

# さらなる安全と安心に向けて —免震構造—



京都大学

渡邊史夫

世界的に見て、二十世紀は構造工学にかかわる研究者や技術者にとって大きな変革の時期であり、近代的な耐震工学が確立した世紀でもあった。我が国は、関東地震(1923年)から兵庫県南部地震(1995年)まで、数多くの地震災害の経験から各種教訓を得ると共に、科学的な側面からの分析が進み学術・技術両面に渡って大きく進歩した。それに伴って国の法令(建築基準法)や日本建築学会をはじめとする各種学協会による基・規準類の整備も進んだが、工学倫理(技術者倫理)の未成熟が問題を生み出した。建築物を造り出す際に最も大切なことは、「信頼できる」技術を、「正しく」使って、「要求性能」を実現することであり、これらのバランスが崩れた時に、安全と安心を与えられない建物が世の中に出現する。

さて、構造設計は、極めて広領域に渡った創造的部分を含む重要な職域である。大げさに言えば、計画、設計、施工、維持管理、及び解体・再利用の各過程に、構造・材料の専門家として参画し、持続的社会的構築に貢献する役割を有する。構造計算はこのプロセスに含まれ、ある仮定の下で、解析的手法によって安全性や使用性を確認するものである。ここでは、用いている仮定や解析の手法が適切かどうかを常に考えながら計算を進めることになる。学会等の基・規準に書いてあるから用いるのではなく、本質を理解した上で用いるようにしなければならない。そうでないと、所謂ハンドブックエンジニアになってしまい、物理的意味を知らずに構造設計をしてしまう。実務における構造設計及び施工業務では、施主若しくは発注者が提示する投資額を含む諸条件の下で、建築計画・意匠、構造、設備・環境、施工及び積算の各分野が、達成可能な最適なものへと全体計画を集約していく中で、構造設計者も意思決定に関与していく。構造設計者の役割は、構造・材料にかかわる各種要求性能の実現方法提示であり(最適な構・工法の提示・提案若しくは新開発)、使用

性、耐震性及び耐風性などの構造性能、更には、耐久性、耐火性、施工性、建設期間、経済性、環境適合性等、幅広い要求への対応が求められる。そのため、構造設計者には、構造解析に加えて、建築構造・材料学を基本とした幅広い知識が求められる。常に進歩していく建築技術や社会の変化を学ぶための継続的職能開発(Continuous Professional Development)が不可欠である。さて、構造設計について述べる場合、計算機ソフトウェアの問題を避けるわけにはいかない。人類の生活を大きく変えた電子計算機の発明とその信じられないほど急速な進歩が生み出した計算機ソフトウェアは、従前では不可能であった高度な解析を可能とするものである。現在の構造設計が、計算機ソフトウェア無しには語れない状況にあることは言うまでもない。しかし、そこには計算機ソフトウェアを理解し、正しく用いるという条件があり、使用者には構造工学の知識修得と構造的センスの醸成が欠かせない。これを怠ると、得られた結果が妥当なものかどうかの判断が出来ず、誤った結果をそのまま構造設計に反映させてしまう結果になる。以上のように、構造設計者は、高度に専門化された特殊な職能を持つ人々でなければいけないが、最近の「耐震偽装問題」で構造設計者に対する信頼が損なわれているのは嘆かわしいことである。このような状況は、ごく一部の構造設計者が引き起こした不祥事ではあるが、構造設計者がもう一度襟をただし、本来の役割を再認識する機会ととらえ、国民からの信頼を回復するよう更なる研鑽を期待するものである。

最後に、現在までの耐震設計法がどのようなバックグラウンドに基づいているかを考えることによって、免震構造にたどりついた経緯を見てみてみよう。わが国では、地震に対する設計法の開発が主体であり、第二次大戦後の福井地震(1948年)を

経験した後に、近代的な耐震設計法が建築基準法に取り入れられた(1950年)。その後の十勝沖地震(1968年)で多くの鉄筋コンクリート建物の柱にせん断破壊被害が発生し、せん断補強筋に対する構造規定が強化された。宮城県沖地震(1978年)の経験をへて新耐震設計法が策定され、1981年の建築基準法改定となった。その後、New RCプロジェクトの成果に基づいて数多くの高層建物(60m以上)が、大臣認定ルートを用いて、設計、建設された。わが国の耐震設計技術が極めて高く世界的にも屈指のものであるとの自負心を持ち始めたころ、1995年に、兵庫県南部地震が発生した。この地震は、死者6,000名以上という未曾有の大災害となった。問題となったのは、1981年以前の基準で設計された建物、所謂既存不適格建物の存在であり、被害もこの種建물에 数多く見られた。不遑及の理屈により、これらの建物の存在が法的には認められるものの、ひとたび大地震が襲えばきわめて大きな被害が発生することは明らかであり、これに対処するために耐震改修の促進に関する法律が制定(1995年施行、2007年改正施行)され、公共建物を中心とした耐震改修が進められている。兵庫県南部地震後は、得られた教訓に基づいて、建物に対する性能設計(Performance based Design)が志向されている。カリフォルニア構造技術者協会(SEAOC)の提唱したVision2000では、地震動を、しばしば発生(Frequent)、時々発生(Occasional)、稀に発生(Rare)、ごく稀に発生(Very rare)の4種類に、建物の性能を無被害(Fully Operational)、継続使用可能(Operational)、人命の喪失なし(Life Safe)、ほぼ崩壊(Near Collapse)の4種類に分けている。すなわち、従来のように大地震に対して安全を保証するといった見方のみでなく、地震動のレベルと建物機能に対する許容損傷の関係で、性能を評価する方向

に向かっている。これは、近年の事業継続性(Business Continuity Plan)といった考えにつながるものである。このような性能設計では、建物の用途に応じてバラエティに富んだ性能要求が出てくる。たとえば、ある建物は、地震時に人命が失われなければよいとされるかもしれないし、また、機能上床の応答加速度をある値以下に抑えなければいけないとされるかもしれない。このような各種要求に応じるためには、従来の耐震設計手法では限界がある。そこで脚光を浴びるのが免震構造や制振(震)構造である。特に、免震構造の場合には、免震層を含む上部構造の固有周期が地動の卓越周期と大きく離れていることにより、変形は大きくなるが上部への地震動入力に格段に減少する。すなわち、免震構造は、高度な要求性能を満足するためのエースとして登場した技術と位置付けられる。特別な能動的制御を必要とすることなく上部構造への地震動入力を根元から断つわけで、これほど確実な方法はない。もちろん、適切で信頼できる材料の選定や解析の確かさ等が保証されなければならないし、より高度な性能実現を目指していることを忘れてはいけない。また、免震層より上の部分は、従来の塑性域まで考慮した耐震設計とは異なり、弾性応答するものとして設計されている。したがって、長期荷重に対する設計の重要性の度合いが大きくなっている。すなわち、従来気にかけてこなかったコンクリートの乾燥収縮やクリープの重要性が増してくると考えられるので注意が必要である。いろいろ注意点はあがるが、その特徴を十分理解して用いれば、免震構造は極めて高い性能を保証できる構造形式である。

「信頼できる」技術を、「正しく」使うことによって、さらなる安全と安心を目指すことが「免震構造の将来発展につながる」を結語として巻頭言としたい。