

「免震構造は始めの選択」

東京工業大学 教授 和田 章



多田英之先生に誘われて免震構造に関わるようになったのは15年ほど前のことと思います。今でも大きな関心事の一つ新耐震設計法が纏められつつあった頃です。それまで0.2の震度を用いて許容応力度法によって設計されてきた一般の建物に対して、高層建築の設計で使われている地震応答解析を行うと、作用する地震力はかなり大きく、構造物の塑性化を真面目に取り入れなければ、耐震設計そのものがごまかしになってしまうことがはっきりしてきた頃です。

せん断形の簡単な振動応答解析のプログラムを用いて普通の建物の1階の下にもう一つのばね要素を入れ、そのばねに多田先生の言われる免震層としての数値を入れて、応答解析を行うと確かに上部構造への免震効果があることがはっきりしました。上部構造や建物の中の耐震性を高めるためには免震構造しかないと思い始めたわけです。

この30年間の間、新潟地震の経験による液状化問題、十勝沖地震を経験した柱のせん断破壊の防止、宮城県沖地震を経験して建物の高さ方向および平面的な剛性と耐力の滑らかな釣り合いの良い分布が重要であること、そして、先にも述べたように本格的な大地震に対しては、今の作られ方でできる建物は骨組そのものが壊れることを覚悟しなければ設計が成り立たないことをはっきりさせたことなど、多くの耐震工学上の進展がありました。新潟地震の年に大学に入学しそれから30年以上が過ぎ多くのことを学んだように思います。この度の兵庫県南部地震を受けてさらに改良すべき点や、今までの考えをさらに徹底しなければならない点もあるでしょうが、先達の引いた大きな方向は正しかったように感じます。ただ、実際に震度7を受けてみると、それが1000年に一度だから諦めろと言われても、やはりその後の生活や建物の財産価値を考え、建物は壊れないほうがよいと思う人が多くなっているのも理解できます。

建築基準法でうたわれているように頻度の非常に少ない大地震に対しては人命の安全は確保するとして建物そのものは壊れて再利用できなくてもよいという考え方を前提に、耐震工学の研究が行われ、材料強度の

向上や構造技術の進歩はすべて経済性の追求に捧げてしまうという必要はないように思います。これらの技術の進歩を耐震性の向上のために使うことも考えなければ、耐震工学の研究をしているとはいえません。全ての技術開発の成果を建物そのものが壊れないことに注ぎ込んだとしても、一方で常識となっているように、大地震の際に建物内部に生じる加速度は1Gを越え、室内はかなりひどい状況になることは防げません。これらも含めて、免震構造の研究とその実用化は、耐震工学の研究の大きな成果と言えると思います。

兵庫県南部地震の地震災害で建築構造を支える杭の被害が多く報告されています。細かい一つ一つの被害に基づいた調査や研究が重要ですが、今までの報告によると、杭に大きな被害がある場合、上部構造の被害が非常に少なくなることが言われています。結果的に杭構造が免震装置の役目をしたと言っている人もいます。しかし、被害を受けた杭は鉛直支持能力が低下し、建物を支えられなくなり、建物が傾いてしまうことになっています。その結果、杭の被害は建物内の人命は救いますが、災害後の復旧に多くの労力と費用が必要になることが問題となります。

地震時に上部構造より先に大きく変形し鉛直荷重の支持能力も失わないような杭が開発できれば良いことになります。ただ、目を大きく開いてみると、これこそ免震構造ということが出来ます。建物の高さ方向の剛性や強度の分布について、ある1層だけ他の層より圧倒的に小さく作っておくとそこに大きく変形が集中し、他の層の損傷はほとんど無くなると言われてきました。これらの杭の被害によりこの現象が実証されたこととなります。要するに免震構造の原理が証明されたこととなります。積層ゴムを用いた免震構造や滑りの仕組みを用いた免震構造では、免震部材の鉛直支持能力は数十cmの水平変形を生じて失わないことが保証されていますから、杭の被害のように地震後建物が傾いてしまうような心配はありません。

免震の話は具体化しようとするコストの問題が出来ます。良いものだから高くてよいという方、上手に設計すれば高くなることはないと言う方がいらっし

やいますが、建物の大きさがある程度の規模を越えると、免震構造のインシヤルコストを基礎固定の建物より安くすることもできるそうです。たとえ若干高くなってしまったとしても、持っている耐震性が両者の間で圧倒的に異なり、中小地震、大地震の後の機能保持、建物の再建コストを考えたら免震構造が割高であるということにはなりません。

建築学会の免震構造設計指針に書かれているように、免震構造の上部構造は免震層を通り過ぎて上がってくる小さな水平加速度に対して強度で抵抗すればよいこととなります。そのため、一般の建築構造の設計で苦勞している骨組の変形能力確保のための条件に、あまり神経を尖らせる必要がなくなります。例えば、鉄筋コンクリート構造の場合、部材のせん断耐力は曲げ降伏耐力を上回ること、耐震壁に多くの水平力を分担させると大きな耐力が建物全体にも必要になること、柱のせん断破壊を防止するために腰壁にスリットを切ることなどが要求されています。これらは免震構造では必要なくなります。鉄骨構造の場合では、鋼部材の幅厚比を弾性設計用の値まで自由に使えること、筋違の設計において地震時に生じる力より強い部材を用いれば、座屈で最終耐力が決まるような部材も使えること、筋違の分担率の大きな構造は建物全体にも大きな水平耐力が要求されていますが、免震構造では必要な強度を満たせば筋違の分担率と関係なく、自由に設計できることとなります。これらの変形能力確保のための条件は基礎固定の建物の設計では重要なことですが、免震構造ではある程度忘れても構わないこととなります。これらによるコストダウンを上手に取り入れれば、インシヤルコストそのものを基礎固定の建物より安くすることも可能と思います。最も靱性があるとされる鋼構造の骨組でも、建物全体に必要な水平耐力は建物重量の25%以上です。免震構造では靱性の必要のない強度型設計を用いることができ、その必要耐力は建物重量の12%から大きくても18%程度で良いこととなります。強度型の設計で靱性型の設計より小さな強度で構わないことは、上部構造の設計が如何に簡単なるかということを知りたいと思います。

米国の耐震基準書であるUBCには免震構造の設計の項が既に設けられています。我が国では、基準法には定義されていない特殊な構造として扱われており、一つ一つ特別な申請を行い、建設許可を取らなければならないことになっています。専門外のことなので、基準法施行令に取り込んで戴くのがよいかどうか、どのような形が望ましいのか分かりませんが、日本全国で免震構造を建てたい人達が抵抗なくその採用に踏み切れるような仕組みを作って戴けると良いと思います。そして建築家や構造家の方々には一つ一つのプロジェクトについて免震構造の採用を考えてから、RC造、SRC造、S造などの構造形式の検討に入って戴けるようお願いしたいと思います。

(日本免震構造協会技術委員会委員長)