

『地震に強い街づくり』

森ビル株式会社

地震国 日本の超高層ビル



1968年、日本初の超高層ビル霞ヶ関ビルが誕生して以来、日本の大都市には数多くの超高層ビルが建設され、現在では高さが100mを超える超高層ビルは230棟以上も建設されました。一方で、超高層ビルの建設には、克服すべき数多くの問題があり、それらを解決するために様々な研究開発が行なわれてきました。超高層ビルには、同時代の建設技術の粋が集められていると言っても過言ではありません。

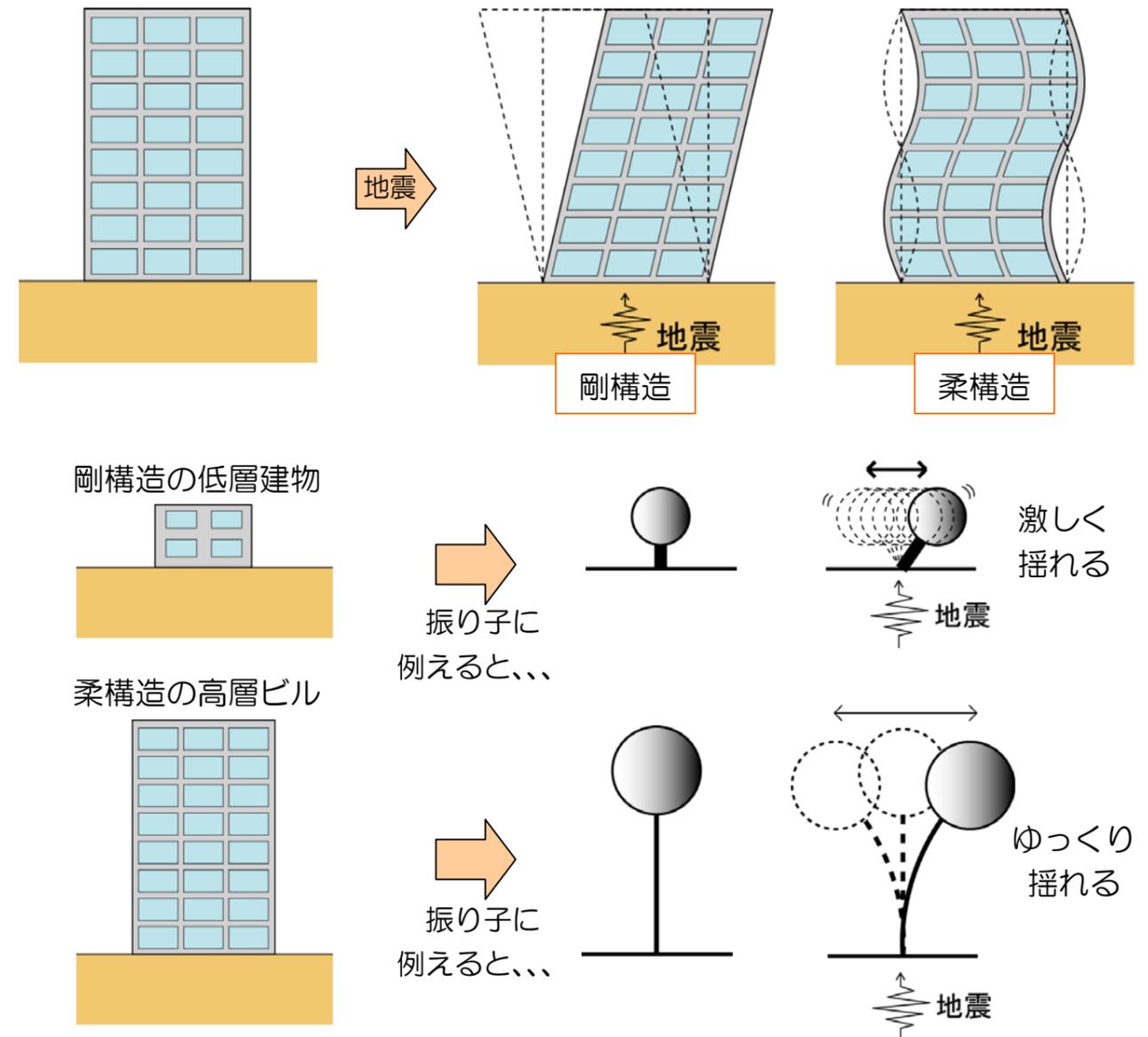
昨今、目覚ましい技術の進歩によって、制振技術・免震技術が建築物に普及し、超高層ビルの耐震性にも大きく貢献しています。

剛構造と柔構造

耐震建築は、構造そのものを強化して、地震による建物の倒壊を防ごうとするもので、「剛構造」と「柔構造」に分けられます。

「剛構造」とは、低層の建物に多くみられ、柱や梁等を太くしっかり固定し、骨組みを強くすることで地震の揺れに対抗する構造です。

これに対し、地震の揺れを「柳に風」と受け流す構造が「柔構造」です。地震の揺れに抵抗せず、地面が揺れると下の階から時間差でしなるように揺れていきます。超高層ビルは、柔構造とすることでゆっくり大きく揺れ、地震のエネルギーを吸収します。



森ビルの考える「地震に強い街づくり」

阪神大震災の教訓



- ・ 建物の設計年代により、被害に差が生じた。
- ・ 「新耐震設計」建物の 80%は**無被害**。
(1981 年)



