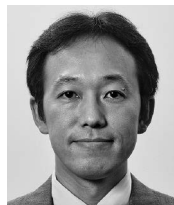


大手町フィナンシャルシティ グランキューブ 星のや東京



川村 浩
三菱地所設計



永山 憲二
同左



中山 哲宏
同左



横田 和伸
NTTファシリティーズ



林 政輝
同左



中川 明徳
同左

1 はじめに

本計画は、大手町連鎖型再開発の第3次事業として、都市再生特別地区の適用を受け、オフィス棟「グランキューブ」とホテル棟「星のや東京」の2棟一体となって整備されたプロジェクトである。国際金融拠点機能の強化に向けて第1次の国際カンファレンスセンター、第2次の東京金融ビレッジ・聖路加メディロカスに続き、ビジネス支援施設の整備、高級日本旅館の整備、良好な都市基盤・都市環境の構築、防災拠点機能ビルの構築を行った施設である。

本報では、オフィス棟の超高層制震構造、及び、ホテル棟の中間階免震構造の概要を報告する。

2 建築概要

写真2.1にオフィス棟の建物全景を、写真2.2にホテル棟の建物全景を示す。各棟の建物概要を表2.1に示す。

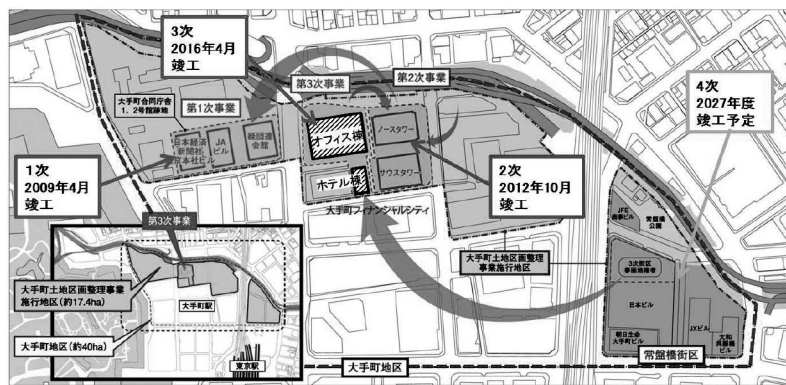


図1.1 連鎖型再開発概要

表2.1 建築概要

	オフィス棟	ホテル棟
建物名称	大手町フィナンシャルシティ グランキューブ	星のや東京
所在地	東京都千代田区大手町1-9-2	東京都千代田区大手町1-9-1
主要用途	事務所、店舗、駐車場	ホテル
建築面積	6,413.98m ²	742.49m ²
延床面積	193,618.38m ²	13,958.29m ²
階数	地下4階、地上31階、塔屋2階	地下3階、地上18階、塔屋1階
最高高さ	168.35m	87.97m
構造種別	地上 S造(柱CFT造) 地下 SRC造	免震層上部 PCaRC造・一部S造 免震層下部 SRC造
事業者(施行者)	三菱地所株式会社	
設計・監理者	三菱地所設計・NTTファシリティーズ設計共同企業体	
施工者	戸田建設株式会社、株式会社ユアテック、高砂熱学工業株式会社、 斎久工業株式会社	



写真2.1 オフィス棟 建物全景



写真2.2 ホテル棟 建物全景

3 オフィス棟の建築計画

■全体構成

リレーデザインというキーワードの下、隣接する第1次事業、第2次事業の相互の関係をつなぐ建築として以下の特徴を持たせている。

1フロア $85\text{m} \times 75\text{m}$ の平面形状且つ延床面積 19万m^2 超の大規模建築であることから、周辺への圧迫感低減を実現するため、外観は4つのガラスキューブが雁行しながら組み合わせられ、高さ方向にもリズムカルに変化するスカイラインとし、板状のファサードとならないように配慮している。また、外装のダブルスキンサッシの塗装色をキューブ毎に交互に組み合わせることにより、縦方向の分節感を強調し、連鎖他棟のスケール感と調和する計画としている。

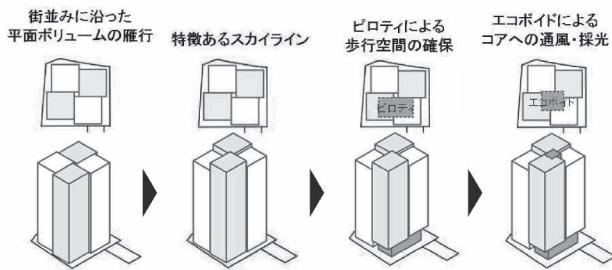


図3.1 建物ボリュームのダイアグラム

■基準階

事務室空間は17～19mの奥行を持ち、1フロアあたり約 $4,200\text{m}^2$ の面積を有している。事務室内に柱型を一切出さない完全無柱空間を実現する為、外周柱を扁平な形状とすることで外装ダブルスキン内に柱を納める計画とした。(図3.2)

外周部の4つのキューブの雁行部分には室外機置場を設けている。センターコア内には通風・採光を目的としてエコボイドを設けている。(図3.3)

