

波賀町庁舎

久米設計 山田滋也

同 嵐山正樹

同 奥野親正

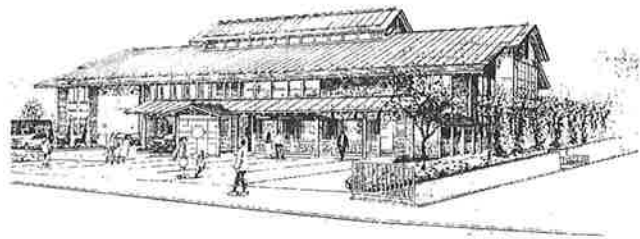


1. はじめに

波賀町は、兵庫県姫路市から北北西に約80kmの位置にある、林業の盛んな町である。今回、新庁舎を建設するにあたり、地域の特徴を生かした地域のシンボルとしての建築となるように、木造を主体とする構造が採用された。また、災害拠点となる建築物として、大地震時の人命・財産の保護と機能維持を目的に、免震構造が採用された。

免震部材は1階床梁と基礎の間に配置しており、いわゆる基礎免震の形式である。

図-1に1階平面図、図-2 a, bに短辺方向、長辺方向断面図、外観パースを示す。



外観パース

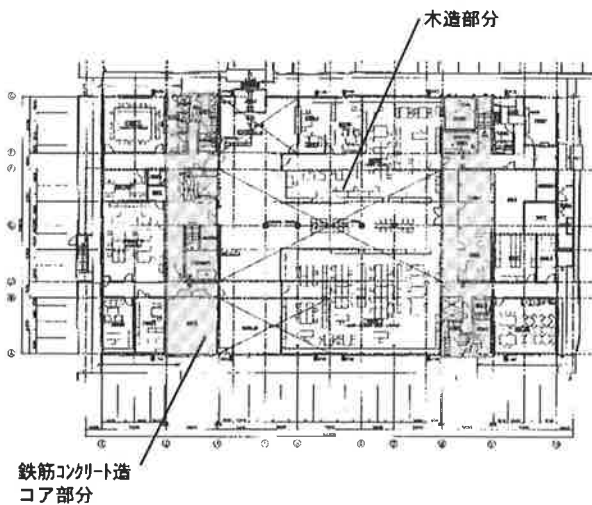


図-1 1階平面図

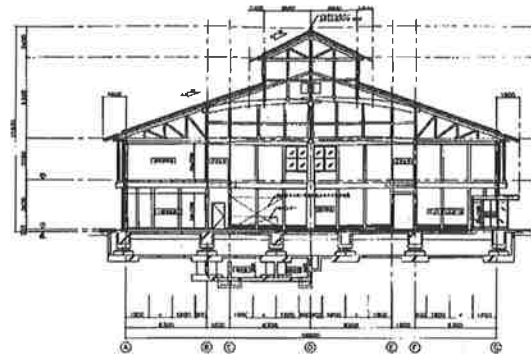


図-2a 短辺方向断面図

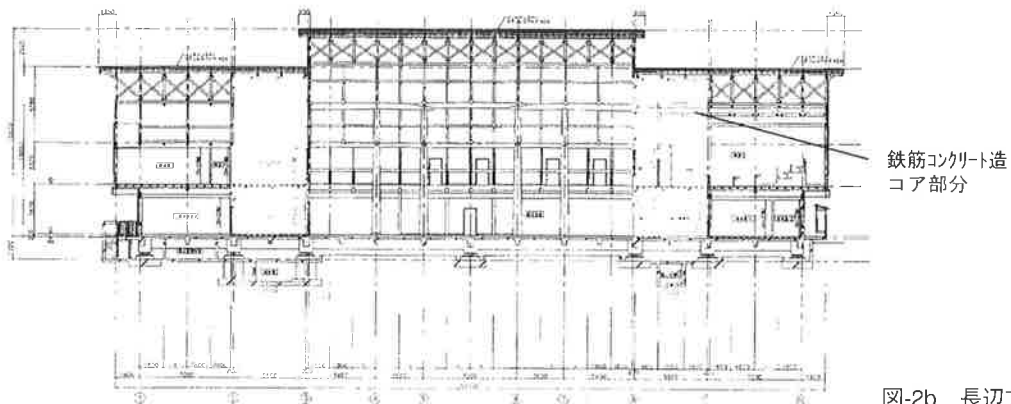


図-2b 長辺方向断面図

2. 建物概要

建設地	兵庫県宍粟郡波賀町 上野字土井 241-1 他
建築主	波賀町
設計監理	株式会社 久米設計
施工	株式会社 熊谷組
用途	庁舎
建築面積	1,621.40 m ²
敷地面積	8,735.26 m ²
建築面積	1,621.40 m ²
延床面積	2,670.95 m ²
階数	地上2階
軒高	7.22m
建築物高さ	13.00m
最高部の高さ	15.92m
階高	3.82m (1階階高)