- ・ 現行法規を満足しない「**既存不適格**」建築物に被害集中。
- ・ **新耐震設計法**の妥当性が立証された。

再開発による都市再生

地震に強い街づくり＝新耐震設計法に基づく再開発

- ・ 最新の知見に基づく耐震性を確保
- ・ 街区全体の安全性（耐震性）を向上

六本木ヒルズ

【制振・免震構造の採用】

財産価値の維持

地震の揺れの勢いを低減
→ 什器の転倒防止

居住性の向上

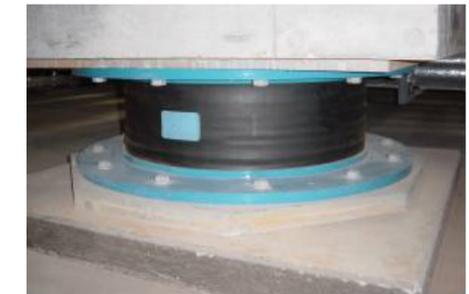
中小地震・強風時の風揺れにも効果を発揮→安心感

都市機能の維持

地震後も構造部材への損傷が殆ど無い→建物機能維持



【制振構造】



【免震構造】

逃げ出す街から逃げ込める街へ

2 森ビルの考える「地震に強い街づくり」 六本木ヒルズの地盤

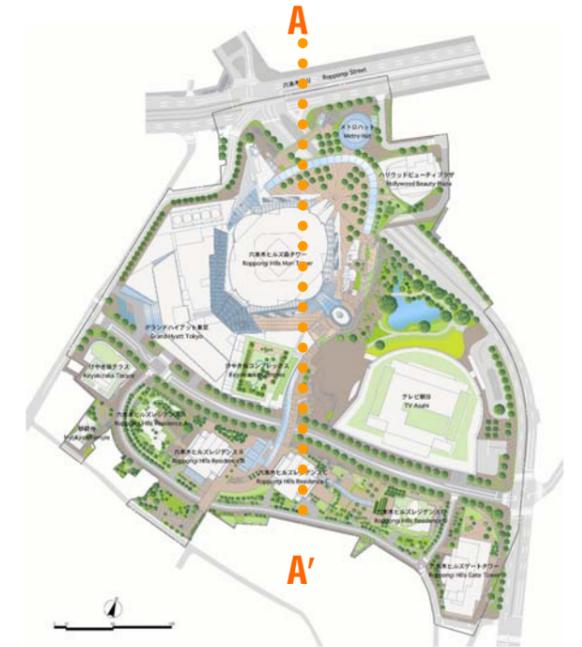
地盤と揺れの関係

敷地の地層が、泥土や緩い砂などから構成される土地を、一般に軟弱地盤と呼んでいます。軟らかい土が堆積している土地に建物を建てると、地震の時に建物は大きく揺れる傾向があります。建物を支える地盤も、構造物の一部であり、地震時の安全性にも大きく影響します。

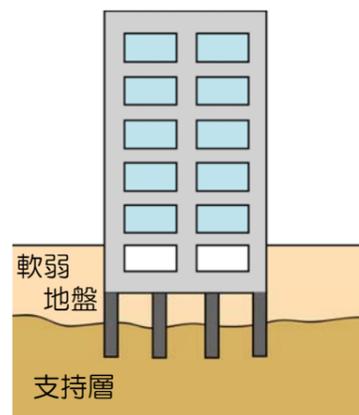


六本木ヒルズの地盤

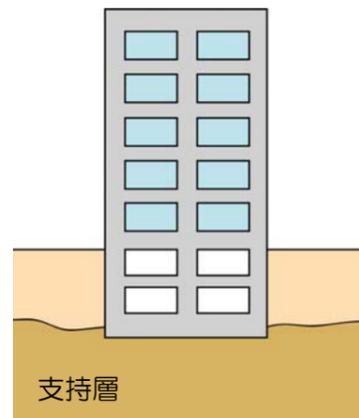
六本木ヒルズでは、工事前に計 41 地点、最大深さ 100m の地盤調査を行ない、この地域の地盤の性状を調べました。その結果、地下 30m 付近に硬い地盤があることがわかり、建物の杭、基礎の最下部が、その硬い地盤の上に載るように設計しました。



