

延岡市新庁舎 —津波避難ビルとしての構造耐力を確保した中間層免震庁舎—



塩手 博道
山下設計



佐藤 まどか
同



兼城 莉乃
同

1 はじめに

宮崎県北部、延岡市で新庁舎が2016年11月供用開始された(図1)。東日本大震災の津波被害を教訓に、発生頻度は極めて低いものの発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波として、延岡市は満潮時標高15.0mと想定された(2012年3月31日、内閣府)。

新庁舎は、南海トラフの巨大地震後20~30分後に到達する大津波に対して津波避難ビルとしての構造耐力を確保するとともに、津波の浸水を免れた上層階では、防災拠点施設として機能維持を図ることを目標とした。本稿では、大津波について考えたことを中心に紹介する。

2 建築概要

所在地：宮崎県延岡市東本小路2番地1

設計監理：山下・延岡設計連合特定建築設計共同体
延べ面積：18,384m²

階数：1期(高層棟)：地上8階、

2期(低層棟)：地上2階

構造形式：1期(高層棟)：中間層免震構造、

2期(低層棟)：耐震構造(重要度係数1.5)

構造種別：1期：SRC造(1階) RC造(2階~8階)、

2期：SRC造、一部S造

基礎構造：杭基礎、締固めによる地盤改良

3 構造計画概要

執務室レイアウトの自由度を上げるため、柱は中廊下および建物外周に配置した。基準スパン7.2m、執務室奥行きスパン12.8m、中廊下スパン4.0m。執務室床は12.8mスパン方向に@1.8mのリブを設けたPC床版とすることにより大スパン大梁の曲げを小さくすることでRC造としている(図2)。



図1 外観(奥が1期高層棟、手前が2期低層棟)

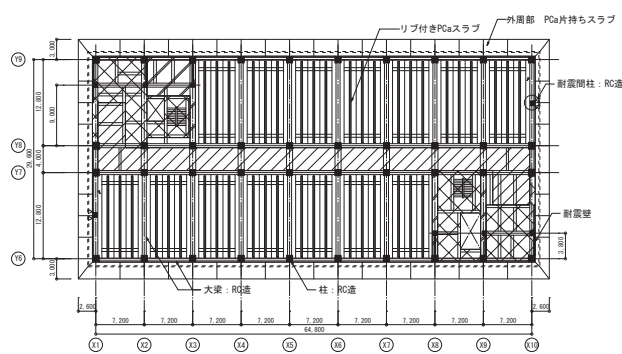


図2 基準階伏図

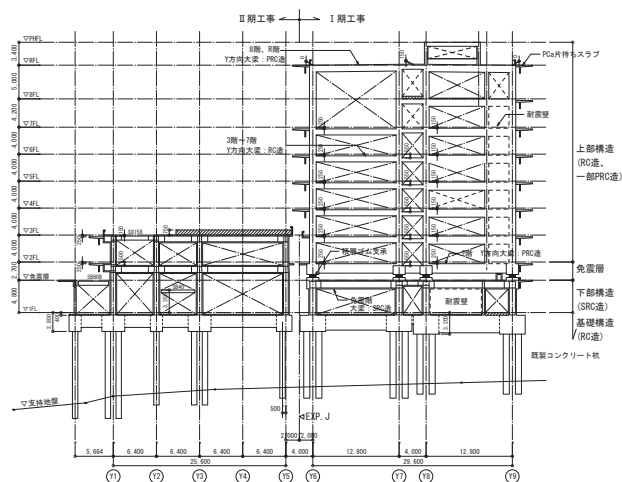


図3 軸組図

4 中間層免震の採用による冗長性確保

新庁舎の目標を満足させるため、1階と2階の中間に免震層を配置した中間階免震構造が最適と判断した。その考え方は以下の通りである。

(1) 津波による免震層の破断プロセスの想定

大地震発生後の確実な機能維持を図るため、免震構造を採用することとした。免震装置の課題は、積層ゴムアイソレーターの限界変位（ゴム層厚の4倍：68～80cm程度）をある程度超えると、ゴムと鉄板が剥離し地震抵抗力が一切なくなり、建物の部分崩壊といえる状態に至ることである。このため、津波に対しては、免震装置の変形能力が建物の構造耐力上の弱点となるため、津波波力に対する免震装置の耐力の余裕度を確保することが重要である。また、浸水（ヘドロ混じり海水）に対する対策として、機能や性能低下を生じない装置を選定する。具体的には、天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴムおよびU型鋼材ダンパーを採用した（図4）。