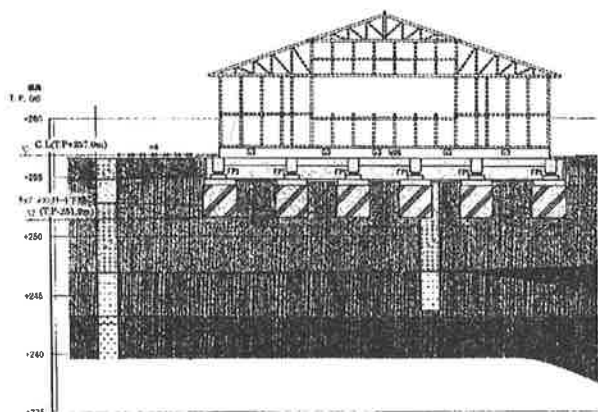


図-3 地層断面図

3. 地盤概要

建設地は、中国自動車道「山崎インター」の北方約18km、波賀町市街地のほぼ中央部で標高はT.P+256.7m程度である。

地形的には、山間を南流する引原川の左岸（東側）の低地に相当するが、背後（南側、東側）には山頂標高400～780m程度の山地が迫っている。

地質的には、建設地付近の山地を構成する新生代古第三紀の波賀複合花崗岩体（花崗閃緑岩、石英閃緑岩）を基盤岩とし、これを沖積世の河川性堆積物である砂礫や砂が被覆している。

図-3に地層断面図を示す。地層構成は、地表から-1.8m程度までは砂質土や礫質土を材料とした盛土層、-4.6m程度まではN値3～12程度の砂質土と粘性土との互層、-4.6m以深はN値30以上の玉石混じり砂礫層が現れる。

4. 地震活動度

建設地に距離が近くて最も影響を与えと考えられる活断層は、規模が大きい山崎断層系である。山崎断層系は、大原断層、土万（ひじま）断層、安富断層、暮坂峠断層、琵琶甲断層、三木断層からなり、これらの断層はそれぞれ北西-南東の走向をもって分布している。山崎断層系での最近の活断層調査^{文獻}により大原断層、土万断層、安富断層が868年播磨地震で活動した可能性が高いこと、活動周期は千数百年～二千数百年である可能性が高いことなどが判明した。また、安富断層と琵琶甲断層との間には連続性が見られないと判断されている。

今回の設計では、大原断層、土万断層、安富断層を一連の地震断層として直線で結んだモデルを断層モデルとし、入倉の方法（半経験的グリーン関数法）により模擬地震波を作成した。入倉の方法によって波形を合成する場合の小地震波は、K-net（科学技術庁防災研究所が主催するインターネット上の強震動公開サイト）にある山崎断層系を震源とする地震（M3.3）時に建設地近傍で得られた地震波を用いた。

5. 構造計画概要

1) 上部構造

上部構造は、在来軸組み工法による木造としている。ただし、建物両側1スパンのコア部分は鉄筋コンクリート造の壁式構造とし、木造部分に作用する水平力は構造用合板張り屋根組、2階床組を伝達して全てこの鉄筋コンクリート造部分が負担するように計画している。そのため、木造部分は鉛直力のみを負担して、筋交いの無い開放的な架構となっている。柱、梁、根太などの木材には、波賀町産の桧、松、杉材を用いている。なかには、樹齢70年を超

える材もあり、大黒柱としている。

平面・立面はともにほぼ左右対称で、均整のとれた形状である。切妻の屋根は架構の負担にならないよう金属の仕上げである。屋根中央部には意匠性と排煙を兼ねて越屋根を設けている。

