

建物を使いながら行う免震レトロフィット工事

宮崎 貴志・梅国 章

既存建物を長く使用するための耐震補強工事が増加している中で、基礎や柱へ積層ゴムなどの免震装置などを組込んで、耐震性能を向上させる免震レトロフィットに注目が集まっている。他の補強方法と異なる利点は、建物のデザインと機能の変更を伴わずに改修できること、建物をいつも通りに使いながらの工事が可能であるため、移転を不要とすることなどである。建物を使用しながら免震レトロフィット工事を行うためには、管理面では品質と安全を確保すること、施工面では作業中に発生する音と振動を無くす、あるいは極力抑えることが重要な課題になる。今回は、これらの課題を解決するために開発した各種技術、および実際の工事について報告する。

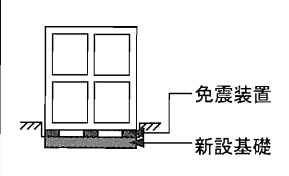
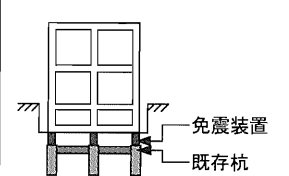
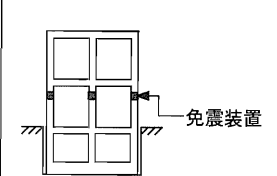
キーワード：免震レトロフィット、補強工事、耐震性能、施工管理、低騒音低振動

1. はじめに

1995年に発生した阪神淡路大震災を契機に、建物の耐震安全性が見直されたこと、また同年に「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が施行されたことから、建物を補強して耐震性能を向上させる工事が増加している。補強方法のひとつである免震レトロフィットは、建物の下部に積層ゴムなどの免震装置を組み込み、建物の振動周期を長

くすることにより地震力を低減して、耐震性能の向上を図る。耐震補強など他の方法とは異なり、地震時における家具や什器の転倒を防止できること、建物のデザインやスペースを変更することなく補強工事ができることなどの特長がある。さらに、工事が免震層にほぼ限定されるために、建物の機能を停止することなく、いつも通りに使いながら免震化工事を行うことが可能である。一時的にも機能を停止することができないコンピュータオフィスや病院などの24時間稼働建物、および

表-1 免震レトロフィットの分類

基礎免震	杭頭免震	中間階免震
 <p>免震装置 新設基礎</p>	 <p>免震装置 既存杭</p>	 <p>免震装置</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・基礎を新設 ・ドライエリアが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・山留め、大規模掘削のため工事の長期化 ・耐圧版、ドライエリアが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工階の利用を一時停止又は制限 ・エレベータ、仕上材の免震化

官庁建物、銀行では、建物内の通常業務や居住環境に影響を与えずに工事を行うニーズが多い。以上述べたことから、近年、免震レトロフィットを採用する事例が急増しており、その件数は20棟を超えた。

2. 免震レトロフィット

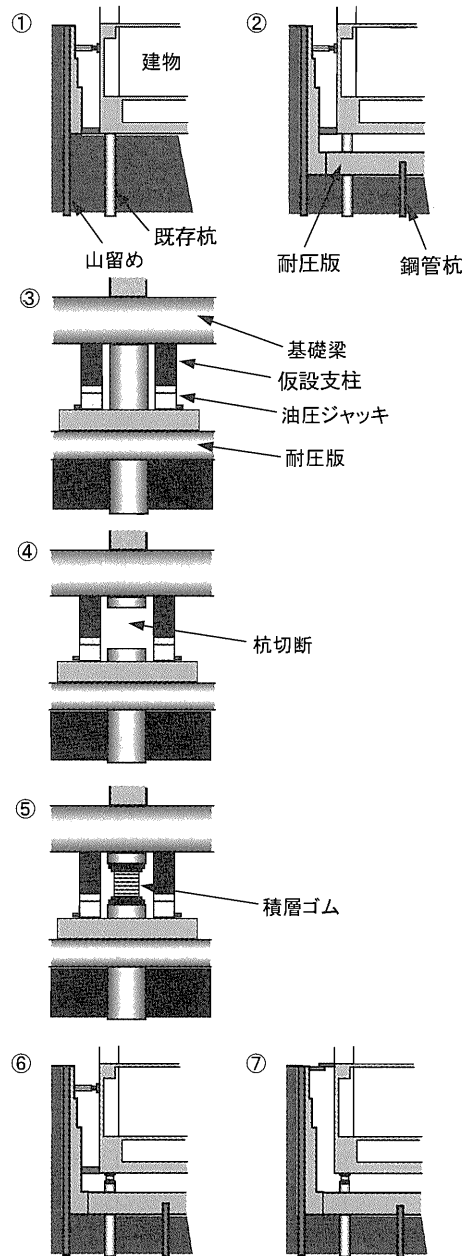
表一に示すように、免震レトロフィットは免震層を形成する場所により、基礎免震、杭頭免震、および中間階免震に分類される。基礎免震は、既存基礎と新たに構築した基礎との間に積層ゴムを設置する方法であり、杭頭免震は、上部構造体を支持しながら切断した杭の頭部に積層ゴムを設置する方法である。中間階免震は、地下階あるいは地上階の柱を切断し、積層ゴムを設置する方法である。基礎および杭頭免震では、大地震時の変形追従を確保するためのドライエリアが必要になり、敷地周囲に余裕があることを条件とする。

