

# 大阪国道事務所庁舎耐震補強における杭の選定について

瀬良 直生<sup>1</sup>・吉川 正剛<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>近畿地方整備局 淀川河川事務所 工務第二課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

大阪国道事務所庁舎(本館棟、昭和44年新築)は、平成10年に「建築物の耐震改修の促進に関する法律」に基づき耐震診断を行った。その結果、診断基準の構造耐震指標である $GIs(=Q_u/I \cdot \alpha \cdot Q_{un})$ は、0.19と判定基準となる1を大きく下回り現行の「耐震関係規定」を満足しない建築物であることがわかった。これまで移転による建替計画の方針のため、本格的対策が行われないうままであったが、平成23年3月11日に発生した東日本大震災が大きな被害をもたらした結果、大地震での建物の安全性が問われることとなり、耐震改修の設計に至った。今回は耐震改修の手法及び杭の必要性と選定方法について報告を行う。

キーワード 耐震改修, 枠付ブレース直付工法, 回転埋設鋼管杭工法, 浮上り崩壊

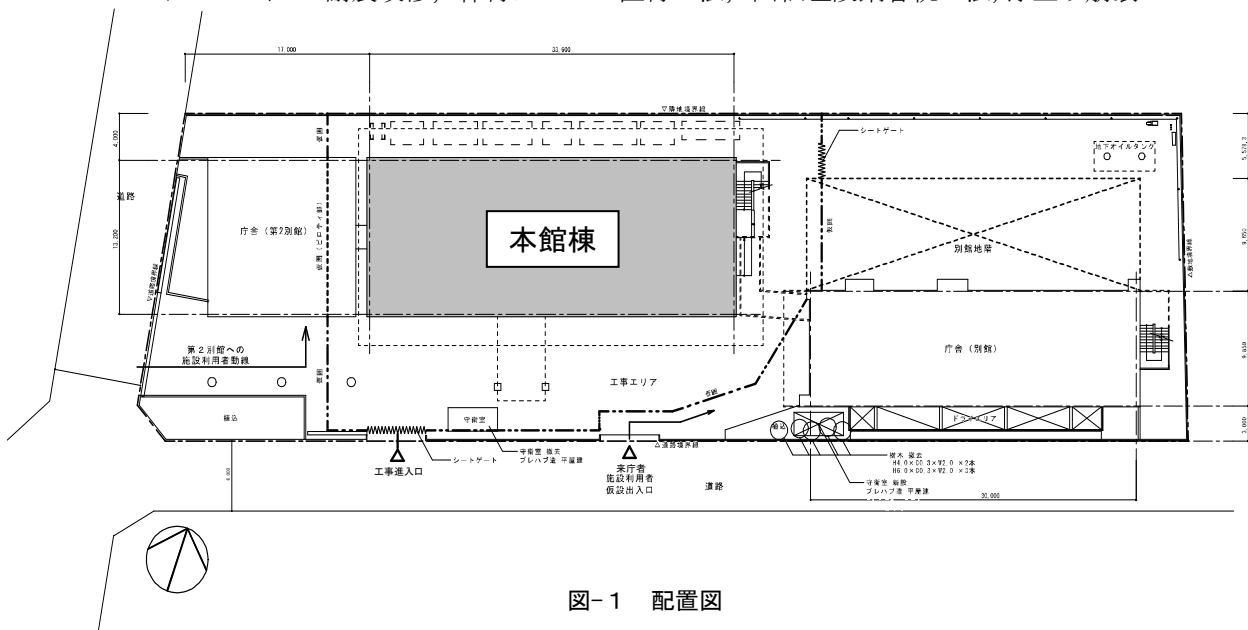


図-1 配置図

## 1. 施設(本館棟)の概要

- 1)所在地: 大阪市城東区今福2-12-35
- 2)敷地面積: 2,749㎡
- 3)建物用途: 庁舎
- 4)建築年次: 昭和44年(現在43年経過)
- 5)構造・規模: 鉄筋コンクリート造  
建築面積=478.33㎡  
延べ面積=1,419.13㎡
- 6)用途地域: 第1種住居地域
- 7)防火地域: 準防火地域
- 8)建ぺい率: 80%
- 9)容積率: 200%

