

公立刈田総合病院

織本匠構造設計研究所
中澤昭伸



同
吉垣茂樹



同
奥田明久



1. はじめに

本建物は、宮城県白石市に建設中の災害拠点病院の機能を持った地上4階建て、高さ18.75mの総合病院である。大地震時における建物の揺れの低減と、医療機器・什器等の転倒防止を図り、安全性を高め病院機能を維持することを目的に免震構造を採用することとなった。

また、1階エントランスの大きなピロティ空間、病院内部空間の自由性及び平面計画のフレキシビリティを高めた計画とすることと、免震構造の性能向上を含め、大スパン架構とし、柱には耐火被覆を必要としないCFT構造（中詰めコンクリート $F_c=60\text{N/mm}^2$ ）を採用している。

2. 建物概要

建設地：宮城県白石市福岡蔵本字下原沖地内
建築主：白石市外二町組合（白石市、蔵王町、七ヶ宿町）

一般設計：アーキテクト・コラボレーティブ
設計JV 芦原太郎建築事務所
アーキテクトチャーワークショップ
堀池秀人アトリエ

構造設計：織本匠構造設計研究所

施工者：鹿島・安藤建設・奥田建設JV

主用途：病院

建築面積：16,545 m²

延床面積：25,141 m²

階数：地上4階

軒高：18.75 m

基準階：階高4.5 m

基礎：ベタ基礎（マットスラブ）

免震構法：1階床下免震による基礎免震

- ・鉛プラグ入り積層ゴム支承
- ・直動転がりローラー支承
- ・オイルダンパー



図-1 建物外観パース

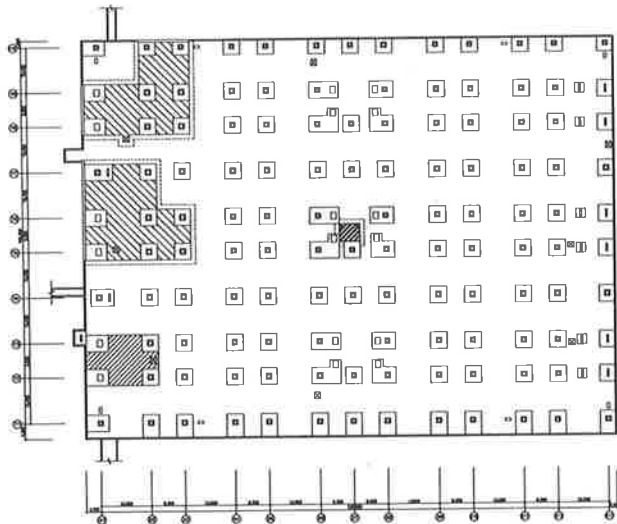


図-2 基礎伏図

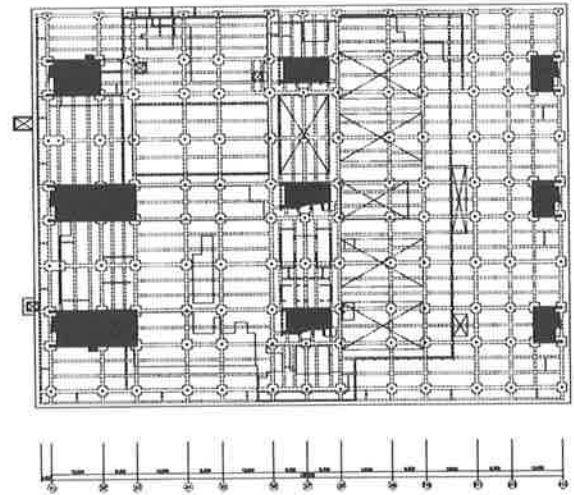


図-3 1階床伏図

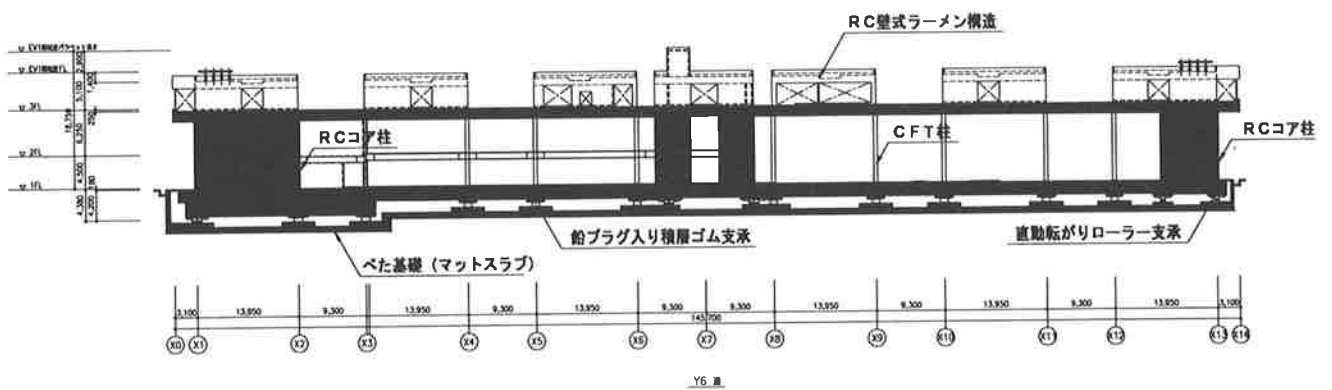


図-4 Y6通軸組図

3. 構造計画

