

第10回 地震工学

耐震補強と制振・免震：

土木耐震補強、建築の免震/制震技術

工学部 都市工学科 災害軽減研究室

吉川弘道

1：土木構造物の耐震補強

架橋形式の改善と部材の耐震補強

1.1 架橋形式の改善

- 免震化による方法
- 慣性力の分散による方法
- 変位拘束による方法

1.2 部材の耐震補強（RC橋脚の場合）

- RC巻き立て工法
- 鋼板巻き立て工法
- 繊維シート巻き立て工法

1. 土木構造物の耐震補強

1.1 架橋形式の改善：免震化

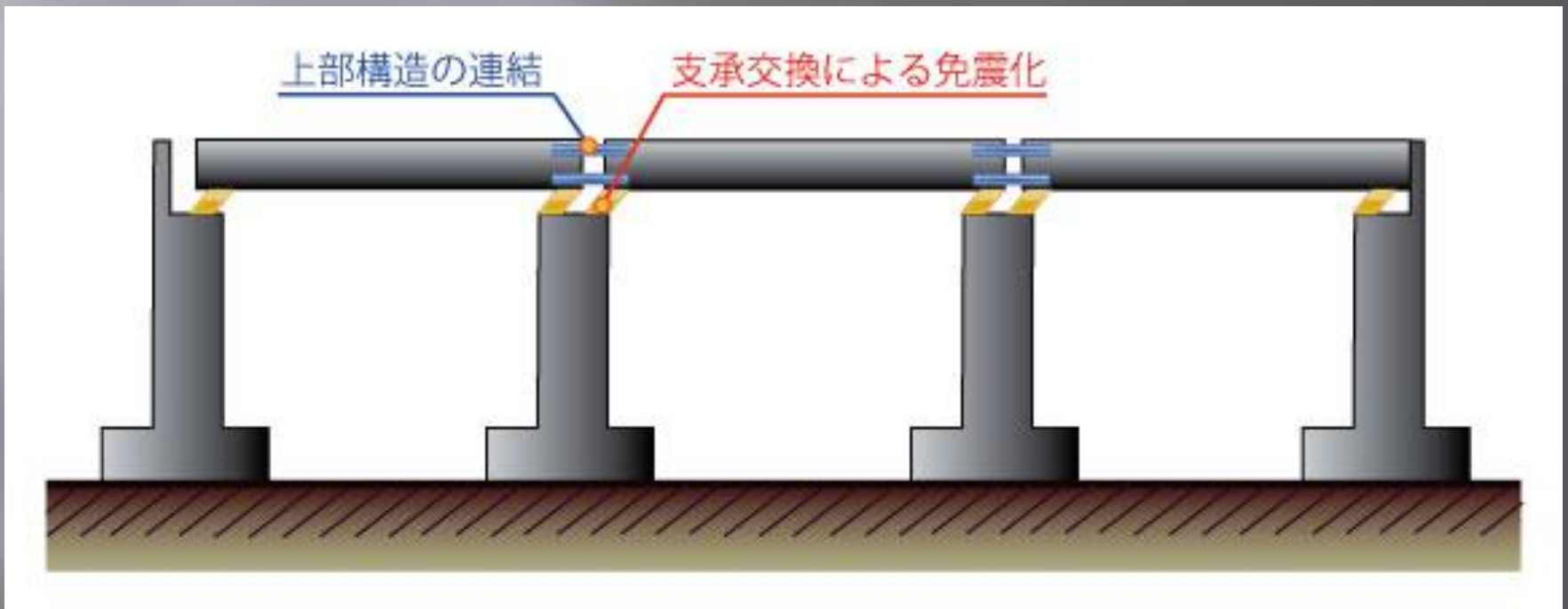


図2 免震化による方法

1. 土木構造物の耐震補強

1.1 架橋形式の改善：免震化による方法

- ・ 橋梁と橋脚の間にある支承について、免震支承、ダンパー等を併用した機構に取り換える。⇒橋全体を長周期化し、減衰性能を高めて、地震時に橋梁に作用する慣性力を低減する方法（図2）。
- ・ 免震支承は天然ゴムと鋼板の積層構造になっており、高軸力を支承周期化を実現する。
- ・ ダンパーは、粘性体や粘弾性体で構成され、水平変形時に高い減衰力が発揮されるため、地震時にエネルギー吸収の減衰機構として働き、応答の低減や早期の収束が期待できる。
- ・ 鉛プラグ入り積層ゴムや高減衰ゴムによる支承なども開発されている。

