

1.2 構造計画

1.2.1 香川県庁東館の現況および耐震改修の概要

(1) 香川県庁東館の現況

「香川県庁舎東館躯体等基本調査業務(H24.11)」報告書より、現地調査に基づく現況の建物の耐震性能は以下の様に評価されており、地震の震動及び衝撃に対して倒壊し、又は崩壊する危険性があるため、全階で耐震改修が必要という結果となっている。

・「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説」による結果

高層棟(3次診断、地域係数 Z=0.9)

階	X方向			Y方向		
	Is/Z	CT _{LSb} /Z	評価	Is/Z	CT _{LSb} /Z	評価
8	0.39	0.28	NG	0.29	0.31	NG
7	0.22	0.16	NG	0.22	0.24	NG
6	0.27	0.19	NG	0.18	0.20	NG
5	0.23	0.26	NG	0.22	0.23	NG
4	0.28	0.30	NG	0.23	0.26	NG
3	0.30	0.32	NG	0.24	0.27	NG
2	0.32	0.34	NG	0.26	0.28	NG
M2	0.34	0.37	NG	0.28	0.30	NG
1	0.34	0.38	NG	0.28	0.30	NG

以上より、全階で目標値を下回っている。

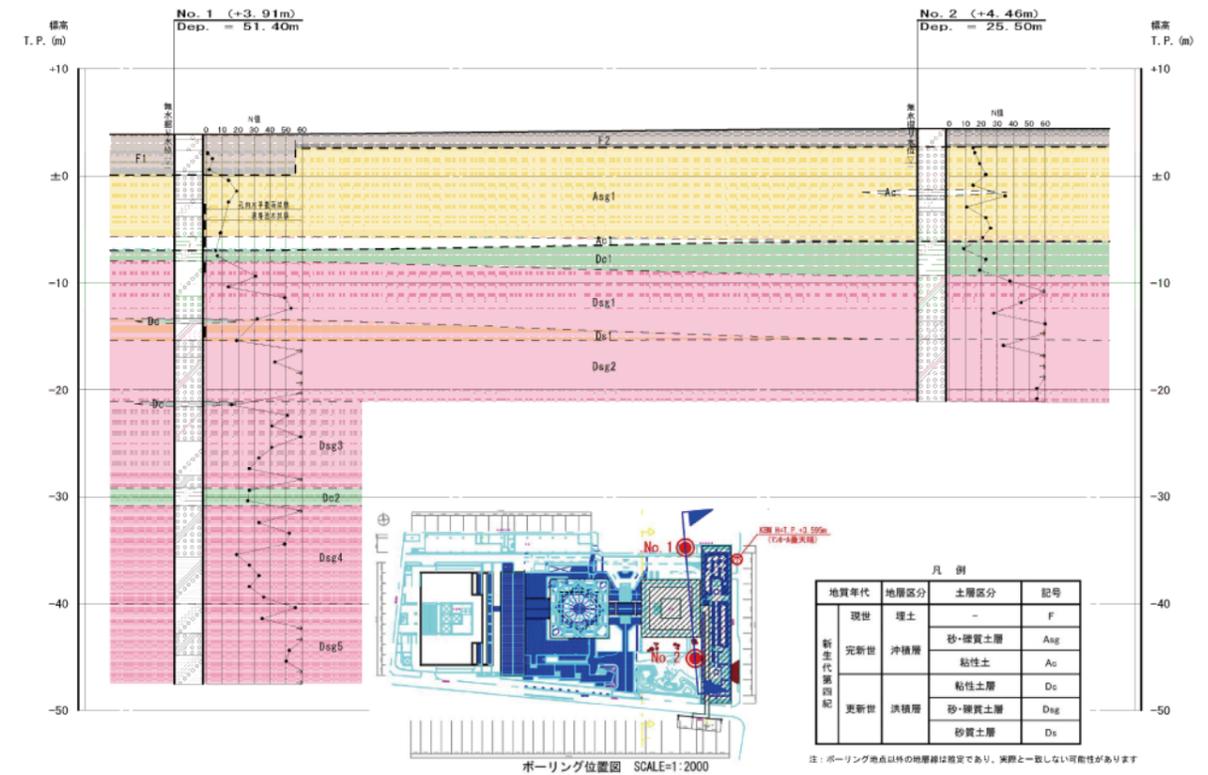
低層棟(3次診断、地域係数 Z=0.9)

