

旭通四丁目地区第一種市街地 再開発事業施設建築物



中澤 昭伸
織本構造設計



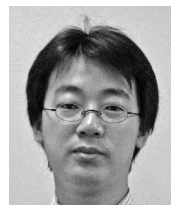
小泉 融
同



浅井 伸之
同



三瓶 文彦
同



林 義閑
同

1 はじめに

建設地は、JR三ノ宮駅から東へ約300mの位置にあり、同一敷地内に住宅棟（免震）、商業施設棟（耐震）、駐車場棟（耐震）及び南側独立店舗棟（耐震）の4棟で構成されている。

2 建物概要

建設地：兵庫県神戸市中央区旭通四丁目
主用途：共同住宅
延床面積：73,479.19m²（住宅棟のみ）
階数：住宅棟 地下1階、地上54階、
塔屋2階
軒高：175.90m
最高高さ：190.00m
基礎：べた基礎
免震構法：基礎免震とし、免震装置は、鉛プラグ入り積層ゴム・弾性すべり支承・減衰こまを採用する。



図1 外観パース

3 構造計画

住宅棟は地下1階、地上54階、塔屋2階の基礎免震部分と地下1階、地上1階の非免震部分で構成されている。

2階から31階の平面形状が東西方向39.0m、南北方向42.7mのほぼ正方形の形状である。32階から四隅がセットバックする形状となっている。スパン構成は両方向共4.5m～11.0mのスパンが混在した構成となっており、塔状比は軒高さ/短辺長さ＝175.90/39.0＝4.51である。

構造種別・構造形式は、免震部分がFc36～100N/mm²の鉄筋コンクリート造とし、地下1階が耐震壁付きラーメン構造、地上階が純ラーメン構造

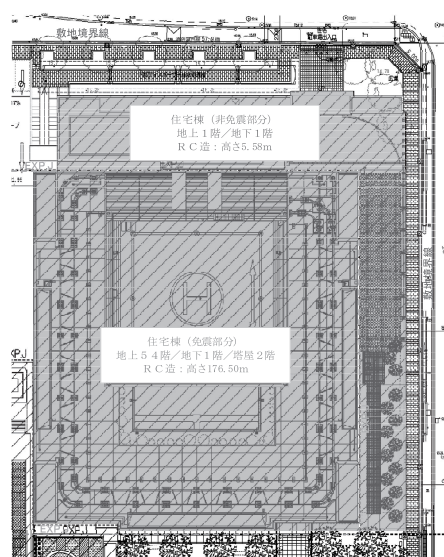


図2 住宅棟の配置図

とし、3階以下は在来工法で、4階から上部の柱はフルPCa、大梁はハーフPCaとしている。非免震部分は、Fc24～48N/mm²の鉄筋コンクリート造とし、耐震壁付きラーメン構造としている。

床形式は、場所打ちコンクリートスラブ（在来工法）を基本とし、住宅階は遮音性能と現場施工の向上を目指してPC版+場所打ちコンクリート合成床版を採用する。

免震装置は、偏心率が小さくなるように上部構造全体の重心と免震層の剛心が一致するように配置する。振れ剛性が大きくなるように水平剛性の高い鉛プラグ入り積層ゴムを建物外周に、周期の調整のために弾性すべり支承を建物内部に配置する。付加減衰機構として減衰こまを用いる。減衰こまは微小変形時にも減衰が得られるため、風圧力の微小振動に対する減衰にも期待する。

建設地の地盤は、図5に示す層序となっており、住宅棟の基礎下端は約GL-10.9～GL-16.3mにある。

本建物の基礎底以深の地盤は砂礫層の中にN値50を下回る強度の低い地層がレンズ状に存在している。よって、基礎は低強度の地層を目視確認しながら取り除いた後に、基礎底までを地盤改良（高強度流動化処理工法）で埋め戻した上に躯体を構築する直接基礎（マットスラブ）を採用する。

