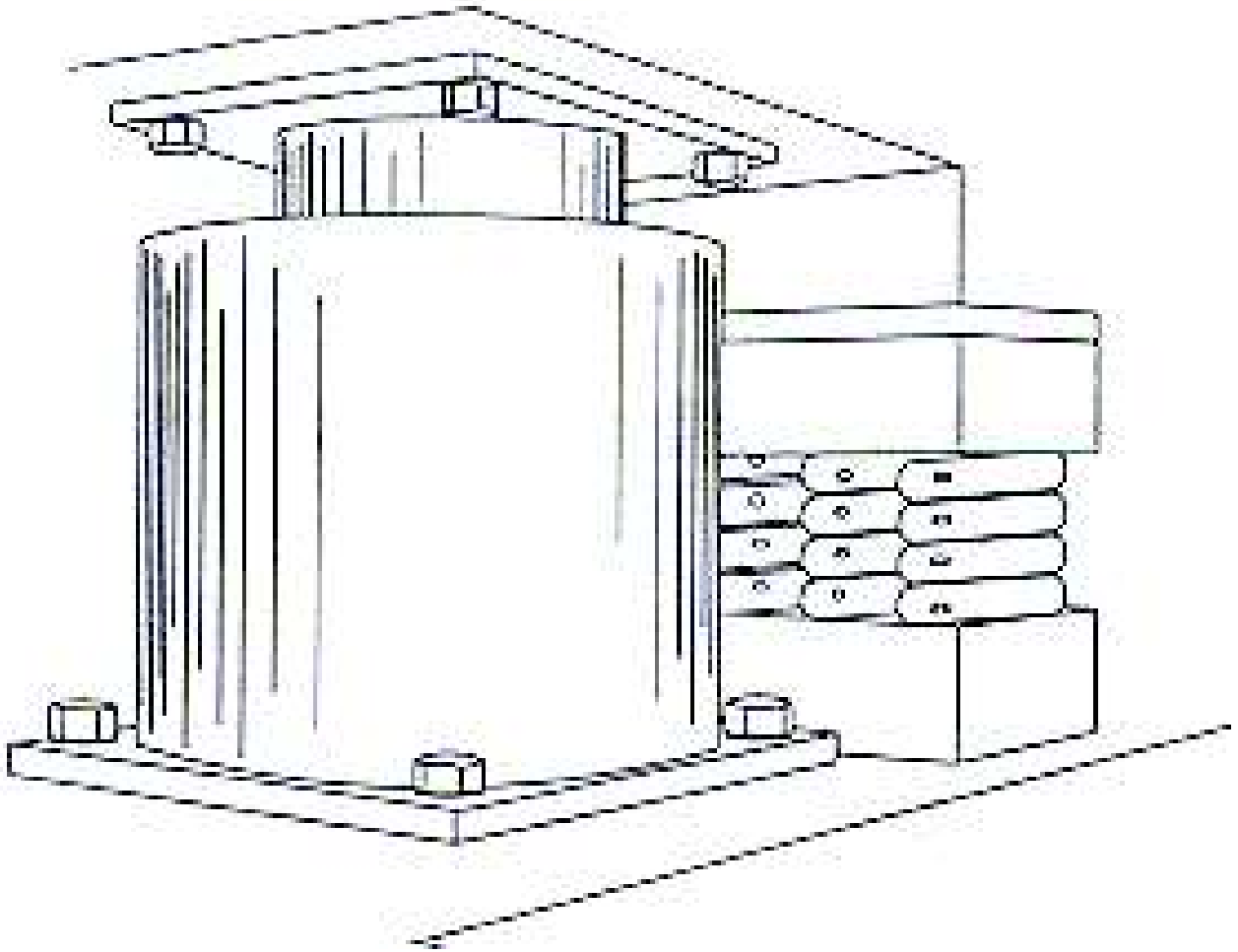
- **سیستمهای فنری GERB**
- سیستمهای جداسازی الاستومری و لغزنده برای فراهم کردن جداسازی افقی مورد استفاده قرار میگیرند. هنگامی که جداسازی کامل (سه بعدی) مد نظر باشد میتوان از سیستمهای فنری استفاده شود.
- دراین سیستم از فنرهای حلقوی فولادی که در دو راستای افقی و قائم انعطاف پذیرند استفاده میشود. فنرهای فولادی فاقد میرایی بوده و این سیستم همواره با میراگر لزج GERB بکار میرود.

