

想定外の巨大地震を生き残る構造



豊橋技術科学大学 教授

齊藤 大樹

耐震技術は過去の地震災害を教訓に少しずつ進歩をしているが、その歩みは他の工業技術に比べると決して早いとはいえない。その中で、最近の免震・制振技術の進歩と普及の広がりには目を見張るものがある。三十年ほど前、私が東北大学の学生だったころ、仙台市青葉山に建つ東北大学工学部建設系研究棟の裏手に免震実証建屋が建設された。上部構造が同じ耐震建物と免震建物を並べて、地震動観測によって免震効果を明らかにしようという試みで、免震研究の草分け的な存在である和泉正哲先生のお仕事である。私は志賀マップで有名な志賀敏男先生の研究室だったので、壁の多い剛構造が正当な耐震構造で、免震構造はかなり先の夢の技術だと思っていた。その免震実証建屋は今も健在で、東日本大震災では貴重な観測記録が得られている。一方、志賀先生が構造設計をされた建設系研究棟は地震により大破し、取り壊されてしまった。1978年の宮城県沖地震と東日本大震災の二度の大地震を乗り越えたので、見事に役目を終えたとも言えるが、跡地に免震構造の研究棟が建設されたことを思うと、なにやら時代の流れを感じずにはいられない。

このようなことを書くと、免震構造を手放しで礼賛しているようだが、必ずしもそういう訳ではない。初期の免震建物は、新しい試みの常として、安全を考えて上部構造は通常の耐震設計がなされていた。つまり免震の上に耐震が乗っていた。そのため上部構造の応答は弾性範囲に収まり、それが優れた性能として認められて現在の設計水準になった経緯がある。建築基準法では、極めて稀な大地震において人命保護を最低限の目標としているので、上部構造を弾性範囲に収める免震構造の設計水準は、法律の主旨からは過剰な設計とも言える。事実、免震構造にするだけで、住宅性能表示制度の地震等級は3になり、地震保険料は割引になる。当然、建設コストも

耐震構造よりは割高になるので、高級品のイメージがぬぐえない。地震に対する安全にお金をかける意識と余裕のある人が免震構造を選択しているのが現状だろう。

免震構造が認知されたきっかけは、やはり震災で示した高い性能である。1995年の阪神淡路大震災では神戸に建つ2棟の免震建物が無被害だった。2007年の新潟県中越地震では、小千谷市にある総合病院本館が被災したものの、同じ敷地にあった免震構造の老人福祉施設が無傷で残り、入院患者を避難させることができた。東日本大震災では、津波で多くの犠牲者が出た中で、免震構造の石巻赤十字病院は機能を失わずに多くの命を救うことができた。震災後に建築研究所の調査団として宮城県と山形県の免震建物を調査したが、半数近くは病院施設で、いずれも震災当日から診療が可能であった。お会いした病院の関係者は口を揃えて免震構造にしてよかったと言っておられた。免震構造は高級品だが、少なくとも総合病院のような災害拠点施設は免震構造にしていくべきだと思う。一方、調査の結果、多くの免震装置が損傷したり、エキスパンションが破損したりする被害が見られた。これらは技術的に解決可能であり、免震構造の価値を損ねるものではない。

免震構造に比べると認知度はそれほど高くないが、制振構造とくにパッシブ型の制振ダンパーは確実に普及が進んでいる。免震構造が建物と地盤を直列につないでいるのに対して、制振ダンパーは例えばブレースとして建物と並列に配置されるので、ダンパーが効果を発揮するには建物もそれなりに変形しなければならない。そのため、弾性変形の大きな鉄骨造や木造建物の地震応答制御に適しているが、小さい変形でひび割れる鉄筋コンクリート造建物にはあまり向いていない。鉄骨造の超高層建物は、建物本体の固有周期が長く、減衰が小さいので、制振

ダンパーを組み込んで減衰を増やすことが理にかなっており、現在では制振ダンパーは標準装備になっている。また、長期荷重に対しては通常はダンパーが効かないものとして構造設計をするので、ダンパーがなくても構造的には十分に安全な建物になっている。制振ダンパーを付けるのは大地震に対する付加的な安全性を担保することが目的なので、その意味で、免震構造と同じく高級品である。

