

ザ・パークハウス晴海タワーズ クロノレジデンス



木村 正人
三菱地所設計



堀田 祐介
同

1 はじめに

材料の高強度化に伴い、従前と比較してRC造建物についても規模の大きな建物の設計が可能となっている。一方、近年頻発する大きな地震に対する備えとして、高さが150mを超えるような超高層建物についても免震構造を望む声が高まっている。この規模の建物へ免震構造を採用する場合に考慮すべき点として、建物の総重量が大きいこと、建物の周期が長くなることから免震効果が十分発揮できる工夫が必要なこと、風荷重が大きくなることから特に免震層への影響を検討する必要があること、などが考えられる。ここでは上記の例として防災面の強化に取り組んで計画が進められた集合住宅における構造計画について紹介する。



図1 外観パース

2 建物概要

建設地は都心と臨海部の間に位置した晴海運河に面した土地区画整理事業の地区計画内に位置しており、護岸などが新築され、銀座・新橋等既存の業務商業地区に近接した開発地区である。ここに従来よりもハード、ソフト両面について防災対策を強化すると共に、2009年に施行された「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」の認定基準に基づく超高層免震マンションが計画された。

建物名称：ザ・パークハウス晴海タワーズ
クロノレジデンス

建設地：東京都中央区晴海2丁目

建築主：三菱地所レジデンス株式会社

設計監理：株式会社三菱地所設計

施工者：鹿島建設株式会社

主要用途：共同住宅

建物規模：地下2階 地上49階 塔屋2階

最高高さ：174.15m

建築面積：約5,000m²

延床面積：約100,000m²

3 構造概要

地上階の平面形状は基準階において約58m×41mの整形な長方形となっている。建物の中央部にはボイド部分があり、下層階には機械式立体駐車場を配置している。その廻りに厚さ500～200mmの連層耐震壁を口の字（約22.5m×16.4m）に配置し、建物の水平剛性を確保している。

基準階の階高は3.3mである。また軒高に対する塔状比は長辺約2.8、短辺約3.9となっている。

使用材料はコンクリートについては、Fc36～

Fc80を使用し、鉄筋については下層階の柱主筋にSD590を採用している。

構造形式は1階床梁下に免震層を設けた基礎免震構造であり、各柱下に鉛入り積層ゴム支承を配置している。大きさは1600～1400mmの角型と、直径1500～1400mmの丸型である。エントランスの平屋部分は、径300及び350φの低摩擦型の弾性滑り支承を配置している。また、オイルダンパーを短辺長辺方向にそれぞれ6基配置している。免震建物側と免震ピット等の外部側との間の有効クリアランス量は800mm以上である。

免震装置上の1階床梁はせい約3.0～4.3m、幅1.0～2.8mの高い剛性と耐力を持つ梁とし、地震時の連層壁直下に生じる引抜力等を周辺の免震支承に分散させる。

下部構造については、杭は場所打ち拡底鉄筋コンクリート杭とし、超高層直下の杭は軸径φ2500であるが、コア廻りの杭は拡頭拡底杭としている。拡底部はφ4400、杭頭部はφ3000まで拡頭している。

