

「シーバンスS館」 制振改修について



松井 和幸
清水建設



渡辺 泰志
同



岡田 睦
同



鷹羽 直樹
同

1 はじめに

2011年3月の東北地方・太平洋沖地震では、震源地に近い東北地方はもちろん、首都圏や遠く離れた大阪平野でも超高層ビルはこれまでに経験のない大きな揺れに見舞われた。構造体の損傷に関する報告は無いものの、天井や間仕切り壁等非構造部材の被害、家具・什器の転倒等が多く報告されている。また、長時間に亘る揺れにより在館者の多くは大きな恐怖心を抱いた。

東京港区にあるシーバンスS館では非構造部材を含めて被害は報告されていないが、竣工から20年余を経てバリューアップ工事が計画されたことに伴い、発生が危惧されている巨大地震（東海・東南海・南海3連動地震、東京湾北部直下地震、元禄関東地震の3地震を想定）に対する耐震性能の向上を目的として制振改修工事を行った。ここでは、本工事に採用した新制振システムについて報告する。

2 建物概要



図1 建物外観

本建物は、1991年に竣工した地上24階の鉄骨造事務所ビルである（図1）。基準階平面は桁行方向、スパン方向ともに6.4mスパンで構成された51.2m×51.2mの正方形である。以下に建物概要を示す。

建 物 規 模：S造、一部RC造

地下2階 地上24階 塔屋1階

延 面 積：74,222m²

最 高 高 さ：106.0m

用 途：事務所

3 制振改修概要

改修工事にあたっては、事務所フロアへの影響を減らすことを前提として制振装置の設置個所数を少なくするため慣性質量効果を利用した新しい制振装置（DYNAMIC SCREW）とオイルダンパーを組み合わせた制振ユニットを低層階に集中配置するハイブリッド集中制振システムを適用した。制振ユニットは桁行方向、スパン方向共に14基ずつの28基を配置し、設置階はコア廻りに桁行方向で1～4階、スパン方向で1～7階とし、スパン方向は既存のPC耐震要素を制振ユニットに置き換えた（図2）。

4 DYNAMIC SCREWと制振ユニット

回転慣性質量効果を用いる制振装置（DYNAMIC SCREW）は、装置の両端に生じる軸方向の直動運動をボールねじとボールナットの組合わせで回転運動に変換し、ボールナットに緊結された回転錘の回転により実質量の数千倍におよぶ大きな慣性質量を得る装置である。左端でボールナットを回転自在に軸方向変位拘束、右端でボールねじを軸方向変位自在に回転拘束することで、ボールねじの軸方向変位

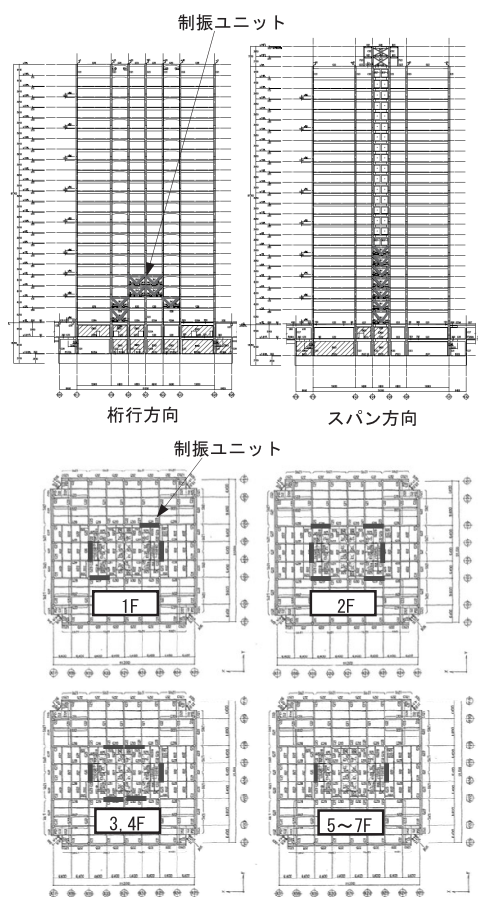


図2 制震ユニット配置

x により回転慣性モーメント I_θ を持つ回転錘が θ 回転し軸方向力 P が発生する (図3)。(1) 式に両端の相対加速度 $\ddot{x}$ に対する軸方向力 (負担力) P の関係を示す。