本建物の平面形状は、約140m×120mの長方形のシンプルな形状である。

基礎構造をマットスラブベタ基礎とし、その上部に免震層を配置した。

上部構造は、1・3階床レベルに人工地盤を形成し、その間を鉛直支持のCFT柱と水平剛性を担う9カ所のRCコア柱で連結している。1階床上には鉄骨造の外来診察等、3階床上にはRC造壁式ラーメン構造の病室が配置される。また、3階床を支えるCFT柱は9.3m,12.4m,13.95mという大スパン割に配置し、1本当たりの負担軸力を大きくすることで、

(免震支承部材数の低減) = (免震層の長周期化) を図り、低層建物の免震化を行った。

CFT柱は、鉄筋挿入工法を用いて1時間耐火の無耐火被覆にて使用している。

表-1 上部構造形式・種別

階	構造形式	構造種別	Fc (N/mm ²)
3	壁式ラーメン構造	RC造	27
1・2	耐震コア柱付き ラーメン構造	SRC造 CFT構造	27 60 (中詰め)

免震層には、以下に示すように3つの部材を用いた複合型免震構法を採用した。支承部材として、各柱下に減衰部材一体型の鉛プラグ入り積層ゴム支承とRCコア柱直下の引抜力の発生する部分に直動転がりローラー支承(摩擦係数 $\mu = 0.005$)を設置した。また、周期特性を損なうことなく免震装置の水平変位の制御と微小な振動の抑制を目的にオイルダンパーを使用した。図-5に免震部材配置図を示す。

表-2 免震装置種類

免震装置	鉛プラグ入り 積層ゴム支承 (LRB)-(115)	直動転がり ローラー支承 (CLB)-(33)	オイル ダンパー (8)
径・型 -(数)	900φ-(26) 1,000φ-(47) 1,100φ-(28) 1,200φ-(14)	CLB133+ -(1) CLB750+ -(14) CLB500キ-(18)	バイフロー タイプ -(4(X)) (4(Y))