さらに、一般的に地震力を約1/3に低減できると言われている免震効果を期待するためには、建物の剛性が大きいこと、地盤が極端に軟弱でないことなどの条件があり、基礎を含めた既存建物の耐震性能を正確に把握したうえで、慎重に計画を進めることが重要になる。

3. 工事手順

図一に示すのは、杭頭免震の一般的な工事手順例である。

- ① 山留めと建物との間に、擁壁躯体と切梁を配しながら、建物外周を掘削する。
- ② 建物下部を掘削し、必要に応じ鋼管杭を圧入して、耐圧版を施工する。
- ③ 上部構造体を支持するジャッキと仮設支柱を設置して、ジャッキアップによるプレロードを行う。
- ④ 仮設支柱が上部構造体の鉛直荷重を支持している状態で、水平方向に杭を上下2回切断し、塊を抜取る。
- ⑤ 積層ゴムを取付ける。
- ⑥ ジャッキダウンによるプレロード除荷を行い、上部構造体の鉛直荷重を積層ゴムに移し



図一 杭頭免震の工事手順例

換える。ジャッキ、仮設支柱を撤去する。

- ⑦ 切梁などを撤去し、ドライエリアを形成する。

中間階免震の場合は、①と②を除いてほぼ同様な手順であるが、エレベータを免震対応にすること、仕上げ材、配管、耐火被覆などを変形追従型に変更することなどがある。

工事期間中に地震が発生する可能性はあり、建物の水平耐力を現状維持させる安全対策を施しておく必要がある。方法としては、地震時補強プレートなどを使用して、積層ゴム設置後に切断位置の上下を緊結すること、ドライエリアに建物の水平変形を抑えるジャッキなどを設置することなどがある。

4. 開発技術

(1) 課題

表-2に、解決しなければならない技術課題を示す。建物を使用しながら工事を行うという特殊性から、管理面では建物使用者と工事関係者に対して安全を確保すること、および既存建物の品質を維持すること、施工面では工事中に発生する音と振動を無くす、あるいは極力抑えることが重要になる。

表-2 技術課題

技術課題	要求事項	新規開発
山留め・掘削	高効率	—
鋼管杭圧入接合	高効率	○
上部構造体支持	安全確保 品質維持	○
プレート	安全確保 品質維持	—
切断	低騒音低振動 高効率	—
切断塊抜取り	安全確保	○
積層ゴムハンドリング	安全確保	○

(2) 山留め・掘削

山留めと掘削は、既存の技術で十分対応できる。山留めは周囲に影響を与えない圧入などの低騒音工法を、掘削は高さが制限されるため低床式機械を、各々適用することが多い。

(3) 鋼管杭圧入

既存建物底部の高さが狭い空間で行う鋼管杭の圧入と接合作業を、効率よくかつ安全に行うために、図-2に示す鋼管杭圧入接合システムを開発した。システムは、油圧ジャッキとベースマシンから構成される。油圧ジャッキには、圧入のためのリブが付いている。ベースマシンは、高さ約3mの狭いスペースにおいても機動性が高く、全体の作業効率を大幅に向上できる。手順は、

