

渋谷S.野口Bldg.



佐々木 直幸
鹿島建設



上野 雄太
同



鈴木 淳史
同



大類 哲
同



近藤 明洋
同

1 はじめに

渋谷駅周辺は100年に1度といわれる、複数の大規模再開発が一斉に進行しており、より創造的で、より躍動する都市へ変革を遂げようとしている。

駅南側の再開発で生まれ変わる渋谷川のほとりに計画された「渋谷S.野口Bldg.」は大地震時の安全性と地震後の業務継続を考えていたビルオーナーの強い要望により免震構造が採用された。

塔状比が比較的大きな形状の本建物は耐震性能とともに、耐風性能に対する安全性の検証が重要となる。本稿では、建物高さを抑えるために採用したKMF梁工法と時刻歴応答解析による耐震・耐風設計について紹介する。



写真1 建物外観

2 建物概要

建物名称：渋谷S.野口Bldg.

(申請時)(仮称)第5野口ビル新築計画

建設場所：東京都渋谷区渋谷3-28-15

建築主：株式会社野口ビル

建物用途：事務所、店舗

設計監理：鹿島建設 一級建築士事務所

施工：鹿島建設 東京建築支店

延床面積：2,855.72m² 建築面積：317.10m²

規模：地上11階、地下なし

最高高さ：43.900m 軒高さ：39.785m

基準階：3.54m

構造種別：鉄骨造（柱一部CFT造）

構造形式：純ラーメン構造（X・Y方向）

基礎形式：直接基礎（地盤改良併用のべた基礎）

免震構造：基礎免震構造

工期：2016.12.01～2018.01.31



図1 敷地周辺状況

2 建築概要

本敷地はJR渋谷駅から約300mの距離にあり、明治通りから渋谷川を挟んだ通り沿いに位置している。また、渋谷区南街区再開発計画に隣接し、敷地西側に約180mの再開発ビル（渋谷ストリーム）が2018年に完成予定となっている（図1）。

本建物の計画は1階が店舗、2～11階がテナント事務所である。事務所部分はワイド18m、天井高2.7m、3面開口の開放感のある使いやすい整形な平面計画とし、共用部は所定の機能を満たした最小限のコア計画としている（図2、図3）。外装は縦基調の柱型が連続する落ちついたシンプルなデザインとしている。（写真1）。

3 構造概要

3.1 構造計画概要

本建物は、地上11階建て、軒高さ40.15m、最高高

さ43.90m、鉄骨造（柱一部CFT造）の基礎免震構造である。建物高さと建物短辺幅の割合を表す塔状比は約3.2と比較的大きな値の建物形状である。基準階伏図と③通り軸組図を図4、図5に示す。

耐震設計は、静的検討と動的検討（レベル1、レベル2）を行い、表1に示す設計クライテリアを設定した。静的検討では上部構造の設計せん断力を、レベル2地震応答解析の応答値を上回るように設定した。ベースシア係数は $C_B=0.124$ とし、高さ方向の分布形は予備応答解析結果から設定した。

