

# L型平面形状を有する超高層免震建物(ルネ マスターズタワー)

前田建設工業  
山本憲一郎



同  
山崎達司



同  
吉田 実



同  
丹波吉晴



## 1. はじめに

本建物は、JR尼崎駅の北口に隣接した敷地に建設中の地上27階・塔屋1階からなる店舗付共同住宅(総住戸数272戸)である。主要な用途である住宅は主に3階以上に設け、1、2階には店舗及びエントランスホール、駐輪場等の共用施設を設けている。

本建物の平面形状はL字形となっていることから地震時における建物の捩れを軽減して上部構造の安全性を高めるため、1階床梁と基礎構造の間に免震部材を配置した基礎免震構造を採用している。

## 2. 建築物概要

建物位置：兵庫県尼崎市潮江1丁目591番地

主要用途：店舗付共同住宅

建築主：総合地所株式会社 大阪支店

設計者(一般)：(株)遠藤剛生建築設計事務所

(構造)：(株)アクア

前田建設工業(株) 一級建築士事務所

施工者：前田建設工業(株) 関西支店

建築面積：3,093.19m<sup>2</sup>

延べ面積：27,730.70m<sup>2</sup>

階数：地上27階、塔屋1階

軒高：84.25m

建物高さ：85.10m

最高部高さ：88.45m

構造種別：鉄筋コンクリート造

架構形式：X・Y方向とも純ラーメン構造

床形式：穴あきPCa版による合成床版

基礎：杭基礎(支持層：砂礫層)



外観パース

## 3. 構造計画概要

本建物の平面形状はL字形で1階～12階までがX・Y方向共7スパン、13階～26階までがX・Y方向共6スパンのウイング部分を有しており、27階はX・Y方向共3スパンとなっている。また、L字形の交点部分には両ウイングをつなぐ斜め梁を設け剛性を確保している。

免震部材は、鉛入り積層ゴム(φ1200～φ950)を計25基、天然ゴム系積層ゴム(φ1100～φ950)を計13基、鋼棒ダンパー4基、低層棟部分に弾性滑り支承(φ400)を2基採用し、免震層における偏心率が最大でも3%以下となるようにバランスよく配置している。

上部構造の構造種別は鉄筋コンクリート造とし、構造形式はX方向・Y方向とも純ラーメン架構としている。使用材料は、コンクリートの設計基準強度で $F_c=48\sim30\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリート、鉄筋は

主筋にSD490～SD390、せん断補強筋にSD390と高強度せん断補強筋を採用している。図-1～3に基準階梁伏図及び軸組図、免震部材配置図を示す。

基礎構造は鉄筋コンクリート造とし、フーチング・地中梁・耐圧版で構成される杭基礎としている。また、杭は場所打ちコンクリート拡底杭および場所打ちコンクリート杭を使用し、GL-30m付近の砂礫層（N値50以上）に支持している。