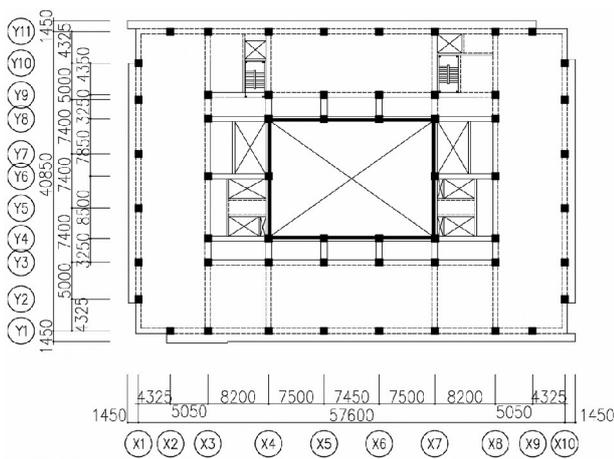


図2 基準階伏図

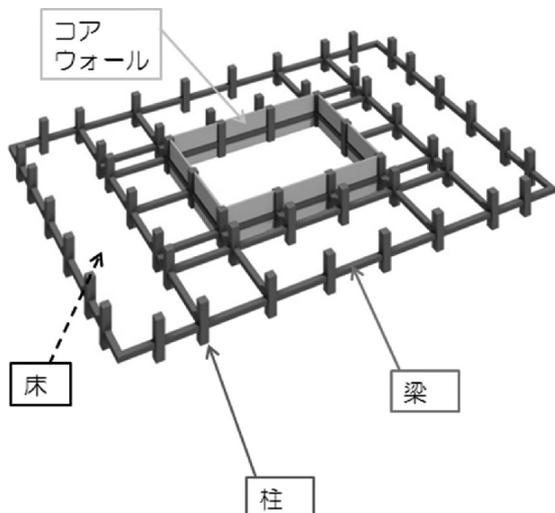


図3 架構イメージ図

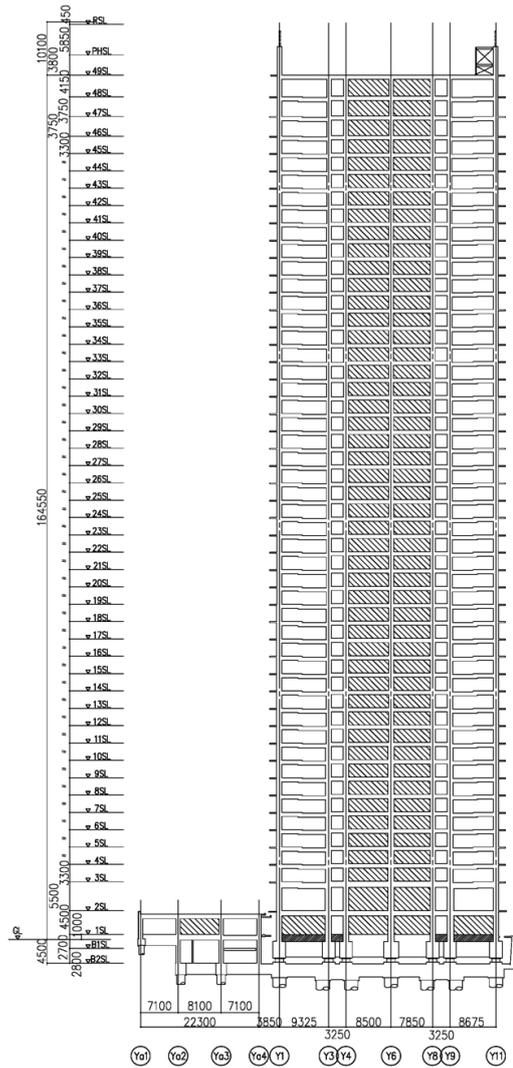
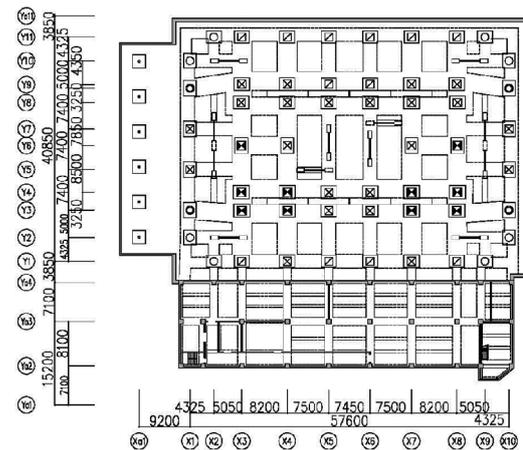


図4 軸組図



記号	種別	基数
○	LRB1400φ	8
□	LRB1400□	4
◎	LRB1500φ	12
⊠	LRB1500□	22
⊠	LRB1600□	16
○	SSR30φ	2
●	SSR35φ	4
		Σ 62
—	オイルダンパー	12

図5 免震装置配置図

4 地震応答解析の概要

耐震目標性能を表1に示す。設計用入力地震動は告示波3波（神戸、八戸、乱數位相）及び観測波3波（エルセントロ、タフト、八戸）についてはレベル1、レベル2それぞれ定義し、またレベル2として関東地震を想定地震としたサイト波を作成した。図6に模擬地震動の応答スペクトルを示す。