さて、少し旗色のよくない耐震構造にも目を向けてみよう。やはりその強みは経験に裏打ちされた技術と実績、そして経済性である。阪神淡路大震災では1981年以降の新耐震基準で設計された建物の倒壊はわずかであった。東日本大震災でも、揺れて倒壊した建物は新耐震以前のものに限定されていた。免震構造や制振構造が普及したとはいえ、世の中のほとんどの建物は耐震構造である。

もう一つ耐震構造の強みを挙げるとしたら、それは構造性能の多様性かもしれない。耐震構造には、木造のように柔らかく強度の低い構造から壁式RC造のように硬く強度の高い構造まで様々な性能の建物が存在している。こうした性能の多様性が、想定外の巨大地震から生き残るためには大切なような気がしている。少し話が飛躍するが、生物学では、遺伝的な多様性が乏しいクローン生物は、病虫害や異常気象などによる環境の変化によって一斉にダメージを受けて絶滅する危険性があるといわれている。仮に世の中の建物がすべて同じ構造になったら、平均的な性能が高くて、ばらつきが小さいために想定外の巨大地震で一斉に倒壊するかもしれない。ばかげた話だと思われそうなので、例を挙げよう。1988年にアルメニアで起きた地震では、人口7万人のスピタク市が壊滅的な被害を受け、2万人近い犠牲者が発生した。その原因は、共産主義の下に工場生産された同一規格のプレキャスト鉄筋コンクリート造集合住宅群の崩壊である。構造に多様性がないことが惨事を拡大したと言える。想定外の巨大地震に備える戦略として、構造性能の多様性や冗長性の確保は重要と思う。

東日本大震災では、津波被害、原子力発電所の事故など、想定外の被害が起きた。国は、次の巨大地震は南海トラフで発生するとして、地震の規模については想定外をなくそうと、マグニチュード9クラスの巨大地震を想定し、対策を検討している。その結果、私が住む豊橋市の推定震度マップは、一面、

震度7の赤色で覆われてしまった。ここまで大きいと、もう仕方がないという思考に陥ってしまう。これでは危機管理にならない。

耐震構造の水準は、過去の震災を教訓に決定論的に決められている。2000年に建築基準法が性能規定化されたときに、欧米にならって地震力を再現期間や超過確率で定義するかどうか建築研究所内で議論になったことがある。結局、「稀に発生する地震による力」と「極めて稀に発生する地震による力」というあいまいな表現に落ち着いたが、この背景には、確率よりも前例に従って決定論的に考える日本人的な心理が働いていたように思う。例えば、阪神淡路大震災をもたらした地震は、再現期間が1500年とされているので損失の確率的な期待値は小さい。しかし、一度の地震による損失があまりに大きいため、心理的に無視することができない。しかも前例があるということは、意思決定において大きな力を持つ。東日本大震災は想定外と言われるが、想定を阻んでいたのは、前例を過大に重視する（逆に前例のないものを軽視する）心理もあったのではないだろうか。

そう思うと、前例のない巨大地震に備えて一般の耐震構造の水準を強制的に上げることは難しい気がする。巨大地震の想定は、危機管理のためと割り切って、被害が起きた後の対処を中心に考えた方がよいのかもしれない。しかし、免震構造や制振構造（とくに超高層）は、もともと耐震構造に安全を上乗せする形で進化してきたので、巨大地震にも対処できる（生き残る）可能性がある。防災科学技術研究所のE-ディフェンス震動台では、巨大地震を想定した免震構造の擁壁衝突実験や超高層建物の倒壊実験が行われており、安全性にはかなりの余裕があることが分かっている。

豊橋市にも数は少ないが免震マンションがある。もし、震度7の激震が市街地を襲った場合、ほとんどの建物が被害を受ける中で、免震マンションが無傷で残ることが十分に予想される。その際には、免震マンションの存在は、地域住民が助け合う共助において重要な役割を担うことになるだろう。今、マンション住民に働きかけをしているが、免震マンションを核とした地震防災コミュニティの形成ができれば、免震構造のさらなる普及につながるのではと期待している。