

## 技術ノート・建物の耐震補修と補強/4

## 免震構造

## 和田章

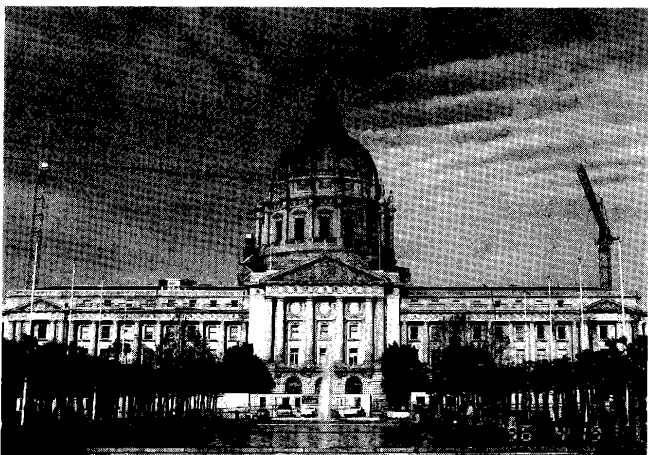
東京工業大学建築物理研究センター教授

## 人々の考える耐震性能

地震直後に受けた神戸の震災の強い印象から比べると、1年後の神戸の印象は異なる。壊れてしまった建物が取り壊されてしまい、その場所が駐車場になっていて、何か閑散としているように感じるものの、残っている建物を見ると、よくこれだけ多くの建物があの大地震に耐えられたという印象である。しかし、細かく見ていくと補修の跡が見え、地震直後の人々の話を思い出すと、家具が倒れたり、テレビが飛んできたりで大変なことだったと思う。

地震学の分野では、研究結果を表すのに対数目盛りが使われる。これを受けているはずの、耐震設計の分野では%の精度をもって議論を進めている。これらを考え直すと、関東大震災後に設計用震度を0.1に決めたこと、および新耐震設計法の時点でこれを踏襲し、そのうえに極めて稀に起きる地震力として1Gの弾性応答に相当する力を考えたことは、それぞれその時代において大きな決心であったと思う。兵庫県南部地震の地震動が最大の地震動であるとは言えないのであろうが、建物の倒壊を防ぐという意味では、現在の設計用地震力の大きさは過大でもないし、過小でもないと考えられる。

しかし、一般社会の人々から見ると、人々の命を奪うことなく、建物だけが倒壊せずに残るだけでは、十分でないというのが今度の地震災害後の本当の気持ちであろう。新耐震設計法によって設計し、設計の意図のとおりにはびわれが入り塑性変形を生じ倒壊を防がれた建物でも、地震後に取り壊されてしまったものもある。今の基準はこんなものと考えればそのとおりであるが、地震後に継続的に使用できること、被害の程度を簡単に調べられること、修復の費用が適切な範囲で収まることなどが新しい要求になっている。このほか、はっきりとは言われ



サンフランシスコ市庁舎全景

(提供：日本免震構造協会)

旧庁舎が1906年のサンフランシスコ地震で災害に遭い、1915年に再建された市庁舎であり、1989年ロムブリエータ地震でもドーム部分に被害を受けている。外見は煉瓦造であるが、構造本体は鉄骨骨組構造である。1階の鉄骨柱の下部を切断して、積層ゴムを挿入し、建物全体を免震構造にする工事が行われている。

ていないが、地震の最中の建物内部の振動を低減してほしい気持ちも強いと思う。現在の耐震設計法は「建物の倒壊防止と人命保護を目指しているだけで、破損を抑える、機能を維持する、簡単に修復できる、などについては何も考えていない」ことがはっきりしてくる。

## 基礎固定建築の耐震設計の難しさ

現状の基礎固定建築の構造の耐震設計では、設計で最も問題となる地震動の不確かさを、構造物に生じる塑性変形量の不確かさに置き換えていると言える。層間変形角を1/100、1/50などと表現するが、考えている大地震動に比べ発生した地震動が2倍になり、層間変形が考えていた値の2倍を超えたところで、壊れていることには変わりがなく、倒壊さえしなければ大きな違いではない。ただ問題は、この度の兵庫県南部地震で10棟以上の建物に発生した層崩壊を生じさせないことである。このためには、建物全体に地震時の入力エネルギーを分散させることが重要である。これには、構造物の高さ方向の強さ分布が大きく影響するが、地震動の性質が分からないという前提で、最適な強さ分布を決めることは難しい。たとえ、この分布が決められたとしても、そのとおりの構造物を実現させるのも簡単ではない。