1階の床は建物全体が一体となるように鉄筋コンクリート造のスラブ・梁で構成している。

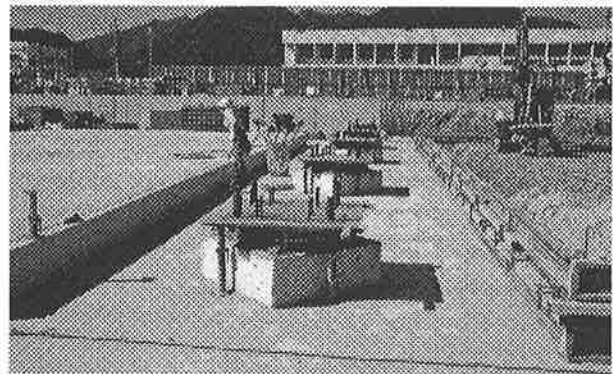


写真-1 免震部材の設置

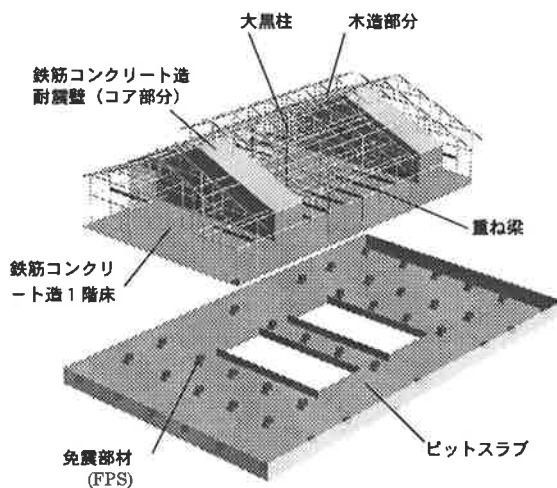


図-4 構造概要図

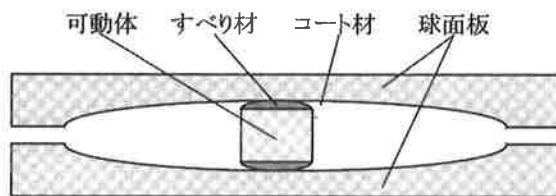


図-5 FPSの基本構造

2) 免震部材

免震部材には、上部構造の重量に左右されず、比較的軽量の建物でも免震効果が得られやすい球面すべり支承 (FPS) を採用している。FPSは1階梁の交差部の下に、軸力に対応して3種類の直径で、合計42基を設置している。

3) 基礎構造

支持層は、G.L-2.3～-5.1m付近以深に存在するN値30以上の玉石混じりの砂礫層とする。砂礫層の下部も非常に締まった砂層や花崗岩で構成されており安定した地盤である。地盤の長期許容支持力度は $500\text{kN}/\text{m}^2$ とした。

建物の基礎底位置は、G.L-2.3m程度なので、直接支持層に載るところ以外は基礎底から支持層までラップルコンクリートを使用している。

基礎形式は独立基礎とし、免震部材がある位置に設けている。それぞれの基礎相互を鉄筋コンクリートピットスラブで連結し一体性を持たせている。このピットスラブの外周部立上り擁壁と上部構造物とのクリアランスは免震部材の限界変形にあわせて45cmとしている。

6. 構造設計概要

1) 設計用入力地震動と設計クライテリア

建設地周辺での地震活動度、地理的条件、建物用途を考慮して設計用入力地震動を表-1のように設定し、それぞれのレベルに対して建物の耐震性能目標を表-2のように設定した。各階の床の応答加速度は $300\text{cm}/\text{sec}^2$ 以下になることを目標とした。

2) 上部構造

上部構造の設計は、鉄筋コンクリート造部分と木造部分に分けて行っている。設計用せん断力係数は、耐震要素である鉄筋コンクリート造のコア部分が剛体であると考えられるので各階同じ値とし、予備応答解析の結果から0.3とした。

表-1 設計用入力振動

	レベル1 (cm/s ²)	レベル2 (cm/s ²)	解析継続 時間 (sec)
EL CENTRO 1940 NS	307	613	0~50
TAFT 1952 EW	298	596	0~50
HACHINDHE 1968 NS	198	396	0~35
		最大 加速度	
JMAKOBE 1995 NS	-	618.2	0~70
模擬地震波 (山崎断層系)	-	464.6	0~42.3

表-2 耐震性能目標

入力地震動		性能目標		
レベル	地震動の大きさ	上部構造	免震部材	下部構造
最大 速度	レベルの考え方			
レベル1 30 cm/s	建設地において建物の耐用年数中に1度以上受ける可能性がある地震動強さ	短期許容応力度以下	安定変形以下 浮き上りを生じない。	短期許容応力度以下
レベル2 60 cm/s	建設地において過去に受けたことのある地震動の中で最強と考えられるもの及び、将来において受けることが考えられる最大級の地震動強さ	短期許容応力度以下	性能保証変形以下 浮き上りを生じない。	短期許容応力度以下

a) 鉄筋コンクリート造部分

両側のコア部分および1階床・梁は、鉄筋コンクリート造としている。

コア部分は壁式構造であり、「壁式鉄筋コンクリート造設計施工指針」(日本建築センター)などに準じて設計している。1階床・梁は通常の鉄筋コンクリート造として設計した。

b) 木造部分

1階床より上部のコア以外の部分は木造であり、「木質構造設計規準・同解説」(日本建築学会)などに準じて設計している。

水平力は全て鉄筋コンクリート造部分が負担するため、木造部分の設計荷重は長期荷重と個材に作用する水平力(地震荷重、風荷重)であるが、一部を除いて長期荷重が支配的である。

