

外務本省耐震改修工事

国土交通省
佐藤彰芳

同
広瀬正和

山下設計
神谷敏之

同
早瀬元明

同
山下 実



1. はじめに

計画建物は、昭和35年に竣工した地上8階、地下2階、塔屋3階建ての北庁舎、及び昭和45年に竣工した地上8階、地下1階、塔屋2階建ての中央南庁舎の2棟で構成され、いずれも鉄骨鉄筋コンクリート造の庁舎である。

建物名称：外務本省

所在地：東京都千代田区霞が関2-2-1

建設年次：北庁舎 昭和35年

中央南庁舎 昭和45年

規模：（北庁舎）

建築面積 2,826.7㎡

延床面積 21,726.7㎡

地上8階、地下2階、塔屋3階
（中央南庁舎）

建築面積 4,478.3㎡

延床面積 34,166.5㎡

地上8階、地下1階、塔屋2階

構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート造

構造形式：耐震壁付ラーメン架構

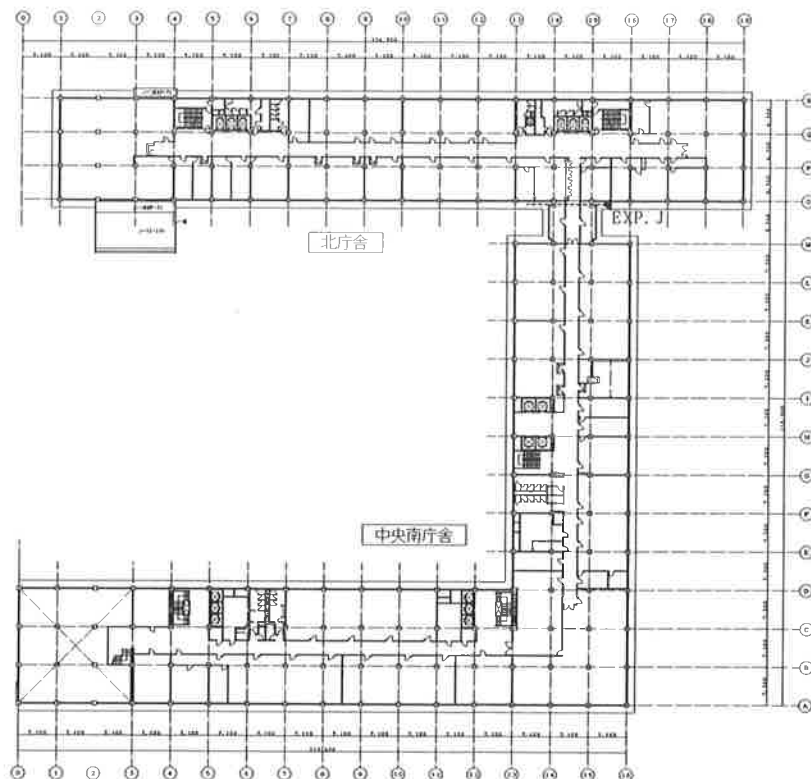
基礎形式：（北庁舎）

ペDESTAL杭

（中央南庁舎）

深礎杭

本庁舎については、「官庁施設の総合耐震計画基準」等に基づき、災害応急対策活動拠点（いわゆる「防災拠点」）施設として必要とされる耐震性能



図一 基準階平面図

の確保を図るため、増設耐震壁による方法、制振工法による方法、免震工法による方法等、各種の耐震改修工法に係る技術的検討を進めてきたところである。今回、2棟の基礎部を補強し一体化を図り、基礎下免震によって建物全体の免震化を図る耐震改修工法を選定し、工事を実施しているところである。

2. 構造計画概要

本建物は、北庁舎（長方形形状）と中央南庁舎（L型形状）がEXP.Jで分離されている2棟で構成されている。主体構造は、両棟とも鉄骨鉄筋コンクリート造、耐震壁付きラーメン架構である。本計

画では、2棟の建物を基礎部分（地中梁、B1階床、耐圧盤）で連結し、その下部に免震層を設ける計画で、免震レトロフィットを採用することにより、上部構造の補強は行わない事としている。

外周部には擁壁（一部プレストレストコンクリート造）、建物下部にマットスラブを新設し、免震ピットを構築する。

免震部材は、天然ゴム系積層ゴムアイソレータφ800mm、φ900mm（ $G=0.34N/mm^2$ ）、φ1000mm（ $G=0.39N/mm^2$ ）、鉛プラグ入り積層ゴムアイソレータφ800mm、φ900mm、φ1000mm（ $G=0.39N/mm^2$ ）を各柱直下に設置する計画とした。