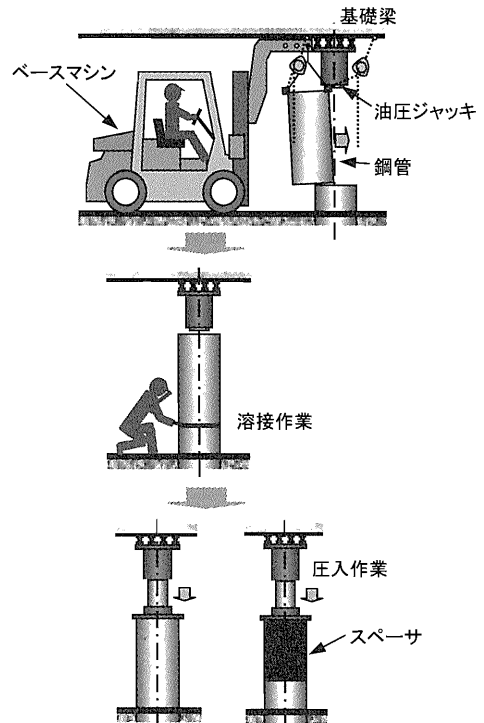


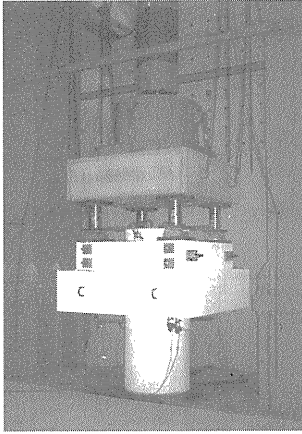
図-2 鋼管杭圧入接合システム

ベースマシンで鋼管杭を据付け、杭との溶接を行い、基礎梁を反力として初期圧入を行った後、スペーサを挟みながら圧入を行う。

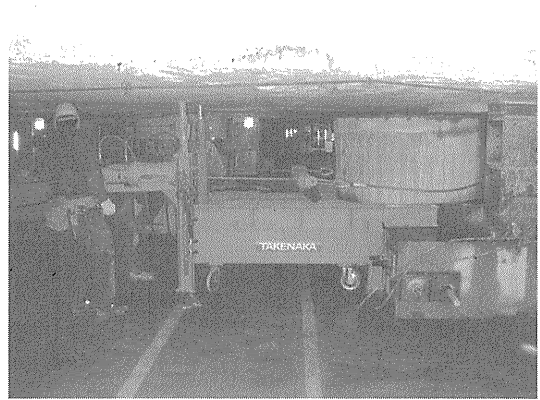
(4) 上部構造体支持

切断する杭や柱に代わって、上部構造体の鉛直荷重を安定に支持する技術は、建物に有害な変形を与えない、すなわち建物の品質と使用者の安全を確保する重要な課題である。支持方法は、建物の固有条件に依存されるため、解析と実験を行いながら、慎重に計画する必要がある。

中間階免震では、大梁間をH鋼とジャッキで軸力を仮支持する方法と、柱間を鋼板で仮支持する方法がある。杭頭免震の場合は、既存の杭を利用して、ジャッキと仮設支柱を設置する架台を、杭との付着力、PC鋼棒の締付けによる圧着力、およびアンカー筋により支持する方法がある。写真-1は、その構造性能を確認した実験である。実験では、設計荷重の約3倍の荷重に耐えられることを確認している。この方法は、圧着力の効果が大きく、高い剛性を安全に保持することができるため、優れた支持方法であると考えている。



写真一 圧着力による支持構造実験



写真二 切断塊抜き取り装置

(5) プレロード

プレロードは、事前の施工時解析から算出した軸力を基に導入荷重を決定し、建物に損傷を与える無理な変形を発生させないように行う。

(6) 切 断

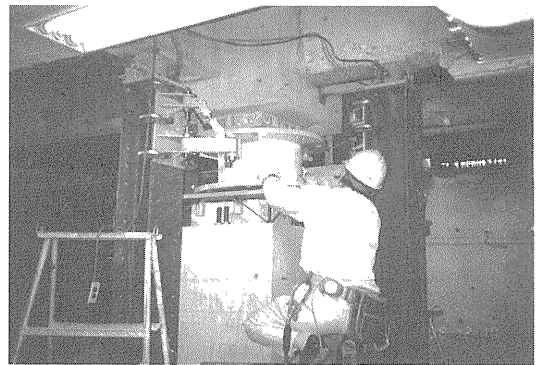
杭や柱を2回水平切断して、積層ゴムを組込む空間を形成する。切断は、ワイヤソー工法が一般的である。理由は、他の切断工法と比較して低騒音・低振動であること、構造種別に関わらず、大断面を高い精度で速く切断できることである。

(7) 切断塊抜き取り

切断した塊の抜き取りは、数トンにもなる重量物を取扱う危険な作業である。そのために、機械化された装置を開発することにより、安全の確保と作業効率の向上を図った。写真二は、開発した切断塊抜き取り装置である。抜取る塊の周囲に回したワイヤロープを、装置の後方に設置した2台の油圧ジャッキでたぐり寄せることにより、レール上を滑らせながら、塊を抜取る。

