

兵庫県南部地震で被災した杭を有する建築物の 免震改修工事における施工対策について

吉村 務¹・岩村 正一²

¹近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44) .

一般的な免震改修では、施工時に既存杭に建物荷重を負担させることにより、建物のバランスを保ちながら免震工事を行う場合が多い。神戸地方合同庁舎の免震改修工事では、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の影響による既存杭の破損が掘削後に発見され、従来の工法を行う事が難しい状況にあった。そのため、施工時に対策を検討する必要性が生じたが、掘削後に現場対応でパターン毎の破壊モードの分析を行い補強方法の検討及び仮設材の設置の再考を行った。事前にパターン化を行うことにより、最終的に安全性の確保、工期の短縮、長寿命化という目的を達成することができた。

キーワード 免震改修，兵庫県南部地震，杭補修

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は我が国初の大都市直下型の大地震であり、その後、震災に対する対策として、全国の公共建築物を中心に既存建物の耐震補強が進められてきた。地震力を抑制することによって構造物の破壊を防止する免震構造への改修工事についても、国立西洋美術館のレトロフィット工法をはじめとして、複数の施工例がある。

今回対象施設である神戸地方合同庁舎についても2012年に免震改修工事を着工、2015年2月に竣工した。兵庫県南部地震の被災庁舎であり、建物を支える杭への被災による破損状況を考慮しながらの施工であった。

本論では、神戸地方合同庁舎の被災状況を分析することによって、被災した杭を有する庁舎の免震改修工事における施工対策について考察する。



写真1：神戸地方合同庁舎 南側外観

神戸地方合同庁舎については、建物周辺の液状化現象や上部躯体のひび割れが多数確認された。震災後、全国規模で地震の影響が懸念される建物から優先的に耐震改修工事を行ったため、当該施設は応急的に地盤補強やひび割れ補修を行うことで、引き続き庁舎を使用していた。

2. 改修工事の概要

2-1. 兵庫県南部地震の被害状況

兵庫県南部地震は直下型地震であり、震源からの距離が近いために大阪・神戸間の平野部に地震動が大きく作用した。基礎構造への被害に関しては、旧耐震基準で設計された建築物の既製コンクリート杭（RC杭・PC杭）に、また短辺方向のスパン数が少ない杭に被害が集中している。上部構造と基礎構造の一方のみに被害が大きくなるという特徴も調査により判明している。

2-2. 建物概要

既存建物の建築年は1968年で、工事発注段階で建設から40年以上経過していた。地上9階、地下1階建て、平面形状は整形な長方形になっており、中央に階段室、便所、エレベーターなどが配置されたセンターコア型の庁舎である（写真1）。また、耐震壁付ラーメン構造で、他の庁舎に比べ壁量が多く、平面的及び断面的にもバランスのとれた建物となっている。構造については、柱、梁を鉄骨鉄筋コンクリート造、床スラブ、耐震壁および雑壁を鉄筋コンクリート造としている。

2-3. 設計段階の検討事項

設計では本建物の条件として、特に以下に着目した。

- ① 兵庫県南部地震により杭への被災が想定される。
- ② 建物外周地下に液状化対策として地盤改良が行われている。

以上の条件で、免震改修工法の検討を行うにあたり、比較検証を基本設計で行った。比較案は、基礎下免震型2案、中間階免震型2案、強度型2案で検討を行った。強度型については、本工事は建物を使用しながら施工する「居ながら改修」を前提としていたため、各居室に騒音、振動など大きな影響を与える外付けフレーム等による補強の採用は難しかった。また、中間階免震型は、設備機器の盛り換えに伴う工事中の機器の運転停止が多数必要なことや地下1階の屋根スラブの切断が必要なため工事中に漏水の危険性があること、基礎下の既存杭の相当数に補強工事が必要なこと、工事費が高くなることといったデメリットが挙げられた。改修後の環境、工事中の影響、既存杭の被災対策、コストについて比較検討を行い、基礎下免震型が適していると判断した(図 2-3)。万が一、杭が建物の荷重を負担できない場合も想定し、地盤改良を行うことで、最終的に耐圧盤によって建物を支持する直接基礎工法を採用している。また、施工時に検討する事項として、震災による杭の破壊状況が事前に確認できないことから、設計段階では杭の損傷を想定していたが既存躯体下部の掘削時に杭の被災状況を目視確認をした後、必要な対応を検討することとした。



