

## 建築構造

## 京都大学 大学院工学研究科 建築学専攻

## どのような地震にも耐えられる 住まいを創り出すことをめざして 建築構造の在り方を追究

建物にまず求められることは、その中で暮らす人たちを守る強さだ。もっとも、必要以上の強さは、費用や時間がかかり、使い勝手も悪くなることがあるため、建築物の使用目的に応じた強さがあればいい。この強さ（強度）を与える仕組みのことを建築では構造という。

日本は地震をはじめ自然災害の多い国であり、古くから耐震性の高い建築構造の研究に力が注がれてきた。特に近年は、それぞれメカニズムが異なる免震構造と制振構造を組み合わせたハイブリッド構造が注目されている。

### 建築物に作用する 力の種類に応じて 建築物に最適な構造を考える

建築物に作用する力は、大きく分けて「長期荷重」と「短期荷重」の2種類があります。長期荷重は、重力によるもので、内部にいる人や家具等の重さ、および建物そのものの重さである自重です。これらは鉛直方向の力で、長期的かつ常時作用しており、あまり力の大きさが変わることはありません。

短期荷重は、地震や台風などから受ける力で、作用する時間は短期的ですが、力のかかり方は一定ではなく、力の強さも、力のかかる方向も複雑に変化します。

長期荷重に対応するためには、柱や、柱の上に横たえて屋根を支える梁、床などに、自重に耐える強度を持たせる必要があります。自重は最終的には地盤で支えますが、1～3階建ての低層建築物では多くの場合、地面に直接、基礎（建築物を安定させるための土台）の工事を行い、建築物をそれに固定する方法が用いられます。一方、高層建築物の場合は、硬い地盤で支

える必要があります。硬い地盤が地表近くまで達している場合には、地下階が硬い地盤に固定されますが、それが深い地盤では杭を打って支えます。

杭を打つには、敷地のボーリング調査（地中に細く深い穴を掘ること）をして硬い地盤までの深さを計測しますが、杭を打つすべての場所を調査するわけではありません。場合によっては硬い地盤まで届いていない杭も出てきます。そのため、長期荷重に関しては、杭打ちが最大のテーマといえます。近年は、杭の底面の面積を広げた、耐力の大きい「拡径杭」が注目されています。

なお、柱と柱の間隔が長いと、人が歩くだけで床や梁が揺れてしまいます。そうした振動を抑える技術も長期荷重対策として開発されています。

短期荷重をもたらす代表例は、地震や台風、暴風雨などです。日本は地震国ということもあり、短期荷重の対策は耐震設計が中心です。現在では、外部から作用した力によって建物に蓄えられるエネルギーの大きさを計算することにより、最適な強度を出すような構造設計が行われています。



竹脇出教授

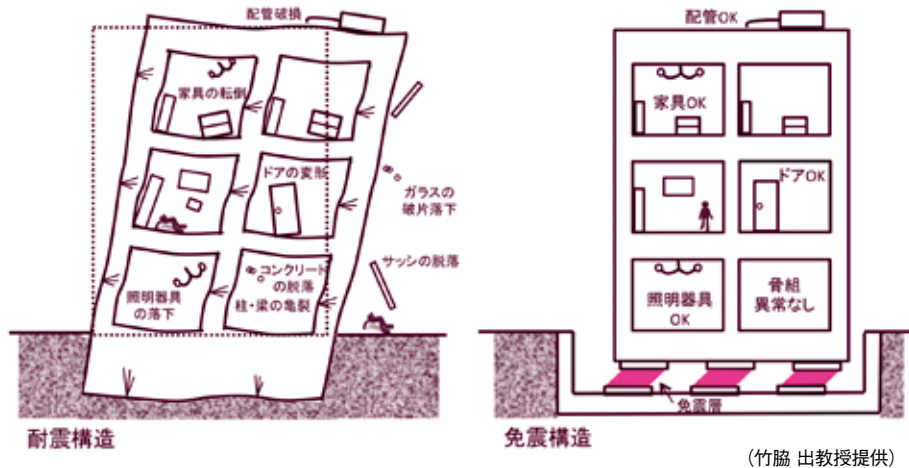
### 制振構造や免震構造に加え ハイブリッド構造に 注目が集まる

耐震構造の基本的な考え方は、地震の揺れに耐えられるように柱や梁、壁などの強度を高めるというのですが、最近では、制振構造と免震構造が普及してきました。

地震が起きたとき、高層建築物や大規模建築物で最も警戒しなければならないのは、周期が数秒以上のゆっくりとした長い揺れで、震源から遠い地域にまで伝わる長周期地震動です。建築物には揺れやすい周期（固有周期）があり、固有周期の長い超高層ビルはこのような長周期地震動と共振しやすいからです。長周期地震動に対して、超高層ビルは高さによって2～8秒の周期で大きく揺れます。ちなみに、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の際、大阪の超高層ビルの最上階では片側で最大1mの揺れが10分間程度続きました。