階	X方向			Y方向		
	Is/Z	CT _{LSb} /Z	評価	Is/Z	CT _{LSb} /Z	評価
3	0.40	0.43	NG	0.31	0.34	NG
2	0.29	0.31	NG	0.27	0.29	NG
1	0.38	0.32	NG	0.33	0.30	NG

以上より、全階で目標値を下回っている。

(2) 地盤調査結果

- ・東館周辺2ヶ所において、地盤調査を行った。
- ・主な調査項目は、標準貫入試験・孔内水平載荷試験・室内土質試験(静的・動的)・PS検層試験・常時微動測定、地盤液状化判定である。
- ・当該地盤は、表層の盛土の下部に沖積砂礫層 Asg1 が堆積し、その下部に総厚の薄い沖積および洪積粘土層が堆積している。これらより下部は洪積砂礫層が堆積している。



- ・沖積砂礫層 Asg1 の下部 GL-7.0m~10m 程度の範囲で、地表面加速度 350gal において「液状化の可能性が高い」という判定が出ている。したがって沖積砂礫層 Asg1 を改修後の建物の支持層とする場合は、なんらかの液状化対策が必要となる。
- ・PS検層の結果、Vs=400m/sec 以上の工学的基盤と見なせる層は GL-19.3m (Vs=440m/sec) および GL-43.90m (Vs=530m/sec) にて確認された。
- ・建物の支持方針としては、次の2案が考えられる
 - ① 液状化対策を行って沖積砂礫層 Asg1 を支持層とする直接基礎(ベタ基礎)とする。
 - ② 洪積砂礫層 Dsg1 を支持層とする杭基礎とする。液状化に対しては杭で抵抗する。

(3) 躯体劣化状況

「香川県庁舎東館躯体等基本調査業務(H24.11)」報告書より、現地調査に基づく現況の建物躯体の劣化状況は、以下の様に評価されている。

高層棟

- ・建物の不同沈下 …… 建物の構造耐力及び機能的に支障を来すほどの不同沈下は認められない。
- ・建物の傾斜測定 …… 施工誤差を含めた傾斜角にやや大きい部分もあるが、建築物の建物の構造耐力及び機能的に支障を来すほどの傾斜は認められない。
- ・コンクリートの外観目視検査 …… 柱・梁・壁に軽微な構造ひび割れが認められるが、H9年の調査からH24年の調査までの間に大きく進行しているひび割れは認められない。
- ・コンクリートの強度 …… 圧縮強度試験の結果、設計基準強度の180kgf/cm²以上あり、問題ない。
- ・コンクリートの中性化深さ …… 中性化深さは平均値30.2mmで、鉄筋位置60mmまで至っていないと推測される。

低層棟

- ・建物の不同沈下 …… 建物の構造耐力及び機能的に支障を来すほどの不同沈下は認められない。
- ・建物の傾斜測定 …… 施工誤差を含めた傾斜角にやや大きい部分もあるが、建築物の建物の構造耐力及び機能的に支障を来すほどの傾斜は認められない。
- ・コンクリートの外観目視検査 …… 柱・梁・壁に軽微な構造ひび割れが認められるが、H9年の調査からH24年の調査までの間に大きく進行しているひび割れは認められない。
- ・コンクリートの強度 …… 圧縮強度試験の結果、設計基準強度の180kgf/cm²以上あり、問題ない。
- ・コンクリートの中性化深さ …… 中性化深さは平均値14.2mmで、鉄筋位置37mmまで至っていないと推測される。