図 2-3：免震装置の設置範囲



写真 2-4-1：竣工後の免震装置

2-4. 施工段階の検討事項

本工事は、積層ゴム支承 33 台、転がり支承 12 台、オイルダンパー 8 台を含め計 53 台の装置を基礎下に設置する工事であり、東工区と西工区に分割して行うこととした(写真 2-4-1)。設計段階では工事中に杭の仮設としての使用を検討していたが、掘削後の杭の目視確認で、被災により杭が想定以上に破損していたことが発覚した(写真 2-4-2)。そのため、施工段階で、受注者・国土交通省・設計者で協議を行い、杭の破断状況を分析し、安全性及び迅速性を考慮して施工方法を検討した。仮設ブレースや仮設スラブ等の仮設材だけで建物荷重を支えることも検討されたが、コスト面と工期の面で杭を全数補修して、一部仮設材を使用する方が有利であると判断できたため、今回は全数の杭の補修を行うこととした。このように基礎下免震工法の工事で被災した既存杭を全数補強して行う例は全国でも初めての取組である。



写真 2-4-2：掘削工事後の目視確認

3. 施工の問題点と対策 -杭の補修検討に関して-

杭の破壊状況について、掘削直後に観察された杭の破壊モードを分析したところ、

- (A) 杭頭接合部のずれせん断破壊
- (B) 杭頭部の曲げ破壊
- (C) 杭頭部及び杭のせん断破壊
- (D) 縦方向のひび割れ

以上、被災した既存杭について大きく 4 つの破壊モードに分類ができた。この分類に基づき、既存杭の補強方法の検討を行った。既存杭は 124 本全てが破損しており、全数に対して補強をする必要があったが、破壊モードの分類に基づいて補強を決定することで迅速化が図られた。また、工事中に地震が発生する可能性を考慮し、最低限の範疇で仮設ブレース及び仮設スラブの設置を再検討することで耐力を維持させることを重視した。

続いて、前述のような検討を経て分析した結果により決定した、各破壊モードに対する各補修工法について述べる。

(A) 杭頭接合部のずれせん断破壊

建物の外側に配置されていた杭に多く見られた破壊モードで、杭頭接合部の接合面に、水平ずれ変位が生じていた。柱主筋が水平変位に伴い、局部変形していた（写真3-1）。局部変形が大きい場合は、主筋の破断が生じている杭も確認された。このような杭頭接合部のずれせん断破壊は、一般に杭の圧縮軸力が比較的小さい場合に生じやすいと考えられる。神戸地方合同庁舎の場合は、杭頭接合部の既設コンクリートが地震に対して脆弱であったことから、このような破壊が発生したと判断されている。

こちらの破壊モードの杭の補修工法は、特に被災による損傷の著しい主筋の破断が確認された箇所については、免震改修中の鉛直力の負担について不安があり、施工中の安全性に問題があると判断した。そのような理由から、安全側の工法を選択し、鉛直力が負担できない箇所ではジャッキで借り受けを行って、ある程度の支持力を確保してから、破損部を撤去及び配筋を行い、周りから新たにコンクリートを打設する補修工法を採用した（図3-1）。



写真 3-1：杭頭接合部のずれせん断破壊

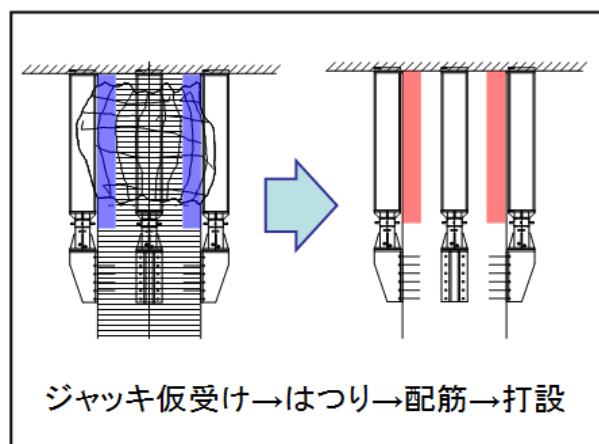


図 3-1：破壊モード(A)の補修工法

(B) 杭頭部の曲げ破壊

杭頭接合部から杭径の範囲のかぶりコンクリートが曲げ圧壊しており、それにより杭主筋が座屈あるいは伸びた破壊モードである。細かく分析を行うと、杭のフープ筋で囲まれたコアコンクリートが比較的健全なケースとコアコンクリートに斜めのひび割れが生じ、せん断破壊しているモード（写真3-2）が見られた。こちらの破壊モードは最も箇所数が多く、損傷度の差はあるが、全杭の内、7割以上が曲げ圧壊が確認された。

