

免震レトロフィットにおける PC の効果的利用

— 愛知県警察本部庁舎本館の中間層免震改修 —

西澤 崇雄*1・日比野 智也*2・伊藤 隆司*3・市澤 勇彦*4

愛知県警察本部庁舎本館は、南海トラフ沿いの巨大地震の震源域に近い防災拠点施設として、高い性能が求められる免震改修工事である。建物は、延床面積約 33 000 m²、地上 9 階と大規模で、地下 3 階と地下が深い旧耐震基準で建設された庁舎建物である。この種の建物の免震化では地下階の柱頭部で免震化される柱頭免震が採用される場合が多い。しかし高い性能が求められる免震構造物では、免震層の変形は大きく、さらに大規模な建物のため柱軸力も大きいことから、免震層上下階の柱梁補強は大がかりなものとなり、従前の居室としての用途上支障となるものも多い。本改修では PC 工法を効果的に用いることにより、梁せいを変えないで補強し、ほぼ従前の使用性を確保した点に特徴がある。また、免震改修にあわせて設備の全面改修工事も実施している。中間季を生かした入念な施工計画など、技術的難易度の高い工事となったが、完成後は最新のオフィスのような内外観に改修できたことも特徴のひとつである。

キーワード：免震レトロフィット、PC 梁補強、PC 圧着、鋼製ブラケット、PC 補強キャピタル

1. はじめに

東海地域では南海トラフの巨大地震による長周期長時間地震動による震災が懸念されている。愛知県の官庁街である三の丸地区では、防災拠点施設である既存建物を免震改修により耐震性を向上させる動きが活発である。

本建物は愛知県の治安の中枢施設となる警察本部であり、三の丸地区では 6 件目となる免震改修建物である。特徴的なのは免震改修に加えて設備の全面改修もあわせて行っていることで、さらに事務所階では直接工事を行っている部分のみを一時的に引越しながら、その他の部分では機能を継続しながらの居ながら工事とする必要があり、その計画も含めて難易度の高い工事であった。

地下 3 階と基礎底が深く、免震層を地下 1 階の柱頭部とした中間層免震がもっとも適切と判断したが、免震層をつくる地下 1 階部分についても従前の使用性を確保しているところが大きな特徴である。本敷地における南海トラフの巨大地震のように、きわめて稀に発生する地震動（以下、L2 地震動）を上回る長周期長時間地震動に対する免震設

計では、地震時の免震層の変形は大きなものとなり、これを受けもつ免震回りの部材は大きな応力を負担する必要がある。このため中間層免震による改修では、免震上下の柱梁部材の断面寸法が大きなものとなり、免震層が室として使用できなくなるケースも多い。

しかし、本建物ではプレストレストコンクリート（以下、PC）部材を効果的に用いたいくつかの工夫により従前の使用性を確保することに成功している。

本報告では、免震レトロにおける PC 部材の効果的利用についてとくに焦点をあてて報告する。

2. 建物の概要

既存建物は昭和 45 年に竣工した、地上 9 階、地下 3 階の鉄骨鉄筋コンクリート造建物の耐震壁つきラーメン構造であり、基礎構造は洪積層にべた基礎で支持されている。

建物規模は、軒高 36.60 m・建築物の高さ 46.20 m で基礎底深さは -15.92 m、延床面積 32 938 m²、建築面積 2 432 m² である。

1 階から 9 階までの高層部分は整形な矩形平面で形状は



*1 Takao NISHIZAWA

(株) 日建設計
エンジニアリング部門
構造設計部 主管



*2 Tomoya HIBINO

(株) 日建設計
エンジニアリング部門
構造設計部



*3 Takashi ITOU

鹿島・徳倉特定建設
工事 JV 所長
(鹿島建設 (株))



*4 Yuhiko ICHISAWA

(株) ピーエス三菱
大阪支店 PC 建築部

東西方向（X方向）約90m、南北方向（Y方向）25.5mで主要スパンはX方向が6m、Y方向が8.775mと7.95mである。地下は南北方向に矩形平面が拡幅し、南側に12.35m、北側にドライエリア分が約3m広がっている。図-1に建物配置、図-2に平面図、図-3に断面図を示す。建物はX・Y方向ともに耐震壁がバランス良く配置されており、偏心が少なく、高さ方向の剛性バランスも優れた建物である。

