

## 新しい構造技術への展開

京都大学名誉教授 小堀 鐸二

Professor Emeritus of Kyoto University  
Takuji Kobori



### はじめに

社会経済状況のめまぐるしい変化に伴い、絶えず地球環境問題への対応を示しつつ、いかに電力の安定供給を確保するかといった課題は、このエネルギー資源の乏しい我が国にあっては絶えざる重要な問題であろう。しかも電力の安定供給のみならず、その高品質化、需要の平準化といったニーズは、日常的にはもちろん大地震などの非常事態においても応えなければならないものであろう。電力に限らず今まではどちらかというところの日常的な対応に比して、非常時の危機管理対応の密度が相対的には低かったが、2年前の阪神大震災にみられるように、建物はどうやら無事であっても、内蔵された重要な機能、とくに情報処理システムなどが打撃を受け、また昇降機に人間が閉じ込められたり、かなり広域にしかも長時間停電となったために、重要な医療関係の施設が停滞を余儀なくされたケースなども大変多く見受けられた。

このような状況を見ると、対地震技術のスタンスは個から集合へ、ハードからソフトへと広がるトータルとしての被害低減をめざす方向が求められている。今までは個々の構造物の安全性に関する諸問題への個別の対応努力が積み重ねられてきたが、今や全体のシステムとして、しかも日常のオペレーションの上だけでなく、災害時に生じる直接的障害への対応の他、復旧のための効率までを反映したいわば一連のシーケンスを想定した上での“重要度”に応じたシステムの構築、トータルバランスのとれた技術的戦略が練られなくてはならない。

こうした観点に立つならば、大地震に対し損傷をできるだけ少なくするといった構造安全性のみを狙いとするのではなく、大地震でもできるだけ揺れを少なくし、個々の重要な関連諸施設の機能を維持するといった新しい高度なスタンスが求められる時代を迎えている。これこそが筆者がここ10数年来、敢えて声高に主張し続けている「制震構造」の基本的な目標に他ならない。

### 制震構造とはどんな技術か

地震の破壊力から建物を守る手段としての、「耐震構造」は、地震動に対して、耐震壁や筋かい等により、建物の変形をできるだけ小さくしようとする剛構造の考え方がそもそもの出発点であり、しなやかに揺れながら耐える、すなわち硬質な地盤であれば超高層ビルのように揺れながらも、あまり大きな破壊力が生じない柔構造に発展してきた。一般の建物にあっては、いくたびかの震災によって強さばかりでなく変形(粘り)に関する配慮が加味されて、1981年には新耐震設計法が最新の建築基準法として施行され、阪神大震災でもほぼその安全性は確保された。

耐震構造に対比する考え方として、究極的には地震動のエネルギー伝達経路を遮断しようとする考え方は、誰しもが抱く願望として昭和初期に生まれているが、免震構造という名の理想概念にとどまり実用化に到らなかった。それが近年、米国を始めとする諸外国で開発された、積層ゴムなどに代表されるこれらの装置が輸入され、阪神大震災の際、わずか2棟とは言え安全を示したために、俄かにクローズアップされてブーノを呼んでいるが、元来、この支持構造は、いわばパッシブ制震のカテゴリーに属し、一定の固有周期をもたざるを得ないために、地盤条件によっては地震波との共振の可能性を蔵しており必ずしも万能とは言えない。設計適用に当たっては十分な検討を必要とする。

地震動の研究が進んできたとはいえ、建築物への入力地震波について具体的な予測ができない以上は、受け手の建築物の側でその応答(揺れ方)をコントロールして、建築物の安全を図る手段を磨くより他に方策はないのである。

そもそものは1950年代の構造物の非線形振動に関する研究を通じて、構造物の復元力特性の非線形化に伴うエネルギー吸収と固有周期の時間的变化が、地震応答の抑制に寄与するという原理的な知見を得たが、この知見にもとづいて、「構造性能可変型」か、あるいは「制御力付加型」の装置または機構の適用によって、建物の揺