建物の基礎形式

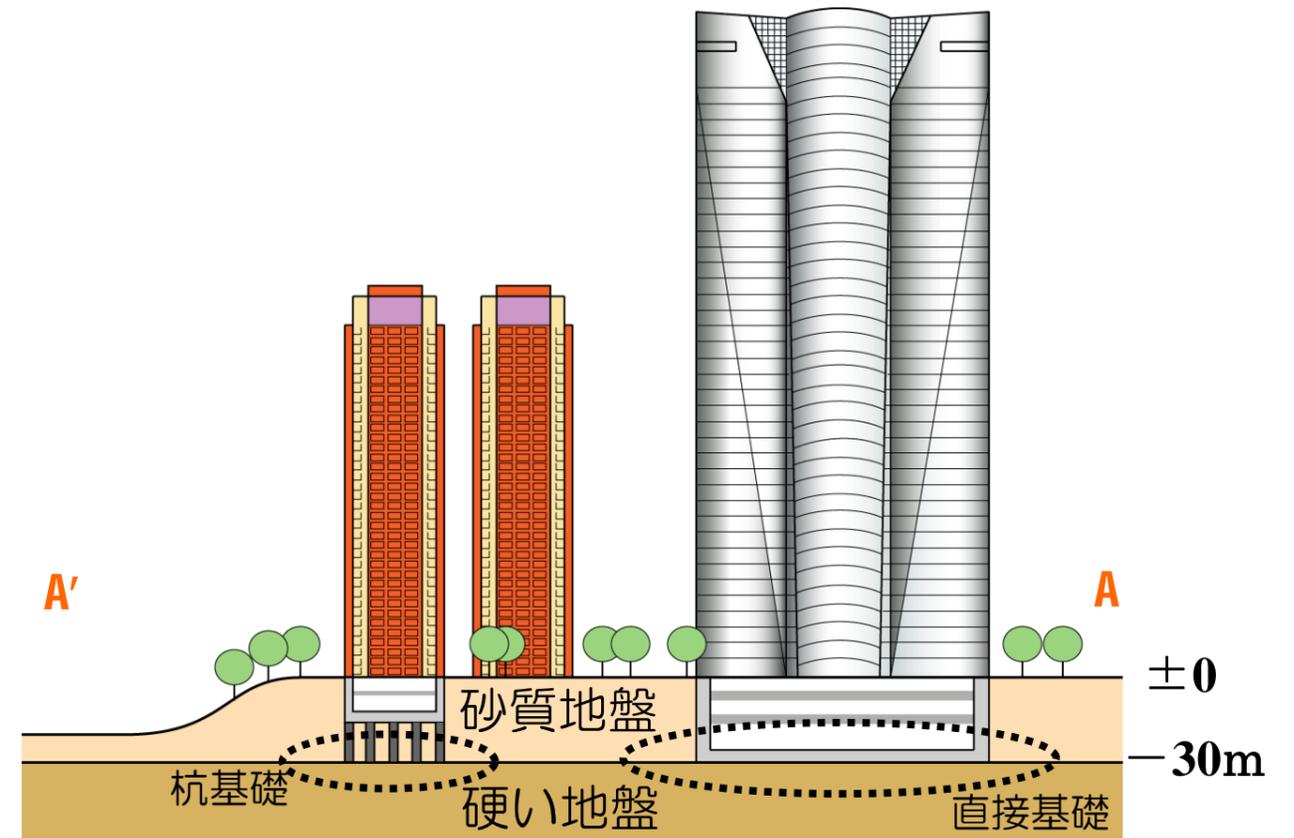


杭基礎
地盤が硬い支持層まで杭を打ち、建物を支えます。



直接基礎
支持層の上に直接建物をのせます。

軟弱地盤：地盤に強さが無く、高い建物や重い建物をそのまま支える事ができない地盤
支持層：良質で締め固まった地盤



六本木ヒルズは硬い地盤の上に建っています

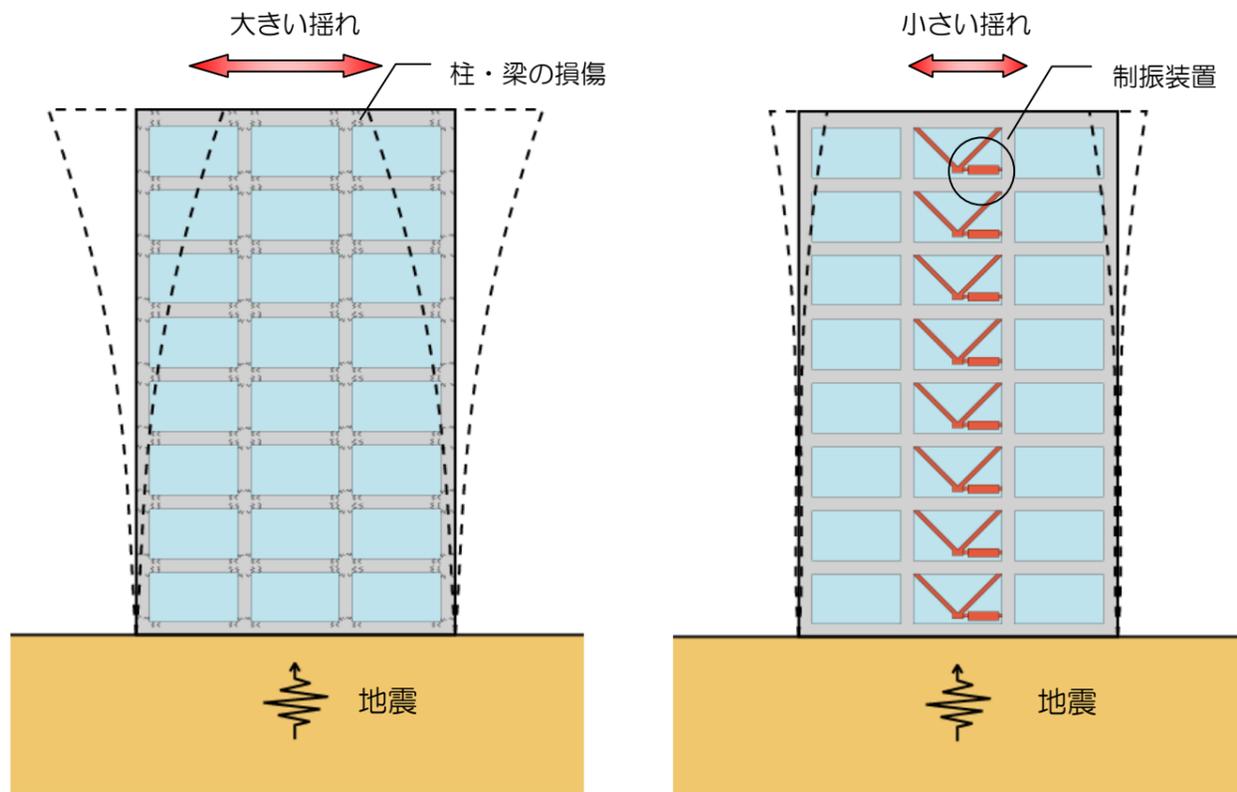
制振構造

一般的な建物は大地震により、再使用ができない状態にまで損傷を受けることがあります。阪神大震災では人命は助かったものの建物は再使用できない状態になった例も多く社会的に大きな問題となりました。

そこで「制振装置」と呼ばれるエネルギー吸収装置を建物に組み込むことで、大地震でも建物の被害を最小限に食い止め、継続利用できる技術「制振構造」が発達しました。現在では高層建築を中心に多くの建物に使われています。