地上部の用途は警察本部の事務所であることから、24時間体制の勤務者が常時在庁している。コアは平面中央に配された中央コア形式である。塔屋階はコア平面形状のまま2階分立ち上がり、塔屋階に空調機械室、電気室が配されている。さらに塔屋階の屋上からは、拠点施設としての被災時の機能維持が求められる情報通信鉄塔（高さ約20m）が2塔東西に配置されている。

地下階は、地下3～2階に機械室、電気室が配され、地下1階は、食堂、厨房、売店が主たる用途である。そして地下の南側拡幅部は全階車路、駐車場用途である。

このように本建物は免震改修建物として大規模であり、1章で説明したとおり、南海トラフの巨大地震の震源域に近い敷地のために、L2地震動を上回る長周期地震動に対する、性能の高い免震改修が必要となる建物である。さらに、24時間勤務者に配慮しつつ設備の全面改修も行うという難易度の高い計画が求められた建物であったが、本稿では免震改修におけるPCの効果的利用を主題としているため、免震設計や居ながら改修設計の詳細の説明は省略する。

【改修工事概要】

- 所在地：名古屋市中区三の丸2-1-1
- 建築主：愛知県警察本部
- 改修設計：(株)日建設計
- 改修監理：愛知県警察本部・(株)日建設計
- 改修施工：鹿島・徳倉特定建設工事共同企業体
- 改修工期：平成24年10月～平成28年2月

3. 設計方針

本建物は昭和45年竣工のいわゆる旧耐震設計法により設計された建物である。耐震診断の結果地上階で耐震性が不足することが判明し、このため、地下1階柱頭部で免震化した免震改修とすることが決定された。改修後に要求される耐震性能は構造体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）である。さらに、建設地の三の丸地区では、愛知県設計用入力地震動研究協議会で作成された、南海トラフ地震における予想地震動「想定新東海波」（いわゆる「三の丸波」）に対する検討が求められるため、長周期地震動を考慮しない免震と比較してより高い性能の免震設計を行っている。免震改修後は、少なくとも以後30年間の使用を目標としていることから、免震改修とあわせて設備の全面改修も行っている。改修後に地上階は最新のオフィスとしてサービスレベルが向上することもあり、地下部に関しても、免震改修で免震層階が使えなくならずに、ほぼ従前の使用性を確保することを、重要度の高い設計方針として設定した。