## 2. 施設(本館棟)の耐震性能の分類

官庁施設は、「官庁施設の総合耐震計画基準」(平成19年)により、その建築物に要求される機能に応じて分類され、耐震安全性の目標が設定されている。

今回の施設(本館棟)の耐震安全性の分類は次の通りである。

- a)構造体の耐震安全性: I類(災害時に必要な通信鉄塔の搭載)
- b)建築非構造部材の耐震安全性: A類
- c)建築設備の耐震安全性: 甲類

「官庁施設の総合耐震計画基準」では各分類の耐震安全性の目標を次のように定めている。

表-1 構造体の耐震安全性の目標

分類	耐震安全性の目標
I類	大地震動後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
II類	大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られている。
III類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生ずるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目的とし、人命の安全確保が図られている。

表-2 建築非構造部材の耐震安全性の目標

分類	耐震安全性の目標
A類	大地震動後、災害応急対策活動や被害者の受け入れの円滑な実施又は危険物の管理のうえで、支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
B類	大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られている。

表-3 建築設備の耐震安全性の目標

分類	耐震安全性の目標
甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られていると共に、大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期間継続できる。
乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られている。

### 3. これまでの経緯

#### (1). 平成10年の耐震診断結果

耐震診断については「官庁施設の総合耐震診断・改修基準」に基づき実施したが、構造体の評価が悪くその結果から、総合評価は“A”「緊急に改修等の措置を講ずる必要がある。」となった。診断結果の詳細は、次の通りである。

##### 1) 施設の位置・配置等

評価：c（※人命の安全は確保できるが、所要の機能は確保できない可能性がある。）

評価の理由：周辺との関係で、緊急輸送道路として混雑度が高い。二次災害時の安全性の面で敷地周辺に木造家屋の密集地帯が存在し延焼のおそれがある。

##### 2) 構造体

評価：a（※人命の安全性に対する危険性が高い。）

評価の理由： $G I_s(Q_u / I \cdot \alpha \cdot Q_{un}) = 0.19$

$$Q_u / \alpha \cdot Q_{un} = 0.29 < 0.5 \rightarrow a \text{ 判定}$$

$G I_s$ ：構造耐震指標

$Q_u$ ：保有水平耐力

$Q_{un}$ ：必要保有水平耐力

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot G \cdot Q_{ud}$$

$$Q_{ud} = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o \cdot W_i$$

I：重要度係数（I類=1.5 II類=1.25、III類=1.0）

$\alpha$ ：必要保有水平耐力の補正係数

構造計算基準の歴史的変遷を(表-4)に示す。

表-4 構造計算における旧基準と現行の耐震診断の基準との歴史的変遷

年代	建築基準法等の計算		官庁施設の総合耐震診断基準 【防災施設を対象】 大地震の検討 (二次設計：震度6、7程度) 重要度係数の安全率を考慮
	中小の地震の検討 (一次設計：震度4、5程度)	大地震の検討 (二次設計：震度6、7程度)	
大正13年 (1924)	市街地建築物法に「耐震規定」制定 (世界初の耐震規定) 許容応力度設計において地震力は 水平震度0.1とする	検討がない	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     ☆昭和44年に 大国庁舎新築                 </div>
昭和25年 (1950)	建築基準法制定 許容応力度設計における地震力を 水平震度0.2に引上げ	検討がない	
昭和46年 (1971)	建築基準法の構造規定の改定 鉄筋コンクリート構造計算規準の 改定	検討がない	
昭和56年 (1981)	建築基準法施行令改正 「新耐震設計法」に移行 (対象建物：高さ(H) ≤ 31m) [小規模建築物] 水平震度は0.2	(対象建物：高さ(H) > 31m 又は、ハラスの悪い物) [大規模建築物] 水平震度を1.0に引上げ	
昭和62年 (1987)			
平成8年 (1996)			官庁施設の総合耐震計画標準 重要度係数(安全率の割増率) I=1.20、II=1.10、III=1.0 大地震時の層間変形角 I類 ≤ 1/125 II類 ≤ 1/100 III類：制限なし
平成19年 (2006)	改正建築基準法 構造リフトの工学的判断の制約 構造規定の見直し・適合判定制度		官庁施設の総合耐震計画標準 重要度係数(安全率の割増率) I=1.50、II=1.25、III=1.0 大地震時の 層間変形角 ≤ 1/200 ※姉歯問題から 耐震偽装防止