Base Isolator




Components of GERB Spring-Viscodamper Isolation System

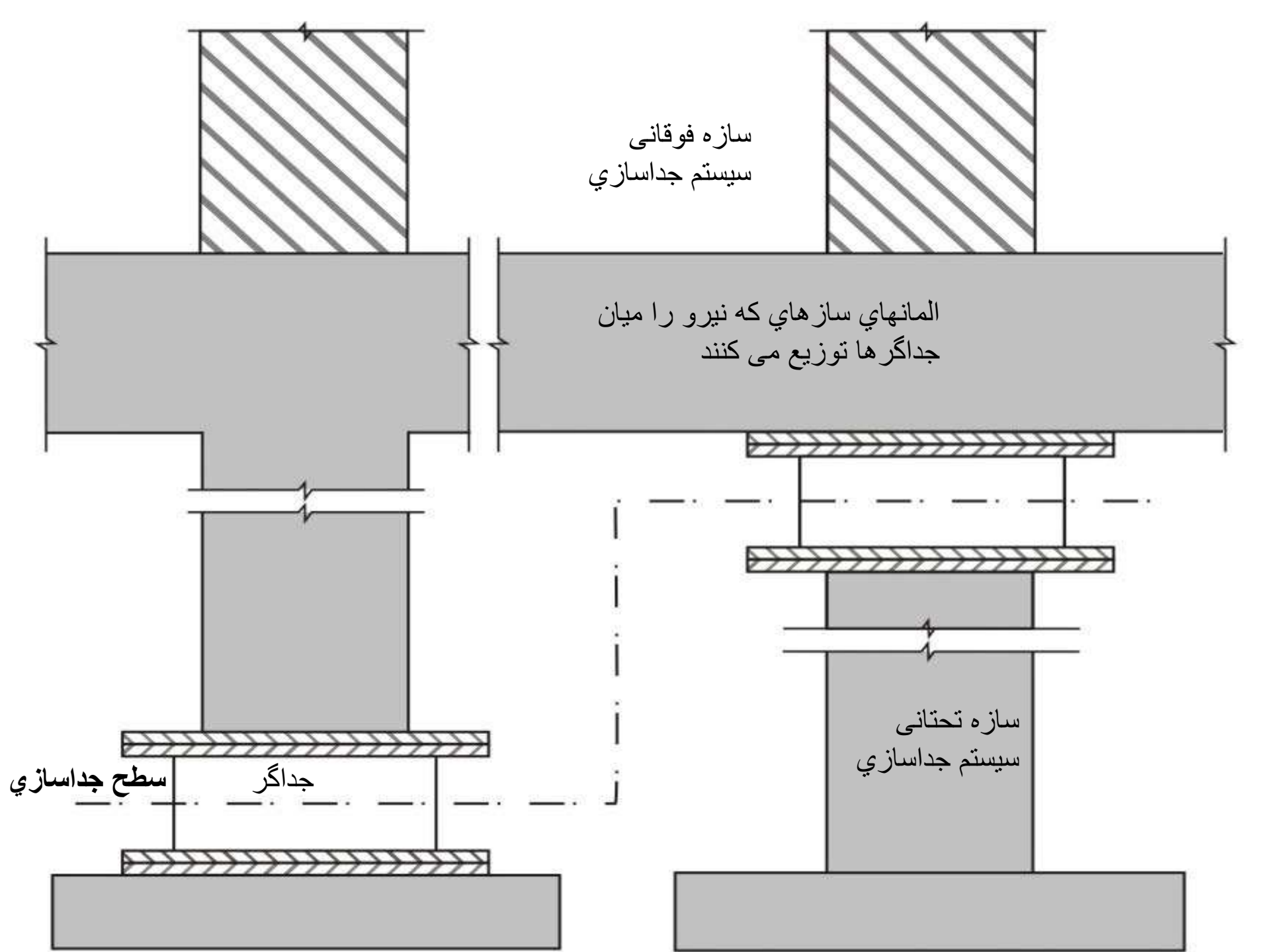
# Application of VFDs to civil engineering structures