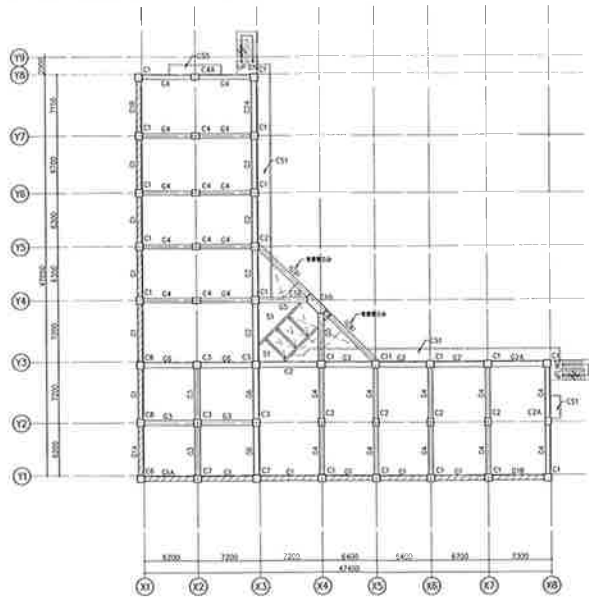


図-1 基準階梁伏図

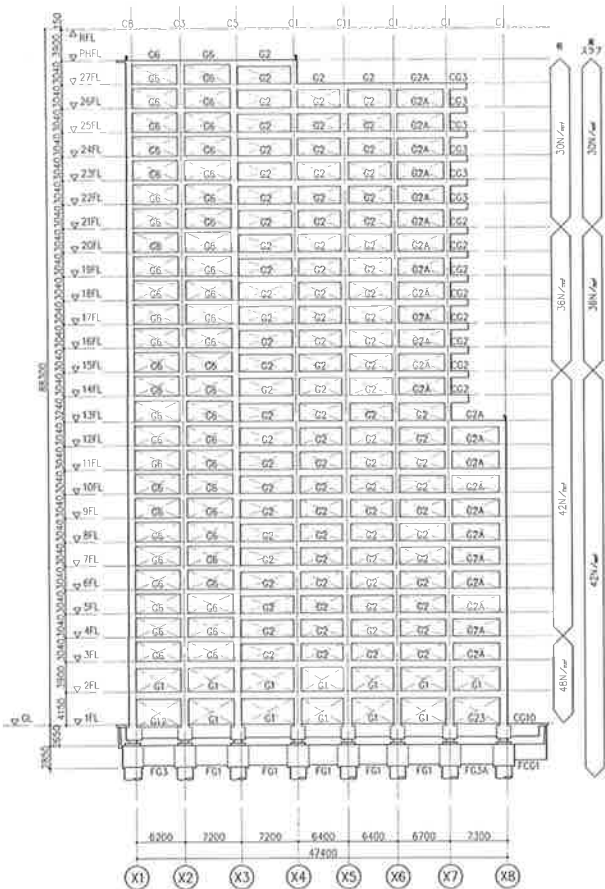


図-2 軸組図

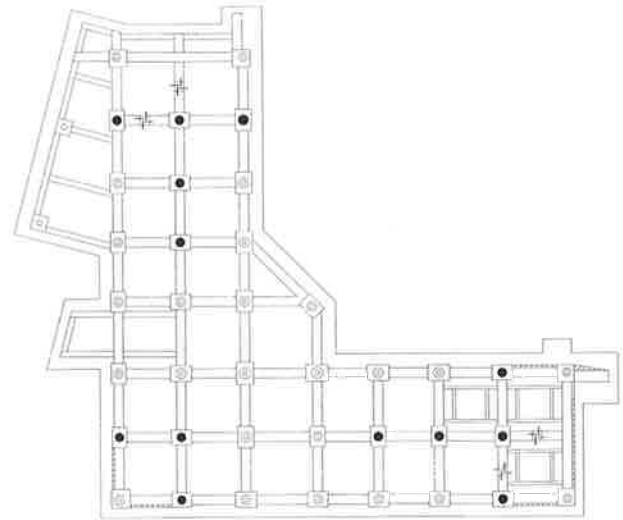


図-3 免震部材配置図

	凡例	寸法・仕様	基数
鉛プラグ入り積層ゴム	◎	1200φ～950φ	25
天然ゴム系積層ゴム	●	1100φ～950φ	13
鋼棒ダンパー	≡	U型 (50×4)	4
滑り支承	○	400φ	2

#### 4. 設計方針

本建物の耐震設計にあたって立体架構モデルによる静的弾塑性解析により骨組みの応力・変形を検討すると共に、弾塑性地震応答解析により地震動を受けた場合の建物の挙動を把握し、耐震安全性を検討した。各レベルにおける耐震性能目標のクライテリアを表-1に示す。

応答解析においては、稀に発生する地震時（レベル1）、極めて稀に発生する地震時（レベル2）及びレベル2地震を上回る地震時（余裕度検討レベル）においてそれぞれのクライテリアを満足することを確認した。

静的解析においては、長期時及び設計用地震荷重時（レベル2地震時の応答せん断力を包絡する外力分布）に対する応力において許容応力度設計を行った。また、各部材の安全性を確保するため、確認保有水平耐力時（増分解析において最大層間変形角が1/100を超える時点）において終局強度設計を行った。

免震部材の設計では積層ゴムの長期面圧を10～15N/mm<sup>2</sup>とした。また、免震層の設計上の最大変形は余裕度検討レベルにおいて60cm以下とし、上部構造と周辺構造のクリアランスは60cm以上確保した。