補強工法については、鉛直力のための対策として、既存の耐圧盤から既存杭に鉛直力を伝えている劣化部を無収縮モルタルに置換することで、必要な断面積を確保した。また、水平方向を拘束させるために、三角ブラケットを設置して、水平力を負担させた。（図3-2）。

(C) 杭頭部及び杭のせん断破壊

杭がせん断破壊した破壊モードで、全断面に渡って斜めひび割れが生じていた杭（次項写真3-3）と、杭頭部のある限られた範囲でせん断破壊した杭が確認された。なお、一部の杭においては白色状に固化している杭が確認され、兵庫県南部地震で損傷した後、ひび割れの内部が長時間経過していたことが原因であると想定される。

補修工法については、まず、施工中、地震によってせん断ひび割れ面がずれを起こさないように、フープ筋を



写真 3-2：杭頭部の曲げ破壊

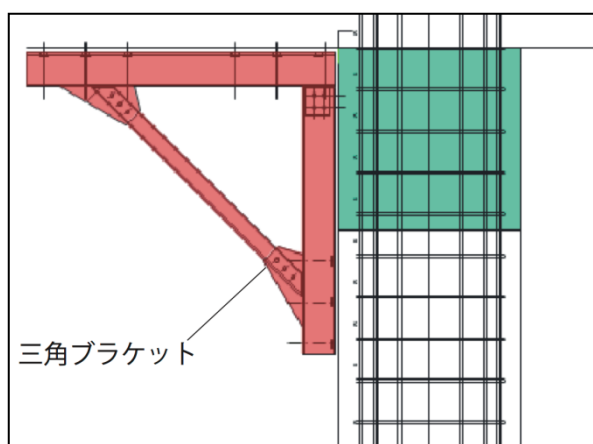


図 3-2：破壊モード(B)の補修工法



写真 3-3 : 杭頭部及び杭のせん断破壊

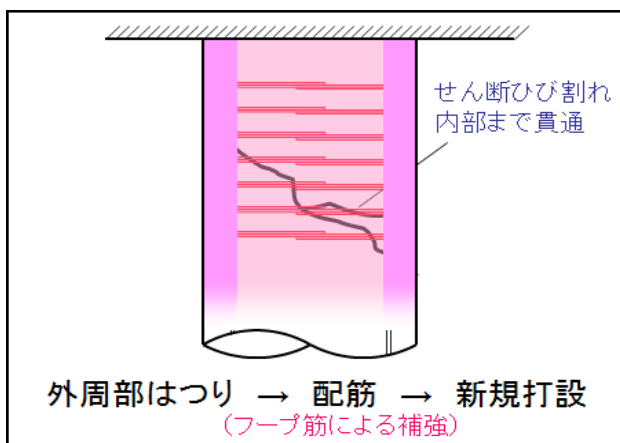


図 3-3 : 破壊モード(C)の補修工法

配筋し直すことによって補強した。(A)の破壊モードと異なり、比較的既存の主筋へのダメージが軽微であったことから、主筋の再配筋は行っていない。次に、ひび割れ部にモルタルを充填し、周囲にフラットバーを設置することによって補強を行った(図3-3)。

(D)縦方向のひび割れ

全杭の内、破壊モードの種類は前述の3つのケースが大半を占めていたが、一部の掘削した杭には縦方向のひび割れが生じたものが確認された(写真3-4)。

補修工法について、こちらの破壊モードの場合は杭内部への損傷は少なく、主筋へのダメージがほぼないため、ひび割れ部に無収縮モルタルを充填し、周囲をフラットバーで補強する工法とした(図3-4)。バーのピッチについては、ひび割れの状況によって、杭頭部・中間部・杭下部に応じて設定を行った。

以上のように、杭の破壊パターンを大きく4つに分類した結果、地上階を支持する杭の多くは杭頭接合部の曲げ破壊が多く、地下階のみを支持し軸力が小さい杭については杭頭接合部のずれせん断破壊が生じていることが分かった(次項図3-5)。その他少数の杭において、杭頭部のせん断破壊や杭の縦ひび割れが確認された。ほぼ全ての杭において4つの内のいずれかの破壊パターンが



