



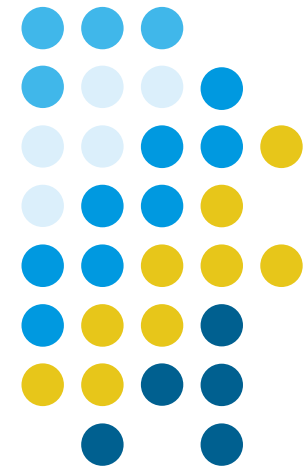
TOKIO MARINE
NICHIDO

都市防災論 第十回

—耐震技術を知る：耐震、制震、免震—

Date:2011/6/20

東京海上日動リスクコンサルティング
リスクモデリング グループ
大峯 秀人





本日の講義内容

A. 地震に耐える・制する・免れる

- 耐震・制震・免震

B. 耐震構造の考え方

- 強度型、じん性型
- 変形と耐力

-One Point- 動画を用いた建造物の損傷イメージ

C. 制震構造の考え方

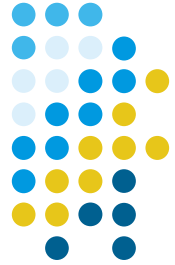
- メカニズムと装置
- 地震時の応答特性

D. 免震構造の考え方

- メカニズムと装置
- 地震時の応答特性

E. 演習

- 応答スペクトルを用いた地震力の算定



A.地震に耐える・制する・免れる



地震に対して安全な構造物とは

安全とは？（建物の場合）

①「人命を守る」：
建物の崩壊・倒壊を防ぐ。家具などの転倒を防ぐ。火災の発生を防ぐ。

②「財産・資産を守る」：
個人・企業などが自らが保有する財産や資産が地震により損壊することを防ぐ。

③「機能を守る」：
建物固有の機能（生活・事業・社会的使命など）が停止することを防ぐ。



地震に対してどうするか？

地震動と構造物の関係

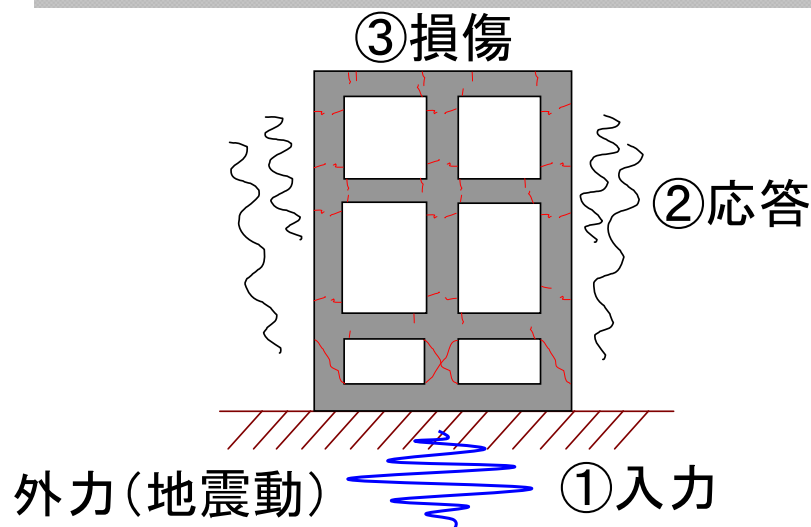
構造物に**外力(地震動)**が入力されると、構造物は**応答**し、変形や応力が発生する。