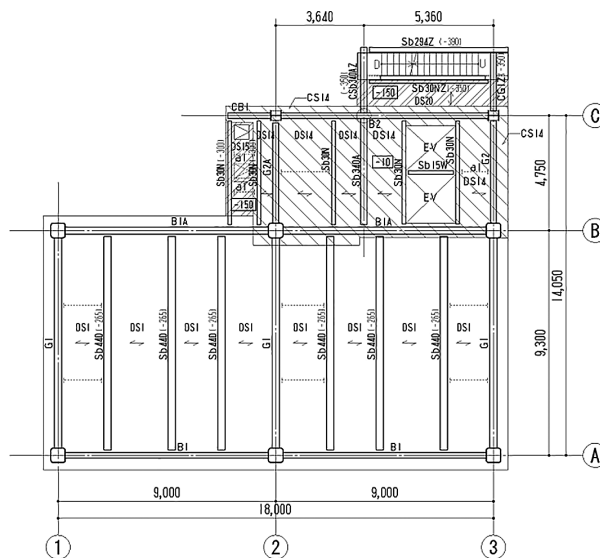


図4 基準階伏図

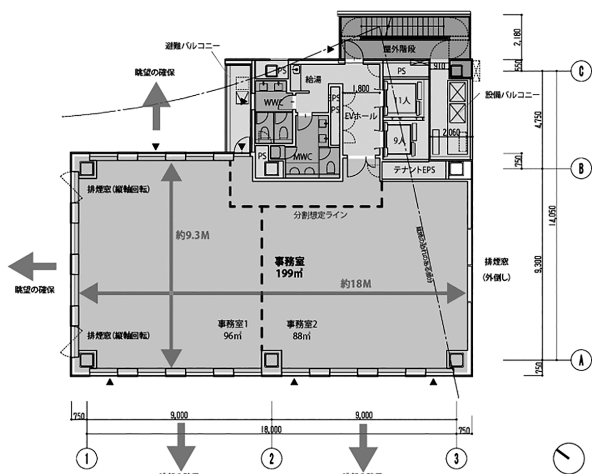


図2 基準階平面図

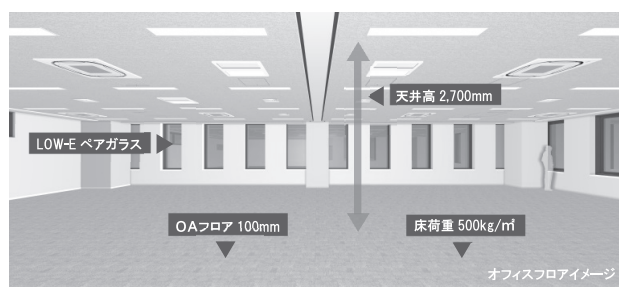


図3 オフィスフロア内観パース

表1 耐震・耐風設計クライテリア

	荷重・地震動	上部構造	免震部材	下部構造
静的	長期・短期	許容応力度以内 層間変形角 $\leq 1/200$	—	許容応力度以内
動的	レベル1: L1 (稀に発生する地震動)	短期許容応力度以内 層間変形角 $\leq 1/400$	変形20cm ($\gamma=100\%$)以内 引抜き力が生じない	短期許容応力度以内
	レベル2: L2 (極めて稀に発生する地震動) 特性変動考慮 上下0.3G考慮	短期許容応力度以内 層間変形角 $\leq 1/200$	変形40cm ($\gamma=200\%$)以内 引張限界耐力以内	短期許容応力度以内
静的・動的	レベル1: L1 (稀に発生する風圧力)	短期許容応力度以内 層間変形角 $\leq 1/400$	変形20cm ($\gamma=100\%$)以内 引抜き力が生じない	短期許容応力度以内
	レベル2: L2 (極めて稀に発生する風圧力)	短期許容応力度以内 層間変形角 $\leq 1/200$	変形30cm ($\gamma=150\%$)以内 引張限界耐力以内	短期許容応力度以内