(8) 積層ゴムハンドリング

積層ゴムのハンドリングは、一般的にはフォークリフトなどの重機などで計画される。しかしながら、床の耐力から、重機の使用が制限される場合がある。開発した積層ゴムハンドリングマニピュレータの重量は約40kgで、上部構造体を支持している仮設支柱に取付けるため、床の耐力に



写真三 積層ゴムハンドリングマニピュレータ

制限されることなく使用できる。約300Nの力で最大1.5tの重量物を水平移動でき、位置決めの際の微調整も簡単に行える。2本のマニピュレータで、積層ゴムの上部プレートを下から支えるように保持するため、積層ゴムが通過できる最小スペースで水平移動できる。さらに、把持部分のアタッチメントを交換することにより、切断した塊を撤去する機能もある。

写真三は、実験工事の状況である。マニピュレータを使用して、切断した塊の抜き取り、積層ゴムのハンドリングを行った。マニピュレータ先端に装着した爪を差込んで塊を除去した後、積層ゴムを把持し、固定する位置へ水平移動した。当初の予定通り、2人の作業員により、すべての作業を行った。

5. 計測による施工管理

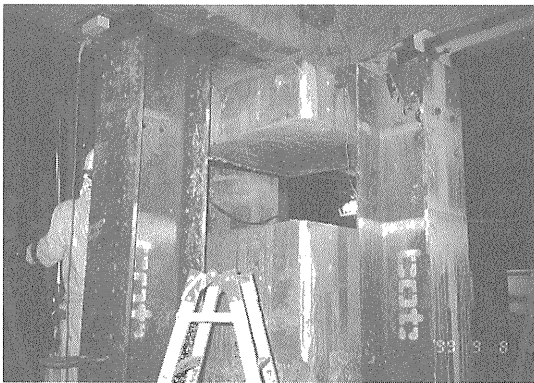
免震レトロフィットは、既存建物の品質を確保

しながら工事を進めていくことが重要である。そのため、建物の変形やジャッキが負担する荷重などを常時計測しながら、施工管理を行う必要がある。計測はセンサなどを使用して自動で行われ、データはパソコンへ転送後、表示および保存される。事前に行った施工時解析と実施工の計測データを、リアルタイムに比較することが可能になり、品質と安全を厳密に管理できる。また、次工程への判断や指示を、迅速に決定して伝達できる。

6. 実際の施工状況

(1) Aビル中間階免震

1972年に竣工したAビルの免震レトロフィット工事をを行った。施工階は1階で、28本の柱に積層ゴムを取付けた。B1階～8階で通常の業務が行われており、施工階においては工事を区画することにより、建物使用者の動線を確保した。写真—4と写真—5は、施工状況である。建物の構造はSRC、柱の断面寸法は1,000×1,000 mmで



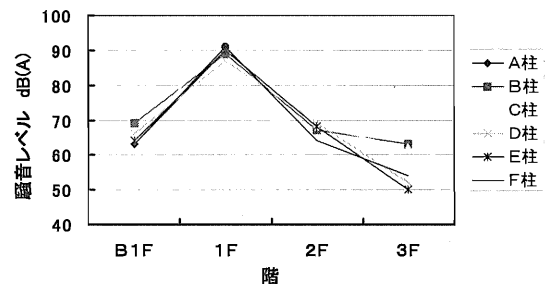
写真—4 柱切断後の状況



写真—5 積層ゴム取付け状況

あった。梁の耐力に十分な余裕があるため、油圧ジャッキとH鋼により、大梁間を支持した。

切断には、柱に直接固定するミニワイヤソー装置を使用した。柱に巻付けたワイヤソーを、約500 Nの張力を掛けながら秒速20～30 mで高速循環させ、駆動プーリがレール上を柱から離れる方向へ移動することにより、切断は進行する。ミニワイヤソーは、対象とする柱周辺の極めて小さいスペース内で作業をできる利点がある。柱の切断時間は、1切断面あたり約60～70分であり、柱1本につき2回の切断を行った総作業時間は、準備を含めて約4～5時間であった。図—4は、切断時にB1階～3階の騒音レベルを計測した結果である。騒音レベルは、施工階である1階は約85～90 dB (A)であるが、2層上階の3階はほぼ暗騒音レベルであり、通常業務に支障がないレベルであった。同様に、振動レベルは全階において40 dB以下で、全く問題がない数値であった。