応答が大きくなり、構成する部材の**限界**(強度、耐力、変形能力など)を超えると

構造物は**損傷**(ひび割れ、破断、倒壊など)する。

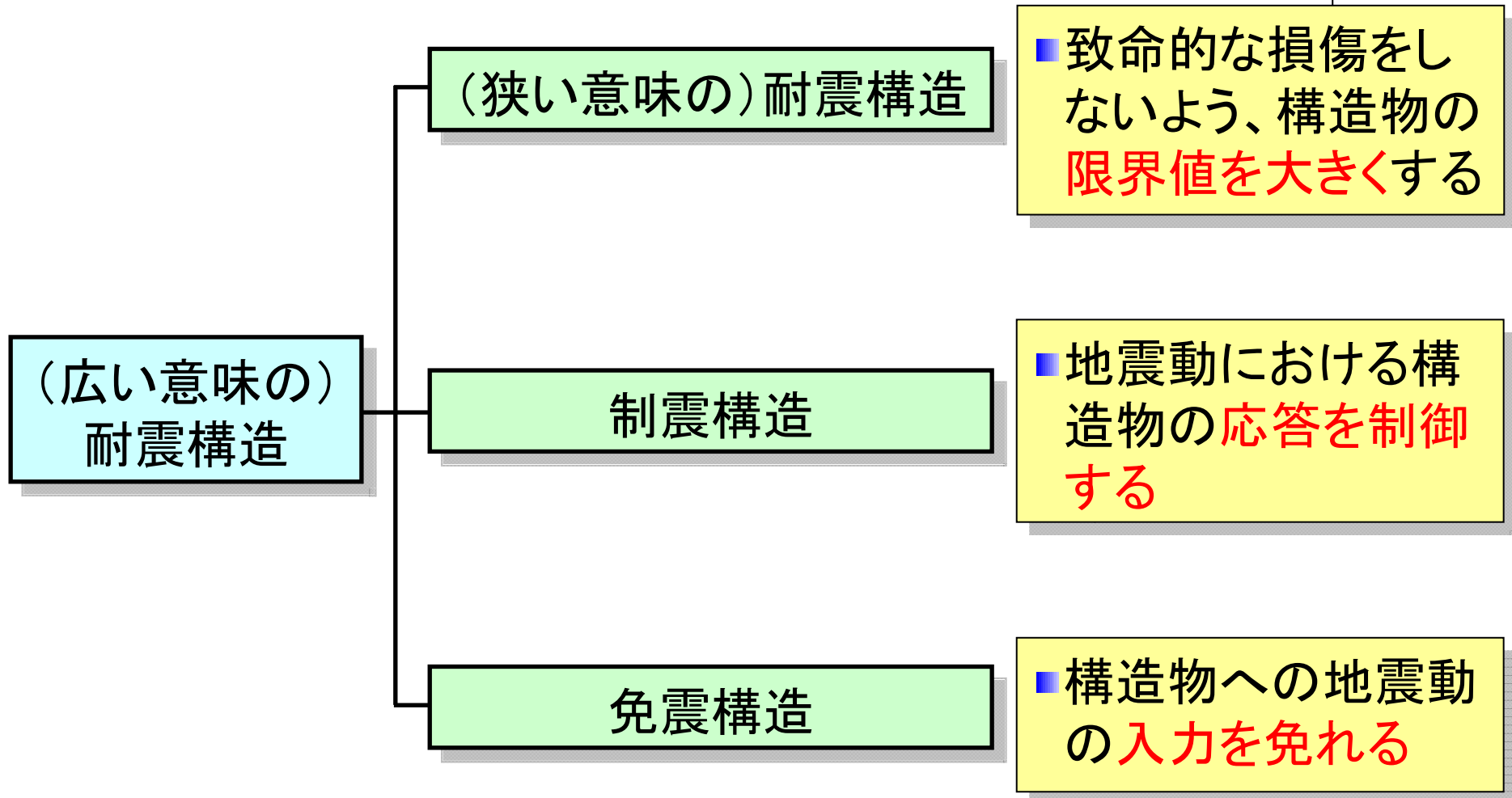
安全性確保への3つの対策

- 致命的な損傷をしないよう、構造物の**限界値を大きくする**
- 地震動における構造物の**応答を制御する**
- 構造物への地震動の**入力を免れる**





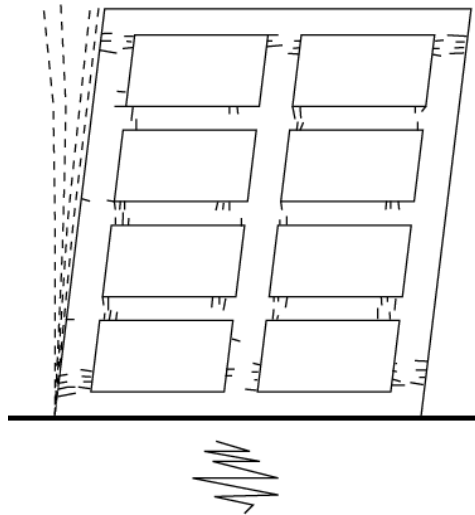
耐震・制震・免震



耐震・制震・免震

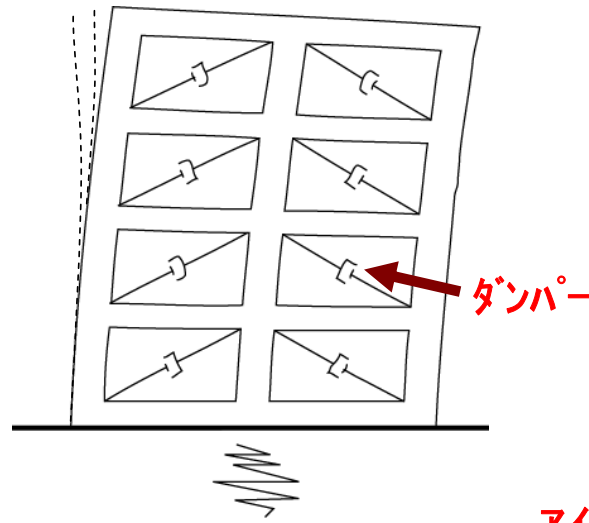


耐震構造



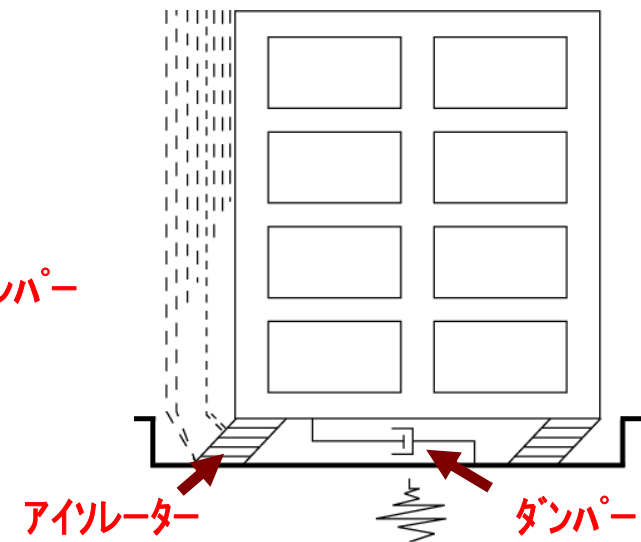
あらかじめ想定した部材にある程度の損傷を与えることによってエネルギーを吸収させ、地震力に耐える安全性を確保する

