

空間構造と免震

日本大学教授 齋藤公男



人間の歴史とは技術の歴史でもある、という見方からすれば、「建築の歴史は構造技術の歴史でもある」ということができよう。いつの時代にあっても、その時代に見出された新しい材料や架構システムの考案が、かつてない未知の空間や建築形態を生み出してきた。そのことは、数千年を越える建築様式を‘空間と構造’の尺度で計ってみると、誰の目にも明らかである。

とはいえ、ひとつの革新の技術がこの世に実現されるにはアイデアの新奇さはともかく、その技術を受け入れる社会的あるいは機能的ニーズの高まりが必要であり、周辺技術のポテンシャルも前提となる。たとえば、クリスタル・パレス（1851）の衝撃的な出現とJ.パクストンのサクセス・ストーリーを思い描く時、激しく変貌しつつある当時の社会的背景を忘れることはできない。そしてここで結実した実験的試みが続く“鉄の時代”の起点となったのみならず、今日に流れる建築思潮や構造技術の根幹を成したことの意義は大きい。普遍的技術の好例といえよう。その意味で、免震や制震の最近の急速な普及と発展もまた、今日の社会的ニーズを背景としたものであり、時代を画する普遍的技術の一つとしてとらえることができる。ただしクリスタル・パレスと異なる点はひとつ。免震技術の発想や実現が一人の個人ではなく、多くの時間（歴史的系譜）と多様な技術（素材や理論）に支えられていることである。

ところで、人類が求め続けてきた建築空間の歩みを振り返ると、そこには2つの流れがある。ひとつは広く大きな単一の無柱空間であり、いまひとつは縦に空間を積層する重層空間である。前者

がパンテオンに代表される“集いの空間”であり、数千年の歴史をもつものに対し、後者は“職・住の空間”であり、20世紀になって本格的に発展したものである。いうまでもなく大スパン構造の支配的荷重は自重であり、時として積雪荷重や風（吹上げ）荷重といった鉛直荷重が重要な設計条件となる。空間構造のもつ形態抵抗の特質はこの支配荷重に対して発揮される訳であるが、境界構造のあり方、特に水平スラストの処理と支点反力の保持は重要な設計課題となってくる。たとえば、ハギヤ・ソフィアの地震による度重なる崩壊と修復の歴史はドーム建築の耐震性能という極めて重要な課題を常に我々に投げかけてきた、といえる。同様に、北九州に石橋群を築いた石工棟梁による地震との闘いもある。たとえば通潤橋（1854）にみる鞘石垣の重厚かつ流麗な造形は、我が国に固有な耐震デザインとしてローマのアーチ橋にも優る迫力である。

こうした変わらぬ命題の一方で、石と木、鉄から鋼へ、さらに膜やガラスといった素材の変遷を見ながら、大スパン構造の技術とデザインは進化し続け、今日に至っている。

とりわけ空間構造と呼ばれる多様な無柱空間のデザインにおいては屋根構造自体のシステムの追求と共に、その支持構造のあり方が構造計画上の重要な課題となってきた。すなわち、単に上部構造と柱や基礎といった下部構造の関係だけではなく、両者を接合する方法すなわち第3の中間構造のあり方が問題とされる。空間構造に特有な建築全体にわたる構造形態、構造システム、工法あるいは経済性や安全性に関わるキーポイントがここ

にある。

ここで、屋根構造における支持形式を地震力の抵抗といった観点から概観してみる。まず最も単純なものは両端ピンであるが、愛媛県民館（1954）の様に自重時はローラーとし、その後固定とする例もある。次に橋梁や立体トラス屋根版にみられる単純支持方式である。すなわち温度変化に対する拘束を解除しながら地震時の水平力を吸収する方式である。当然、自碇式の張弦梁などにも適用可能であるが、地震力の伝達には偏りが生じる。この支承システムを単純かつ大規模な形で採用したものが「さいたまスーパーアリーナ」の大屋根である。開放性と方向性を強くもった建築表現（常時の顔）は地震時の抵抗方式（非常時の顔）を得て、一層そのリアリティを増すことに成功したといえよう。

円形プランを持つリング付ドーム構造ではピン（円周方向）とローラー（半径方向）を結合することができる。150mをこえる鉄骨ドームなど、最近の事例は多い。一方、「グリーンドーム前橋（1990）」では、滑り支承にばね付ストッパーを設け、擬似的なピン・ローラー併用支承を試みている。

こうした様々な支承部の工夫はいずれも屋根構造が求める境界性能を提供することをめざしており、その意味ではいわば静的でpassiveな対応といえる。上部構造が保持する力学的合理性に対して、まさにそれを支える“支承”としての役割は評価されよう。

しかしながら近年、空間構造の分野において、特にドーム構造に対する支持構造による動特性の影響について多くの関心が寄せられている。免震支承に入力低減支持機構を導入することにより、上部ドームへの地震入力を低減させることが可能であることが示唆され始めている。いわば動的でactiveな支承部への発想の転換であり、重層空間に一般化されつつある免震建築が、やがて大スパン建築にも波及することが予感される。

幸い、というべきか。日頃、免震とは研究的にも設計上でも余り縁がなかった筆者ではあるが、構造計画の初期的段階から「免震支承」にこだわった2つのプロジェクトにめぐり合うことができ、相次いで実現をみた。「山口ドーム」と「京都・西

京極プール」である。各々の構造設計は日本設計および構造計画プラスワンとの協同であり、詳細は別稿にゆずりたいが、両者には共通した特徴と免震化の狙いがあった。第1に有機的な建築形態を持った大スパン構造であり、この種の建物に免震化を計ることは恐らく初の試みであること。第2に各々のリング付ドームと張弦梁は自碇式であり、その特徴はゴム支承の挿入により自重、温度変化、積雪に対して充分発揮されること。第3に免震化によって地震動、風圧力による構造体の振動応答量を制御すること。第4に屋根構造を地上高く支えているRC柱あるいはA型のPCa柱のサイズを免震化によって最小化すること、などである。

特筆すべきことは、山口ドームにおける免震装置を利用した施工法の提案である。通常、鉄骨大スパンドームの鉄骨建方は大規模な構台を使用し、組立て後、慎重な反力制御によりジャッキダウンを行って終了する。一方山口ドームでは、軽量かつ多数のサポートが用いられたため、ゴム支承上のRCリングを一度ジャッキで持ち上げ、全サポートを無作為に除去した後にリングを再び降下させた。ドーム全体を建方中に上下させるUp&Down工法の初めての試みである。

2つの大スパン構造に採用された免震装置の数やタイプは各々の建物重量や構造挙動を考慮して異なっているが、いずれも屋根構造の応答加速度の顕著な低減を得ており、部材応力の低減につながった。また支持構造の層せん断力の減少は、支柱のスリム化という初期のデザイニング的意図を満足させてくれた。さらに、こういった定量的な免震効果とは別な発見もあった。屋根構造と支持構造の間につくられた「免震層」の視覚的効果である。陽光の差し込む長いスリット・ラインは巨大な屋根面を軽々と浮遊させ、点在する小さな免震装置は、建物のもつ“しくみとしかけ”を見る人に察知させる。謎解きの面白さとある種の安堵感が伝わってくるにちがいない。第3の構造体としての免震層の構造表現とでも言えようか。

空間構造の免震化は、いま始まったばかりである。新しい構造デザインの今後の展開が楽しみである。