開発者に聞く

世界初、水の浮力を活用して建物の揺れを軽減する「パーシャルフロート」

水の浮力によって建物の揺れを軽減させるという、世界初の免震システム「パーシャルフロート」。現在、その第一号が当社技術研究所内の新風洞実験棟に採用され、今夏には竣工の予定です。そこで今回は、この画期的なシステムの開発に携わった施設基盤技術センター・流体解析グループの大山巧主席研究員から、開発の過程やシステムの仕組みについてご紹介します。

世界初の免震システムはどのように開発されたのか？

―建物を水に浮かせるという発想が非常にユニークだと感じましたが、どのようなきっかけでこのようなシステムが生まれたのですか。

もともと、建物を水に浮かせた構造物が免震性に優れているということは古くから知られていました。「浮揚式の原子力発電所」を海上に建設できないかという研究が始まったのは二十年以上も前のことです。しかし、海上では波や流れなどが引き起こす長い周期の力が構造物に作用するため、それを防ぐために強固な仕組みが必要となります。そこで、私たちは水の浮力が持つ高い免震性を陸上の建物に応用できないかと考えました。陸上では波や流れが影響しないため、海上に建てる場合に比べて構造を大幅に簡素化できると思ったからです。

大山主席研究員。本来の専門は現在のグループ名どおり流体解析。その研究経験の蓄積を土台に、今回のパーシャルフロートの研究開発に挑みました。

―陸上の建物に応用するうえで、工夫された点はどこですか。

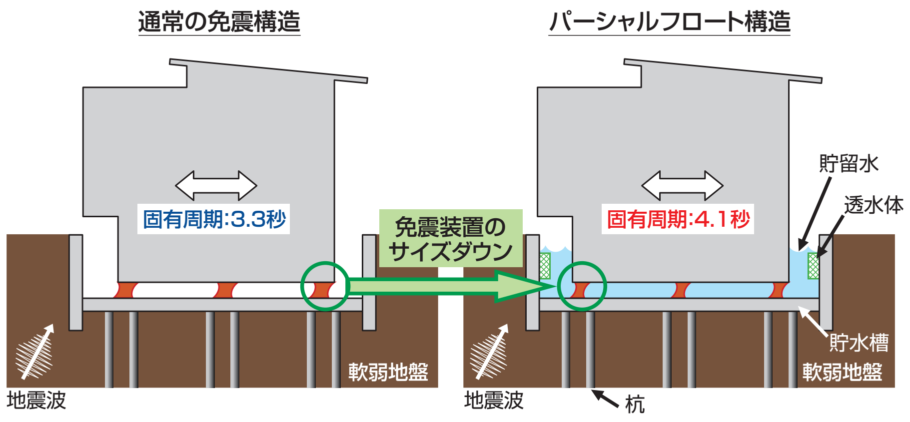
建物を完全に水に浮かせてしまうと、強風による揺れなどによって居住性が悪化する可能性があり、建物の用途によっては問題が生じてしまいます。そこであくまでも建物を地盤に定着させた上で、浮力の効果を部分的（パーシャル）に活用するという新しい考え方を取り入れました。つまり、浮体構造の持つ免震上の利点とともに、その弱点を克服できる構造の実現を狙ったわけです。

―どのような仕組みで揺れを軽減するのですか。

巨大な貯水槽の中で建物が水に浮かんでいる状態に近いのですが、実際は水による浮力と、建物の下に設置した複数の積層ゴムとで建物を支える構造となっています。建物の半分程度の重さが浮力によって支えられるので、積層ゴムで支える重量が減り、免震装置が小型化できます。これにより、建物の揺れの周期が長くなり、地盤から伝わる地震の力が弱まるため、通常の免震構造よりも高い免震効果が得られます。1秒間に数回揺れる短く激しい揺れが、数秒間のゆったりとした揺れに変わることで、被害を防ぐことができるのです。

このほかにも、さらに揺れの大きさを低減、減衰させる対策として、水の運動を利用した新たな減衰装置も採用しています。

パーシャルフロート システム概要図
（技術研究所 新風洞実験棟の例）



周期とは揺れの一往復にかかる時間のこと。建物によって固有周期（最も揺れやすい周期）の長さが違い、固有周期が短い場合には「ガタガタ」と激しく揺れ、長い場合には「ゆらりゆらり」とゆっくりした揺れ方をする。固有周期を長くすることで、建物への被害を低減することができる。

―従来の免震構造と比べ、優れている点はどこですか。

浮力を利用することで建物の揺れの周期を長くできるため、従来の免震構造に比べて地震時の建物の揺れの加速度を小さくすることができます。

また、免震効果が得にくかった軟弱地盤でも、高い効果を得ることができます。免震の基本的な考え方は、建物の固有周期を地盤の揺れの周期よりも長い周期に設定することにあります。一般的には、周期の差が大きいほど高い免震効果が得られます。しかし、軟弱地盤層は地震動の周期を長くする性質があるため、通常の免震構造では周期の差をつけにくく、固い地盤より効果が発揮されにくいのです。先に述べたように、このシステムでは通常より建物の固有周期をより長くできるため、軟弱地盤でも高い免震効果が期待できるのです。

―どのような建物に適しているのでしょうか。

例えば、貴重な物品の損壊を回避する必要のある美術館・博物館、大地震時でも施設機能を維持する必要がある医療福祉施設や通信施設、軟弱地盤層の多い都市湾岸部の施設など、より高い免震効果を必要とする建物に展開していければと思います。

また、地震時の免震性だけではなく、貯留水を防災用水など他の用途にも使用できれば、より魅力的なシステムになると考えています。

―最後に、このシステムの実現に当たって、苦労された点を教えてください。

設計時に新たに流体力解析モデルを組み込む必要があったほか、積層ゴムを水中に設置するための工夫や、安全な水位の確立、水質管理の方法の検討など、これまでの構造にはない分野での技術開発に苦労をしました。関連メーカーにもご協力をいただき、さらに当社技術研究所および関連部署におけるさまざまな分野の技術力を結集できたことが、このシステムの実現を可能にした最大の要因だったと思います。