免震装置の破断プロセスは、①積層ゴムが免震水平クリアランス（本建物は60cm）に達する（ゴム層厚の350%程度）→②免震層上部が下部構造の擁壁を押し擁壁が終局曲げ耐力 μ に達する→③擁壁の変形が急激に進行しゴム層厚が400%を超え破断に至る（図5）。本検討では、①の段階を津波波力と比較する際の免震装置の保有水平耐力と定義することが妥当と考えた。この際、津波を静的外力ととらえ、鉛プラグの剛性を無視し、積層ゴムと鋼材ダンパーの剛性のみを考慮して、免震装置の合計耐力を算定した（図6）。

(2) 津波波力の算定と免震装置耐力との比較

「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（技術的助言）（2011年11月17日、国土交通省住宅局長）」に準じて津波波力の算定を行った。水圧係数 a は、河川の堤防が津波を軽減する効果があると考え、河川から100m程度しか離れていない（図12）ことから、 $a=2.0$ とした（図7）。建物の1FLが標高6.2mであることから、設計用浸水深は8.8mとなる。

基礎免震の場合、津波波力に対し免震装置の耐力は40%弱であり、装置の破断に至ると考えられた（図8）。そこで、1階部分はSRC造の耐震構造とし十分に津波波力に抵抗させ、免震層は1階と2階の中間に設置することとした（図9）。この場合、津波波力は激減し、免震装置耐力は津波波力の約1.5倍確保でき、十分津波避難ビルとしての構造耐力が確保できる。