1. 土木構造物の耐震補強

1.1 架橋形式の改善：慣性力を分散する方法

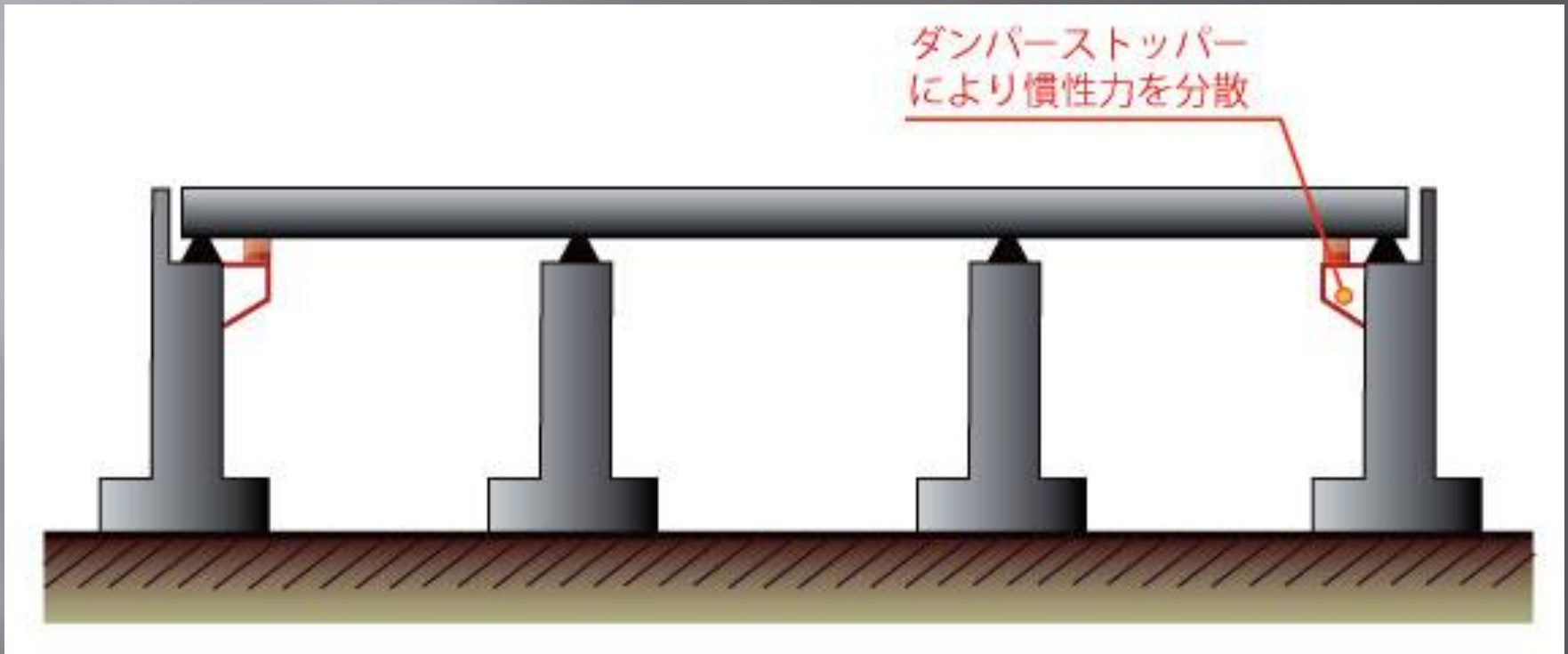


図3 慣性力を分散する方法

1. 土木構造物の耐震補強

1.1 架橋形式の改善：慣性力を分散する方法

- ・ 上部構造及び下部構造の支持条件を調整して、地震時に負担する慣性力をバランスよく他の下部構造に分散することにより、危険度の高い支持部の早期破壊から全体崩壊へとつながらないように橋全体として地震力に対して抵抗する方法（図3）。
- ・ 各下部構造への地震時慣性力の分散方法としては、ゴム系支承による方法、多点固定による方法、地震時のみ固定として機能するダンパーストッパーによる方法がある。

1. 土木構造物の耐震補強

1.1 架橋形式の改善：変位拘束

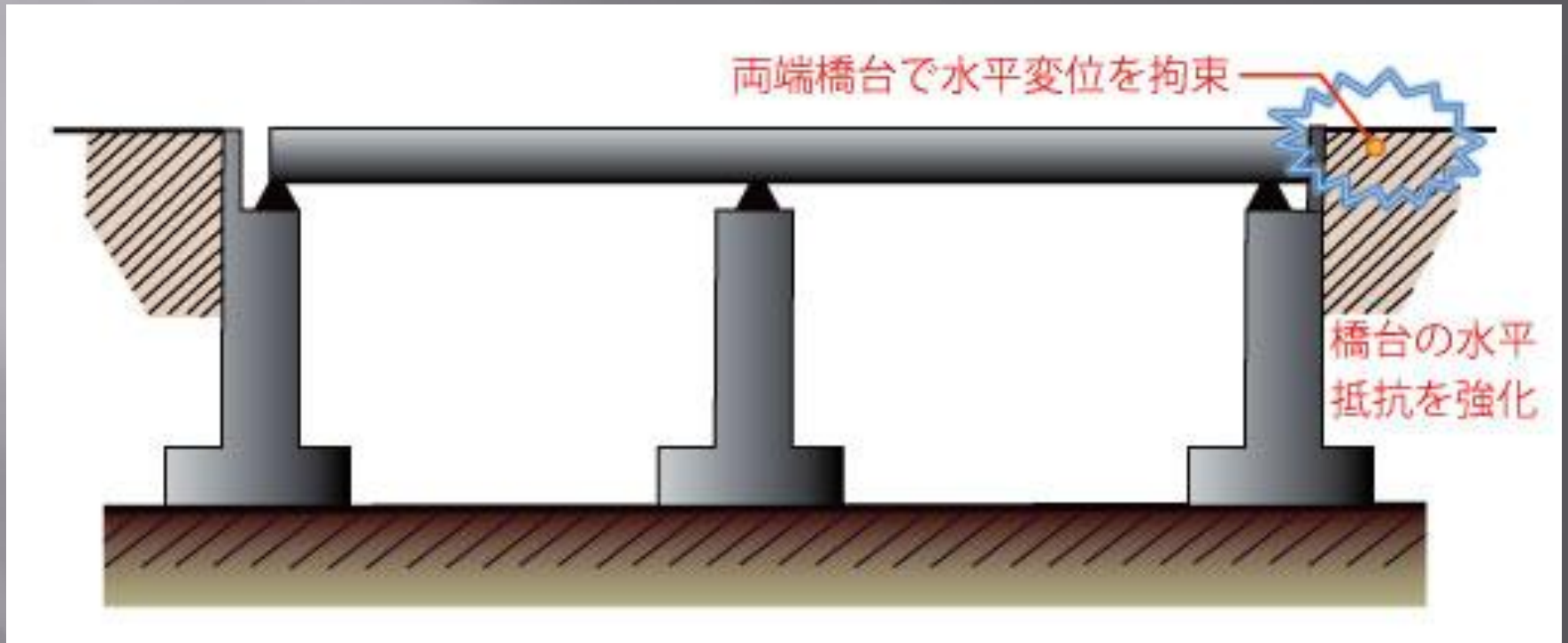


図4 変位拘束による方法

1. 土木構造物の耐震補強

1.1 架橋形式の改善：変位拘束による方法

- ・地震時に上部構造に生じる水平変位を橋台等により拘束する方法で、橋脚に作用する慣性力の低減を図る方法（図4）。
- ・両端に橋台を有する場合：地震時の橋軸方向の変位は橋台との衝突により拘束をする。
- ・既存の橋台が衝突による作用力に耐えられない場合は、水平抵抗を強化するための補強が必要。