基礎構造は、建物外周部に構築する擁壁の支持

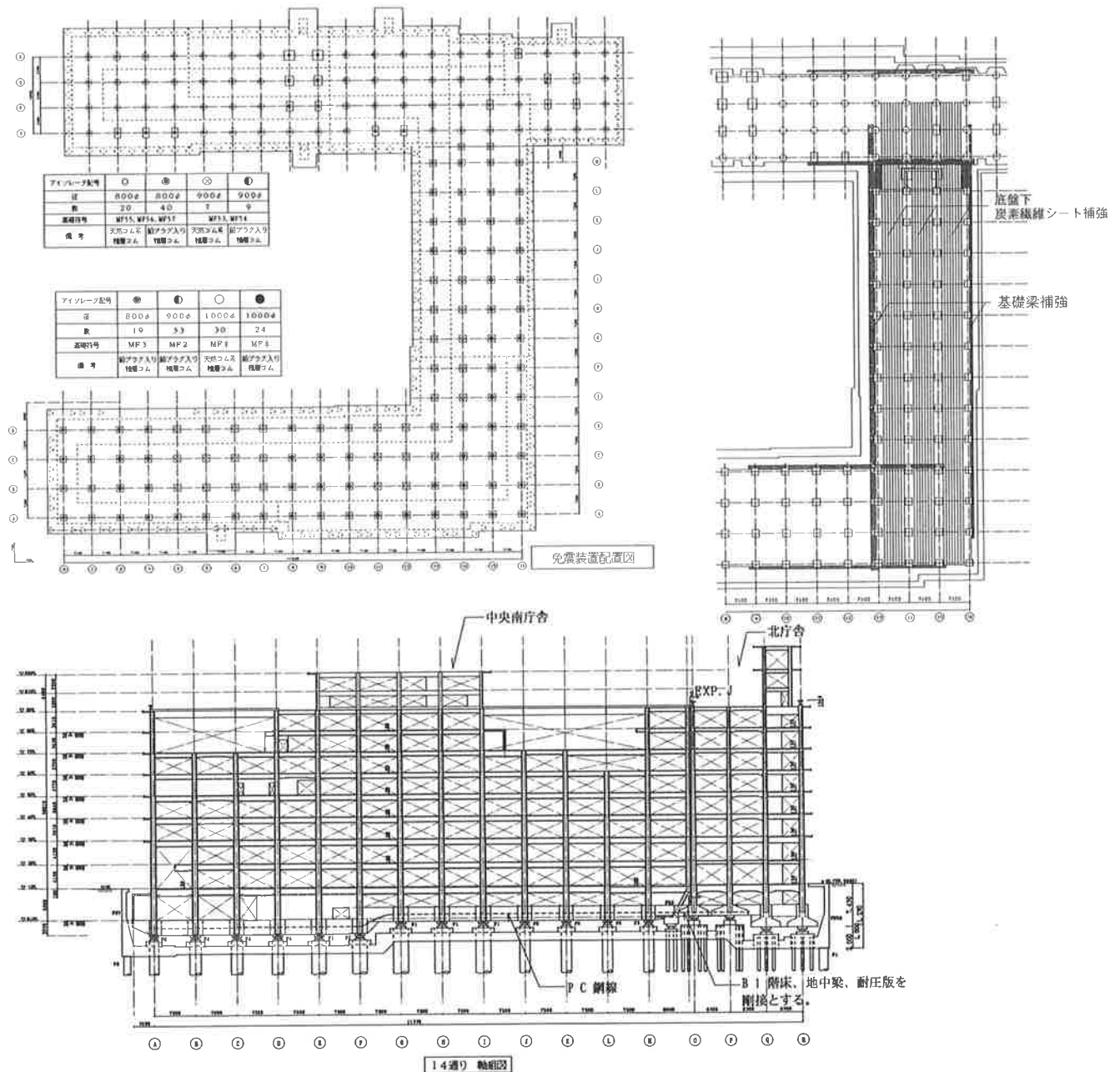


図-2 構造計画概要図

及び施工中、完成後の杭基礎の耐震性向上を目的として、場所打コンクリート杭(φ1500、φ1200、アースドリル工法)を打設する。又、北庁舎の新設基礎及び、マットスラブの外周下部には、鋼管杭(φ457.2)を圧入する。それぞれ支持層は既存建物の杭同様、東京礫層とする。

また、連結部には、既存地中梁の側面に梁型を増設し、梁型内部に長さ約100mのPC鋼線を配置し曲げ補強を行い、底盤下に炭素繊維シート補強を施す事で、アイソレータ上部の2棟を一体化させる計画とした。

