

# 中央合同庁舎第3号館耐震改修工事

国土交通省  
佐藤彰芳



同  
亀井 隆



山下設計  
神谷敏之



同  
早瀬元明



## 1. はじめに

本建物は、国土交通省が入居する庁舎で、地下2階、地上11階、塔屋2階、高さ53.63mの鉄骨鉄筋コンクリート造建物である。昭和41年に地下2階から地上7階、昭和48年に8階以上が竣工している。

建物名称：中央合同庁舎第3号館

所在地：東京都千代田区霞が関2-1-3

建設年次：I期工事 昭和41年

II期工事 昭和48年

規模：建築面積 5,878.08m<sup>2</sup>

延床面積 69,973.87m<sup>2</sup>

地上11階、地下2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：杭基礎（東京礫層を支持層とした場所打コンクリート杭）

平成7年3月に「官庁施設の総合耐震計画標準／官庁施設の耐震点検・改修要領」（昭和62年4月）に基づき、建物の耐震点検が行われ、その結果、必要とされる耐震性能（重要度係数として1.2を考慮）に対し、0.5～0.7程度であった。その後、耐震改修に関する検討が行われ、増設耐震壁による方法、制振装置を設置する方法等、種々の検討がなされた。これらを踏まえ、改修後の執務機能、コスト、工期、及び施工中の庁舎機能を維持したままでの改修が可能となる方法を総合的に評価して、基礎下を掘削して建物全体を免震化する、いわゆる基礎免震形式の免震レトロフィットを選定するに至った。

