



建物の機能維持を目指して

改造後の震動台を活用した次世代免震構造の開発

兵庫耐震工学研究センター 特別研究員 佐々木智大

はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、免震構造の優れた機能保持性能が広く認知され、重要施設を中心に多数の免震建物が建設されてきました。2010年末までの免震建物棟数は、ビルで約2,800棟、戸建て住宅で約4,200棟となっています（日本免震構造協会調べ）。2011年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震でも、免震構造は有効に機能しました。例えば、免震構造を採用した石巻赤十字病院では、震災直後でも病院機能を維持し、多くの人命を救った事例が報告されています。

しかし、長周期地震動に代表される設計で想定されていない地震動が作用した場合、設計で想定した以上の過大な変形が長時間免震装置に生じることがあります。その結果、建物周囲に配置された擁壁等へ衝突したり、免震装置に異常が発生したりする可能性も指摘されています。長周期成分を多く含む地震動、長時間揺れが続く地震動で建物がどうなるのか、建物の内部環境への影響はどうかなど、これらの影響の評価は免震建物に限らず重要です。

そこで防災科研では、免震建物・鉄筋コンクリート造建物等の様々な構造物に対し、長周期・長時間地震動が作用した場合の安全性評価を行うことを計画しています。例えば免震構造に対しては、万が一擁壁に衝突した場合に生じ

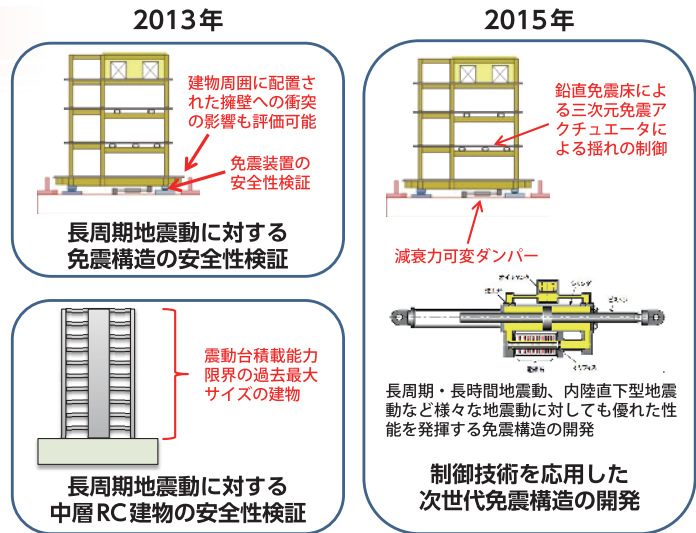


図1 改修後の震動台を活用した実験計画

る衝撃力が機能保持性能に及ばず影響の解明と、共振しやすい長周期地震動に対しても応答変位を低減させることが可能な次世代免震構造の開発に向けた実大建物加振実験を予定しています。

改造後の震動台を活用した研究

改造工事後の震動台を活用した免震建物を対象とする実験研究は大きく分けて3つのステップで進める予定です（図1）。

最初の実験は免震装置の安全性検証および擁壁に衝突した場合の室内環境への影響の評価と衝突の影響を低減させるための技術開発に主眼を置いた実験です。

次の実験は中層鉄筋コンクリート造建物を対象とした実験です。震動台の積載能力の限界である1,200トンの試験体を用いた実験により中

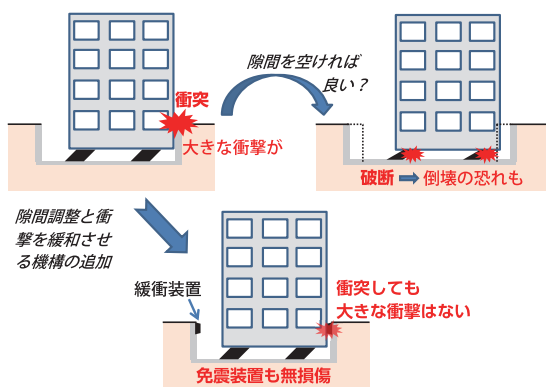


図2 衝突によるフェイルセーフ機能付き免震構造

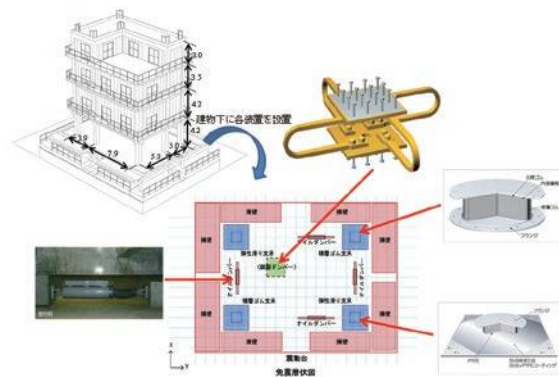


図3 フェイルセーフ機能付き免震構造開発のための加振実験

層免震建物の安全性を検証するとともに、その限界性能を確認します。

最後は制御技術を応用した次世代免震構造の開発のための実験です。免震構造にとって苦手な長周期成分を多く含む地震動などに対しても優れた性能を発揮する次世代型の免震構造開発を進めます。