写真 3-4 : 縦方向のひび割れ

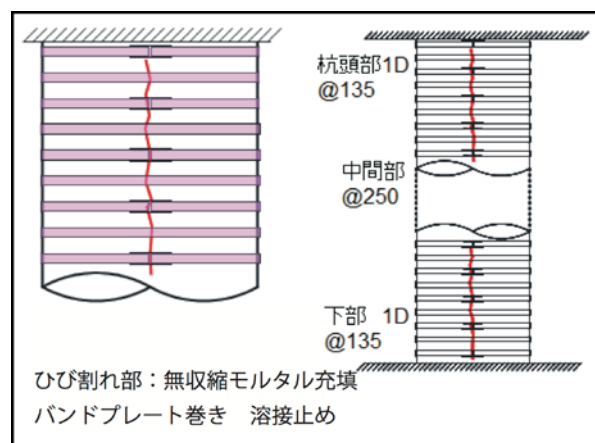


図 3-4 : 破壊モード(D)の補修工法

確認されたため、杭の補強工事は全数に対して行う必要があったが、中には曲げ圧壊とせん断破壊の破壊モードが同杭中に確認されるなど、破壊モードが複合的な杭も確認された。そのような杭の場合、主筋の損傷状況や鉛直支持力等を確認しながら、ブラケットと仮設ジャッキを併用するなど、前述の4つの補修パターンを主軸に検討を行い、補修工法を組み合わせながら改修を行った。

4. 対策による効果

前述の破壊パターンの分析、対策の検討により、破壊モードに応じた補修を行うことにより、次の3つの目的が達成できた。

- (1) 工事中的安全性の確保
- (2) 工期の短縮
- (3) 建物の長寿命化

(1) 工事中的安全性の確保

震災による杭への被害が想定されたことから、工事中に地震が起きた場合に備え、工事中的建物の耐力について注意する必要があった。設計段階では、杭の鉛直支持力及び地震時の水平耐力を期待していたが、破壊パター