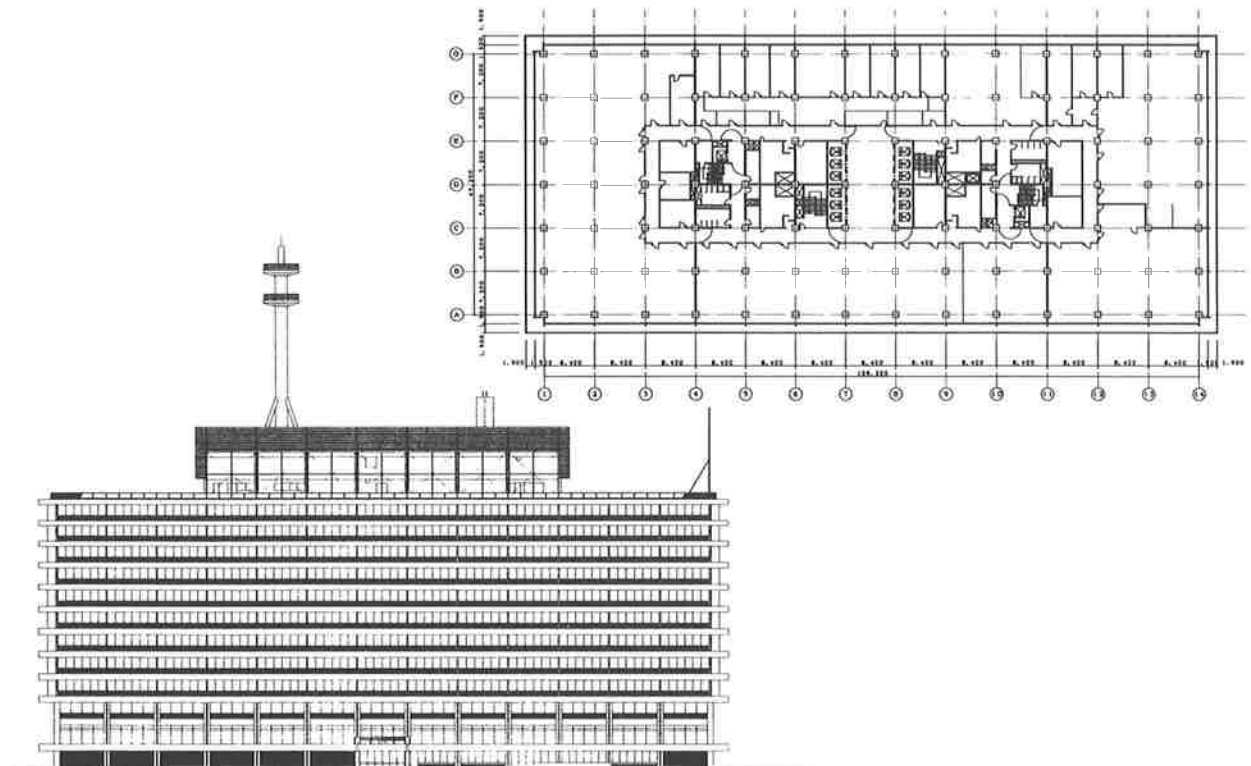


図-1. 基準階平面図、立面図

## 2. 構造計画概要

上部構造の平面形状は、X方向が約109.2m (8.4m×13スパン)、Y方向が43.2m (7.2m×6スパン) の長方形形状で、主体構造は鉄骨鉄筋コンクリート造、XY方向共、耐震壁付きラーメン架構である。本計画では、免震レトロフィットを採用することにより、一部免震化後のクリアランスを確保するための改修を除き、上部構造は基本的に補強は行わない。

免震層は建物基礎下に設け、外周部には擁壁、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φ900mm、φ1000mm、φ1100mm、

φ1200mm (G=0.44N/mm<sup>2</sup>、2次形状係数5程度)、鉛プラグ入り積層ゴムアイソレータφ1000mm (G=0.39N/mm<sup>2</sup>、2次形状係数5程度)を各柱直下に設置し、建物外周部にオイルダンパー (ストローク±700mm、最大減衰力735kN、減衰係数7.35kN・sec/cm)を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、BH工法)を打設する。又、一部マットスラブ下部には、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。