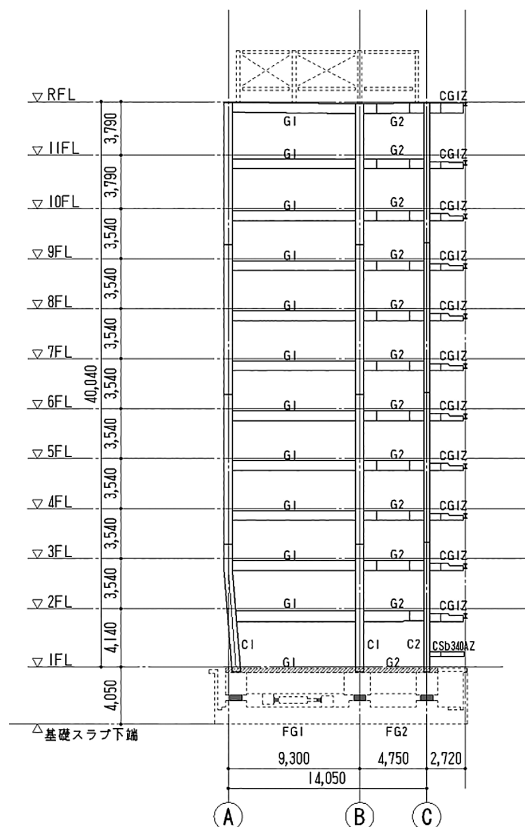


図5 ③通り軸組図

耐風設計は、レベル1・レベル2風荷重に対して静的検討、レベル2風荷重に対して動的検討を行い、表1に示す設計クライテリアを設定した。

上部構造の平面は、長辺18.0m、短辺14.05mのL型形状である。柱はCFT造で、コア部において一部鉄骨造とし、柱脚には露出型固定柱脚（ハイベース）工法を採用している。梁は基準階が鉄骨造で、1階が鉄筋コンクリート造である。架構形式は、X・Y方向ともに純ラーメン構造としている。

下部構造は、鉄筋コンクリート造による偏平形状の基礎梁と基礎スラブおよび土圧壁で構成している。基礎形式は、GL-7.05m以深の砂礫層を支持層とする直接基礎（コラム状地盤改良併用）としている。

3.2 KMF梁工法の採用

KMF（Kajima Mixed Fireproof）梁工法は、鉄骨梁の上フランジをスラブ内に埋め込み、下フランジの耐火被覆は耐火シートで覆い、ウェブ部分は吹付ロックウールを用いた複合耐火構造で、2時間の耐

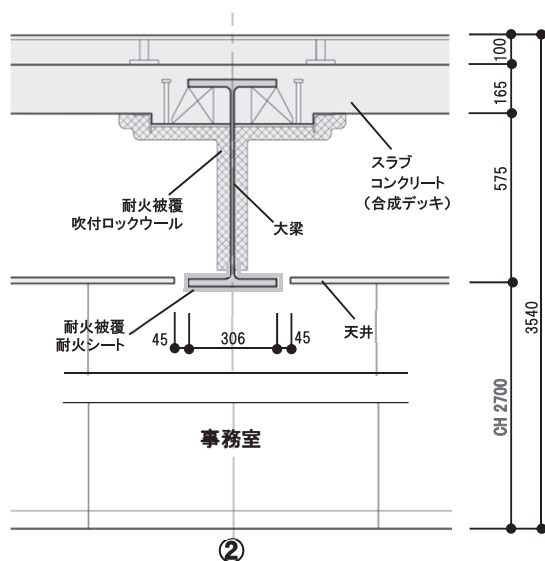


図6 KMF梁と天井の納まり詳細



写真3 KMF梁の耐火シート施工状況

火大臣認定を取得している。

本建物では3～10階の大梁にKMF梁工法を採用、下フランジを室内に現しとすることで天井高さ2700mmを確保するとともに、階高さを縮減し、建物の最高高さを抑えている（図6、写真3）。

3.3 免震材料の設計概要

免震材料は、鉛プラグ入り積層ゴム支承（写真4）が900φ2基、850φ3基、800φ1基、天然ゴム系積層ゴム支承が900φ1基、弾性すべり支承が900φ1基、オイルダンパー（写真5）が最大減衰力875kNタイプを4基、採用している。図7に免震材料の配置を示す。

免震計画では、地震に対する免震効果を高めるため、履歴減衰と粘性減衰のバランスを勘案し、鉛プラグ入り積層ゴムの耐力とオイルダンパーの減衰力が最適な組合せとなるように設定し、免震周期を $T_f=4.27$ 秒とした。また、立体モデル（免震材料は各設置箇所にモデル化）による地震応答解析を行い、偏心による免震層の捩れを確認している。免震層の水平クリアランスは50cmに設定した。