3. 構造設計概要

3-1 耐震性能目標

耐震性能の目標を表-1のように設定した。

表-1 耐震性能目標

レベル	上部構造	短期許容応力度以内
	レベル1	免震部材
	基礎構造	短期許容応力度以内
レベル2	上部構造	弾性限耐力以内
	免震部材	性能保証変形 48cm 以内 (ゴム層総厚の 300%)
	基礎構造	弾性限耐力以内

※弾性限耐力以内とは、生じる応力がすべての部材において終局耐力以下(曲げ、せん断共)である範囲とする。

※安定変形は、終局限界変形(ゴム層総厚の400%)の1/2以下とする。

※性能保証変形は、終局限界変形の3/4以下とする。

表-2 採用地震波

	最大加速度(cm/s ²) (最大速度(cm/s))		継続時間 (秒)
	レベル1	レベル2	
サイト波 A (仮想関東地震)	-	175 (44.1)	80
サイト波 B (仮想東京湾北部断層)	-	186 (28.5)	40
告示波 A	207 (26.3)	414 (52.6)	120
告示波 B	185 (24.2)	370 (48.3)	120
告示波 C	171 (22.5)	341 (45)	120
EL CENTRO 1940 NS	255 (25)	511 (50)	30
TAFT 1952 EW	248 (25)	497 (50)	30
HACHINOHE 1968 NS	165 (25)	330 (50)	30

3-2 入力地震動

地震応答解析に使用した入力地震動波形は、建設地で将来発生の予想される模擬地震動波形を2波、建設省告示第1461号に基づいて作成した地震動波形3波、及び実地震動記録波形を3波、計8波とした。尚、告示波A・B・Cのレベル1地震動については、レベル2で得られた地震動波形の1/2で基準化して設定した。

3-3 時刻歴応答解析

解析モデルはB1階を1質点、1階以上は各庁舎の各階をそれぞれ1質点(計各10質点)としたツインタワーにモデル化し、各質点に水平3自由度(X、Y、θ)を与えた等価せん断型モデルとし、免震層についてもせん断バネにモデル化した。

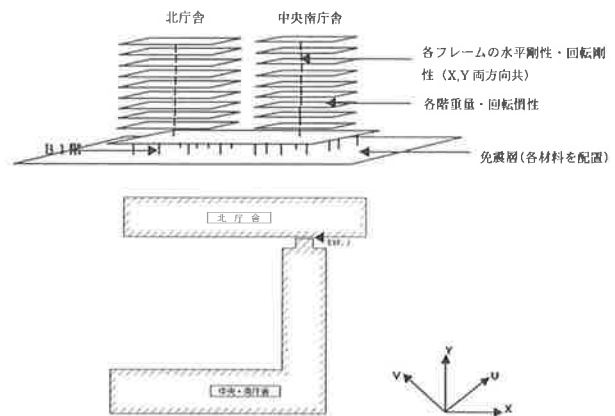


図-3 振動解析モデル

上部構造の復元力特性は、静的弾塑性解析で得られた荷重変形曲線をTri-linearに理想化して求め、履歴特性を層間変形量に応じて剛性低下する剛性逓減型とした。免震層の復元力特性は、天然ゴム系積層ゴムをLinearに、鉛プラグ入りを歪依存型Bi-linearに、それぞれモデル化した。又、温度変化、製作時の製品品質、経年変化等により力学特性が変化するため、天然ゴム系積層ゴムの剛性変動として+28%~-15%、鉛プラグ入り積層ゴムの降伏後剛性変動として+25%~-14%、降伏荷重特性値変動として+34%~-24%を考慮して解析を行った。内部粘性減衰定数は、1次固有振動数に対して上部構造を3%、免震部材を0%とした。解析方向はX、Y、U、V方向で行った。表-3に、等価固有周期を示す。

表-3 全体系の等価固有周期

	微小振幅時	レベル 1	レベル 2
積層ゴムのせん断歪 (%)	10% (1.6cm)	100% (16.0cm)	250% (40.0cm)
X方向	1.71	3.36	3.96
Y方向	1.71	3.36	3.96

※力学特性変動±0%の値を示す。

応答解析の結果の概要を表-4に示す。上部構造に生じるせん断力係数は、レベル2においても最大0.15程度、上部構造の層間変形は1/650程度である。

表-4 上部構造応答解析結果概要 (レベル2)

	X方向		Y方向	
	せん断力係数	層間変形角	せん断力係数	層間変形角
北庁舎	0.144	1/731	0.143	1/643
中央南庁舎	0.147	1/1615	0.146	1/1568