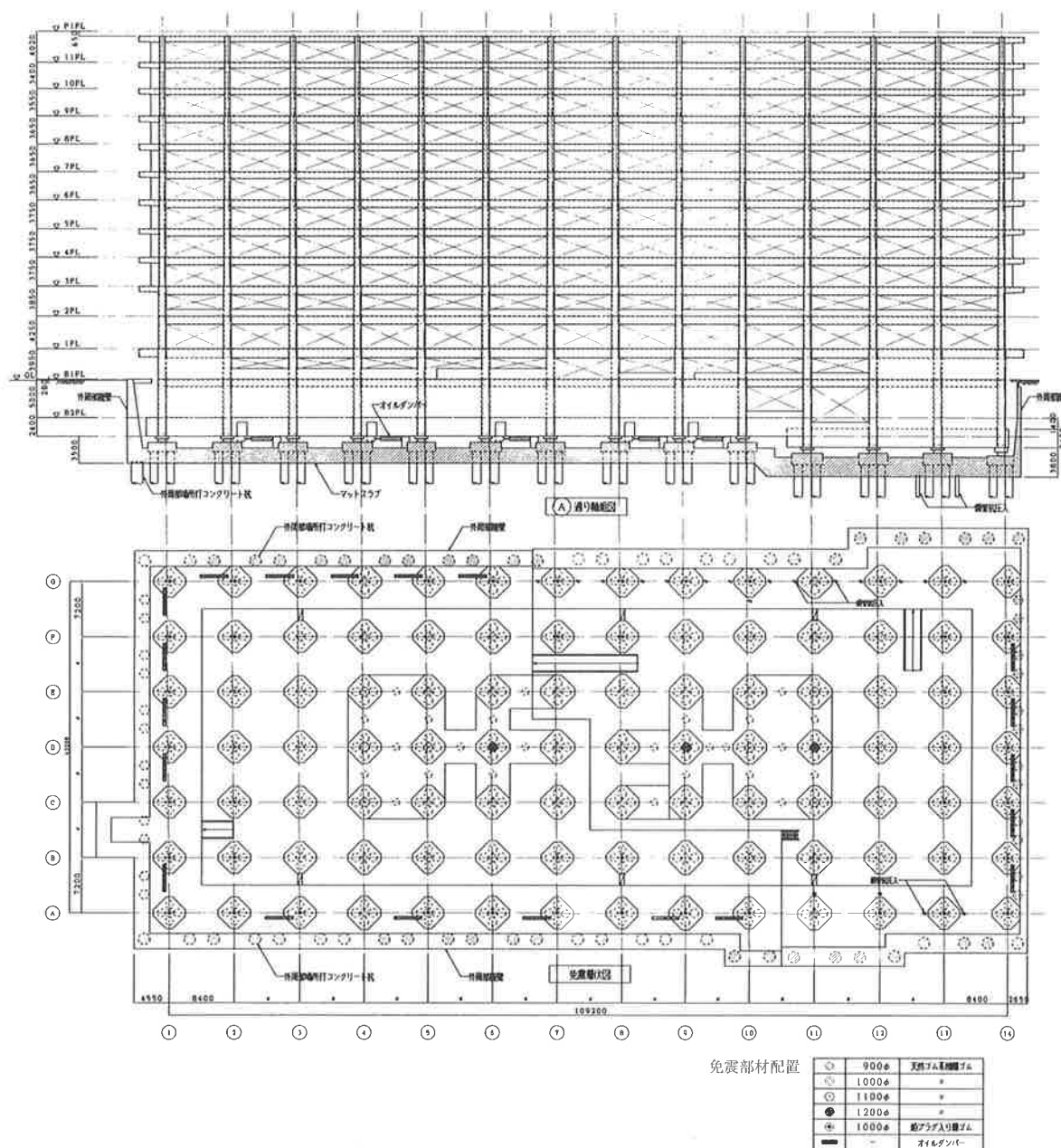


図-2. 構造計画概要図

### 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1	上部構造	短期許容耐力以内
	免震部材	安定変形 36cm 以内 (ゴム層総厚の 200%)
	基礎構造	短期許容耐力以内
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 54cm 以内 (ゴム層総厚の 300%) 積層ゴムに引張力を生じさせない
	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。

#### 3.2 入力地震動

地震応答解析に使用した入力地震波形は、実地震動記録波形を3波、建設地で将来発生の子想される模擬地震波形を2波、計5種類とした。尚、実地震動記録波形のレベル1、レベル2に対する入力レベルは、擬似速度応答スペクトルpSv40が実効周期に対して各カテゴリーのC1、C2に入るように設定した。

表-2. 採用地震波

カテゴリー	最大加速度(cm/sec <sup>2</sup> ) (最大速度(cm/sec))		継続時間 (秒)
	レベル1	レベル2	
EL CENTRO 1940 NS	307 (30)	613 (60)	30
TAFT 1952 EW	298 (30)	596 (60)	30
HACHINOHE 1968 NS	200 (30)	399 (60)	30
模擬波 1 (仮想関東地震)	-	170 (45)	80
模擬波 2 (仮想東京湾北部断層)	-	181 (30)	40

※ レベル2においては、模擬波2のみC1カテゴリー

#### 3.3 時刻歴応答解析

解析モデルはB2階以上の各層を1質点とした15質点（塔屋を含む）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。

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、オイルダンパーを速度依存型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+25%~-14%、鉛プラグ入り積層ゴムの降伏後剛性変動として+24%~-13%、降伏荷重特性値変動として+24%~-23%、オイルダンパーの減衰力変動として+10%~-10%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。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% (1.8cm)	100% (18.0cm)	200% (36.0cm)
X方向	2.08秒	3.91秒	4.35秒
Y方向	2.04秒	3.89秒	4.33秒

※ 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は、レベル2においても最大0.095程度であり、上部構造の層間変形は1/1200で極めて小さい。

表-4. 上部構造応答解析結果概要

	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
レベル1	0.059	1/1400	0.058	1/2400
レベル2	0.093	1/1200	0.095	1/1790