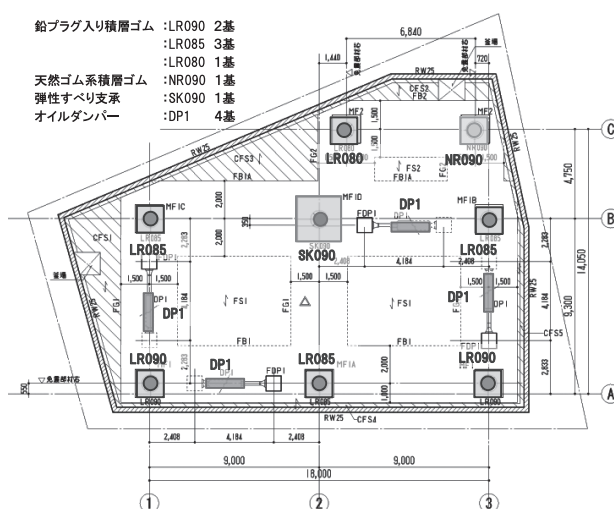


図7 免震材料の配置

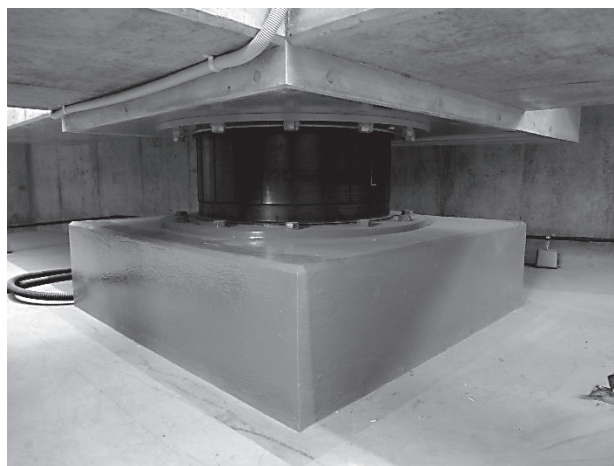


写真4 鉛プラグ入り積層ゴム

4 地震応答解析概要

4.1 採用地震波

地震応答解析は、表2に示す既往波3波、告示波3波を採用した。告示波は工学的基盤面で模擬地震動を作成し、建設地表層地盤の増幅を考慮した地震波とした。図8にレベル2入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。

4.2 解析モデル

解析モデルは、建物を部材レベルでモデル化した立体骨組解析モデルとする。各階は剛床とし、重心位置に質量を配置する。積層ゴムおよび弾性すべり支承はMSSモデル、オイルダンパーは減衰要素モデルとし、各免震材料位置に設定した。免震層下部にはSRモデルによる地盤ばねを設定した。減衰特性は剛性比例型の内部粘性減衰とし、減衰定数は上部

表2 採用地震波一覧

採用地震波	継続時間 (s)	レベル1 (L1) 地震動		レベル2 (L2) 地震動	
		最大加速度 (cm/s^2)	最大速度 (cm/s)	最大加速度 (cm/s^2)	最大速度 (cm/s)
既往波	EL CENTRO 1940 (NS)	53.0	255.4	510.8	50.0
	TAFT 1952 (EW)	54.0	248.3	496.6	
	HACHINOHE 1968 (NS)	234.0	174.5	348.9	
告示波	八戸位相	120.0	68.9	337.5	46.8
	神戸位相	120.0	83.6	376.4	60.3
	乱数位相	120.0	75.8	367.9	44.4

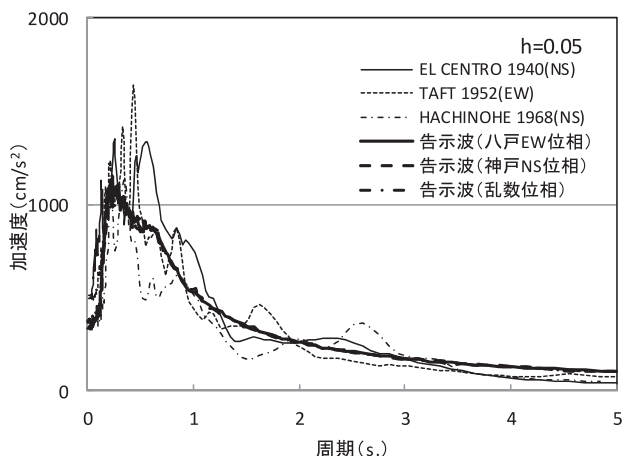


図8 加速度応答スペクトル (レベル2)

