

# 港都ビル

(株)竹中工務店 田中利幸



同 椿 英顕



## 1. はじめに

港都ビルは兵庫県南部地震により被災し損壊した既存建物をテナントビルとして建て替える建物である。被害の大きかった三宮地区に位置し、その後の神戸市の復興計画においても旧居留地整備地区に指定された街づくりの最も重要な地区の一つに立地している。建て替えにあたっては、神戸市の「耐震性の高い建物の誘導」とビルオーナーの「地震に対して安全性の高いオフィスビル」という強い要望を勘案し、免震構造とすることとした。免震構造採用にあたって耐震構造との性能比較を行ったが、本建物の場合コストについては免震構造が8%増であった。

規模としては、間口約13m程度の狭い敷地で典型的な1スパンオフィスビルであり、家具転倒による被害や建物補修にかかる甚大な出費という今回の経験を踏まえて、小規模免震オフィスのモデルケースとなるように計画した。以下にその概要を示す。

## 2. 建築概要

建築概要を以下に示す。また、建物のパースを写真-1に、基準階平面図を図-1に示す。

建築場所	神戸市中央区東町
敷地面積	306.46m <sup>2</sup>
建築面積	252.42m <sup>2</sup>
延床面積	1935.87m <sup>2</sup>
階数	地上8階 塔屋1階
軒高	28.95m
最高高さ	29.65m
基準階高	3.60m
構造種別	鉄筋コンクリート造
構造形式	耐震壁を有するラーメン構造
基礎形式	場所打ちコンクリート杭
工期	13カ月

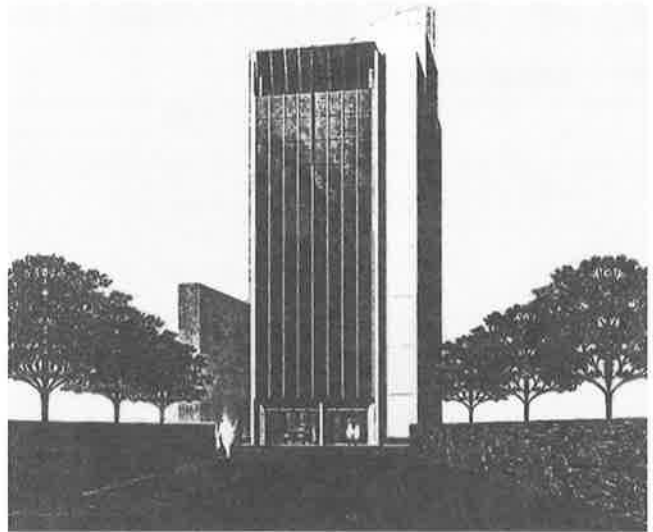


写真-1 建物のパース

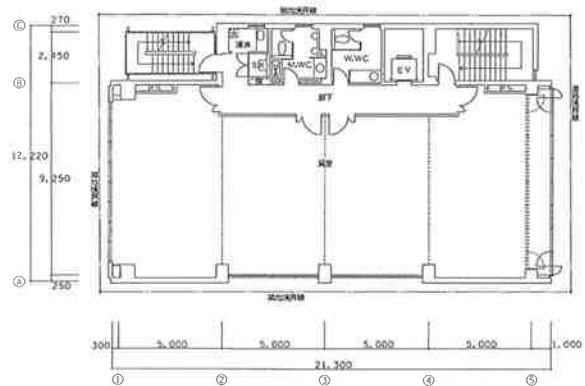


図-1 基準階平面図

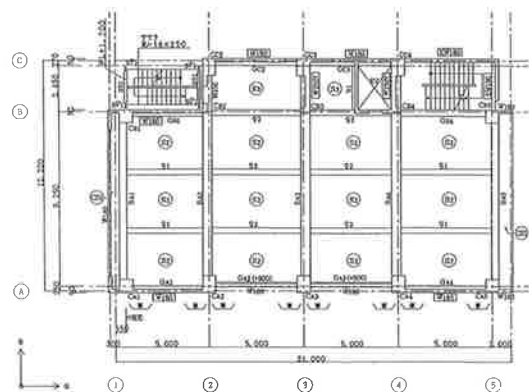


図-2 基準階床伏図

## 3. 構造計画概要

平面形状は典型的な片側コア型オフィスであり、耐震壁を偏心が大きくなるように配し、二次壁は耐震壁と同程度に配筋したエレベータまわり壁等以外は乾

式とした。基準階床伏図および軸組図を図-2および図-3に示す。

耐震設計にあたっては、レベル2の応答値を包絡するように設計用せん断力を設定し、1階せん断力係数は0.125、各階の分布はAi分布とした。当該地域のサイスミシティより入力地震動の最大速度振幅はレベル2に対して40cm/sとし、耐震性能の目標値を表-1に示す。免震部材は鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)を採用し、擁壁と上部構造物とのクリアランスは40cmとした。