制震構造



建物の内部や頂部に取り付けたダンパーによってエネルギーを吸収し、建物の応答を小さくして損傷を抑える。

免震構造

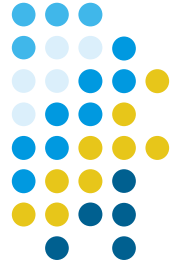


アイソレーター(積層ゴム等)を用いて構造物を長周期化させ、地震動の建物への入力を減らす。またダンパーによりエネルギーを吸収する。



「A. 地震に耐える・制する・免れる」のまとめ

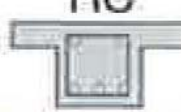





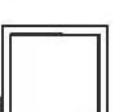
- 地震に対して構造物の安全性を確保する
- 「人命を守る」、「財産・資産を守る」、「機能を守る」
- 安全性確保への技術
- 「耐震構造」、「制震構造」、「免震構造」



B.耐震構造の考え方



構造種別

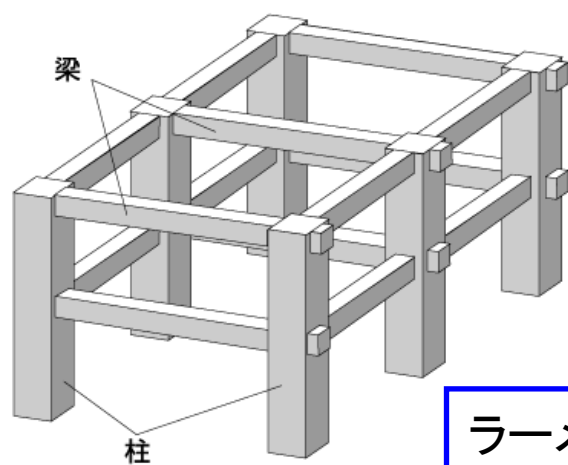
		(大) 梁		
		RC 	SRC 	S 
柱	RC 	● てっきん 鉄筋 コンクリート造 (RC造)	混合構造	混合構造
	SRC 	● てっこつてっきん 鉄骨鉄筋 コンクリート造 (SRC造)	● 鉄骨鉄筋 コンクリート造 (SRC造)	混合構造
	CFT 	混合構造	● 混合構造	● 混合構造 (CFT造)
	S 	混合構造	混合構造	てっこつぞう 鉄骨造 (S造)