※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-3、図-4に時刻歴応答解析結果の概要を示す。

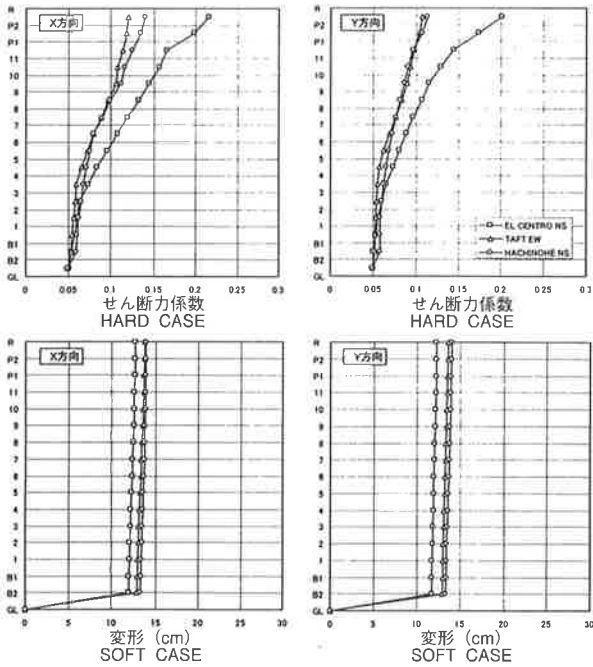


図-3. レベル1 応答解析結果

※力学特性変動：せん断力係数-硬化側、変形-軟化側

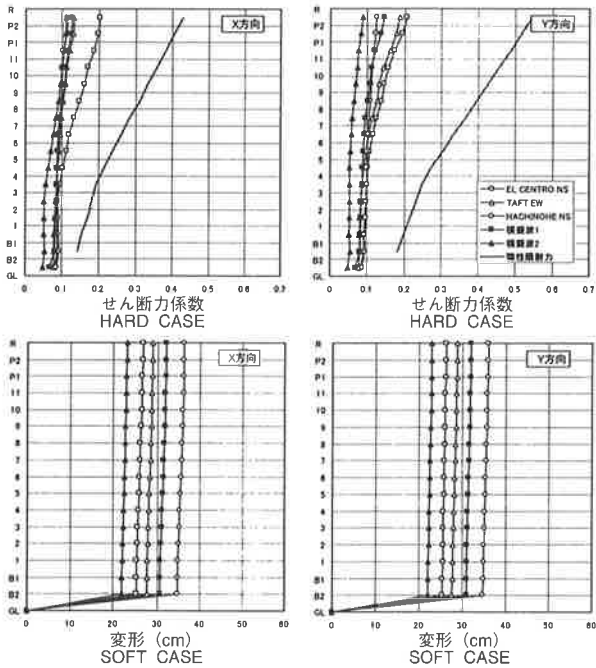


図-4. レベル2 応答解析結果

※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が満足できる事が確認された。

時刻歴応答解析においては、平面形状が比較的大きい(109.2m×43.2m)ことから、上部構造は水平3自由度(X、Y、 $\theta$ )を与えた15質点モデル、免震層は積層ゴムアイソレータ、オイルダンパーを各々平面的に配置した擬似立体モデルによる解析を併せて行い、レベル2地震動に対して免震層に生じるねじれ変形が、最大 $1.563 \times 10^{-4}$ rad程度(建物外端での変位0.853cm、重心の並進変位に対して最大2.5%の増幅)であり、ねじれの影響は極めて小さいことを確認した。

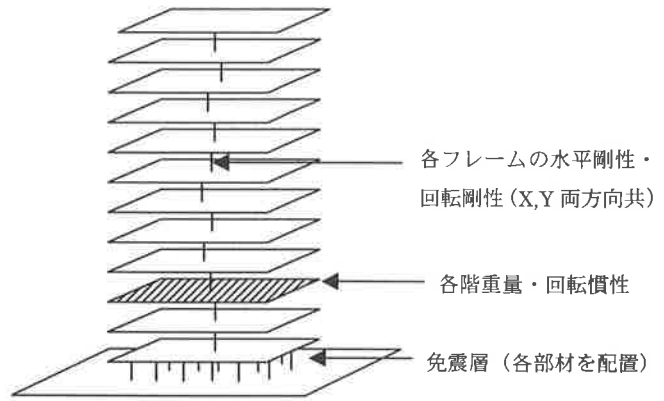


図-5. 擬似立体解析モデル概念図

又、入力地震動の位相差として $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ の入射角を想定し、レベル2地震動、入射角 $15^\circ$ に対しても、建物外端における免震層の最大応答変位が41.97cmで、性能保証変形(54cm)以内であることを確認した。

