

# 既存超高層建物の長周期地震動対策技術の開発と適用

## T-RESPO 構法

細澤 治・木村 雄一・青野 英志

近い将来、東海地震などの巨大地震が発生することが予想されている。その時に発生する長周期地震動が、大きなエネルギーを保持したまま震源から遠く離れた場所に伝わり、共振により、超高層建物を長時間大きく揺らす恐れのあることが、最近の研究により指摘されている。

本技術は変位依存型オイルダンパーを用い、既存架構への負荷を制御することにより、既存架構を補強することなく、長周期地震動に対する建物の変形と振動継続時間を抑制し、安全性を確保するものである。また、制振ダンパーの設置においては、床と梁を上下のベースプレートで挟み、PC鋼棒で締め付ける圧着工法を開発することにより、建物を使いながらの工事を可能とした。

キーワード：超高層建物、長周期地震動、制振、オイルダンパー

### 1. 長周期地震動とは

2003年十勝沖地震では、震源から約200km離れた苫小牧の石油貯蔵タンクが被害を受けた。また、2004年新潟県中越地震では、震源から約200km離れた東京の超高層建物で、エレベーターが損傷を受けた。これらの被害は、長周期地震動が原因だと考えられている。

長周期地震動とは、ゆっくりとした揺れの成分を多く持った地震動のことである。巨大地震時に発生し、震源地から遠く離れた場所まで伝わる。また、地震の継続時間も長く、共振により、周期の長い超高層建物を長時間大きく揺らす恐れがある。

また、既存超高層建物は、建設当時の想定と違い、供用期間中に遠方の巨大地震を含めた複数回の巨大地震の影響を受ける可能性がある。長時間の揺れにより、塑性部の累積損傷が限界値に達する恐れもあり、建物の変形と部材の損傷を低減する必要がある。

図-1は、東海地震が発生した場合の、関東平野の揺れをシミュレーションしたものである。近年、東海地震や東南海地震、南海地震などの巨大地震が発生する可能性が高まっている。これらの巨大地震が発生すると、関東や中部、近畿地方の超高層建物に影響を与えると考えられている。

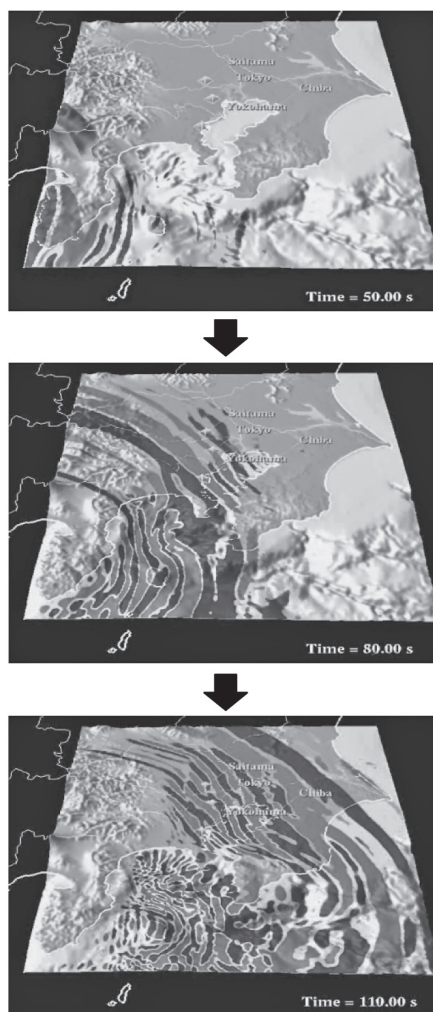
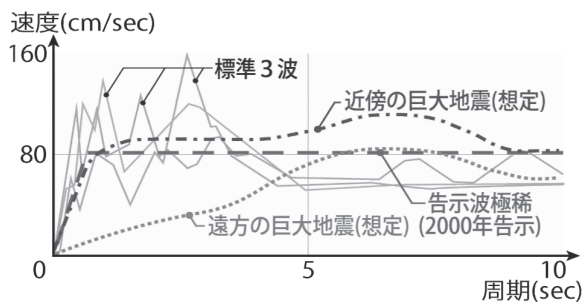