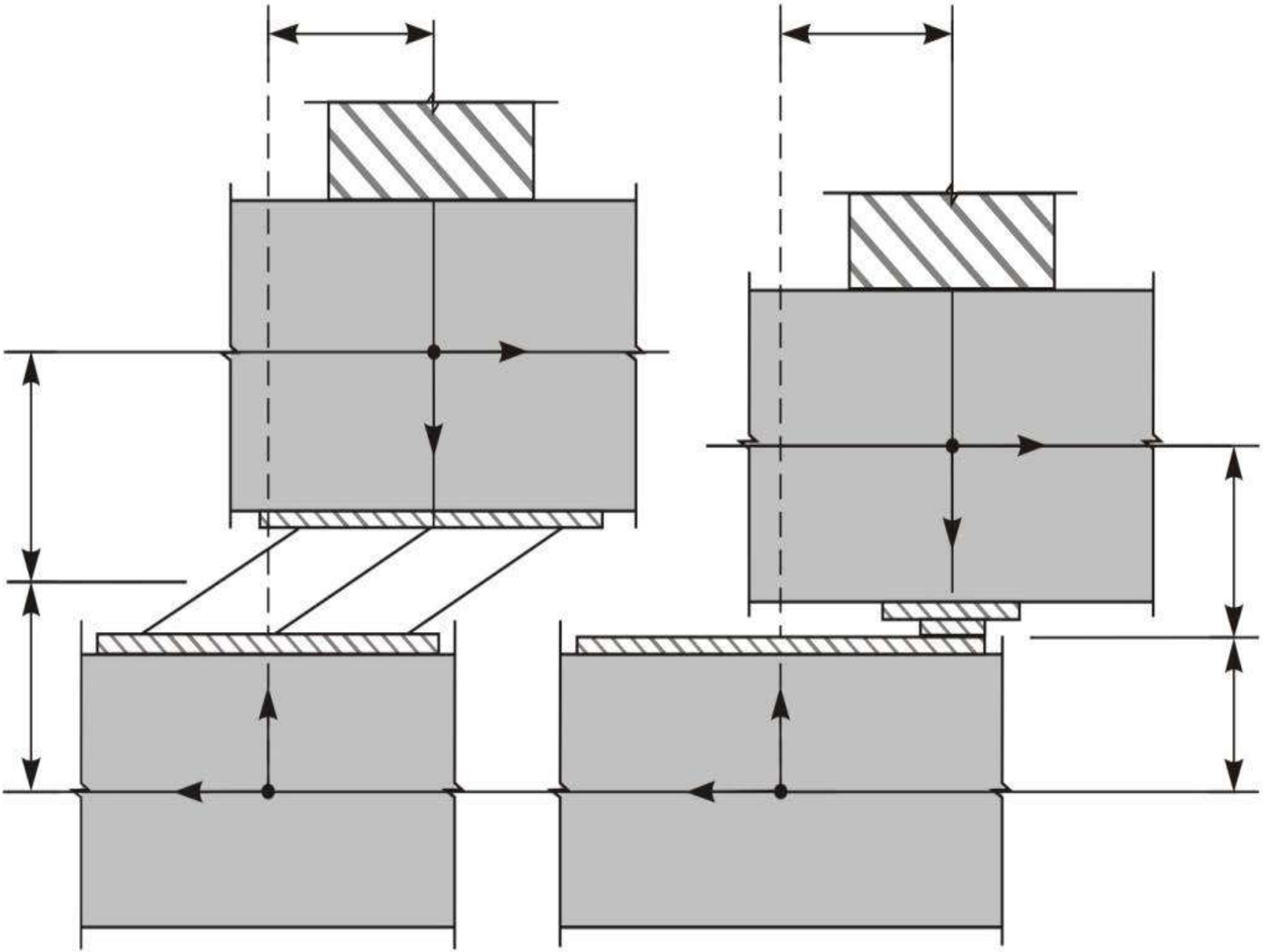
**Base isolation system with helical springs**

