

# サステナブル社会と免震構造



千葉工業大学 教授

田村和夫

長い時を経たどこか重みの感じられるまちに入ると、ほっとするものである。また、人々が集まってお互いのコミュニケーションをとりながら生き生きと動く都会も、活気があってよい。これからは地球規模でサステナブル社会をめざす時代である。その中で人々が安心して生活を営むための安全で長持ちする建物やまちづくりが求められている。2011年東北地方太平洋沖地震では、人々の住み慣れた集落やまちが大規模な津波により一気に流されてしまった。現在も新しいまちの復興には至っていない。あのような悲惨な出来事を起こさないようにするのに我々技術者の役割は大きい。今回の大震災では直接震動により壊れた建物は比較的少なかったが、わが国で安全で長寿命な建物を実現するためには、大きな地震でも壊れないことが必須といえる。しかも壊れないだけではなく、建物の性能を地震後も保持できなければならない。地震後に使えなくなった建物は結局取り壊されてしまうことになる。多くの構造物が地震で壊れて瓦礫となってしまうのは、環境負荷の観点からも好ましくない。自分の住む建物が壊れるかもしれないような極く大きな振幅の地震動に遭遇するのは、個々人にとってはまれなことだと思う。しかし、100年200年以上存続する長寿命建築で構成されるまちや都市にとって、大地震動は必ず見舞われる現象と考えておくべきであろう。

わが国において、免震構造は長寿命建築に非常に適した構造である。その理由は、もちろんまず地震時の揺れに対する性能の良さである。地震時の応答加速度が低減できるために建物や室内の機器類を損傷させない設計が可能である。また免震構造にすることにより建物の構造をかなり自由に構築することができる。長寿命建物は、単に物理的に長期間もつだけでなく、自然や社会などの環境変化やそれによる生活様式の変化に応じて、部屋の使い勝手や機器

配置などを変えることのできる可変性も求められる。このような長寿命建築の構造体は、変化に対応できる余裕を持ったものである必要がある。これを地震国において経済的に実現するためには免震構造はうってつけである。もう一つの理由は、免震層の中だけで地震による建物全体の揺れの制御が可能のため、建設後に構造の維持管理や構造性能を変化させることを比較的自由に行える点が挙げられる。免震構造では構築する床が一層増えてしまうため、コストが高くなってしまおうと考えてしまいがちであるが、免震層の空間は、地震応答特性向上のための制御用の価値を持つ空間でもあり、長期間における構造性能維持のための管理も主に免震層にだけ注力していれば済むのである。

わが国に積層ゴムを用いた本格的な免震構造建物が実現してから約30年経過した。筆者も、1980年代後半から免震構造の研究開発に携わることができたが、多くの新しい免震構造建築が設計・建設されている最近の状況を見ると、免震の普及速度の速さに驚くばかりであり、感慨深いものもある。同時に、数百年から数千年に一度起こるような大地震を相手にしている割に、このように短期間で普及してしまっただけでよいのか、という漠然とした不安もある。地震という大自然の現象の中で、うまく調和できるようになるまで免震構造は成熟したのであろうか。

当初、免震構造は建物の上部構造を単純なモデルに置き換えて考え、免震層に柔らかい水平ばねとエネルギー吸収装置を備えた装置を設置することで、建物に作用する加速度を一般の建築構造物よりもはるかに低い値にするという、極めて単純な振動理論で大局的には理解できるものと考えていた。もちろんこの考え方は、短周期成分が卓越するという地震動の一般的な性質を踏まえてのもの

のであり、建物を支えながら水平方向の柔性を実現できる積層ゴムの開発に負うところが大きい。地震工学の知見も含めた諸先輩方の研究成果のたまものでもあった。免震層を上手に設計することにより、地震時に上部構造に作用する力を大きく低減させ、上部構造の設計をしやすくする方法は、地震に対する構造物の設計を単純化させるものである。この考え方は極めて理解しやすく、しかも大きなメリットが得られる構造であるため、いったんその効果が確認されると急速に普及してきたのであろう。

このように免震構造の持つ実用的な特性のため、次第に種々の用途や多様な構造骨組にも採用されるようになってきた。しかし、例えばより高層な建物に免震構造が採用されるようになると、必ずしも建物を一つの塊のようにとらえては真の挙動が把握できないことも実感するようになってきた。特に免震層が強非線形な特性を持つケースでは、短周期の高次振動成分が結構励起されてくることも分かっている。一方で、免震構造の普及と合わせるように、地震・地震動に関する研究も著しく発展してきている。観測された地震動や、理論的に予測された地震動の中には、免震構造の普及し始めの頃に想定していたものよりも、免震層の変形がかなり大きくなるもの、あるいは非常に長時間作用し続ける地震動もあることが確認されるようになってきた。また、高層建物では風応答の影響も無視できなくなり、免震部材にも新たな性能基準が必要になってきた。これらに対してその都度検討を進めながら現在に至っている。ただしまだまだ技術的に検討すべきことはある。最近危惧されている、従来想定されていたよりも振幅の大きな地震動が発生する可能性に対して、どの程度の振幅までを考えておけばよいのかという本質的な問題も残されている。想定した範囲の地震動であれば、それに合わせて設計すればよいが、想定を超えた地震動に対してどのような対応をすればよいか、結局どのような地震動を想定すればよいのか、という疑問は常に付きまとう大問題である。

安全性の大幅な向上を標榜する免震構造であればこそその大きな悩みともいえよう。経験という貴重な知恵袋を大切にするとともに、経験に基づく対応だけで済まされない事前の対策が必要な時代である。このような課題に取り組むために、地震・地震動研究と構造技術の連携もますます重要になっている。

ところで、時間が経つとある種の慣れや相場観が生まれてくるというのも、よくあることである。仮に便宜的に決めたことであってもあたかもそれが真実であるかのような気になってしまう。まだ非常に大きな地震動を経験していないのにもかかわらず、周りに建つ多くの免震建物と同じ設計をしている（設計で想定した入力地震動も同じレベルである）から安全であると錯覚していないだろうか。現在は免震構造の開発が一段落し、少しずつ課題を解決しながら普及している時期ではあるが、東北地方太平洋沖地震で見られた現象など今までに得られたデータをもう一度よく振り返り、何か見落としした点はないかじっくりと考えてみる必要がある。一方逆に、今までの知識を基に、免震構造の限界を自分たちで決めて、思考停止に陥っているかもしれない。免震構造では加速度は低減されるが変形は増大してしまう、上下動には効かない、免震層には引抜力を生じさせてはいけない。このような現在一般的に考えられている限界に対してそれを打ち破るチャレンジをしていく気持ちを持つことも必要である。もちろん、恐る恐ると進めるべきではあるが。

これからの建築物は、エネルギーも少なくて済み、何世代にもわたって住み手・使い手の要求に応えられる性能を持っており、何ととっても生活すること・見ることが楽しい、豊かな生活をもたらすものでなければならない。当然その前提としての安全性を備えた構造がある。長く続いていく時間の流れの中におけるあり方を踏まえた上で、サステナブル社会において生き続ける建築のための免震構造でありたい。