※上部構造の応答値が最大となる、力学特性変動硬化側の値を示す。

図-4に時刻歴応答解析結果の概要を示す。

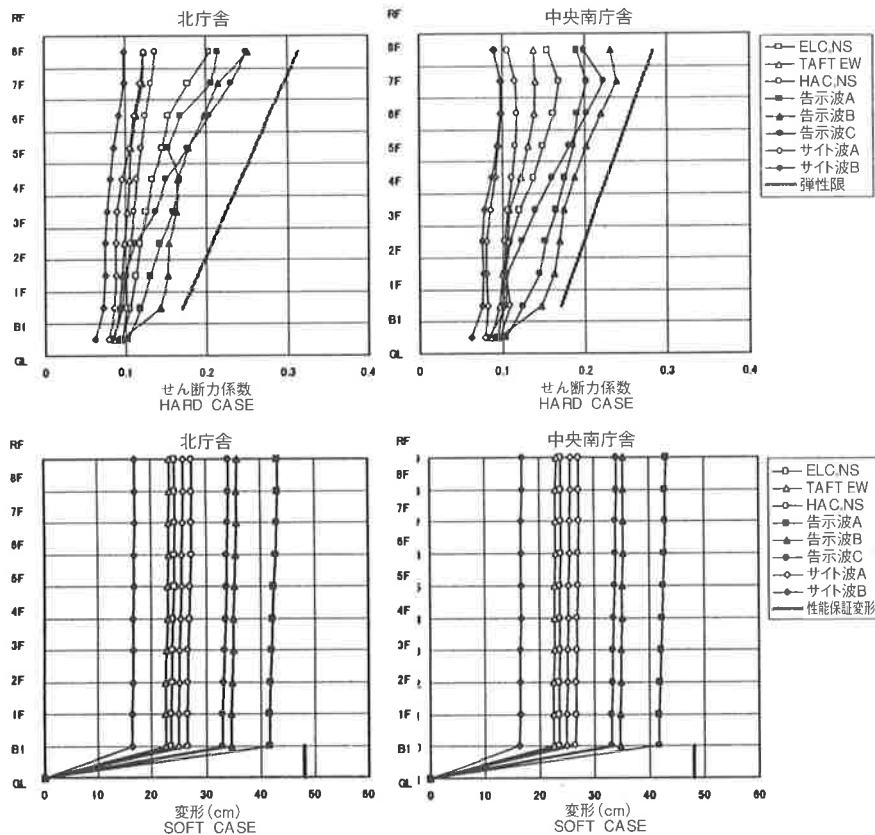


図-4 レベル2 応答解析結果

※力学特性変動：せん断力係数-硬化側、変形-軟化側

解析結果から、設定した耐震性能目標を満足できる事が確認された。

レベル2地震動に対して免震層に生じるねじれ変形は、最大 6.18×10^{-6} rad程度(建物外端での変位0.04cm、重心の並進変位に対して最大0.01%の増幅)であり、ねじれの影響は極めて小さい事を確認した。

又、入力地震動の位相差として5°、10°、15°の入射角を想定し、レベル2地震動、入射角15°に対

しても、建物外端における免震層の最大応答変位が44.74cmで、性能保証変形(48cm)以内であることを確認した。

3-4 基礎計画概要

既存建物はいずれも杭基礎で、北庁舎がパデスタル杭、中央南庁舎が深礎としている。中央南庁舎の深礎は、GL-24.5m以深の砂礫層(東京礫層)を

支持層としているが、北庁舎のペDESTAL杭は、中間の砂層を支持層としている。この為、中央南庁舎の深礎については免震化後も本設杭として利用し、北庁舎については、すべてのペDESTAL杭を新設の鋼管杭(φ457.2)に盛替える計画としている。

本建物を免震化するにあたって、新たに構築される建物外周部の擁壁下部には、擁壁の支持及び施工中、完成後の杭基礎の耐震性向上を目的として、場所打ちコンクリート杭(φ1500、φ1200、アースドリル工法)を打設する。又、北庁舎、中央南

庁舎ともマットスラブの外周下部には、建物支持とは別に長期土圧力による鉛直反力を負担させる事を目的とし、鋼管杭(φ457.2)を圧入する。それぞれ支持層は東京礫層とする。

基礎部は、マットスラブの柱列帯を線材置換とした格子梁モデルに、杭体の鉛直及び水平バネ(水平バネには群杭による低減係数を考慮)、外周部擁壁に対する受働バネ及び摩擦バネを考慮した解析モデルにより、応力解析を行った。図-5に基礎解析モデルを示す。