従前の使用性を確保することを目標として用いた工法が以下の3つのPC工法である（図-4）。

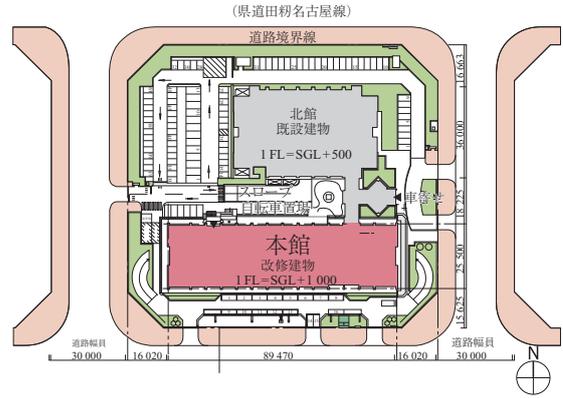


図-1 建物配置図

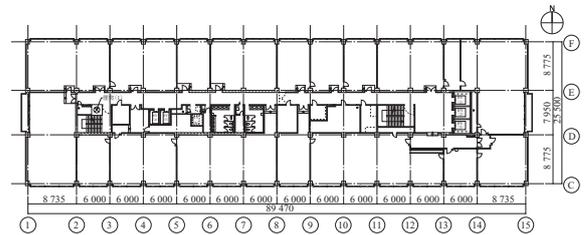


図-2 基準階平面図

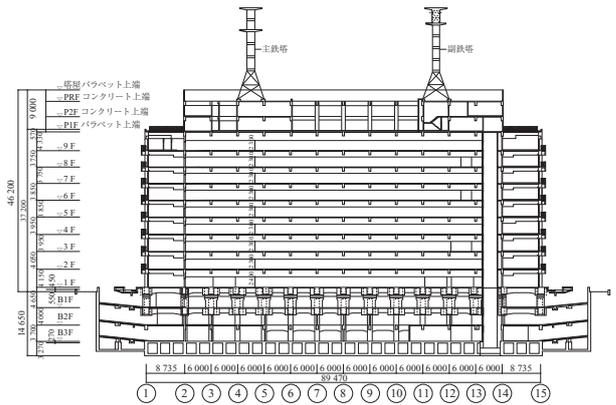


図-3 断面図

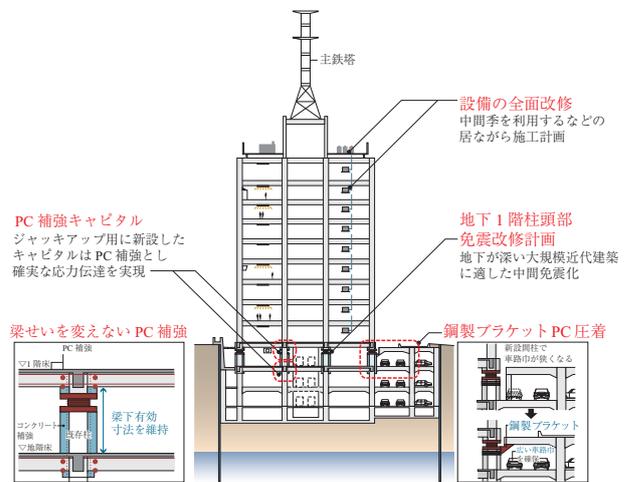


図-4 改修概念図

る中間層免震化において、鉄筋や鉄骨を用いた施工よりもハンドリングが良い。また、仕口部でのSRC柱との納まりなどでPC鋼より線を曲線配置することで、鉄骨への孔開け箇所数を減らすとともに、適切なあき寸法を確保しつつPC鋼より線を所要位置に納めることを可能にしている(図-8, 9, 10)。

さらに、躯体断面のPC梁補強はレトロフィット後の建物重量の増加を抑え、基礎構造の補強が不要となる効果も生み出している。

補強設計段階において、プレストレス力導入に伴う不静定2次応力の既存建物への影響を検討したところ、両側表面および中央の張間方向連層耐震壁の両外端部の1階下端部に応力集中し、ひび割れが生じる可能性があることが判明した。そこで、PC鋼より線への緊張力導入時には仮想的に下端の両外端部のコンクリートを撤去しスリット状にして、緊張力導入後に復旧することで既存建物への影響を最小限度に留める計画とした。

4.2 キャピタル部のPC補強

キャピタル部は、免震化施工時の荷重盛替えの際の仮設ジャッキスペースとして、そして将来の免震部材交換時のジャッキ据付け位置としても確実な柱軸力の受け替えが求められる。

そこで、キャピタル部は、新設躯体と既存梁がPC鋼棒の締付けによる摩擦力により鉛直荷重を伝達できるように設計している。キャピタル部に想定する摩擦面は図-11に図示する既存梁側面である。摩擦係数はプレキャスト(以下、PCa)部材の圧着接合工法で用いられる摩擦係数0.5¹⁾より大きな0.6を採用した。これは、通常のPCa部材の圧着接合が平滑面どうしでの摩擦になるのに対して、本建物では既存梁表面をチップングで粗面処理後、新設躯体を現場打ちコンクリートで打設して両者を圧着接合により一体化させる設計としており、接合面の実情に見合った摩擦係数を採用することが合理的であるとの判断に基づく。図-12にPC外付けフレーム耐震補強工法におけるPC鋼棒を用いた圧着接合部のせん断試験結果²⁾を示す。動摩擦係数の下限値は、接合面の平滑度合いに関わらず0.75以上であることが得られており、同図内に併記した既往のせん断試験結果^{3, 4, 5)}や施工時の安全性確保を重視して、摩擦係数の採用値は余裕を見込んだ0.6として必要なPC鋼棒本数を求めた。