図-1 東海地震のシミュレーション（関東平野）

## 2. 設計用地震動の変遷

大都市圏では、数多くの超高層建物が建設されているが、既存超高層建物の中には、長周期地震動を考慮せずに設計されたものもある。

超高層建物は振動解析を行い、その構造安全性を検証している。2000年以前に設計された超高層建物の多くは、固有周期の長い領域で地震力の小さい地震動（標準3波など）のみを用いて、振動解析を行っていた。2000年には、長周期成分を考慮した地震動（告示波）を用いることが告示化された。しかし、図—2に示すように、堆積層の厚い平野部では、巨大地震が発生すると、長周期成分が軟らかい堆積層で増幅され、周期の長い領域で告示波より大きな地震力となる恐れがあることが、最近の研究で明らかになってきた。



図—2 設計用地震動の速度応答スペクトル (h = 5%)

## 3. 既存の耐震補強技術の問題点

既存の耐震補強技術としては、耐震補強、免震化、制振補強の3つがある。

耐震補強（図—3）とは、耐震壁やブレース等を付加することにより、建物の剛性と強度を増す補強法である。低層建物の補強に多く用いられているが、柔構造である超高層建物の補強には適していない。

免震化（図—4）とは、既存建物の基礎下や中間階



図—3 耐震補強の例



図—4 免震化の例

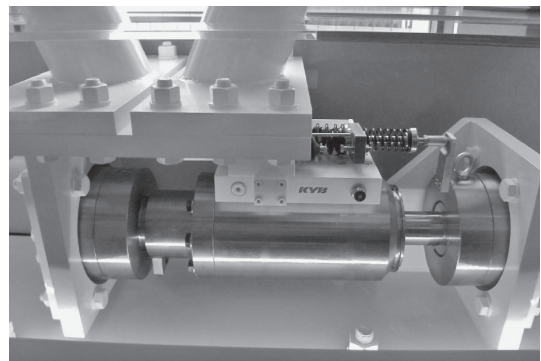
に積層ゴムなどの免震装置を設置し、揺れを低減する構法である。しかし、既存超高層建物では柱軸力が大きいので、ジャッキアップなどの施工が難しくなる。また、塔状比が大きいと、免震層に引張力が作用するという問題が生じる。

制振補強は、履歴型ダンパーや、オイルダンパーなどを建物に組み込み、減衰力を付加し、揺れを低減するもので、既存超高層建物の補強に適していると言われている。しかし、ダンパー負担した減衰力の反力が、ダンパーの周辺部材に作用するため、既存の柱や梁、基礎を補強する必要が生じるという問題点があった。

## 4. 変位依存型オイルダンパー

今回開発した、変位依存型オイルダンパーの写真写真—1に、仕組みを図—5に示す。ダンパーの変形が小さい領域では、通常のオイルダンパーと同じ特性を持つ。しかし、変形が大きくなると、重なり合った溝からワンウェイのバイパス経路をオイルが流れ、減衰力が小さくなる。ピストンが戻る時は、バイパス経路の弁が閉じるので、通常のオイルダンパーと同じになる。

変位依存型オイルダンパーは、大地震時の最大変形付近でオイルダンパーに発生する力を制御し、周辺架



写真—1 変位依存型オイルダンパー

構に付加応力が発生しないため、**図-6**に示すように、既存の柱や梁、基礎を補強する必要がなく、既存超高層建物の長周期地震動対策に適している。

ダンパーは、①外付けバルブ圧力耐久試験、②外付けバルブ作動耐久試験、③リンク作動耐久試験、④速度依存性能試験、⑤変位依存性能試験を行い、耐久性、性能とも問題ないことを確認している。変位依存性能試験の状況を**写真-2**に、試験結果を**図-7**に示す。小さな変形領域では通常のオイルダンパーとほぼ同様の履歴形状だが、大きい変形領域では外付けバルブが作動し、減衰力が低下していることが分かる。