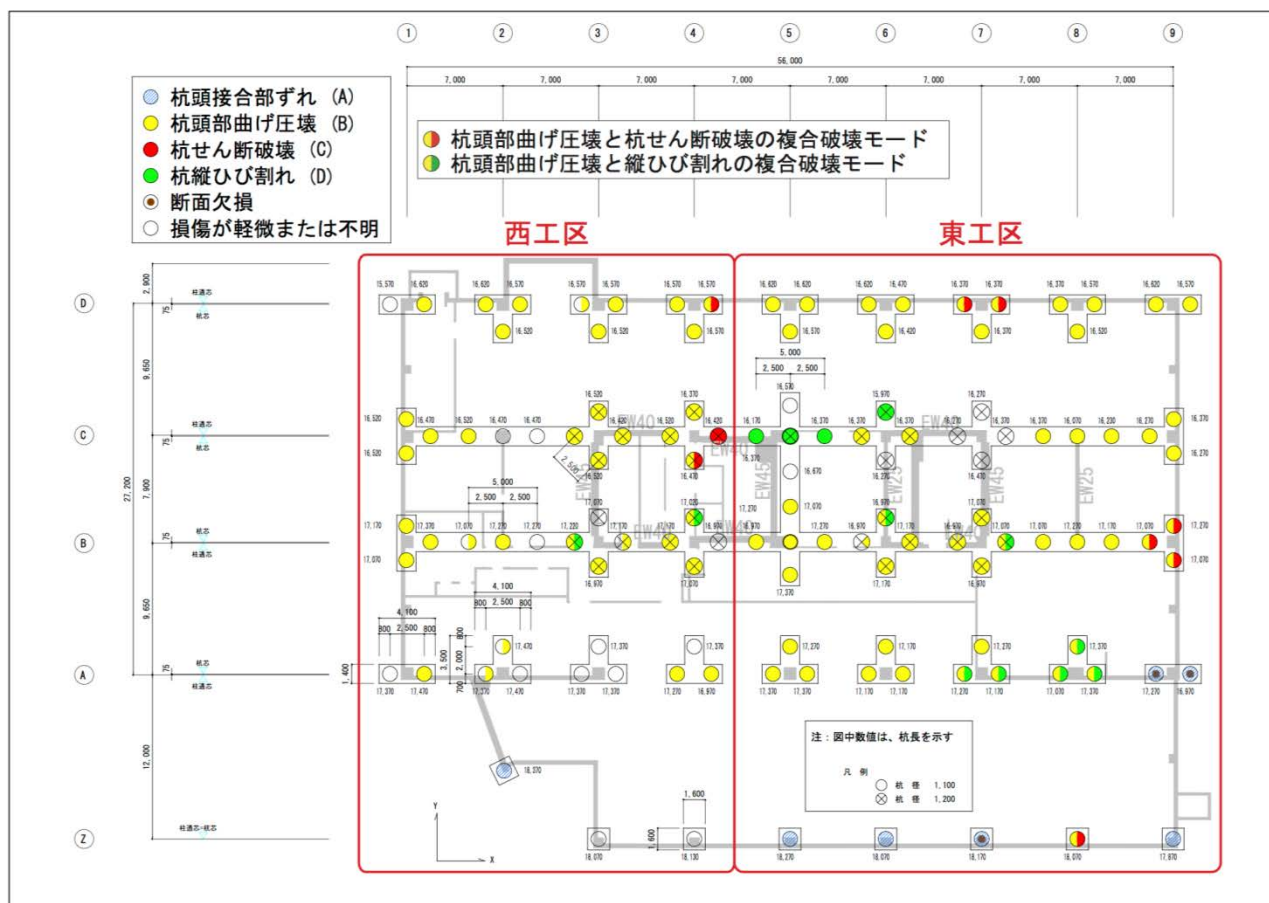


写真 3-5：既存杭の破壊モードの分布状況

ンを分析することによって、設計通りに杭の耐力を負担することができず、構造体の安全性を見直して仮設材の再検討を行うこととした。設計段階においては、仮設ブレース及び仮設スラブの設置を検討していたが、設計案のままだと、杭の補強を行っても、建物荷重を支えることは難しいと判断した。そのため、仮設ブレース(写真4-1-1)の設置箇所と仮設スラブ(写真4-1-2)の数量を増やし、設計時には計画していなかった鉄骨スラブの設置も行うこととした。また、また、仮設材の設置箇所は東工区のみとしており、大きな仮設材の搬入に手間がかかること、数量を増やしすぎると作業スペースが確保でき

ず、円滑に工事を進めることが難しいことが考えられたため最低限の設置とした。結果的に、補強後の既存杭と合わせ、免震改修中に地震が起きても安全に工事を行える安全を確保できた。

(2) 工期の短縮

本工事では、東工区の免震装置設置が完了した後に、西工区においても東工区と全く同じ工程の工事を計画し、掘削工事を始めていくという工程だった。しかし、杭の補強工法の再検討など設計段階では想定していない内容の時間が必要になったため、安全性の向上を目指し単純に東工区と西工区で補強を増強すると、その分の工期延



写真 4-1-1：仮設ブレース V3000(左)と V7000(右)



写真 4-1-2：仮設スラブ (左)と鉄骨スラブ(右)

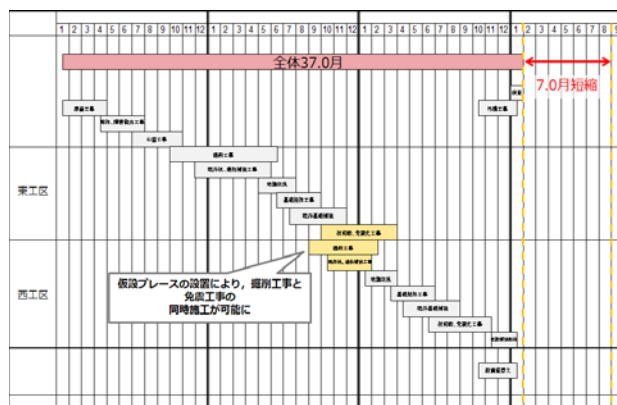


図 4-2：今回工事の最終工事工程

長が必要となる想定となった。そこで、東工区の補強を設計段階より増大させ、西工区の杭の補強は最小限とした。それにより、杭の補強と合わせ仮設材による建物荷重の支持力に対する安全性を確保しながらも、先の東工区の免震装置設置の段階で、西工区の掘削工事を同時に進めることが可能となった。既存杭の破壊モードを分析することによって、安全性の確保を図りながら、補強箇所及び数量のバランスを再検討を行うことが可能となり、結果的に工期を7ヶ月短縮することが達成できた(前項図4-2)。