■ : 比較的好くある組み合わせ

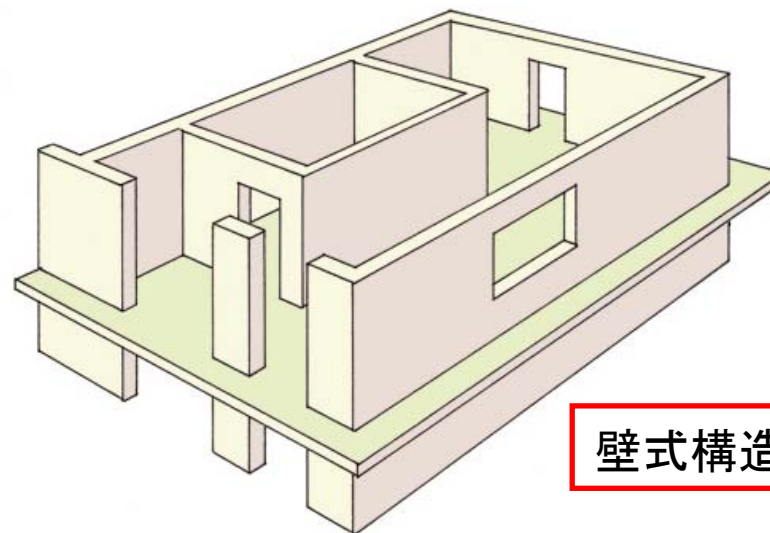
● : 中高層・超高層マンションに適する



構造形式



ラーメン構造形式



壁式構造形式



「強度型」と「じん性型」

「柔剛論争」

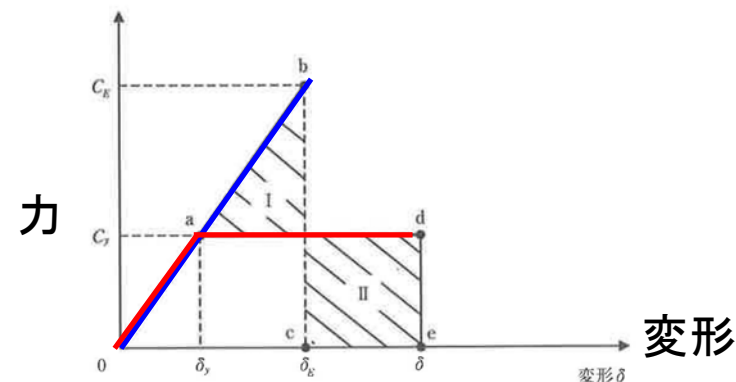
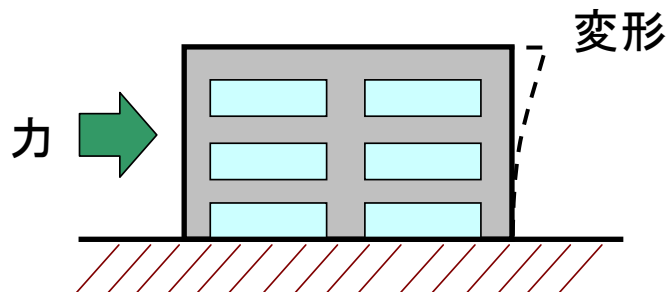
関東大地震後から昭和10(1935)年頃まで、地震安全の確保には、建築物の固有周期を延ばすのがよいとする「柔構造論」を主張した海軍省の真島健三郎と、建築物の強度、剛性を高くして地震力に抵抗させるのがよいとする「剛構造論」を主張した東大の佐野利器・武藤清らとの論争

強度型-剛構造

建築物の柱・梁(はり)を剛(接合部の角度が変わらないよう)に接合し、耐震壁を設け、床板も変形しないように構成する耐震構造。

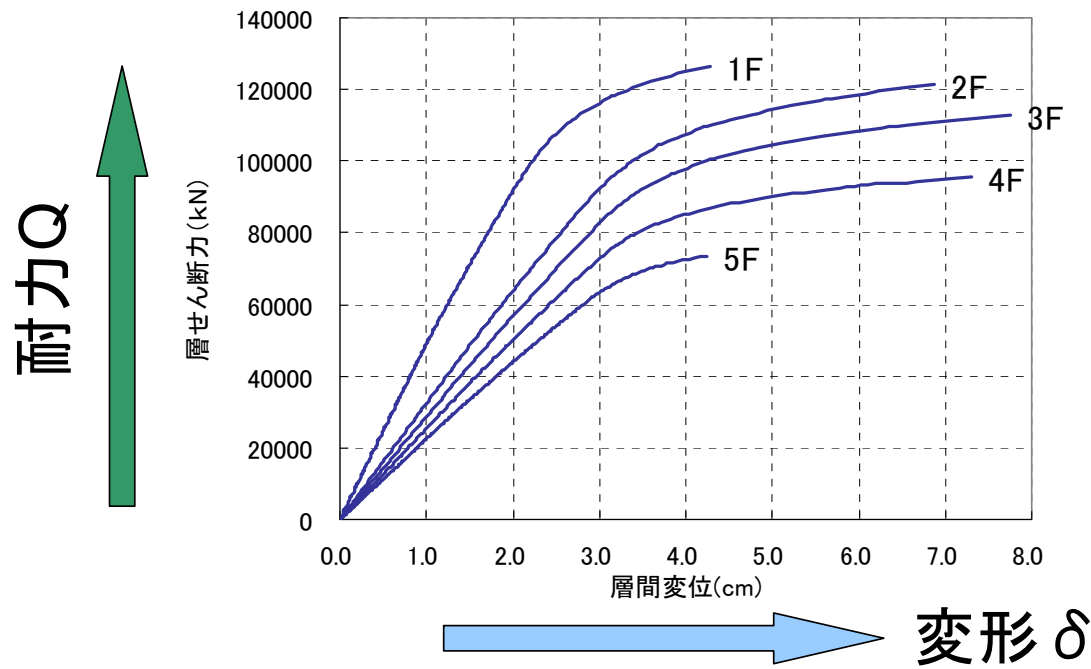
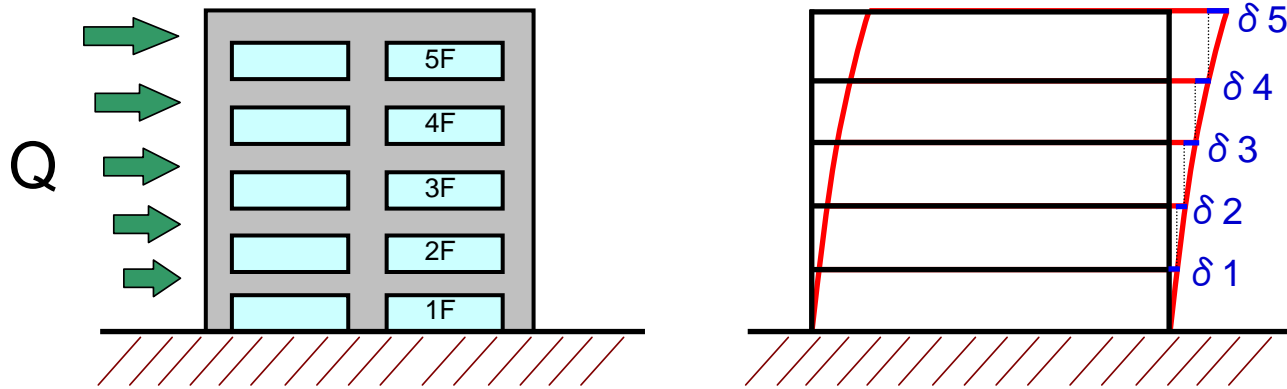
じん性型-柔構造 (靱性)