4 設計方針

4.1 免震層の設計方針

1) 固有周期の設定

免震層は、鉛プラグが降伏後の免震周期で割線等

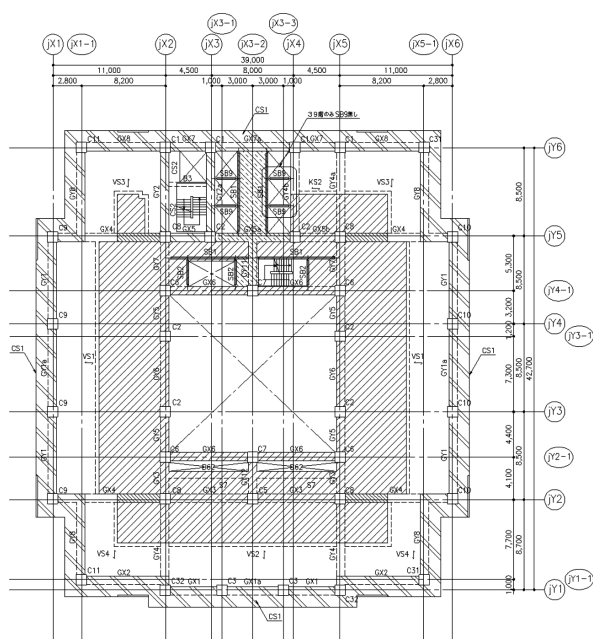


図3 35階床伏図

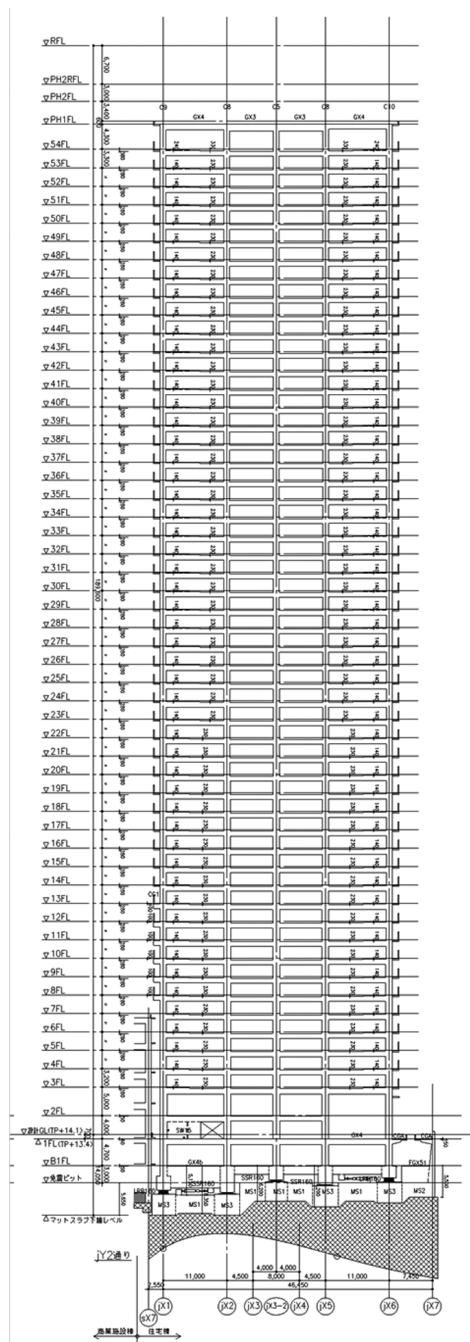


図4 jY2通軸組図

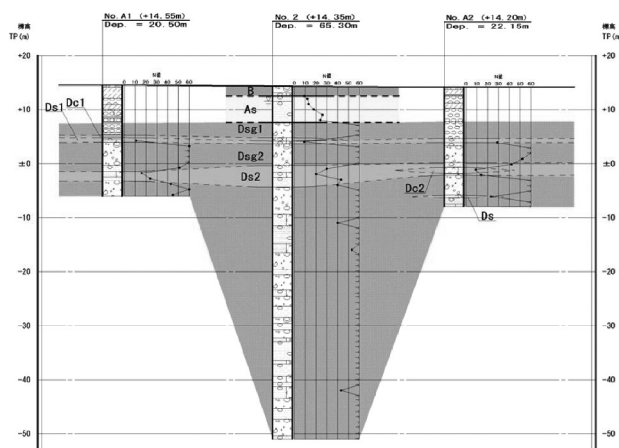


図5 土層断面想定図

価周期6～7秒程度（200％歪時）を目標として、十分な長周期化を図る。

2) 免震装置の配置

鉛プラグ入り積層ゴムを建物外周に、弾性すべり支承を建物内部に配置し、免震層の捩れ剛性を損なうことなく、長周期化を図る。また、免震層の偏心率は微小振幅時（鉛プラグが降伏する時点、 $\gamma = 6.6\%$ ）から極めて稀に発生する地震動相当時（ $\gamma = 250\%$ ）までを目標値0.002以下とする。

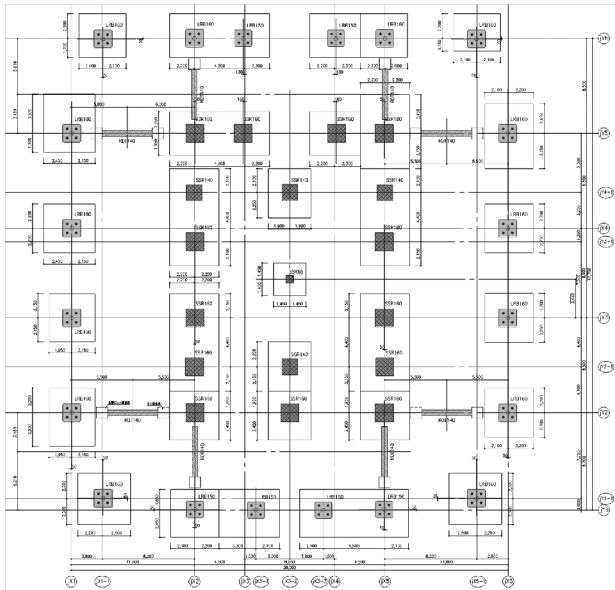


図6 免震支承の配置図

4.2 建物及び免震装置の耐震性能

建物及び免震装置の耐震性能目標を表1に示す。

表1 耐震性能目標

項目		レベル1地震動	レベル2地震動	余裕度検討レベル
上部構造	部材の状態	短期許容応力度以内	弾性限耐力以内	—
		$Q_{dy}/Q_e \leq 1.0$	$Q_{dy}/Q_y \leq 1.0$	—
	層間変形角	$\leq 1/300$	$\leq 1/150$	—
免震層	床加速度	$\leq 200 \text{ cm/sec}^2$	$\leq 350 \text{ cm/sec}^2$	—
	最大変位	$\leq 30 \text{ cm}$ ($\gamma = 100\%$)	$\leq 75 \text{ cm}$ ($\gamma = 250\%$)	$\leq 80 \text{ cm}$ ($\gamma = 267\%$)
	面圧	圧縮 $\leq$ 短期許容面圧 引張 発生しない	$\leq$ 短期許容面圧 $\geq -1.0 \text{ N/mm}^2$	—
基礎	部材の状態	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内	—

Q_{dy} : 最大応答層せん断力 Q_e : 設計用層せん断力

Q_y : 弾性限耐力（当該層の大梁がヒンジに達した時の層せん断力）

5 地震応答解析

5.1 解析モデル

時刻歴応答解析における振動モデルは、上部構造を1層1質点系の等価曲げせん断バネとし、免震層は免震材料を各々のバネに置換する。地震動の入力位置は免震層直下とし固定とする。なお、塔屋は剛