1：土木構造物の耐震補強

1.2 部材の耐震補強：R C橋脚の場合

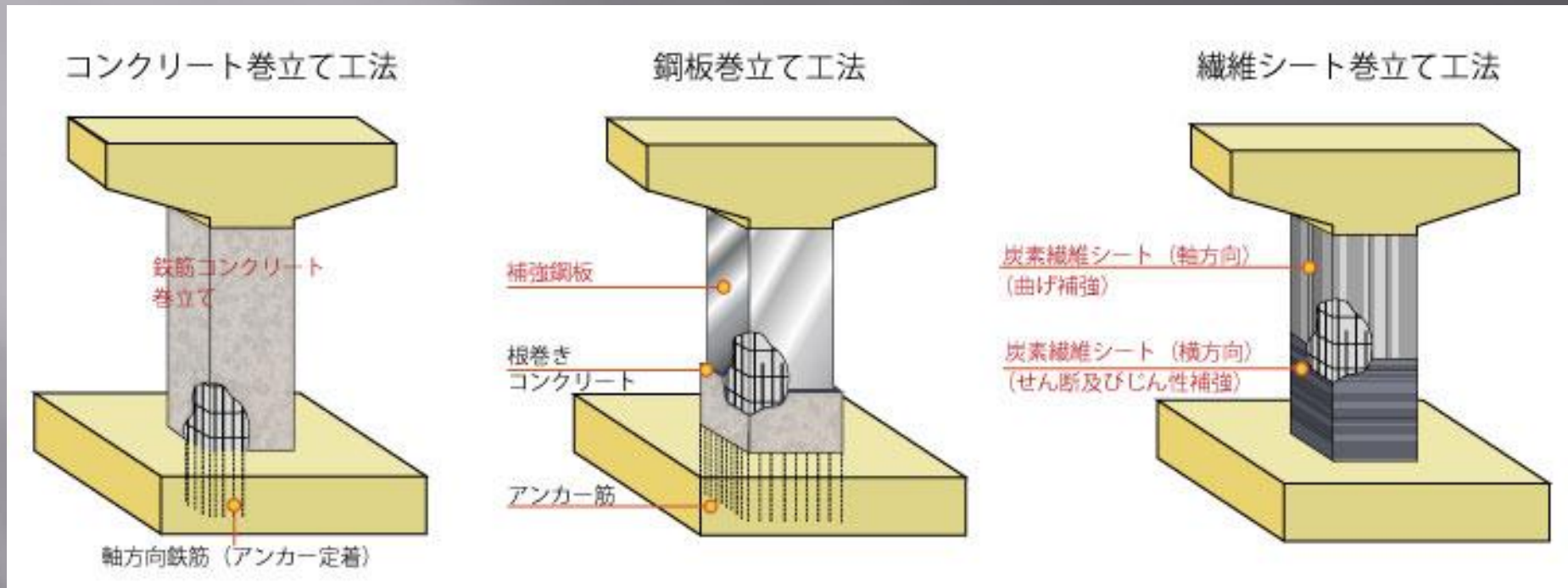


図5 橋脚の補強方法（鉄筋コンクリートの場合）

1.2 R C橋脚の耐震補強： 鉄筋コンクリート巻き立て

- ・既存橋脚の柱の周囲に、新たに軸方向筋及び帯筋を配筋しコンクリートで巻き立てる工法である。さらに、既存柱の中間を貫通させた帯筋を設けることもある。
- ・構造的には、軸方向鉄筋による曲げ耐力、コンクリート断面の増大によるせん断耐力の向上が図られる。また、中間貫通帯筋を設けることにより、柱全体の拘束力が上がり、じん性を発揮し、地震時の変形能力が向上する。
- ・他の工法と比較して、安価な費用で補強することが可能であり、経済的に優れた工法である。

1.2 R C橋脚の耐震補強：鋼板巻き立て

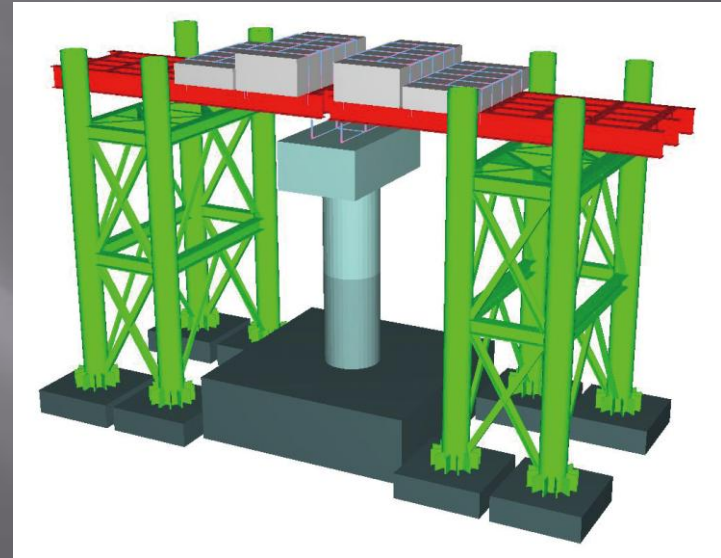
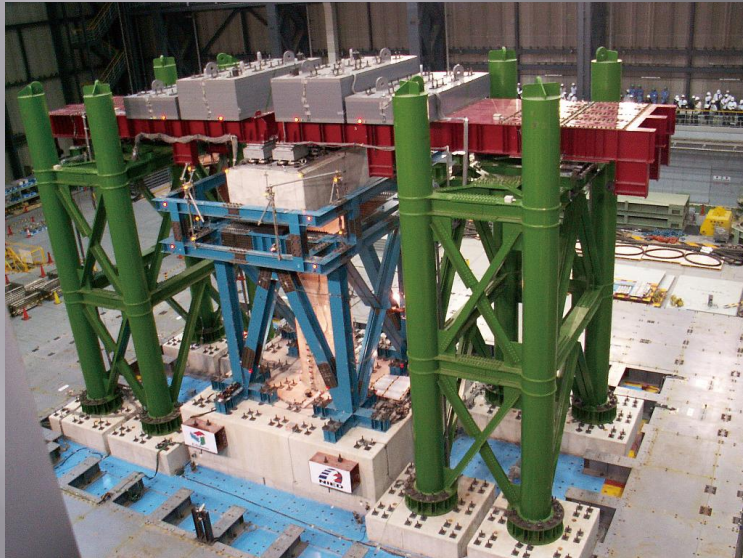
- ・既存橋脚の柱の周囲に、新たに鋼板を巻き立てる工法であり、さらに柱と鋼板の間に充填材を注入して密着させ、アンカー筋を通じて鋼板を既存の基礎フーチングへ定着させる構造である。
- ・鋼板からフーチングへ定着された軸配筋により曲げ耐力が向上し、鋼板による柱への拘束力からじん性の向上が図られる。
- ・コンクリート巻立てに比べて、柱脚の断面増加が少ないため、省スペースに適している。