表-1 耐震性能の目標値

部位	最大応答の目標値
	レベル2
上部構造	層間変形角 $4 \times 10^{-3}$ rad以下 かつ短期許容応力度以下
免震層	層間変形 30cm以下 かつ 積層ゴムのせん断歪 200%以下 かつ免震部材に引張が生じない
基礎構造	短期許容応力度以下

表-2 免震部材の設計目標値

第2分枝剛性固有周期	3.0sec.
等価減衰定数(せん断歪100%)	15%
安定水平変形量	30cm
性能保証水平変形量	45cm
鉛直固有振動数	13Hz以上

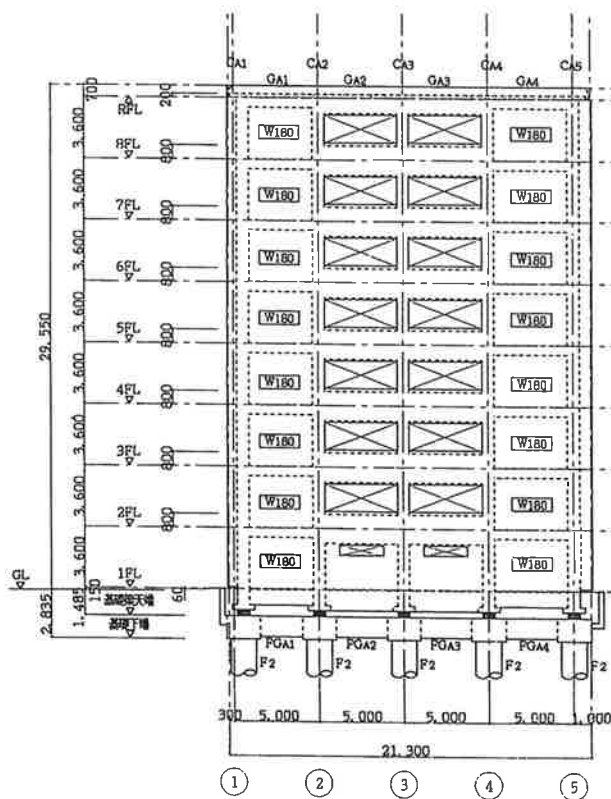


図-3 軸組図

## 4. 構造設計概要

### 4.1 免震部材の設計

免震部材の設計にあたっては表-2に示すような設計目標値を設定し、長期軸力時の面圧を80 kg/cm<sup>2</sup>程度となるように外径700mmおよび800mmの2種類のLRBを用いた。各柱直下に1台ずつとし、図-4に示すように10台配置した。免震部材の諸元および特性を表-3に示す。免震部材の復元力特性は解析を簡便におこなうために、Bi-Linear型に近似したが、上部構造を1質点系の剛体モデルとし免震層の復元力特性を修正Bi-Linear型とBi-Linear型とを比較し、ほとんど差異が認められないことを確認した。その比較結果を表-4に示す。免震層のねじれについては、上部構造を1質点剛体モデルとし免震部材の配列を考慮した3自由度(X,Y,θ)で応答解析をおこない、影響の少ないことを確認した。

### 4.2 地震応答解析

地震応答解析に用いた構造物モデルは、免震層下の基礎位置を固定とし、1階以上の各床位置に質量を集中させた9質点の等価せん断型モデルとした。減衰定数は上部構造の1次を3%、免震層の1次を0%とした。上部構造の復元力特性は静的弾塑性解析により設定し、水平力に対してG(X)方向は耐震壁が、B(Y)方向は

