アイタワー



株式会社竹中工務店

同

同

同

1 はじめに

本計画は、福岡市の博多湾の北東部で先進的モデ ル都市として開発が進むアイランドシティに建設さ れた、住居系では九州最高層となる分譲集合住宅で ある。印象的な平面形状、それによる快適な居住空 間、新しい街におけるコミュニティ形成の仕掛け、 アスペクト比5.9を実現する高度な構造計画など、 先進の技術と住まいのノウハウを隅々まで注ぎ込ん だ、未来へつなぐ集合住宅であり、先進的モデル都 市の新たなランドマークタワーを目指した。 所 在 地:福岡県福岡市東区香椎照葉三丁目 建 築 主:西日本鉄道·NIPPO·住友不動產 設 計 監 理:株式会社竹中工務店一級建築士事務所 工:株式会社竹中工務店 施 主要用途:集合住宅 敷地面積:7,484.36m² 建築面積: 3,298.50m² 延床面積: 37,067.41m² 建物高さ:149.47m 階 数:地上45階 造:RC構造·一部S造(免震構造) 構 工 期:2014年2月~2016年2月

2 建物概要

本建物は、地上45階、最高高さ149.47mの超高層 集合住宅である。平面形状は、長辺26.7mと短辺 10.7mで構成されたトライアングル形状で、1フロア に6戸または7戸の住戸配置により角住戸率を88%と 高め、かつ、構造合理性を追求した形状とした。外 観上は外殻構造を3枚のパネルにデザインし、印象 的なトライアングルの平面形状をより際立たせた。 (図1,図2)





3 構造計画概要

構造計画のポイントは、豊かな住空間の形成とア スペクト比が5.9と極めてスレンダーな形状を両立 させるために、高性能な超長周期免震構造を開発し 採用した点である。以下に概要を示す。

3.1 上部構造(ダブルチューブ構造)

建物外周部と内周部のみにラーメン架構を用い て、居室部には一切梁型のないダブルチューブ構造 とし、両架構は、プレストレス入りハーフPCaスラ ブで連結している。最下部は2層吹き抜けとなるた め、極厚耐震壁で剛性・耐力を確保している。(図3)

3.2 パッシブロック免震システム

超長周期を実現する免震システムは、支承材を天 然ゴム系積層ゴム支承と低摩擦弾性滑り支承の2種 類とし、減衰材を小振幅でも減衰性能を発揮する減 衰こまとパッシブ型ロック機構付オイルダンパー (以降、ロックダンパー)で構成している(図3)。

ロックダンパーは、再現期間10年の風荷重相当ま では、ロック機構により過大な免震層変形を抑制し、 これを超える外力レベルではロックが解除され超長 周期化された免震周期の建物となる。その結果、疲 労等が懸念される金属系ダンパーやストッパー等を 用いる事無く、風と地震に対して両立できる高性能 な免震システムが構築できる。(図4)

4 耐震設計方針概要

4.1 免震層の静的荷重変形関係

免震層のY方向の荷重変形関係図と風・地震の外 カレベルを示す。再現期間10年の風荷重相当レベル 未満では、ロックにより免震層の変形が抑制される。 一方、それ以上の荷重レベルでは、ロックが解除さ れて超長周期化された免震構造となる。(図5)

4.2 地震応答解析結果

固有値解析結果を示す(図6)。免震層初期剛性 (ロック時)で4.24秒、大地震時で7.55秒であり、大 地震時には1次以降と十分にモード分離出来ている。 入力レベルを2段階とした地震応答解析結果を示す (図7)。解析結果には、同じ地震動においてロック を無効とした場合の解析も合わせて示している。入 力レベルが小さい場合(a)、ロックにより免震層変 形が抑制されている。一方、大地震時(b)は、ロッ クの有無によらず両者は概ね同様な応答をしてお り、ロックが建物の構造安全性に悪影響を及ぼすこ とがないと言える。



図3 構造パース・軸組図・床伏図







免震層の履歴ループと応答波形を入力レベルにより比較して示す(図8)。外力が小さい場合はロックにより変形が抑制され、ロック解除時および解除後にロックの影響はみられないことがわかる。

エネルギー吸収バランスを図9に示すが、免震層 においては、約80%程度の高いエネルギー吸収を示 しており、両ダンパーが同程度、弾性滑り支承は両 ダンパーの半分程度のエネルギーを吸収している。 また、外力が小さいロック状態の場合は免震層での エネルギー吸収は小さく、ロック解除後はエネル ギー吸収が大きくなっている。



5 耐風設計方針概要

5.1 風洞実験概要

本建物は7秒を超える免震周期を有するため、空 力不安定振動が懸念された。その挙動を把握するた め、振動模型による風洞実験を実施した(図10)。

5.2 実験結果

実験結果とモーダル解析結果の一例として、頂部 風速と変動変位の関係を示す(図11)。変動変位の実 験結果(プロット)は、スペクトルモーダル解析結 果(実践)と良く一致しており、減衰定数が並進6.6%、 ねじれ2.9%以上であれば、負の空力減衰は作用せず、 大きな振動は発生していない。1次モードの等価減衰 定数(正弦波加振、レベル2ロック解除状態)を求め た結果を示す(図12)。並進で25%以上、ねじれで5% 以上の減衰を確認できており、実験結果と比較し、本 建物では空力不安定振動が発生しないと考えられる。