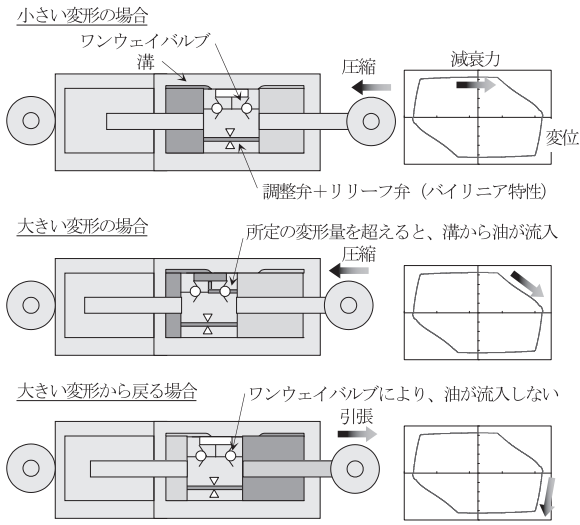


図-5 変位依存型オイルダンパーの仕組み

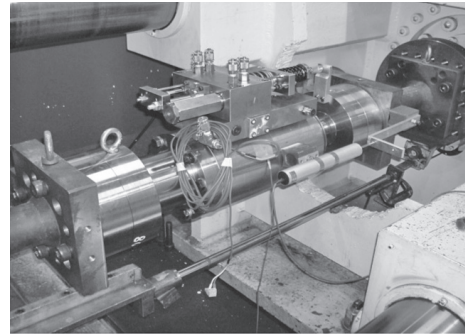


写真-2 速度依存性能試験状況

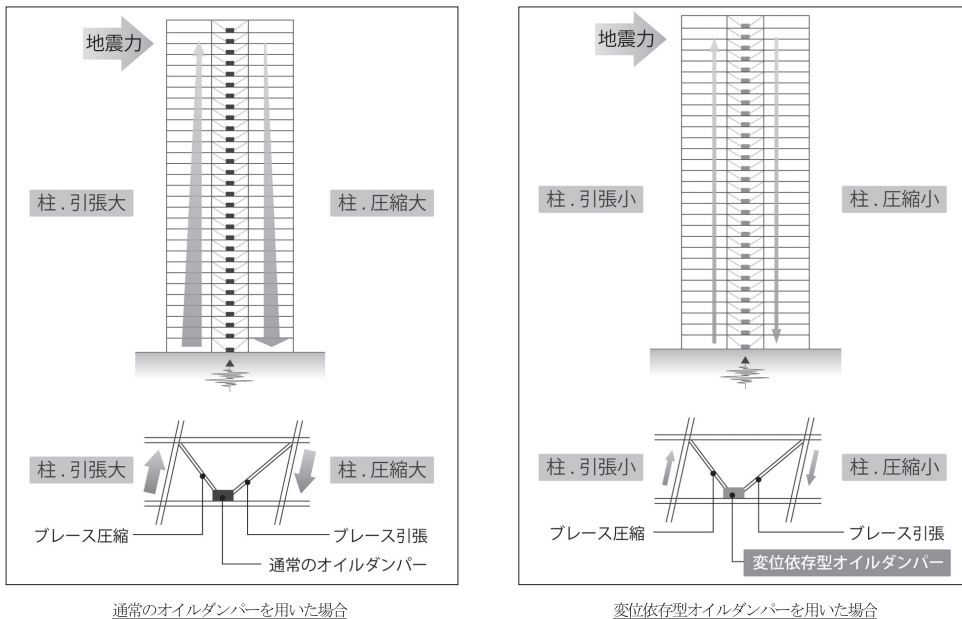


図-6 地震時のダンパー周辺部材への付加応力

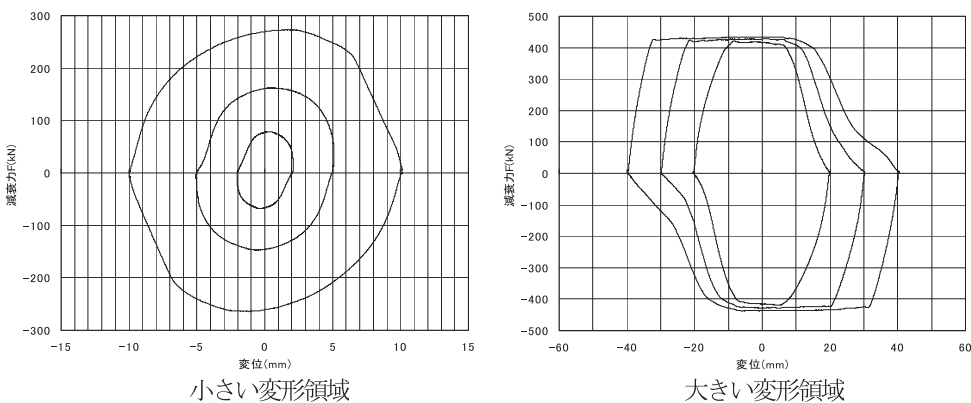


図-7 速度依存性能試験結果 (0.2 Hz)

### 5. 新宿センタービルの制振補強

新宿センタービルは、1979年竣工の高さ223mの事務所ビルである（写真—3）。この建物は、建設当時から100年建築を目指しており、当時の最先端技術を用いて設計されていた。その一つとして、鉄筋可撓耐震壁という制振壁がコア部に、短辺方向各階12枚、長辺方向各階20枚設置されている。



写真—3 新宿センタービル