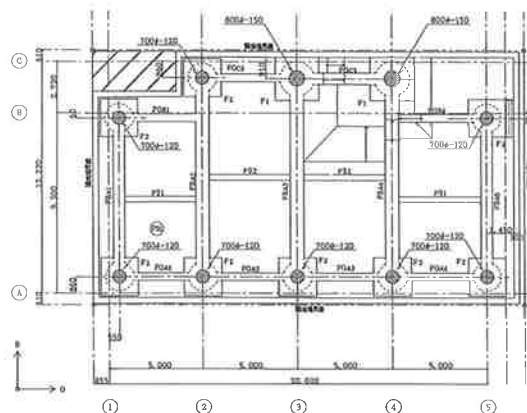


図-4 免震部材配置図

表-3 免震部材の諸元および特性

項目	700φ	800φ
フランジ外径 (mm)	1100	1200
ゴム外径 (mm)	700	800
鉛プラグ直径 (mm)	120	150
ゴム総層厚 (mm)	168	168
ゴム層厚 (mm) × 総数	6 × 28	6 × 28
1次形状係数	29.2	33.3
2次形状係数	4.17	4.76
内部鋼板厚 (mm) × 枚数	3.1 × 27	3.1 × 27
LRB高 (mm)	309.7	317.7
第2分枝水平剛性 (100%歪) (kg/cm)	1415	1886
降伏荷重 (100%歪) (kg)	10690	16710
等価剛性 (100%歪) (kg/cm)	1954	2728
鉛直剛性 (50%歪) (ton/cm)	2203	2889

表-4 修正Bi-Linear型とBi-Linear型の比較

入力地震波	免震層の応答変位 (cm)	
	修正Bi-L.	Bi-L.
EL CENTRO 1940 NS	13.4	14.0
HACHINOHE 1968 NS	15.9	15.8

入力地震波	免震層の層せん断力 (ton)	
	修正Bi-L.	Bi-L.
EL CENTRO 1940 NS	309	341
HACHINOHE 1968 NS	343	340

入力地震波	上部の応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	
	修正Bi-L.	Bi-L.
EL CENTRO 1940 NS	99	110
HACHINOHE 1968 NS	110	109

ラーメンが主体であるので、それぞれ原点指向Quadri-Linear型、劣化Quadri-Linear型とした。部材の曲げひび割れ発生により層の剛性低下の顕著な点を第1折れ曲がり点、当該階に含まれるいずれかの部材に塑性ヒンジが発生する点を第2折れ曲がり点とした。また、第2折れ曲がり点変位を塑性率の判断基準1.0とし、第3折れ曲がり点は塑性率1.5に相当する点とした。表-5に固有周期を示す。レベル2地震時および余裕度確認レベルの応答解析結果を各々表-6および表-7に示す。なお、余裕度の確認レベルはレベル2の1.5倍 (60cm/s)、JMA KOBE波は原波 (91cm/s) とした。

表-5 固有周期 (1次) (S)

方向	微小振動時	レベル1	レベル2
		7%以下	33%
G (X)	1.12	1.87	2.27
B (Y)	1.44	2.07	2.37

表-6 応答解析結果 (レベル2時)

		応答	EL CENTRO	HACHINOHE
上部構造	G	層間変形 (cm)	0.06	0.07
		1階せん断力係数	0.106	0.114
	B	層間変形 (cm)	1.10	0.85
		1階せん断力係数	0.108	0.093
免震層	G	層間変形 (cm)	12.7	14.2
		せん断歪 (%)	76	85
	B	層間変形 (cm)	11.3	10.2
		せん断歪 (%)	67	61

表-7 応答解析結果 (余裕度確認レベル時)

		応答	EL CENTRO	HACHINOHE
上部構造	G	層間変形 (cm)	0.15	0.18
		塑性率	0.86	0.96
	B	層間変形 (cm)	1.63	1.59
		塑性率	0.87	0.88
免震層	G	層間変形 (cm)	28.3	34.5
		せん断歪 (%)	168	205
	B	層間変形 (cm)	18.9	21.3
		せん断歪 (%)	113	127

### 4.3 上下動に対する検討

上下動に対しては、レベル2地震時に対して引き抜きが免震層に発生しないように、余裕度確認レベルに対しては積層ゴムの引張応力度が20kg/cm<sup>2</sup>以下となるように設計した。上下動による免震層の応答軸力は上部構造を1質点剛体モデル、免震層をばねモデルとし、復元力特性は弾性として求め、長期軸力に応じて配分し、水平力により生じる軸力との2乗和の平方根により求め設計軸力として検討した。