コンクリートの中性化の進行は標準的であり、建物全体的には特に問題ない。

数カ所のコンクリート爆裂部があることが判明しており、このまま放置すると、構造体の耐力低下の原因となる為、補修が望ましい。

以上より、躯体の劣化に関しては、劣化部を補修する等の適切な維持管理を行えば、今後も使用を継続することは問題ないと思われる。

(4) 耐震改修の基本方針

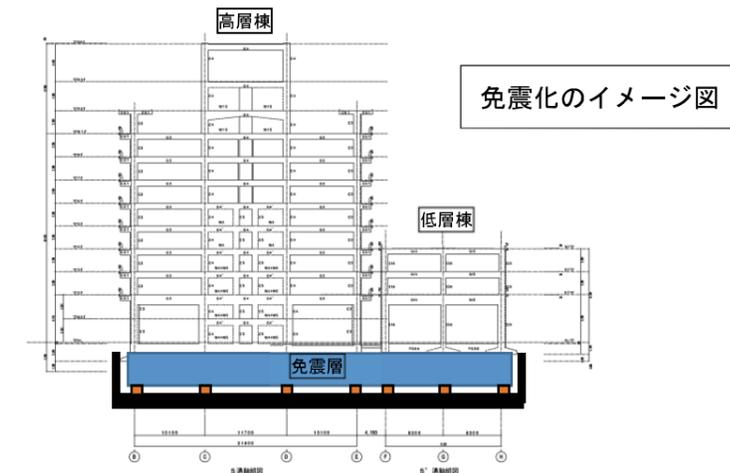
本建物は災害時に防災拠点施設としての機能確保が必要である為、耐震性能I類となる耐震補強が求められる。また、文化的にも価値の高い建築物であり、その保全も重要である。

以上を踏まえ、香川県庁舎東館保存・耐震化検討会議の報告書及び平成26年度香川県議会総務委員会資料に従って、建物本体への補強を最小限に抑えつつ耐震性能I類と同等の耐震性能が確保でき、居ながら施工も可能な基礎下免震改修を採用する。

高層棟・低層棟を個々に免震化した場合、地震によりそれぞれが最大約35cmの水平移動を生じることとなるが、隣棟間隔が小さく、十分な可動範囲を確保することが困難なため、高層棟・低層棟を地下の構造体でつなげて一体とした免震構造とする。

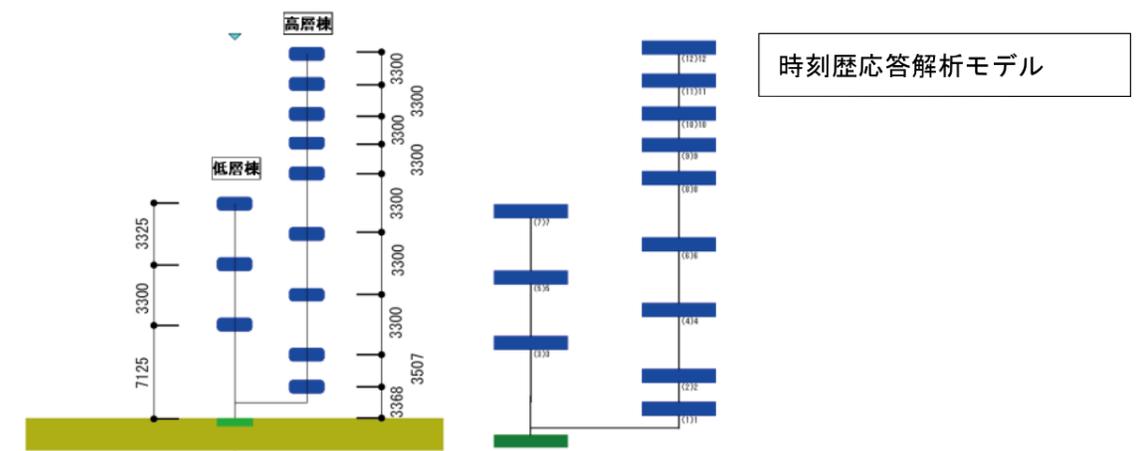
高層棟の塔屋は、重量に対して剛性・耐力が低いため、塔屋もモデル化した応答解析も合わせて行い、外観等の意匠的な検討も行った上で必要に応じて適切に補強を行う。

高層棟の6～8階のセンターコア周りの袖壁に挟まれた短スパンの境界梁は、免震化を行っても応力集中による脆性的な破壊(せん断破壊)が発生する可能性がある。補強が必要な場合は、境界梁を炭素繊維又は鋼板等により補強し、せん断耐力を増大させる工法による。ただし、採用に当たっては、見え掛りとなる位置のため意匠的な配慮を行うとともに、施工時の振動・騒音に配慮する。また、他の方法として、袖壁に耐震スリットを設ける事等で境界梁への応力集中を緩和する工法も考えられるが、高層棟の構造的な弱点の一つとして、6～8階の水平剛性、および、水平力に対する強度が5階以下に比べて低いことが挙げられることから、スリットを設ける事等で更に既存架構の剛性や耐力を低下させることは、適切ではないと判断する。