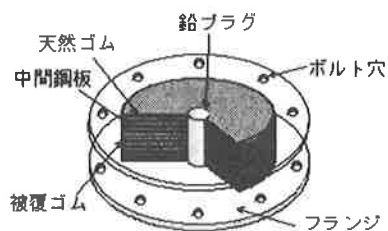


図-6 鉛プラグ入り積層ゴム支承

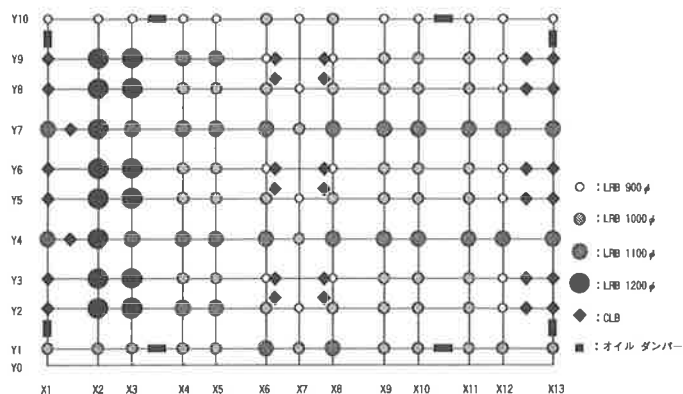


図-5 免震装置配置図

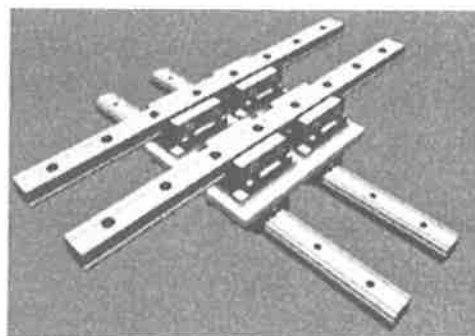


図-7 直動転がりローラー支承



図-8 オイルダンパー

4. 設計方針

4-1 免震層の設計方針

1) 固有周期の設定

免震層の復元力特性はバイリニア型とする。免震装置が動き出すまでの弾性剛性を周期1.5秒程度とし、地盤の卓越周期0.24~0.32秒から十分離れたものとする。

2) 免震装置の降伏せん断力及び減衰効果

大地震時における応答加速度を極力低減することを第1目的とし、免震装置の長周期化を計ると共に、降伏耐力が全建物重量の0.035程度となるよう鉛プラグ入り積層ゴム支承を配置する。また、微小な振動の抑制を目的として、速度依存系のオイルダンパーを配置する。

3) 免震装置の配置

地震時に免震層が動き始めてから最大変位に達するまでの間、免震層にねじれを生じさせないように偏心量を極力小さくし、免震層のねじれ剛性を損なうことのないように鉛プラグ入り積層ゴム支承を配置する。オイルダンパーは建物外周部のX・Y方向に各4ヶ所バランス良く配置する。

4-2 建物及び免震装置の耐震性能目標

建物及び免震装置の耐震性能目標を表-3に、耐震性能グレードを表-4に示す。

表-3 耐震性能目標

		レベル1	レベル2	余裕度検討時
地震動のカテゴリ		C ₁	C ₂	C ₃
耐震性能目標	上部構造	A	A	A
	免震装置	A	B	C
	下部(基礎)構造	A	A	A

表-4 耐震性能グレード

グレード	上部・基礎構造	免震部材
A	許容応力度以内	安定変形(30cm)以内
B	弾性限耐力以内	性能保証変形(45cm)以内
C	終局耐力以内	終局限界変形(60cm)以内

5. 地震応答解析

5-1 解析モデル

本建物の解析モデルは、基礎位置固定とした上部構造の3層に免震層の1層を加えた4質点モデルとする。各節点の自由度は、水平方向1自由度とし、各階のバネは等価せん断バネに置換した。図-9にその解析モデル図を示す。

1) 上部構造モデル

1・2層大架構部分の復元力特性は、修正武田モデルとし、その折点は弾塑性荷重増分解析結果より設定する。3層病室部分のRC壁式ラーメン構造は、ひび割れ剛性低下を考慮した剛性をもつバイリニアモデルとした。

2) 免震層モデル

鉛プラグ入り積層ゴム支承は、歪み依存型バイリニアモデルの復元力特性とした。直動転がりローラー支承の摩擦力は非常に小さいので無視する。オイルダンパーは速度依存型のバイリニアモデルの復元力特性とした。以上2種類の復元力特性を並列としたモデルとする(図-10参照)。

3) 減衰定数

上部構造は、上部構造の1次振動数に対して $h = 3\%$ の瞬間剛性比例型とする。免震層は、鉛プラグ入り積層ゴムの履歴減衰とオイルダンパーの粘性減衰のみとする。