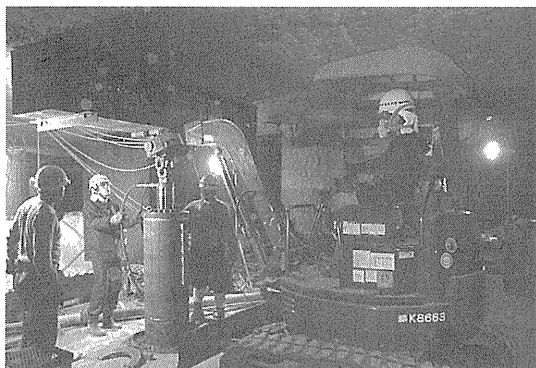


図—4 切断時の騒音レベル

(2) Bビル杭頭免震

Bビルの免震レトロフィットは、杭の頭部に積層ゴムを取付ける杭頭免震である。建物重量が約10万t、取付ける積層ゴムが264基であり、その規模は日本で最大、世界においても2番目に相当する。工事の目的は、大地震に対してもコンピュータ機能を停止することなく、安全性を飛躍的に高めることであり、建物をいつものとおり使いながら工事を進めている。

杭を露出させるための掘削工事は、コベルコSK-20 SR, 同SK-13, コマツPC-35を使用した。掘削土には、粉末状の水分吸収剤を混合して攪拌し、固化させた後に搬出した。耐圧版の荷重を負担する鋼管杭の施工には、前述した圧入接合シス



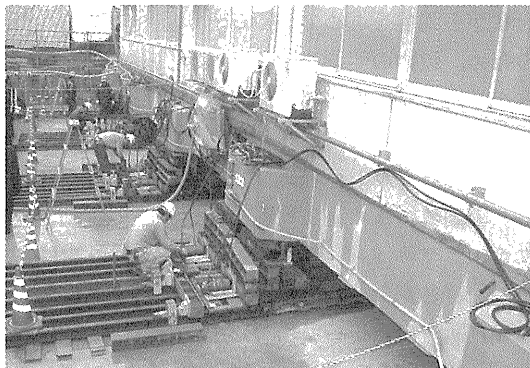
写真一六 鋼管杭圧入状況

テムを適用した。写真一六は、施工状況である。また、鋼管の接合時間を更に短縮するため、フラッシュバット溶接による圧入接合装置を新たに開発し、一部の施工へ適用した。フラッシュバット溶接による接合時間は約4分で、通常の溶接時間と比較して、作業の効率化を図ることができた。

事前の施工時解析では、構造体支持や切断作業をモデル化し、各ステップごとの軸力や基礎梁の応力変形を予測した。それらのデータから、プレロード値、切断順序などを決定し、工事を進めた。上部構造体支持は、前述のPC鋼棒による圧着方法を適用した。プレロード後、ワイヤソー工法で同時に3~4本の杭を切断し、約3トンの塊を抜き取り装置で撤去した。高さ1,800mmで使用できるように改造した低天井型フォークリフトを使って、積層ゴムを取付け位置へ搬送して固定させた後、杭との隙間に高流動モルタルを充填して定着させた。

(3) Cビル基礎免震

既存の建物を水平方向に移動させ、移動先に新設した杭、および既存の杭に積層ゴムを取付けて免震化する工事を行った。建物の重量は約2,000トン、移動距離は約8.2mで、建物の機能は停止せずに全工事を行った。写真一七は、施工状況である。水平移動には41台の転動装置を使用した。転動装置は、レベル調整用のなじみ板に敷並べたレールの上に、直径60mmの鋼製棒を設置したもので、仮受け架台とサポートジャッキにより、既存基礎を支持した。推進装置は、ストローク200mmの50トンジャッキを8台使用し、盛替えなどを含め、建物は1時間で80cm移動した。



写真一七 Cビル基礎免震施工状況

水平移動距離は3台のエンコーダにより常時自動計測を行い、建物全体のレベルは、既存基礎部に設置された水盛計で計測した。施工時計測によりリアルタイムで状況を把握することができ、建物を安全に移動させ、免震化することができた。

7. おわりに

今回は、建物を使いながら行う免震レトロフィット工事に関して、開発した技術と実際の施工について述べた。工事の実施に際しては、基本計画段階において耐震性能ばかりではなく、施工計画についての検討を細部にわたり行うこと、開発した技術を効果的に活用することがポイントになる。今後は、数多くの工事実績を重ねる中で、改善を重ねながら多くの技術を蓄積し、高い付加価値のある免震レトロフィット施工法として確立させていきたい。

J C M A

【筆者紹介】

宮崎 貴志 (みやざき たかし)
株式会社竹中工務店
技術研究所先端研究開発部
主任研究員



梅国 章 (うめくに あきら)
株式会社竹中工務店
技術研究所先端研究開発部
主任研究員