(5) 免震改修における設計クライテリア

- ・免震構造とした耐震改修の効果は、時刻歴応答解析により確認する。
- ・時刻歴応答解析モデルは免震層下部を固定(地震動入力位置)とし、1層1質点の等価せん断型モデルとする。また、高層棟・低層棟を一体とした免震構造とするため、1階床レベルでは一体で、上部2棟よりなる。従って、一体の1階より2本の質点系が立ち上がるモデルとする。



・免震改修後の各設計クライテリアは以下の様に設定する。

【構造部材の設計クライテリア】

項目		稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動	
		(レベル1地震動)	(レベル2地震動)	
上部構造	断面設計	層として弾性範囲 各部材がほぼ短期許容応力度以下	せん断破壊部材なし	
	応答加速度 (居室階)	250 cm/sec ² 以下	250 cm/sec ² 以下	
	層間変形角	塔屋	1/150以下	1/150以下
		1~8階 (居室階)	1/200以下	1/200以下
免震部材	水平変形	安定変形以下 17cm以下(γ=100%)	性能保証変形以下 35cm以下(γ=218%)	
下部構造	断面設計	短期許容応力度以下	短期許容応力度以下	

【各部のクリアランスの確保】

クリアランス確保	躯体	55cm以上
	エキスパンションジョイント	55cm以上 県道側柱前(柱外面の打増し部分)については40cm以上
	建築設備	55cm以上

- ・躯体の水平クリアランスはすべての箇所ですべて55cm以上確保する。
- ・エキスパンションジョイントカバー等は55cm以上の寸法を確保し、平常時は敷地内に配置するものとする。
ただし、東面県道側柱外面の打増し部分については40cm以上の寸法とし、地震時には、道路境界線を越境してもよいが、可能な限り少ない寸法とする。

1.2.2 設計用入力地震動の作成方針

(1) 想定する入力地震動について

- ・観測地震波 ×3波
- ・告示波 ×3波
- ・サイト波(震源および建設地地盤特性を考慮した地震動)
 - 中央構造線 ×2波
 - 東南海地震 ×3波
 - 南海道地震(長周期地震動) ×2波

(2) 入力地震動の作成方法

観測地震波は最大速度をレベル1では25cm/sec、レベル2では50cm/secに基準化して入力する。
告示波・サイト波については、工学的基盤における模擬地震動を作成し、東館周辺地盤の表層地盤の増幅を考慮したものとする。

- ・工学的基盤における模擬地震動
告示波： 告示1461号に示される工学的基盤における加速度応答スペクトルに適合する模擬地震動時刻歴とし、位相スペクトルを変えて3波作成する。
サイト波： 東館周辺の活断層を震源とした地震を想定して作成する。
- ・表層地盤解析モデル
館周辺地盤における地盤調査結果をもとに、地盤の非線型性を考慮した成層地盤モデルを作成する。
Vs=400m/sec以上の層を工学的基盤として設定し、工学的基盤に模擬地震動を入力した地盤の地震応答解析を行うことにより、東館周辺地盤における設計用入力地震動を得る。

1.2.3 上部構造の復元力特性について

- ・高層棟・低層棟ともに、一貫計算プログラムによる荷重増分解析より得られた各層の荷重～変形特性をもとに、トリニア形の復元力特性を各方向について作成する。
- ・時刻歴応答解析における復元力特性は、剛性逓減型(武田モデル)とする。
- ・各層にh=3%の瞬間剛性比例型の内部粘性減衰を考慮する。

1.2.4 免震層の計画

- ・ 免震部材として、積層ゴムおよび弾性すべり支承の使用を標準とする。
- ・ 免震層の減衰要素として主に鉛プラグ入り積層ゴムを配置し、長周期地震動対策および設計クライテリア以内のより小さい最大応答変位におさえる為、オイルダンパーの併用を標準とする。
- ・ 免震部材は主に各柱下に配置し、面圧や水平変形について部材の性能保証範囲内で使用する。
- ・ 外周部に積層ゴム、内部に弾性すべり支承を配置することで、免震層の偏心率を小さく抑える平面配置計画とする。
- ・ 免震層の性能保証変形時(δ=35cm)の等価剛性に基づく1次固有周期はT=4.0sec以上とする。
- ・ 時刻歴応答解析において、免震部材の特性値の変動を考慮する。

