

高知県本庁舎耐震改修



渡邊 朋宏
佐藤総合計画

1 はじめに

近年、付加価値の高い歴史的・文化的施設や庁舎等の防災拠点に、被災(地震等)後もその内外観と機能を維持できるようにとの観点から、免震レトロフィットの改修が増えてきている。

ここでは、近い将来起こると予測される南海トラフの活動地震に備え、来庁者・職員の安全性と災害復旧等の防災活動拠点としての耐震性能向上・機能確保と、長きに渡り親しまれたオリジナルデザイン(内外観)を継承する『保存と再生』を行った、高知県本庁舎の免震レトロフィット改修について紹介する。

2 建物概要

高知城下の史跡地区内にある県庁舎は、大正9(1920)年にレンガ造2階建てで建設され、戦災と地震による被災を経験し、補強しながら使用されていた。だが昭和32(1957)年に当時の建設省の強度診断の結果、「弱体建物」と判断され、昭和37(1962)年に現在の本庁舎に建替えられ約50年経過している(写真1)。



写真1 全景写真(2012年3月撮影)

建物形状としては長辺(X方向)約113m×短辺(Y方向)約30mの長方形状で、X方向はスパン4.0m及び5.8mの19スパン、Y方向はスパン7.7mの3スパンで構成される。図1に1階平面図、図2に断面図を示す。

【建築概要】 < >内は補強後を示す

建物名称：高知県本庁舎

建築面積：2,628.65㎡

延床面積：17,987.59㎡

階数：地下1階、地上6階、PH3階、高さ23.7m

構造種別：鉄筋コンクリート造(B1F～3F床：Fc18、3F立上り～：Lc12)＋<基礎免震レトロフィット構法>

構造形式：耐震壁付きラーメン構造

基礎形式：場所打ちコンクリート杭＋<鋼管杭>

3 耐震改修(補強)計画

(1)耐震診断結果

「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」(日本建築防災協会)に基づく第2次診断法により求めた耐震診断の結果、構造耐震指標 I_s 値はX方向0.24～0.41、Y方向0.23～0.43を示し、両方向共に全階で「耐震性に疑問あり」と判定された。