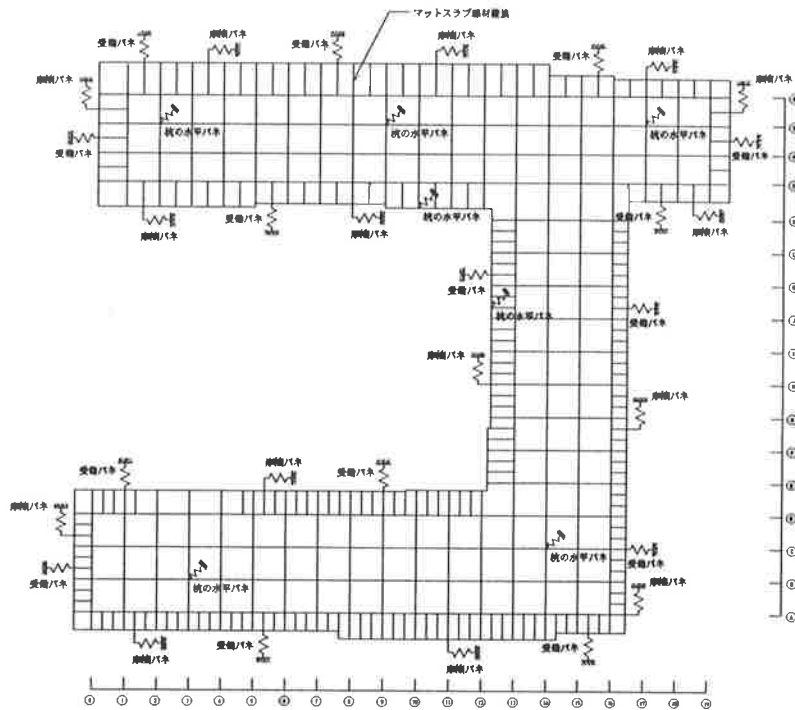


図-5 基礎解析モデル概要図

杭に作用する外力は、上部構造の慣性力により生じるせん断力に加えて、地震時に生じる地盤の変位を考慮した。慣性力による水平力は時刻歴応答解析による最大応答せん断力に基礎部の震度をレベル1に対し0.2、レベル2に対し0.4として求めた。地盤の変位は、自由地盤系の地震応答解析結果より、最大応答相対変位を地盤のバネを介して杭に強制変位として与え、各応力は単純累加とした。レベル2地震時自由地盤系の最大応答相対変位は約0.91cmであった。マットスラブの設計は、これらの応力に積層ゴムアイソレータの変形によ

り生じる曲げモーメント、擁壁に作用する長期土圧と地震時土圧を考慮した。検討結果より、既存杭、新設杭、マットスラブ共、設定した耐震性能目標を満足できる事を確認した。

3-5 各庁舎間連結部の設計概要

B1階レベルでの2棟の連結部は、B1階床及び底盤を膜要素、基礎梁は線材に置換し、支点位置には各アイソレータの水平バネを設けたモデル(図-6)により、FEM解析を行った。

