



地震に耐える



倒壊建物19万棟、死者6300人、30万余の人に長期の避難生活を余儀なくさせ、神戸市に壊滅的な被害をもたらした阪神大震災。1000年に一度といわれるこの大震災は、地震に対してあまりにも無防備な都市の姿を浮き彫りにした。あの悪夢のような体験からすでに1年半。建築、土木などの分野では耐震の再評価と免震・制震へのアプローチが積極的に進められ、「地震に強い建物」「地震に強い構造物」に関する研究の成果が着実に実りつつある。そこで、本号では、地震と戦う最新テクノロジーの“今”をレポートしよう。

地震と戦う最新テクノロジー

阪神大震災後、免震や制震など地震力を制御する技術に注目が集まっている。特に免震構造は被災地域での成果が広く知れ渡ったことから、マンションや病院などを中心に急速な勢いで導入されつつある。免震、制震技術は、既存建築の補強手段としての応用範囲も広く、今後ますますこれらの技術が普及することになるだろう。

「耐震」から「免震」「制震」へ

阪神大震災においては、1981年に施行された新耐震設計法以降に建てられた建築物の被害は概して少なかったことが報告されている。実際、現在の耐震設計技術をもってすれば、さらに大きな地震が襲っても建物を十分に安全なものにすることができる。

だが、建物は安全でも、地震によって発生する激しい揺れは止められない。揺れは、地面より建物内の方が増幅されて大きくなるので、建物の倒壊は免れても、内部にいる人は激しい揺れのためパニックになったり、怪我をすることになる。あるいは、設置されているコンピュータシステムが破損し、大きな被害を被ることも予想される。そこで脚光を集めているのが、この揺れを抑えるための免震・制震の技術である。つまり、地震がきても壊れない「耐震」から、揺れを逃がす「免震」、揺れを制御する「制震」へと、技術的な焦点が移っている。

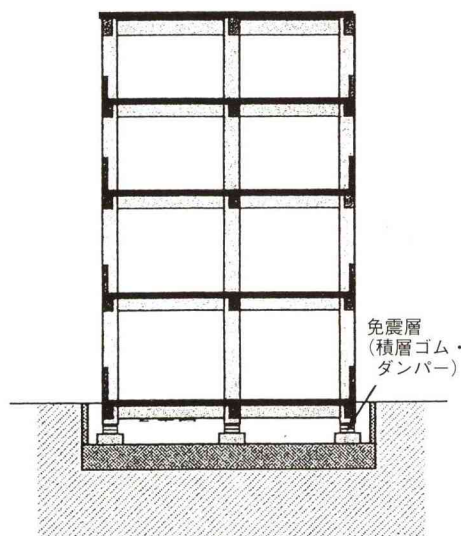
とりわけ免震については、阪神大震災被災地域にあった松村組技術研究所・研究棟と郵政省WESTビルの2棟の免震ビルが、いずれも建物の最大応答加速度が地表面の3分の1から4分の1程度に収まったことが震災後に明らかになった。その結果、はからずも免震構造の効果が証明され、免震技術をにわかに普及させる大きな契機となっている。建造物は日本建築センターで審査され、建設大臣が認可す

るが、その件数も、阪神大震災までの10年間で約80件だったものが、震災以降は毎月20件以上のペースと、大幅に増加している。

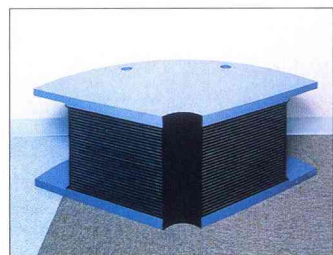
免震は21世紀のスタンダードテクノロジーに

では免震、制震構造のシステムとはどのようなものか。免震とは、建物を免震部材で支えて地面から浮かせることで、地震の激しい揺れから逃げる技術である。つまり、建物の構造自体で地震エネルギーに対して抵抗するのではなく、建物にかかる地震の力を吸収して弱めようとするものだ。具体的には、通常建物の基盤と地盤の間に免震層を設けて絶縁する仕組みになっている。免震層は基礎と構造体の間にあって、一般的にはアイソレーター機能をもつ積層ゴムと、減衰機能をもつダンパーから構成されている。この積層ゴムは、薄い鉄板とゴムシートを交互に重ねたもので、ゴムはコンクリート並の強度を備えている。また最近では、鉛プラグ入り積層ゴムや高減衰積層ゴムなど、積層ゴムそのものに減衰機能を持たせたダンパー一体型積層ゴムが主流となりつつある。

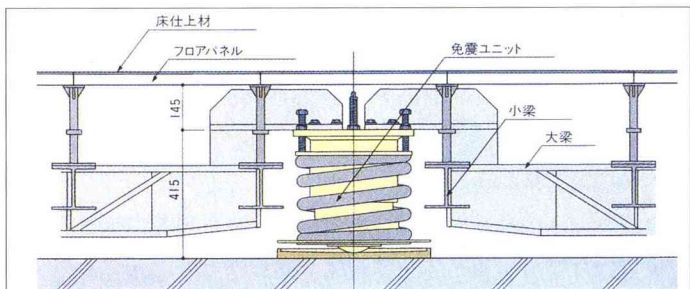
この免震構造によって地震動は周期の長い緩やかなものになり、大地震時の加速度を3分の1から4分の1に低減できる。また、耐震建物では上層部ほど激しく揺れるが、免震建物では下層から上層まで同じようにゆっくりと揺れる



