

はじめに

1983年、我が国の免震建物の第一号である八千代台免震住宅が完成しました。それに至るまでの免震構造の研究開発の時期まで含めると、30年以上経過したことになります。免震構造が大きな注目を集め広く知られるようになったのは、1995年の阪神・淡路大震災以降でしょう。阪神・淡路大震災のときに神戸市北区にあったWESTビル（免震構造）で地震の揺れを観測しました。その記録によれば、建物の揺れは地盤の1/3になっていました。またその1年前のノースリッジ地震（米国カリフォルニア）のときにもUSC病院（免震構造）において顕著な免震効果が得られました。こういった事実を受け、免震構造は社会に広く受け入れられるようになってきました。

1998年の建築基準法の改正を受け、2000年には免震構造の告示が施行されました。この告示では限界耐力計算に準じた方法で免震建物の地震時応答を評価するようになっていました。また免震部材の大臣認定を取得することも求められるようになりました。これ以前には設計者自身が開発した免震部材も実際に使うことができました。もちろん厳格な審査を受けた上でのことですが、現在ではこのような方法はとれなくなりました。この法施行は、ある意味免震構造の設計に取り組みやすい環境をつくることに役だったとも言えます。

2000年ごろから、免震構造は超高層建物や病院建築などに適用されることが増えていきました。一方で、日本免震構造協会では技術委員会を中心に各種のマニュアルの作成や設計に役立つ資料の整備蓄積が行われ、免震構造の健全な普及に努めてきました。その結果、我が国の免震建物数は世界最多となっています（現時点で免震建物2500棟、戸建て免震住宅約3000戸）。これだけの建物数を誇っていますが、耐震構造に比べるとその割合は少なく、多くの方々に免震構造・免震技術のことを理解していただくことが必要であると思います。

よく免震構造は静定構造物にたとえられます。静定構造物では、一つの部材が損傷すると全体構造に影響を与え、最悪の場合には崩壊に至る可能性もあります。耐震構造のような不静定構造では部材が塑性化すれば塑性ヒンジが形成されるものの、多くの塑性ヒンジができるまで完全崩壊はしないとされています。崩壊機構に至るまでの余裕度が確保されているというわけです。免震構造は免震層に変形とエネルギー吸収を集中させる構造形式です。そのため免震層の設計が最も重要であり、免震層の変形能力やエネルギー吸収能力に十分な余裕をもたせることが肝要となります。ただ、この余裕をもたせ方には注意が必要です。静的に考えれば、大きな外力に対しては強く・硬くしておけば安全側に判断されます。しかし、免震構造では動的設計の考え方が必要となります。すなわち、想定される地震動に対して強すぎず弱すぎないように適切な水平剛性とエネルギー吸収性能（ダンパーの量）を付与する必要があります。どのような地震動を想定し、どの程度までの免震効果を求めるのかを明確にしておくことが重要です。

免震建物は大地震時でも損傷（塑性化）せず、建物内の家具などの転倒もおきず、また地震終了後も建物の機能をそのまま発揮することができます。不静定構造物に多くの塑性ヒンジが発生した場合には、その補修に時間とコストがかかることになり、最悪の場合には取り壊すことにもなりかねないことを考えると、免震構造の耐震性能の高さがよくわかると思います。

免震効果を十分に発揮させるためには、免震層に設置するアイソレータやダンパーの設計が重要となります。現在、アイソレータやダンパーには多くの種類があり、また大臣認定により標準的な特性値も決められています。免震告示では「免震材料」とされていますが、免震建物

を支える主要構造部材であるアイソレータやダンパーは「免震部材」と呼ぶのがふさわしいと考えます。免震構造の初期の頃には、設計者自身が免震部材の剛性や降伏耐力、さらにはエネルギー吸収能力などを確認しながら設計していました。今でも製品の多くは全数検査をして出荷されていますが、以前はそれに加えて限界性能を確認する試験を設計者自身が行っていました。免震部材をカタログから選ぶだけではなく、その特性値がどのように得られたものか、部材を加力するとどのように変形するのかといった実際のモノとの対話を十分に行った上で、主要構造部材の設計に取り組んでいただきたいと思います。

2003年の十勝沖地震のときの石油タンクの被害以降、長周期地震動が注目されるようになりました。実は昔から免震構造にとって「やや長周期」地震動は影響があるといわれていました。最近では「やや長周期」(周期2～4秒くらいの周期)といわれなくなったと思っていたら、「長周期」に含めてしまったようです。いずれにしても長周期成分を含んだ地震動が長時間継続する可能性があるとして、免震部材のエネルギー吸収性能などに関心が集まりました。それまでもエネルギー吸収性能については検討していましたが、数分間という長い揺れまでは想定していませんでした。また超高層免震が増えるに従い、強風時の応答・居住性、小振幅下での長時間繰返しによるダンパーのエネルギー吸収性能なども検討課題となっています。強震観測網が充実してきたことで、地震断層近傍でパルス的な地震動が観測されてきています。このような地震動に対しては免震層の応答変形が非常に大きくなります。これまで想定していなかった外乱に対し免震建物をどう設計すべきか、設計者の判断が重要となります。