よって、地震に対する安全性向上のため耐震補強が必要な建物である。図3に耐震診断結果を示す。

(2)補強計画

本庁舎の補強計画にあたり可能な限り「来庁者及び執務室への支障を極力少なくする、居ながら施工」を基本に、今では手に入れることが困難な県産材料

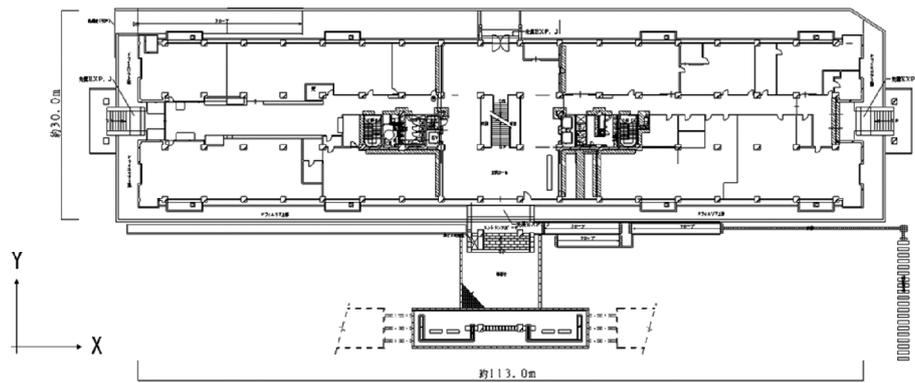


図1 1階平面図

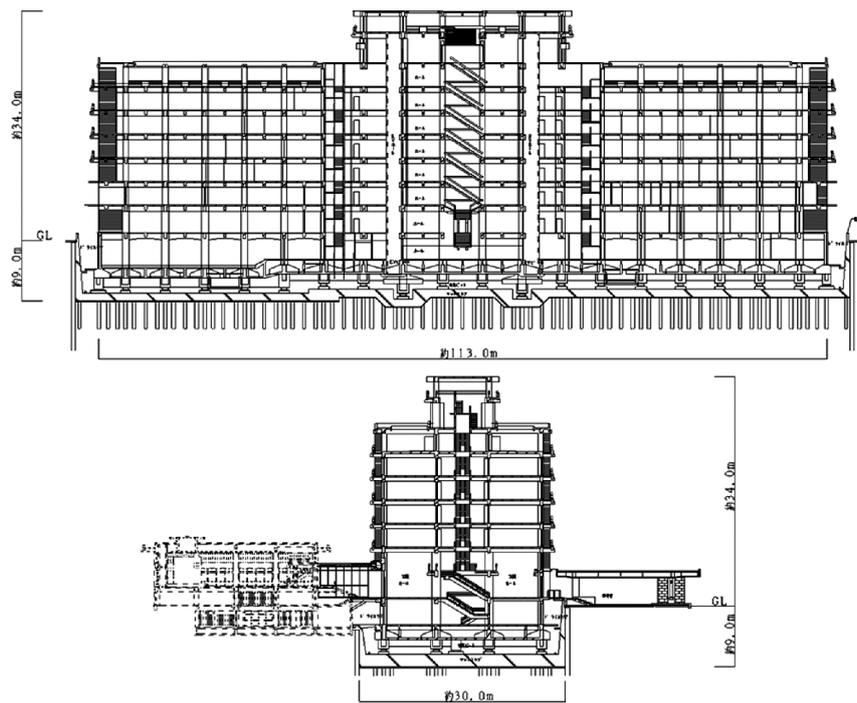


図2 断面図

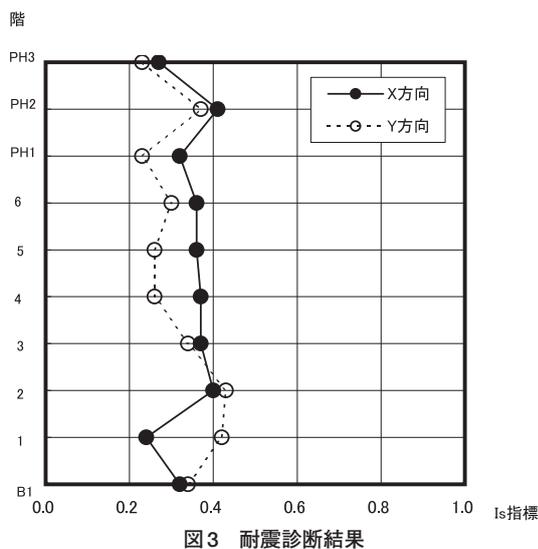


図3 耐震診断結果

もふだんに使われている内外観及び仕様変更を最小限に留め、さらに「大地震後に庁舎としての機能

を維持できる耐震性能を確保する」ことが可能な免震レトロフィット構法を採用した。

4 補強設計

既存躯体のコンクリート強度は、設計値 F_c18 (B1階床～3階床)及び L_c12 (3階立上り～)を採用した。長期的に耐力不足の部材が建物中心のコア廻りに集中していたため、内部部材補強を最小限にできる効率的な補強箇所を建物中央付近に集中させている。外力分布は予備応答解析に基づいた分布系とし、採用した部材補強タイプは、鉄筋コンクリート壁増設、壁増し打ち及び耐震間柱の増設で架構全体の剛性を確保し、免震装置の変形による付加曲げ応力を負担させる基礎梁下端の増し打ち補強と一部許容応力度に満たない柱梁部材は、増し打ち及び炭素繊維巻き立て補強により耐力を向上させた。

補強部材に地震力を極力集中させ既存部材に作用するせん断力を小さく抑えるため、補強部のコンクリート強度はFc24を用いた。

執務室内での躯体補強が必要であったため、低振動低騒音に配慮し新設及び増設壁には「ノンアンカーRC壁接着工法」を採用した。だが、設計値Lc12である3階、4階は、事前躯体調査及び追加調査でもコンクリート圧縮強度が13.5N/mm²を下回る結果であったため、当該低強度コンクリート階は既存躯体をはつり鉄筋を露出させ、新設鉄筋と一体とさせることで対処した。

免震装置には、高減衰積層ゴム支承(800φ:54基、900φ:18基)と弾性すべり支承(700φ:12基)を用い、地震時に免震層に偏心が生じないようにバランス良く配置し、水平方向クリアランスを60cmとした。

基礎形式は、既存杭が補強前の鉛直荷重を負担できると考え、免震レトロフィット化と躯体補強に伴う重量増加分と地震時水平力を新設鋼管杭により負担させた。新設鋼管杭は2種類あり、擁壁直下に配置した全水平力を負担させる先端羽根付回転圧入鋼管杭(NSエコパイル工法)と新設耐圧版等の重量増加分の鉛直荷重を負担する狭小施工が可能な先端羽根付鋼管杭(EAZET工法)とした。

5 時刻歴応答解析

(1)耐震性能目標

設計は、表1に示す設計クライテリアに基づき、地震動の強さレベル1、レベル2及び耐震余裕度検討レベルで時刻歴応答解析を行い、上部構造、免震層、基礎の耐震性能の評価と確認を行った。