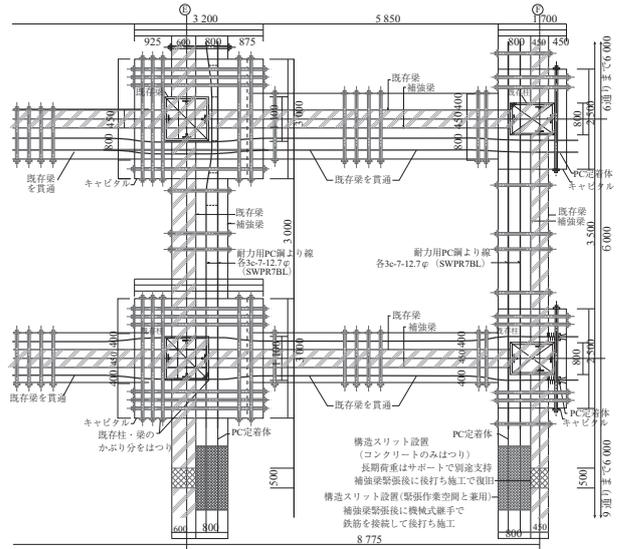


図-10 短期のPC梁補強の詳細(伏図)

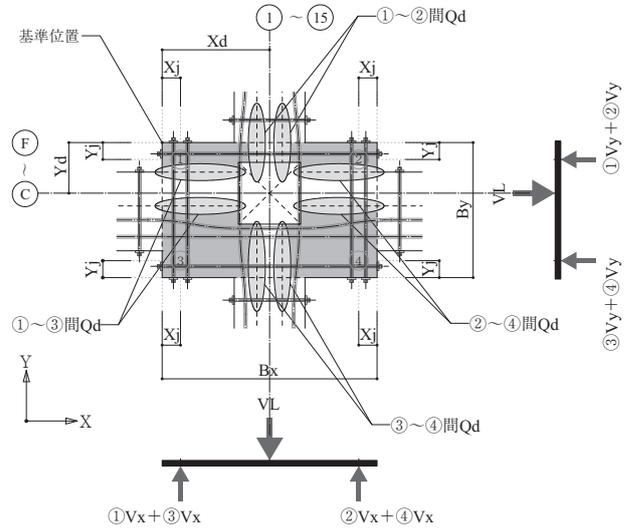


図-11 キャピタルのPC補強と摩擦面の考え方

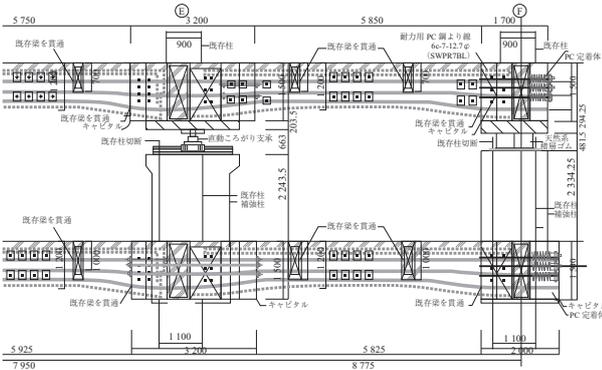


図-9 短期のPC梁補強の詳細(軸組図)

