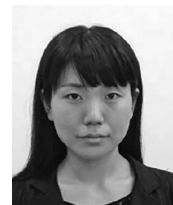


大成建設技術センターZEB実証棟

水谷 太朗
大成建設立山 香織
同欄木 龍大
同新居 藍子
同

1 はじめに

本建物は、ZEB（Zero Energy Building）の検証を主目的とした大成建設技術センターのオフィスビルである。敷地面積の限られた都市部においても建物単体での年間エネルギー消費量ゼロの実現を図っており、有機薄膜太陽電池外壁ユニット（創エネ）の他、最新の採光、照明、排熱、換気技術（超省エネ）を取り入れている。

次世代都市型オフィスのプロトタイプとして、先進的な環境技術の性能を最大限に発揮できる架構を構築し、同時にBCP対応として安心・安全に配慮した都市型小変位免震システムを採用している。

2 建物概要及び構造概要

建物規模は地上3階、棟屋1階で、平面形状は約30m×14m、最高高さ及び軒高はそれぞれ16.35m、12.75mである。各階主な用途は事務所で、外周にバルコニーが配置されている。

上部構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁付きラーメン構造としている。免震層直下の基礎は、十分な地耐力が期待できることから、布基礎上の直接基礎を採用した。現場打設コンクリートの強度はFc27～Fc36で、ポルトランドセメントの一部を大成建設が独自に開発した高炉スラグを原料とした副産物系混和材に置換した環境配慮型コンクリートを採用している。

1階南面のエントランスホールには、直径220mm、内法高さ3750mm（内法高さ/直径=17）の超高強度コンクリート（Fc300）を用いたスレンダーなPCa柱（Tas-Fine）を採用し、見通しが良く開放感のある空間を実現した。柱端部の接合は半剛接合形式を採用している。1スパン建物の片側一面に細柱



図1 建物外観

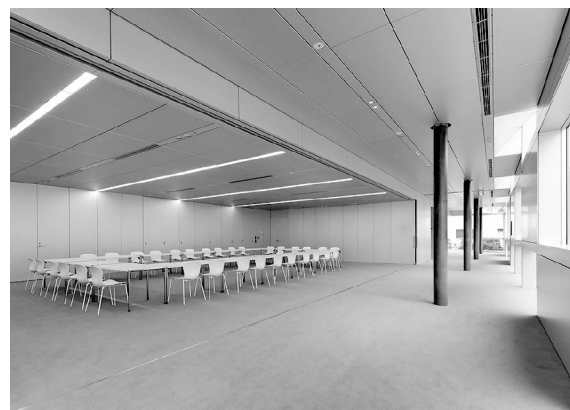


図2 エントランス内観

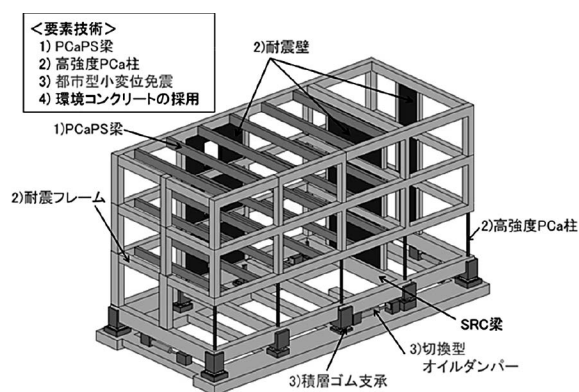


図3 構造概要図

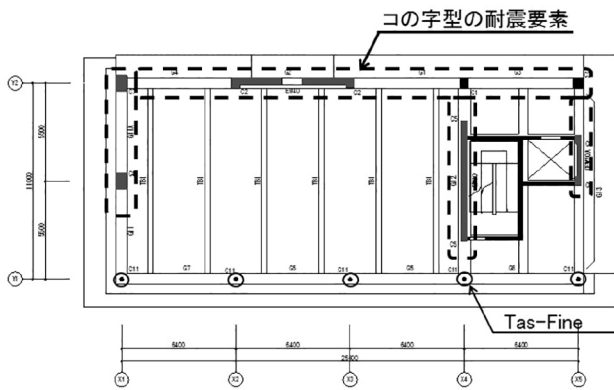


図4 耐震要素の配置

を配置することで地震時に平面的なねじれ挙動が生じるが、免震構造の優位性を活かすとともに、耐震要素をコの字形に配置して、ねじれ変形の抑制を図っている。

建物概要

用途：事務所
 階数：地下0階、地上3階、塔屋1階
 軒高：12.75m
 最高高さ：16.35m
 建築面積：428m²
 延床面積：1277m²
 所在地：神奈川県横浜市戸塚区名瀬町
 竣工：2014年5月
 設計：大成建設（株）一級建築士事務所
 施工：大成建設（株）横浜支店