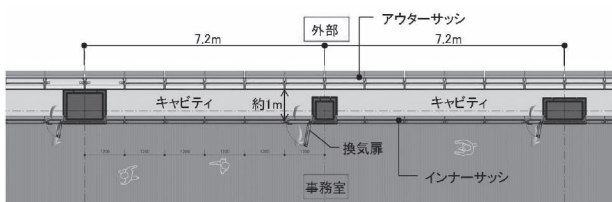


図3.2 外装ダブルスキン

■低層部

第1次・第2次事業のガレリア空間の連続性を創出するため、高さ20m超の4層・5層の吹抜け空間を配している。外周部は車寄せの車両の通行や店舗の顔出しの与件があり、外周柱を14.4mスパンで配置する計画とした。(図3.4)

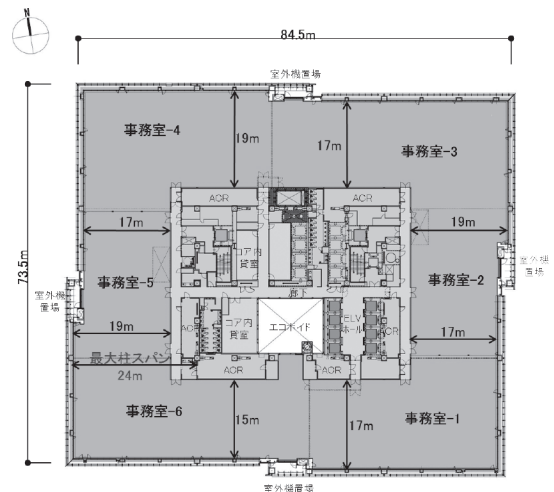


図3.3 基準階平面図

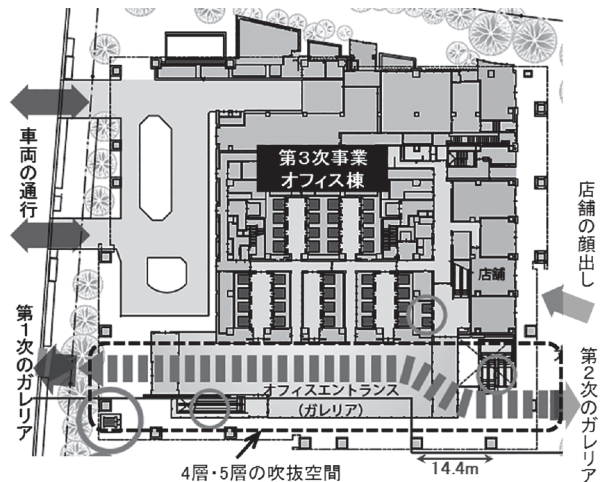


図3.4 1階平面図

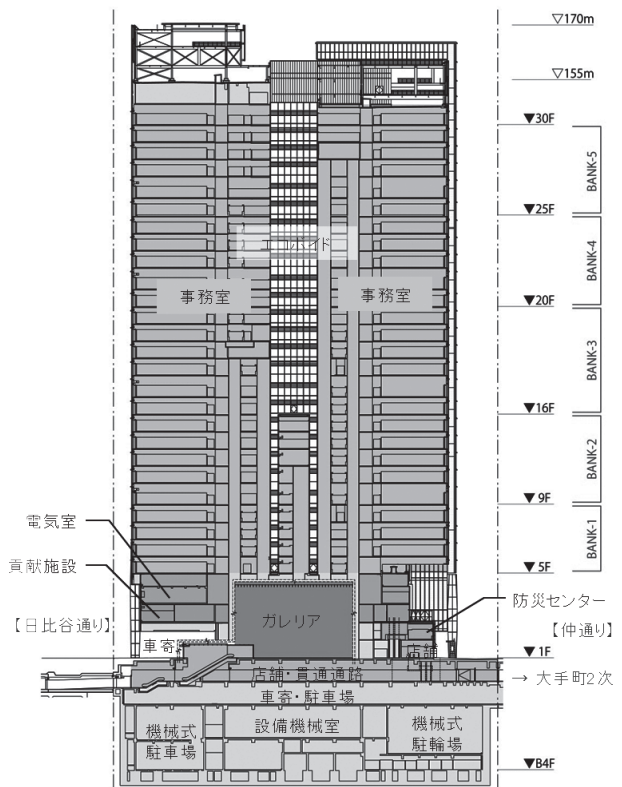


図3.5 断面構成図

4 オフィス棟の構造設計概要

4.1 構造種別

主体構造 地下：鉄骨鉄筋コンクリート造
耐震壁付きラーメン構造
地上：鉄骨造（柱CFT造）
純ラーメン構造（制震構造）
基礎：直接基礎（べた基礎）

4.2 基準階の構造計画

基準階伏図、Y方向代表軸組図を図4.1、4.2に示す。
基準スパンを7.2mとし、コア部のY方向で14.4mスパン、事務室部のロングスパン部は19.7m～24.15mスパンである。

外周柱は主柱を14.4mスパンで配置し、主柱の間に耐震間柱を配置した。外装ダブルスキン内に柱型を納める為、外周主柱は柱せい550mmと800mm、柱幅900～1100mm、耐震間柱は550mm角の断面とした。また、外周雁行部分の室外機置場には座屈拘束ブレースを配置し、外周フレームの剛性、及び、建物のねじれ剛性を高めるよう配慮した。

