

# (仮称) 杉並和田計画 A棟

竹中工務店



吉田啓喜



日坂次男



上田忠男



村井信義



内山義英

## 1. はじめに

本計画は、新宿新都心より西方向へ約3.5kmの環状7号線に隣接した敷地に、地上28階の高層棟（A棟）1棟と低層棟3棟（B、C、D棟）からなる集合住宅として計画されたものである。総合設計制度の採用により、敷地内に十分なオープンスペースを確保することで土地の高度利用と周辺環境への配慮を行うと共に、耐震安全性の高い住空間を提供できる免震構造を超高層建物を含む全ての建物に採用することとした。

スレンダーな超高層建物を免震構造としたときの問題点は、大地震時に最下階の柱脚に発生する「引抜き力」に抵抗できる積層ゴムが必要なことである。(株)竹中工務店と(株)ブリヂストンとの共同開発による「引抜き抵抗力」を発揮できる高強度積層ゴム（HSR）を用いることで、超高層建物への免震構造の適用が可能となった。

以下、超高層免震建物であるA棟について述べる。

## 2. 建物概要

建物の外観パースを図-1に、配置図を図-2に示す。基準階は、28.1m×33.0mの外周寸法に対し、南東および南西コーナー部の1×1スパンを切り欠いたところを跳ね出し架構とし、また、北西コーナー部の3×1スパンが無い、やや不整形な平面形状となっている（図-3）。塔状比は、建物最外幅に対し2.6～3.0程度であるが、部分的には7程度となっている。平面計画は、中央部の共用部コアを取り囲むように住戸が配置されている。

- 建築地：東京都杉並区和田
- 建築主：株式会社ジャパンエナジー  
三井不動産株式会社  
日鉦不動産株式会社
- 設計：株式会社竹中工務店
- 施工：株式会社竹中工務店
- 主用途：共同住宅
- 建築面積：730㎡
- 延床面積：19,224㎡
- 階数：地上28階、塔屋2階
- 軒高：87.4m
- 最高高さ：93.1m
- 基準階階高：3.00m、3.05m、3.10m
- 構造種別：鉄筋コンクリート造



図-1 外観パース

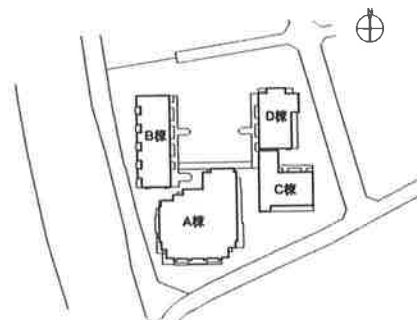


図-2 建物配置図

### 3. 構造計画

主体構造は鉄筋コンクリート造純ラーメン架構とし、最下階（1階）直下に免震装置を配置している。1階基礎梁は梁成3.0mとし、十分な剛性を確保すると共に外周部を厚さ3.0mのマットスラブとすることで、大地震時に生じる免震装置の引張り力を低減させている（図-4）。

免震装置として、積層ゴムと円筒形の180φ U型鉛ダンパーを用い、積層ゴムは各柱下に1装置を計30基、鉛ダンパーは基礎梁と1階梁をつなぐように基礎梁上に計99基設置している。積層ゴムは、直径1.2m~1.4mの一般の天然ゴム積層ゴム（RB）と大きな引張り抵抗力を有する直径1.1m~1.5mの高強度積層ゴム（HSR）の2種類を使用し、建物中央部にはRBを、引張り力の発生する恐れがある建物外周部にはHSRを配置している（図-5）。

### 4. 耐震設計方針

通常の超高層建物の1.5倍程度の耐震性能を保有させることを目標とし、耐震設計における目標性能を設定した（表-1）。対象とする地震動のレベルは、レベル1（最大速度振幅25cm/s相当）、レベル2（同50cm/s相当）、余裕度レベル（レベル2地震動の1.5倍程度）の3つとする。