### 3.4 基礎計画概要

既存建物の基礎は、GL-24.5m以深の砂礫層(東京礫層)を支持層とする杭基礎(場所打ちコンクリート杭)である。本建物を免震化するに当たって構築される外周部擁壁下部には、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( $\phi 1500$ 、 $\phi 1200$ 、BH工法)を打設する。又、一部マットスラブ下部には、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( $\phi 457.2$ )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。

基礎部は、マットスラブの柱列体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。

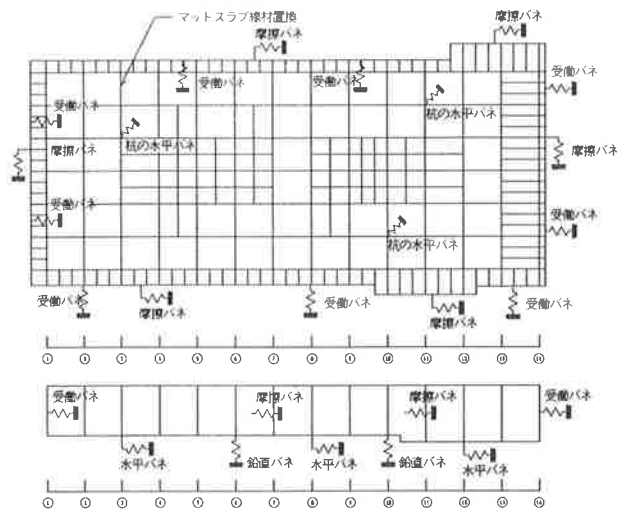


図-6. 基礎解析モデル概要図

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0.15、レベル2に対し0.30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、杭先端と杭頭での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1.40~1.15cmであった。マットスラブに対しては、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を加え、断面設計を行った。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ことを確認した。

## 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ことから、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仮設躯体を構築し、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。前半工程において構築する仮設躯体は、建物外周部新設場所打杭と擁壁部分、及びB2階、B1階仮設スラブである。又、後半工程においては、基礎下掘削により露出する既存杭の本数が、最大で全体の約50%程度となる様に大きく6工区に分け、工事を進める計画案とした。

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、既存杭が露出する率が最大の50%となる状態において、終局耐力に達する杭は全体の2.2%程度で、ほぼ弾性限耐力以内に留まる。一方、現状建物に対し同様な外力を検討した場合、終局耐力に達する杭は全体の4.8%となっている。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(最大層間変位1/125程度)と同等であり、施工途中においても、ほぼ現状の耐震性を確保できる。