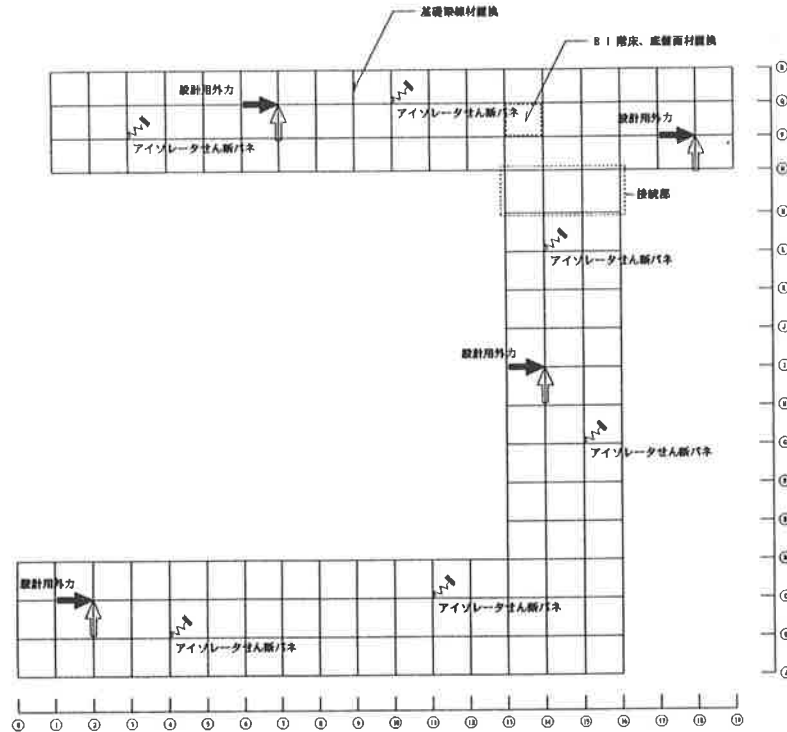


図-6 各庁舎間の連結部解析モデル概要図

設計用外力としては、レベル2時の時刻歴応答解析より連結部での移行せん断力が最大となる状態を求め設定し、生じる応力に対し短期許容応力度以内であることを確認した。さらに想定しうるケースとして、上部構造の応答せん断力に $\pi/2$ の位相差が生じた場合を設定し、生じる応力に対して連結部が終局耐力以内であることを確認している。

4. 施工計画の検討

4-1 全体施工計画案

本工事は、施工途中における耐震安全性の確保が重要な問題となる事から、施工計画について設計段階から詳細な検討を行う必要がある。特に、基礎下端を掘削していく工程においては、既存杭が露出し、基礎の水平剛性が大きく低下する。このため本工事では、全体工事工程を前半工程と後半工程に大別し、前半工程において建物外周部の擁壁と仮設スラブを構築し、建物全体の基礎の耐震安全性を向上させた後、後半工程となる基礎下の掘削工程に移行する計画案とした。(図-7)

中央南庁舎は、前半工程において、建物外周部新設場所打杭、擁壁、及び1階、B1階仮設スラブを構築し、後半工程においては、全体を8工区に

分け、順次工事（基礎下掘削、底盤構築、アイソレータ盛替え等）を進める計画案とした。

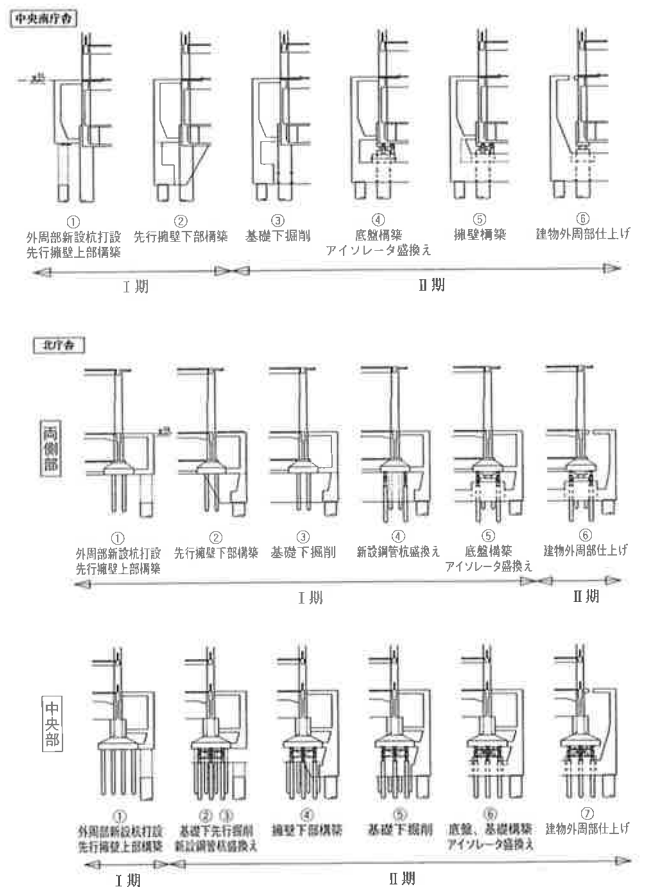


図-7 施工計画概要図

北庁舎も基本的な計画は、中央南庁舎と同じであるが、北庁舎の場合、建物中央部で既存底盤が深く、新設マットスラブ下端が既存ペDESTAL杭先端よりも深くなる部分が存在する。この為、前半工程において、建物外周の擁壁と仮設スラブを構築すると同時に、建物両側の既存底盤が浅く既存ペDESTAL杭が長い範囲のマットスラブを先行して構築し、その後、建物中央部分の掘削を行なう計画としている。

施工途中の地震力に対する検討は、基礎構造の設計に用いた解析モデルにより、地上階のせん断力係数を0.2、地下部水平震度を0.1として外力を設定し、検討を行った。検討結果より、北庁舎、中央南庁舎共、終局耐力に達する杭は全体の5%程度で、現状建物に対し同様な外力を検討した場合とほぼ同等の耐震安全性を確保できることを確認できた。又、先の状態における杭の保有水平耐力は、上部構造の保有水平耐力（耐震診断結果による）以上であり、施工途中においても、ほぼ現状の耐震性を確保できる。