1.2 R C橋脚の耐震補強：繊維シート巻き立て

- ・既存橋脚の柱の周囲に、新たに炭素繊維やアラミド繊維など多本数の連続繊維を樹脂などでの結合材で集束したもので巻立てる工法である。
- ・炭素繊維シートの橋脚躯体の水平方向に貼り付けることにより、せん断耐力の向上を図り、基部曲げ破壊へと移行させることができる。
- ・また、拘束効果によりじん性の向上が図られる。

One Point Advice : 土木構造物の耐震技術

世界最大級の実大三次元震動実験 E-ディフェンス



2. 建築構造物の耐震技術

2: 建築建屋の耐震技術：

2.1 耐震構造

2.2 制震構造

2.3 免震構造

2： 建築建屋の耐震技術

代表的な耐震技術：耐震・制振・免震

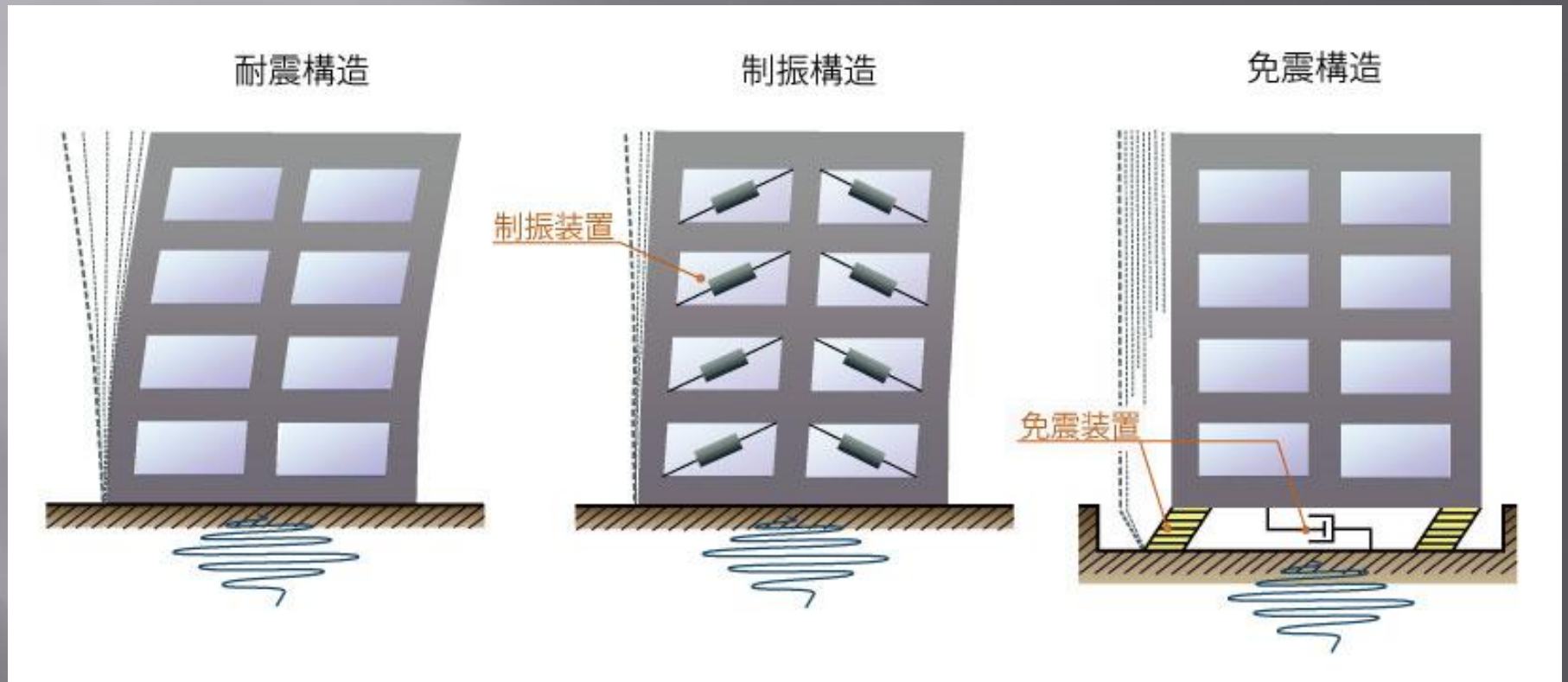


図3 耐震構造、制振構造、免震構造のイメージ

6.1 構造物の安全性

安全性確保のための耐震技術

代表的なものに、地震動に対し構造体自らの力で耐える「耐震構造」、地震時の構造物の揺れを低減させる「制振構造」、地震動の構造物への入力自体を低減させる「免震構造」が挙げられる。