表-1 耐震設計における目標性能

部位	地震動のレベル		
	レベル1	レベル2	余裕度レベル
上部構造	短期許容応力度以内	弾性限耐力以内	終局耐力以内
下部構造	短期許容応力度以内		弾性限耐力以内
免震装置	安定変形以内	性能保証変形以内	終局限界変形以内

上部構造：免震層直上階の柱より上部の構造体。

下部構造：免震層直上階の大梁より下部の基礎を含む構造体。

### 5. 振動解析

#### 5.1 解析モデル

地震応答解析には、1階からPR階の各階床位置および基礎梁中心位置に質量を集中させた多質点系等価せん断モデル（非線型）に、基礎-地盤剛性を評価したスウェイばねとロッキングばねを付加した、水平成分32自由度、回転1自由度の計33自由度の解析モデルを用いた。積層ゴムと鉛ダンパーによる免震層は、Bi-Linear型の復元力特性として評価し、履歴減衰のみ考慮する。

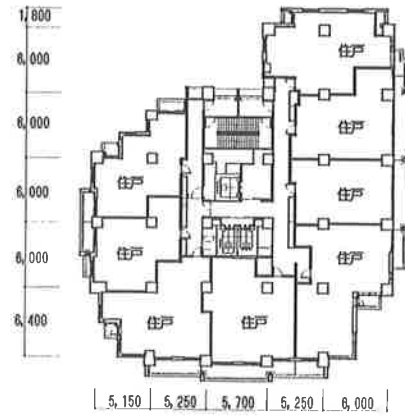


図-3 基準階平面図

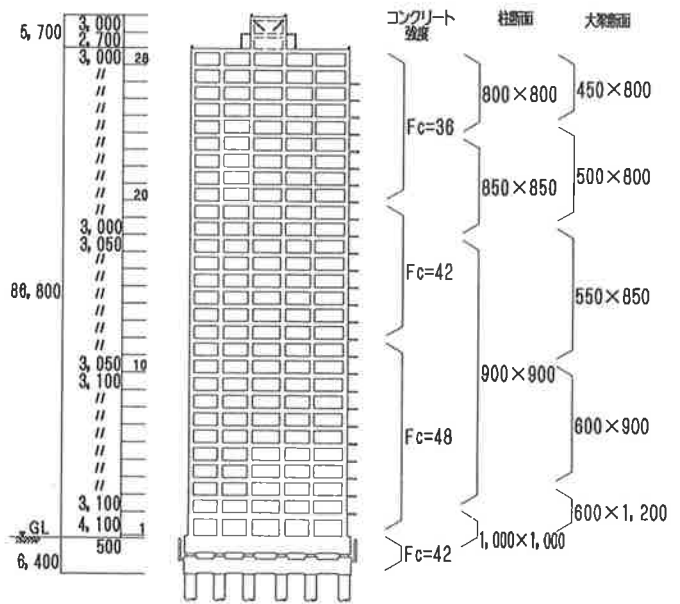


図-4 軸組図

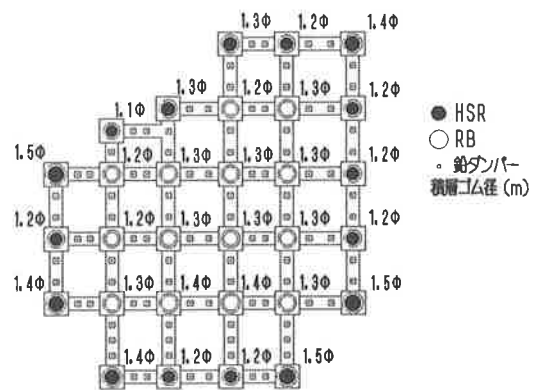


図-5 免震装置配置図

5.2 入力地震動

地震応答解析には、観測波3波および模擬地震波1波の計4波を用いた(表-2)。模擬地震動は、レベル2の地震動として関東地震(1923年)を想定した建設地点における地震動(WADA)を作成し、さらに、この模擬地震動の対応最大加速度を1.5倍したものを余裕度レベルの地震動とした。