また、耐風設計については、稀に発生する風荷重（再現期間50年）に対して鋼棒ダンパーが降伏しないことを確認した。

表-1 耐震性能目標

	荷重・外力	目標性能・判定
上部構造	レベル1	最大応答層間変形角 $\leq 1/300$
	レベル2	最大応答層間変形角 $\leq 1/150$
	設計用地震荷重時	部材応力 $\leq$ 許容応力度
	余裕度検討レベル	最大応答層間変形角 $\leq 1/100$ 各層せん断力 $\leq$ 各層の弾性限耐力
	確認保有水平耐力時	部材応力 $\leq$ 終局耐力
免震層	レベル1	積層ゴムのせん断歪み量 $\leq 125\%$ (設計許容変形の1/2以内)
	レベル2	積層ゴムのせん断歪み量 $\leq 250\%$ (設計許容変形以内) 積層ゴムに有害な引張力なし。
	余裕度検討レベル	積層ゴムのせん断歪み量 $\leq 300\%$ (設計限界変形以内) 積層ゴムの引張力 $\leq 1\text{ N/mm}^2$
基礎構造	設計用地震荷重時	部材応力 $\leq$ 短期許容応力度 基礎が浮き上がらない。 杭は許容支持力以内。
	確認保有水平耐力時	部材応力 $\leq$ 終局耐力 部分的な基礎の浮き上がりは認めるが、基礎全体の浮き上がりなし。

- \* 積層ゴムの設計許容変形=せん断歪 250%
- \* 積層ゴムの設計限界変形=せん断歪 300%

## 5. 地震応答解析

### 5.1 解析モデル

解析モデルは、質量を各階床の重心位置に集約させ各質点間を曲げせん断バネで結んだ28質点の等価曲げせん断型モデルを基本モデルとした。さらに、立体フレームによる解析モデル(図-6)にて上部構造の捩れに対する安全性の検討及び免震層の検討を行った。

上部構造の減衰については内部粘性型とし、減衰定数は上部構造(免震層を固定とした状態)の1次振動形に対して3%の瞬間剛性比例型とした。免震部材については、鉛入り積層ゴムおよび鋼棒ダンパーにおいて履歴減衰のみを考慮した。

### 5.2 入力地震動

地震応答解析に用いた入力地震動は告示スペクトル適合波を3波(ランダム位相)及び既往標準3波を採用した。表-2に入力地震動波形の諸元を示す。また、図-4に入力地震動の加速度応答スペクトル

(レベル2入力)を示す。

表-2 入力地震動波形の諸元

入力波形名	入力最大加速度( $\text{cm/sec}^2$ ) (入力最大速度( $\text{cm/sec}$ ))		
	レベル1	レベル2	余裕度検討レベル
KOKUJI-1	102.1 (14.1)	397.2 (67.5)	516.4 (87.8)
KOKUJI-2	97.3 (13.1)	378.3 (57.7)	491.8 (75.0)
KOKUJI-3	98.6 (16.7)	396.1 (79.1)	514.9 (102.8)
EL CENTRO (NS)	255.4 (25.0)	510.8 (50.0)	766.1 (75.0)
TAFT (EW)	248.4 (25.0)	496.8 (50.0)	745.1 (75.0)
HACHINOHE (NS)	166.4 (25.0)	332.7 (50.0)	499.1 (75.0)

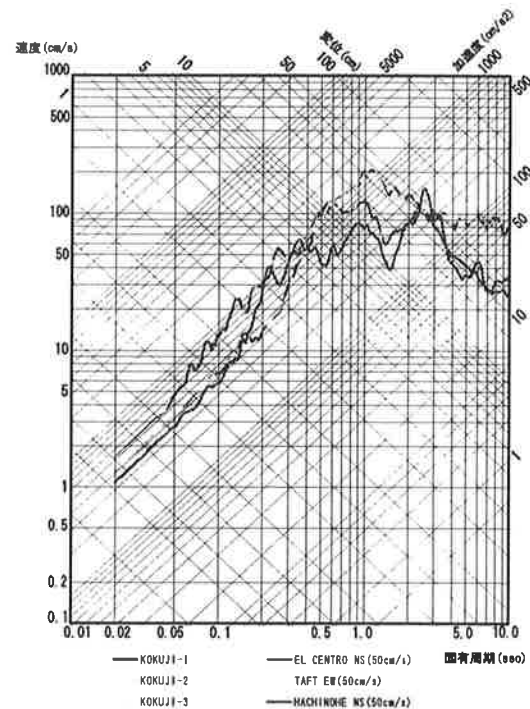


図-4 加速度応答スペクトル(レベル2、 $h=5\%$ )

### 5.3 固有値解析結果

本建物の1次固有周期を以下に示す。

表-3 1次固有周期 (sec)

免震層剛性	X方向	Y方向
免震層固定時	1.737	1.740
微小変形時( $\gamma=10\%$ )	2.447	2.450
レベル1応答相当時	4.075	4.075
レベル2応答相当時	4.542	4.543