3) 免震部材

FPSは、可動体直径φ200、φ300、φ350それぞれ12基、18基、12基の合計42基を設置した。免震層の固有周期は4.5秒を目標とした。FPSの長期荷重時面圧は12.4~13.3N/mm²、平均面圧13.0N/mm²である。レベル2地震時面圧は5.3~

18.3N/mm²となっている。

FPSの動摩擦係数は、面圧依存性、温度依存性、速度依存性を持っている。面圧依存性と速度依存性は、振動解析時にFPSの復元力特性において考慮した。温度依存性は、他に比べて影響が小さいので今回は考慮しなかった。計算された動摩擦係数の最小値は0.020、最大値は0.042である。

ばらつきの検討において製品誤差、経年変化、固定荷重、積載荷重のばらつきによる面圧依存性を考慮した。

強風時のFPSの滑動の検討は、静止摩擦係数と免震層の風荷重時せん断力係数の比較を行い静止摩擦係数の方が大きく、滑動しないことを確認した。

FPSの終局限界変形は、変形限界である45.0cmとした。性能保証変形は、終局限界変形の3/4(33.75cm)、安定変形は終局限界変形の1/2(22.45cm)とした。

4) 振動モデル

本建物の振動モデルは、免震部材下部を固定とした各階1質点の3質点系等価せん断型モデルとした。

上部構造の復元力特性は立体解析(弾性)をもとに線形にモデル化した。復元力特性には鉄筋コンクリート造のコア部分の剛性のみを考慮し、木造部分の剛性は考慮していない。

免震部材の復元力特性は、次に示すBi-Linear型とした。第一折点は、速度依存と面圧依存を考慮した(1)式の摩擦係数より求めた。面圧は長期荷重時面圧(一定)とした。速度は応答解析で計算される各時刻での速度を採用した。図-6に応答解析時のFPSの履歴を示す。

減衰タイプは、初期剛性比例型として免震部材に対する減衰定数は0%とした。上部構造に対する減衰定数は2%とした。

上部構造のみの固有周期は0.13s、免震層の15.0cm変形時(レベル2地震時)の等価剛性による固有周期は2.90sとなる。

建物は、左右の鉄筋コンクリート造コア部分を木造の屋根、床で連結しているために剛床仮定が成り

立つとは考えにくい。しかし、実際の応答性状は次の理由により3質点系等価せん断型モデルとして問題ないと考えられる。

- ・建物が整形で重量バランスが均等である
- ・左右の鉄筋コンクリート造部分の等価せん断剛性がほぼ同じである

モデルの妥当性は、左右コア部分に各階質点を持ち1階床で連結した5質点系等価せん断型モデルとの比較を行うことで確認している。

F P S の復元力特性

$$K2=W/2R \quad K1=49000 \quad Qy= \mu (v) \cdot W$$

$$\mu (v)= \beta \times (\mu \max - \Delta \mu \cdot \exp(-0.06 \cdot v)) \dots(1)$$

$$\Delta \mu = \mu \max - \mu \min$$

K1 : 初期剛性

K2 : 滑り後の剛性 (2次剛性)

W : 建物総重量(W=37048kN)

R : 上下球面板の曲率半径

$\mu (v)$: 速度依存を考慮した摩擦係数

$\mu \max$: 面圧 19.6N/mm²時の最大摩擦係数 (0.037)

$\mu \min$: 面圧 19.6N/mm²時の最小摩擦係数 (0.018)

β : 面圧依存式より求めた長期平均面圧 13.0N/mm²時の摩擦係数の面圧 19.6N/mm²時の摩擦係数に対する比面圧依存式は下式とする。

$$\mu (\sigma)=10^{-7} \cdot \sigma^2 - 10^{-4} \cdot \sigma + 4.9 \times 10^{-2} \dots(2)$$