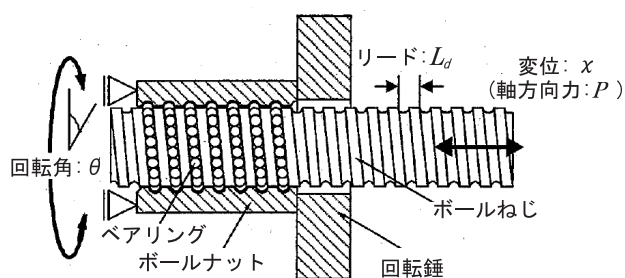


図3 DYNAMIC SCREWの基本構造

$$P = \left(\frac{2\pi}{L_d} \right)^2 I_\theta \ddot{x} = \frac{\pi^2 D^2}{2L_d^2} m_r \ddot{x} = m_d \ddot{x} \quad (1)$$

ここで

L_d : ボールねじのリード

D : 回転錘の直径

m_r : 回転錘の実質量

m_d : 慣性質量

シーバンスS館で採用したDYNAMIC SCREWは、装置の最大外径500mm、全体重量約1200kgであるが、回転錘、ボールナット等の回転部の実質量約600kgに対して2500tの質量効果が得られ、質量拡大率は4200倍となる (図4)。

また、ボールナットと回転錘の接合面に摩擦板を設置して、過大な相対加速度入力に対する軸方向力を抑制できるフェールセーフ機構を設けている。

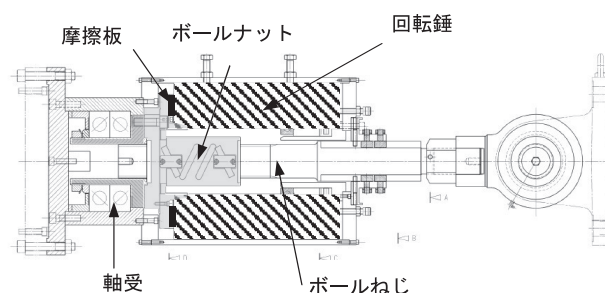


図4 シーバンス用のDYNAMIC SCREW

本制振ユニットは、DYNAMIC SCREWと軸ばね装置を直列に配置することで主架構とは別に付加振動系を構成し、主架構との周期同調を図ることで最大応答を大きく低減する効果が得られる (図5)。シーバンスS館では主架構の1次周期に同調する設定

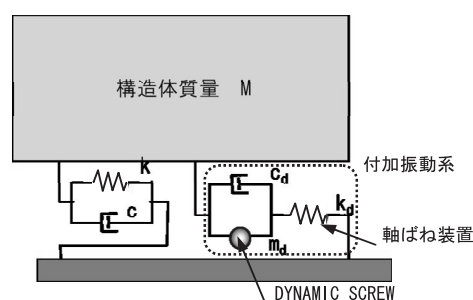
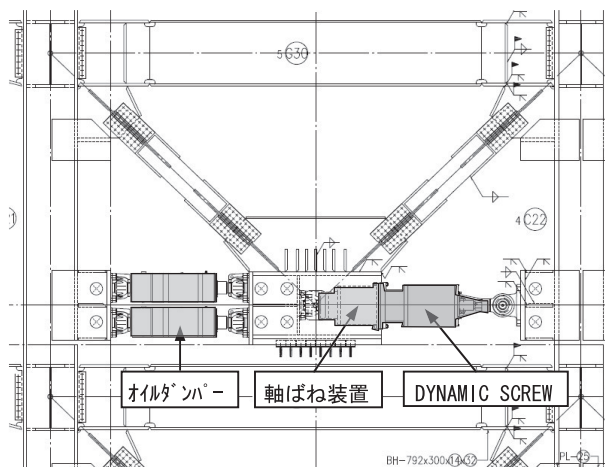


図5 制振ユニットと振動モデル概念

とした。このため主架構の1次周期が支配的となる長周期地震動特有の長時間継続する後揺れ時間を大幅に短縮する効果が得られる。付加振動系を構成する軸バネ装置は、皿バネを直列あるいは並列に重ね合わせて剛性調整を可能とし、圧縮・引張の両方向に有効な装置とした。

本制振ユニットではDYNAMIC SCREWが大きな慣性質量を持つため、風揺れ低減用に用いられる質量比の小さなTMD等と比べ主架構に対する質量比が大きくなり、同調周期帯のズレによる応答低減効果の減少は小さくなる。このため 建物の設計周期と実周期の差異による応答低減効果への影響はほとんどないと考えられる（図6）。

