

耐震・免震・ 制振技術

和田章

(東京工業大学

建築物理研究センター教授)

耐震設計 世界の人口の2.5%が、世界の陸地の0.3%の国土のうち20%の土地にひしめいて住み、全世界で放出される地震エネルギーの10%を受けている。

われわれの先輩は、明治になり欧米からコンクリートと鉄を使った建築技術を輸入し、何度も大きな地震災害に遭いつつ、100年の間、耐震構

造のあるべき姿を追ってきた。それまで私たち日本人は江戸時代まで木と紙で建築をつくっていた。地震や大火で家を失っても再度つくり直せばよいという考え方が日本人の気持ちの底にあり、欧米の技術を導入してからも、建物を恒久的に使うものとは考えられなかった。はじめての耐震基準は関東大震災の後につくられ、戦後この考え方が引き継がれ、震度0.2によって計算される水平力に対して、構造物を許容応力度に納めるように設計する方法が定着した。この方法があまりに長い間使われたため、地震力といえば重量の20%の水平力が働くものと、ほとんどの技術者が信じてしまうほどになり、大きな建築を設計するとき、恒久的に使うことを考えてほかより丈夫につくろうとすることはあまり行われなかった。

1960年代に入り100mを超える高

層建築が設計されるようになり、地震動として500cm/sec²程度の大きさを考えるのが常識となっていた。これに対し、一般の構造は80cm/sec²から100cm/sec²の地震動しか考えていないことが明白になり、大きな反省のもと、1981年に新耐震設計法が施行され、耐震設計が2段階になった。きわめて大きな地震動を対象に2次設計が行われるようになり、高層建築と同じ大きさの地震動を用い、これに対して構造物の崩壊を防ぎ、建築の中にいる人びとの人命保護を考えることになった。大きな進歩であったが、財産保護、さらには建築の機能維持までを考えることはなかった。5年前の阪神・淡路大震災を受け、建築物の耐震設計法を見直そうという機運が高まり、人命保護だけを目的とする建築があってもよいが、建築財産の保護、建築機能の維持を目標にする設計も必

要と考える人が多くなってきた。また一方では、上記の2次設計を実行するためには構造物の形状を計算に乗りやすいものにする必要が生じ、これにまじめに対応しようとすると、構造設計の自由度が奪われてしまうことがあった。

建築財産の保護、建築機能の維持、さらに建築設計・構造設計の自由度の拡大などの多くの要求に答えてくれる技術が、免震構造と制振構造である。従来の耐震構造でも、壁式鉄筋コンクリート造の数階建のアパートなどは、建物内部に生じる大きな加速度のことを諦めれば、人命、建築財産と機能の3点を守ることのできる構造といえる。このほかの構造、特に耐震壁も筋かいももたない純ラーメン構造は人命は守れても、ほかの2点には無力であることが、阪神・淡路大震災を受けてはっきりした。

免震構造 免震構造は、建築物の基

礎の部分に大きな鉛直支持力もち、水平方向には柔らかく変形する積層ゴムと、地震入力エネルギーを吸収し、過大な変形を防止する鉛や鋼棒を用いたダンパーを設置したものである。積層ゴムの鉛直荷重支持能力は非常に高く、1cm²当たり1,000kg以上であり、一般に使われているコンクリートの4倍ほどある。建築物

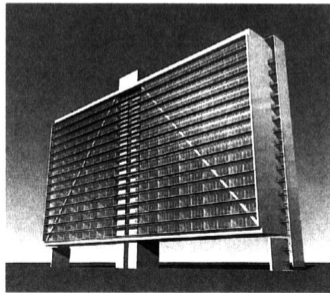
の揺れは大地震動を受けても、水平震度に換算して0.10から0.15の水平力しかかからない。超高層の設計に用いている大地震動を入力しても、上部構造に働く力が建物重量の10~15%程度であるということは、20%の水平力を用いて設計していた1981年以前の耐震設計よりも簡単な耐震設計で十分である。これが、明治

・大正・昭和の古い建築を免震技術によってレトロフィットできる理由である。当然、免震技術は、新しい建築の設計にも大きな自由度を与えてくれる。免震構造の建設費は従来の構造の建設費とほぼ同じと思ってよい。建築の階数が少ない場合には若干割高になるが、6階を越えさらに高層に

なると、免震構造のほうが少ない費用で建設できる。

制振構造 制振構造は建物の各階に低降伏点鋼を用いた鋼板耐震壁、アンボンドブレース、またはオイルダンパーなどを組み込む技術である。柱と梁は弾性的にしなやかに変形できるように設計し、ここにあげた各種のダンパーが地震時による入力エネルギーを吸収し、建築物の振動をあるレベルに押さえることになる。柱と梁を若干細くしなやかにすることで使用材料を20%ほど減らすことができ、この浮いた費用を使って必要なダンパーを買い揃えても、まだ10%ほどの予算が残る計算が成り立つ。制振構造は高い性能を求めているにもかかわらず、建設費用が少なくなる特長がある。大地震時に柱や梁を塑性化させないことが可能になり、地震後にはダンパーの部分のみ点検すればよい。最近の研究によ

ればほとんど交換の必要はないことがわかっているが、修繕、交換は行おうと思えば容易にできる。制振構造には10年ほど前に多くの高層建築に組み込まれたコンピュータ制御により装置を動かし、建物の揺れ幅を小さくしようとするアクティブ制振構造、セミアクティブ制振構造がある。一部の開発者はこれらは大地震にも機能するといっていたが、阪神・淡路大震災を受けた大阪のいくつかの高層建築の装置が思うようには働かなかったことなどをきっかけに、これらの装置は強風時と、中小地震向けであり、大地震には使えないというのが現在の定説である。21世紀に発展する技術は免震構造とコンピュータ制御の必要ない制振構造であろう。これから100年以上は使い続ける建築構造と、3年もすると陳腐化するコンピュータを重ねて用いることは難しい。



SFSによる振子免震構造建築プロジェクト。