さらに冗長性を高めるため、下部構造からSRC造ストッパーを設けることにより、装置が破断する変形に至らせない対策を行った（図11）。

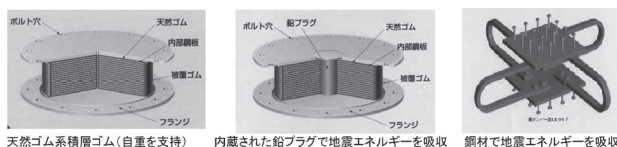


図4 浸水に対して機能・性能の低下しない装置を選択

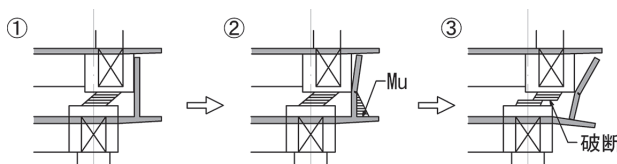


図5 免震装置の破断プロセス

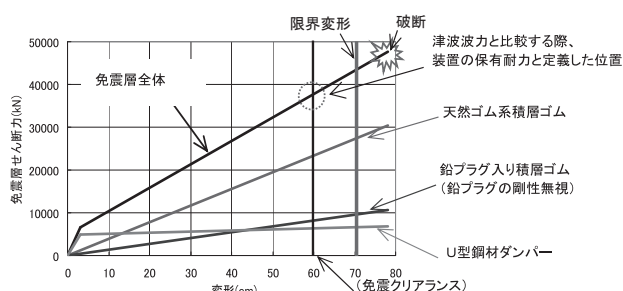


図6 津波波力に対する免震装置耐力の算定

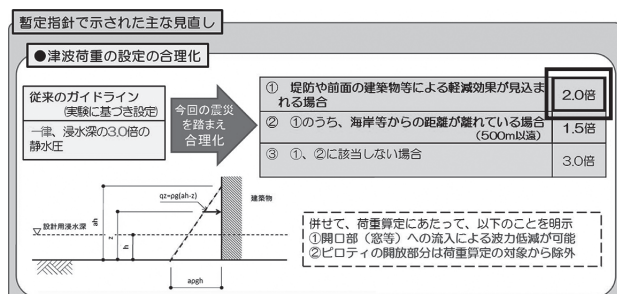


図7 津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（2011年11月）

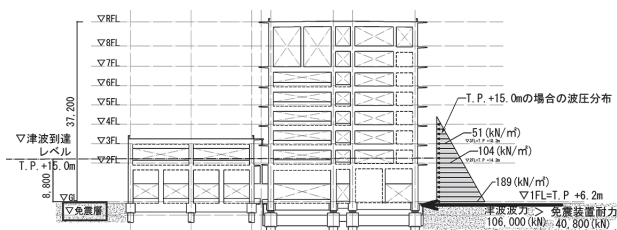


図8 基礎免震構造の場合の津波波力と免震装置耐力の比較

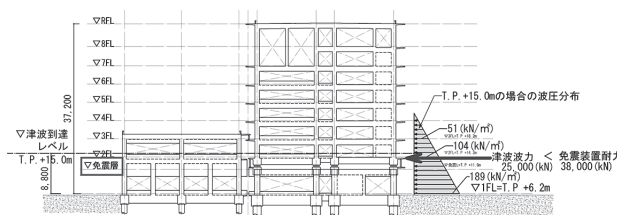
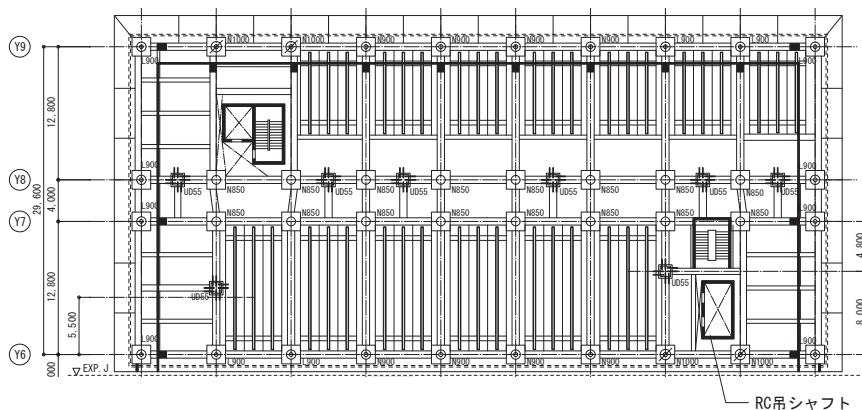


図9 基礎免震構造の場合の津波波力と免震装置耐力の比較



天然ゴム系積層ゴム $G=0.39N/mm^2$

記号	部材符号	径 (mm)	ゴム総厚 (mm)	台数
○	N850	850	170	16
◎	N900	900	180	8
⊗	N1000	1000	200	4
				合計 28

鉛プラグ入り積層ゴム $G=0.39N/mm^2$

記号	部材符号	径 (mm)	ゴム総厚 (mm)	鉛プラグ径 (mm)	台数
⊙	L900	900	180	180	12
					合計 12

鋼材ダンパー

記号	部材符号	降伏荷重 (kN)	鋼材本数	台数
⊞	UD55	608	8	8

図10 免震装置配置図

(3) 津波に配慮したフロア構成

地下は設けず、基幹設備の機械室は最上階（8階）に配置した。市長室や災害対策本部室のある防災拠点階は5階（標高26m程度）に配置した。災害支援を受けやすくするため、屋上にホバリングスペースを設置した。ただし、津波の発生頻度は極めて低いことから、1階は日常の市民のための窓口機能とし、ピロティーや駐車場などにはしていない。津波の際は、ガラス等は破損し書類・家具・備品・内装仕上げ等が被害を受けることを許容した（図13、14）。

