

免震構造雑感



東北大学 名誉教授 杉村建築基礎研究室

杉村義広

免震構造と聞けば直ちに思い浮かぶキーワードは design である。横文字としたのは、片仮名の「デザイン」では意匠術だけを示すとの受け取られ方が定着してしまったかの現状にあるので、構造なども含む建築全体として本来の構想、計画、工夫を指すイメージとして言及したかったからである。事実、免震構造は伝統的な耐震構造とは対極的に位置づけられる特殊性を持っており、それが design を強く意識させる。建物が地盤と絶縁していれば地震動の影響は受けず、したがって上部構造には力も変位も伝わらないという単純明快な発想から生まれて来た工法であるからである。ただ、この理解は筆者の独自の着想ではなく、この種のテーマでは最初に論文を書かれた和泉正哲博士が最終講義の際であったと思うが、その意味のことを述べられていたのを筆者なりに咀嚼した結果である。

しかし、建物が地球上に建てられるものである限り、地盤との絶縁を実現することは不可能である。重力の影響を受けるからである。このことは地球上のすべてのものの宿命であって、「免震」を考えるときにも、地盤とはあたかも繋がっていないかのような工法を模索することが重要な課題となる。ややメカニズム的に言うならば、重力を対象とする鉛直方向には支持力を確保するために必要な面積分だけは地盤と密着して力を伝達しているが、水平方向が主要な問題であると経験的に知られている(実際には3次元的動きである)地震動に対しては、あたかも地盤とは繋がっていないかのような緩衝効果のある工法を工夫することになる。このような方法の一つとして、積層ゴムによる免震装置が開発され、1995年の兵庫県南部地震以来、急にその効果が叫ばれるようになったこともあって、今日では免震と言えはこの工法を呼ぶという状況になっており、減衰効果のある高減衰ゴムなどへの改良開発が盛んになっていることも周知のとおりである。

免震の定義として、最近では「固有周期を伸ばすことによって地震動の卓越周期との共振を避け、振動を軽減すること」といった意味の説明に出会う機会がある。ただ、これは建築基準法で義務づけられているせいか、詳細な解析を行った結果に引きずられた説明であるという印象が拭いきれない。免震装置に支えられた建物は装置の特性が支配的な振動性状を示すのは事実であり、耐震構造の場合と同規模の建物よりは格段に長い固有周期となり、揺れの度合いも目だって減少すること、言い換えれば、上部構造自体の変形は小さく、あたかも剛体であるかのようにゆっくりと揺れる、あるいは揺れを感じないかの如くなることはよく知られている。しかし、この説明は解析した結果や地震時に実際に経験した結果であって、免震構造の実体はよく表してはいるが、もともとの発想や目的に関わる定義とは別のものと言わざるを得ない。

すでに20年以上も前になるのだろうか、建築学会の免震構造に関する委員会の席で同様の議論がなされていたことが思いだされる。委員長の多田英之博士が釈然としない顔をして周期を伸ばすことが免震の目的ではないと、しきりに主張されていたことが鮮明に浮かぶからである。やはり免震の本質は字義のとおりと理解しておくことが肝要であると思う。

当協会の設立趣意には「免震構造は、地震動からくる破壊的な力を免震部材により柔らかく受け止め軽減させることで、幅広い耐震設計を可能にさせるもの」とある(傍点筆者)。ここで、最初の傍点個所はやや違和感のある表現ということだけを指摘して、それ以上は触れないことにするが、2番目の個所が少し気になるのである。「柔らかく受け止め」が「周期を伸ばすこと」に対応した内容を示すものではないことを望みたいと思う。

繰り返しになるが「周期を伸ばす」云々の限定的な言い方よりは「地震をまぬかれる」、転じて「地盤と離す」、これは厳密には無理なので「あたかも地盤と繋がっていない」（英語ではisolationでよいと思う）の素朴な定義としておいた方が今後の発展のためには妥当なのではないかと強く思う。実際、筆者が専門としている基礎構造の分野では「杭頭免震」、「基礎絶縁」などを唱える開発研究が現れだしている状況にあるし、またfloating foundation（浮き基礎）といった工法は昔からあって、掘削除去した土の重量分だけは何をしなくても置き換えられるという考えであるが、地下室の底部や外壁まわりに水か何かの緩衝材を挟めば地震時には船のような状況を実現できるのではないかとといったアイデアはいろいろ出て来る可能性があるので、将来実用化された暁には、あるいはアイデアの段階においてさえ、これらも免震構造の一種として受け入れるおおらかさがあるのではないかと？

固有周期という言葉が出たので、余談として五重塔についても少し触れておきたい。1/5模型試験体の2回にわたる振動実験に合わせて開かれたパネルディスカッションでの話題が思い浮かぶからである。あるパネリストの台風だったか強風が吹いているときに五重塔の揺れを観察した話の内容である。それによれば、各重（各層）が好き勝手ばらばらに揺れていたというのである。筆者は、もっと細かく各部位あるいは各部材がばらばらに振動していたのではないかと想像しながら聞いていた。斗拱に象徴されるように、各部材が結合されているのかいないのか微妙な繋がり方をしている骨組みが五重塔であるという漠たる感想を持ちながら聞いていたからである。地震の場合は、風よりも振動性状に規則性が多いようにも思えるが、それでも多様なモードで揺れるのではないかと、さらに、五重塔では固有周期や固有モードは有効な概念となり得るのか、などとまで想像していたわけである。

最近では、五重塔の振動実験が行われ、1次、2次、3次…の固有周期と固有モードはこれこれであったなどを報告している論文が散見されるようになっていく。筆者は、それらが有効な情報であると思いつつも、一方ではある種の不安を感じている。測定を行った位置でのデータのみが吟味された結果であって、測定しなかった位置での情報が漏れている（見落

とされている）のではないかと気がしてならないからである。もし、もっと多くの位置で測定をしたら、さらに多くのピークが見出され、固有周期は数えきれないほどあってどれが重要なものなのか分からなくなってしまうということにならないか、という不安である。結局、固有周期や固有モードの概念は、部材同士が堅結されている通常の建物（耐震構造）の場合にはそれと同様に扱えるのかを慎重に考える必要があるのではないかと？

模型振動実験では、神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震の記録を再現した五重塔の揺れ方を見ることができたが、模型の底部が振動台に固定されていた影響か初重（最下階はこう呼ぶのが正しいらしい）はあまり揺れず、二重以上が目立って大きく揺れることが観察された。主要動の部分では建物全体として大きく揺れる形、したがって設計的に重要なモードは確かにありそうとは思えたが、それ以上に各重の軒先が上下動を含む複雑でばらばらな振動をしているようにも感じられたため、固有モードと呼ばれるものがあつたとしても多すぎるくらいに存在するのではないかと強く印象づけられていたのである。

今日では長周期地震動の存在が声高に指摘されるようになってきているので、単に周期を伸ばすという考えだけでは不足で、建物と地盤の縁を切るような繋げ方、あるいは部材同士の場合も含めてそれぞれが繋がっているのかいないのか微妙であるような接合の仕方をしている構造を考え出すことが、今後ますます重要になるような気がしてならない。

注) 2回にわたる模型振動実験とシンポジウムは「五重塔を揺らす」と題されて、2004年12月と2006年4月に行われている。特に第2回目は164ページの立派な資料が発行されているので、ホームページの宛先とともに示す。

特定非営利活動法人木の建築フォーラム「五重塔を揺らす会」編：五重塔5分の1模型振動実験及びシンポジウム、五重塔を揺らす-2006、2006.4
<http://www.forum.or.jp>