$\mu (\sigma)$: 面圧 σ 時の摩擦係数

σ : 面圧

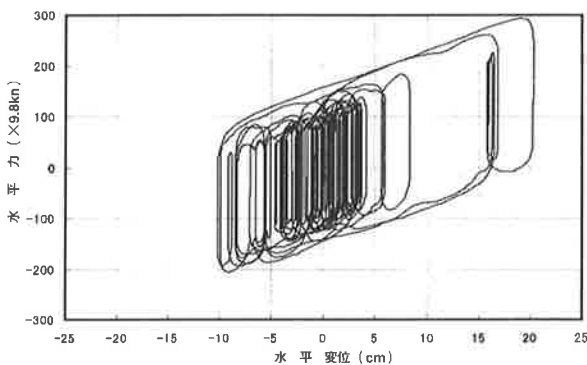


図-6 応答解析時FPSの履歴 (TAFT EW 60em/s)

5) 応答解析結果

地震応答解析の結果の一例を表-3に示す。結果から、レベル2地震時でも最大応答加速度は130gal程度、層間変形角は1/10000程度、1階の最大層せん断力係数は0.137となっており、建物の耐震性能目標満足し、床の応答加速度も目標値以下となり高い耐震性能を有していることを確認した。

表-3 レベル2地震時の応答解析結果

地震波		ElCentro NS		Taft EW		Hachinohe NS	
種類	階	(1940)		(1952)		(1968)	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
加速度 (gal)	R	165.9	206.9	151.9	153.9	141.1	121.2
	2	101.7	112.5	86.9	104.8	95.7	79.8
	1	100.0	111.6	86.9	89.9	93.5	83.5
変位 (cm)	R	18.68	18.68	20.33	20.38	17.44	17.51
	2	18.67	18.68	20.32	20.37	17.44	17.50
	1	18.65	18.67	20.30	20.36	17.43	17.50
層間変形角	2	1/25304	1/35085	1/27789	1/47603	1/29604	1/59033
	1	1/10987	1/22387	1/11819	1/24402	1/11737	1/28969
	免震	-	-	-	-	-	-
層せん断力係数	2	0.169	0.210	0.154	0.155	0.145	0.125
	1	0.112	0.116	0.104	0.106	0.105	0.089
	免震	0.072	0.072	0.077	0.078	0.070	0.071

地震波		JMA Kobe NS		模擬地震波	
種類	階	(1995)		(山崎断層系)	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
加速度 (gal)	R	174.9	138.0	218.1	250.1
	2	88.1	79.5	118.3	128.4
	1	106.5	81.6	111.0	103.1
変位 (cm)	R	19.69	19.75	4.98	4.84
	2	19.67	19.75	4.97	4.84
	1	19.65	19.74	4.96	4.83
層間変形角	2	1/23869	1/51983	1/19263	1/29081
	1	1/11335	1/29112	1/10134	1/18946
	免震	-	-	-	-
層せん断力係数	2	0.179	0.142	0.222	0.254
	1	0.108	0.089	0.121	0.137
	免震	0.076	0.076	0.039	0.039

7. 性能確認試験

本建物に使用するFPSに対して表-4の性能確認試験を行った。試験より求めた復元力特性の第2剛性(K2)、動摩擦係数が設計値に対してそれぞれ製品誤差である±5%以内、±15%以内であることを確認する。試験では、面圧を19.6N/mm²としている。ここで、設計値として試験結果と比較するのは前出の式(1)~(2)より求めた値である。

その1の試験結果より、FPS個々の復元力特性の第2剛性、動摩擦係数は設計値の±5%、±15%以内であることを確認した。第2剛性の平均値は設計値より+1.8%大きな値となった。動摩擦係数の平均値は0.0183となり設計値より-4.0%小さな値となった。

その2、3の試験より求めた動摩擦係数を表-5に、設計値との比較を図-7に示す。図-7から10、20cm/s時の動摩擦係数は設計値の+17%となり想定したばらつき±15%をやや超える結果となった。入力速度が10cm/s以上の範囲では、実際の動摩擦係数は設計式より大きくなる傾向を示しており修正が必要と考えられる。

表-4 FPSの性能確認試験

項目	振幅(cm)	速度(cm/s)	個数
その1	±30	1	全数
その2	±5、±30、 ±45、	1	φ300 1体
その3	±30	1、10、20、30	φ300 1体

8. まとめ

本建物は免震構造を採用することにより高い耐震性能得ることができた。また、広く開放的な空間を得ることが可能となった。建物は、平成12年6月に着工し現在順調に工事が進んでおり、平成13年3月に完成予定である。

参考文献)

兵庫県：山崎断層帯に関する調査、第3回活断層調査成果報告予稿集、科学技術庁,pp281-288,1999

表-5 その2、その3性能確認試験結果

速度 (cm/s)	振幅 (cm)		
	±5	±30	±45
1	0.0185	0.0190	0.1900
10	-	0.0317	-
20	-	0.0372	-
30	-	0.0388	-