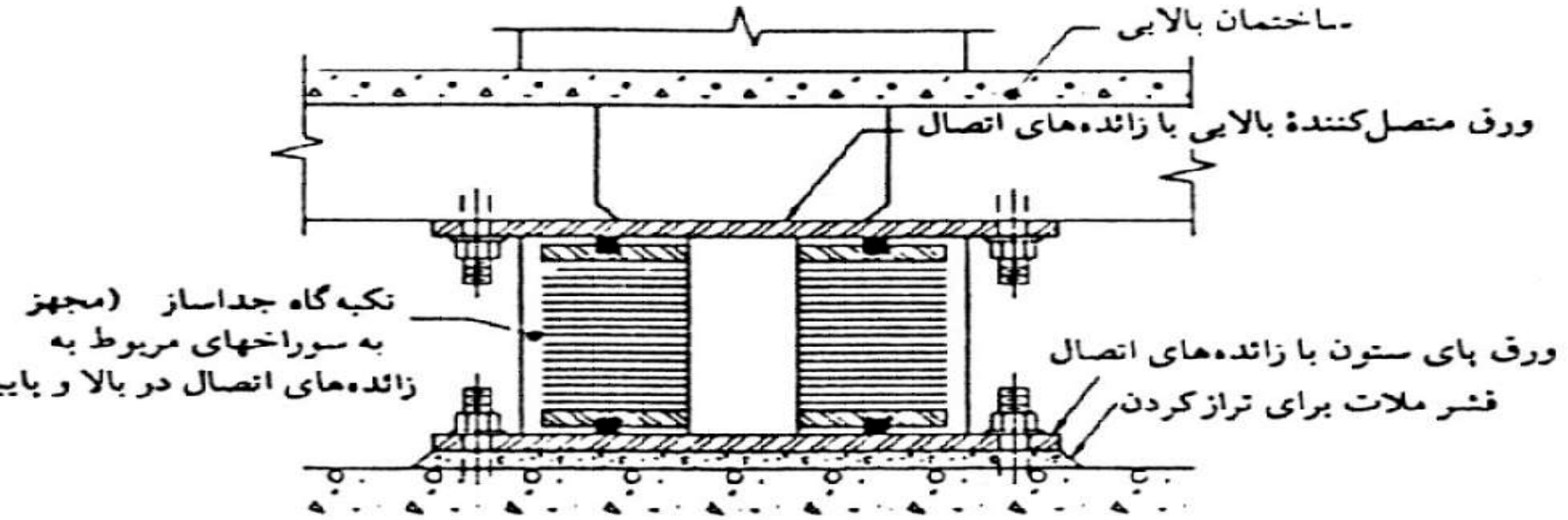
**and cylindrical pot fluid dampers (Huffmann, 1985)>**

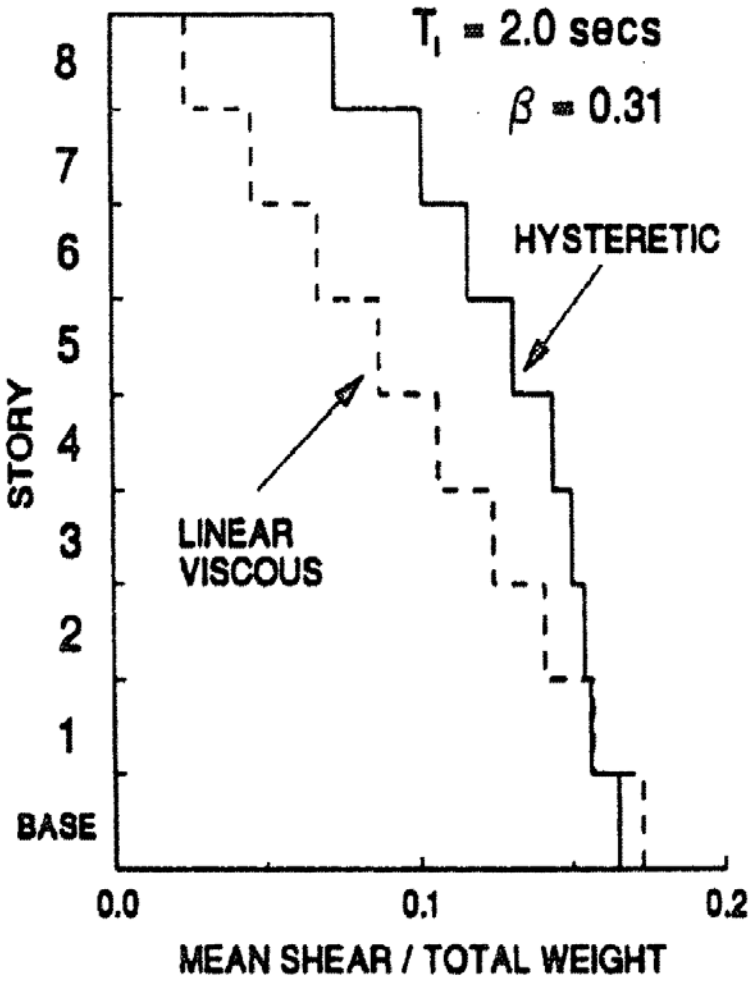
- **تعريف المانهاي سازه جداشده**
- سطح جداسازي، سطح فرضی بين بخش فوقانی سازه و بخش تحتانی آن می باشد که بخش تحتانی بصورت صلب با زمين حرکت ميکند. اين سطح جداسازي شده صفحه افقی است که ميتواند در تراز پروژه جابجا شود سيستمهاي الکتريکی و تاسيسات که از عرض سطح جداسازي عبور ميکنند بايد با حداکثر تغييرمکان نسبی سازگاري داشته باشند.
- واحدهاي جداگر الاستومري-سربی در کرنشهاي کوچک سخت بوده و معمولاً معيارهاي تغييرمکان در برابر بارهاي باد را تامين مينمايند.
- نيروي اصطکاك ايستايی جداگر لغزشی معمولاً بزرگتر از نيروي باد است.