これらは、地震動に対して「耐える」「制する」「免れる」ことなどによって耐震の安全性を確保することを示しており、地震動をエネルギーとして捉えると、各構造はそのエネルギーを以下の方法で消費することとなる。

➤耐震構造：

あらかじめ想定した部材にある程度の損傷を許容してエネルギー吸収させ、地震力に耐える構造とする（現在の設計方法）

➤制振構造：

構造体の内部や頂部に取り付けた制振装置によってエネルギーを吸収し、応答を小さくして損傷を抑える

➤免震構造：

復元材を用いて構造物を長周期化させ、地震動の構造体への入力を減らす。
また減衰材によりエネルギーを吸収する

2：建築建屋の耐震技術

2.1 耐震構造：壁式構造・ラーメン構造

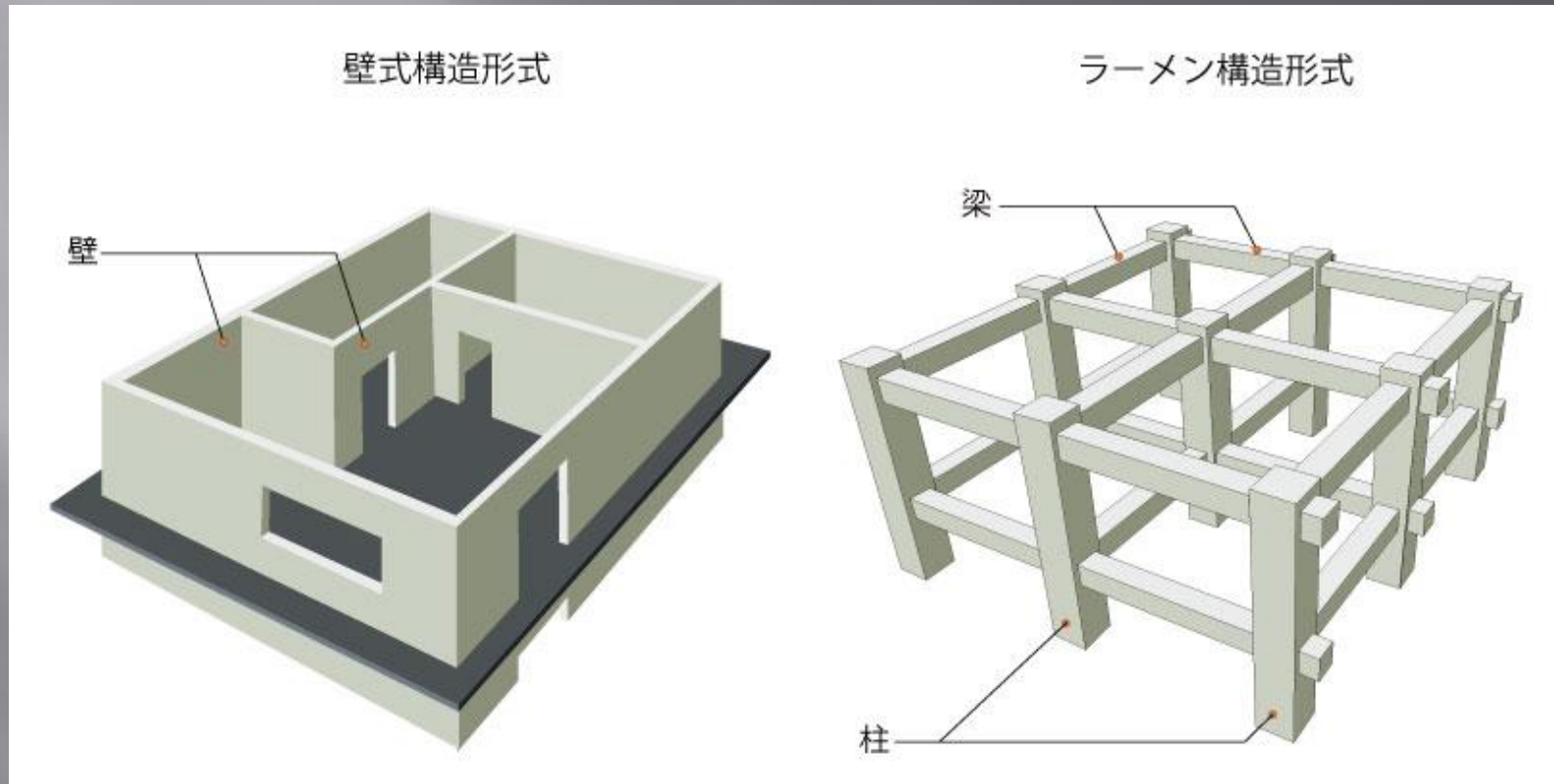


図4 壁式構造とラーメン構造形式

2：建築建屋の耐震技術

2.1 耐震構造：剛構造・柔構造

「耐震構造」は、構造体自ら地震動に耐えて安全性を確保することであるが、その方法については2つの考え方がある。

- ・地震動/応答から作用する地震力に対して、それを上回る剛強な構造体を構築する「強度型（剛構造）」。
- ・ある程度の部材損傷を認めた柔軟な構造体として、作用する地震力の影響を小さくしたうえで、構造体の変形能力以内に収める「じん性型（柔構造）」である。

One Point Advice :