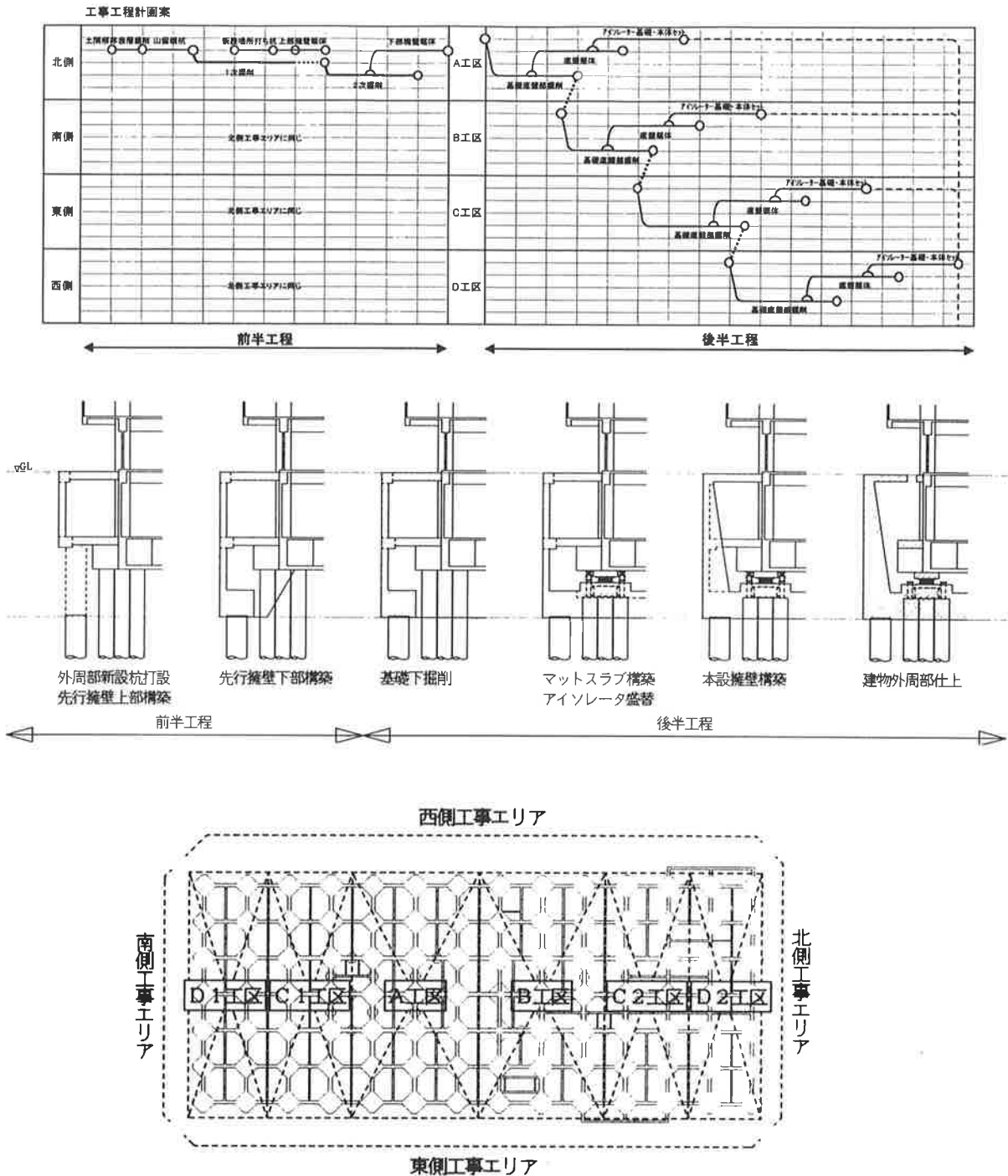


図-7. 施工計画概要図

#### 4.2 アイソレータ盛替計画案

基礎下掘削後、各柱直下にアイソレータを設置する方法は、下記の様に計画した。

##### 1) 既存杭、仮設ジャッキセット

- ・ マットスラブ先行部を打設後、積層ゴム設置箇所にある4本の既存杭の内、1本をワイヤソーにて切断・撤去。
- ・ 切断した杭位置に仮設支柱（ジャッキ）を設置。

・ 同様な手順で杭を順じ切断、仮設支柱設置を繰り返し、全てを切断。

##### 2) フーチング内鉄骨セット

- ・ 仮設支柱が設置されていないスペースから、フーチング内鉄骨を挿入。
- ・ フーチング内鉄骨下端に無収縮モルタルを充填。
- ・ あらかじめ空けられている鉄骨上端の孔から中央内部にコンクリートを先行して打設。