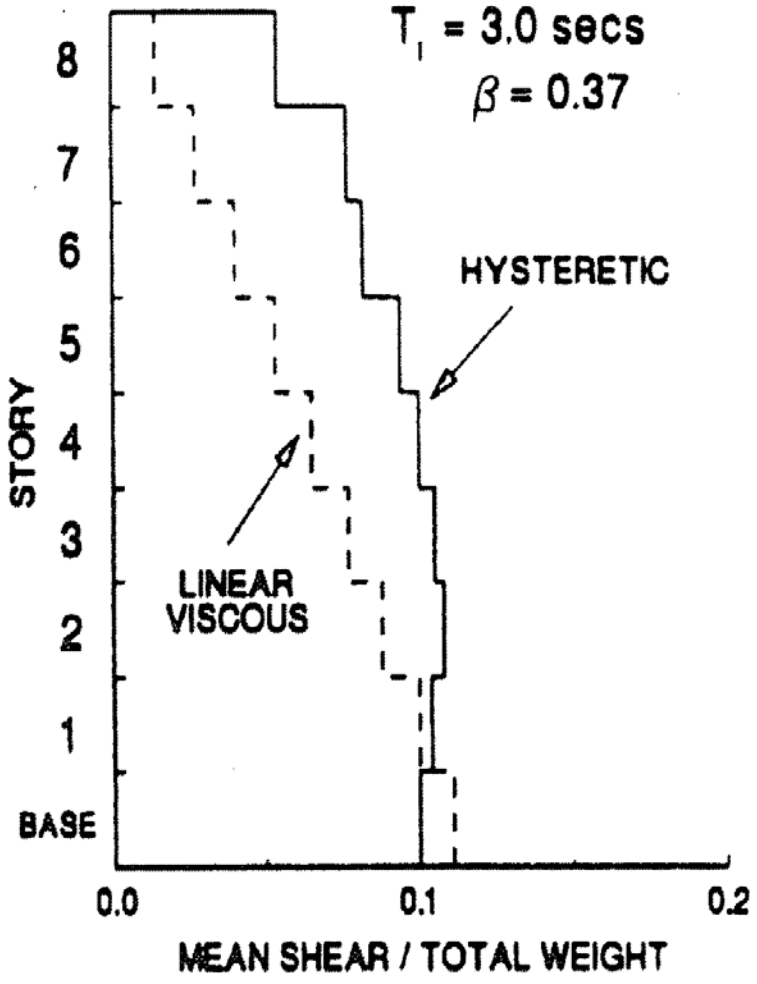

سازه فوقانی
سيستم جداسازي
المانهاي سازهاي كه نيرو را ميان
جداگرها توزيع مي كنند
سازه تحتانی
سيستم جداسازي
جداگر
سطح جداسازي

- **اثرات بارهاي $P-\Delta$ بر سيستم جداسازي**
- بدليل وجود تغييرشكلهاي بزرگ در سيستمهاي جداسازي شده لحاظ نمودن اثرات $P-\Delta$ در جداسازها و المانهاي سازه مجاور امري ضروريست.