構造特性係数 $D_s$ を0.25や0.30のように小さな値に設定し、骨組自身の変形能力に期待する構造は、耐震性が高いと推奨され、現在、最も多用されているが、この種の構造はある意味では大きく壊れることを前提とした安物構造であり、設計が難しい構造であると言える。

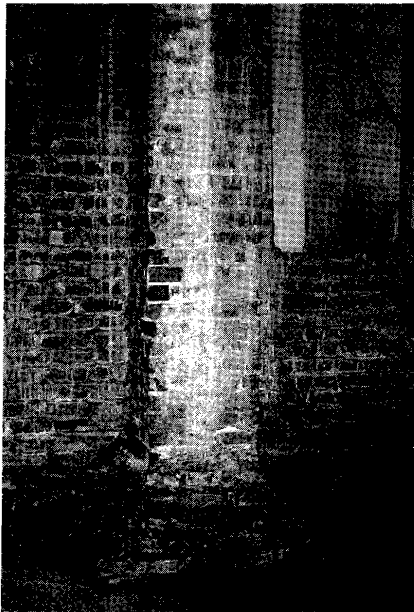
## 免震構造の設計

基礎固定の一般的な建物の耐震設計が思いどおりにいかず難しいのになら、免震構造は、積層ゴムとダンパーで構成される免震層に地震時のエネルギーを集中させることから、明快で易しい構造と言える。最近では、積層ゴムに作用させる常時の面圧を100 kg/cm<sup>2</sup>以上にし、積層ゴムの水平剛性と建物重量で決まる固有周期を4秒以上にする性能の高い免震構造がつけられている。

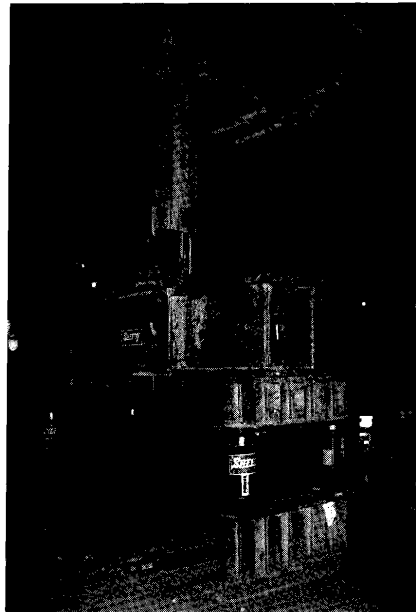
免震構造を採用することにより、大地震時にも上部構造はほとんど弾性範囲の挙動に収めることが可能になるため、上部構造に必要な性能は強度だけであり、塑性変形能力はそれほど必要ない。このほか、上部構造の平面計画に若干の偏心や、階ごとの剛性に若干の不釣り合いがあっても、この影響を考慮して設計が行われていれば、一般の構造のように上部構造のねじれ変形が急増したり、特定層に破壊が集中することはない。このような免震構造の特長をよく理解して設計を行えば、設計の自由度はかなり大きくなる。

## 免震構造への期待

免震構造の実用化が始まったのは10数年前である。米国、ニュージーランド、ヨーロッパなどに少し遅れて、日本でも免震構造による建築が建てられてきた。現在の技術で、「人命を護り、構造物の破壊と損傷を防止し、機能を維持させる」ことのできる構造は、免震構造しかないと言える。従来からの方法で



**免震化する前の柱** (提供：日本免震構造協会)  
鉄骨柱の周囲に煉瓦が組まれている。この度の工事では、周囲の煉瓦を取り去り、鉄骨柱を露出させた後、基礎を補強し右の写真の手順で柱を切断し積層ゴムを挿入している。



**切断直後の鉄骨柱** (提供：日本免震構造協会)  
柱の中間高さにリブを溶接し、このリブに引っ掛けるようにして2本の鉄骨梁を渡す。写真に示すように4台のジャッキで梁に上向きの力を作用させ、切断しようとする柱に生じている軸力を解除する。その後、下部の柱を切断し、積層ゴムを挿入する。その後、柱と積層ゴムの間にフラットジャッキを挿入して圧力をかけ、積層ゴムに所定の鉛直荷重を作用させる。その後、周囲の4台のジャッキを開放し、1本の柱の工事が終了する。

