

免震構造と制振構造

東京工業大学教授建築物理研究センター長 和田 章

「はじめに」

女性の笑顔は美しい。すべての女性が常に美しい笑顔でいられるような社会を作りたい。健康にかかわるような本人の問題、家族の問題、社会の問題、国の問題から世界の問題まで、人々にとって辛いことは沢山あり、常に笑顔でいることは難しい。しかし、我々の専門である建築構造の安全性が損なわれることによって多くの人々を悲しませることはしたくない。海幸山幸の昔話を思い出すまでもなく、人間社会はそれぞれの人が得意なことに精を出すことによって役割分担され成り立っている。我々は建築構造の安全性にかかわる分野を受持っている。材料工学、構造力学、振動学、地震工学などの進歩を基本にして、人々の望みを叶えられるように努力しなければならない。

「建築構造の強さ」

建築基準法、同施行令、告示などによって、我が国に建てられる建築構造の最低基準としての強さは決められている。最低基準を強すぎるように決めれば、国民財産の使い方の自由を奪うと言われ、弱すぎるように決めれば大地震などによる災害が増えることになる。1981年に改正された耐震設計法は約20年間使われ、このたびの基準法改正においても耐震設計法の一つとして継続して使われることになった。建築構造にかかわる人々の間では共通認識になっていたことであるが、この基準の基本方針「稀に起こる地震動に対しては建物の機能維持と財産保全、極めて稀に起こる地震動に対しては人命保護のために建築構造の倒壊を防ぐとして、地震後の再利用は諦める」はこれからも最低基準の考え方として残るであろう。阪神地震の被害、台湾の集集地震、トルコのコジャエリ地震の被害を見て、建物の倒壊を防ぐことが最重要であることは揺るぎない。

「社会の望む建築構造」

この専門家のもつ共通認識は一般社会の共通認識にはなっていなかった。建築基準法を守って作られていれば建物は壊れないと思われていた。「大地震は毎年来るわけではなく、大地震が来る前に取り壊してしまうかもしれないから、大地震のときは人命を守ることが最低基準である」とゆっくり説明すれば、大地震で建物が壊れることを一般の人は分かってくれる。ただ、阪神地震の前にこの認識を伝えていなかったために、多くの人々を悲しませてしまった。

「新しい耐震構造」

耐震構造の最低基準は人命保護を目標に倒壊を防ぐことで良いとしても、財産価値を失わない、さらに建物の機能を維持できる耐震構造を作ることが社会から望まれている。現段階では、この答えは免震構造と制振構造である。上手な設計を行えば、これらの新しい耐震構造の初期建設費は従来の方法による構造に比べてそれほど高くはない。場合によっては安くすることもできる。国民財産の無駄使いと言われる心配はない。建物の使用期間中に大地震を受ける可能性とその被害を累計して総被害予測額を計算すれば、これらの新しい耐震構造の経済的優位性が高いことははっきりする。

免震構造の考えは百年前にあり、長い間異端児と言われ続け、最近まで特別な審査を受けなければ建設することができなかった。このたびの基準法改正に合わせて、免震構造に関する告示が遅まきながら出されたところである。

制振構造にはいろいろな方法があるが、極めて稀にくる地震動に対して対応できる技術は、建物の各層に履歴ダンパーまたは粘性ダンパーを組み込むパッシブ制振といわれる方法である。

コンピュータ制御によるセミアクティブ制御、アクティブ制御による制振構造も開発されているが、誤動作、停電などを考えるとこれらの新しい技術に耐震性を頼ることはできない。別の言いかたをすれば、柱・梁などの構造部材を軽減することはできない。これらに比べ、パッシブ制震が非常に有効で信頼性が高いことは、最近になって設計された高さ60mを超える建築物のほとんどに用いられていることでも明らかである。しかし、中低層建築への応用はこれからである。

「免震構造」

ニュージーランド、アメリカ、イタリアなどで免震構造の普及を推進している人達との会話の中で、大地震があったとき免震構造が倒れたというニュースは出したくない、と話したことがある。関東地震の後、鉄筋コンクリート構造が耐震性・耐火性に優れていることでその普及がはかられたものの、十勝沖地震の被害を受けてその信頼は大きくゆらいだ。鋼構造純ラーメン構造は大きな変形能力により、最も耐震的な構造であると信じられていたが、ノースリッジ地震、兵庫県南部地震でその信頼を失った。

免震構造の設計の基本は免震層に設けられた積層ゴム、ダンパーなどの免震部材に地震時の変形が集中すること、このときに生じる力によって上部構造および基礎構造が先に壊れないことである。積層ゴムは地震時に大きな水平変形を起こすが、その状態においても、上部構造の重量を安全に支持し続けることも重要な条件である。これらの基本が守られていれば、免震構造の安全性は、積層ゴムとダンパーの変形能力とエネルギー吸収能力によって決まることになる。

これらの免震部材を作るメーカーの努力、構造設計者の腕、施工会社の技術により、21世紀も続けて、我が国の免震構造はますます健全な普及・発展を続けると信じる。

「制震構造」

鉄筋コンクリート耐震壁の最大耐力発生時のせん断変形角は0.2%程度であり、せん断変形

がこれを越えると耐力は低下し始める。鉄骨筋違に生じる歪は幾何学的条件により層間変形角のおおよそ半分であり、構造用普通鋼材を用いた場合、層間変形角が1/400を越えると鋼材は塑性化し、圧縮筋違については座屈して耐力が低下する。このように耐震壁、筋違の最大耐力発揮時の変形角はラーメン構造の耐力発揮時の変形角に比べ非常に小さい。

これらの力学的性質は脆性的であるため、今まで強度指向型の耐震設計にしか用いられてこなかった。しかし、耐震壁の高い剛性と摩擦ダンパーの組み合わせ、鋼筋違の周りに座屈補剛管を設けることにより、圧縮降伏後も座屈しない筋違の開発等により、ラーメン構造と組み合わせた制振構造が容易に設計できるようになってきた。地震入力エネルギーはこれらの耐震部材に集中して分担され、柱・梁をほぼ弾性範囲内で設計することが可能になる。大地震後の財産保全も可能になる新しい考え方であり、21世紀には、低層建築から高層建築に至るまで、多くの建築にこの技術は応用されるはずである。

「おわりに」

2000年度の日本建築学会大会の中で開かれた応用力学関係のパネルディスカッションにおいて、五十嵐定義先生から貴重なコメントを戴いた。我々エンジニアは自動車、飛行機、橋梁、建築などを設計し作っているが、これらを支える技術・工学は、過去の事故、被害から多くのことを学んで進歩・発展している。我々の分野では、タコマナローズ橋の風による崩壊、砂地盤の液状化問題、鉄筋コンクリート柱のせん断破壊、杭基礎構造の破壊、鉄筋コンクリート構造による中層建築の特定層崩壊、鋼構造純ラーメン構造の柱梁接合部の破壊などが挙げられる。しかし、新しい取組みは、過去の経験の積み重ねだけでは進められない。正しい理論と、実験などをもとに行われる事前の深い考察により、より良い設計を行う必要がある。免震構造・制振構造についても同様であり、現段階でおごることなく研究を進め、あるべき姿を見極める必要がある。