体と考えられるため、最上階に重量のみを考慮する。

1) 上部構造のモデル

地上階はRC造純ラーメン構造のため履歴特性は剛性減衰型Tri-Linear型とする。

地下1階はRC造耐震壁付きラーメン構造のため履歴特性は最大点指向型とする。

2) 免震層のモデル

鉛プラグ入り積層ゴム支承は、せん断ひずみによる硬化を考慮したバイリニア弾塑性せん断バネに置換する。弾性すべり支承は、バイリニア弾塑性せん断バネに置換する。

減衰こまの復元力特性および履歴特性は、速度比例型のダッシュポットに置換する。

免震層は上記の3種類の復元力特性を並列としたモデルとする。

3) 減衰定数

上部構造の内部減衰は、瞬間剛性比例型で1次モードに対して2％とし2次以降は円振動数に比例するものとする。

免震層の内部粘性減衰は考慮しない。免震層は、鉛プラグ入り積層ゴムと弾性すべり支承の履歴減衰と減衰こまの減衰のみとする。

5.2 入力地震動

採用した地震波は、神戸波を含む観測波5波、告示波4波とした。また、サイト波3波の検討を行ったが、告示波より小さいため記載を省略する。

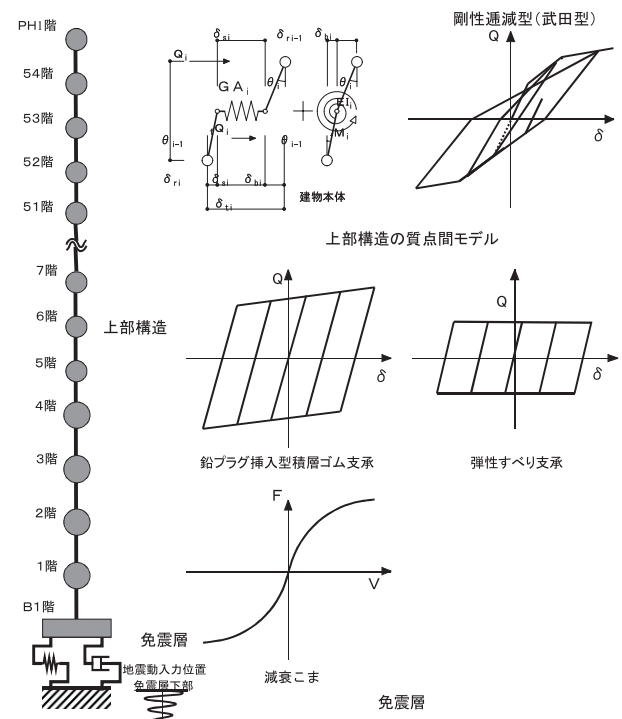


図7 解析モデル及び復元力特性

5.3 応答解析結果

1) 固有値解析結果より得られた、基礎固定時の建物の1次固有周期及び免震層のそれぞれの変形時の免震層を含めた建物全体の1次固有周期を表2に示す。

表2 建物の1次固有周期

γ (%)	X方向	Y方向	45°方向	135°方向
	固有周期(sec)	固有周期(sec)	固有周期(sec)	固有周期(sec)
0	4.7813	4.0770	4.4442	4.4401
5	4.9075	4.2036	4.5546	4.5504
100	7.2727	6.8932	7.0766	7.0706
250	8.3333	8.0212	8.1719	8.1666

2) レベル2地震応答解析（標準状態）より得られたX方向の最大応答結果を代表として図8に示す。

5.4 エネルギー負担割合

レベル2地震動時の各免震材料のエネルギー吸収量を検証する。レベル2時では、免震材料のエネルギー吸収が全体の約70%であった。免震材料の内訳は、鉛プラグ入り積層ゴムと減衰こまが40～60%、弾性すべり支承は20～30%程度だった。

