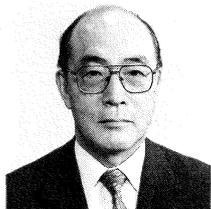


「免震構造に対する感激と危惧」

東京大学名誉教授 青山 博之



長年鉄筋コンクリート建物を中心に耐震設計の研究や教育に携わってきた私ですが、免震構造に出会ったとき、「これこそ本当の耐震設計を実現する道だ」という感激と、「こんなに明快に割切ってしまうて良いのだろうか」という危惧と、お互いに矛盾する二つの感情を抱いたものです。このことはかつて建築雑誌に書いたことがあります¹⁾が、それ以後幾多の免震構造の設計や実物を拝見しているものの、私の矛盾する感情は基本的に変っていないので、ここに書かせて頂き、協会会員の皆様の御叱正を賜りたいと思います。

「これぞ真の耐震設計への道」

免震構造とは建物と地盤の間を絶縁して、地震動を建物に伝えない構造だ、などと思っている人は、免震の専門家には一人も居ますまい。阪神大震災以来高まっている免震建築ブームの中で、一般の人には上記のように考えている人が少なからずあり、このギャップが免震建築の普及にブレーキをかけなければ良いが、と私は心配しておりますが、今回はそれには触れないことにします。免震構造とは周知のように建物の基部に建物本体とは独立の任意の復元力特性を持った支持層を付け加えて、設計上望ましい地震応答をさせようとするものであり、一般には上部構造の応答加速度(従って層せん断力や層間変形も)が小さくなるように支持層の剛性、強度、減衰性を決めるわけです。この決め方が構造設計者にまかされているところが「これこそ本当の耐震設計を実現する道だ」と私を感激させた所以です。

というのは、古来耐震設計の理念は強さと粘りであるといわれて来ましたが、現実の耐震規定としては、第二次世界大戦前の市街地建築物法はもとより、戦後の建築基準法の時代になっても、設計震度と許容応力度で強さの方は定量的にカバーしていましたが、粘りの方は各種の構造規定で定性的にカバーするだけでした。昭和56年以後の耐震二次設計のルート3の導入で、はじめて建築法規の上で強さと粘りが定量的に関係付けられたのです。

しかしそのルート3の保有水平耐力の検討は、耐震

一次設計で既に一応設計が終わって形の決まった構造物について、チェックをする形をとっています。設計というよりは既存建物の耐震診断をしているのに近く、設計者が望ましい地震応答をする構造物を創造するのだという積極性が感じられません。

この面で、日本建築学会の終局強度型耐震設計指針はより積極的に、望ましい崩壊形と望ましい強度や変形性能を持った構造物を創造しようという態度を示しており、耐震設計として好ましいと思います。しかしそれでも構造物の剛性や減衰性までを設計者がいじる余地はありません。

今の耐震設計というのは、構造計画段階で、多くは意匠設計者によって決められた柱、壁、梁の配置をもとにして、若干の部材寸法の変更と配筋の決定だけが構造設計者の自由裁量に任されている、といったものです。建物の地震時の揺れ方はそれによって左右されますが、その影響は間接的で、構造設計者には地震時挙動を制御しているのだという自覚は全く無いでしょう。

免震構造が出て来て、はじめて地震応答を構造設計者が直接制御できるようになりました。しかも、通常は地下に置かれる免震層という構造屋の聖域の中でやるのですから、意匠屋との相関はほとんどありません。上部構造の設計は依然として必要ですが、その要求水準は普通の建物よりもずっと低いものですから、意匠上の多少の無理も聞いてあげられる。つまりは意匠と構造との分業がある程度実現でき、しかも地震時挙動が従来より明快な建物が設計できる訳です。構造屋の意図を直接反映した耐震設計ができる、と喜んだのはそういう事だったのです。

「地震鯨の神様に 腹の底まで見透かされ」

免震構造が実現するまでには諸先輩の大変な努力がありました。ハードとソフトの両面からそれを支えたのが、積層ゴムと各種ダンパーの開発と、動的耐震設計のツールとしての地震応答解析技術の発達でした。このうち後者は、実は高層建築の設計技術の直輸入でありました。日本建築センターの評定のお手伝いをす

るようになって、免震の動的解析は高層に比べてあまりにも論理が単純すぎないか、「こんなに明快に割切ってしまうて良いのだろうか」という危惧を感じはじめたのです。

地震工学の発達で将来おこる地震の姿はかなり判ってきましたが、その波形までは判りません。地震応答解析では今だにエルセントロとかタフトとかの既往の記録波が中心で、センター波などの模擬波が補間的に使われています。そういう地震波が将来本当に来ると思っている訳ではないのですが、こうした波で大丈夫なら将来の未知の地震波に対してもおそらく大丈夫だろうという工学的判断をしている、それが今日の地震応答解析なのです。

そうした地震応答解析を免震構造にも持ちこんでいる訳ですが、問題は地震応答解析そのものよりも、結果を判定するクライテリアの方にあるのです。高層建築の場合、通常は層塑性率、部材塑性率、層間変形角などでクライテリアを示しますが、多くの場合層間変形角で設計が決まっているようです。しかし例えばレベル2の地震波に対して層間変形角 $1/100$ 以下という場合、その $1/100$ という値は越すに越されぬ絶対的な閾値、それを越したら建物がガラガラと崩壊してしまうような値(あるいはそれを既知の安全率で除した値)では決してありません。それは設計上の約束事のひとつに過ぎないのです。対する応答値の方も解析値の前後に大きくばらつくでしょう。それでもよしとしている裏には、現在の高層建築が $1/100$ より先に相当大きな安全余裕を潜在させており、たとえ地震応答が多少大きくなっても大丈夫という安心感があるからだと思います。多少大きくなっても、というその「多少」がどの位なのか、人によって受取りかたが違うでしょうし、解析的に確認しようにも変形が大きくなった範囲では通常解析で無視している幾何学的非線形(P- δ 効果など)、三次元効果(上下動、x-y相関、曲げ軸力相関など)、材料非線形の特異現象(歪硬化、塑性座屈、脆性破壊など)といったもろもろの魑魅魍魎が顔を出しますから、一筋縄で行くものではありません。つまりは地震応答解析というのは今のところ全く不完全な技術

なのです。私には、50カインで100何分の1とか騒いでいる構造屋を見た地震鯨の神様が、「そんなことで地震が解ったと思いなさんなよ。私の実力は例えばこんな位」とか言って一寸体をゆさぶって見せたのが、兵庫県南部地震だったような気がしているのです。

そういう眼で免震構造を見ると、あまりにも透明で判りすぎるような気がするのです。免震層にはアイソレーターとダンパー以外の何物も無く、それらの変形限界は実験で確認され、応答の限界はその $1/2$ とかいう風に安全余裕がはっきり数値化されています。いわば地震鯨の神様に腹の底まで見透かされた構造になっています。それで良いのかなというのが私の抱いた危惧なのです。それとも、たとえ免震層が壊れて建物が着地しても、まだその先があるではないか、というあたりが免震設計者の本音なのでしょうか。

- 1) 青山博之、「論点：免震構造と柔剛論争」
建築雑誌Vol.103, No.1279, pp.11-14, 1988年11月.