4-2 アイソレータ盛替計画案

1) 北庁舎

①新設鋼管杭に盛替え

- ・基礎下掘削後、外側から新設鋼管杭を圧入し、

仮受けジャッキをセットする。

- ・隣接する既存杭（ペDESTAL杭）をワイヤーにて切断・撤去する。
- ・同様な手順で新設鋼管杭を圧入、既存杭を切断・撤去を繰り返し、全ての既存杭を新設鋼管杭に盛替える。
- ・ジャッキ上下の仮設支柱（鉄骨）に補強フレームを取り付ける。

②マットスラブ及びフーチング構築

- ・最終根切り底まで掘削を行なう。
- ・マットスラブ及び基礎フーチングの配筋を行いコンクリートを打設する。

③積層ゴムアイソレータの設置

- ・下部ベースプレートをアンカーフレームにて固定し、アイソレータをセットする。

④フーチングコンクリート打設

- ・フーチング内に配筋を行い、型枠を建て込み、コンクリートを打設する。

⑤アイソレータ上部コンクリート圧入

- ・上部躯体に配筋を行い、型枠を建て込む。
- ・コンクリートを装置上部に圧入する。

⑥仮受けジャッキ撤去

- ・コンクリート強度の確認後、仮受けジャッキを切断する。

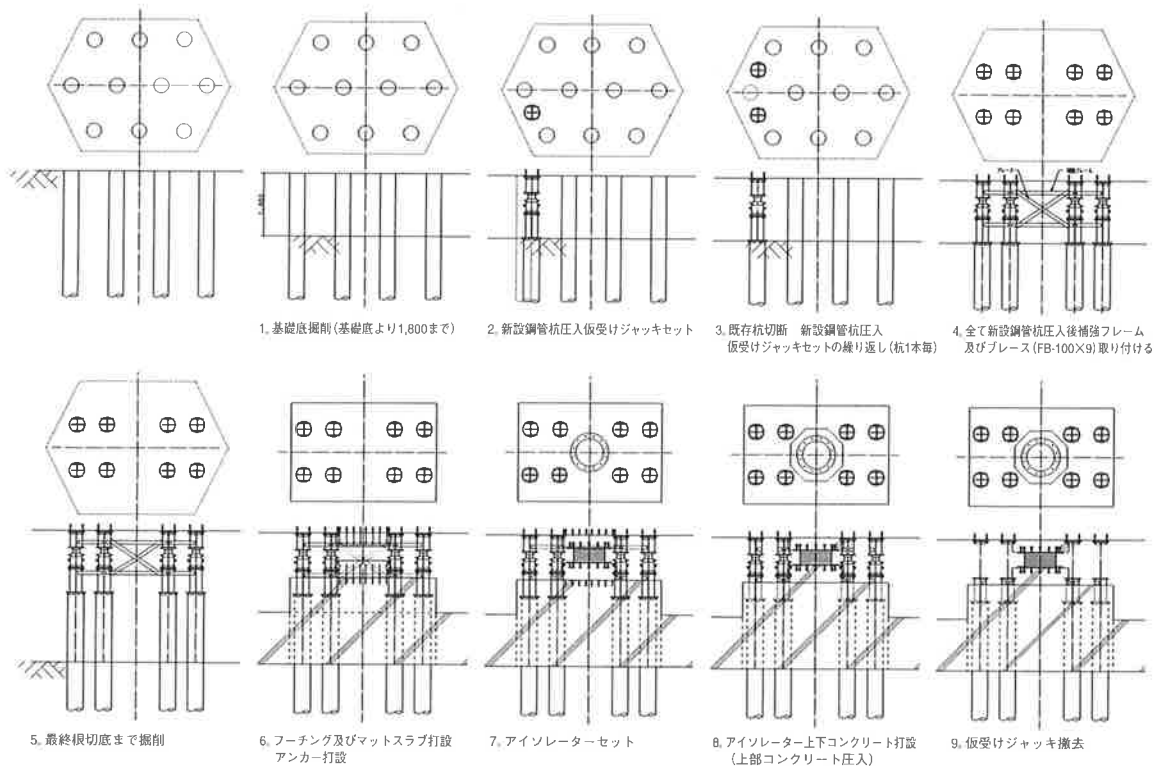


図-8 アイソレータ盛替計画概要図（北庁舎）

2) 中央南庁舎

①仮受けジャッキ支持架台構築

- ・基礎底掘削後、既存杭表面を超高圧洗浄にて目荒しを行なう。
- ・マットスラブを打設後、仮受けジャッキ支持架台を構築する。
- ・四辺に配置したPC鋼棒に緊張力を導入。