5.4 応答解析結果

応答解析は、免震材料の特性変動（製造ばらつき・経年変化・環境温度依存）を考慮して行った。

検討の結果、レベル2地震時における免震層の最大変位は45cm以下、上部構造の最大応答加速度は210cm/s<sup>2</sup>程度であり、耐震性能の目標クライテリアをすべて満足することを確認した。解析結果の一覧を表-4に、X方向の最大応答値分布を図-5に示す。また、図-6により上部構造の捩れの影響が小さいことを確認した。

表-4 応答解析結果の最大値

	項目	標準剛性	剛性変動	
			(+)	(-)
X方向	頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	183.2	211.7	150.5
	応答最大層間変形角	1/263	1/234	1/314
	1F層せん断力 (kN)	24354	28188	23454
	免震層水平変形 (cm)	34.3	30.5	44.3
Y方向	頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	181.0	209.4	149.9
	応答最大層間変形角	1/260	1/232	1/309
	1F層せん断力 (kN)	24297	28146	23348
	免震層水平変形 (cm)	34.2	30.3	44.2

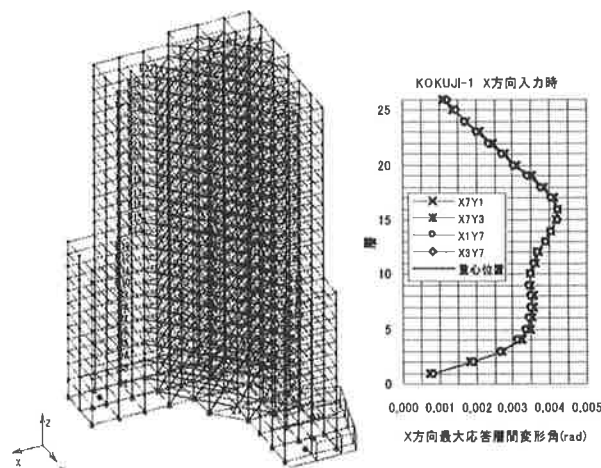


図-6 立体モデル及び応答結果例

レベル2応答時における積層ゴムの面圧の検討は、静的解析における設計用応力時の支点反力を転倒モーメント比（レベル2時転倒モーメント/静的解析時転倒モーメント）により補正した値をレベル2応答時支点反力として算定した。

検討の結果、最大面圧21.9N/mm<sup>2</sup>、最小面圧2.1N/mm<sup>2</sup>となっており、短期許容面圧30.0N/mm<sup>2</sup>以下かつ引張力も生じていないことを確認した。

(図-7)

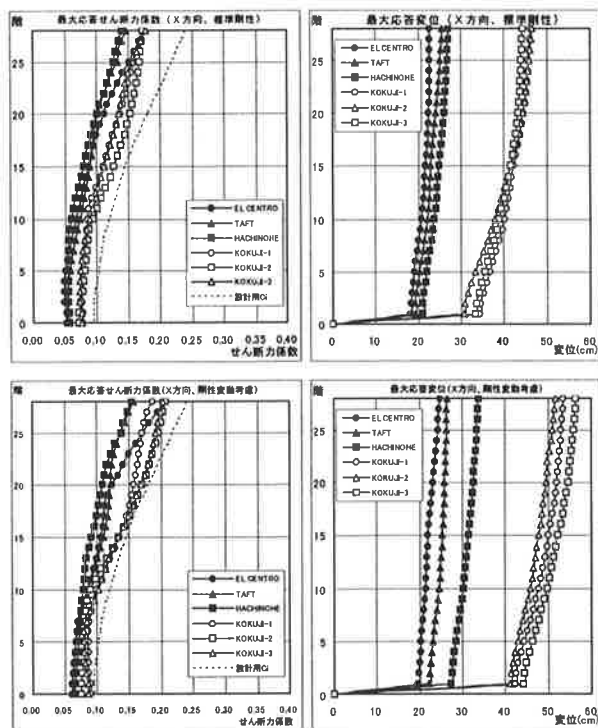


図-5 最大応答結果 (レベル2)