##### 3) 建築非構造部材

評価：c（※人命の安全は確保できるが、所要の機能は確保できない可能性がある。）

評価の理由：外壁等に0.1~0.2mmのクラックが見受けら

れる。執務室内に転倒のおそれのある家具類が多数ある。

4) 建築設備

評価：b（※人命の安全に対する危険性がある。）

評価の理由：電気設備器具及び空調室外機の固定方法、受水槽の改修が必要。ガス管の建物導入部の可撓性がない等。

(2). 耐震診断後の方針

当時は、次の1)耐震改修と2)建替計画の検討がなされ、その結果建替計画で計画が進められた。

1)耐震改修について

耐震改修の検討を行ったが当時、建物の上部に鉄塔が載ったままで構造体の重要度がI類(安全率=1.50)では大きな水平耐力が必要で良い補強方法がなかった。大きな水平耐力が必要なのは、「通信鉄塔・局舎耐震診断基準」により、鉄塔を屋上に有する事務所等の庁舎は構造体の重要度がI類となるためである。通常、「官庁施設の総合耐震計画基準」により災害応急対策活動に必要な官庁施設である河川国道事務所は、構造体の重要度がII類と定められている。

2)建替計画について

耐震改修は、建物の耐用年数50年(減価償却資料

の耐用年数)と耐震補強のコスト面から不利であり、また用途地域が第一種住居地域であることから別館棟と合わせ敷地内の建物延べ面積が3,000㎡までに制限され狭隘な状況が改善されない。以上から移転による建替計画の検討を行うこととされた。

4. 新たな耐震化へ方針を転換

その後、国の出先機関の見直しに伴い、庁舎の新築計画が一時見合せられた。しかし、平成23年3月11日に発生した東日本大震災を契機とし、防災施設としての庁舎の耐震性が問題視される事となり、早急に安全性を確保する観点からコストを抑えた上で、新技術も含め新たな耐震化の検討を行うこととなった。

<耐震化の方針>

- 1)鉄塔を降ろさず構造体の安全性がI類(安全率=1.50)を満足する補強計画を行う。
- 2)構造計算は最新の基準を用い、H19年の「官庁施設の総合耐震計画基準」及びH19年6月20日の改正建築基準法で安全性の確認を行う。