表1 設計クライテリア

| 地震動のレベル | | レベル1 | レベル2 | |
|---------|-------|-----------|-------------------------|--|
| 上部構造 | 床加速度 | — | 300cm/s ² 以内 | |
| | 耐力 | 短期許容応力度以内 | 短期許容応力度以内 | |
| | 層間変形角 | 1/400以内 | 1/150以内 | |
| 免震層 | 層間変位 | 20cm以内 | 45cm以内 | |
| | せん断歪 | 100%以内 | 225%以内 | |
| | 面圧 | 圧縮 | 圧縮限界強度の1/2以内 | 圧縮限界強度以内 |
| | | 引張 | 引張力を生じない | 高減衰ゴム:-1.0N/mm ² 以内 弾性すべり支承:引張力を生じない |
| 基礎 | 杭 | 支持力 | 短期許容支持力以内 | 短期許容支持力以内 |
| | | 耐力 | 短期許容応力度以内 | 短期許容応力度以内 |
| | 耐圧版 | 耐力 | 短期許容応力度以内 | 短期許容応力度以内 |

(2)振動解析モデル

図4に応答解析モデルを示す。免震層は高減衰積層ゴム支承と弾性すべり支承を並列配置のモデル化とし、免震層以下は固定とした。上部構造は1層1質点の11質点の等価せん断型モデルとしている。

上部構造の復元力特性は、コンクリートのひび割れを考慮した静的弾塑性解析で得られた各階のせん断力-層間変位曲線よりトリリニアモデルを設定した。減衰は内部粘性減衰とし、減衰定数は1次モードに対し2%とした瞬間剛性比例型、免震層は0%とした。

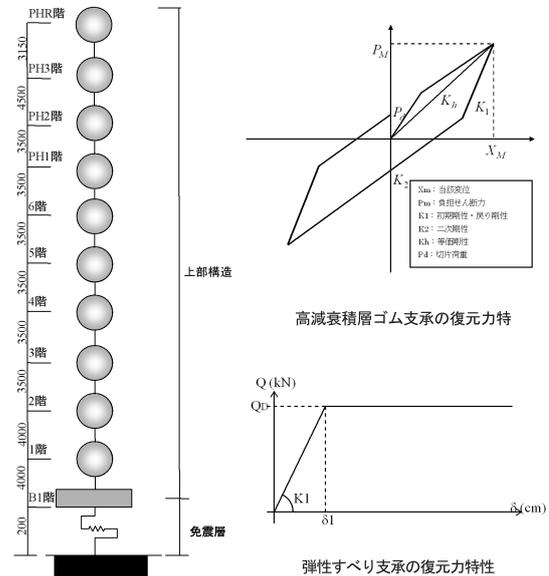


図4 応答解析モデル

表2 採用地震波(代表箇所抜粋)

| 地震波 | レベル1 | | レベル2 | |
|-------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| | 最大加速度 (cm/s ²) | 最大速度 (cm/s) | 最大加速度 (cm/s ²) | 最大速度 (cm/s) |
| EL CENTRO 1940 NS | 256 | 25 | 511 | 50 |
| TAFT 1952 EW | 248 | 25 | 497 | 50 |
| HACHINOHE 1968 NS | 165 | 25 | 330 | 50 |
| 告示波①(神戸位相) | 125 | 15 | 497 | 80 |
| 告示波②(八戸位相) | 111 | 15 | 458 | 62 |
| 告示波③(乱数位相) | 110 | 11 | 402 | 59 |
| サイト波①(EW位相) | — | — | 378 | 41 |
| サイト波②(NS位相) | — | — | 354 | 48 |

(3)入力地震動

本庁舎は長方形で細長く地震動が斜め方向から伝わってくる場合の位相差の影響があり、また工学的基盤の急激な傾斜(約-5m~-25m程度)による影響も受ける。よって傾斜地盤特性の評価等を考慮し作成した模擬地震波は、6箇所について告示波3波とサイト波2波の計30波にも及んだ。表2に代表的な採用地震波を示す。

(4)応答解析結果

レベル2地震時における時刻歴応答解析結果を表3に示す。免震層の最大応答変位は、X方向38.42cm、Y方向38.51cm、地上階の最大層間変形角はX方向1/3226(2階)、Y方向1/232(PH2階)となっている。