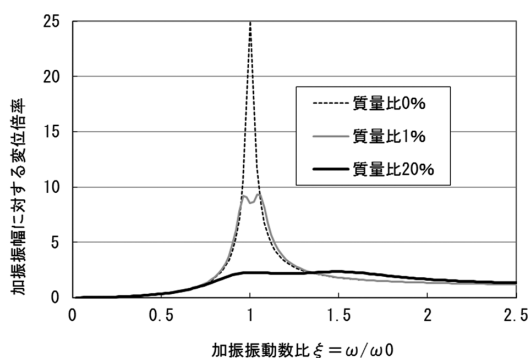


図6 質量比による応答低減効果（1自由度系）

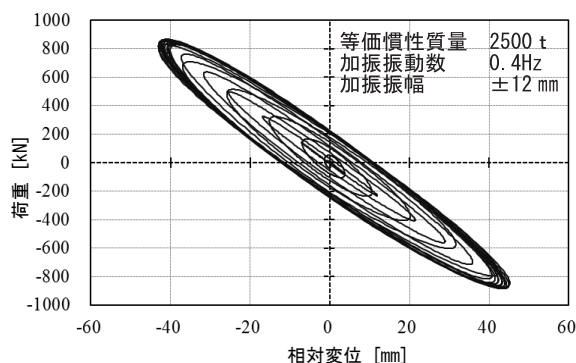
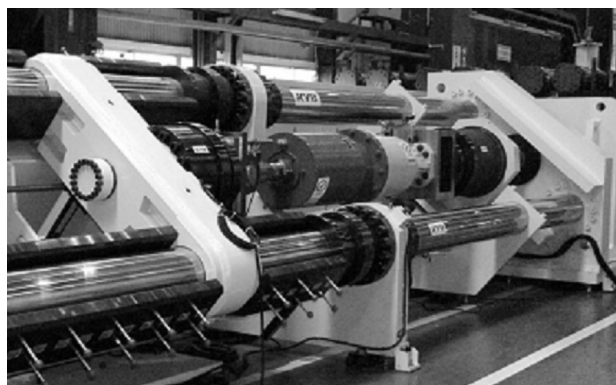


図7 DYNAMIC SCREW加振実験と荷重—変形関係

また、DYNAMIC SCREWは装置両端の相対加速度に比例する慣性力を発生し、正弦波加振時に変位とは逆位相となるため荷重—変形関係は負勾配を持つ（図7）。このため制振ユニットを設置した周辺架構の応力負担が軽減され、既存の柱・梁に対する補強は不要となる。

5 制振効果の検討結果

制振効果の検討は、原設計時に採用された地上部を24質点とする等価せん断型モデルを基本振動モデルとして行い、制振装置負担力の周辺架構への影響を検討するため併せて立体骨組モデルによる検討も行った。

検討用地震動は、既往波3波（EL CENTRO NS、TAFT EW、HACHINOHE NS）、告示波3波（近距離位相、遠距離位相、ランダム位相）、および発生が危惧される巨大地震として東海・東南海・南海3連動地震、東京湾北部直下地震、元禄関東地震を想定した地震動を当該敷地で評価した3波とした（図8）。

ここでは、基本振動モデルによって行った巨大地震に対する制振効果の検討結果について示す。なお、本建物の1次固有周期は桁行方向3.072秒、スパン

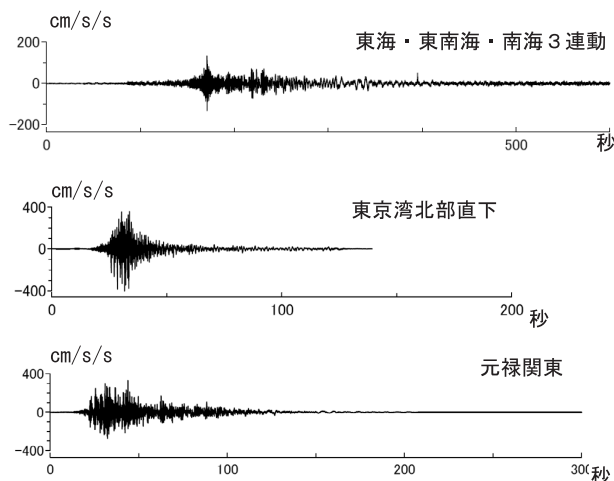
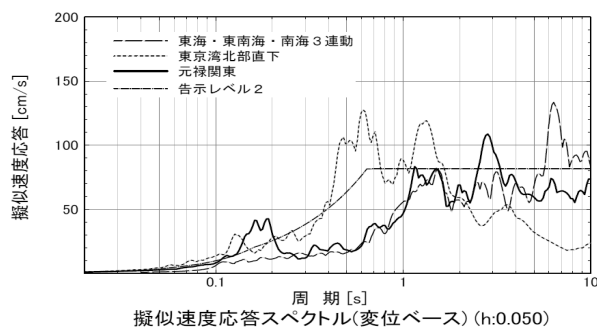