鉄筋可撓耐震壁とは、一枚の鉄筋コンクリート壁板を上下二つに分割し間隙を設け、そこに鉄筋をくしの目状に挿入したもので、建物剛性の調整を図っている。また、この鉄筋可撓耐震壁は、鉄筋の曲げ靱性にエネルギー吸収機能を期待した制振耐震壁でもあり、この制振効果により、30年前に設計されたにもかかわらず、告示波による最大層間変形角は1/120程度で、現行基準に適合している。

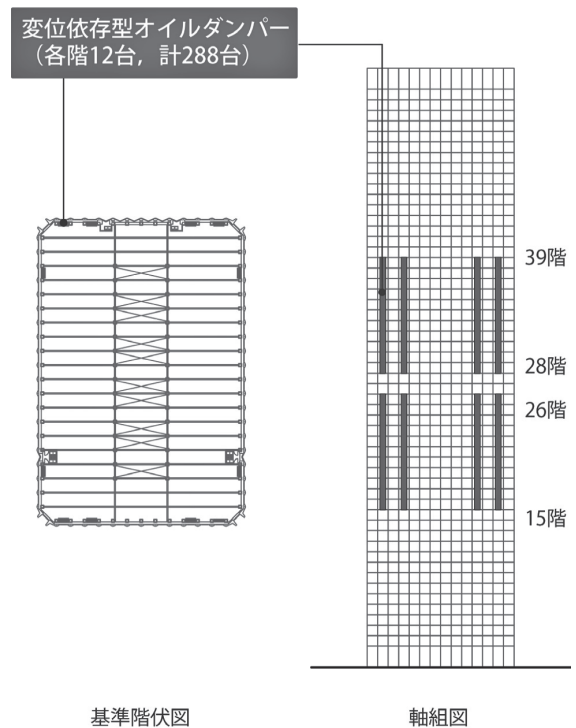
しかし、建物を長く使い続けるということは、長周期地震動の影響を受ける確率が高くなることを意味しており、供用期間中に長周期地震動の影響を複数回受ける恐れもある。そこで、安全性だけでなく、修復性や事業継続性を考慮し、長周期地震動対策を行うことになった。高さ150mを超える建物では、世界初の長周期地震動対策工事である。

長周期地震動対策として、建物に減衰力を付加し、最大変形はもとより、後揺れを低減することを目的とし、変位依存型オイルダンパーを建物外周部に設置した（写真—4）。近傍の巨大地震（関東地震）と遠方の巨大地震（東海地震）を想定し、最大層間変形角が1/100以内となるように、層間変形角が大きくなる層を中心に、288台のダンパーを設置している（図—8）。