動的荷重と静的荷重

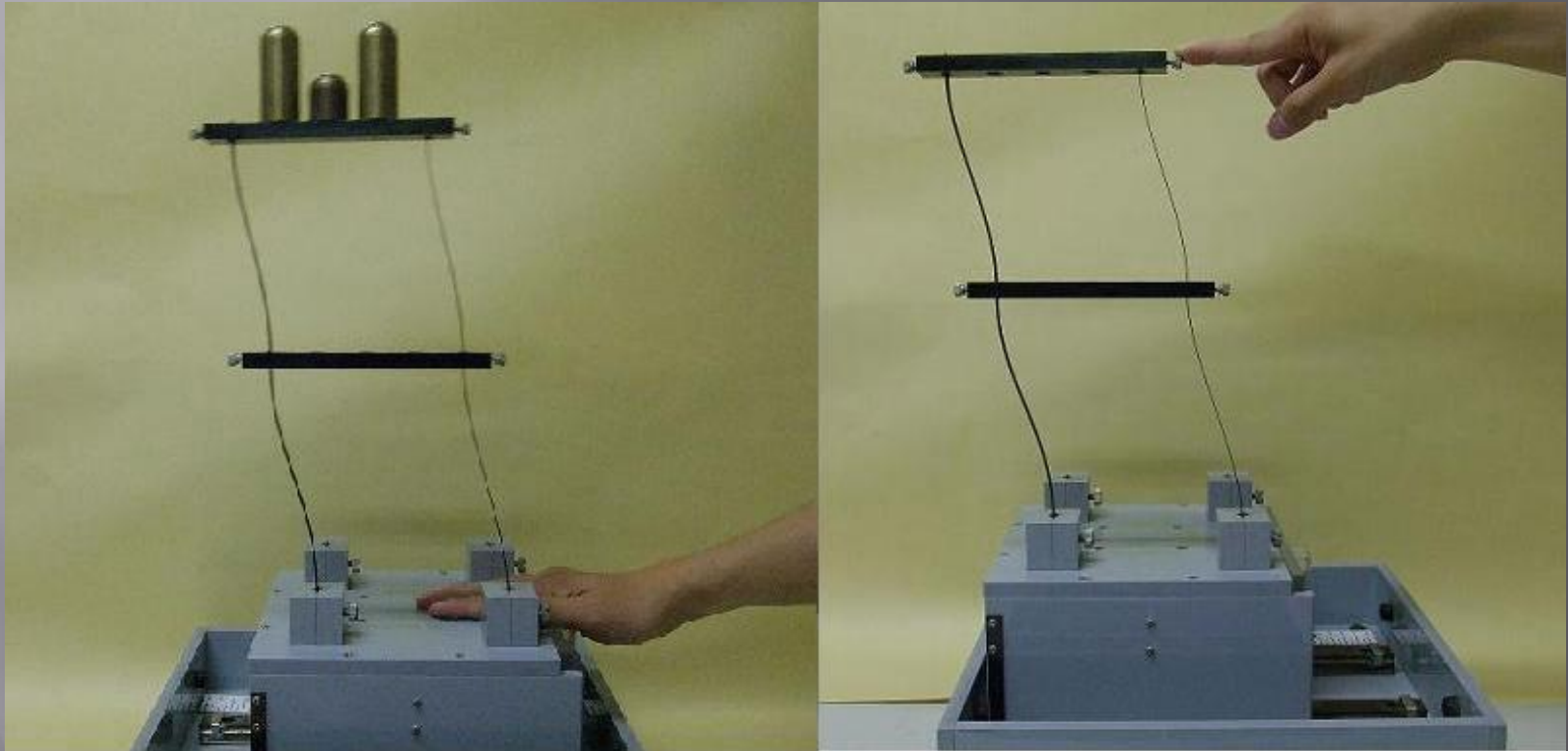


写真1 動的荷重（左）と静的荷重（右）

2： 建築建屋の耐震技術

2.1 耐震構造：壁式構造・ラーメン構造

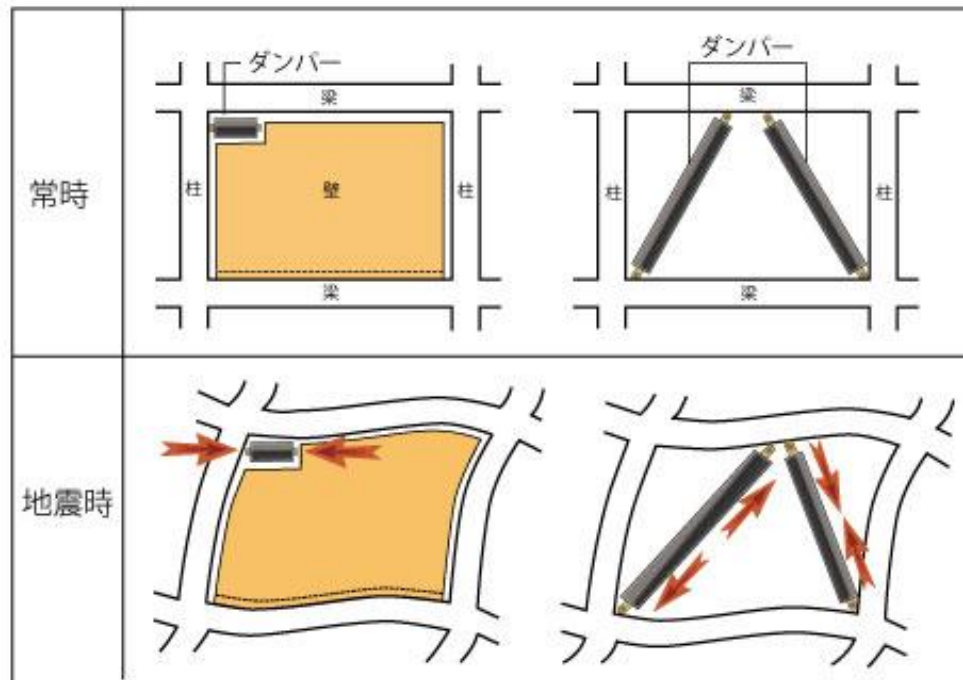
「強度型」「じん性型」は、その耐震性を実現する上で採用する構造の形式に違いがある。代表的なものとして、図4に示す「壁式構造形式」、「ラーメン構造形式」が挙げられる。

- ・ 壁式構造形式：バランスよく配置された耐震壁が地震力へ抵抗し、耐震壁内に発生する応力が、部材の強度以下となるように設計する。これにより構造体が損傷することなく、地震時の耐震性を確保することができる。しかしながら、構造物の重量が重く、大きな地震力が作用する場合は、必要な壁量が増大し、構造物の空間を確保することが困難となる。また、想定外の作用力によりいったん壁の損傷が始まると、脆性的で致命的な崩壊が発生する可能性が生じる。