表1 耐震性能目標

荷重・外力	目標性能・判定	備考
レベル1	<ul style="list-style-type: none"> 応答層間変形角$\leq 1/400$ 最大応答せん断力\leq一次設計用せん断力 積層ゴム支承の最大せん断歪み$\leq 100\%$（安定変形以内） 積層ゴム支承の最大水平変位$\leq 28\text{cm}$ 	損傷防止
一次設計設計用せん断力(QD)	<ul style="list-style-type: none"> $C_0=0.067$ 部材応力$<$許容応力度 	QD レベル2 (標準剛性) 応答値包絡
レベル2	<ul style="list-style-type: none"> 応答層間変形角$< 1/200$ 最大応答せん断力\leq弾性限耐力 層の最大応答塑性率≤ 1.0 積層ゴム支承の最大せん断歪み$\leq 200\%$（性能保証変形以内） 積層ゴム支承の面圧$\geq -1\text{N}/\text{mm}^2$ 積層ゴム支承の最大水平変位$\leq 56\text{cm}$ 	免震装置の変動特性考慮
二次設計設計用せん断力	<ul style="list-style-type: none"> $C_0=0.067 \times 1.5=0.1005$ 柱（最上階柱頭、1階柱脚を除く）の圧縮側曲げ耐力 応力に対して1.25倍以上とする。 柱、壁のせん断耐力 応力に対して1.25倍以上とする。 梁のせん断耐力 鉄筋の上昇係数 SD490 1.1倍、SD390 1.25倍（上限強度）を考慮し、梁両端が降伏したときのせん断応力に対して、1.1倍の余裕度を確保する。 柱付着耐力 応力に対して1.25倍以上とする。 柱の軸力制限 $-0.75 tNu \leq Nu \leq 0.7cNu$ 	上部構造の余裕度確保

三軸図

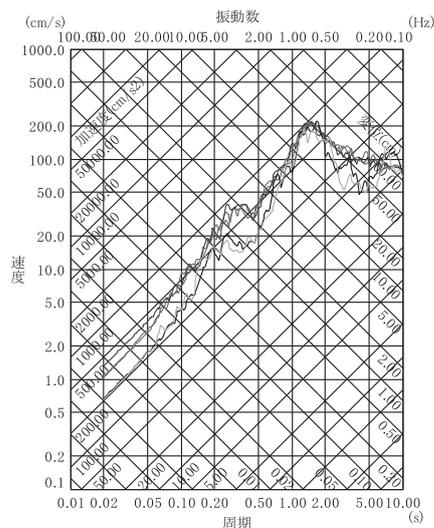


図6 模擬地震動応答スペクトル

建物の固有周期は免震層なしの上部構造のみでは1次固有周期はX方向2.79秒、Y方向3.12秒である。免震層が42cm変形した場合の等価剛性を用いて固有値計算を行った場合、X方向5.90秒、Y方向6.01秒である。

表2 固有値解析結果

	Direction	Mode (sec)		
		1	2	3
Without S. I.	X	2.79	0.84	0.48
	Y	3.12	0.91	0.51
With S. I. (LRB: $\delta=42\text{cm}$)	X	5.90	1.71	0.68
	Y	6.01	1.89	0.73

レベル2の応答値の中で最大応答加速度は約83gal、最大層間変形角は約1/240である。柱・梁などの各部材の設計は最大応答せん断力を考慮して設定した。また、免震層の最大応答変位は積層ゴムのせん断歪約190%、上下動として自重の $\pm 30\%$ を考慮した場合において、最小面圧約 $-0.9\text{N}/\text{mm}^2$ 、最大面圧 $33.3\text{N}/\text{mm}^2$ となっており、性能保証変形範囲内である。

また、入力地震動のエネルギーの負担割合を確認した（図7）。免震層の割合は約69%~89%、特に長周期成分を多く含んだ模擬地震動においては80%以上であり、本計画のような超高層建物の場合においても、耐震性能が免震層の性能に大きく依存していることが確認される。

5 耐風設計の概要

本建物の平面形状は比較的整形ではあるが、高さ約170mの超高層建物であり、また、免震構造を採用していることから風洞実験を実施した。本協会の「免震建築物の耐風設計指針」（2012年9月）の序に