(3) 建物の長寿命化

免震改修工事の際の既存杭の補強工法については、鋼管を増杭して補強する工法や、既存杭にRC巻きを行う工法などが挙げられ、圧縮耐力や水平耐力に対して補強した既存杭で負担する工法が主流となっている。さらに、補強した既存杭は、完成後の建物に対する耐力が期待されており、杭としての役割を引き続き担うことが通例である。ただし、今回は設計段階で被災によって杭の損傷が想定されていたため、既存杭に対して耐力を負担させることは難しく、長期的に軸力を負担させることは出来ないと判断した。そのため、設計案では基礎下部に噴射攪拌式の地盤改良を行い、厚さ1mの耐圧盤を施工することで、基礎下で建物荷重を受ける直接基礎工法とした(図4-3)。既存杭については、あくまで免震改修中の仮受けとして捉え、改修後の耐力を期待しないこととした。

施工段階では、杭の目視確認及び破壊モードの分析に伴い、地盤改良に使用する固化材を変更した。試験施工を行うことで、固化剤の分析の他、ディープウェルの箇所数の見直しも行っている。これにより、40年以上経過した既存杭を支持構造とせず、長期にわたる庁舎の使用に耐え得る基礎構造となり長寿命化が図られた。

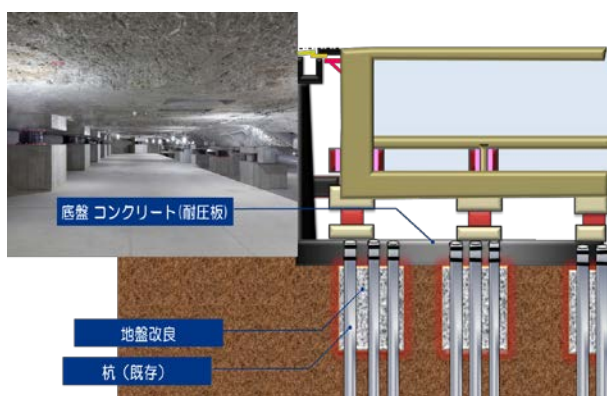


図4-3：直接基礎工法の考え方

5. おわりに

以上、被災した既存杭の破壊モードの分析による対策

とその効果を述べた。現在の技術では、被災による既存杭の詳細を設計段階で目視確認できず、どの程度破壊されているか正確な想定をすることが難しい。神戸地方合同庁舎の事例では、掘削工事段階で、施工者・国土交通省・設計者の3者間での横断的な協議を進めることで、既存杭の破壊モードの検討を行い、既存杭の補強工法、仮設材の箇所・数量の再検討を行った。今回のように、発注時に不確定要素を抱えての工事においては、再検討による工期面・コスト面の変動が想定され、協議における仲介役として、発注者の役割は大きいと考えられる。また、施工者の意見だけではなく、設計者を通して、設計段階で確認していた点について意見交換することも重要と考えられる。協議を踏まえ、破壊モードを分析し、パターン化することで適切な補強工法を選択することが可能となり、杭の状況に応じた仮設スラブや地盤改良を選択することによって、工事中的安全性の確保、工期の短縮、建物の長寿命化の目的が達成された(表5-1)。

以上を踏まえて、以下の3つの知見が得られた。

1点目は、杭の補修工法の分類によって、掘削後の杭補強の検討が容易になることである。本工事のように、杭の破壊モードをメニュー化することにより、基礎下免震改修の工事が円滑に行うことが期待できる。

2点目は、工事の安全性の確保により、工期の短縮も可能となる点である。本工事は、杭の破壊状況を分析した段階で設計で検討した仮設スラブや仮設ブレースについても再検討を行い、より確実な安全性を図った。過度に仮設材を補強することは、工期が伸びることも予想されるが、必要最低限の範囲で安全性を図ることで、結果的に全体工期の短縮を図ることが出来た。

3点目は、発注者・受注者・設計者の3者間での協議により施工方法を円滑に分析できた点である。設計段階で考慮した点、目視確認で判明した点を発注者を仲介して、意見を交わすことにより適切な工法を選択することが可能となった。今後の国土交通省における被災建物の基礎下免震改修の先進事例として、今回の免震改修を汎用することが可能であると考えられる。

表5-1：神戸地方合同庁舎の実施項目と効果

設計段階の検討項目	実施項目	効果
杭の補修	杭の破壊状況の分析	工期の短縮
-	補修方法のパターン化	工期の短縮
仮設ブレースの設置	仮設ブレースの増設	安全性の向上
仮設スラブの設置	仮設スラブの増設	安全性の向上
地盤改良(直接基礎)	固化剤、機材の見直し	長寿命化

当該建物の設計、施工（図版提供共）

設計：株式会社 松田平田設計

施工：株式会社フジタ