### 4.4 基礎の設計

本敷地の概略地盤構成はGL~-9.5mがN値3~16程度の砂質土、-9.5~-29mがN値12~60以上の砂・砂礫・粘土の互層となっている。GL~-9.5mの砂層の液状化を検討すると、地表面最大加速度200cm/s<sup>2</sup>で砂層の大半の層が安全率FL=0.6~0.9程度、400cm/s<sup>2</sup>で安全率FL=0.3~0.4程度となり、大地震時液状化する可能性の高い結果となっている。杭の設計にあたっては、各杭の負担水平力は剛床仮定より杭の水平剛性に応じ分担させた。また、杭の水平剛性は図-5に示すように液状化範囲の水平地盤反力係数を0とした杭と地盤の弾性支承モデルにより算出した。

また、前述した9質点等価せん断型モデルに基礎部分を質点として加え、GL-10mを固定とした10質点等価せん断型モデルで応答解析を行ったが、応答せん断力は基礎固定の場合を下回った。

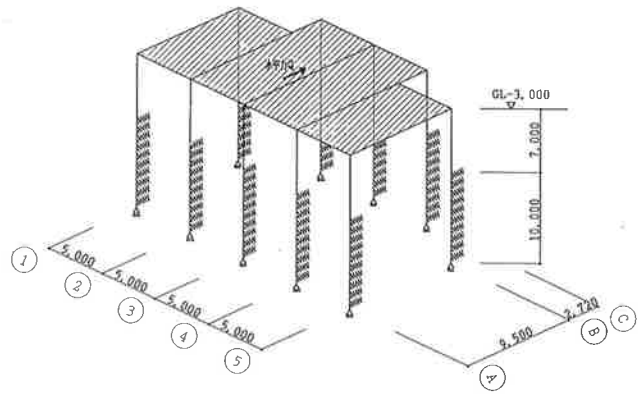


図-5 杭の解析モデル

## 5. 免震部材の品質管理

### 5.1 免震部材のばらつきに対する検討

免震部材の剛性および第1折れ曲がり点強度は製造上の誤差、ゴムの経年変化、温度変化により変化する。設計値に対してこれらのばらつきを考慮した結果が耐震性能の目標値を満足していることを確認する必要がある。製造上の誤差に対しては、剛性は-20%~+

5%、第1折れ曲がり点強度は±15%とし、経年変化に対しては60年で+15%、温度変化に対しては0度～30度で±5%とし、これらのばらつきを加えて最大±25%と設定した。

### 5.2 免震部材の品質管理

免震部材の性能としてRBの水平ばね定数、LRB時の第1折れ曲がり点強度、第2分枝剛性および鉛直ばね定数を検査により確認した。水平方向性能の検査方法と管理値および鉛直方向性能の検査方法と管理値を表一8に示す。検査数量はRB時、LRB時とも全数とした。

### 6. おわりに

昨年の兵庫県南部地震発生から早や1年半が経過する。震災地は一見復旧したようにみえるが、数々の問題点を抱え復興へと必死にあがっている状況だと思う。本プロジェクトは地震後の解体から建て替え計画まで震災の教訓を踏まえ安全性の高い建物をというオーナーの強い意志に支えられ、現在躯体工事の最盛期を迎えている。地震国日本にあって、少しでも自然に近づけるような弛まぬ努力が必要であり、この建物もその一助になればと願っている。

表一8 免震部材の検査方法および管理値

水平方向性能の検査方法	
RB	LRB
積載荷重を載荷した後せん断歪±50%変位を3回繰り返す、3回目の履歴特性の最大変位および最小変位を結んだ勾配を水平ばね定数とする	積載荷重を載荷した後せん断歪±50%変位を3回繰り返す、3回目の履歴特性の第1折れ点強度および第2分枝剛性を求める
水平方向性能の管理値	
単体：設計値-20%～+10% 全体：設計値-20%～+5%	第1折れ点強度 設計値±15% 第2分枝剛性： 設計値-20%～+5%
LRB鉛直方向性能の検査方法	管理値
積載荷重を載荷した後せん断歪±50%変位を3回繰り返す、3回目の履歴特性の最小変位を結んだ勾配を鉛直ばね定数とする	設計値±10%