表-5 本館耐震補強工法比較検討

名称(工法)		A案 在来工法 (RC壁増設)	B案 在来工法(外付け工法) (鉄骨枠付ブレース増設)	C案 枠付ブレース直付工法
イメージ写真				
補強概要		既存サッシ、壁を撤去の上あと施工アンカー接合にて、現場打ちRC耐震壁を新設する。	既存柱・梁にあと施工アンカーを打設し、外付け枠付鉄骨ブレースを新設する。	既存柱・梁にあと施工アンカーを打設し、現場打ちRCで鋼板内蔵型の外付けブレースを新設する。
技術評価等		官庁施設の総合耐震診断・改修基準		技術評価 建防防災第2017号
施工性		作業ヤードは他の工法に比べ小規模である。在来工法のため工法は確立されている。	作業ヤードは規模が大きくなる。現場での作業が他の工法に比べ少ない。	作業ヤードは規模が大きくなる。現場での作業は比較的多い。
X・Y 方向	内部工事(工事量)	躯体の撤去作業を伴い、内部工事は多い。設備の配管等の制約が大きい。	大半が外部工事のため内部にはほとんど影響しない。	外部工事のため内部には影響しない。
	居住性	増設壁により、室内有効面積が若干減る。	変らない。	変らない。
	機能性 (採光・通風・動線等)	増設壁による開口が小さくなる為、採光・通風等は大幅に低下する。	ブレースの斜材が開口部の外側に露出するため、採光性は低下する。	ブレースの斜材が開口部の外側に露出するため、採光性は低下する。
	環境性 (騒音・粉塵・廃棄物の量)	アンカー工事が多く、又内部工事も発生する為、騒音・粉塵・産廃の量ともに多い。	アンカー工事が多く、騒音・粉塵の量は多い。産廃の量は他の工法に比べて少ない。	アンカー工事が多く、騒音・粉塵の量は多い。産廃の量は他の工法に比べて少ない。
	水平耐力	耐力が大きいので補強構面が少なくなる。	耐力が小さいので補強構面が増える。	耐力が大きいので補強構面が少なくなる。
	耐久性	腐食しにくく、耐久性は高い。メンテナンスは容易である。	若干耐久性が低い。	腐食しにくく、耐久性は高い。メンテナンスは容易である。
その他		湿式工法なので施工工期が長くなる。居ながら工事が不可能である。重量増による基礎の補強が必要となる場合がある。	施工工期がRC壁増設補強よりは短くなる。重量増が少なく既存基礎への負担は少ない。ほとんど外部からのみの施工となる工法なので、ブレース補強による内装・サッシ等の工事はほとんどない。	施工工期は短くなる傾向である。外部からのみの施工となる工法なので、ブレース補強による内装・サッシ等の工事は不要である。
概算	総額(補強及び付帯費用)	¥241,800,000	¥267,800,000	¥263,800,000
総合評価		機能性・居住性ともに現況より悪化する。他の工法に比べコストは若干低めではあるが、耐震壁の耐力が低く補強量が多くなり工事範囲が大きくなる。	機能性・居住性ともに現況とあまり変わらない、外周部梁が壁梁であるため外付けブレースの耐力が取れず、補強構面が多くなる為コストが高い。	機能性・居住性ともに現況とあまり変わらない、他の工法に比べコストが高い。外部からの補強となる為室内への影響はなく工期も短くなる。

5. 施設の補強の設計と条件の設定と構造設計の方針

< a 設計と条件の設定 >

- 1) : 執務室に居ながらでの施工
- 2) : 執務室の窓からの採光の確保
- 3) : 大地震時の水平耐力 (I 類=1.50)の確保
- 4) : 狭い敷地内での施工

以上の与条件に対し構造検討を行う。

< b 構造設計の方針 >

与条件-1)に対し：出来るだけ建物内部でなく建物外部での補強方法とする。

与条件-2)に対し：外壁側の窓(開口)をそのままとする補強方法とし採光の確保を行う。

与条件-3)に対し：耐震壁、耐力ブレースを多く設置し水平耐力を確保し I 類 (安全率=1.50)の耐力を満足させる。

与条件-4)に対し：既設建物の外側に新たな構造体の増築(アウトフレームの設置)は行わない。

からC案を採用することとした。概要(表-5)を以下に示す。

- 1)X方向の補強：枠付きブレース直付工法の設置 (窓の開口を残し採光の確保を行う。)
- 2)Y方向の補強：RC耐力壁の設置(妻面には取付スパンが少ないため。)
- 3)建物重量の軽量化：地震による水平力の軽減のために建物重量の軽量化を行う。具体的には、庇の撤去及び屋根防水の押えコンクリートを撤去し保護防水から露出防水とする。

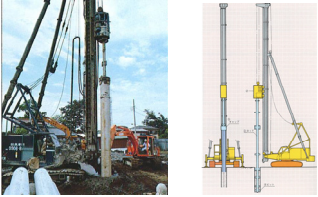


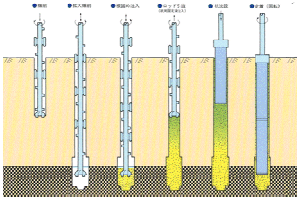
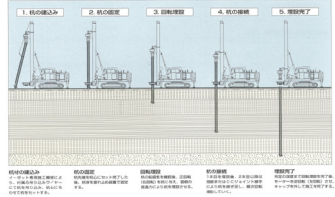
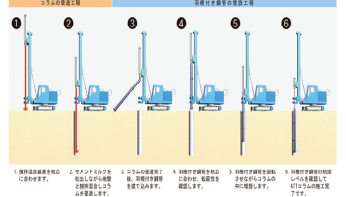
6. 施設の補強方法