表-2 入力地震波

地震動名称	レベル1	レベル2	余裕度レベル
EL CENTRO NS	255.4cm/s <sup>2</sup>	510.8cm/s <sup>2</sup>	766.2cm/s <sup>2</sup>
1940 NS	25.0cm/s	50.0cm/s	75.0cm/s
TAFT EW	248.4cm/s <sup>2</sup>	496.8cm/s <sup>2</sup>	745.2cm/s <sup>2</sup>
1952 EW	25.0cm/s	50.0cm/s	75.0cm/s
HACHINOHE NS	165.0cm/s <sup>2</sup>	330.1cm/s <sup>2</sup>	495.0cm/s <sup>2</sup>
1968 NS	25.0cm/s	50.0cm/s	75.0cm/s
WADA		421.3cm/s <sup>2</sup>	632.0cm/s <sup>2</sup>
(関東地震1923)		43.6cm/s	65.4cm/s

上段は最大加速度、下段は最大速度振幅

5.3 解析結果

固有値解析より得られた1次固有周期を、表-3に示す。余裕度レベルの地震応答解析より得られたX方向の最大応答層間変形角を図-6に、最大応答層せん断力を図-7に、最大応答加速度を図-8に、免震層の最大応答水平変位を表-4に示す。図中には、免震層を固定とした場合(白抜き)についてもあわせて示す。免震層固定時との比較において、最大応答層間変形角および最大応答層せん断力は、30~40%程度の低減効果が得られた。また、免震構造の最大応答加速度は200gal程度に収まっている。

表-3 1次固有周期

免震層の状態	1次固有周期(秒)	
	X方向	Y方向
初期剛性	2.29	2.24
免震層変位25cm時	3.68	3.65
ダンパー剛性無視	4.19	4.17

表-4 免震層の最大応答水平変位(X方向)

地震レベル	応答水平変位(cm)	地震動
レベル1	4.60	EL CENTRO NS
レベル2	15.04	WADA
余裕度レベル	26.34	WADA

● EL CENTRO NS 免震 ○ EL CENTRO NS 固定  
 ■ TAFT EW 免震 □ TAFT EW 固定  
 ▲ HACHINOHE NS 免震 △ HACHINOHE NS 固定  
 ◆ WADA 免震 ◇ WADA 固定