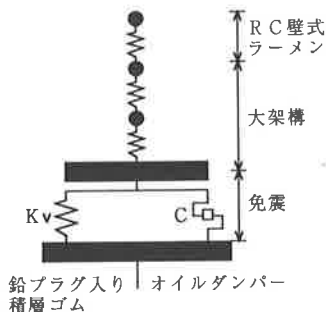
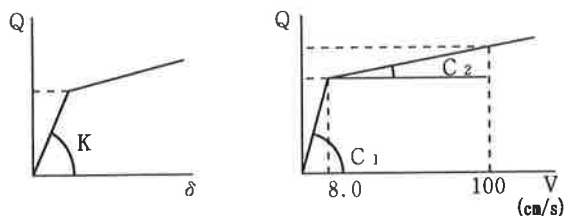


図-9 解析モデル図



鉛プラグ入り積層ゴム支承 オイルダンパー

図-10 免震支承及びダンパーの復元力特性

5-2 入力地震動

1) 採用地震波

地震応答解析には、表-6に示すように観測波のうち標準的な波形2波、長周期成分を含む波形を1波、模擬地震波として地域特性を表す地震波2波を用いた。

2) 地域特性を表す模擬地震波

本建物の建設地付近に影響を及ぼすであろう想定地震及び活断層データを基に、距離減衰式より工学的基盤での地震動特性を相対的な評価として比較すると、表-5のようになる。

表-5 建物に影響を及ぼすと推定される断層による影響度比較

想定地震・断層名	断層長さ L (km)	M	震央距離 Δ (km)	最大加速度 Amax (cm/s ²)	最大速度 Vmax (cm/s)
白石断層-越河断層	15	6.7	7.4	339.7	24.3
長町-利府線	12	6.6	33.9	166.3	11.7
双葉断層	55	7.7	61.5	235.8	22.2
宮城県沖地震	80	7.4	169.4	74.8	6.6

以上の結果より、白石断層-越河断層を「本敷地で将来発生する最大級の地震動」(レベル2地震動)として模擬地震動を作成した。また、宮城県は宮城県沖の日本海溝から発生する「宮城県沖地震」が要注意とされているので、この地震を想定した模擬地震動をその発生頻度からレベル1地震動として採用する。観測波3波については、レベル1を30cm/s、レベル2を60cm/sに増幅させて使用した。表-6に設計用入力地震動のMSAVDを示す。

表-6 設計用入力地震動のMSAVD一覧表

レベル	レベル1の地震動			レベル2の地震動			余裕度検討レベル		
実効周期の範囲	2.08 ~ 3.22			2.57 ~ 3.43			3.70		
カテゴリー	C ₁			C ₂			C ₃		
地震動の修正パラメータ MSAVD	Amax (cm/s ²)	Vmax (cm/s)	Dmax (cm)	Amax (cm/s ²)	Vmax (cm/s)	Dmax (cm)	Amax (cm/s ²)	Vmax (cm/s)	Dmax (cm)
EL CENTRO 1940 NS	327	27	9	654	55	18	-	-	-
TAFT 1952 EW	317	24	10	634	48	20	-	-	-
HACHINOHE 1968 NS	226	21	12	451	42	25	752	70	42
模擬波(宮城県沖)*1	194	24	18	-	-	-	-	-	-
模擬波(白石断層)*2	-	-	-	617	38	20	-	-	-

*1 宮城県沖地震を想定し、断層レベルを用いて小林、翠川の理論より推定される地震基盤入射波速度スペクトルを基に作成した模擬地震波

*2 白石断層-越河断層の断層帯を仮定し、断層レベルを用いて小林、翠川の理論より推定される地震基盤入射波速度スペクトルを基に作成した模擬地震波

5-3 応答解析結果

1) レベル2地震応答解析 (性能変動考慮)