制振装置には、下図のように様々なタイプがあり、建物の用途、平面計画、揺れ易さ、コストなど総合的に判断して選定します。

※この他にも様々なタイプが開発され、実用化されています。

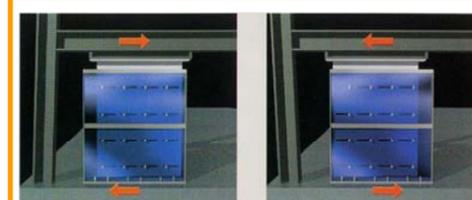


一般的な建物

揺れが大きく、柱や梁にヒビがはいて再使用ができなくなったりする。

制振構造の建物

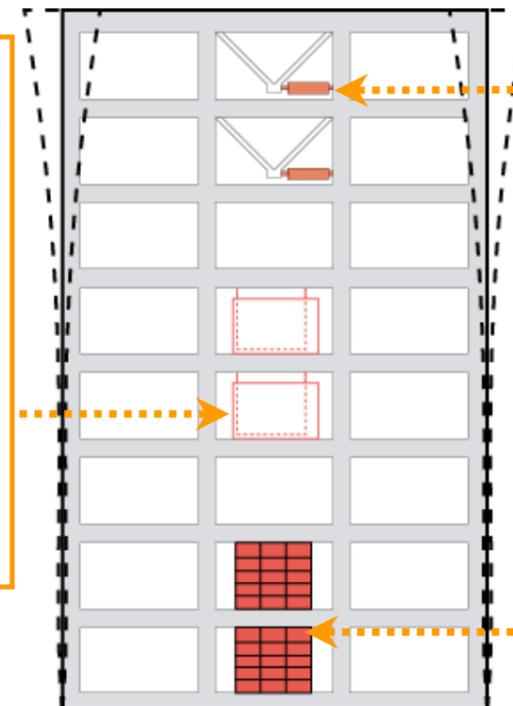
制振装置により、揺れを制御し、建物を安全に保つ。



壁タイプ（粘性体）

水飴状の粘性体を封入した装置でエネルギーを吸収する。風揺れから大地震まで効果を発揮する。

六本木ヒルズレジデンス B・C 採用



シリンダータイプ

オイル又は粘性体を封入した装置。壁タイプに比べ場所をとらない。中小地震にも効果を発揮する。

六本木ヒルズ森タワー採用



壁タイプ（鋼板）

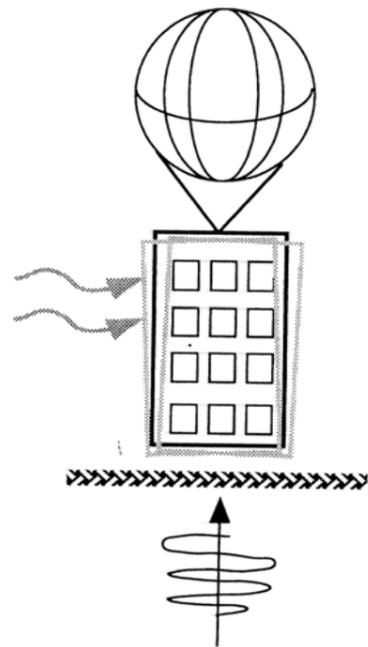
風揺れには効果がないが大地震には効果を発揮する。

グランドハイアット東京採用

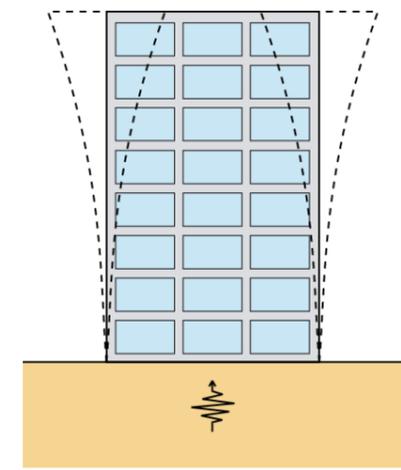
免震構造

建物を地震から守るには、地震の揺れを伝えないように地面と縁を切るのが一番効果的です。この発想で建物と地面を絶縁し、耐震性を格段に高めた構造が「免震構造」です。一般的な絶縁方法としては、積層ゴムと呼ばれるゴムを用いて建物と地面の間を浮かせます。阪神大地震でも免震構造のすぐれた耐震性が実証され、当社でも中低層ビルに積極的に採用しています。

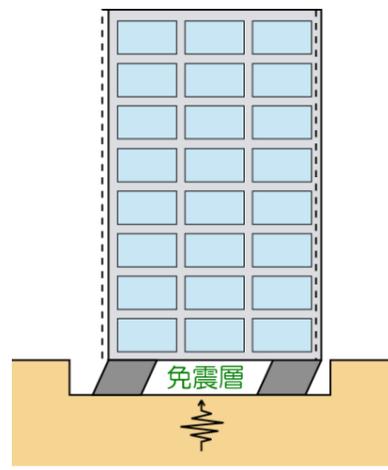
免震構造は一般的に、「積層ゴム」と「ダンパー」の組み合わせで構成されています。積層ゴムの内部に鉛を封入した積層ゴムとダンパーの一体型装置「鉛プラグ入り積層ゴム」も一般的に使用されています。



地面から建物を浮かすという発想



一般的な建物
揺れが激しく建物が損傷を受ける

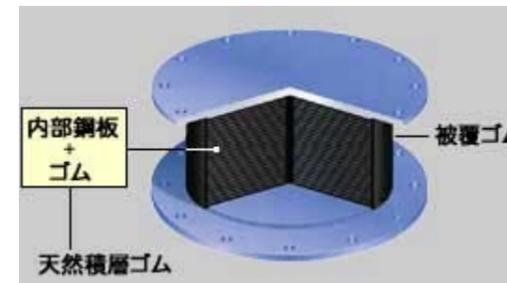


免震構造の建物
ゆっくり揺れ、
建物を安全に守る

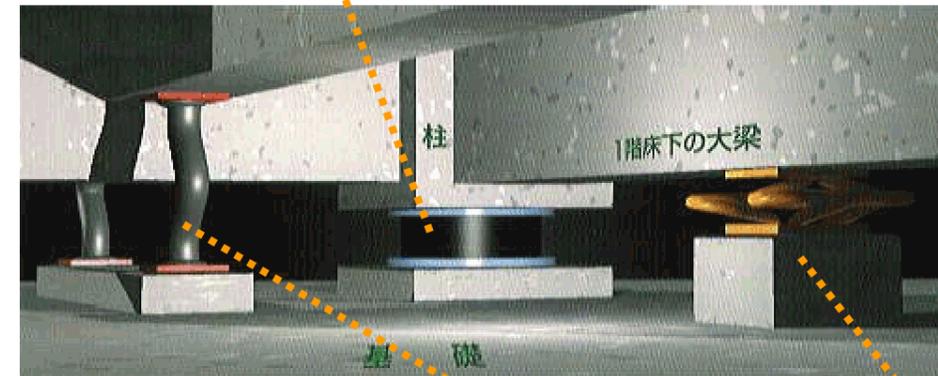
一般的な建物と免震構造の比較

当社の免震構造

六本木ヒルズレジデンスD
元麻布ヒルズフォレストタワー
アークフォレストテラス



積層ゴム
ゴムの間に何層にも鉄板を挟むことで上からの荷重にはつぶれにくく、かつ、地震による横からの力にはゴムの性質で簡単に変形する。これによって、建物と地面を絶縁する。



免震層

ダンパー
積層ゴムだけで地震が収まった後も、建物のゆれがなかなか止まりません。また揺れ幅もかなり大きくなります。建物の揺れにブレーキをかけて効果的に地震エネルギーを吸収する役目がダンパーです。