事務室部のロングスパン梁は梁せい1100mmとし、事務室と廊下との間仕切壁内に振動防止の間柱を挿入し、居住性向上を図った。

基準階柱は21階以下で四面溶接ボックス柱、22階以上でコラム柱を基本とし、鋼材は490～590N/mm²級鋼、CFT柱の充填コンクリートはFc48～80を使用した。大梁は490～550N/mm²級鋼を使用した。

コア内に制振装置を配置しており、座屈拘束ブレースと粘性制震壁を併用したハイブリッド制震構造としている。座屈拘束ブレースは建物の剛性を高めるとともに、主に大地震・極大地震における主架

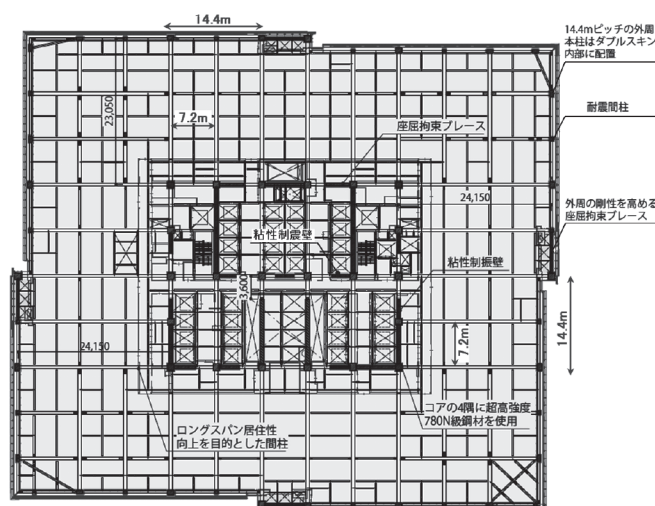


図4.1 基準階伏図

構の損傷低減を目的として、粘性制震壁は主架構の損傷低減に加えて、中小地震や強風時における揺れの低減と早期収束を目的としている。

4.3 低層部の構造計画

コア内の4隅の柱は、各階20m×20m超のコーナープレーットの床を支え、低層部で過大な軸力（1階長期軸力4800t程度）となることから、当該部の1階～7階の柱断面を1000～1200mm角とし、板厚85mmの780N/mm²級鋼を採用した。

基準階で14.4mスパンに配置した外周主柱は、低層部でもそのまますぐおろす計画とし、明快な構造計画になるよう配慮した。（図4.3）また、低層部外周柱で4層・5層吹抜柱は、吹抜高さ約23m・27mであり、1600・1800mm角の柱断面とし、590N/mm²級鋼を使用した。柱の座屈長が過大とならないように、吹抜柱柱頭と接続する大梁は梁せい1600mmとし十分な剛性を確保した。この大梁は極大地震時に塑性ヒンジを発生させない断面とした。