(4) 低層棟は津波受圧面を極力をなくす

防災拠点機能を有さない保健センター・レストラン・市民スペース等が配置される2階建の低層棟は耐震構造とし、津波波力に対する安全性を確保した。1階に垂壁やRC壁を設けず、SRC造純ラーメン構造大梁柱の他はガラスカーテンウォール等による外装とし津波を受け流す計画とし、これが欄間を設けたデザインに表出している（図13）。



図12 計画地



図13 低層棟1階執務室は欄間を設け受圧面を最小にする

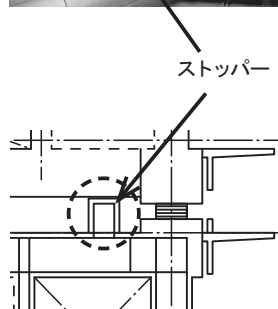


図11 免震層のストッパー

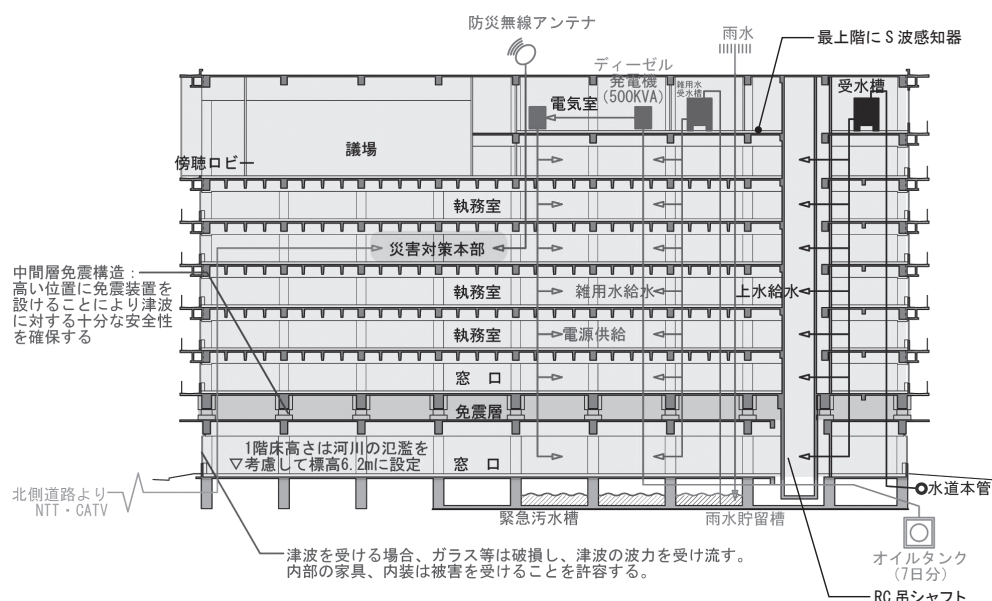


図14 津波避難ビルの構造耐力を確保した防災拠点庁舎の断面イメージ

5 大津波到達前後のシナリオを想定

建物のハードだけでは、市民の命を大津波から守ることは困難である。市の避難指示方法や市民の避難行動などを構造設計者として理解し、それを技術的に支援する建物にしたいと考えた。

(1) 大地震後、大津波到達までの機能確保

大地震後、20～30分後に大津波が到達するまでの、庁舎の主な役割は、震源・地震規模や大津波警報等の情報収集と防災無線等を利用した市民の命を守るための避難の呼びかけや周辺住民の庁舎上層階への受け入れである。

大地震による外部電力遮断に備え、情報収集や避難指示を継続するため、7日間電力供給可能な自家発電設備と燃料オイルを装備した。上階への避難に関しては、足腰の弱い近隣高齢者を効率良く上層階に移動させるには、エレベーターが利用可能であることが重要である。地震の大きな加速度で停止しないよう、1階のELVシャフトは免震建物から剛性の高いRC造で吊り下げる。地震の初期微動で一旦最寄階に停止するものの、最上階に設けたS波感知器で200gal以内であれば、自動復帰する制御とした。地震応答解析により、全層で応答加速度が200gal以内(130gal程度)であることを確認した(図15)。