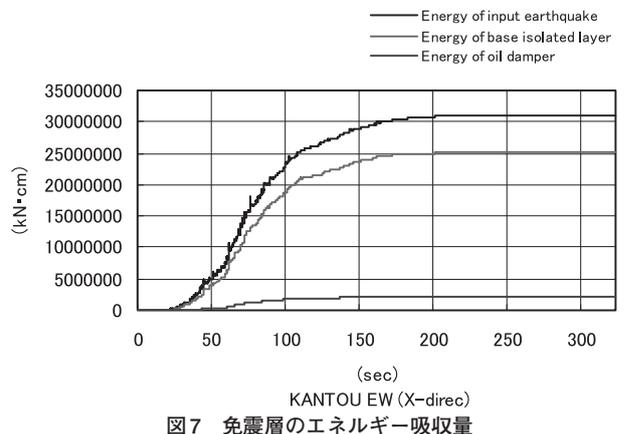


図7 免震層のエネルギー吸収量

述べられているように、風外力は長時間繰り返し作用し、平均風力という静的成分も作用することから、特に免震装置の健全性が確保されるかどうかを確認することは重要である。この観点から免震装置には設計当時最も風荷重に対する検証が行われていたLRBを採用することとした。また、上述の耐風設計指針においてランクCに該当することから風洞実験によって得られた風力時刻歴波形による応答解析を行った。風外力とその時の目標性能は表3に示すように風荷重は再現期間1年、100年（レベル1）、500年（レベル2）の3段階に設定した。再現期間1年の風荷重については、建物の居住性を検証する目的で、日本建築学会の「居住性能評価指針」において判定を行った。最大応答加速度で約3.0galとなっている。

上部構造については地震力が風荷重よりも大きいため、レベル2においても各部材は許容応力度以内に十分納まっている。一方、免震層については、図8に風荷重の定常成分による移動点を原点として、レベル1、レベル2それぞれの変動成分の風荷重による軌跡が描かれている。ここで、長周期地震動と同様、ダンパーが長時間の繰り返し荷重を受けることによって、その性能を失わないかどうかを検証する必要がある。なお、定常成分による最大変位（風向10度）は約14cm（レベル1）、24cm（レベル2）である。

鉛入り積層ゴム支承については、安定してエネルギーを吸収できるのは、等価荷重振幅が総切片降伏荷重（ ΣQd ）の2/3以下という結果が示されている。図9に示す免震層の荷重変位履歴曲線よりレベル2応答値において等価振幅が2/3 ΣQd 以下であることを今回確認している。また、滑り支承については、本建物が供用期間中に、変動風圧によって滑る距離の累積値を推定した結果、レベル2相当である500年間における累積滑り距離は、約40cm程度（装置の弾性変形領域は滑り距離から除く）であり、許容値1000mと比較して無視できる程度である。オイルダンパーについても同様に問題にはならないことを確認した。

一方、表3のクライテリアは満足されているが、風が止んだ後に変形が残留する可能性がある。鉛の場合、鉛内の残留応力は時間と共に解消し、徐々に

表3 耐風性能目標

	荷重・外力	目標性能・判定	備考
居住性	再現期間1年の風速	各階の応答加速度が日本建築学会の居住性能評価指針（2004）に示されるH-50以下	
レベル1	再現期間100年の風速	上部構造：一次設計用せん断力以内（各部材許容応力度以内） 免震層：最大水平変位はLRB安定変形の1/2（ゴム歪100%）以下かつ200mm以下	再現期間100年の風速 > 告示風速
レベル2	告示風速の1.25倍	上部構造：弾性耐力以内 免震層：最大水平変位はLRB安定変形の3/4（ゴム歪150%）以下かつ300mm以下 装置温度上昇等による特性変化小	告示風速の1.25倍 > 再現期間500年の風速