低層部のCFT柱の充填コンクリートの強度はFc100を使用した。

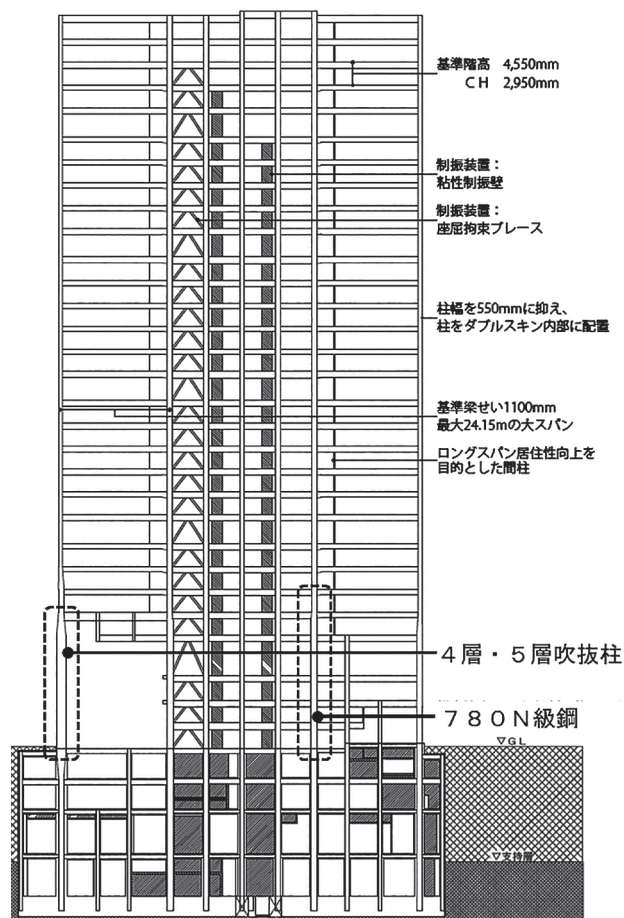


図4.2 Y方向代表軸組図

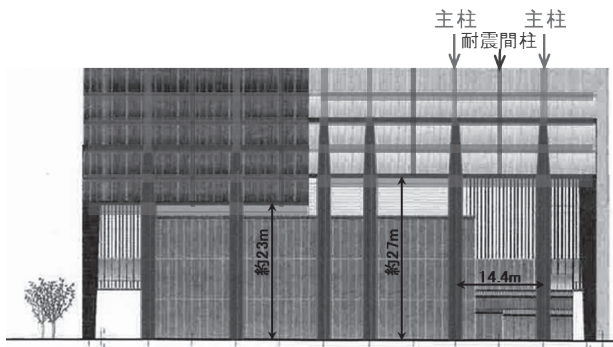


図4.3 外周柱の配置

4.4 780N/mm²級鋼の溶接施工試験

適用した鋼材メーカーより出されている溶接施工指針では、予熱温度は板厚85mmで炭酸ガスシールドアーク溶接、サブマージアーク溶接共に125℃以上としている。本物件では事前にy形溶接割れ試験を実施し、予熱温度を検証した。図4.4に試験体形状を、試験結果の一例として写真4.1、4.2に浸透探傷試験、マクロ試験の代表写真を示す。試験結果を考慮し、現場溶接の予熱温度を指針の125℃から75℃に緩和した。

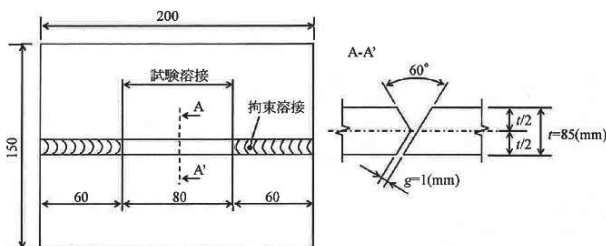


図4.4 y型溶接割れ試験 試験体

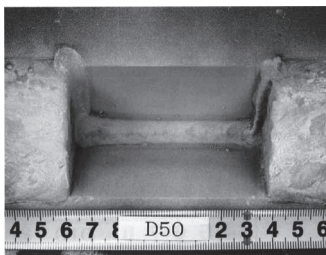


写真4.1 浸透探傷試験
(ビード表面外観)

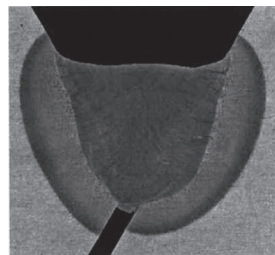


写真4.2 マクロ試験

炭酸ガスシールドアーク溶接のパス間温度上限を指針の150℃から200℃に緩和を図ることを目的とし、従来780N/mm²級鋼に適用していた降伏点680MPaの溶接材料よりもワンランク高い700MPaの溶接材料を採用して、溶接施工試験を実施した。パス間温度上限を200℃管理としても十分な引張強さ、及び、シャルピー吸収エネルギーを確保できることを確認した。

4.5 扁平柱ダイアフラムのコンクリート充填孔の検証

本建物の外周柱は、最大で550×1100mmの縦横比1:2の扁平なCFT柱となる。計画当初からダイアフラムのコンクリート充填孔の形状について、耐力及び、充填性が懸念された。

耐力については、充填孔の形状として考えられる長孔タイプと丸孔2つタイプで事前にFEM解析を行い検証した。解析結果より、どちらのタイプも応力伝達上必要となるダイアフラム耐力は確保できるものの、長孔タイプの方がより耐力向上が図れることが確認できた。(図4.5、図4.6)

充填性については、長孔タイプでコンクリート充填性試験を実施した。充填率90%以上確保でき、充填性に問題ないことを確認した。(写真4.3)

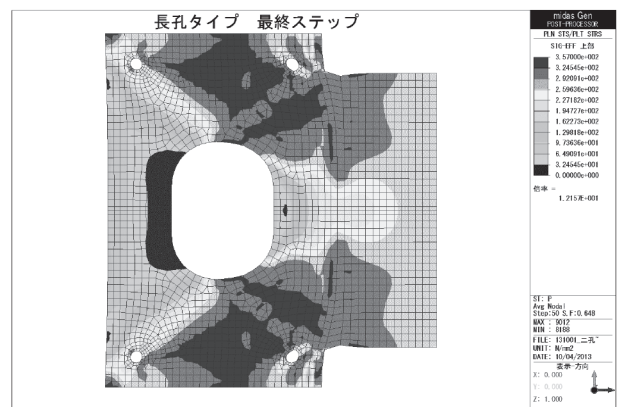


図4.5 FEM解析結果 (長孔タイプ)

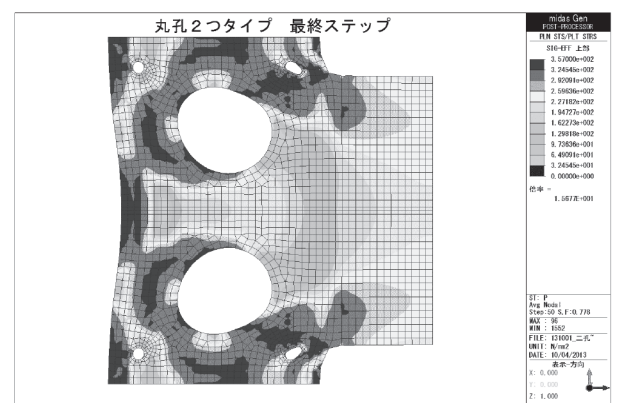


図4.6 FEM解析結果 (丸孔2つタイプ)