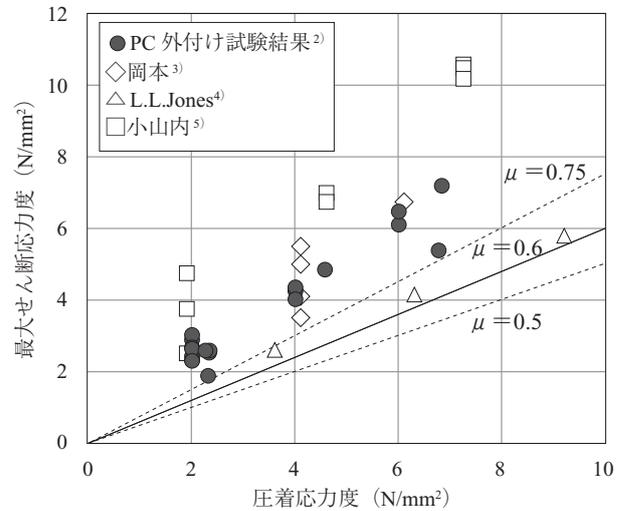


図-12 圧着応力度と最大せん断応力度の関係

5.3 削孔の施工

PC 鋼材を挿入するために既存躯体を貫通する削孔工事では、とくに埋設配管や既存鉄筋の切断に注意を払った。現場で探査できる深さには限界があり、既存の柱梁躯体の埋設配管をすべて探査できるわけではないからである。このため、金属センサーを使用し、削孔ドリルが金属に触れる場合には電源が停止する装置を組み入れて削孔工事を行った。また既存躯体は SRC 断面で鉄骨を内蔵しているために、RC 躯体への削孔よりも難易度の高いものであったが、既存鉄筋の切断による構造安全性の低下や埋設配管の損傷による施設のインフラ機能低下を生じることなく、無事に施工を実施できた。

5.4 狭い空間での PC 施工

PC 補強工事は、柱補強や免震化のためのスリット施工など他の躯体工事と同時並行で行わなければならないが、躯体まわりの狭い空間での施工となった。以下に各施工段階の概要を記す。なお、写真 - 1 は、免震部材挿入位置の補強梁およびキャピタルの PC 施工完了後の状況を示している。

① 使用材料・機材の搬入

使用材料や機材を載せた輸送車両は地下階の天井高さの関係で PC 補強工事エリアに直接進入することができなかった。そのため、地上でフォークリフトやトラックに積み替えて各作業場所に運搬した。

PC 鋼より線 (7, 9 および 12-12.7φ) は、配線区間長さ (X 方向で約 25 m, Y 方向で約 30 m) ごとに 1 ケーブルづつ、直径 1.25 m のコイル状に束ねた荷姿で搬入し、地上部でターンテーブル (PC ケーブル巻取り機) に移し替えてからフォークリフトで各配線区間に運搬した。ターンテーブルセット状況を写真 - 2 に示す。

キャピタル補強や既存梁と新設梁を一体化するための PC 鋼棒 (32φ) や PC 鋼材挿入用シース (外径 54φ, 69φ) は数工区分をまとめて地下の仮置きスペースに搬入、保管し、各工区に小運搬した。

定着具は製造工場からパレットに載せた状態で出荷して搬入時にフォークリフトで直接荷取りして地下の仮置きスペースまで運んだ。

② PC シースの配置

PC 梁補強用のシースは定尺長さが 4 m あり、施工性を考慮して割りスターラップで解放配置しておいた補強梁側面から挿入して、手作業で所定位置まで横送りした。

設計図では既存躯体の削孔に差し込み、孔とシース周りのすき間は外側から隙間テープなどで養生する仕様になっていたが、PC 鋼より線の挿入時にシースと削孔接続部の内側に生じる段差に PC 鋼より線の先端部が引っ掛かってシースを破損するおそれがあったことから削孔全長にシースを貫通配置することでシースの損傷を未然に防いだ。