ダンパーに取り付けるブレースやベースプレート



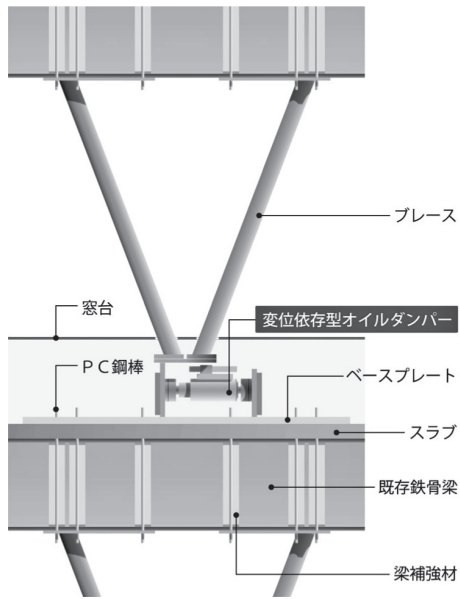
写真—4 ダンパー設置状況



図—8 制振ダンパーの設置位置

は、図—9に示すように、PC鋼棒を用いて大梁と圧着接合しており、現場溶接は行っていない。また、非常用EVで運搬することを考慮し、ダンパー取り付け部材を、運搬可能なサイズに分割し、現場で高力ボルト接合している。

工事は、テナントが業務している貸室内での施工（1テナント内での施工期間が約1ヶ月間の夜間工事）であり、入居者の業務に支障をきたさない最善の施工計画を立案した。また、ダンパー、ブレース、梁、スラブをPC鋼棒により圧着接合するため、施工当該階と上下階の計3フロア分のテナントと工程調整し、工程に基づき毎夜作業の遅延なきよう進捗させる必要が



図一9 ダンパー取付部詳細

あった。これらの命題を解決させるための具体策として、①日中の工事エリア区画を最小限にするため、仮囲いについては施工場所の柱面にアコーディオンカーテンを設置し室内の美観にも配慮しながら、日中の執務スペースの確保、②重量物搬送の利便性のため専用台車を開発・製作、③作業の安全性向上及び効率化のため重量物（制振ダンパー約 400 kg やブレース約 270 kg 等）の取付機械を開発、製作し工事を行なった。

その結果、工事範囲には 32 テナントが入居していたが、全テナントと上記の綿密な確認、調整打合せを行ない、テナントの協力の下、一切問題を発生させず、工事期間 10 ヶ月で施工終了した。図一 10 に施工時の写真を示す。

## 6. まとめ

世界的に見ても、日本は自然災害の多い国で、特に東海地震などの巨大地震は、いつ発生してもおかしくない状況にあり、事業継続への社会的要請が顕著になりつつある。東北地方太平洋沖地震において、長周期地震動対策を行った新宿センタービルでは、制振ダンパーの効果により、建物の最大変形が約 25%、地震終了後の後揺れの時間が約 50% 低減されたことが確認された。既存超高層建物においても、安全性や事業継続性を改めて見直し、より価値の高いものにしていく需要が、今後ますます高まってくるものと思われる。

JICMA



①施工時の仮囲い

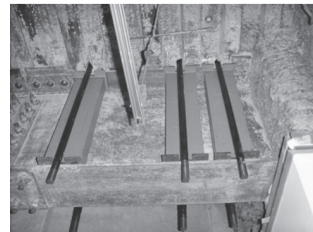
② PC 鋼棒用床孔あけ



③ベースプレート下グラウト充填



④ PC 鋼棒に緊張力導入



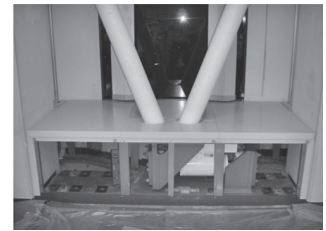
⑤梁補強材の設置



⑥ブレースの設置



⑦制振ダンパーの設置



⑧窓台の設置

図一 10 施工時の写真

### 【筆者紹介】

細澤 治 (ほそざわ おさむ)  
大成建設㈱  
設計本部  
理事副本部長



木村 雄一 (きむら ゆういち)  
大成建設㈱  
設計本部  
グループリーダー



青野 英志 (あおの ひでし)  
大成建設㈱  
設計本部  
プロジェクトエンジニア