耐震補強工法の比較検討を行い、開口性、耐久性等

7. 構造解析で判明した施設補強の問題

大きな耐力のある枠付きブレース直付工法及びRC耐力壁の設置を行うにあたり構造解析を行った結果、①柱の曲げ破壊及び②耐震壁のせん断破壊が生じる前に、基礎が浮き上がることにより建物が崩壊すること(③基礎の浮上り崩壊)により保有水平耐力(Qu)の値が想定より低い値となり、構造耐震指標(G I s ≥ 1)の条件を満足しないことが分かった。(図-2)

表-6 杭工法の比較表

工法名	PHCプレローリング拡大根固め工法 <支持杭>	回転埋設鋼管杭工法 <支持杭>	柱状改良&羽根付き鋼管杭工法 <摩擦杭>
概要	拡大ビットと攪拌翼を有する掘削ロッドを用いてプレローリングを行い、支持層に拡大根固め球根を築造し、杭と支持層の一体化を図る工法で、旧建設大臣認定工法	先端拡大型の鋼管杭、回転埋設工法、残土がまったく発生しない環境型工法で、国土交通大臣認定工法	柱状改良である「コラム」と軸部にも羽根を有する「羽根付き鋼管」を合体したハイブリット杭で、国土交通大臣認定工法
適用先端地盤	砂質土、礫質土、杭径300~600mmについて硬質粘性土、岩盤	砂、粘性土、砂礫	砂、粘性土、砂礫
施工機械			
施工方法概要			
特徴	メリット 支持層の深度が比較的浅い場合、コストメリットが高い。	超狭隙地での施工が可能である。無排土の為、環境に良い。引抜き耐力も期待できる。	摩擦杭につき上層止めのため、支持杭に比べてコストメリットが高い。引抜き耐力が大きく耐震補強工事に最適である。発生残土も非常に少ない。
	デメリット 大規模な施工ヤードが必要である。残土(産業廃棄物)が大量に発生し、処理費用が高額となる。	同じ杭長のPHCプレローリング拡大根固め工法と比較すると、コスト高となる。	柱状改良のため、N値が40~50以上の地盤に深く施工することが困難。
施工スペース	杭打ち機：最低300m程度(20m×15m)、大規模な施工ヤードが必要	50m程度から施工可。施工機械全幅：1.55m~	80m程度から施工可。施工機械全幅：2m~
設備・機材・車両	杭打ち機・プラント等大規模な設備が必要 機材搬入車両：40tトレーラー 資材搬入：10tトラックが必要	専用小型施工機(自走式)のみで施工可能 機材搬入：15tセルフトラック 資材搬入：4tトラック程度	専用小型施工機(自走式)、小型機材プラント等が必要 機材搬入：15tセルフトラック 資材搬入：4tトラック程度
騒音・振動・環境	低レベルである。残土汚水等の発生が多い。	他の工法に比べ極めて低レベルである。残土汚水等の発生がない。	他の工法に比べ極めて低レベルである。残土汚水等の発生がほとんどない。
施工能力	120m/日程度	100m/日程度	60m/日程度
本設計におけるコスト比較	-	¥10,600,000	¥8,000,000
本設計に対する総合判定	施工スペースが狭く施工不可能である。	コストは若干高めではあるが、狭隙スペースのため、超小型機での施工が必須である。	地盤・施工スペースの制約により、掘削機械の能力に限界があり施工が困難である。