X、Y方向の最大応答変位および最大応答加速度をそれぞれ図-11、図-12に示す。

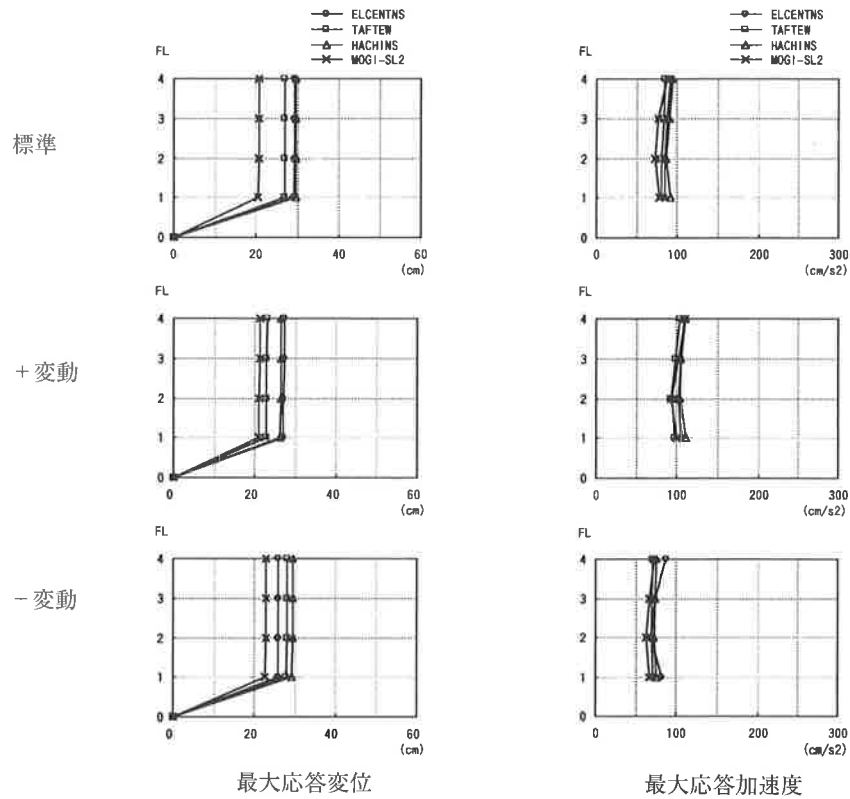


図-11 X方向応答結果 (レベル2)

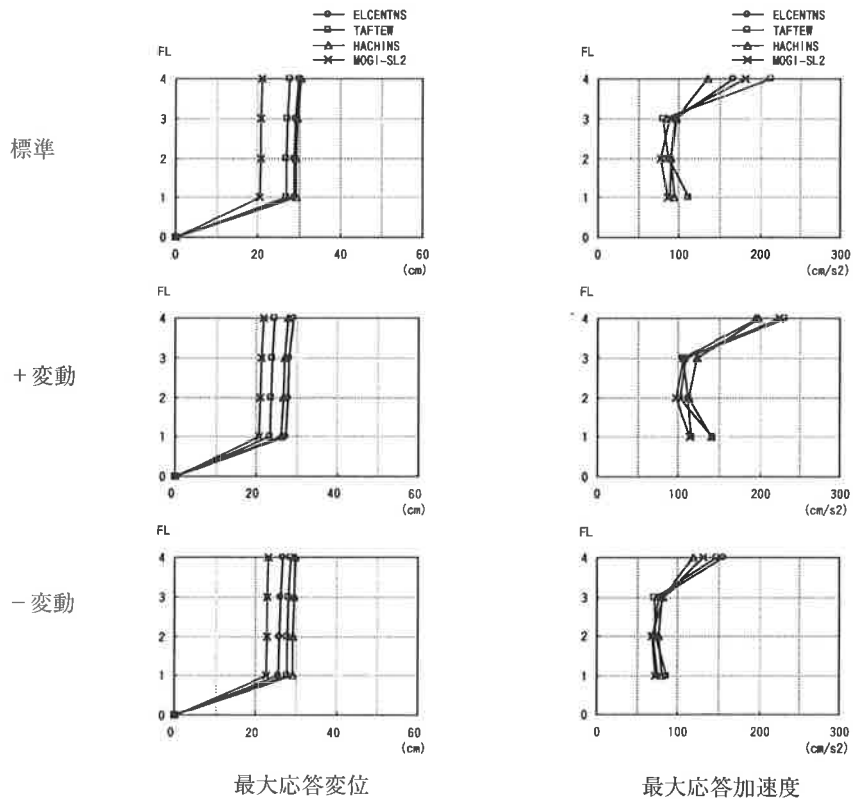


図-12 Y方向応答結果 (レベル2)