3) 積層ゴムアイソレータの設置

- ・積層ゴムアイソレータは、上下の取り付けプレートと一体の状態ですーチング内鉄骨上部に設置。
- ・設置完了後、残りの仮設支柱(ジャッキ)をセット。

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) 仮設ジャッキ撤去

- ・コンクリート強度の確認後、仮設ジャッキを切断する。

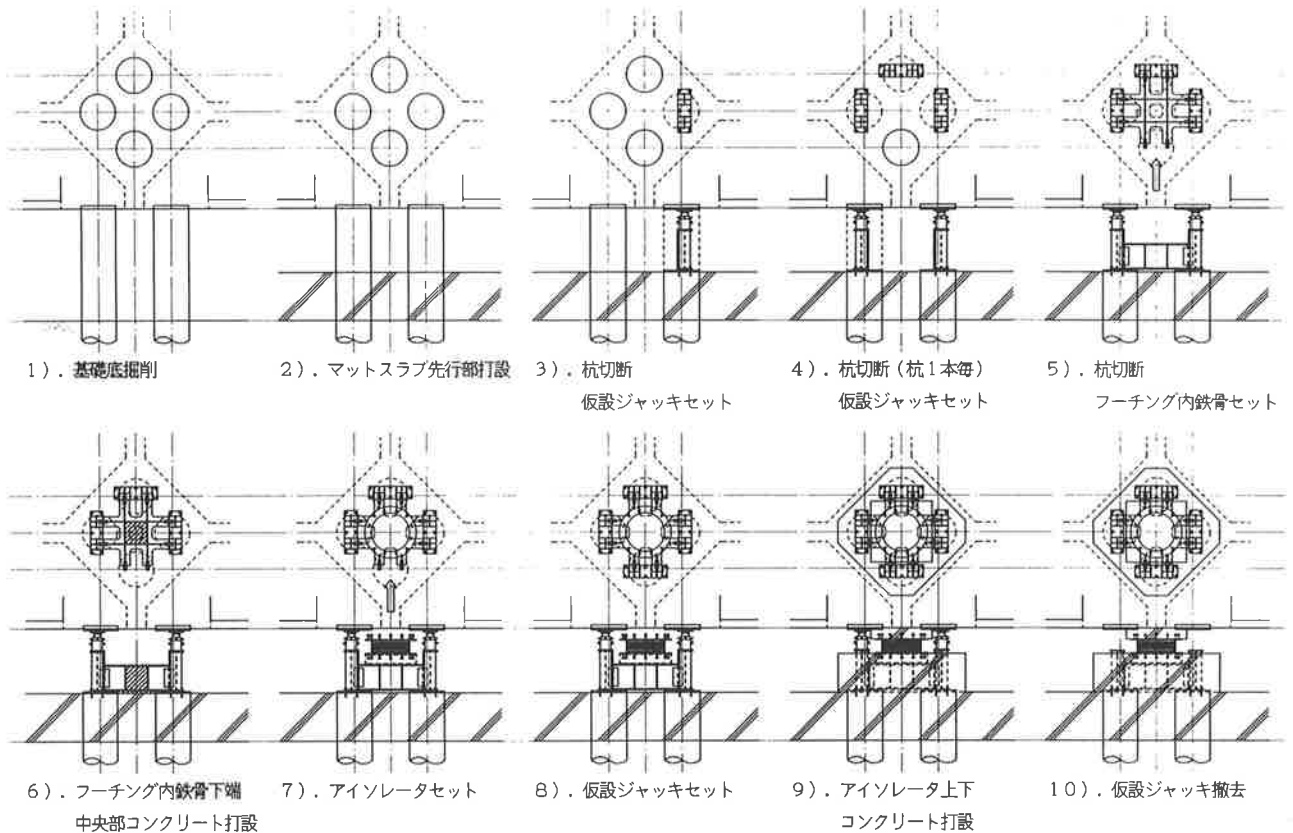


図-8. アイソレータ盛替計画概要図

5. おわりに

本建物は、免震構造的評価(BCJ基評-IB0020)、建設大臣認定(建設省営住指発第1号)を受けて、2000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、施工業者において検討中である。

最後に、免震レトロフィットは、建物を使用しながらの耐震改修として非常に有効な方法であり、また、めざましい耐震性能の向上が可能となる。今後、本工事が既存建築物の免震改修の促進に貢献することが期待される。