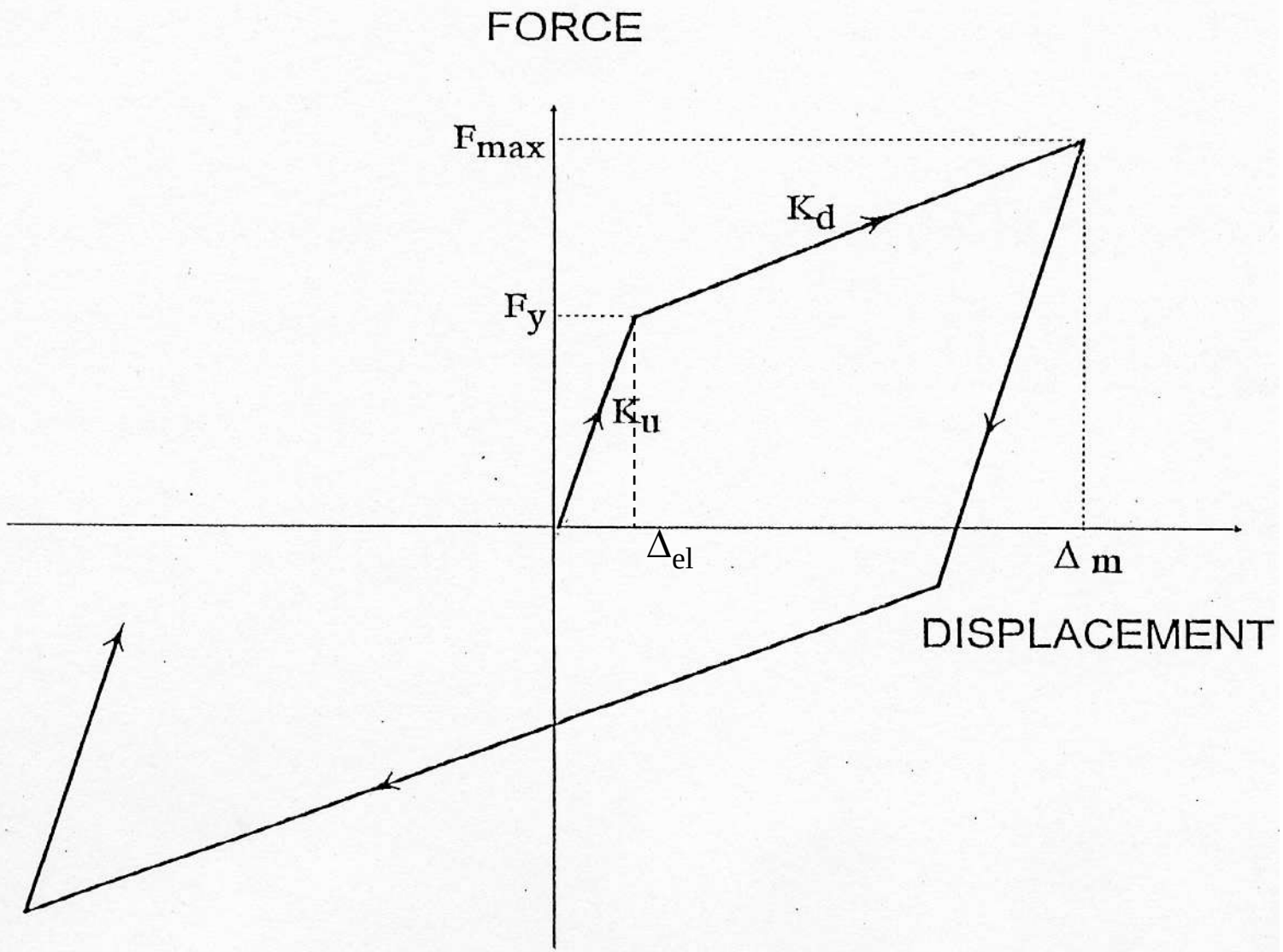



ساختمان بالایی
ورق متصل‌کنندهٔ بالایی با زائده‌های اتصال
نکبه‌گاه جداساز (مجهز
به سوراخهای مربوط به
زائده‌های اتصال در بالا و پایی
ورق پای ستون با زائده‌های اتصال
فشر ملات برای تراز کردن