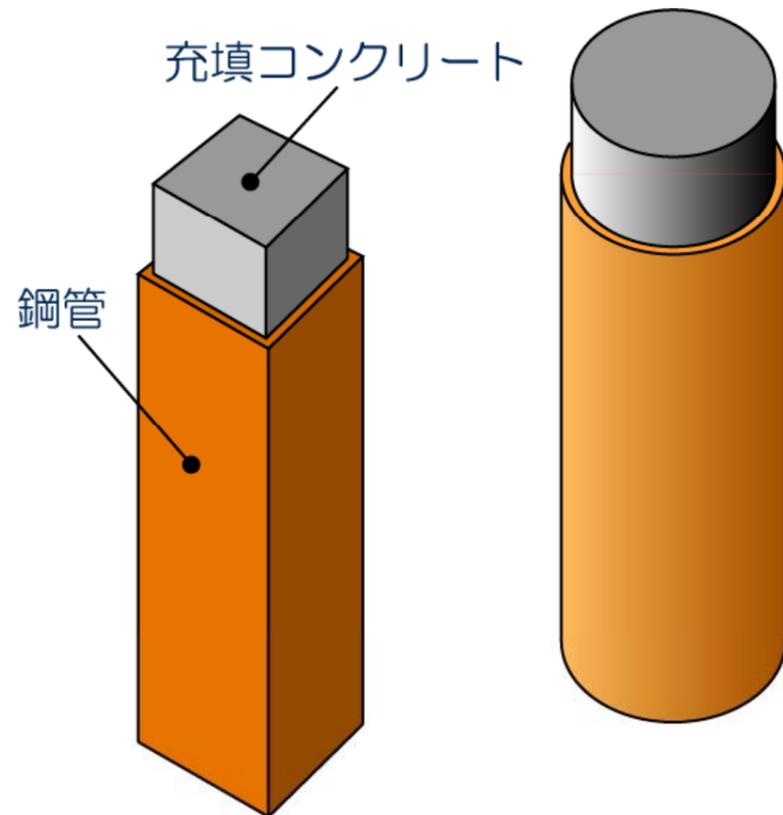
鉛ダンパー

鋼棒ダンパー

5 森ビルの考える「地震に強い街づくり」 ハイブリッドな柱、CFT

CFT(Concrete Filled steel Tube)構造

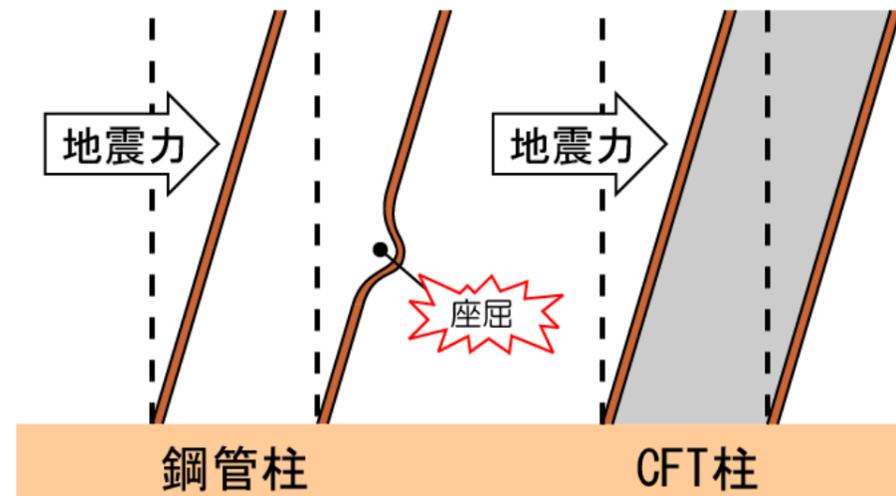
CFT柱は、鋼管中に高強度のコンクリートを充填するもので、最近の超高層ビルには積極的に採用されています。変形能力・工期短縮・高い耐力・省資源など、さまざまな面で優れた特性が確認されています。このCFT柱を採用することでスレンダーな柱で耐震性能、耐火性能に優れた構造が実現できます。



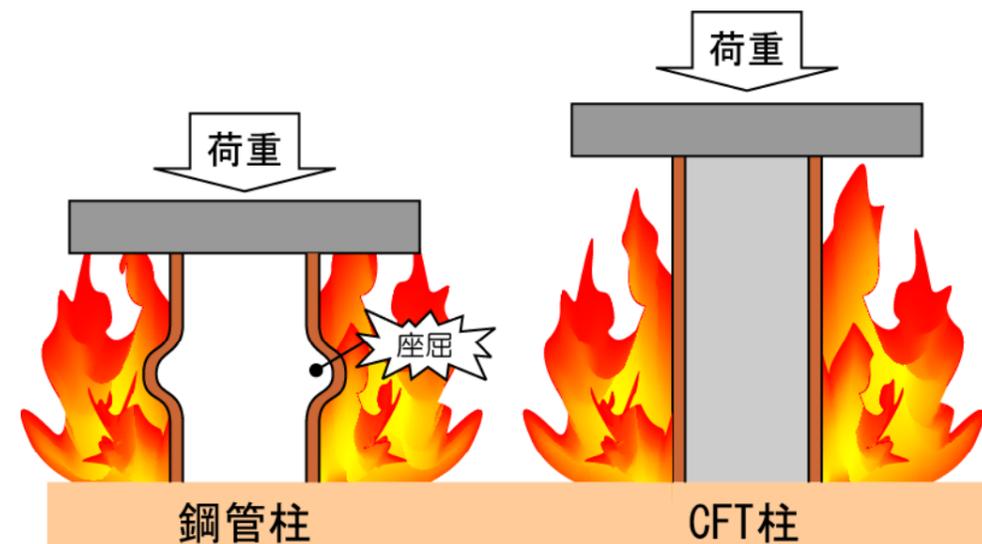
CFT柱の断面模式図

当社のCFT採用物件

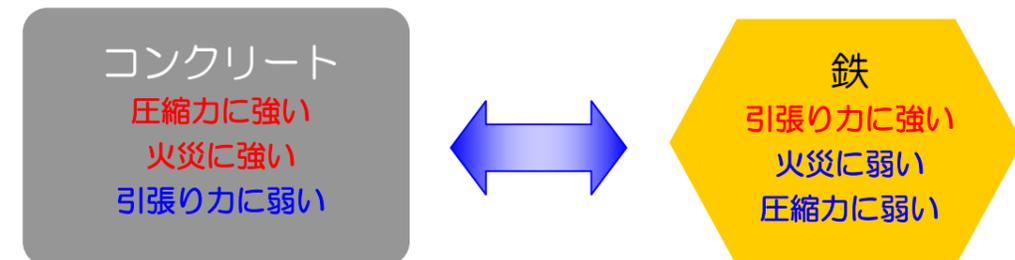
- 六本木ヒルズ森タワー
- 六本木ヒルズレジデンスB・C
- グランドハイアット東京
- 六本木ヒルズゲートタワー
- 愛宕MORIタワー
- 愛宕フォレストタワー



充填コンクリートの拘束効果で優れた変形能力を発揮します。
(座屈：鋼管のプレートが面外に変形して柱耐力が急激に低下する現象)



火災時は充填コンクリートが優れた熱吸収能力を発揮し、座屈を抑制します。



お互いの弱点をカバー。
お互いの拘束効果で単体の場合よりさらにパワーアップ。

6 六本木ヒルズの耐震構造 [森タワー]