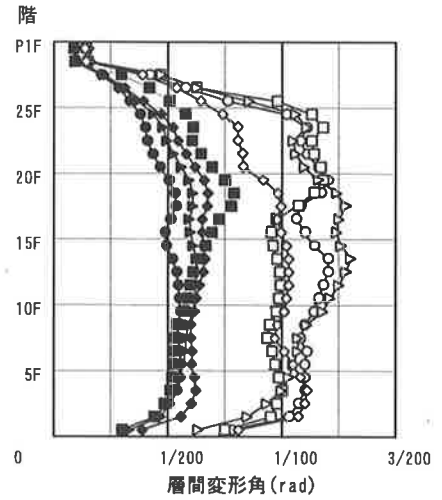


図-6 最大応答層間変形角

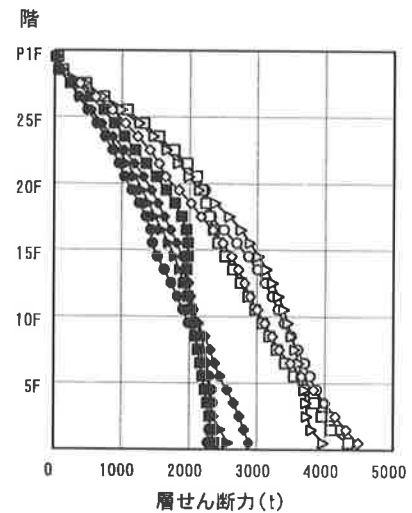


図-7 最大応答層せん断力

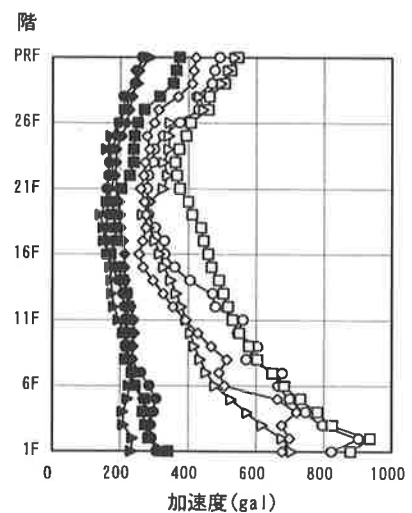


図-8 最大応答加速度

### 6. 免震装置の検討

積層ゴムに作用する軸力は、地震水平動の転倒モーメントによる変動軸力と、上下動による軸力の、同一地震波の同一時刻における累加軸力として評価する。水平動による軸力は、地震応答解析時の免震層の時刻歴応答転倒モーメントに、静的弾塑性解析より得られる「免震層転倒モーメントー積層ゴム軸力関係」を用いて算定する。静的弾塑性解析で用いた高強度積層ゴムの軸剛性評価を図-9に示す。

上下動による軸力は、別途、免震層を積層ゴムの圧縮時軸剛性（弾性）で評価した多質点系モデルによる弾性地震応答解析を行い、免震層の応答軸力を個々の長期軸力比で分配したものとして算定した。上下動の入力地震動、および、免震層の最大応答軸力比（長期軸力に対する比率）を表-5に示す。

上記より算定した、積層ゴムの応答軸力を平均面圧として表-6に示す。この結果には、上下動応答時の免震装置軸力には、積層ゴム引張り軸力時の非線形性が考慮されていない。余裕度レベルにおいては、引張り軸力の発生が顕著となるため、引張り面圧に対し大きめの評価を与えている。

そこで、積層ゴムの引張り応答軸力をより適切に評価するために、最大引張り軸力発生時刻（余裕度レベル、TAFT波、T=9.86秒）における免震層の水平応答転倒モーメントおよび上下応答軸力を、立体静的弾塑性解析モデルを用いて再現することで、免震装置の軸力および軸方向変位について検討した。高強度積層ゴムの引張り平均面圧および軸方向変位の最大値を表-7に示す。引張り平均面圧は余裕度レベルに対する許容値（-30 kgf/cm<sup>2</sup>）以内であり、伸び変形も過大な変形に至っていない。

表-5 地震上下動の入力波と免震層の最大応答軸力比

地震動名称	対応最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) と軸力比		
	レベル1	レベル2	余裕度レベル
EL CENTRO 1940 UD	127.7 (0.09)	255.4 (0.18)	383.1 (0.28)
TAFT 1952 UD	124.2 (0.30)	248.4 (0.59)	372.6 (0.89)
HACHINOHE 1968 UD	82.5 (0.15)	165.1 (0.31)	247.5 (0.46)
WADA UD (関東地震1923)	—	198.7 (0.23)	298.1 (0.34)

( ) 内は最大応答軸力比を示す

表-6 積層ゴムの応答平均面圧の最大値と最小値

	積層ゴムの種類	平均面圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		最大値	最小値
レベル1	RB	155.0	75.3
	HSR	155.4	7.9
レベル2	RB	199.1	38.0
	HSR	206.0	-8.2
余裕度レベル	RB	239.4	1.0
	HSR	256.7	-47.9

圧縮時を正とする

表-7 余裕度レベル引張り平均面圧の最大値と伸び変形 (TAFT波、T=9.86秒、引張り時軸剛性の非線形性考慮)

積層ゴムの種類	引張り平均面圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	伸び変形 (cm)
HSR	-24.0	-1.17 (-3.9%)