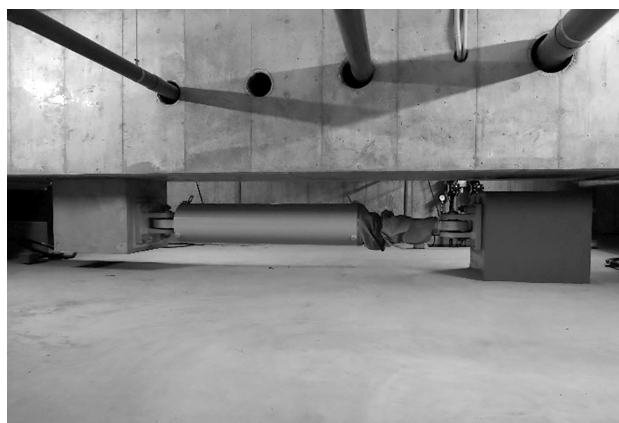


写真5 オイルダンパー

構造のみに1階床固定時の1次固有周期に対して2%を考慮した。解析モデルを図9に示す。

4.3 固有値解析、地震応答解析結果

1階床固定時および免震層の水平変形が 20.0cm ($\gamma=100\%$) と 40.0cm ($\gamma=200\%$) における建物全体の固有周期を表3に示す。

レベル2地震時のY方向の地震応答解析結果を図10に示す。いずれの入力地震動に対しても最大応答層せん断力は設計用せん断力以下であり、各部材は短期許容応力度以下である。免震層の最大応答水平変位は 24.0cm であり、性能保証変形として設定した 40cm 以下である。いずれの応答解析結果も表1に掲げた耐震設計クライテリアを満足している。また、免震材料の特性変動を考慮した検討においても、最大応答層せん断力は設計用せん断力以下、免震層の最大応答水平変位は 26.6cm であり、各耐震設計クライテリアを満足していることを確認している。

また、上下動 0.3G および免震材料の特性変動を考慮し、 45° 毎の8方向における地震動入力時の面圧の検討では、積層ゴムに生じる最小面圧 (引張最大面圧) は 0.95N/mm^2 となり、引張限界耐力 1.0N/mm^2 以内であることを確認している (図11)。

表3 固有周期一覧

	免震層水平変形 d (cm)	X方向		Y方向		T Z方向	
		1次	2次	1次	2次	1次	2次
1階床固定	—	1.572	0.495	1.623	0.505	1.416	0.463
$\gamma=100\%$	20.0	3.632	1.002	3.697	1.067	3.271	0.878
$\gamma=200\%$	40.0	3.937	1.012	4.024	1.079	3.521	0.886