制振装置

「セミアクティブオイルダンパー」と「アンボンドブレース」の採用で小さい地震、強風から大地震まで安全性と居住性を確保しています。

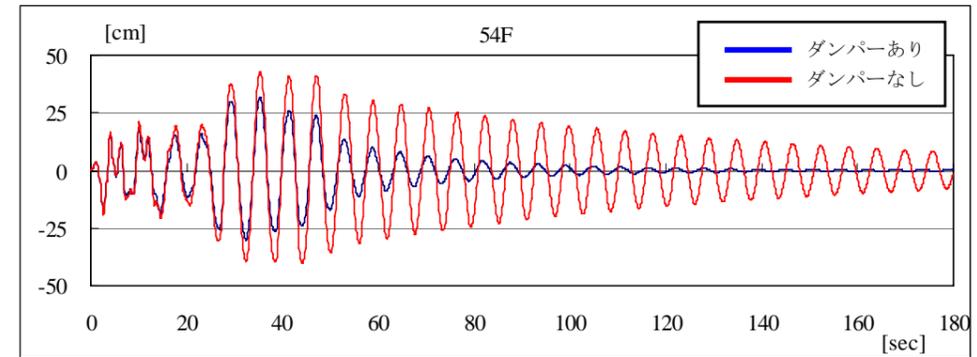
・セミアクティブオイルダンパー

電気制御によりオイルダンパー内のオイル流量を調整し強風から大地震まで効果を発揮

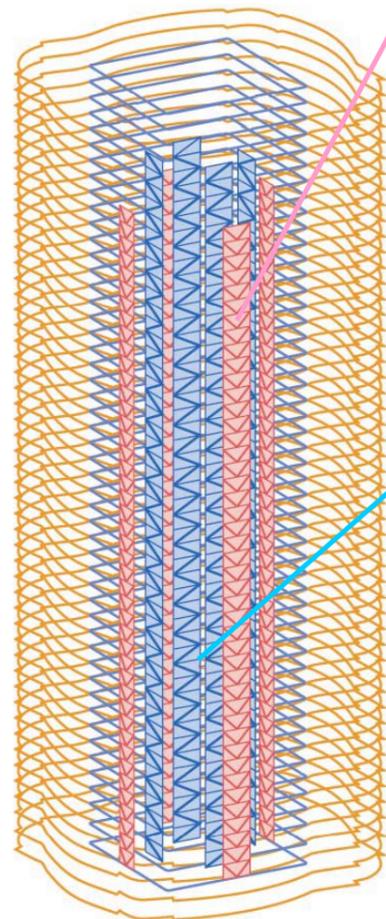
・アンボンドブレース

柔らかく延び能力のある鋼材を使用したブレースで大地震時のエネルギーを効果的に吸収します。

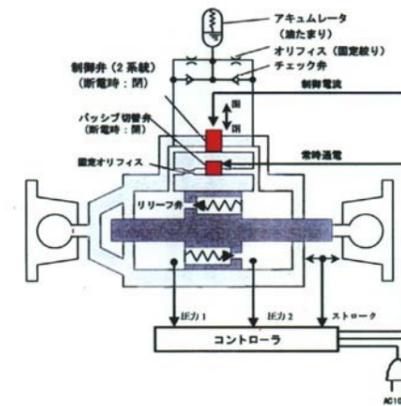
制御効果



グラフは、アメリカ ELCentro で観測された地震（強さは阪神大震災クラス）が、森タワーで発生した場合のシミュレーション結果です。ダンパーが付いている場合（現状）と付いていない場合を比較しています。グラフからもわかるように、制振装置が付いている方が、揺れの収束時間（揺れが収まるまでの時間）が短いことがわかります。

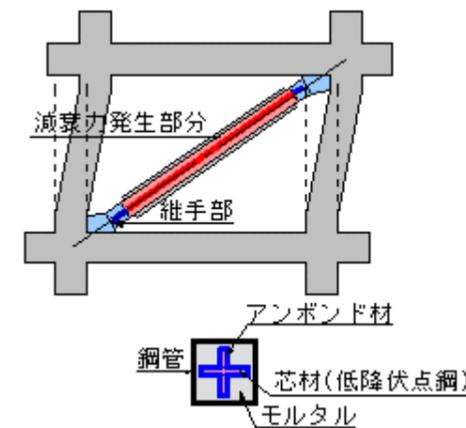


セミアクティブ型オイルダンパー



電気制御によりオイルダンパー内のオイル流量を調整することで、最適な揺れの制御を行ないます。また、地震による停電時に電気制御が出来ない場合も、普通のオイルダンパーとしての機能を発揮します。

アンボンドブレース



低降伏点鋼という柔らかくねばりに優れた特性をもつ鋼材を使用した十字型芯鉄骨ブレースの周囲をコンクリートで覆い、付着を切る（アンボンド）ことにより座屈を防ぎ、引張り同様に圧縮にも効かせます。

7 六本木ヒルズの耐震構造 [レジデンス B・C]