5.3 風応答解析結果

風による建物挙動の詳細を把握するために、風洞 実験(風圧力計測)から得られた風外力を用いた時 刻歴応答解析を実施した。1階と45階床の変位履歴 (風向155°)を示すが、1階床(免震層)で最大43.3cm(ク ライテリア内)、45階床で最大74.3cmとなっている (図13)。また、再現期間1年の解析結果の最大加速 度は、評価指針のH-30を満足している。



6 想定外地震対応

6.1 解析条件

本建物は、想定外地震に対して、本体構造体と擁 壁との間に衝突緩衝材を設けており、建物1階基礎 部と擁壁のクリアランス60cmに対して、50cmの位 置としている(図14)。解析結果は、一例であるが、 入力地震動特性や大きさによって結果は異なる。

6.2 衝突緩衝材および擁壁のモデル化

衝突緩衝材の実験結果と解析に用いた復元力特性 を示す(図15)。擁壁は、コンクリート厚さ50cmで 衝突高さ1.5m、有効幅1.0mの曲げ剛性および背面土 剛性を想定した。

6.3 解析ケース

解析ケースを表1に示す。Case-0は、擁壁がない と想定した場合、Case-1は、擁壁が有り衝突緩衝材



図10 風洞実験模型



が無い場合、Case-2は、実際に実施のクリアランス 50cm位置に衝突緩衝材を設けた場合である。外力 は、告示スペクトルのランダム位相波とし、大地震 時のレベル2×1.25倍の1水準とした。

6.4 時刻歴応答解析結果

免震層の荷重変形関係を図16に示す。Case-0は、 免震層が60cmを超える変形を生じており、積層ゴム のハードニング、転倒モーメントによる支承材面圧 の増大などが懸念される。Case-1は擁壁に直接衝突、 Case-2は衝突緩衝材に衝突している。免震層の時刻 歴応答波形を図17に示す。各ケースとも11秒および 14秒付近で大きな値を示し、衝突緩衝材のない Case-1では、14秒付近で擁壁との衝突が生じたが、 Case-2では衝突緩衝材による変位抑制効果が確認で きる。各階の最大応答加速度を図18に示す。Case-1 において擁壁衝突により上部構造に大きな加速度応 答を生じているが、Case-2では抑制されている。衝 突現象が確認される0秒~20秒区間の1階から5階を 抜き出した最大応答層せん断力値を示すが、Case-1 では、擁壁衝突により上部構造に大きな層せん断力 が発生しているが、Case-2では、30%程度応答低減 が図れている(図19)。

7 建物振動計測

超長周期免震建物の振動特性を確認するため、竣 工直前に実建物の加振試験を実施した。

7.1 試験概要

本試験では、可搬型のAMD(アクティブマスダ



表1 解析ケース

解析 ケース	擁壁の 有無	擁壁と 1階基礎の クリアランス	衝突緩衝材の 有無	衝突緩衝材と 1階基礎の クリアランス
Case-0	無し	_	無し	—
Case-1	有り	60cm	無し	—
Case-2	有り	60cm	有り	50cm





ンパー)を加振機として43階に設置し利用した(図 20、図21)。計測点を図22、試験ケースを表2に示す。 建物X-Y座標に対して建物主軸方向を軸とするa-b座 標(X-Y座標を120°回転)を定義し、両方向を加 振した。また、ロックダンパーの有無による違いも 検証した。



凶20 加加政政

表2 試験ケース				
	加振方向	ロック状態		
Case-1a	。士白	ロックなし		
Case-2a	алы	ロックあり		
Case-1b	ト七白	ロックなし		
Case-2b	미거미	ロックあり		

7.2 試験結果

各方向1次~3次までの固有モードを励起させるた めに、Sweep波加振を実施し、その後、正弦波加振 を実施した。固有値および減衰定数の測定結果を表 3に示すが、固有振動数の計測値は解析値に比べ概 ね1.5倍程度大きな値となっている。建物の間仕切 りなどの二次部材の影響に加え、振幅が微小であっ たため積層ゴムの水平剛性が設計値よりも大きく現 れたと考えられること、免震層内の配管剛性などが 影響したことが考えられる。固有モード形状の試験 結果は、ロックの有無での有意な差はなく、ロック 有の解析結果に概ね近い結果となった(図23)。

8 おわりに

大地震および風に対して、高性能な超長周期免震 建物を開発することによって、安全で安心、かつ、 極めてシンボリックな建物を実現できた。今後も免 震構造を駆使する事により、新たな建物形態創造へ の挑戦と、免震構造の高度化や普及に貢献して行き たい。

最後に関係者の方々に、感謝申し上げます。



表3 固有値・減衰定数測定結果(a方向水平モード) 固有振動数(Hz)

·/// 米//	Case-1a		Case-2a			
火奴	評価値	解析値	評価/解析	評価値	解析値	評価/解析
1	0.337 ~0.344	0.219	1.54 ~1.57	0.309 ~0.357	0.250	1.24 ~1.43
2	1 17 ~1 20	0.636	1 84 ~1 89	1 17 ~1 18	0.813	$^{1 44}_{\sim 1 45}$
3	2.20 ~2.26	1.450	1 52 ~1 56	2.22 ~2.27	1.600	$^{1 39}_{\sim 1 42}$
		減衰	定数(%)			
		次数	Case-1a	Case-2a		

火奴	uase-ra	uase-za	
1	0.62~6.9	2.2~8.7	
2	0.68~3.9	1.0~3.0	
3	2.4~6.1	2.1~3.7	