1.2.5 基礎の計画

(1) 建物支持方針

基礎免震改修完了後の建物は、N値14~19程度の沖積砂礫層Asg1を支持層とする直接基礎（ベタ基礎）にて支持する。

地盤の長期許容応力度は、 $lqa=300 \text{ kN/m}^2$ とする。

(2) 液状化対策

地盤調査報告書によると、GL-7m~10m程度の沖積砂礫層において、地表面加速度350galで「液状化の危険度が高い」との判定が出ている。「極めて希な大地震時」においても、建物の被害は微小におさめ継続使用を目的とする今回の免震改修に対応し、大地震時の液状化は許容しないものとする。そのために液状化対策として、地盤改良を施工する。

液状化対策の地盤改良は以下の2つの工法を提案する。

・ 薬液注入工法

液状化層に酸性の特殊な薬液を注入し、間隙水と置換し粘着力(C)を付与することによって、液状化を抑制する工法である。

・ 格子状改良工法

ソイルセメントの円柱状の改良体を格子状に構築し、液状化層を囲う。これにより液状化層のせん断変形を拘束することによって、液状化を抑制する工法である。

表1-2-5における「高層棟C案、低層棟c案」を標準とする。ただし、コスト、施工計画上の合理性などを総合的に考慮し、実施設計時に再度判断することが望ましいと考える。

(3) 施工中の建物の仮受け

原状の基礎下での免震層の構築時の建物の仮受けは杭基礎による。杭基礎の支持層はGL-12m~17m程度に堆積するN値30~50程度の洪積砂礫層Dsg1とする。杭先端はGL-14mとする。杭種および杭工法は以下を標準とする。

・ 高層棟

既存建物を反力とした圧入工法による鋼管杭で建物の仮受けを行う。圧入杭の設計支持力は、圧入杭の打ち止め管理により全数確認する。建物の仮受け重量を、杭の短期設計支持力にて支持する。

・ 低層棟

既存建物の1階床土間を撤去後、回転埋設工法による先端翼付き鋼管杭（認定工法）で建物の仮受けを行う。

回転埋設くいの設計支持力は大臣認定式にて算出する。

建物の仮受け重量を、杭の短期許容支持力にて支持する。

(4) 格子状地盤改良の杭支持層としての利用

薬液注入工法による地盤改良体は改良後に粘着力は付与されるが、1軸圧縮強度の上昇は小さいため改良体を杭の支持層にはできない。格子状地盤改良を採用する場合は、改良体は1~2MN/m²程度の強度を持つため、杭の支持層として十分使用可能である。

柱通りの仮受杭位置を包摂するように格子状地盤改良を計画し、仮受杭の支持層と兼用すれば、仮受杭の長さを短くできる。(杭先端GL-8.0m 杭長L=6.0m程度)

ただしこの場合は、仮受杭の埋設・圧入に先立って、1階床を撤去し改良体を構築する必要がある。特に高層棟の場合は、既設ベタ基礎の基礎版に200φ程度の孔をあけ、改良工事を行うことが必要である。

格子状地盤改良体を杭の支持層として兼用するかどうかは、コスト・施工計画上の合理性などを総合的に考慮し、実施設計時に判断することが望ましいと考える。

基礎計画に関する選択可能性を整理すると表1-2-5になる。

棟名	案	基礎形式(原状)	基礎形式(改修後)	液状化対策	仮受杭	仮受杭支持層	仮受杭長さ(m)	備考
高層棟	A	ベタ基礎	ベタ基礎	薬液注入工法	鋼管圧入杭	洪積砂礫層	12	
	B			格子状改良工法			12	
	C						格子状改良体	6
低層棟	a	直接基礎(独立フーチング)	ベタ基礎	薬液注入工法	先端翼付き回転埋設鋼管杭	洪積砂礫層	13	
	b			格子状改良工法			13	
	c						格子状改良体	6

米1: 1階床レベルより、地盤改良を杭工事に先行して行う必要がある。
高層棟の場合は、既設基礎版に作業用の孔を設け、改良体を構築する必要がある。