5-4 立体振動解析によるねじれ・上下振動の検討
本建物は、2階床の偏在によるねじれ振動と約140m×120mと平面的に大きいことで発生する上下地震動入力有位相差による影響を上下動・水平動同時入力の立体骨組みモデルによる振動解析で検討した。図-13に解析モデルを示す。

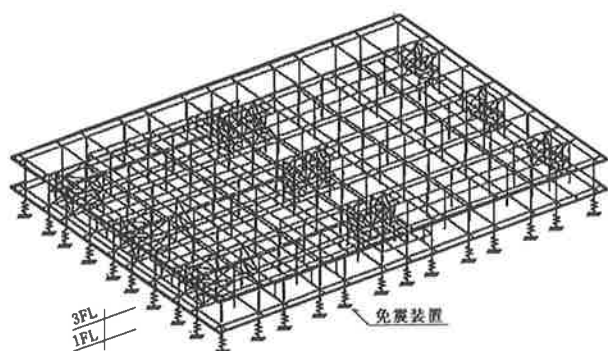


図-13 解析モデル図

1) 2階床偏在によるねじれ振動の影響

立体振動解析の結果は、免震層において静的解析から算出される回転角より大きな値となったが、十分小さな値であり、最大応答変位も質点解析とほぼ同等であった。また、1階床上部構造は並進運動であり、ねじれ振動を増幅させる過大な影響は見られなかった。

2) 上下動入力位相差を考慮した、水平・上下同時入力によるねじれ振動の影響

上下動入力位相差を考慮した立体振動解析の結果は、上記の結果とほぼ同等であり、免震層上部1階床水平剛性により入力位相差の過大な影響は見られなかった。

3) 免震層重量偏在によるねじれ振動の影響

強制的に重心位置を移動するように節点重量を変化させたモデルでの振動解析の結果は、免震層

では偏在による影響は見られたものの、上部構造には過大な影響は見られなかった。

したがって、本建物の上部構造は、十分な回転剛性を有しており、免震層においても過大なねじれ振動の影響も確認されず、ほぼ並進運動をすることから、耐震性能上安全であると判断する。

6. まとめ

本建物は、各地震動レベルに対し建物の耐震性能目標を満足しており、耐震上十分安全な建物となっている。また、安全余裕度検討レベルで免震装置の耐震性能目標を従来より高く設定（安全余裕度検討レベルで免震層の最大水平変位60cm：せん断ひずみ300%）しており、建物周辺のクリアランス60cmを確保している事を考え合わせると、免震装置の耐震性能を十分確保していると判断できる。

本建物には従来採用されている鉛プラグ入り積層ゴム支承と直動転がりローラー支承に加え、さらに耐震性能を上げるべく、オイルダンパーを併用したものである。地震入力によるエネルギーは、ほぼ鉛プラグの履歴減衰による内部エネルギーで消費しているが、オイルダンパー等の速度に依存する粘性系ダンパーは、免震装置の長周期化に対し、周期特性を変えずに免震層の最大応答水平変位を抑制するものである。この事は、同時に強風時の外乱による居住性の確保及び地盤特性による免震装置のさらなる長周期化に伴う最大応答変位の制御に効果があると考えられる。

また、本建物は、上部構造の水平剛性を9カ所の耐震コアに集約しているため、その直下の支承部材には引張力が作用する。引張力に対しては、機械式の直動転がりローラーにより抵抗し、さらに直動転がりローラー支承は摩擦係数が低いため、免震層の長周期化を可能としている。