こうした揺れを軽減させるために、ばねやゴムなどを用いて衝撃を弱めたり、振動が伝わるのを止めたりするための装置であるダンパーを使って、地

<図>耐震・免震



震エネルギーを吸収する制振構造が開発されています。現在、ほとんどの超高層ビルの屋上には、TMD(Tuned Mass Damper) が設置されています。揺れが起ると、その反動または電気的な力を用いて、揺れとは反対側に重量物を動かし、建物全体の揺れを軽減させる装置です。東京スカイツリーでは、このようなTMDの装置の他に、中心を通る心棒とオイルダンパーで連結された制振構造を採用しています。心棒の周期は14秒、周囲の構造は10秒と周期差があるため、大地震の際の揺れを軽減することができるのです。

これに対して、免震構造では、地震の揺れを建物に伝えないようにすることを第一に考えます。現在では、建築物の基礎部分と建物との間に揺れが伝わりにくいゴム材料をはさんだ免震装置が実用化されています。

このように制振構造と免震構造は別々の考え方に基づいており、それぞれに得意不得意があります。制振構造では、ダンパーは地震が起きてすぐには効果を発揮しませんが、長周期地震動には効果があります。逆に、免震構造では、共振が起きて長周期地震動による大きな揺れが起こる可能性はあるものの、直下型地震のような短く強い揺れをよく吸収してくれます。

そのため、最近注目されているのが、両者のよいところをあわせた「ハイブリッド構造」です。例えば、建物の外側に頑丈なフレーム（アウトフレーム：パーキングタワーなど）を設置し、免震構造の建物とアウトフレームを連結ダンパーでつなぐような構造です。短い急激な揺れは免震装置で吸収し、長周期地震動は連結ダンパーで吸収するわけです。

このほか「建築構造」では、被害を

受けたとしても、柱や梁などの重要な部分が壊れないようにして復旧につなげる「レジリエンス（回復力・機能維持能力）」という考え方や、頑丈な構造を意味する「ロバスト性」、さらにはさまざまな工夫を加えた多重安定性という意味の「冗長性」などをキーワードとした、より安全性の高い建築構造をめざした研究開発が行われています。

最悪地震動を見極めることで  
想定外の揺れに  
対応可能な構造を模索

私の研究室では、アウトフレームを備えたハイブリッド構造の研究を行う一方で、構造設計を行うための基本的な理論構築や技術開発にも力を入れています。

例えば、一般の建物は揺れても元に戻る弾性の性質と、戻らなくなる塑性の性質がありますが、大きな揺れを経験して塑性化した後に建物がどう共振するかは、計算機で何万回も計算する必要がありました。そこで、私は地震動を波ではなく、衝撃力に置き替えることで、地震による揺れの大きさを手計算で求めることができる方法を開発しました。半世紀に渡る難問を解決したのです。近似的ではありますが、精度が非常に高いことが証明されています。これにより建築物の揺れを簡単に計算することができます。

最近、「最悪地震動」に関する研究に重点的に取り組んでいます。建物を構成する各部材の性質のばらつき具合や、地盤の揺れ方のばらつきなどを考え合わせた上で、その建物にとって最悪の地震動となる場合を特定しようという研究です。最悪のケースを解析することで、「想定外」の被害が出ないようにするための研究であり、南海トラフ地震の発生が予測されている今だからこそ、極めて緊急性の高い研究だと考えています。

最後に、建築学科を志望している高校生の皆さんに、ぜひ伝えたいことがあります。それは高校では、数学と物理はしっかり学んできてほしいということです。最先端の研究も、高校で習う数学や物理がベースだからです。建築設計・意匠分野に進む人にとっても、数学は重要です。著名な建築家のデザインはセンスの良さで語られますが、そうしたセンスを下支えしているのは緻密な数学的計算であることも多いのです。建築環境・設備分野に進みたいのであれば、化学もしっかり勉強しておくといいでしょう。また、歴史も大切です。技術開発の変遷をたどることで、建築の世界がより深く理解できるようになるからです。英語も、ものの見方や世界を広げてくれるコミュニケーションツールですから、しっかり身につけてきてください。

概説  
入試情報  
建築計画・意匠  
建築構造  
建築環境・設備  
教育  
コラム  
卒業後の進路