(2) 大津波終了後の防災拠点機能確保

漂流物の衝突による機能停止を防止するため、オイルタンクから最上階発電機までの配管ルートは1階シャフト壁や1階から2階への階段室をRC造とした。また、自家発電オイルが尽きる前に外部電力が復旧させるための課題を電力会社と協議し、対策を講じておくことが重要である。

6 時刻歴応答解析概要

サイト波として、南海トラフ巨大地震(4連動、M9.0、2012年3月中央防災会議震源モデル)を採用した。図15・16に、時刻歴応答解析結果の概要を示す。

7 おわりに

2014年に市が公表した浸水深マップでは沿岸部では9mを超えるものの、幸い新庁舎位置はほとんど浸水がないことが分かった。本稿の考え方が、中心市街地活性化や用地取得の関係から津波浸水深が非常に大きい敷地に防災拠点施設を計画する必要がある際の参考になれば幸いである。設計・施工において協力頂いた関係者に感謝します。

表1 設計クライテリア

想定する地震動	項目	レベル2
		極めて稀に発生する地震動
上部構造主架構	応答層間変形角	1/500 以下
	居室(2～7階以下) 応答加速度	250cm/s ² 程度以下
	部材応力	・RC部材、PC部材 短期許容応力度以下 ・耐震壁 短期許容応力度以下
免震層	免震層に生じる変形	性能保証変形(51.0cm) 以下 ($\gamma=300\%$)
	積層ゴム支承の面圧	圧縮側：短期許容面圧以下 引張側：引抜力 1.0N/mm ² 以下
下部構造主架構	応答層間変形角	1/1000 以下
	部材応力	・RC・SRC部材 短期許容応力度以下 ・耐震壁 短期許容応力度以下

表2 設計用地震動

入力地震動 【地震波記号】	レベル2		
	解析時間	加速度	速度
	(sec)	(cm/s ²)	(cm/s)
El_centro_NS	60	458.6	50
Taft_EW	60	526.2	50
Hachinohe_NS	60	377.8	50
告示波(JMA-Kobe)	120	540.8	62.2
告示波(Hachinohe)	120	578.4	45.5
告示波(Ran)	120	555.1	51.1
南海トラフ(4連動)	300	385.9	41.3

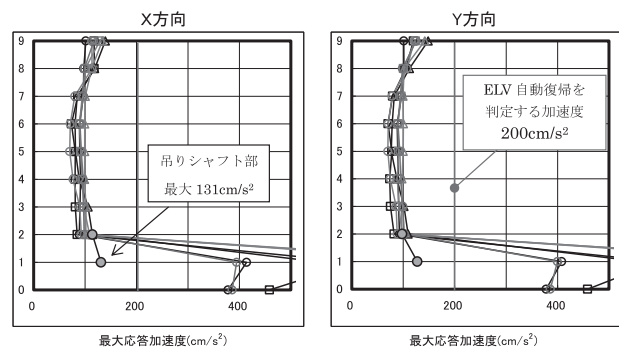


図15 最大応答加速度 (レベル2)

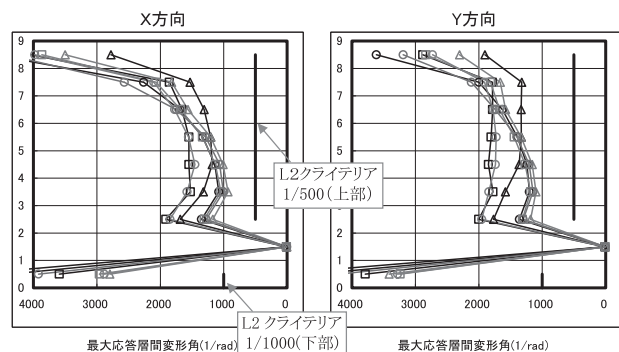


図16 最大応答層間変形角 (レベル2)