5.5 積層ゴムの面圧

積層ゴムの長期面圧は10.0~14.6N/mm<sup>2</sup>となっており、長期許容面圧15.0N/mm<sup>2</sup>以下となっている。

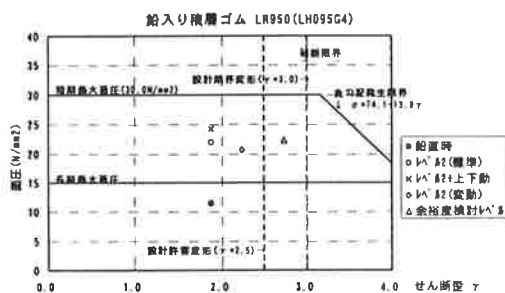


図-7 積層ゴムの面圧-歪関係

5.6 上下動に対する検討

上下動に対する検討は、鉛直震度kv=0.3を考慮して行った。鉛直震度は、フレームモデルによる鉛直地震応答解析を行い妥当性の確認を行った。ここで用いた入力地震波は、「設計用入力地震動作成手法技術指針(案)」（日本建築センター）を参考に告示模擬波3波（水平動と同位相、逆位相）を作成した。その結果、上下地震動による最大応答軸方向力は、鉛直震度に換算するとkv=0.26程度となった。また、時刻歴応答波形の重ね合わせより、上下動の最大応答値と水平動の最大応答値は同時に発生していないことを確認した。

水平動と上下動による鉛直力の足し合わせの結果、

水平動の45度方向加力時において最大面圧24.3N/mm<sup>2</sup>、最小面圧0.5N/mm<sup>2</sup>となっており、短期許容面圧30.0N/mm<sup>2</sup>以下かつ引張力も生じていないことを確認した。(図-7)

## 6. 施工概要

### 6.1 免震部材下部コンクリート充填実験

免震層の施工に先立ち積層ゴム下部のコンクリートを密実に充填するための施工方法について検討を行い、高流動コンクリートを用いた打ち込み工法を採用した。さらに実施工前に現場内において実大簡易モデルによるコンクリート充填実験を実施した。コンクリート硬化後、ベースプレートを剥がして充填状況を確認したところ良好に充填されていることを確認した。



図-8 高流動コンクリート充填実験

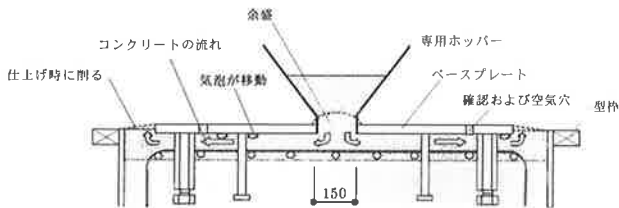


図-9 打ち込み工法概念図

### 6.2 パネルゾーンPCa化工法

本建物の外周柱・逆梁接合部のパネルゾーンをフルPCa化したシース管・目地同時注入工法を採用した。また、逆梁の外側部分にL字型の外郭PCfを採用している。

シース管・目地同時注入工法とは、柱・梁接合部内の柱主筋位置にスパイラル管を設置し、下部柱か

らの柱主筋をスパイラル管を貫通させ、スパイラル管内及び下部PCa間の接合目地部を高強度グラウト材にて同時注入し一体化させる工法である。

パネルゾーンのフルPCa化により、躯体品質及び施工精度が向上する。また、逆梁部のL字型外郭PCfは、外部側からの仕上げ施工を無くすことが可能となり無足場にて施工ができる。工程面では、パネルゾーンのフルPCa化により、施工階のスラブコンクリート打設前に先行して上階の柱PCaの設置が可能となり工期短縮にも効果がある。

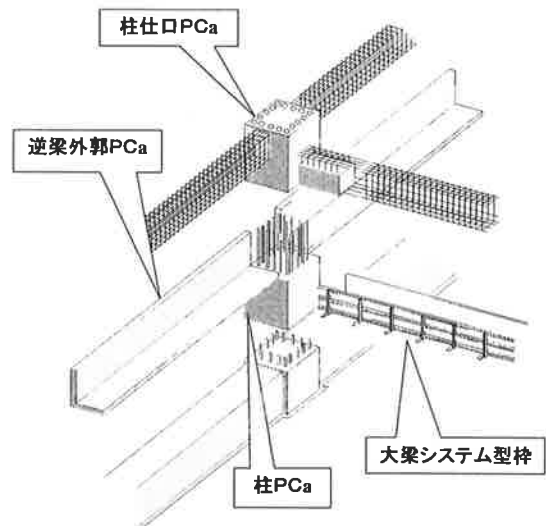


図-10 外周逆梁部分PCa化概念図



図-11 パネルゾーンPCa設置状況

## 7. まとめ

これまでの超高層RC建築物は、平面形状がほぼ整形な建物であることが一般的となっていた。今回、免震構造を採用することによりL字型という特殊な平面形状を有する超高層RC建築物の設計を実現できた。また、集合住宅に求められている耐震性を大幅に向上できた。