( ) 内は伸びひずみを示す

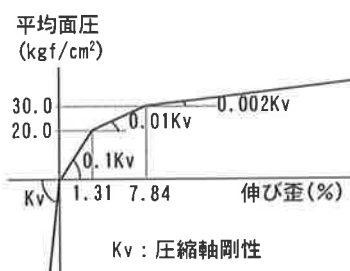


図-9 高強度積層ゴムの軸剛性のモデル化

### 7. 積層ゴムの取り付け

積層ゴムは、引張り軸力時を考慮して、高強度のアンカーボルトを用いて免震層上下の梁に取り付けられている (図-10)。

積層ゴムの設置に先立ち、アンカーボルト位置の精度および積層ゴム設置面の鉛直・水平精度を確保するために、アンカーボルトが仮止めされた下部取り付けプレートを所定の位置に設置し、基礎梁のコンクリートを打設する (写真-1)。基礎梁コンクリート硬化後、基礎梁天端と取り付けプレート間に、無収縮モルタルを充填した後に (写真-2)、積層ゴムを設置する。積層ゴム設置状況を写真-3、写真-4に示す。

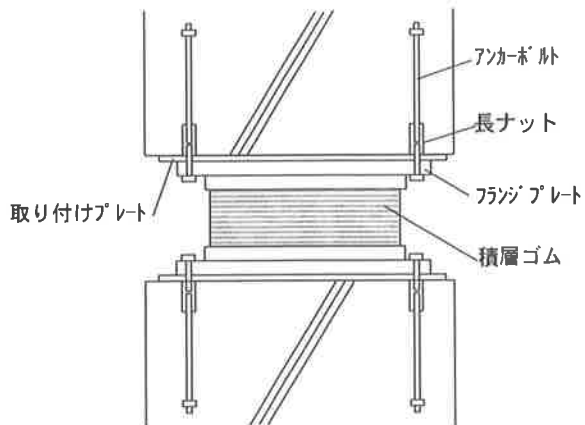


図-10 積層ゴムの取り付け

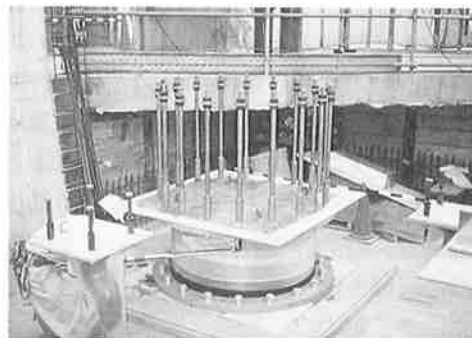


写真-4 積層ゴム設置状況 2

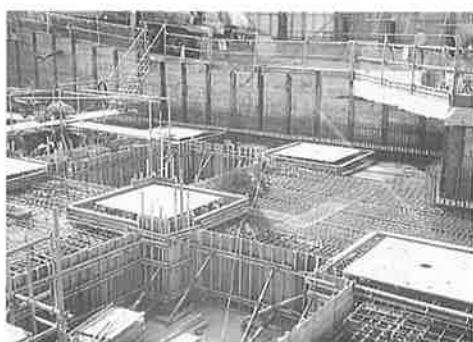


写真-1 下部取り付けプレートの設置状況



写真-2 無収縮モルタルの充填

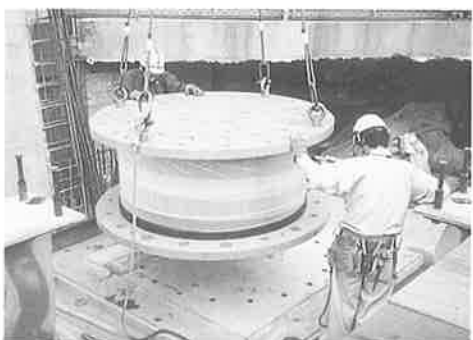


写真-3 積層ゴム設置状況 1

## 8. おわりに

免震装置に高強度積層ゴム（HSR）と鉛ダンパーを用いた高層免震建物の概要について示した。積層ゴムの引張り抵抗を積極的に設計に取り入れることにより、塔状比の大きな高層建物の免震構造が可能となった。本建物は1998年6月に着工し、2000年11月に竣工予定である。