②既存杭切断

- ・支持架台に仮受けジャッキをセットする。
- ・ワイヤソーにて既存杭を切断・撤去する。

③積層ゴムアイソレータの設置

- ・下部ベースプレートをアンカーフレームにて固定し、アイソレータをセットする。

④フーチングコンクリート打設

- ・フーチング内に配筋を行い、型枠を建て込み、コンクリートを打設する。

⑤アイソレータ上部コンクリート圧入

- ・上部躯体に配筋を行い、型枠を建て込む。
- ・コンクリートを装置上部に圧入する。

⑥仮受けジャッキ撤去

- ・コンクリート強度の確認後、仮受けジャッキを切断する。

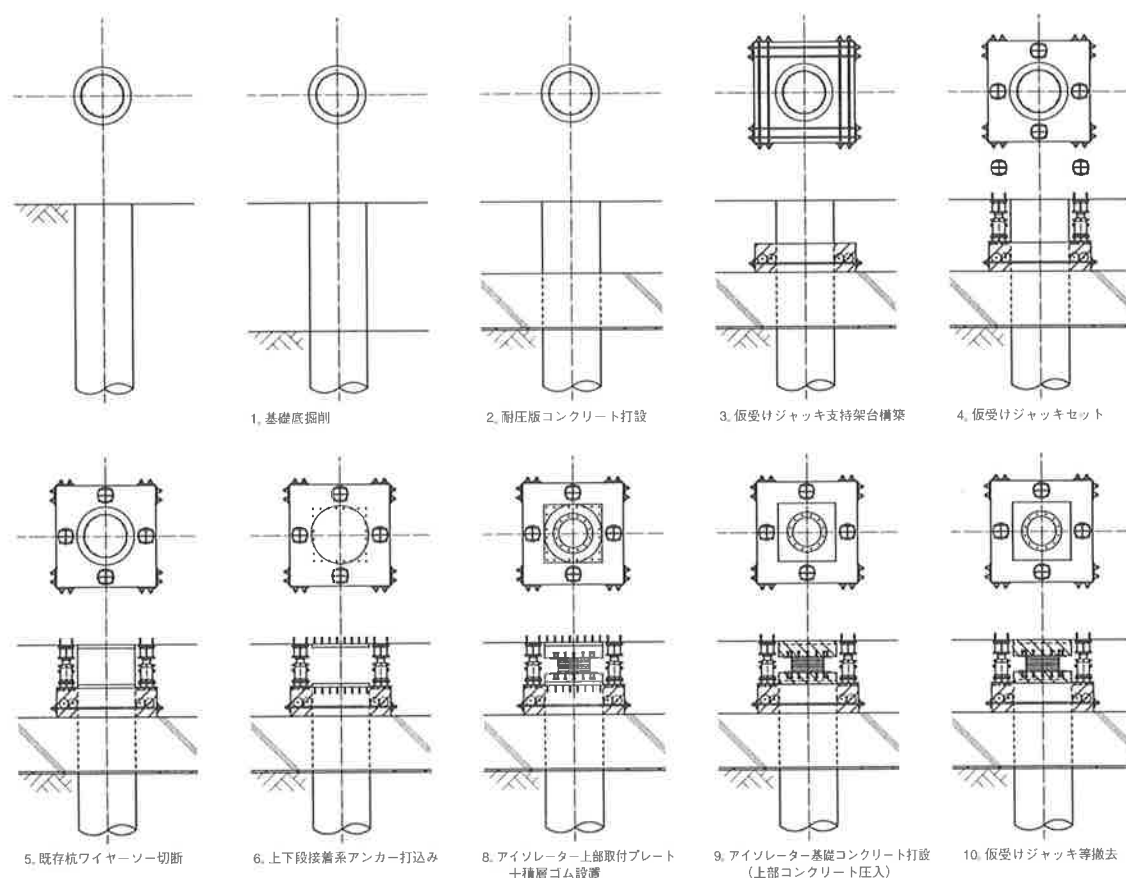


図-9 アイソレータ盛替計画概要図 (中央南庁舎)

参考文献) 岩田 他「免震レトロフィットにおける軸力仮受け架台のせん断破壊性状に関する研究」日本建築学会学術講演梗概集、2000年、23214

5. おわりに

本建物は、免震構造性能評価 (BCJ基評-IB0194)、国土交通大臣認定 (MNNN-0297) を受けて、2001年12月に着工し、現在工事中である。

具体的な施工計画については、設計段階の検討結果を踏まえて、設計者、監理者及び施工業者が連携して検討を行うこととしている。