

地震力からの解放をめざして

福岡大学 高山峯夫

地震の被害

世界でも有数の地震国である我が国にとって、建築（耐震）の歴史は地震との戦いの歴史であると言っても過言ではない。現代の科学技術をもってしても、将来発生する地震動を正確に予測することはできない。

運良く構造体には損傷がなくても、家具や電気製品などは転倒・散乱し、非構造部材にも損傷が出る可能性がある。家具類の転倒だけであれば、片づければ大丈夫であろうが、構造体や非構造部材が被害をうけてしまうとすぐには元の生活に戻れない。最悪の場合には解体撤去を余儀なくされる。2005年福岡県西方沖地震の際、比較的新しい建物で非構造部材の損傷が著しく、多くの居住者が避難するに至った。加えて、通信やコンピュータが急速に発達した現代の高度情報化社会において、地震がもたらす被害、社会に与える影響は計り知れない。

現在の耐震設計では、地震エネルギーを十分吸収するために構造体をねばり強く変形できるようにする。そのため建物の層間変形が大きくなりがちである。層間変形が大きいと外壁や内装、非構造部材に損傷が発生する可能性が高くなり、地震後の継続使用を難しくする。耐震設計の基本は、できるだけ建物全体で均等に地震のエネルギーを吸収するためにはどうすれば良いかを追求することにある。ただ、計算どおりに損傷が分散すれば良いが、設計で考えていなかった要因で特定の層（階）に損傷が集中し、その層が崩壊するという事態もあり得る。阪神淡路大震災の際、このような被害は多く見られた。

免震の歴史

建物を地盤から免震（絶縁）する方法としては古くからいろいろな提案がなされてきている。文献の上で特に免震をうたったものは、1891年の河合浩蔵が提案した「地震ノ際大地震ヲ受ケザル構造」である。これは、振動に対して鋭敏な機器を収納する建物の構造に

ついて述べたものである。また、海外では1909年のイギリス人医師J. A. Calantarientsによる特許が最も古い。彼の特許は、構造体を滑石（雲母）の層を介して基礎から隔離するというものであった。関東大震災の翌年（1924年）には山下興家のバネ付き柱や鬼頭健三郎のボールベアリング装置等が提案されている。また、1928（昭和3）年以降、岡隆一は免震基礎（両端ピンの免震柱）を提案し、幾つかの建物に適用している。その後、昭和初年から約10年間にわたる、いわゆる柔剛論争があり、結果的には耐震工学の未成熟もあり、剛構造思想による設計法が法律に裏打ちされて主流となる。

振動理論と耐震設計が結びつき始めるのは、1960年代からである。1964年に高さ制限（31m）が撤廃され、1970年代には、コンピュータや構造解析手法の発達により、地震時の建物挙動をある程度推定することができるようになる。かくして、日本にも超高層建築（柔構造）の時代が到来した。動的解析手法の普及に伴う1981年新耐震設計法の施行により、一応の体系化が終了する。

免震構造を成立させる為に必要なアイソレータ（積層ゴム部材）の開発が1980年代から始まり、わが国初の積層ゴムを使った免震建物が八千代台免震住宅（千葉県八千代市）として1983年に完成した。積層ゴムの開発と超高層建築で養った解析技術により、免震建築の性能が認められ、現在では免震建築普及の時代に入っている。免震技術は戸建て住宅から超高層建築にまで採用されており、現在までに累積で約3000棟の実績があるものの、全建築数に比べればまだまだ少ない。特に、災害時の防災拠点となる学校・放送施設や病院、収容物の価値が高い美術館・博物館・コンピュータセンター、及び歴史的価値の高い建物などに積極的に適用されることが望まれる。

免震のしくみと性能

耐震構造では建物を地盤に固定するのに対し、免震構造は地盤から建物（上部構造という）を浮かせた状態にして守る発想である。建物と地盤を「絶縁」することで、地面の揺れが建物に直接伝達しないようにする。その結果、建物の揺れ方はゆっくりとなり、構造

体だけでなく家具や備品類の転倒・破損の心配もなくなる。

建物と地盤を絶縁するために、建物の基礎部分（免震層という）にアイソレータとダンパーを設置する。アイソレータは建物を支え、地震時には建物を水平方向にゆっくり移動（変位）させる。現在ではアイソレータとして最も信頼性が高く、経済的な「積層ゴム」が多く用いられている。ダンパーは車でいえばブレーキの役割であり、地震時の建物の揺れ幅を小さくしたり、強風時に建物が揺れるのを防ぐ。耐震構造が建物全体で地震のエネルギーを吸収しているのに対して、免震構造は免震層でほとんど全ての地震エネルギーを吸収するため、上部構造へ地震エネルギーは伝達されない。よって、上部構造に作用する地震力も非常に小さくなり、損傷も発生しないことになる。

アイソレータには積層ゴムの他にすべり支承や転がり支承といったものもある。ダンパーには鋼材や鉛の塑性変形を利用するタイプ、粘（弾）性体の粘性抵抗を利用するタイプなど様々なものが目的にあわせて、単独であるいは組み合わせて使用される。アイソレータやダンパーは工場で製造され性能も検証できるため、免震建物は高い精度でモデル化可能であり、地震時の応答を正確に予測できる明快な構造システムといえる。