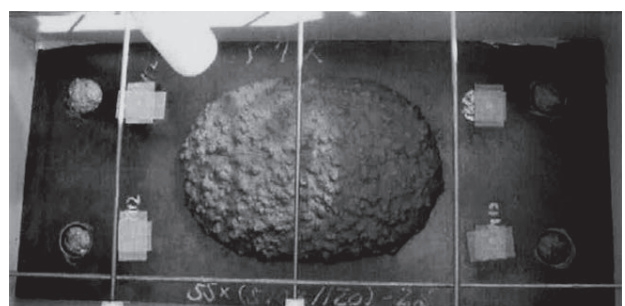


写真4.3 長孔タイプの充填性確認試験

5 ホテル棟の建築計画

本建物は、大手町のビジネス街で星野リゾートが運営する日本旅館「星のや東京」である。ファサードのコンセプトは「重箱」、江戸小紋のように麻の葉をモチーフにしたアルミキャストで周辺ビルとの視線にも配慮している（写真2.2参照）。また、防災拠点機能として災害救護活動要員受入対応の役割ももつため、事業継続性確保を目的として中間階免震構造（2階と3階の間に免震階）を採用した。

各階の主要用途は、1階がエントランスホール、2階がレセプションやラウンジ、3～16階が客室（計84室）、17階がスパや露天風呂付きの温泉となっている。また、地下1階にレストラン、地下2～3階に機械室等が計画されている（図5.1参照）。

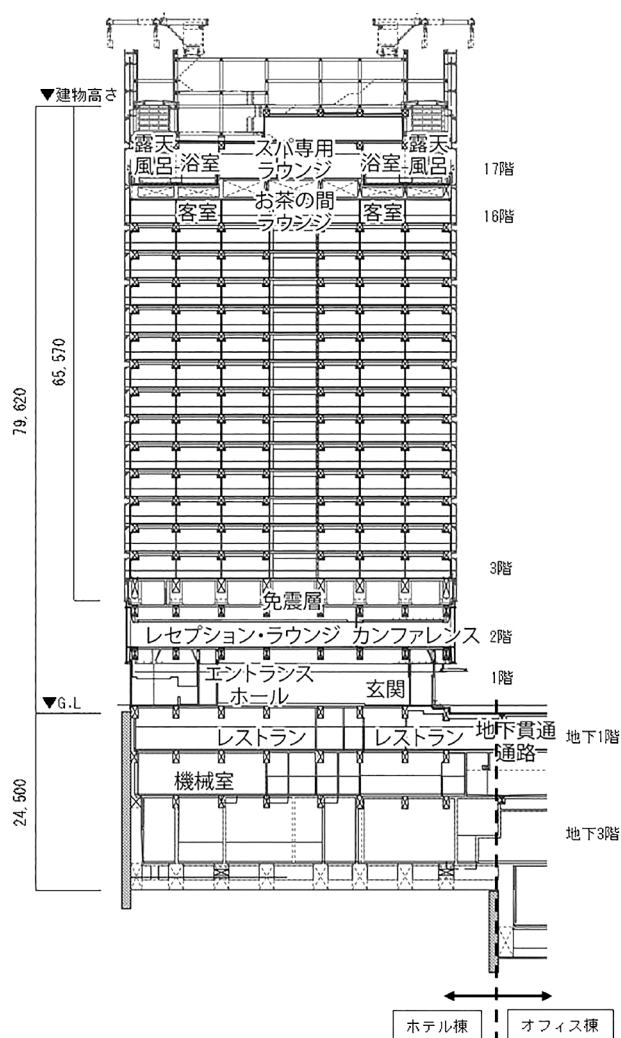


図5.1 断面図

6 ホテル棟の構造設計概要

6.1 構造計画

本建物の基準階平面は、図6.2に示すように東西方向14.2m、南北方向41.6mの整形な形状である。スパンは5.25m～7.7m（一部12.45m、14.2m）、基準階（3～15階）の階高は3.65mである。建物高さは79.62mと超高層免震構造の中で高い方ではないが、免震層より上部の塔状比が4.6と大きく地震時に免震支承材に引抜力が生じやすいこと、建物形状が板状で風の影響を受けやすいことが構造計画上の課題であった。