構築物にある程度の変形能力を与え、作用する地震の力の影響を小さくするようにした耐震構造。





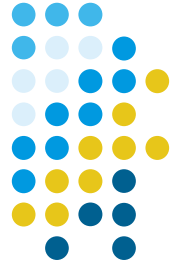
復元力特性(変形と耐力)





「B.耐震構造の考え方」のまとめ

- 耐震構造は、地震に対する構造基本
- 構造種別・形式など様々な形態
- ある程度の損傷を許容しながら耐える
- 「強度型」・「じん性型」の考え方



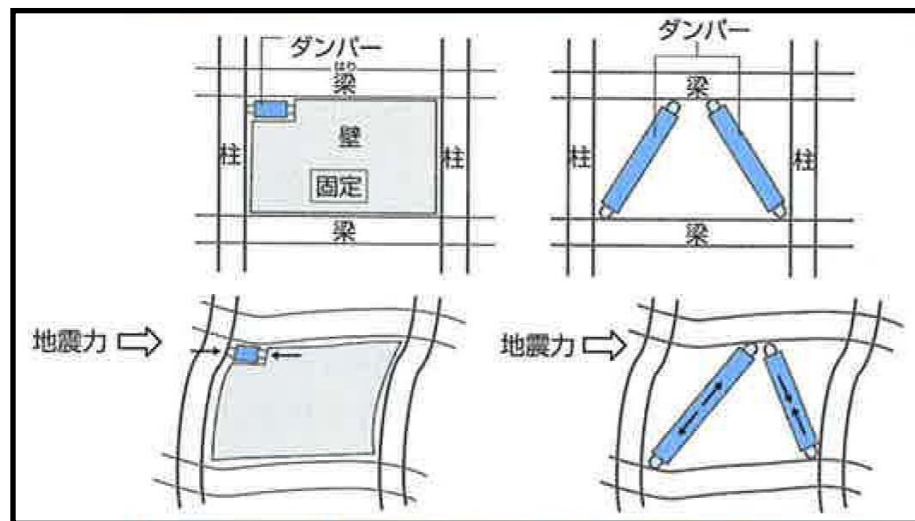
C.制震構造の考え方



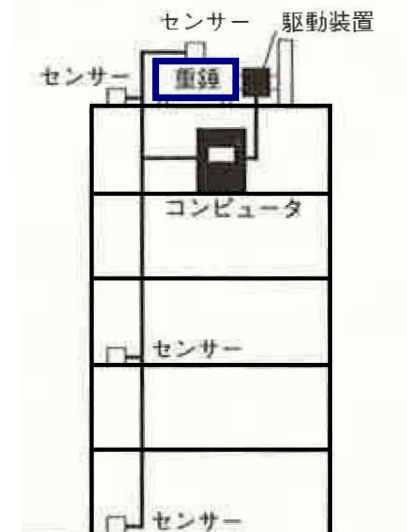
制震構造の方式

制御方式

- **受動(パッシブ)方式**: 粘性体・摩擦・低降伏鋼材などのダンパーが構造物の動きによって作動し、エネルギーを吸収する方式
- **能動(アクティブ)方式**: 構造物の動きを検知し、これを抑制するようチューンドマスダンパー等を制御する方式



受動(パッシブ)方式



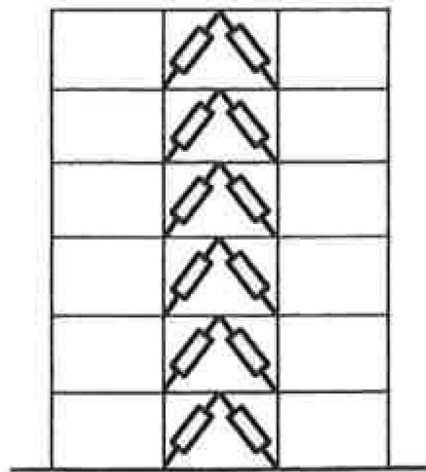
能動(アクティブ)方式



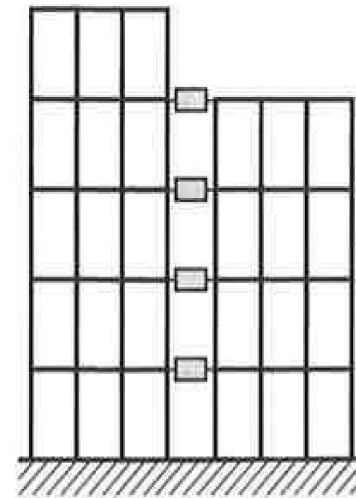
制震構造の設置方法

設置方法

- **層間設置型**: 構造物の各層(階)に配置されるもので、分散配置型ともいわれる。パッシブ方式で採用されることが多い
- **頂部設置型**: 最も揺れの大きくなる建物の頂部に配置するもので、アクティブ方式で採用されることが多い
- **架構間設置型**: お互い独立して建つ構造体の間に設置する方式