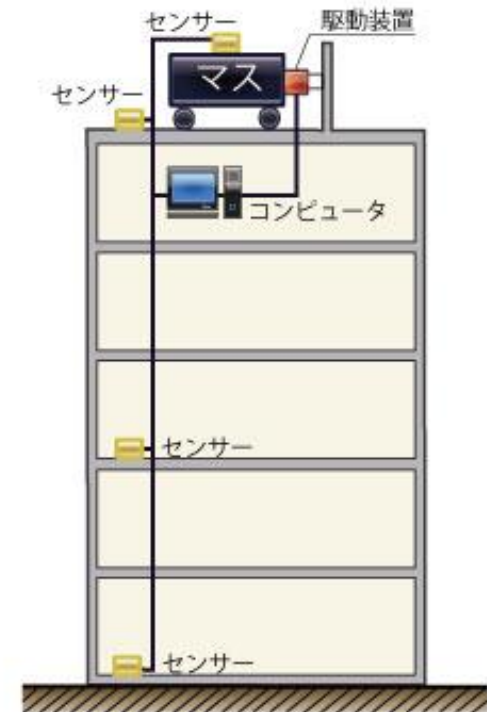
- ・ ラーメン構造形式：床の重量を支える梁と、その重量を地盤に伝える柱で構成される構造形式で、地震力に対しこの柱と梁部材が抵抗する。一般的に中小地震では、部材に発生する応力を損傷レベル以下に抑え、大地震時には、ある程度の損傷を許容して耐えることを想定している。なお、柱の損傷は構造体の崩壊につながる可能性が高いため、梁のみの損傷を許容する場合が多い。

2： 建築建屋の耐震技術

2.2 制震装置の制御方式



パッシブ型



アクティブ型

図7 パッシブ型とアクティブ型

2： 建築建屋の耐震技術

2.2 制震装置の制御方式

制振装置が地震動に対し、受動的（パッシブ）に制御する場合と、能動的（アクティブ）に制御する方式の違いがある。

アクティブ型：

地震時の構造体の揺れをセンサーにて感知し、これを制御するよう重錘などのマスを機械的に作動する

パッシブ型：

構造体内に粘性材・低強度鋼材・摩擦材などの材料で構成された制振装置（ダンパー）を設置し、地震力により構造体が変形した場合、それに伴いダンパーにも伸縮が生じ、材料の特性からエネルギーを吸収する

なお、機械的なアクティブ型は高価でかつメンテナンスが必要であるため、制振構造では、一般的にパッシブ型が採用されることが多い。

2：建築建屋の耐震技術

2.3 免震構造：免震構造の考え方

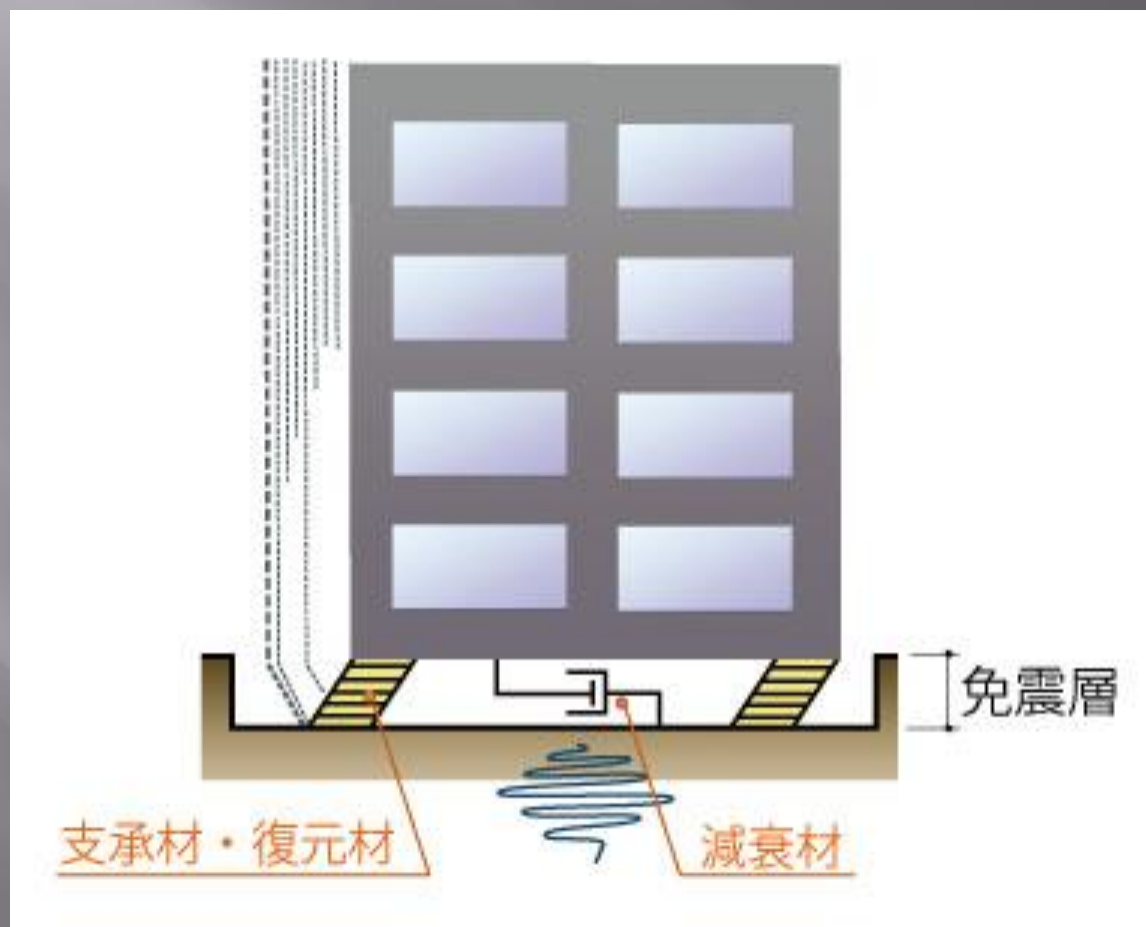


図10 免震構造の構成

2：建築建屋の耐震技術

2.3 免震構造：免震構造の考え方

免震構造は、構造物の基礎や中間層に設けた免震層に装置を設置し、免震層上部の揺れを軽減して損傷や応答加速度を抑え、人命の安全確保や構造物の機能維持を実現する構造である。免震装置は、構造物の重量を支持する「支承材」、免震層の変形を元の位置に戻そうとする「復元材」、地震のエネルギーを吸収し揺れを低減する「減衰材」の3つに大別される（図10）。