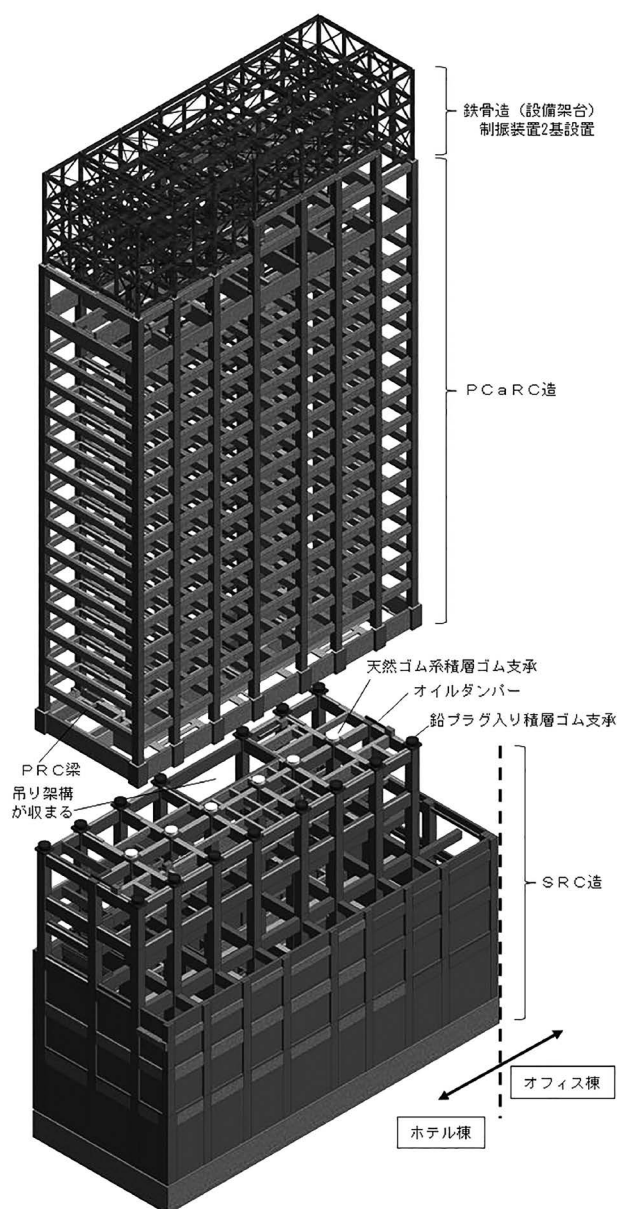


図6.1 構造計画概要図

そこで本建物では、図6.1に示すように免震層上部は鉄骨造に比べて重量が大きいプレキャスト鉄筋コンクリート（PCaRC）造とし、地震時に免震支承材に生じる引抜力が許容値以内となるよう長周期化するとともに、暴風に対しては免震層の耐力やエネルギー吸収能力が過小とならないよう鉛量を決定した。また、隅柱の引抜抵抗力を確保するため、妻面はプレストレスト鉄筋コンクリート（PRC）造の1スパン架構とした。さらに、ホテルとしての居住性を確保するため、屋上に制振装置（アクティブマスダンパー）2基を設置した。

一方、免震層下部は十分な剛性を確保し、上部の免震性能を最大限発揮させるため、鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造とした。

構造形式は、地上階は純ラーメン構造とし、各フレームにバランス良く地震荷重、風荷重を負担させた。地下階は耐震壁付きラーメン構造とし、十分な剛性、耐力を確保した。また、基礎形式は直接基礎とし、GL-24.5m以深の細砂層に支持させた。

コンクリート設計基準強度は、レベル2地震時の柱軸力比に応じて $36\text{N/mm}^2 \sim 60\text{N/mm}^2$ とし、柱断面は免震層上部 900×900 、下部 1100×1100 を基本とした。柱梁主筋はSD390又はSD490、内蔵鉄骨は 490N/mm^2 級を使用した。また、鉄筋コンクリート造の柱梁は、 785N/mm^2 級の高強度せん断補強筋を使用した。

免震層は、図6.3に示すように外周に鉛プラグ入り積層ゴム支承 $1000\phi \sim 1100\phi$ を、中柱下に天然ゴム系積層ゴム支承 1000ϕ を配置した。また、免震層の応答変位を抑制するため、最大減衰力 1000kN のオイルダンパーを各方向2基配置した。免震層を通過するエレベータ（EV）は、客室用が地下1階～17階、非常用が地下2階～18階に着床するため、3階床レベル以下は免震層上部からの吊り架構とした。なお、免震層上部と下部の設計クリアランスは免震層で 600mm とし、EVシャフト周囲は吊り架構の応答変位等も考慮して設定した。