建物自体をさらに強くつくることは可能であるが、強くつくればつくるほど内部に生じる加速度は大きくなってしまおうというジレンマから逃げ出すことができないからである。

1994年1月のノースリッジ地震を受けた南カリフォルニア大学の病院建築、兵庫県南部地震を受けた郵政省WESTビルはともに大規模な免震構造であり、地震観測が行われていて、そのデータにより大きな免震効果が発揮されたことが分かった。それまで半信半疑に感じていたエンジニア、建築家、そして建築主が免震構造の素晴らしさに目をむけるようになった。

免震構造の適用領域は、ほとんどの建築をカバーしている。病院、学校、市役所、美術館、音楽ホール、住宅、原子力発電所、研究所、計算センター、消防署、警察署など、すべての種類の建築に用いられている。工場や体育館などの鉄骨造の大スパン構造は、地震力よりも風圧力に対する設計が支配的になるので、免震構造が使われない唯一の建築と思われていた。しかし、200 mクラスのスパンの大屋根の場合、自重が大きく風よりも地震で決まることになり、兵庫県南部地震においても大屋根構造にも被害が生じたこともあり、ここにも免震構造が使われようとしている。

このほか歴史的建築物の耐震性向上のための免震化工法がある。米国では新築の数と同じくらいの数に上っている。最も象徴的なのが、ロサンゼルスとサンフランシスコの市庁舎に対して、同時期に免震構造による耐震化工事が進められていることである。日本国内でも上野の西洋美術館、大阪の中之島公会堂が免震構造を用いて耐震化されることが発表されている。

米国の場合、構造形式などによって設計用地震力が変わるのではっきりとした数値を示すことはできないが、特に古い建物の場合、設計された時点の設計用地震力は建物重量の0.1以下であることは間違いない。日本の場合、構造材料の許容応力度が戦後に変更されたとき、設計用地震力も変更されているが、少なくとも重量の0.2に相当する設計用地震力を考えていると言える。

一方、免震構造の設計について日米を比較すると、考えている地震力はほぼ同じである。具体的に言うと、大地震時に生じる水平力は建物重量の0.1を上回るが、大きくても0.15程度である。

米国の場合、免震構造にしても上部構造物の耐力が不足することになるが、日本では、よほど問題のある建物でないかぎり、免震構造の応答は上部構造の強さを超えないと言える。オークランドの市庁舎、サンフランシスコの市庁舎の免震化工事の調査によると、上部構造に筋違や耐震壁を増設している。日本で古い建物を免震化することによって耐震性を高める場合は、上部構造の補強は必要なく、ほぼ現状のまま保存することができることになる。

### これからの免震構造

免震構造の建物が爆発的に増えている。現在の増え方を見て、兵庫県南部地震後の流行と言う人がいるが、そんなことはない。年間に我が国に建設される全建築延床面積のうち、全免震構造の延床面積は0.5%にも達していない。まだまだ免震構造にしたほうがよい建物がたくさんある。

設計の画一化が起きては困るが、米国のUBC (Uniform Building Code) のように建築基準法、同施行令の中に免震構造の項を設けるなどして、一般の建築と変わらない手続きで建築許可が得られるようにしなければならない。一般的な構造より分かりやすい免震構造について、手続きの複雑さとそのために要求される計算の手間のために、構造設計者が免震構造から逃げ出してしまっただけでは意味がない。

神戸では取り壊されてしまい見えなくなったが、あのような建物と同じ悲劇的な壊れ方をする建物は日本中にいくらかもある。これらに対して、免震化による耐震性向上は有効な手段の一つである。

#### ◎—参考文献—◎

- ★1—日本建築学会：『免震構造設計指針』、1993
- ★2—日本免震構造協会：『免震構造入門』、1995
- ★3—寺本隆幸：『免震構造の隆盛を考える』、『建築雑誌』、建築年報、日本建築学会、1996、pp.20-21
- ★4—日本免震構造協会：『免震とレトロフィット』、1996



わだあきら 1946年岡山県生まれ／東京工業大学卒業／同大学院修了／建築構造／工学博士／1995年学会賞(論文)受賞