

免震用積層ゴム開発のこれまでとこれから



ブリヂストン／日本免震構造協会 副会長

室田 伸夫

1 はじめに

1995年の兵庫県南部地震から今日に至るまで、日本における免震構造は大規模地震が起きるたびにその有効性が実証され普及が進んできた。現在では、年間約150棟から200棟の免震建物が建設されるまでに至っている。しかしながら、近年の状況は東北地方太平洋沖地震後の2013年をピークに、その後建築棟数の伸びは停滞している。免震の普及は、この技術に関わる関係者にとって最大の願いであり、日本免震構造協会（JSSI）が第一義的な目標であると認識している。

免震構造において、免震用積層ゴム支承（以下、積層ゴム）は要の部材である。硬い圧縮剛性で長期間にわたり上部構造の荷重をしっかりと支え、地震時には柔らかなせん断剛性で地震力を受け流し上部構造への伝達を大幅に低減する。薄いゴム層と鋼板の積層構造は、シンプルながら大変優れたアイデアで、免震装置としての利用が始まった後も、その基本構造は変わっていない。ここでは、積層ゴムについて、その製造者としての視点から、これまでの技術の進化について、構造面、材料面、製造技術面、設計技術面、標準化、の切り口から振り返りながら、これからの技術開発の方向性について考察する。

2 積層ゴムのこれまでの進化と現状

免震用積層ゴムの開発が日本で本格的に開始されたのは、1980年初頭である。積層ゴム自体は、それ以前に欧州において橋梁支承としての長い歴史があるが、免震構造に利用され始めて以来40年以上を経た現在までに、地震入力の増大や多様化、設計目標の高度化、使用条件や対象建物の規模や種類の拡大などに伴い、様々な進化を遂げてきた。

これまでの積層ゴムの要求性能に関わる設計環

境の変化としては、

- ① 目標とする免震性能の高度化：応答加速度や層せん断力の低減率の向上など
- ② 対象構造物の大型化と用途の多様化：超高層建物、低層建物、物流倉庫、精密機器工場など
- ③ 地震動の大規模化、多様化：長周期地震動、パルス性地震動など

が挙げられる。

①については、より免震周期を伸ばすために、積層ゴムの使用面圧が上がり、それに対応して一層のゴム厚は薄く、総ゴム厚や積層数は増加した。また、材料は低弾性化が進んだ。

②については、対象建築物の大型化による柱荷重の増大に伴い、積層ゴムのサイズも増大した。また超高層建物等で問題となった引き抜き力対応については、様々な実験評価をもとに許容応力等の規定が策定され、接合部の設計の高度化も進んだ。

③については、継続時間の長い長周期地震動対策として、積層ゴムの繰り返し変形時の特性変動の実態が明らかにされ、免震構造の設計に反映されることとなった。

また、これら①、②、③の環境変化に対して、積層ゴム設計に関わる基盤技術の進化としてはCAEが挙げられる。代表的なものとして積層ゴムの超弾性FEM解析や水平2方向特性まで考慮した非線形地震応答解析用モデルなどがある。FEM解析では、応力-ひずみ解析だけでなく、熱-力学連成解析が新たに開発され、地震時の積層ゴム内の温度上昇とそれに伴う特性値の変動を再現することが可能となっている。

試験法に関しては、積層ゴムの大型化に伴い

製造者の保有する試験機の大型化が進んだ。本年、免震研究推進機構（jsil）による国内初の実大動的試験機が、関係者の方々の情熱と努力によって、ようやく実現することとなった。高精度な計測による、実速度での特性評価と前述のCAE進化と併せて、RealとDigitalが融合した評価手法の確立、たとえばハイブリッドシミュレーション、に期待が高まる。

3 標準化による使用環境の整備

一般的に新しい技術（製品）が開発され、ある程度の技術（製品）の定着が見えたところで、標準化が進み、技術基盤が整備され、裾野が広がり、技術は普及していく。積層ゴムについては、1990年代に様々な新製品が開発され、2000年に大臣認定制度が始まり、2005年に積層ゴムのISO規格（ISO22762）、2011年にJIS規格（JIS K6410）が制定された。現在、JSSIでは、新JSSI規格の策定が進められている。実大動的試験を前提とした新規格のもとで新たな知見が得られ、アイデアが創出され、新技術や新製品の開発へと繋がっていくことが期待される。

4 積層ゴム開発のこれからの方向性

免震構造の普及は、JSSIにおいて長年取り組んできた最大の課題であり、これまでも様々な委員会活動を通じて普及啓発が推進されてきた。その上で、改めて今後、積層ゴムおよび積層ゴム製造者に期待されることはなにか。個人的には今後の開発の大きな方向性は、“使いやすさ”の追求であると思う。使いやすさとは、免震構造を設計、施工する上で、複雑なことを考えることなく、よりシンプルに取り扱えるという意味である。設計面では、製造ばらつき、各種依存性、繰り返し加力時の性能変動、経年変化、

などの低減、施工面では小型化、軽量化などである。これら課題を解決することによって、構造設計者の頭を悩ませる要因を減らし、免震層設計や施工の簡易化、効率化に繋げていく。そのためには、従来の延長線上にはないアイデアをもとに新しい材料、構造、製法の開発に積極的に取り組み、進化の歩みを止めないことが大事である。従来よりそうであったように、アカデミア、構造設計者、施工者との共創活動によって免震技術の進化は実現されると考える。四者の共創の場でもあるJSSIが技術開発に果たす役割は大きいと思う。

もう一つは、品質管理体制の強化によるエンドユーザーの免震に対する信頼性向上であろう。改正告示以降、各製造会社の品質管理体制の強化はすでに進められていると思うが、さらにレベルアップを図るとともに、今後は検査の機械化促進による検査工数軽減や検査コストの抑制も同時に推し進めていく必要がある

5 まとめ

積層ゴムの、これまでの開発経緯、最新動向、将来方向性について述べてきた。この原稿を書いている期間の2月6日早朝、トルコ南部でM7.7、その9時間後にM7.5の大地震が連続して発生し、甚大な被害が発生した。犠牲となられた方々に謹んで哀悼の意を表し、被災された皆様にお見舞い申し上げます。このような地震被害によって人々と暮らしと社会が傷つけられる様を目の当たりにする度に、免震技術の普及の意義を改めて認識する。日本がリードする免震技術を、JSSIが中心となって、これからも世界に向けて積極的に発信し、国際協力のもと地震レジリエントな国際社会の実現に貢献していきたいと思う。