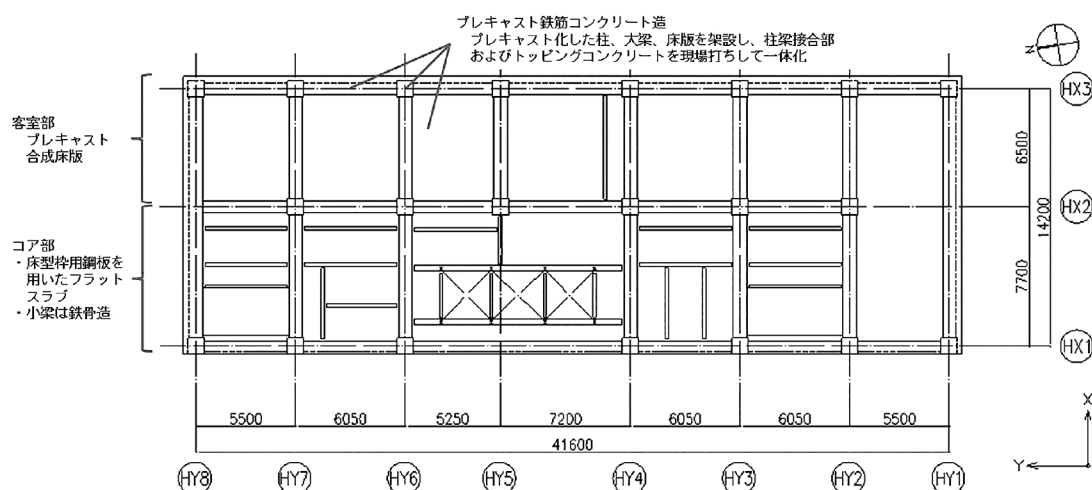


図6.2 基準階（4～15階）伏図

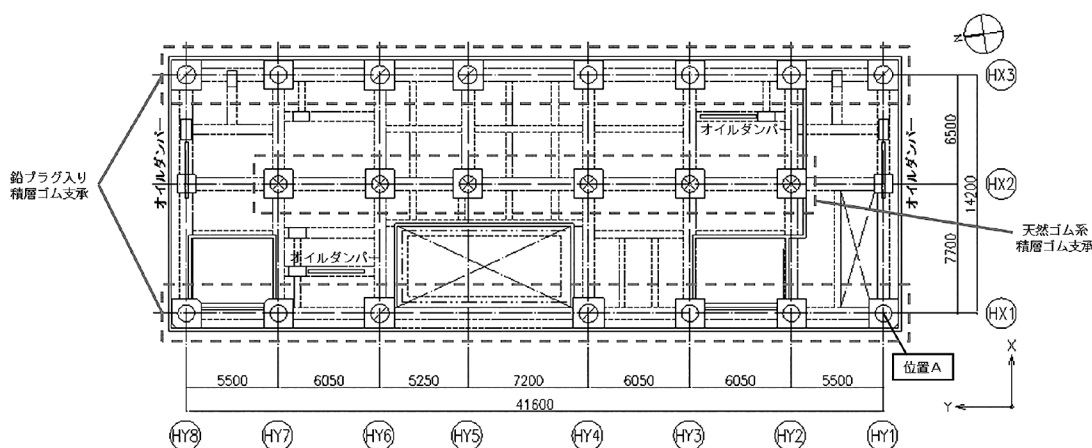


図6.3 免震層伏図

6.2 耐震設計

本建物のレベル2地震動に対する耐震性能目標を表6.1に示す。レベル2設計用入力地震動はオフィス棟と共通とし、①過去の代表的な観測地震波としてEL CENTRO 1940 NS、TAFT 1952 EW、HACHINOHE 1968 NSの最大速度振幅を50cm/sとして作成した観測波、②告示第四号イに定められた解放工学的基盤における加速度応答スペクトルをもち、JMA KOBE 1995 NS、HACHINOHE 1968 EW、一様乱数の位相特性を考慮して作成した告示波を採用した。なお、本建物は工学的基盤に床付けされているため、上記の地震波を地下3階から入力した。

設計用振動解析モデルは、各節点に質点（等価質量）を配置し、主要構造部材を線材要素で構成したホテル棟単独の3次元立体骨組みモデルとし、免震支承材はマルチシアスプリングモデルとした。復元力特性は、主要構造部材は非線形、鉛プラグ入り積層ゴム支承は歪依存性を考慮した歪依存型修正Bi-Linear、天然ゴム系積層ゴム支承はLinear、オイルダンパーはMaxwellモデルとした。また、減衰定数は2%とした。

設計用振動解析モデルを用いた固有値解析より、免震層より上部のみの1次固有周期はX方向で1.68秒、Y方向で1.25秒であった。また、免震建物としての1次固有周期（免震支承材100%歪時）はX方向で4.63秒、Y方向で4.40秒であった。

図6.4 (a)～図6.4 (b) に、免震部材の性能変動を考慮した場合の地震応答解析結果の一例（免震部材の抵抗力が最大となるケース、X方向）を示す。同図に示すように、免震層上部、下部ともに架構は弾性限耐力以下、層間変形角は1/200以下で耐震性能目標を満足している。また、オフィス棟とホテル棟をツインタワー形式とした連成解析モデルにより、設計用振動解析モデルの妥当性を確認するとともに、地下階接続部の応力伝達等に問題がないことを確認した。

免震層を通過するEVシャフト吊り架構は、建物本体のレベル2設計用振動解析で得られた3階床の応答加速度波形を設計用入力波として別途時刻歴応答解析を行い、部材応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表6.1 レベル2地震動に対する耐震性能目標

免震層より上部構造	架構	弾性限耐力以下
	層間変形角	1/200以下
免震層	免震支承材	引張面圧1.0N/mm ² 以下
	オイルダンパー	150cm/s以下
	水平変形量	500mm以下
免震層より下部構造	架構	弾性限耐力以下
	層間変形角	1/200以下
基礎	部材応力度	短期許容応力度以下
	支持力度	短期許容支持力度以下

● 観測波1 (EL CENTRO 1940 NS)	▲ 観測波2 (TAFT 1952 EW)
■ 観測波3 (HACHINOHE 1968 NS)	○ 告示波1 (一様乱数)
△ 告示波2 (JMA KOBE 1995 NS)	□ 告示波3 (HACHINOHE 1968 EW)