擁壁の衝突によるフェイルセーフ機能付き免震構造の開発

免震構造は建物の重さを支えるとともに地面の揺れを吸収して上の建物に伝えないようにするための支承と、地震のエネルギーを吸収して、大きな揺れを抑えるためのダンパーと呼ばれるエネルギー減衰装置が設置されます。しかし、3分以上も揺れた東北地方太平洋沖地震のように長時間の揺れでも安全性が低下しないか、などの検証はまだ不十分です。

また、長周期成分を多く含む地震動では、免震建物も共振により思わぬ変形が生じ、建物の周りの擁壁に衝突、室内に被害が生じる可能性も指摘されています。衝突を防ぐ1つの方法として、クリアランス（建物周囲の隙間）を大きくするという考え方があります。しかし、あまりにも大きな変位を許容すると、免震装置が変形できる限界を超えて破断してしまい、建物

に致命的なダメージを与えてしまいかねません。そのため、クリアランスを調整し、免震装置が限界を迎える前に建物周囲の擁壁が限界以上の変形を押さえるフェイルセーフの機能を持たせるとともに、衝突した場合にも被害を低減させるための緩衝装置を備えたらどうかと考えています（図2）。

防災科研では、2013年8月から9月の予定で免震建物の加振実験を実施する予定です。本実験では、震動台上に積層ゴム支承、弾性滑り支承およびエネルギー減衰のための鋼材U型ダンパーとオイルダンパーを設置し、その上に重量700トンの低層建物を試験体として設置します（図3）。また、建物周囲には擁壁を設置し、建物が擁壁へ衝突した場合の影響を評価するとともに、擁壁への衝突の影響を低減させるため、どこにどのような大きさの緩衝ゴムを設置すればよいか、などの検証を進める予定です。

中層免震建物の性能検証

高度な計算が不要で、床面積を多く取ることが可能な中層の建物が多く普及しています。これに対し、免震建物と言えば低層建物が主な対象でした。ところが近年、特に東北地方太平洋沖地震以降、中層以上の建物の免震が注目されています。免震構造の設計では、揺れを十分

低減させ、建物は変形しないように設計を行います。しかしながら、免震装置上に載る建物が高くなると建物の変形が無視できなくなります。低層の建物に比較して、中高層建物は変形しやすいからです。そのため、免震装置で揺れを低減させても上層階では揺れが増幅されてしまったり、建物の変形により免震装置に想定していなかった力が作用したりする可能性があります。また、コンクリートは繰り返し力が作用すると性能が劣化していきます。長時間の地震動により繰り返し大きな力がコンクリートに作用すると、思わぬ被害が出る可能性もあります。

そこで、防災科研では10階建ての中層鉄筋コンクリート造建物を対象とした加振実験を、長江主任研究員、田原特別研究員を中心とした鉄筋コンクリート造建物の実験研究チームで計画中です。

この実験では、震動台の積載能力の限界である総重量1,200トンの試験体を震動台上に設置し、1) 免震建物の1階の揺れを震動台で再現して上層階の挙動を検証するとともに、2) 長周期・長時間地震動によって鉄筋コンクリート部材に繰り返し力が作用した場合の影響の評価と、3) 鉄筋コンクリート造建物の被害が多い内陸直下型地震動で新型高性能耐震壁による鉄筋コンクリート造建物の高性能化の性能検証を行う予定です(図4)。

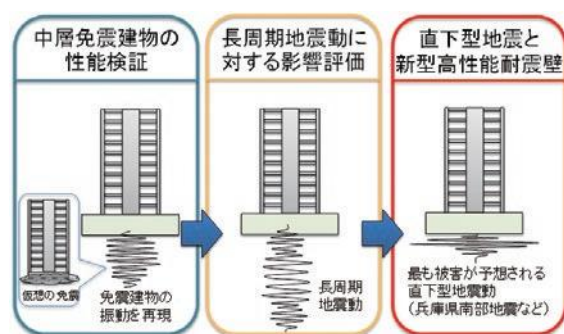


図4 中層RC建物の耐震性能検証実験

制御技術を応用した免震構造

図3にあるように、免震構造は支承とエネルギー減衰装置が組み合わされています。このうちエネルギー減衰装置(ダンパー)は、長周期地震動による共振などで免震建物が大きな変形を起こさないように揺れのエネルギーを吸収するための重要な装置です。ダンパーには、適切に揺れを低減させるための最適な減衰力があるのですが、地震動の種類、強さによって最適な値が異なるため、どの地震に対してもそれなりの性能を出すように設計されます。

防災科研では、これに対する次世代免震構造として、セミアクティブ免震の技術開発を進めています。これは、建物の揺れを常時監視し、実際の建物の揺れに合わせてダンパーの最適な減衰力を制御して、どのような揺れに対しても最適な減衰力を発揮できるようにし、様々な地震動に対して優れた性能を発揮できるようにしたものです。また、建物の揺れと逆向きの力を加えることで揺れを抑えるアクティブ免震にも取り組んでいます。

おわりに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、病院等の災害拠点、学校等の避難施設が震災後に使用不能になったり、生産ラインがストップしたために物流が滞り、様々な製品に影響が出るなどの問題が各地で浮上し、震災後の機能維持の重要性が広く認知されることとなりました。防災科研では、今回の改造により機能強化された震動台を最大限に活用して機能保持性能向上のための技術開発を進め、これを広く公開することにより、震災による被害の低減を目指して、努力してまいります。