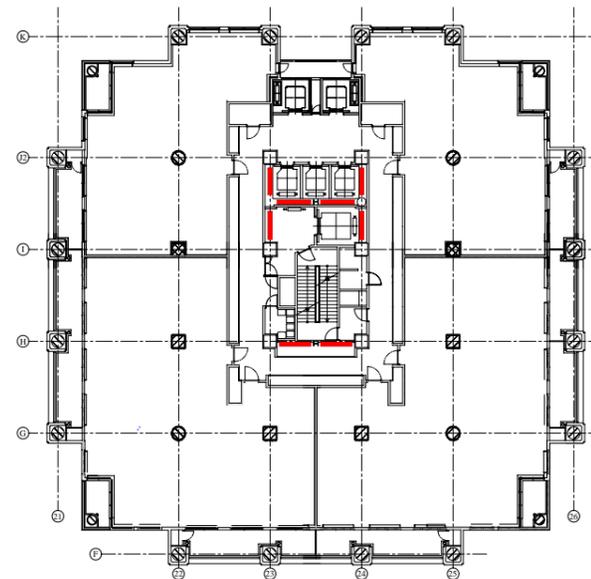
*レジデンス B棟は 336 枚、C棟は 344 枚

粘性体制振壁

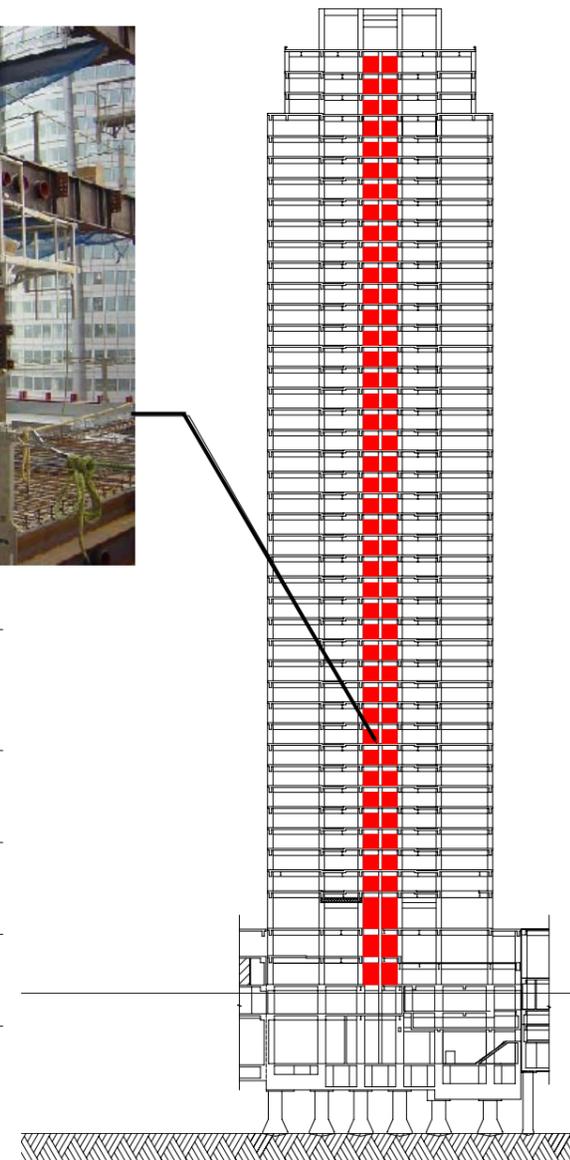
文化都心六本木ヒルズにふさわしい住宅として誕生した六本木ヒルズレジデンス。当然コンセプトでもある「クオリティ・オブ・ライフ」を支えるテクノロジーも最高水準でなければいけません。

六本木ヒルズレジデンスに要求される耐震性能水準は、大地震時に躯体の損傷を防ぐのは当然のこと、中小地震や風揺れに対しても効果を発揮し、什器転倒の危険性や、揺れによる不安感を除去することでした。

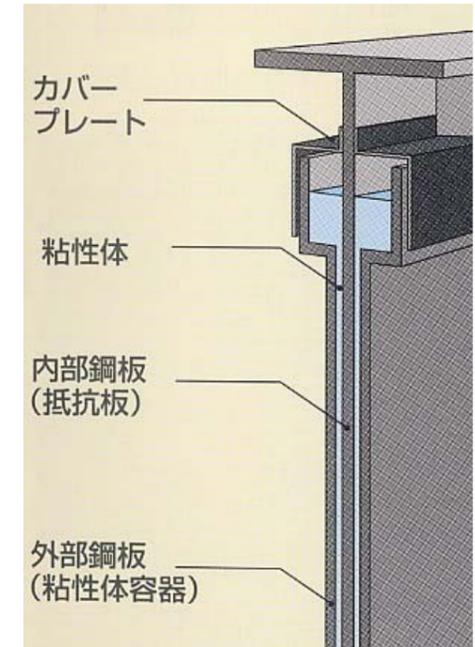
そこでスリムな壁形状の「粘性体制振壁」を採用し、地上階の非常用 ELV 及び階段室の周囲にふんだんに設置することで上記性能を確保しました。



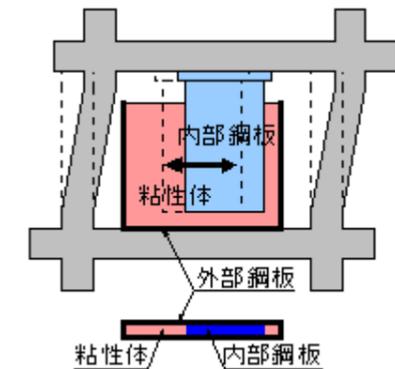
— 粘性体制振壁



粘性体制振壁のしくみ



鋼板と鋼板の間に、粘性体が充填されている



粘性体の抵抗力により、地震時の建物の変形を抑える

特徴

- ・ 経年変化、劣化がない
- ・ 中小地震にも効果を発揮

8 六本木ヒルズの耐震構造 [けやき坂コンプレックス]

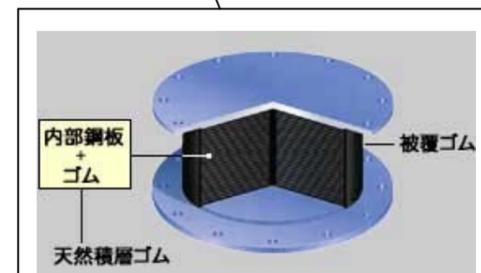
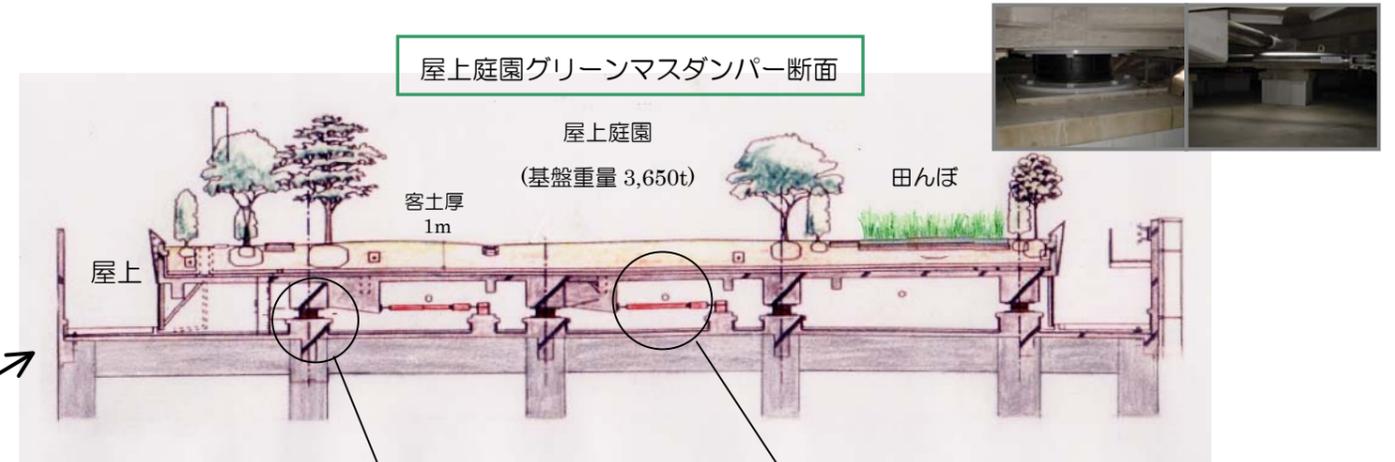
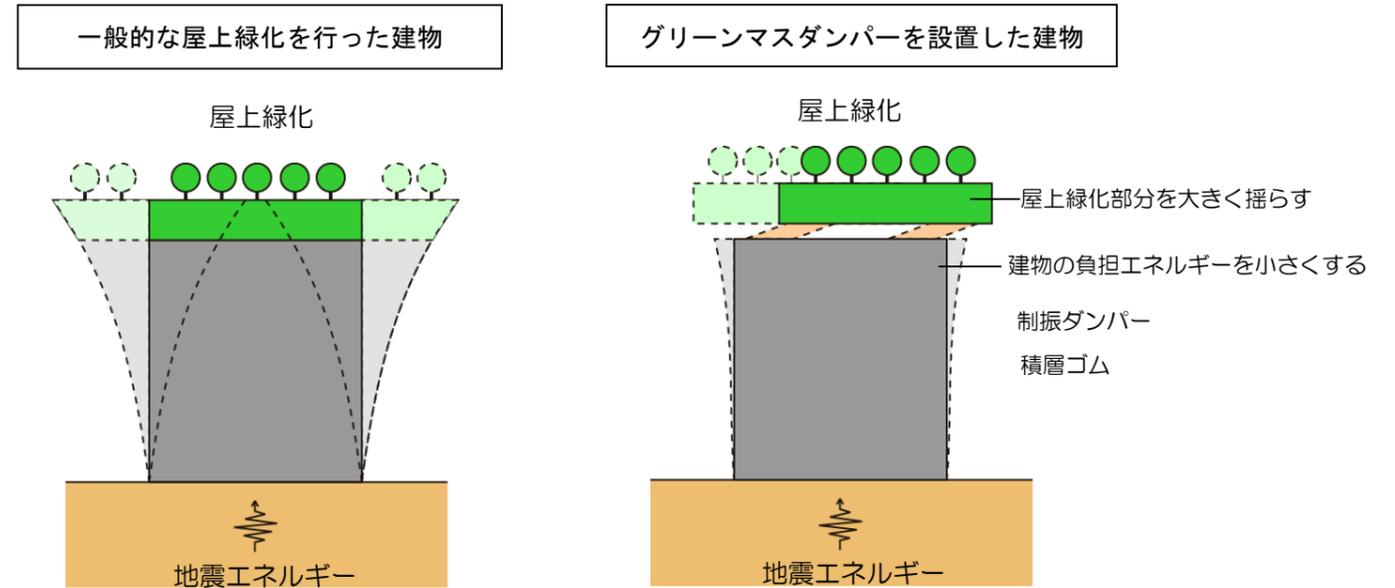
グリーンマスダンパー