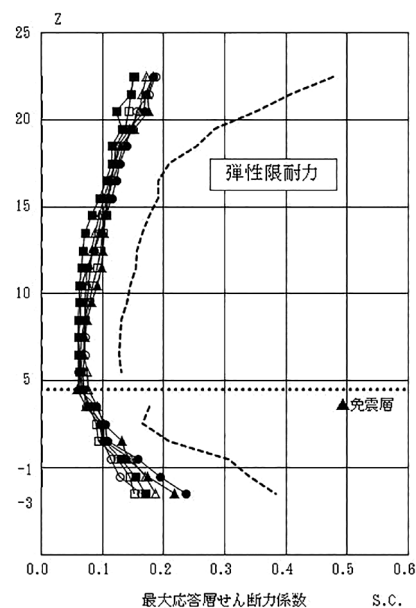


図6.4 (a) 最大応答層せん断力係数

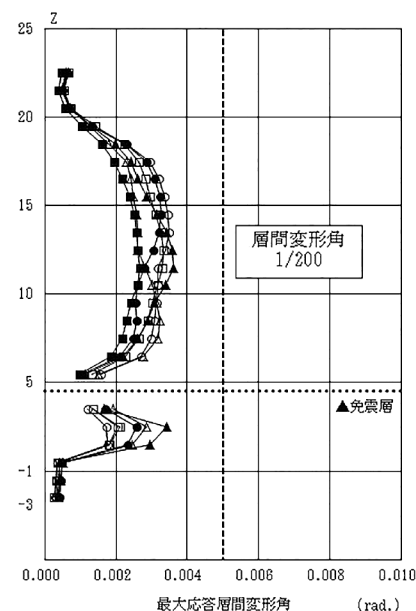


図6.4 (b) 最大応答層間変形角

6.3 耐風設計

風洞実験におけるスペクトルモデル解析結果より、本建物の免震層より上部に作用するレベル2風荷重と鉛プラグ入り積層ゴム支承の降伏荷重を比較し、極めて稀に発生する暴風時には免震層は弾性限を超え、風荷重の変動成分に対して弾塑性挙動するケース（「免震建築物の耐風設計指針¹⁾」におけるランクC）に分類されることを確認した。

そこで本検討では、設計用振動解析（3次元立体骨組み）モデルによる時刻歴応答解析を行い、風荷重に対する免震層の健全性について検討した。なお、風荷重は風洞実験で得られたレベル2の変動風力時刻歴波形を、建物各層に加振力として与えた。スペクトルモデル解析結果によると、X方向、Y方向、ねじれ方向のいずれも風向角60度（図6.6参照）において風荷重が最大となるため、3成分同時入力により検討を行った。

図6.5に、鉛プラグ入り積層ゴム支承（図6.3の位置A）の履歴ループを示す。同図に示すように、変動風力に対する最大振幅は40mm程度となった。以上より、積層ゴムのせん断剛性より求めたクリープ変形を考慮した免震層の最大応答変位は80mm程度、残留変位は1/2の40mm程度と推定される。これは、免震層の維持管理上の許容値以下であるが、仮に許容値を超える残留変位が生じた場合は、免震層内の礎柱にジャッキを設置して残留変位を取り除く計画とした。

図6.6に、ホテルとしての居住性能を確保するための制振装置（アクティブマスダンパー）の配置図を示す。また、図6.7に居住性能評価指針²⁾に基づく17階の評価結果を示す。同図に示すように、非制振の場合は建物重心O点、建物隅角部X点ともにランクⅡを下回った。また、建物のねじれ振動の影響によりX点ではO点よりも加速度が大きくなる傾向が見られた。以上より、制振装置は建物両端部に配置し、ねじれ成分を効率的に制御することで、ランクⅡの居住性能を確保した。

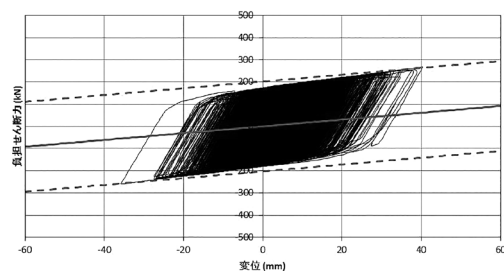


図6.5 鉛プラグ入り積層ゴム支承の履歴ループ



図6.6 制振装置配置図（屋上）

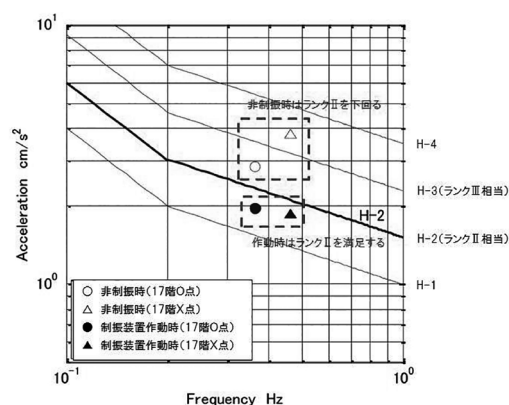


図6.7 居住性能評価結果

7 まとめ

オフィス棟「グランキューブ」は2016年4月に、ホテル棟「星のや東京」は2016年7月に当初計画通り開業した。

最後に、本プロジェクトの実施にあたり、ご指導頂きました三菱地所株式会社をはじめ、関係者の皆様方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 免震建築物の耐風設計指針、日本免震構造協会、2012年
- 2) 建築物の振動に関する居住性能評価指針、日本建築学会、1991年