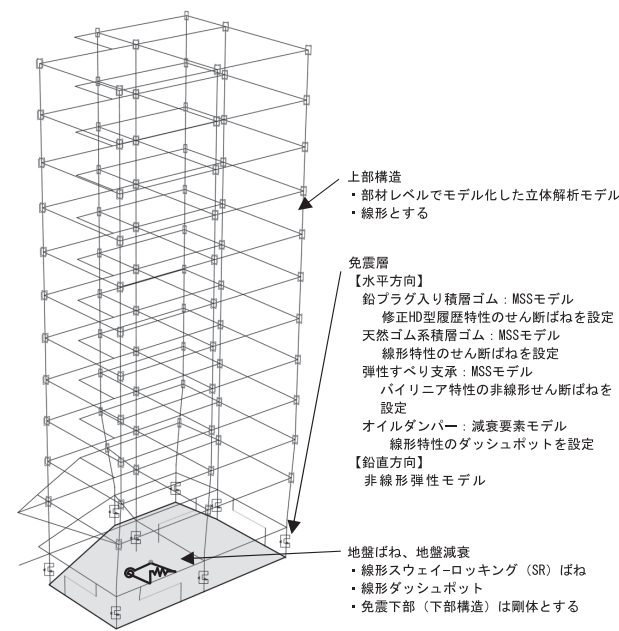


図9 解析モデル

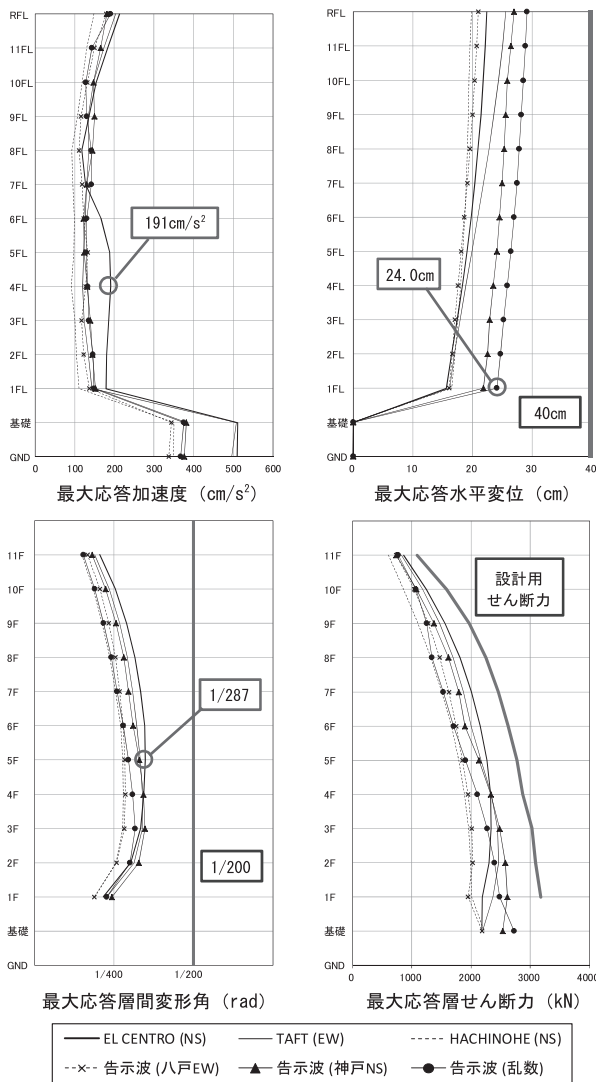


図10 レベル2地震応答解析結果 (Y方向)

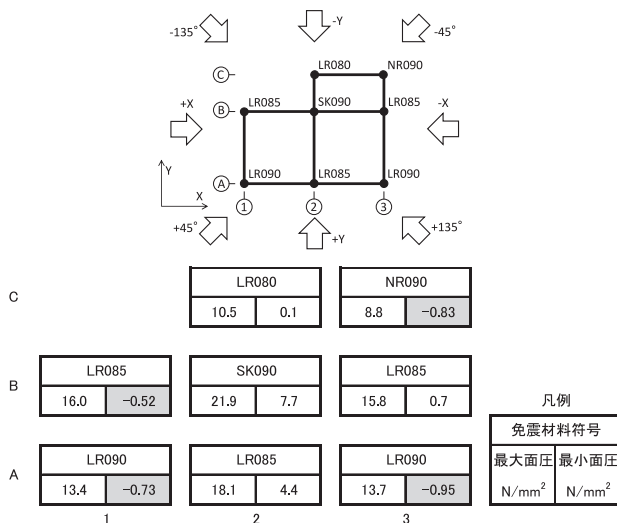


図11 免震材料の面圧一覧

5 風荷重に対する検討

5.1 風荷重による免震層の応答状態とランク

本建物は、地震時の免震効果を高めるため、鉛プラグ入り積層ゴム支承の鉛の断面積をできる限り小

さくしているため、「免震建築物の耐風設計指針」¹⁾における免震層の風応答ランクを確認した。

告示による風荷重 (Y方向) および免震層の降伏耐力を表4に示す。告示によるレベル2風荷重に対して、「風荷重の変動成分 $Q_d=1136\text{kN}$ 」>「免震層降伏耐力 $Q_{d_{LRB}}=772\text{kN}$ 」よりランクCとなる。