図8 検討用地震動

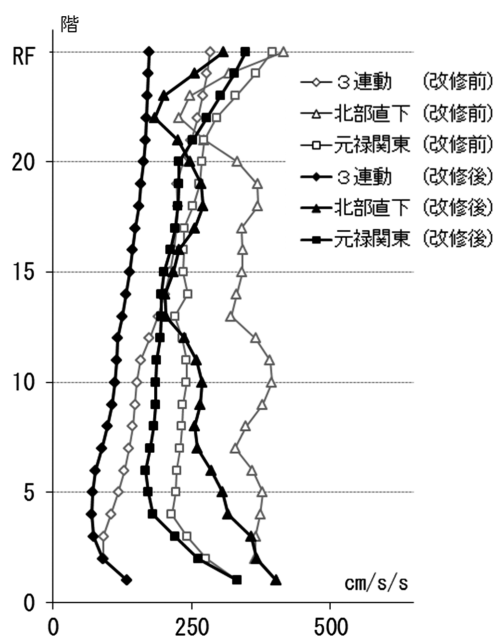


図9 最大応答加速度

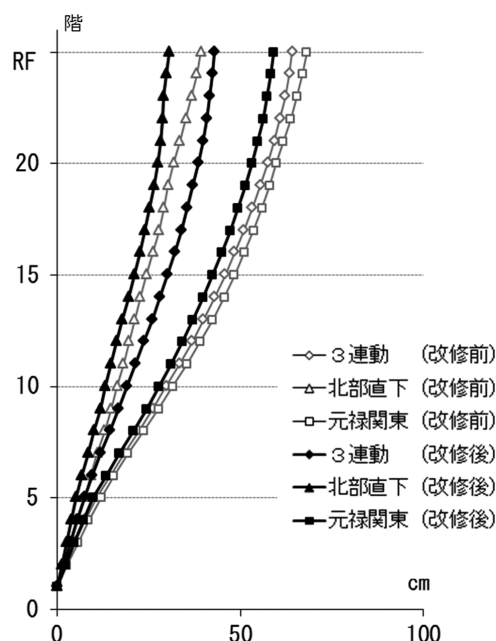


図10 最大応答変位

方向3.023秒である。

最大応答加速度は、25～40％程度の応答低減効

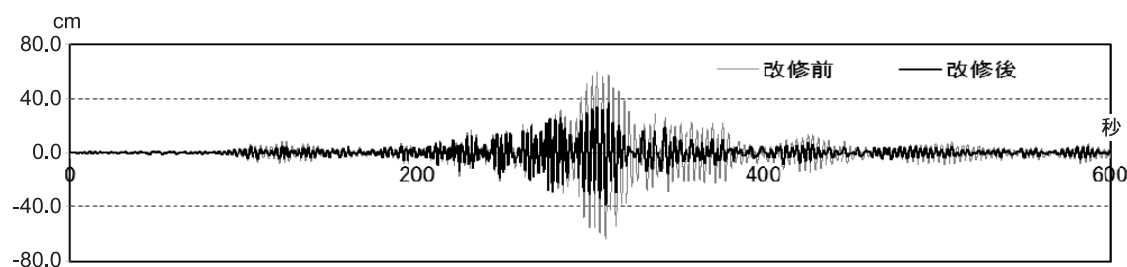


図11 東海・東南海・南海3連動地震に対する建物頂部応答変位波形

果が認められ、概ね250cm/s/s以下であることから家具・什器の転倒リスクの低減が図れるものと考えられる(図9)。最大応答変位は、15～35％程度の応答低減効果が認められた(図10)。また、東海・東南海・南海3連動地震に対する建物頂部の応答変位波形では、最大振幅の低減とともに長周期地震動に対する超高層建物固有の揺れ幅の大きな後揺れ時間も短縮され、改修前の最大振幅に対して振幅が1/5に低減されるまでの時間が約1/3となった(図11)。これは制振ユニットを主架構1次周期に同調させている効果と考えられる。なお、最大層間変形角および最大層せん断力は、いずれの地震動に対してもそれぞれ目標性能である1/100以下および保有水平耐力以下となった。

6 おわりに

シーバンスS館制振装置の取付工事は2012年4月～8月の5ヶ月で完了した(図12)。今後、一部の制振装置でモニタリングを実施し地震時挙動の検証を行う予定である。



図12 制振ユニット取付状況

<参考文献>

磯田和彦、半澤徹也、田村和夫：
慣性質量ダンパーを組み込んだ構造物への地震入力エネルギーに関する研究、日本建築学会構造系論文集第650号、pp.751-759、2010.4