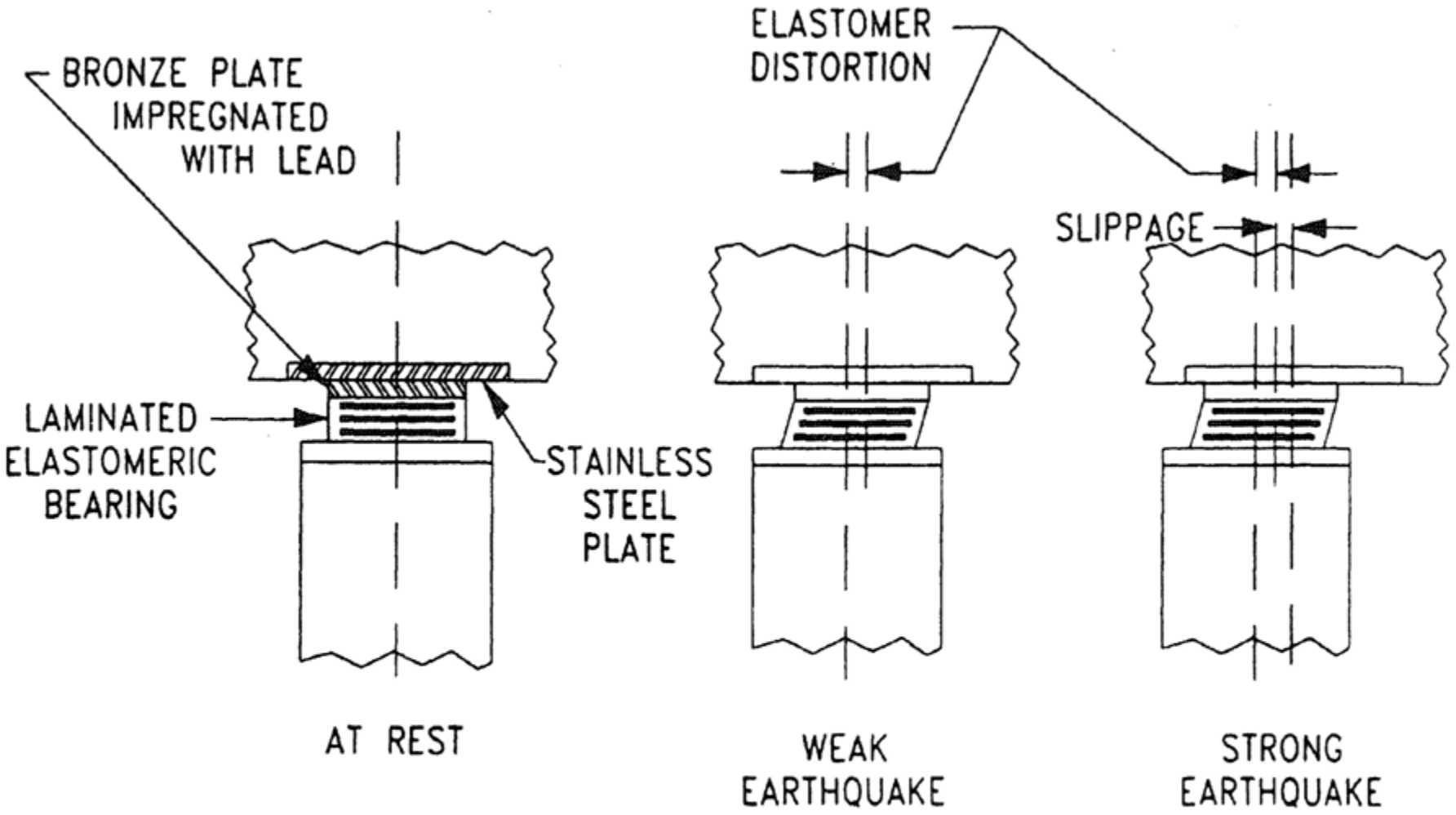




Comparison of Distribution of Shear Force with Height in 8-story Structure with Hysteretic and Linear Viscous Isolation System. Seismic Input Representative of Seismic Zone 4, Soil Type $S_2$ in U.S.