層間設置型



架構間設置型



制震装置(ダンパー)の種類

ダンパーの種類

履歴系ダンパー

鋼材ダンパー

摩擦ダンパー

鉛ダンパー

加工が容易でローコスト。
小さい変形では減衰効果
を発揮しにくい

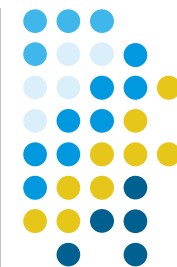
粘性系ダンパー

オイルダンパー

粘性体ダンパー

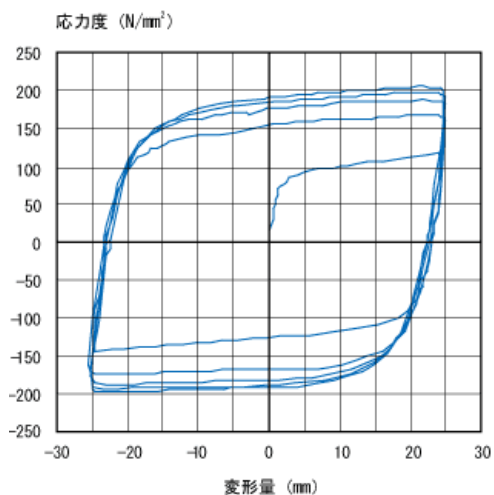
粘弾性体ダンパー

微小変形から減衰効果
を発揮、加速度低減も
可能

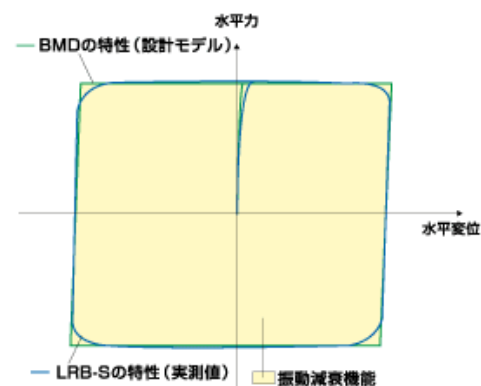
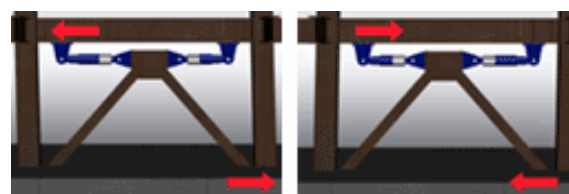