告示によるレベル2風荷重時において、免震層の変形評価として、告示による風荷重の平均成分は積層ゴムのゴム剛性のみ、変動成分は鉛プラグ耐力も有効とし求めた、風荷重-変形関係を図12に示す。免震層最大変形は 16.5cm ($\gamma=82.5\%$) であり、積層ゴムのせん断ひずみ $\gamma=100\%$ 以下である。

5.2 風時刻歴応答解析

本建物は、告示によるレベル2風荷重に対してラ

表4 告示による風荷重 (Y方向) および免震層の降伏荷重

	風荷重(kN)			免震層降伏耐力(kN)
	平均成分	変動成分	計	
	Q_a	Q_d	Q_w	
レベル1	661	727	1388	772
レベル2	1032	1136	2168	

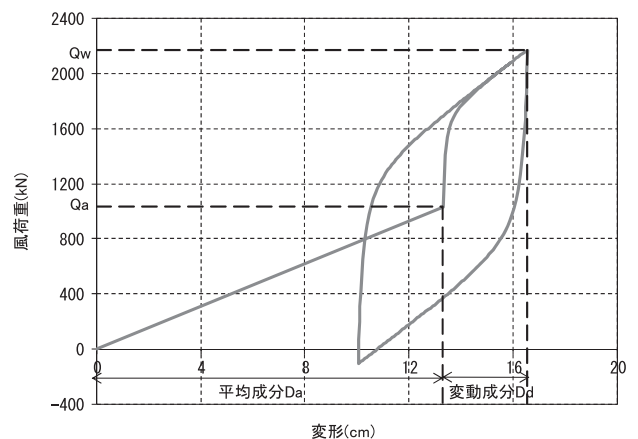


図12 告示によるレベル2風荷重時の風荷重-変形関係

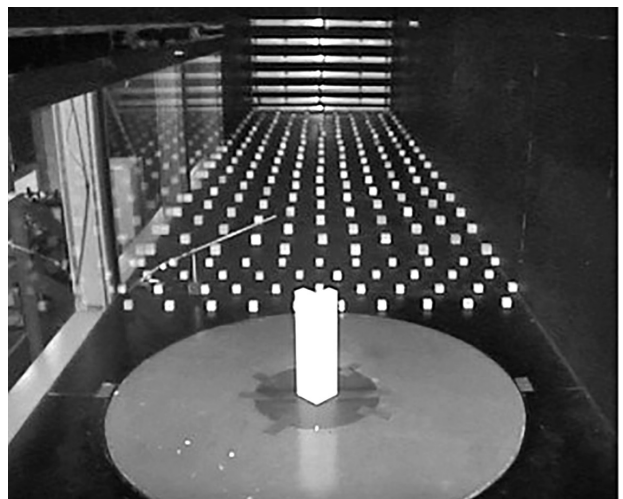


写真6 風洞実験模型

ンクCとなるため、風時刻歴応答解析を実施し、免震層の健全性について検討を行った。

検討用風荷重時刻歴の評価には、鹿島建設、大成建設、清水建設の3社共研による「高層建物の風揺れ予測データベース」のうち、本建物の平面形状に類似のL形平面に対する風力データを採用した。検討用風荷重時刻歴の評価にあたっては、建物の見付幅と建物高さを用いて、建物基部でのせん断力と転倒モーメントの整合を勘案して設定している。

レベル2風時刻歴応答解析の風荷重-変形関係（動的成分）を図13に示す。時刻歴応答解析結果よりレベル2風荷重時の動的成分による最大変形は5.5cm程度である。風荷重の平均成分によるクリープ変形17.6cmを加えて、免震層の最大変形量は23.1cm（ $\gamma=116\%$ ）となり、耐風設計クライテリア30cm（ $\gamma=150\%$ ）以下であり、免震層の変形が過大にならないことを確認した。