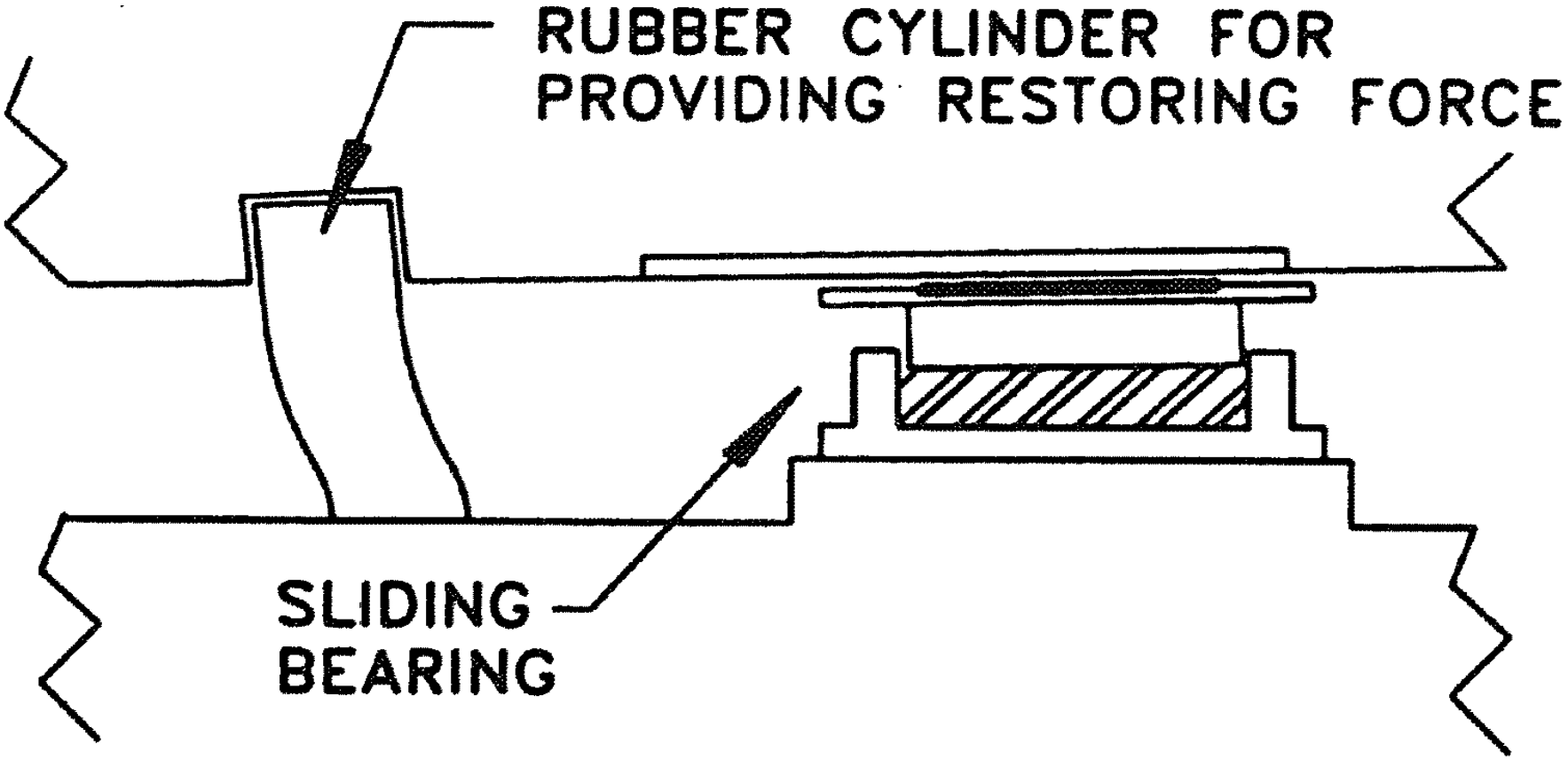



$\Delta$ m = 20 to 30 inches

$F_{max}$ = 3 to 4 times $F_y$




# EDF System Configuration and Typical Response




Alexisismon Sliding Isolation System