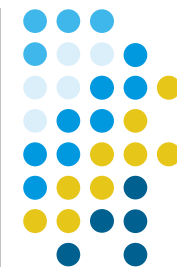
制震装置(ダンパー)の種類

履歴系ダンパー



粘性系ダンパー





制震構造の実例

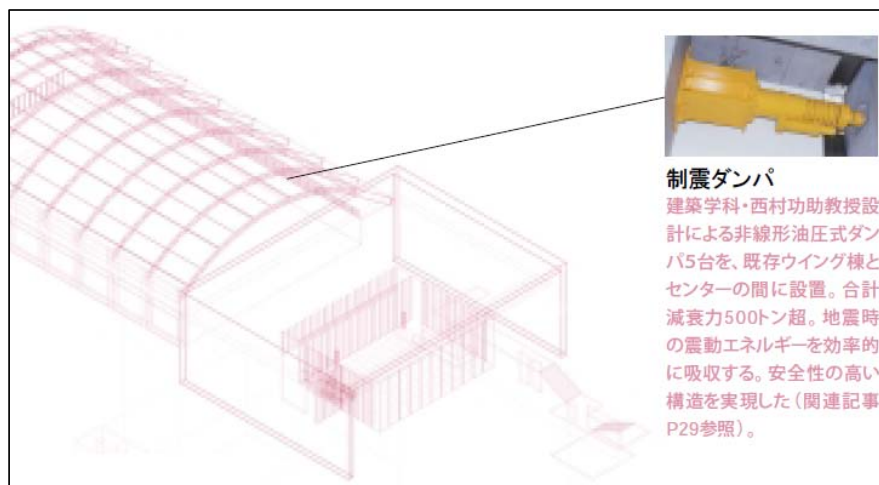
戸建住宅



超高層オフィス・マンション



学校施設

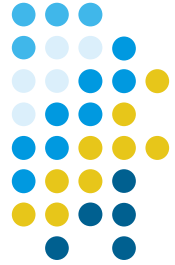


SAKURA CENTER#14



「C.制震構造の考え方」のまとめ

- 制震装置(ダンパー等)を用いた制震構造
- 制震装置の種類や配置
- 地震の入力エネルギーを制震装置で吸収
- 揺れを制し、主架構に損傷を少なくする



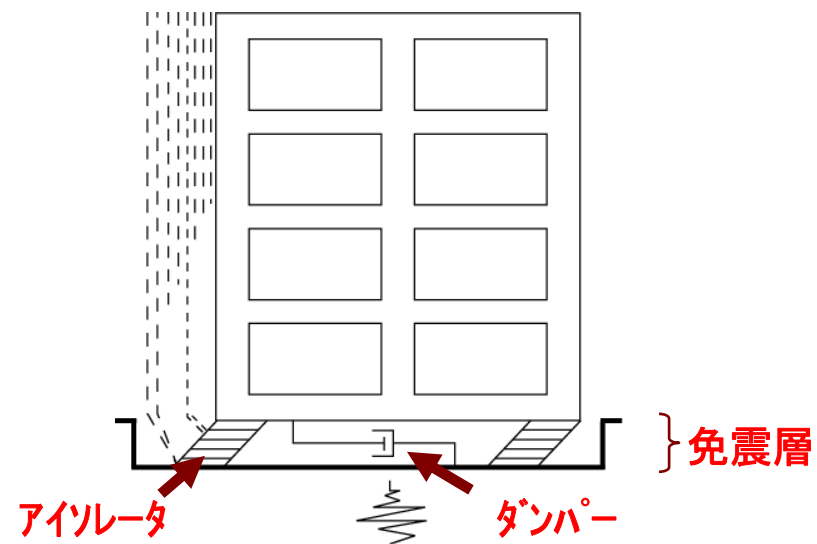
D.免震構造の考え方



免震構造の原理

原理

- **長周期化**: 免震層(建物と基礎の間)に積層ゴム・すべり支承・転がり支承などの**アイソレータ**を設け、構造体を長周期化(固有周期4秒など)
- **エネルギー吸収**: 免震層に設けた**ダンパー**により、免震層における変形を減衰させる。

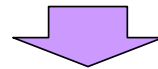




長周期化のメリット

復習

- 地震動の卓越周期と建造物の固有周期が一致すると共振する



長周期化

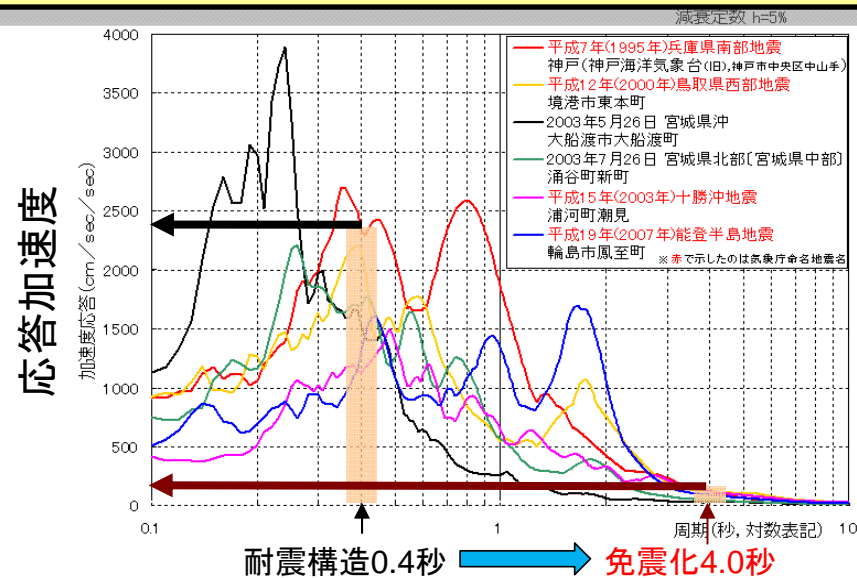
- 地震動の卓越周期から建造物の固有周期を外す(免れる)
- 上部の建造物に作用する加速度・力が激減する
- 建造物の損傷を免れる。家財の散乱を免れる