また、鉛プラグ入り積層ゴムについて、単位時間、鉛プラグの単位体積当たりのエネルギー吸収量の算

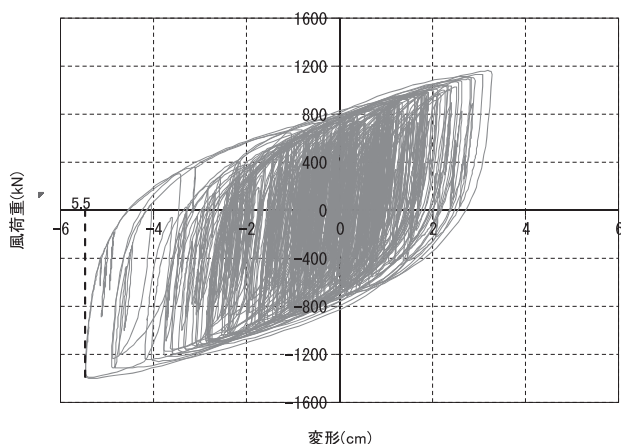


図13 レベル2風応答解析の風荷重-変形関係（変動成分）

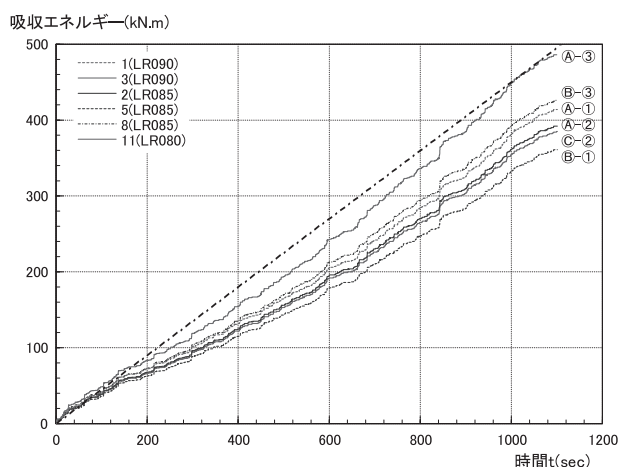


図14 各鉛プラグ入り積層ゴムの吸収エネルギー

定を行った（図14）。最もエネルギー吸収量が多い箇所はA-3通りの鉛プラグ入り積層ゴムで0.075N/mm²/sであり、十分小さい値であることを確認した。その時の鉛プラグ部分の温度上昇は15℃程度であり、鉛プラグ入り積層ゴムの特性変化に与える影響が小さいことを確認した。

また、免震層の残留変形は、風荷重を想定した鉛プラグ入り積層ゴムの長時間加振実験²⁾より、4～5cm程度と推定され、残留変形が5cm以上残った場合は、免震維持管理計画に基づき原点復帰の対応を行う。本建物ではジャッキ等を設置する箇所を設定し、梁、スラブにはジャッキ反力による躯体補強をあらかじめ行っている。

6 おわりに

渋谷S.野口Bldg.は、塔状比が比較的大きく、免震周期を適切に調整した計画で、免震層の耐風安全性を詳細検討し、耐震性能と耐風性能をバランスよく成立させた建物である。

2018年1月に無事竣工を迎えました。最後に、本計画の設計機会を与えて頂いたビルオーナー野口武志氏、構造性能評価審査を担当して頂いた大熊武司名誉教授（神奈川大学）、木林長仁委員（日本建築センター）、日本建築センター担当者、ご指導とご協力を頂いた多くの関係者の方々に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本免震構造協会、免震建築物の耐風設計指針、2012
- 2) 高岡栄治他6名、「風荷重を想定した鉛プラグ入り積層ゴムの長時間加振実験」、日本建築学会技術報告集 第18巻 第38号 P61～66、2012年2月
- 3) 浅見豊、近藤宏二、日比一喜、「矩形平面を持つ高層建物の風力に関する実験的研究」、日本風工学論文集 第91号 P83～88、2002年4月



写真7 オフィス部分の内観