3 都市型小変位免震システムの概要

本建物は次世代都市型オフィスのプロトタイプとして、密集市街地の狭小敷地での基礎免震を想定し、都市型小変位免震を採用している。

都市型小変位免震システムとは、「パッシブ切替型オイルダンパー」を用いた性能可変型免震システムである。「パッシブ切替型オイルダンパー」は、所定の変位量を超えると機械式のシャットオフ弁が作動し、低減衰モードから高減衰モードに減衰性能が切り替わる。これにより、発生頻度の高い震度5強程度までの中小地震に対しては、低減衰モードで通常の免震建物と同等の免震効果を発揮して居住者の安心感を確保し、万が一の震度6～7クラスの大地震に対しては高減衰モードに切り換わって、多少の加速度応答の増加を許容しつつ、免震層の変位を抑制することで、建物の安全性を確保することができる。

性能可変型免震システムとしては、電磁切替型の

可変オイルダンパーを用いたものが実用化されているが、センサー、コンピューターなどの制御システムと、作動信頼性確保のためのモニタリングシステムを備える必要があり、維持管理のためのメンテナンスが必須であった。これに対して、「パッシブ切替型オイルダンパー」を用いた都市型小変位免震システムは、それらが全て不要となり、高い作動信頼性の確保とメンテナンスの簡素化が図れる。

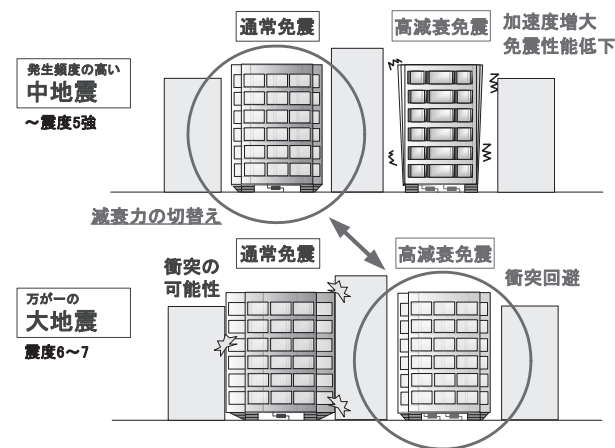


図5 都市型小変位免震システムの原理

4 パッシブ切替型オイルダンパーの仕様

図6にパッシブ切替型オイルダンパーの外形と油圧回路を示す。従来型のバイフロー型オイルダンパーに対して、変位検出のための変位検出ロッド、減衰係数切り替えのための機械式のシャットオフ弁、低減衰モード用の低減衰弁が追加された構造となっている。

【外形】

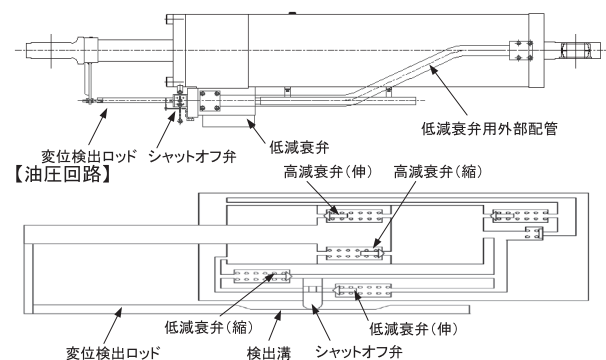


図6 外形および油圧経路図

図7に本ダンパーの作動原理を示す。本ダンパーは、高減衰モード用の減衰弁を有するシリンダー内部のピストン流路に加えてシリンダー外側に外部流路を設け、その流路内に低減衰モード用の減衰弁と機械式のシャットオフ弁を配置している。ピストン

ロッドに平行に接続された変位検出ロッドには、ダンパーの中立位置を中心に切り替え変位に対応した検出溝が切られており、シャットオフ弁のプランジャーが溝内に突出した状態となっている。ダンパー変位が切り替え変位以下では、シャットオフ弁が開いた状態となり、シリンダー内部の高減衰弁に加えて低減衰弁を油が流れるため、低減衰モードの特性が得られる。ダンパー変位が切り替え変位を超えると、プランジャーが検出溝を乗り越えてシャットオフ弁を押し込み、シャットオフ弁が閉じる。これにより、外部流路が閉鎖されてシリンダー内部の高減衰弁のみを油が流れるため、高減衰モードの特性に切り替わる。シャットオフ弁は一度作動すると閉じた状態を保持したままとなり、高減衰の特性に固定される。大地震後は、手動レバーで低減衰モードへ復帰させる。パッシブ切替型オイルダンパーは、外部からのエネルギー供給が不要であるため、メンテナンスフリーで取り扱いも容易である。