免震構造はその適用範囲を拡大してきており、それに伴い新たに解決すべき課題も生じてきています。そのために実験を繰り返したり、新たな技術開発がすすめられたりすることで、免震構造はますます成熟した技術になっていくものと思います。免震構造に関する研究や開発を止めることなく継続していくことが必要でしょう。

本書は、免震構造を学ぶ方や実際の設計に取り組む方に役立つように、免震部材の基本性能、免震建物の地震時応答の評価法、そして施工までを最新の知見に基づいて、できるだけわかりやすく解説しています。1995年に日本免震構造協会から刊行された「免震構造入門」の改訂版ともいえます。本書により免震構造の効果が理解され、免震設計に取り組む方がますます増えることを期待しています。

2010年11月

日本免震構造協会 技術委員会
免震部材部会 委員長 高山 峯夫

第2版の発行に際して

初版の発行から10年が経過したことから、第2版の検討に入ったのは2020年のはじめでした。ちょうどこの頃から新型コロナウイルス感染症が広まりだし、第2版の原稿などについての打合せはすべてオンラインで行ってきました。そうした活動を2年ほど続けてようやく第2版を刊行する運びとなりました。

本書では初版の目的や構成を引き継ぎつつ、最新の情報を盛り込みながらもできるだけわかりやすく免震技術の全体を解説しています。免震建物の設計に取り組む構造設計者だけでなく意匠設計者や学生の皆さんにも手に取ってもらえればと思います。あわせて免震建物の計画やディテールについて紹介している『震災の国への処方箋：免震建築の計画からディテールまで』（日本免震構造協会，2020年）もご参照いただければより理解が深まると思います。

初版を発行した直後の2011年には東日本大震災が発生しました。多くの免震建物はその効果を発揮することができ、大きな被害は発生しませんでした。ただ、エキスパンションジョイントの被害は多く発生したため、日本免震構造協会から『免震エキスパンションジョイントガイドライン』（2013年）が発行されました。また、津波の被害を受けた免震建物もあり、免震建物の津波対策が課題となりました。免震建物の対津波設計での考え方や設計例を示した『免震建物における対津波構造設計マニュアル』（2020年）も発行されています。最近では豪雨による水害も多く発生するようになり、免震建物が水害に見舞われた場合の対策や免震層が水没しないような設計も求められるようになっていきます。

2016年には熊本地震が発生しました。震度7を観測する地震が28時間に2回発生し、益城町を中心に大きな被害が発生しました。当時、熊本県内には24棟の免震建物がありましたが、いずれも被害はありませんでした。特に免震病院ではその効果を発揮し、地震後すぐに病院機能を継続できています。ただ残念ながら地震計を設置していた免震建物はなく、熊本地震での記録は「けがき式変位計」によるものしかありません。また、熊本地震では長周期パルス波も観測されており、断層近傍で発生するパルス性地震動に対する免震建物の設計にも十分注意する必要があります。

2015年の高減衰積層ゴム支承等のデータ改ざん問題、そして2018年の免震・制振用オイルダンパーの出荷検査データの性能値の書換え問題は、免震部材だけでなく免震技術の性能への信頼を損なう出来事でした。アイソレータやダンパーなどの免震部材は免震構造の性能を確保する大事な製品です。こうした製品は2000年から大臣認定品となりましたが、設計者がその性能をきちんと確認することは必須です。大臣認定で審査されている項目だけでその製品の性能がすべて明らかになっていると勘違いしてはいけません。免震構造を実用化した故・多田英之先生は「わかっていること」と「わからないこと」のけじめをはっきりとつけよ、と言われていました。

今もって建築に関する科学技術の領域では、「わかっていること」よりも「わからないこと」のほうが遙かに多い。建築にとっての大きな脅威、地震についてはまったくといっていいほどわかっていない。

が、「わからない」「わからない」と言っていては何もできないから、「わからないこと」を「これは、こうである」と見なし、それを方程式に持ち込んで解を求める。「これは、あくまでも見な

しであるから、本当のことはわかっていない」と最初の人は知っているが、時が経つにつれて、「わからないこと」があたかも「わかっていること」の様に扱われてしまう。「わからないこと」を「わかっていること」に変えるために費やされるエネルギーと時間は、往々にして膨大なものとなる。見なしを「わかっていること」にして、知らん顔をしている方が楽だ。

その結果、理論体系は砂上に築かれた楼閣となる。いつ崩れ去るか、全く分からない。もちろん、これは建築に限った話ではない。

多田英之先生の傘寿記念誌「構造設計とともに―耐震から免震へ―」（2001年）より

免震構造の開発から40年以上が経過し、免震技術も普及し適用範囲が広がっています。それとともに新たな課題もでてきますが、そうした課題を克服していくことで免震技術の発展につながっていきます。今では免震技術も成熟していると言える段階ですが、様々な課題に対処するためには、免震技術のさらなる高度化も必要です。

本書により、免震構造への理解が深まり、免震設計に取り組む方がますます増えることを期待しています。

2022年1月

日本免震構造協会 技術委員会
委員長 高山 峯夫