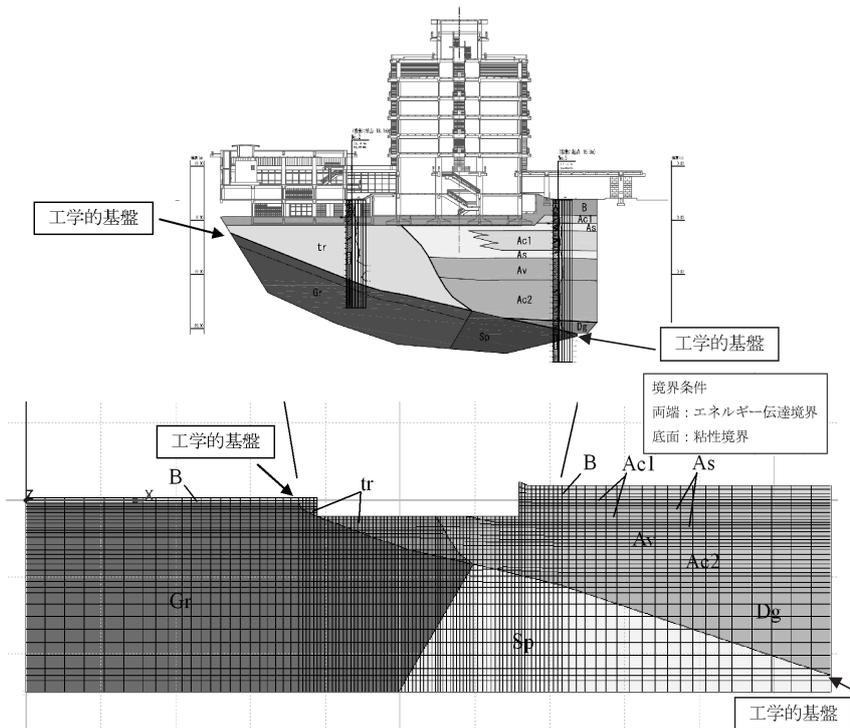


図5 2次元地盤モデル

また執務室の床加速度は最大で116.6cm/s² (gal)である。さらに工学的基盤の傾斜および位相差入力の影響を考慮した2次元地盤モデル(図5)により算出した地震動を用い検討した結果においても、時刻歴変位の差から位相差入力による影響は小さく、応答解析の結果も全て、設計クライテリアを満足する結果を得た。

表3 時刻歴応答解析結果(レベル)

| | X方向 | Y方向 |
|----------------------------------|--------|-------|
| 執務室(6階)の床加速度(cm/s ²) | 93.1 | 116.6 |
| 上部構造のベースシア係数 | 0.079 | 0.081 |
| 免震層の層間変位(cm) | 38.42 | 38.51 |
| 地上階の最大層間変形角 | 1/3226 | 1/232 |

6 補強工事

図6に概略の施工ステップを示す。

建物を使用しながらの免震レトロフィットは、新設とは異なり、既存杭と柱で建物重量を支えている

状態に対し、掘削に伴う仮受け鋼管杭への荷重移行と既存RC杭の切断及び免震部材の安全かつ確実な据え付けと段階的な荷重移行が難関で、微細な軸力変動や変形差等を見逃すことは建物の耐震性と耐久性に直結するため、軸力と変位については自動計測による24時間監視を行った。また耐震建物から免震化による補強では既存基礎下を掘削する際に一時既存杭が露出状態になるため、構造的不安定時の安全性確保も重要な課題である。荷重移行中の地震対策として、建物外周部の山留と建物間の切梁を地震時の拘束材として兼用させた。

謝辞

平成21年(2009)年12月に着工した改修補強工事は平成24年(2012)年3月、無事に竣工を迎えることができた。設計から監理を通し、県民のご理解と発注者並びに工事関係者には多大なご協力を頂きました。この場を借りて心より感謝申し上げます。

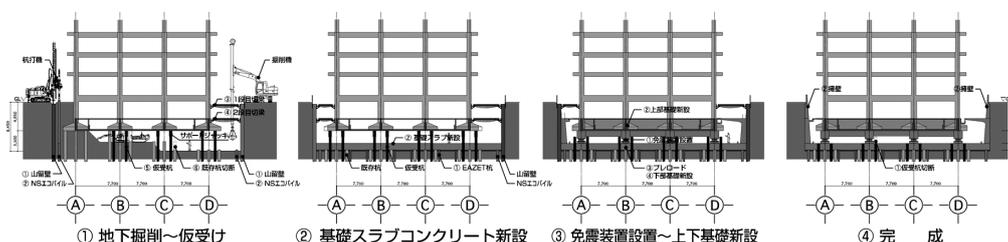


図6 施工ステップ