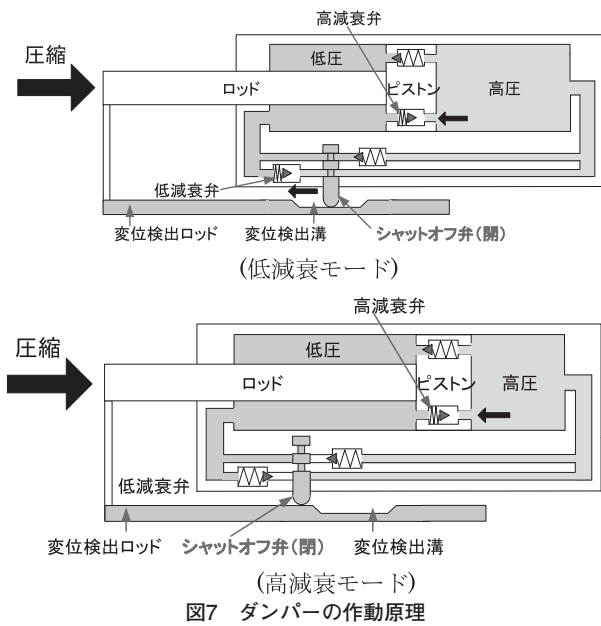


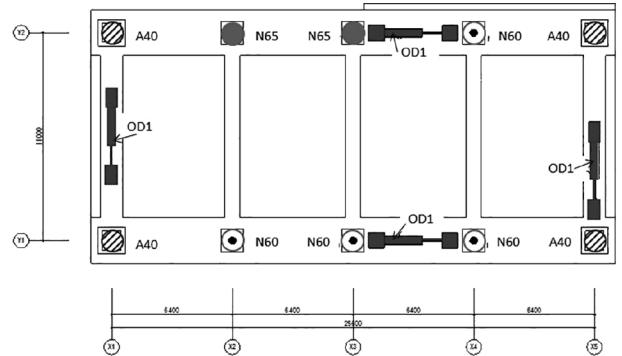
図7 ダンパーの作動原理

5 免震計画

天然ゴム系積層ゴム支承と低摩擦タイプの弾性すべり支承により長周期化を図り、主たる減衰材として切替型オイルダンパーを組み合わせている。極めて稀に発生する地震（レベル2）の免震層の変形量を約200mmに抑え、免震クリアランスを300mmに設定している。

切替型オイルダンパーの減衰特性を図9に示す。最大減衰力は750kNで、本建物では免震層の変形が100mmに達すると低減衰モードから高減衰モードに切り替わるように設定した。地震時建物重量

22,800kNに対し、複素固有値解析で得られた1次モードにおける減衰定数を表1に示す。等価減衰係数は、レベル2地震の応答速度（約0.55m/s）における等価減衰性能から算出している。



積層ゴム支承			弾性すべり支承 (低摩擦タイプ)			切替型オイルダンパー		
符号	記号	台数	符号	記号	台数	符号	記号	台数
N60	○	4	A40	⊗	4	OD1	X	2
N65	●	2					Y	2

図8 免震装置配置図

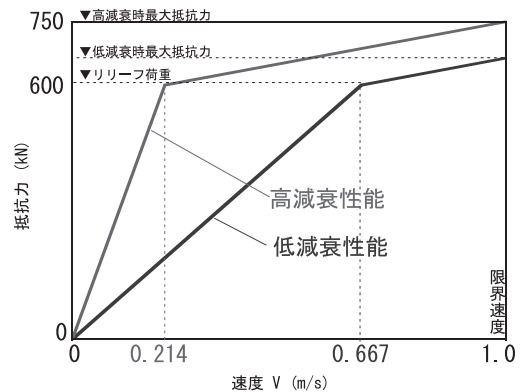


図9 切替型ダンパーの減衰性能

表1 1次モードの減衰定数

減衰係数	1次モードの減衰定数(%)	
	高減衰時	低減衰時
初期減衰係数 C1	96.6	28.0
等価減衰係数 Ce	41.2	-

基本となる時刻歴応答解析は、1階床からR階床までの4層の質点モデルを用いた。積層ゴム支承はLinear型、弾性すべり支承はBi-Linear型のはね要素で評価する。また、オイルダンパーは粘性要素（ダッシュポット）によりモデル化し、相対速度に対してBi-Linear型の減衰力特性を与える。初期状態は低減衰モードの減衰力特性、切替変位100mmに達してからは高減衰モードの減衰力特性を保持する。また、切替変位100mmに達してから高減衰モードに切り