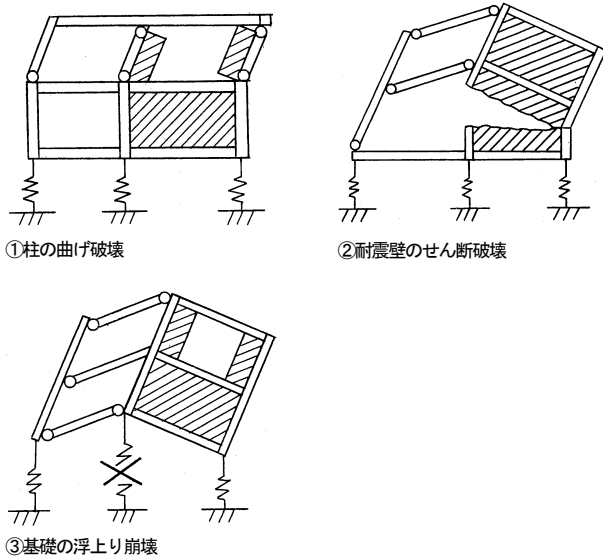


図-2 崩壊の説明図

8. 保有水平耐力を向上させるための改善策

基礎の浮き上がり崩壊を抑え耐震壁等の持っている水平耐力を引き出すために、地盤アンカーと併せてその垂直反力を支持する杭の設置により浮上り防止対策を講ずることとした。

9. 杭の設計と条件と選定

杭の設計と条件を次のように設定した。

< a .設計と条件 >

- 1)地盤アンカーの引張り力の反力の支持
- 2)杭を定着させる堅い支持層(N値=50以上)へのオーガー掘削が可能な工法
- 3)増打ちコンクリート基礎内で定着可能な杭の選定
- 4)狭い敷地内での施工が可能な工法

< b .杭の選定 >

比較検討を行った結果、庁舎北側の4m幅での施工可能な“回転埋設鋼管杭工法”を選定することとした。(表-6)

- 1) 施工方法：回転埋設鋼管杭工法
- 2) 杭材料：鋼管杭 φ216.3×8.2(STK400)
- 3) 先端羽根部径：470 厚22mm(SS400)
- 4) 杭長さ：L=22m(継ぎ手箇所数4)
- 5) 杭支持力：390KN/本(長期)

< c .杭の支持力計算と本数 >

(イ 杭の支持力計算)

長期許容鉛直支持力(Ral)

$$Ra1 = 1/3 \times \{ \alpha \cdot \dot{N} \cdot Ap + (\beta \cdot N_s \cdot L_s + \gamma \cdot qu \cdot L_c) \}$$

$$= 1/3 \times \{ 300 \times 45 \times 0.087 \}$$

$$= 391.5 \rightarrow 390 \text{KN/本}$$

$\alpha$  : 先端支持力係数  $\alpha = 30$

$\dot{N}$  : 杭先端より下方1Dw、上方1Dw間の地盤の平均N値 N=45

Ap : 杭の先端有効断面積 Ap=0.087

なお、杭周辺の土質の摩擦力が期待できないため摩擦力は考慮していない。(  $\beta \cdot N_s \cdot L_s + \gamma \cdot qu \cdot L_c = 0$  )

地盤アンカー及び鋼管杭の設置詳細図は次の通りである。(図-3、4)