当社はビルの屋上を積極的に緑化しています。しかし、土はとても重いため、地震の時に建物が激しく揺れるという問題もあります。

そこで屋上緑化の重さを逆手にとって揺れをコントロールする「グリーンマスダンパー構造」という新しい制振構造を開発し、けやき坂コンプレックスに採用しました。

屋上庭園と建物本体を積層ゴムで切り離し、地震エネルギーを吸収する制振ダンパーを設けることで、地震の揺れを屋上部分で集中的に吸収し建物本体の揺れを小さくすることができます。

従来に比べ、屋上緑化しながら耐震性も向上させることができ、環境配慮型の制振構造として注目を集めています。



積層ゴムアイソレータ
 屋上緑化基盤を建物本体を切り離して支持して地震時に横方向に揺れやすくします。
 直径 60cm の積層ゴムを 46 基使用



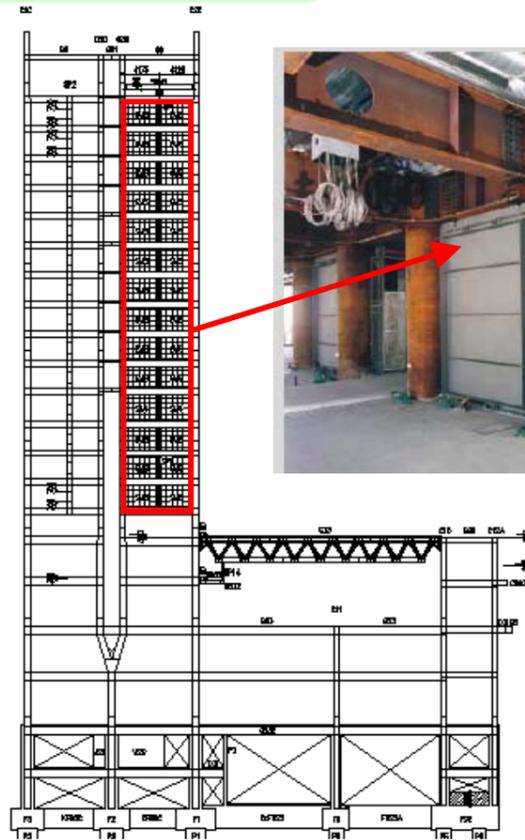
制振ダンパー
 地震時に大きく揺れた屋上緑化基盤にブレーキをかけて効率的に地震エネルギーを吸収します。
 37t ダンパーを 22 本使用

9 六本木ヒルズの耐震構造 [グランドハイアット東京]

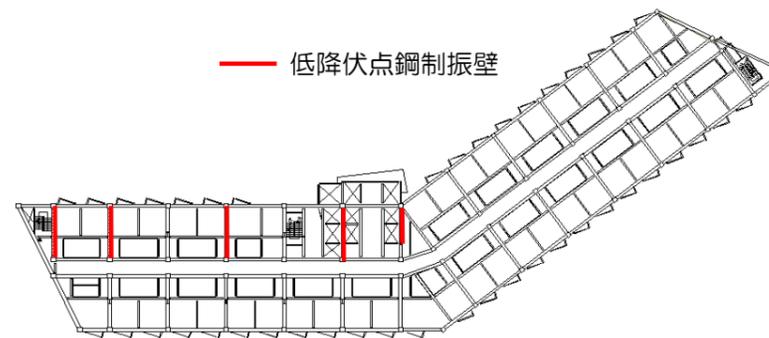
低降伏点鋼制振壁

わざと壊れやすい部分を作っておいて損傷をそこに集中させることで、大事な部分を守る「損傷制御設計」という考え方があります。たとえば自動車はボディを軟らかくつくって、事故の衝撃をボディで吸収し、ドライバーの命を守ります。

グランドハイアットでも、軟らかい「低降伏点鋼」を使った鉄の壁を建物に組み込み、地震が起きたときに、この部分で地震のエネルギーを集中的に吸収させることで、主要構造である梁・柱の被害を少なくする制振構造を採用しています。



立面図



— 低降伏点鋼制振壁

平面図

損傷制御のしくみ

柱・梁は被害無し



鉄の壁が地震エネルギーを吸収して歪む

大地震時には軟らかい「低降伏点鋼制振壁」が、建物を守る。

(写真は大地震を想定した実験を行った後の壁)

大地震後の制振壁の取り替えについて

取り替えることも可能ですが、エネルギー吸収能力が非常に大きいため、実用上は取り替え無しで継続使用可能です。