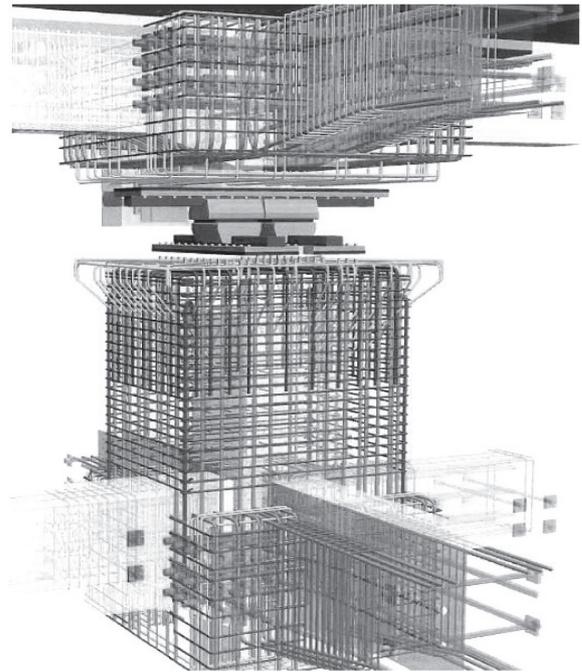


図 - 17 BIM による納まり検討

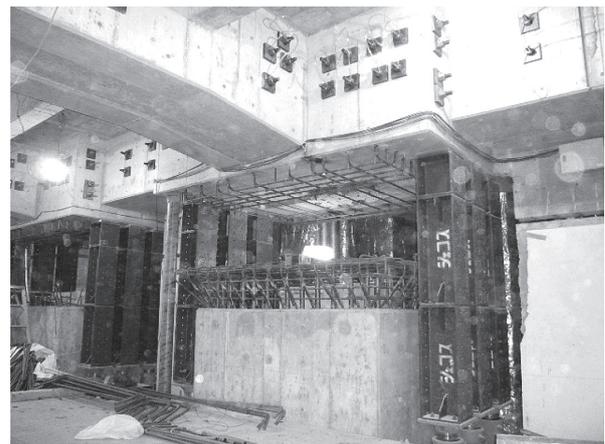


写真 - 1 補強梁およびキャピタル完成時



写真 - 2 ターンテーブルセット状況

キャピタル部のシースは、平面的には既存梁で分断される形となるため、既存側のシース端部は削孔に差し込むだけで所定位置の確保は簡単であると考えられた。しかし、BIMモデルで確認した位置とは異なる位置に既存躯体の鉄筋・鉄骨が配置されている部分が多く、実際にはこれを避けた位置に削孔が施されたキャピタルもあった。その状態でキャピタル部の主筋とフープが縦横に配筋され、また、補強梁の主筋端部もキャピタル内に定着された密な配筋状態のなかでのシース配置であったため、シースは現場合せの微調整が効かず、所定位置の精度確保に苦労した。そのため、鉄筋と干渉した場合は組立て済みの鉄筋を移動して対処しなければならず、一部鉄筋の移動だけでは済まずに、キャピタル部の鉄筋をすべて解体して組み直したエリアもあった。PC補強梁およびキャピタル部のPCシースおよび鉄筋配置状況を写真-3~4に示す。

③ PC鋼材の挿入・定着具の取付け

通常、PC鋼より線はクレーンでケーブル端部の一端を頂点にして一直線上に吊り上げておき、徐々に揚重高さを下げながら重力を利用して挿入したり、ウインチやプッシングマシンを用いて動力で挿入するケースが多い。しかし、地下階での施工で工区が細分化された本工事では、定着部位置にターンテーブルを据え置き、1ケーブルずつ人力で挿入する方法に頼るしかなく、新築工事における挿入作業に比べると労務人工は相当数を要した。

PC鋼棒はシースセット完了直後に挿入してキャピタル部のコンクリートを打設し、硬化後に外部から支圧板を装着した。しかし、一部のPC鋼棒は改修後の使用スペース確保の観点から、固定端となる支圧板をキャピタル内に埋込む仕様であったため、過密配筋のなかで所定位置を保持する作業に苦労した。PC鋼棒の緊張状況を写真-5に示す。

④ PC鋼材の緊張・グラウト

PC鋼より線の緊張は主に建物外周部に新設される免震ピット部での作業になったが、外周部は地震時のクリアランス分程度のあき寸法しかないため、既存建物の外溝部を一時的にはつり取って緊張ジャッキとPC鋼より線の余長分をセット可能な範囲を確保するなどして緊張作業を行った。PC鋼より線の緊張状況を写真-6に示す。