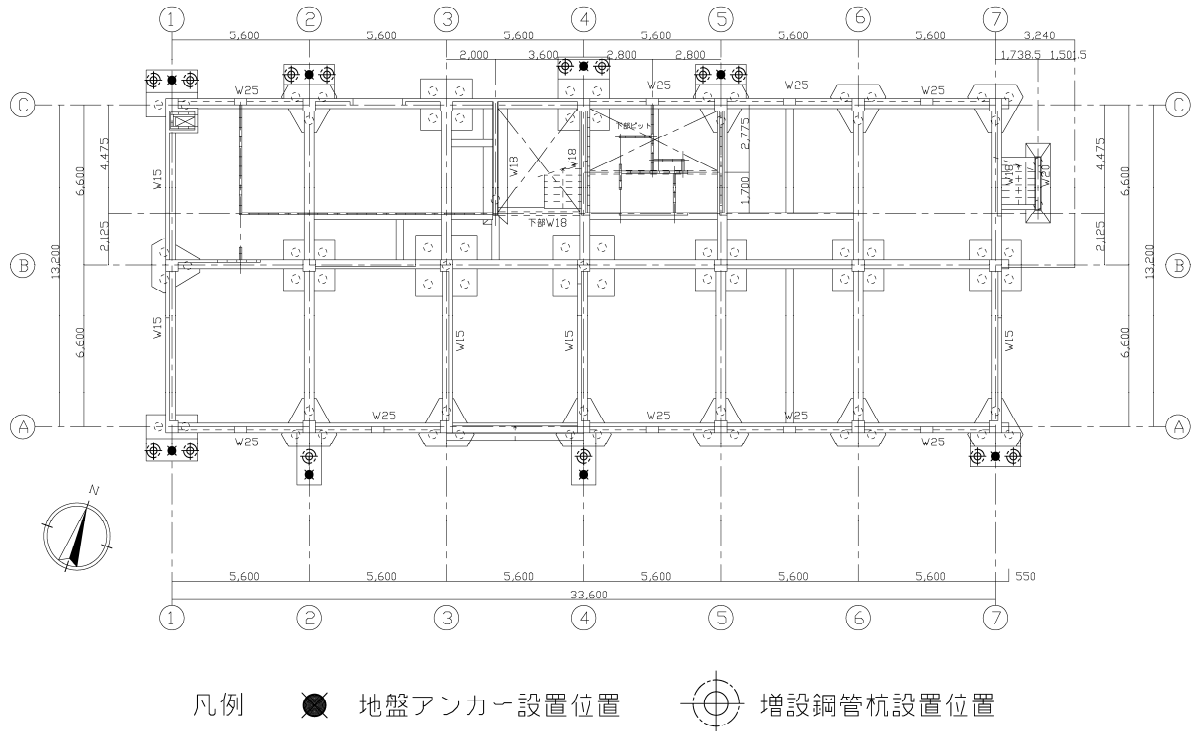


図-3 基礎伏図

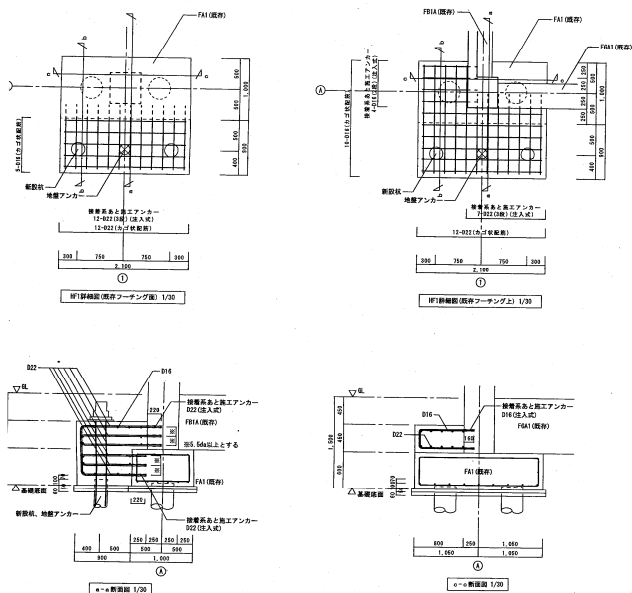


図-4 基礎詳細図

(ロ) 杭の本数

既存建物の長期荷重は、既存杭で負担ができることが確認できた。また地盤については、表層付近及び支持地盤がシルト質で液状化のおそれがないため、新設の杭は今回設置する地盤アンカーの支持力のみを負担

させることとした。地盤アンカーは耐震壁に必要な保有水平耐力から3種類の引張り耐力のものを使用する。  
 地盤アンカーの種類 有効緊張力 杭支持力 杭本数  
 1) KX6-12Z :  $500\text{KN} \div 390\text{KN/本} = 1.28 \rightarrow 2\text{本}$   
 2) KX6-10Z :  $400\text{KN} \div 390\text{KN/本} = 1.03 \rightarrow 2\text{本}$   
 3) KX6-4Z :  $200\text{KN} \div 390\text{KN/本} = 0.51 \rightarrow 1\text{本}$   
 なお、一部地中障害物があり施工の出来ない箇所は杭の本数を1本増やし左右に逃げて設置した設計としている。

10. 耐震改修後における安全性の確認

今回の実施設計において、新技術である枠付ブレース直付工法(NETIS: CB-030086-A)、地盤アンカー及びび回転埋設鋼管杭工法を採用し、構造体の構造耐震指標ではX方向のGI s=1.040、Y方向のGI s=1.005と改善され、判定基準となる1を超え、大地震時での安全性が確認された。補強施設の立面図を(図-5)に示す。