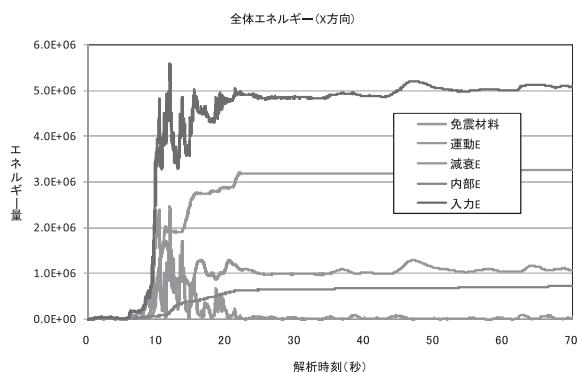


図9 X方向全体系エネルギー量

5.5 免震層の風圧力に対する検討

荷重指針の組合せ式によって算出した風圧力は設計用層せん断力以下であるが、免震層の状態を確認する。

風向方向の風圧力で免震層の変形量を求め、風直交方向に作用する風圧力は免震層の降伏耐力を超えるかを確認する。

風向方向の風圧力の時の免震層は降伏しないことを確認し、変形量は最大139.8mmである。風直交方向の風圧力時の最大変形量は約39.7mmであり、風向方向の変形量を足し合わせた時でも145.3mmであり、免震材料の安定変形以内であることを確認した。

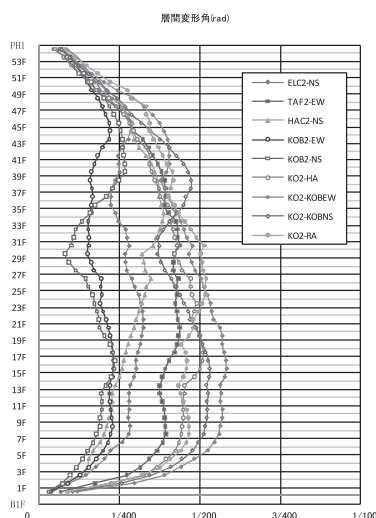
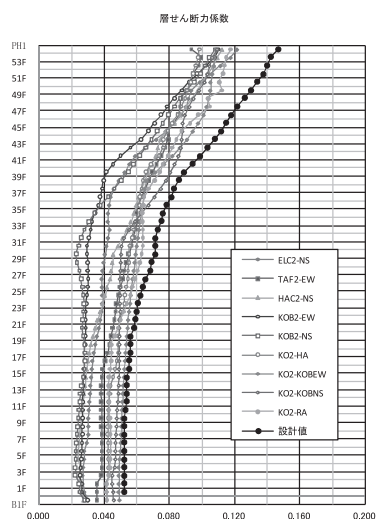
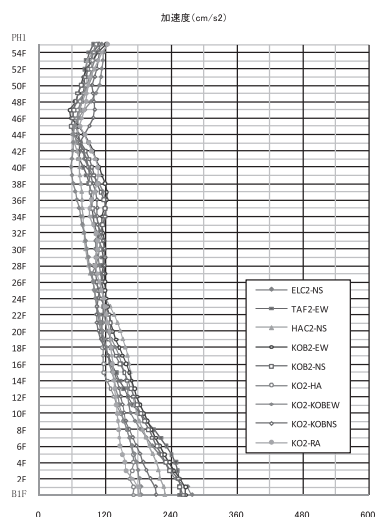


図8 最大応答解析結果 (X方向)