替わるまでの遅れ時間0.3秒を考慮する。地震波は観測波3波、告示波3波の他、最大級の地震として南関東沖地震を模擬したサイト波の検討を行った。

上部構造の1次固有周期はX方向0.38秒、Y方向0.35秒である。また、免震層の等価周期は、100%ひずみ時（117mm）で4.34秒、250%ひずみ時（293mm）で4.48秒である。

レベル2、最大級の地震におけるX方向の最大応答値を図10に示す。最大応答変形は概ね200mm程度に収まっている。

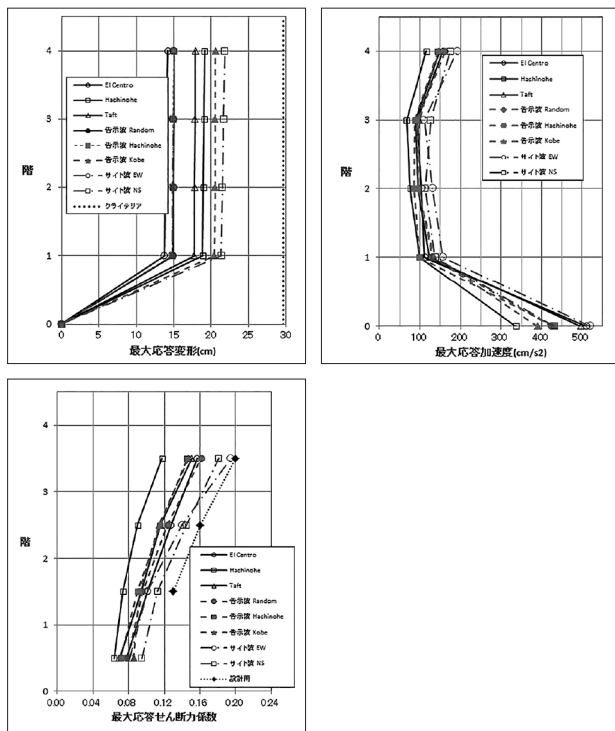


図10 最大応答値（レベル2、最大級地震時）

切替型オイルダンパーを採用するにあたり、免震デバイスの性能のばらつき、切替え変位のばらつき、切替え時の遅れ時間のばらつきを考慮した解析も行った。切替え変位のばらつきは100mm±5mm（95mm～105mm）、切替え遅れ時間のばらつきは0.3秒±0.3秒（0秒～0.6秒）を設定した。どちらも最大応答値に及ぼす影響は1～2%程度と十分小さく、構造安全性に及ぼす影響は非常に小さいことを確認している。

また、擬似立体モデルを用いて、免震層や上部構造の平面的なねじれの影響による4台の切替型オイルダンパーの切替わるタイミングのずれを考慮した検討も行い、最大応答値に及ぼす影響はほとんど無いことを確認している。

切替型オイルダンパーによる中小地震時の応答加速度の低減効果を確認するため、レベル2における最大応答変形量が概ね同じとなる同容量の従来型のオイルダンパー（最大減衰力750kN）を採用した場合と比較を行った。図11にレベル1（観測波3波、25cm/s相当）における最大応答加速度を比較したグラフを示す。切替型オイルダンパーを採用することにより、中小地震時の最大応答加速度を概ね30～40%低減できていることを確認した。

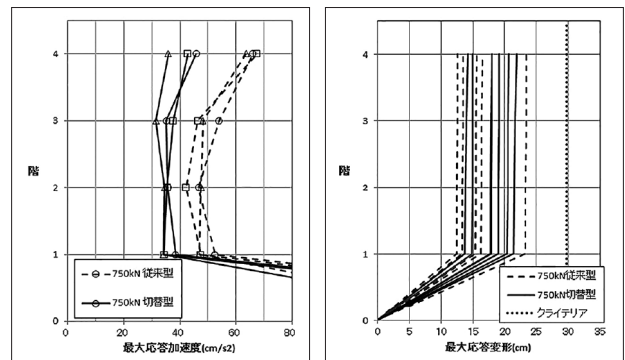


図11 従来型オイルダンパーとの応答比較

6 まとめ

近年、長周期地震動や巨大地震の発生が危惧されている状況において、建物の安全性確保はもとより、建物の機能保持・事業継続の観点から免震建物への関心は年々高まっている。特に、都市部の密集市街地では、敷地の有効利用の観点から、免震層の変形量（免震クリアランス）を抑えて建築面積を最大限に確保した小変位の免震建物が望まれている。

今回、新規に開発した切替型オイルダンパーを用いた都市型小変位免震を採用することにより、免震クリアランスを300mmに抑えつつ、中小地震時の応答加速度も低減できる建物の実現できた。

当社技術センター長島研究所長、カヤバシステムマシナリー（株）露木専務取締役には、設計に際し技術指導を頂きました。厚く御礼を申し上げます。