免震建物の地震時性能は免震層（アイソレータ＋ダンパー）の設計に大きく依存している。アイソレータの水平剛性を小さくすればするほど、免震建物の周期が長くなり建物への地震入力は低減され、応答加速度（あるいは層せん断力）は非常に小さくなる。逆に、免震層の応答水平変形は増加する傾向にある。しかし、ダンパーの特性（減衰量）を適切に付与することで、応答加速度を低減し、かつ応答変位も適切な範囲内に納めることが可能となる。

免震構造の性能は地震観測でも確認されてきている。1995年兵庫県南部地震の時には大型の計算機センターで免震効果が確認された。基礎部分で約300galの入力に対して、上部構造では約1/3以下の応答となった。また、新潟県中越地震や福岡県西方沖地震の時には基礎部で500gal以上の加速度が観測されているが、上部構造の加速度応答は200～250galと入力加速度の1/2～1/4程度と大幅に低減されている。

免震の展開

免震構造は、居住者にとっては地震の恐怖感が軽減され、耐震構造より格段に高い安全性により地震から資産を守り、かつ経済的である。建築の設計者にとっては、地震力を考えないで、重力だけ考慮して自由に建築の設計に取り組むことを可能とし、新しいデザインや形態の追求を促される。

免震構造は地震時の建物の変形（ひずみ）が非常に小さく、ひび割れなどの発生も抑制される。大地震に遭遇しても建物の損傷がないので、補修や建て替えをする必要がない。すなわち免震建物は耐久性が高く（長寿命）、ライフサイクルコストを減少させ、地球環境にとっても優しい建築となる。

免震建物は単独で建設されることがほとんどであるが、都市の再開発などにあわせて、街区全体を免震人工地盤とすることで、街全体の耐震安全性を確保することが可能となる。免震地盤の上には様々な建物を構築することが可能であり、建て替えなども容易となる。また人工地盤の下の免震層は共同溝としてライフラインの敷設や駐車場として利用することができる。これからの都市再生にあたって、免震技術を有効活用することが大地震時の被害を低減し、地震災害に強いまちづくりを達成する有力な方法となる。ただ現在の免震技術は完璧とはいえない。より高い性能を目指した技術開発や3次元免震など、今後も性能の向上に対する努力が必要である。

免震は、地震力から建築を解放することで新しい建築デザインを可能とし、さらに地震被害をなくし、耐久性も高く、環境にやさしい建築をつくる近道である。

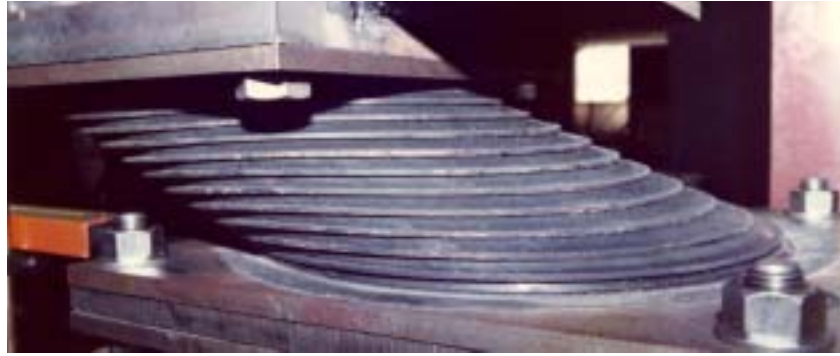


写真1 我が国初の実用的積層ゴム（1982年）
積層ゴムは薄い鉄板とゴムシートを積層した構造
写真は圧縮荷重をかけたままで水平方向に強制的に変形させた状態（福岡大学）

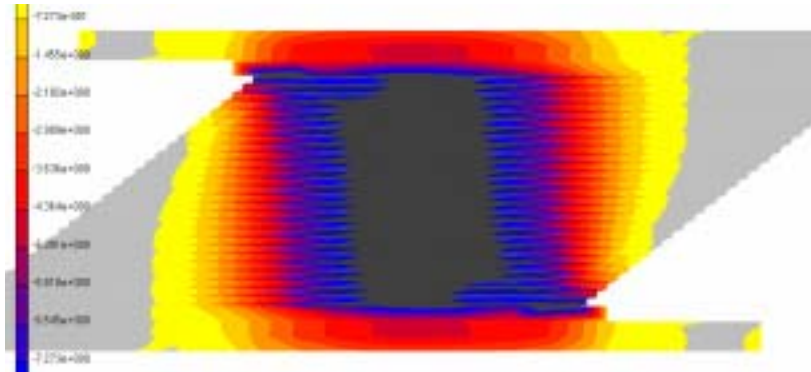


写真2 積層ゴムの内部応力度の分布
ゴムの挙動は液体に近いので、圧力（応力度分布）は中心部ほど高い。積層ゴムを圧縮で壊すとすれば、ゴムシートよりも鉄板の方が先に破断する。ゴムは鉄よりも強い！