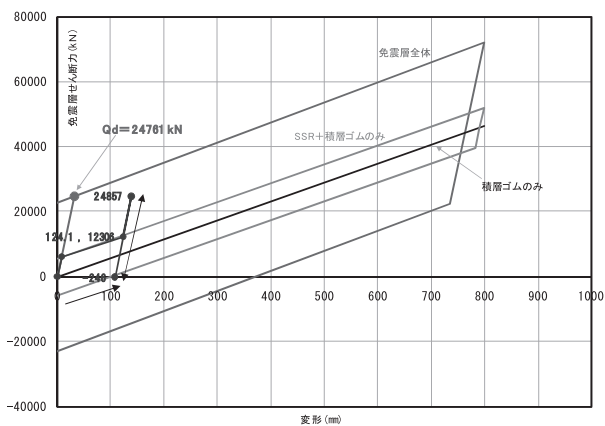


図10 風向方向風圧力の検討

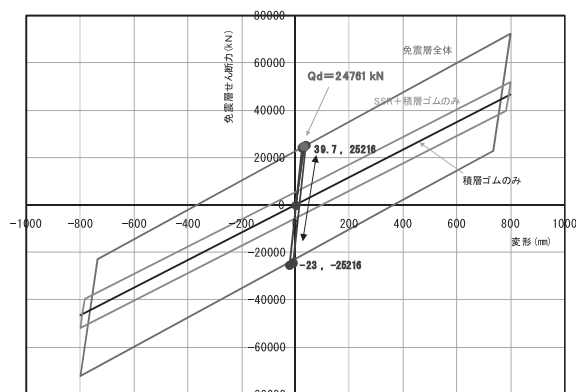


図11 風直交方向風圧力の検討

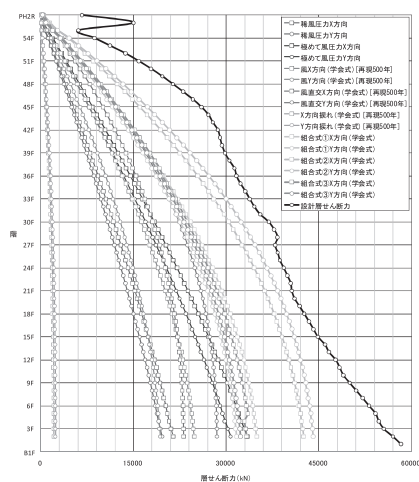


図12 風圧力と地震力の比較

5.6 長周期地震動に対する検討

長周期地震動時の検討を行う。検討地震波は、南海地震を想定した地震波を作成し、応答解析を行う。

1) 観測地震波の選択

観測波は、2004年9月に観測点の兵庫県神戸市中央区で記録された紀伊半島南東沖を震源とする観測地震波を採用する。

2) 想定地震波倍率の算定

観測地震波と1854年の安政南海地震の地震諸元を距離減衰式でそれぞれ算出した最大速度比に対す

長周期が卓越した観測波の選択

想定南海地震と同じ大きさになる倍率の算定

観測波に倍率を乗じて検討地震波の作成

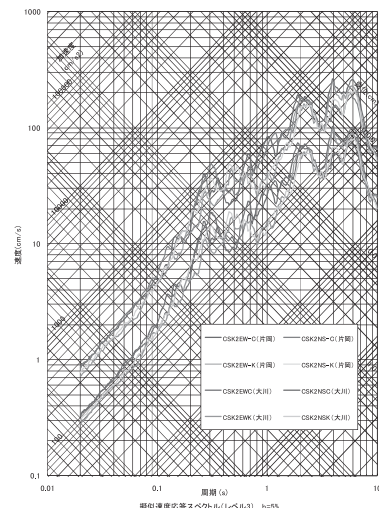


図13 検討地震波の応答スペクトル

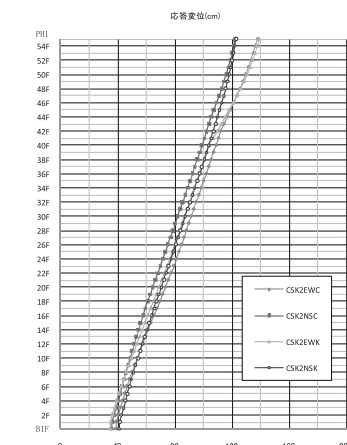


図14 最大応答変位 (X方向・長周期地震動)

る倍率を算出する。

3) 検討地震波の作成

4) 解析結果

応答結果は、免震層の変位は水平クリアランス以内である事を確認した。長周期地震動に対しても本建築物は十分な耐震性能を有していると判断している。

6 まとめ

本建物は、免震構造の採用により耐震性能を確保した。上部構造及び免震層のクライテリアをレベル1時・レベル2時とも満足すると共に想定長周期地震動に対しても問題ない事を確認した。

風圧力に対しても、免震層は目標値以内であることを確認した。