$$F = m \cdot a$$

F : 作用力

m : 建造物の質量

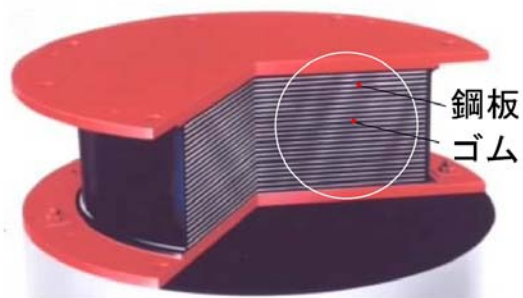
a : 応答加速度





免震装置(アイソレータ)の種類

積層ゴム支承



「ゴム」の柔らかさによって、地震時に水平方向にゆっくり揺れ、地震の揺れができるだけ建物に伝わらないようする。
「鋼板」の硬さによって、重い建物を安定に支える。

すべり支承



柱の直下に設置された「すべり材」が表面処理を施した鋼板の上を滑ることで、地震の揺れができるだけ建物に伝わらないようにする。

転がり支承



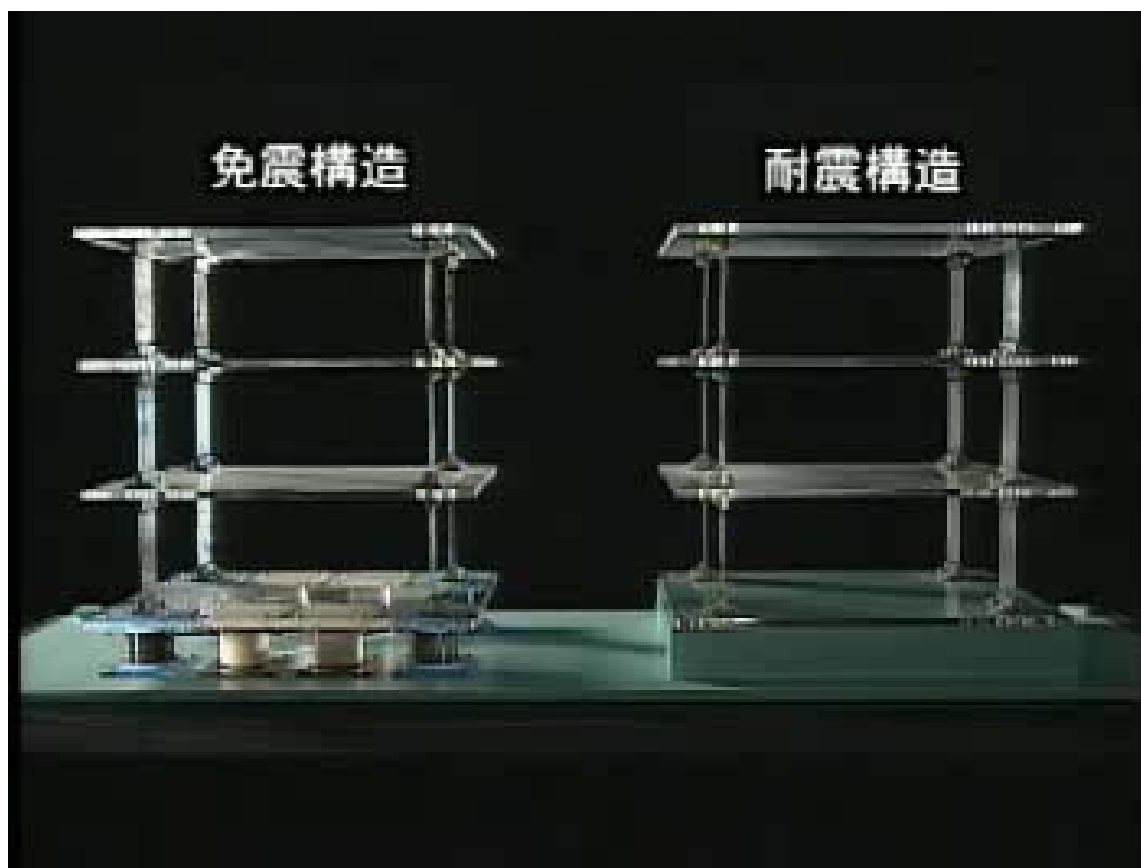
建物の荷重を「ボールベアリング」で支持しており、地震時にボールベアリングがレールを転がり移動することで、地震の揺れができるだけ建物に伝わらないにする。

アイソレータとしての適性は、鉛直力に強く、水平力に対して抵抗が少ないこと



免震構造の振動イメージ

模型を用いた耐震構造と免震構造の振動イメージ



動画

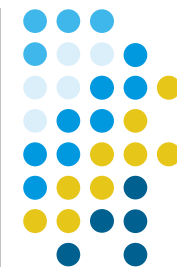


免震構造の振動イメージ

実大実験による地震時の病室内の挙動(耐震構造と免震構造)

耐震構造と免震構造の比較
病室内の状況

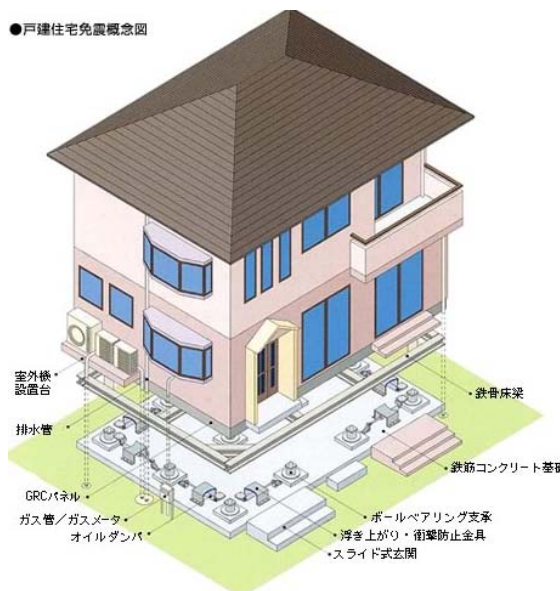
動画



免震構造の実例

戸建住宅

●戸建住宅免震概念図

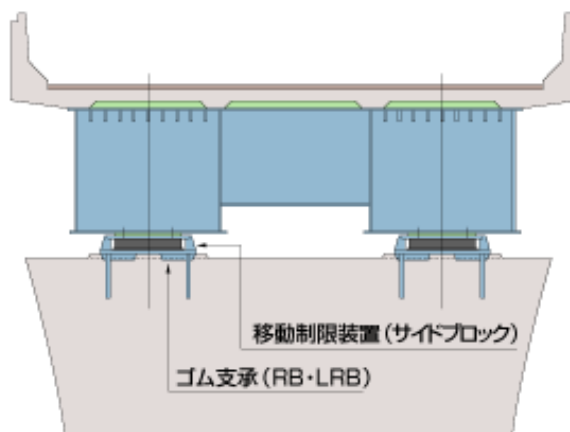


病院・官庁



土木構造物

●鋼橋



免震床
鎌倉の大仏など



「D.免震構造の考え方」のまとめ

- アイソレーターやダンパーを用いた免震構造
- 長周期化することにより地震の入力を低減
- 求める性能実現のための様々な免震装置
- 高価であるが、安全性が高く重要施設に採用