れをアクティブに制御しようと意図する構造概念が「制震構造」の原点なのである。

1950年代の後半に、我が国に始めて原子力発電所が導入されるに当たって地震対策を検討した際、対象とする機器系のサポートに非線形性、減衰性を効果的に付与する具体的な構法を示すなど、このような非定常非共振系の考え方の実現化を目指したこともある。

しかし、当時の周辺技術（材料、コンピュータ技術、制御技術）が未熟であったため、その実現ばかりでなく継続的研究も困難であった。最近になって先端技術の急速な発展を背景に、実用化を目指した研究があらためて実施できるようになり、今や実際の構築物への適用の段階に進展してきた。

この技術の実現は、従来の耐震構造の限界であった、大地震時に建築物の一部にかなりの損傷が生じて、人命の安全確保のために倒壊には至らないようにするというレベルを超えて、不快感や恐怖感を与えるような揺れをも抑えることによって、居住性の高い生活空間の確保は無論のこと、収納する重要な高度情報システムを地震時にもまた地震後にも完全に保全しようとする社会的な要請にも応えるものなのである。

こうしたアクティブな制御の技術は米国でも研究されていたが、筆者が率先してその重要性を指摘し、世界で始めてアクティブな制震ビルを1989年に完成させた。その後も色々なタイプの装置を開発し、それらは実際に適用されているが、既に幾度か強い地震や強風に見舞われて期待通りの性能を発揮しているので、この高度な制震構造の研究の推進、技術の普及の重要性がより一層望まれる趨勢にある。

### 電力設備と制震構造

制震構造は、パッシブ型、アクティブ型、およびハイブリッド型に大きく3種類に分類されるが、技術的には、大地震時を想定して、前述のような全面的にアクティブ型システム（“制御力付加型”のものと“構造性能可変型”）のみでこれに対応するのではなく、技術の成熟度、構造骨組の形態、経済性の面からパッシブ型の減衰装置（ダイナミックダンパ、オイルダンパ、弾塑性ダンパなど、エネルギー吸収機構としての各種ダンパ類）と効率の良いアクティブ制震装置を組み合わせるなどのハイブリッド型の工夫がなされる段階にある。

また、適用先からいうと、この技術のねらいから言っても重要機能施設への優先的な適用が望まれる。たとえば、原子力・火力発電施設のような厳しい安全性

を図る上で地震時の共振状態を特に避けたい中枢部分にはアクティブな「制震構造」とするが、そのシェルターとしての支持構造物には、たとえば免震支持を施して内包する中枢部分への入力周波数帯を狭帯域に限定することによって中枢部分の「制震」を単純化したり、また火力施設にはジョイントダンパなど比較的簡便に適用可能なパッシブ型制震構造をも併用するいわゆるハイブリッド方式などの利用が有効であるが、詳細は紙数の都合で割愛する。

### おわりに

こうした新しい構造技術としての制震構造に対する関心は国際的にも急激な高まりをみせ、1994年には既に第1回の国際会議がロサンゼルスで開催されている。又、ほぼ同時に「国際構造制御学会」も設立され、筆者は昨年6月からその会長職をまかせられた。来年1998年には日本で第2回国際会議が開催される予定になっている。

制震構造は、まだ一部の免震構造を含むパッシブ構造を除いて普及段階にあるとは言えない。阪神大震災後、地震に対する構造物の安全性を構造性能別にランク分けしようとの気運が生まれているようだが、より高度な性能をどうして達成するかについての具体的な提案はみられない。筆者は多かれ少なかれここに記述してきたような制震構造技術の適用なくして、そうした高度な安全性は達成されないし、性能別の対応技術も具体化できず、更には、トータルバランスのとれた技術戦略も生まれないであろうと考えている。



制震装置を組込んだJAL本社ビル