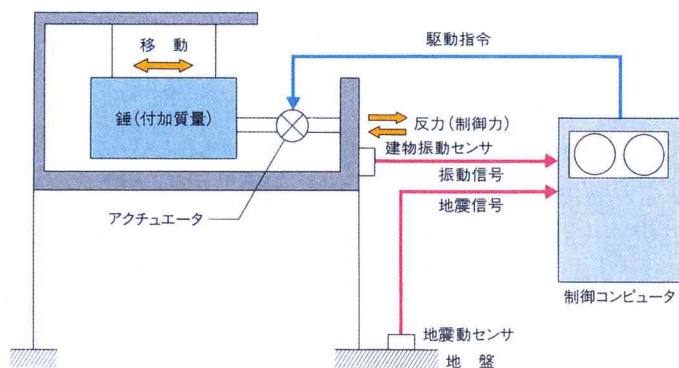
免震構造



免震に用いられる積層ゴム・減衰装置



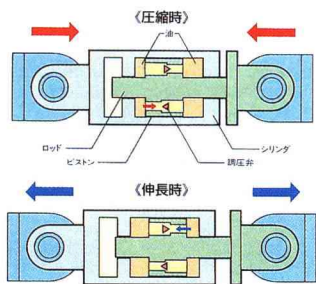
免震層の構造（水平・上下免震型）



制震構造のJALビル



アクティブ制震。センサが地震動や建物の揺れを感知すると制御コンピュータが信号を分析、アクチュエーター（駆動装置）に指令を送る。アクチュエーターは錘の揺れを制御し、建物の振動を抑える。



パッシブ制震用ダンパー



JALビルに用いられたパッシブ制震ダンパー



首都高速道路における耐震補強工事

ことになる。現在、免震化に伴うコスト増は一般に建設費の5～10%程度。既存建物の補強や免震床として特定フロアへの部分応用なども簡単に行えることもあり、免震構造はオフィスビル、集合住宅、病院、公共施設などはもちろん、最近では一般住宅にも急速に普及しつつある。免震技術で多くの実績を誇る鹿島(株)では、町全体の地盤そのものを免震構造にしてしまうといったプロジェクトも発表しており、免震技術は次世代のスタンダードテクノロジーのひとつとなる勢いだ。

「パッシブ」と「アクティブ」ー2つの制震技術

地震の揺れを「逃がす」ばかりでなく「抑える」ことも可能な制震技術は、一般に機械装置を駆動して揺れを抑えるアクティブ制震と、建物に組み込まれたダンパーが揺れを吸収するパッシブ制震に大別される。中低層ビルから高層ビルまで適用範囲の広い技術だ。

アクティブ制震のひとつにアクティブ振動吸収器というシステムがある。これは、建物の屋上部に設置した錘を建物の揺れとは反対方向に積極的（アクティブ）に駆動し、揺れを打ち消すというシステム。高度なコンピュータ制御によって成立するシステムで、高層ビルに多く用いられている。一方、パッシブ制震用ダンパーを主要骨組の層間に組み込み、層間変形が起こるとエネルギーを吸収して揺れを減衰させるものが一般的。現在は降伏点の低い鋼材や鉛、粘性体などがダンパーに用いられている。パッシブ制震構造の特徴は、地震エネルギーを吸収することによって、主要骨組への応力負荷を軽減できる点だ。また現在の耐震設計では大地震時に構造体を塑性化させることによってエネルギーの吸収を行うが、制震構造のダンパーのエネルギー

吸収能力を利用して、主要骨組に損傷を与えない設計も可能と言われている。トータルコスト面でのメリットもあり、このパッシブ制震は中低層ビルから高層ビルまで適用されており、これからさらに注目を集めていきそうだ。

急ピッチで進められる耐震補強工事

今まで建築における最新の対地震技術について述べてきたが、最後に土木における動きも紹介しておこう。

土木においても、免震技術が大幅に取り入れられている。現在、新たに工事が行われている道路の橋脚や橋の橋梁に免震支承（免震機能をもたせた荷重支持システム）の採用が進んでいる。免震支承の構造は、基本的には建築の免震と同様である。固有振動周期を長周期化するアイソレーター機構と減衰を増大させるダンパー機構が一体となっている。

また、既存の道路や鉄道などの土木構造物の耐震補強も大きな課題のひとつとなっており、積極的な取り組みが図られている。例えば、高速道路。首都高速道路では、鉄筋コンクリート製の橋脚に鋼板を巻いて、耐震性を向上させる工事が進行中だ。鋼板の厚さは、10mm前後。巻き終わった鋼板と柱の隙間は4mm程度となり、ボルトで調整してから鋼板を溶接し、隙間にエポキシ樹脂を注入して一体化させるという工法である。これによって、約2倍の粘り強さをもった橋脚が誕生することになる。

首都高速道路公団では95～97年の3カ年で全路線のRC橋脚5100基、鋼製橋脚2100基の合計7200基について、耐震性向上工事を実施していく計画だという。土木に限らず、建築・プラントなども含め、全国の耐震補強工事は、これからの数年間がピークとなる。

[写真提供：鹿島(株)、首都高速道路公団]