地震時には、水平剛性が低い「復元材」により構造物と免震層の全体系の固有周期を長周期化し、地震動の入力エネルギーを減らし、さらに「減衰材」によりエネルギー吸収を図ることで、構造体の負担エネルギーが大幅に軽減して、損傷を抑える。

土木構造物と建築構造物の耐震技術

1: 土木構造物の耐震技術：

1.1 架橋形式の改善

- ・ 免震化、慣性力の分散、変位拘束による方法

1.2 部材の耐震補強（RC橋脚の場合）

- ・ RC巻立て、鋼鈑巻立て、繊維シート巻立て工法

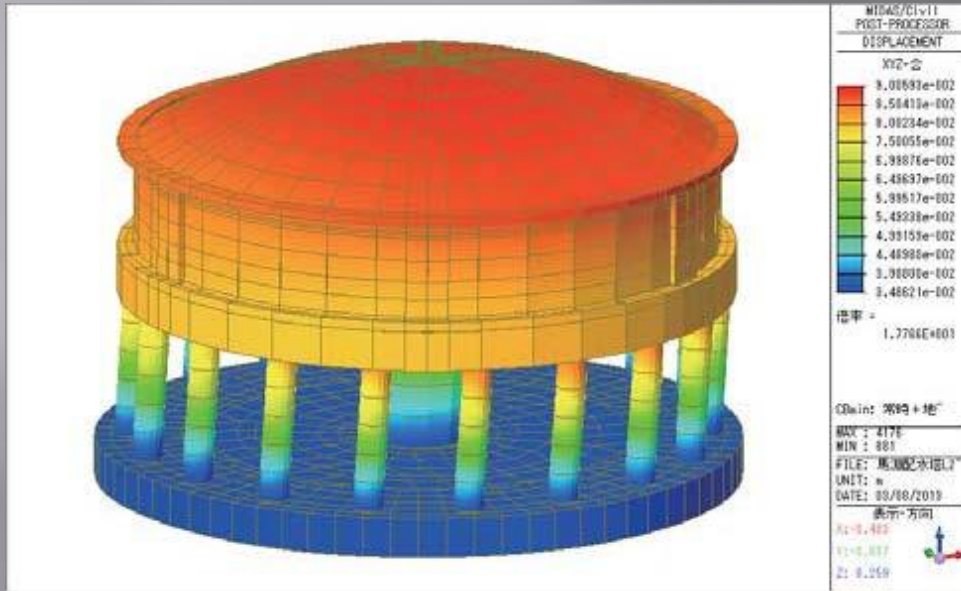
2: 建築建屋の耐震技術：

2.1 耐震構造

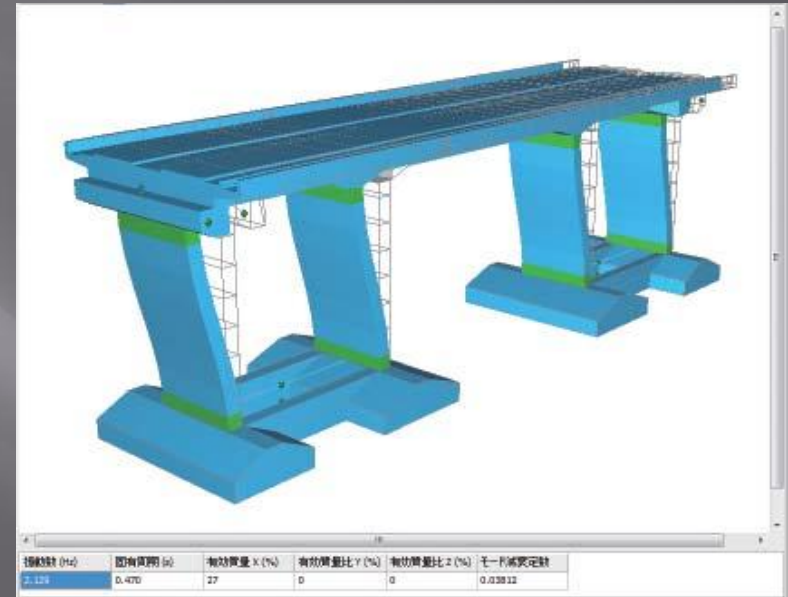
2.2 制震構造,

2.3 免震構造

One Point Advice : 有限要素法の威力と魅力 コンピュータ上で構造物を揺らす/壊す



付図2：
P Cタンク地震応答解析
(提供：(株)クレアテック)



付図3：
RCラーメン高架橋の固有値解析
(提供：(株)フォーラムエイト)

吉川研究室：次年度卒論テーマ

1：RC床版の補修/補強に関する実験と解析

- PPC(ポリアマーポリエステルコンクリート)の力学特性とRC床版への適用
- PPC補強梁の梁試験体実験と非線形解析
- RC部材のひび割れ挙動に関する実験と解析：許容ひび割れ幅の再考

2：PC/RC構造物の耐震性能評価に関する実大実験と解析

- PC-壁体の実大実験とファイバーモデルにより非線形解析
- PC-壁体/自立壁の合理的な耐震性能評価

3：インフラツーリズム（土木観光学）の調査と提言

- インフラツーリズムの実例調査と紹介プラットフォームの構築/試行
- インフラツーリズムを題材とする学生による研究提案