グラウトの混練りは地上ヤードで行い、ポンプで地下階の注入位置まで送り込んだ。

⑤今後の課題

本工事は2期に分けられ、1期工事の完了後、2期工事の着手までに一旦休工期間があった。そこで、1期工事で発生した問題点を洗い出し、2期工事に向けての改善点を話し合っ各工事間で共有、周知した。その結果、問題の発生頻度は低減された。

しかし一方で、電気配管や設備ダクトの盛替えがキャピタルサイズのみを考慮して行われたため、PC工事の作業場所がきわめて狭あいになっていたエリアがあったことや新設梁のコンクリート打設後の梁天端空隙部に注入するモルタルがシース内に流入しない防止策の検討、BIMモデルへの現場探査結果の反映などが今後の課題としてあげら

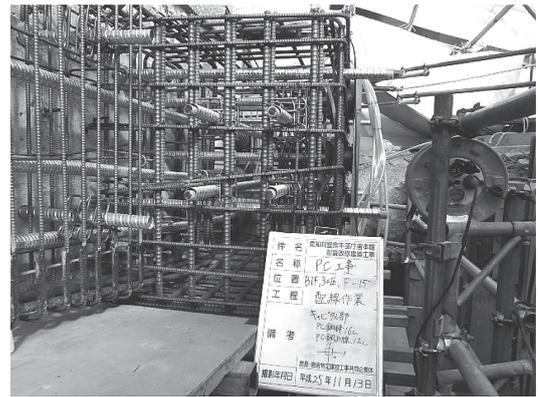


写真-3 PCシースおよび鉄筋配置状況 1

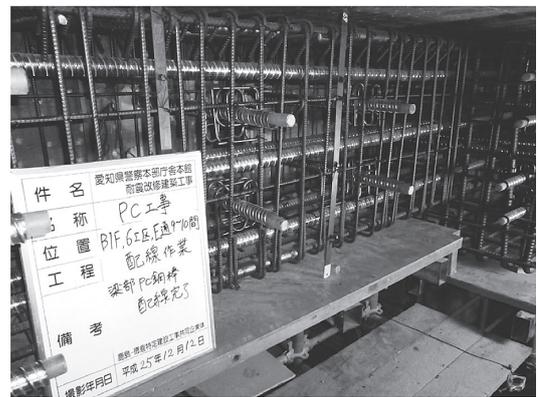


写真-4 PCシースおよび鉄筋配置状況 2



写真-5 PC鋼棒緊張状況



写真-6 PCより線緊張状況

れる。

6. おわりに

改修後の外観および免震層の写真を写真 - 7 ~ 10 に示す。警察本部として24時間の在庁者がいるなかでの居ながら工事であり、設備シャフトを2重化する工事を先行したり、中間季を利用したりと特別な配慮が必要となったが、設備改修によるサービスレベルの飛躍的向上は在庁者の改修工事を前向きにとらえる大きな要因となった。とくに衛生設備などが清潔で使いやすいものになっていくことで、在庁の方々が多少の騒音も辛抱いただき、スムーズな施工につながったことは、この種の工事への建物使用者側のご協力という点で特筆すべき点である。

また、担当いただいた施工JVはじめ施工担当者各位には、監理者とのコミュニケーション良く安全を確保していただけたことが円滑な工事の進捗に結びついた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説, pp.267~270, 1998.
- 2) 塩田ほか：外付け架構による耐震補強のための圧着接合に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.947-948, 2004
- 3) 岡本ほか：プレキャストコンクリート柱・梁接合部の圧着接合に関する研究 - 接合面のせん断伝達に関する実験結果 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II C, pp.1063-1064, 1993
- 4) L.L.Jones : Shear tests on Joints between Precast Post-tensioned Units, Magazine of Concrete Research, Vol.11, No.31, March 1959
- 5) 小山内ほか：付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する実験的研究 その5, その6, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.903-906, 1996



写真 - 7 改修後全景



写真 - 8 改修後免震層1



写真 - 9 改修後免震層2



写真 - 10 改修後免震層3

【2017年4月27日受付】