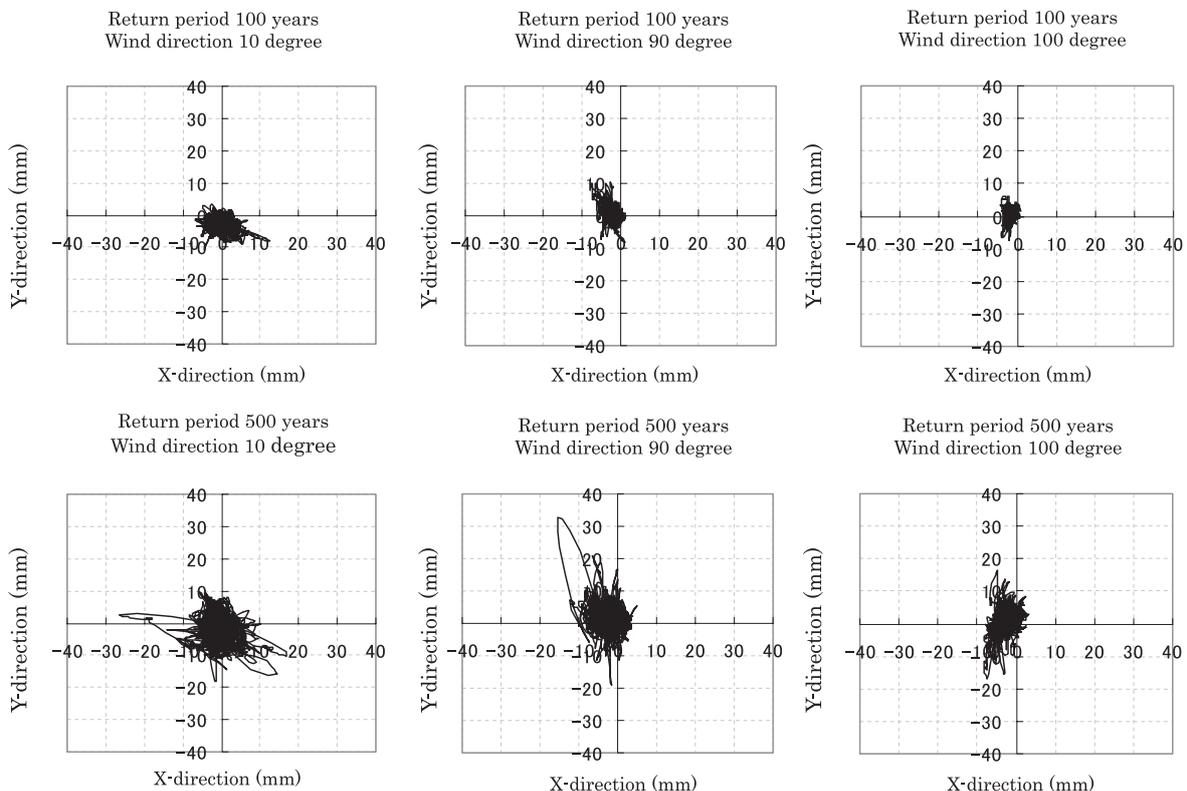


図8 風荷重による免震層の変位履歴（レベル1、2）

変形も原点に戻る性質があると言われているが、完全には戻らないため、50mm以上の変形が残留した場合に対応することとしている。

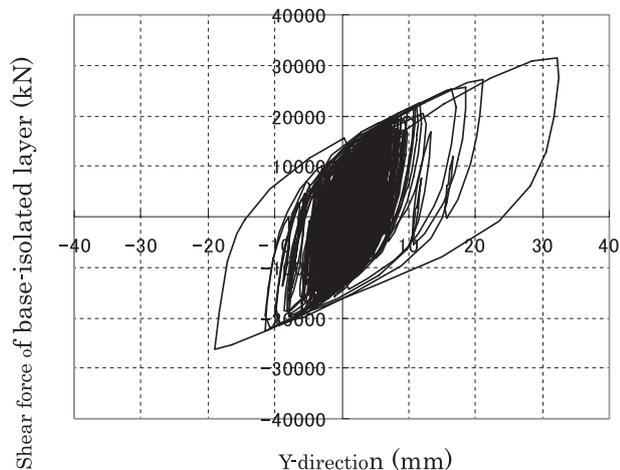


図9 免震層の荷重変位履歴曲線

6 おわりに

49階建ての超高層建物でありながら、免震構造の採用と上部構造に連層耐震壁を配置することにより、建物外周部のスパンを大きくし、住戸レイアウトの自由度が高い空間を実現した。

剛強な基礎、荷重支持及び変形性能のある免震層、剛性・耐力の高い上部架構の組み合わせにより、比較的周期の長い建物でも十分な免震効果を発揮することができた。

再現期間500年相当の暴風時においても、免震層の変形及びダンパーの耐久性は健全性を保つことを、既往の実験結果との比較から確認した。

本建物は設計段階から施主をはじめ、設計者、施工者が一体となって取り組んだプロジェクトです。2014年の竣工に向け工事は順調に進んでいます。この場をお借りし、関係者の方々に厚く感謝致します。