参考文献

- 1) 平成23年度事務所本館他耐震実施設計業務」の業務成果品
- 2) 公共建築協会：官庁施設の総合耐震診断・改修基準

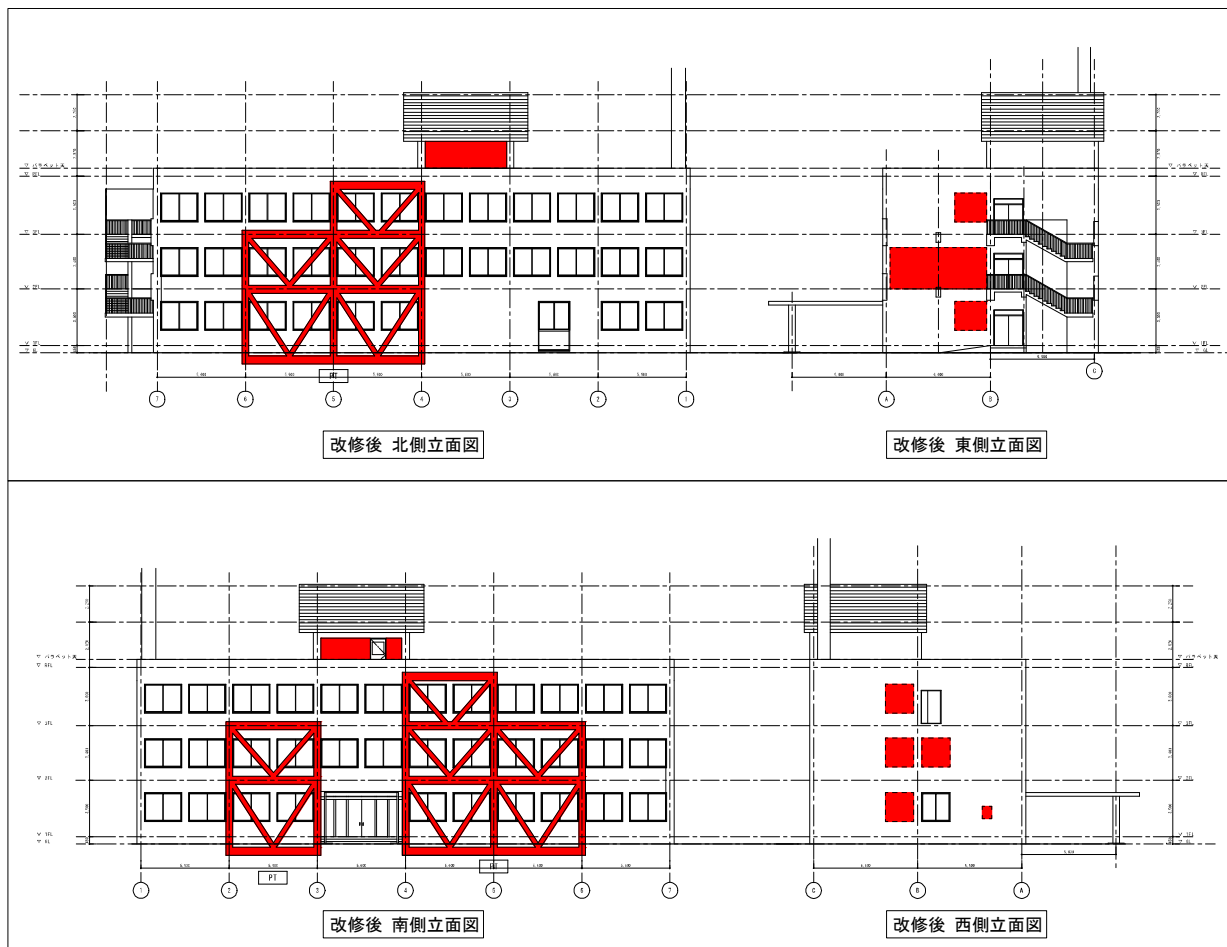


図-5 耐震補強立面図