

山梨文化会館 中間階免震レトロフィット工事

— 円筒形大断面柱をもつ建物の免震改修工事における PC の利用 —

蔵田 富雄^{*1}・小林 光男^{*2}・宮崎 潤^{*3}・北澤 基至^{*4}

JR 甲府駅北口に建つ山日 YBS グループ本社・山梨文化会館は、1966（昭和 41）年に竣工し、直径 5 メートルの 16 本の円筒形柱が支えるユニークな設計は、建築家丹下健三の作品を代表する建築物として国内外に知られている。この円筒形柱は内部がエレベータや螺旋階段、トイレや空調設備などにあてられ、機能性をもった構造体となっている。竣工後 50 年を迎えた昨年度、今後 50 年建物を使い続けようという「山梨文化会館 100 年計画」に基づく耐震改修工事が実施された。耐震改修工事にあたっては、メタボリズム（新陳代謝）を体現した唯一の丹下作品を、外観を変えずにかつ工事期間中に通常の業務を止めることのないように、地下 2 階位置における中間階免震レトロフィット工法が採用された。建物を支える直径 5 メートルの円筒形柱は、1 箇所あたり約 25 000 kN の重量を支持しており、これを途中で切断して免震装置を設置する工事は、柱周辺の計画上の制約と通常の業務を止めないとする条件下において技術的難易度の高い工事となったが、PC のもつ効果を最大限に利用した構造計画によって、工事期間中の安全性と竣工後の機能を両立させた計画と施工が可能となった。

キーワード：円筒形大断面柱、免震レトロフィット、PC 圧着、X 型基礎

1. はじめに

甲府駅北口で一際目立つ外観の山梨文化会館は「成長する都市」を理想に掲げた 1960 年代の建築運動「メタボリズム」（新陳代謝）を象徴する建築家：丹下健三氏の代表作の一つである。築 50 年を迎えた昨年度、この先 50 年使い続けようという「山梨文化会館 100 年計画」によって、丹下作品第一号の免震化ビルとなることが決定した。

本建物は山梨日日新聞・山梨放送等の山日 YBS グループ 16 社の本社ビルであり、スタジオをもち 365 日 24 時間つねに地域への情報発信拠点として機能している。そのため、工事中においても日々の業務がそのまま行えるように、また県民からも広く愛されている外観を損ねることの無いように、免震化工事は地下階で計画された。

建物を支える 16 本の円筒形大断面柱は、直径が 5 メートルで、1 箇所あたりの支持重量は 25 000 kN に達する大構造物であり、柱周辺の計画上の制約と、通常業務を妨げないという条件下での技術的難易度の高い工事となった。



写真 - 1 建物全景写真



^{*1} Tomio KURATA

三井住友建設 (株)
建築本部 設計管理部長



^{*2} Mitsuo KOBAYASHI

(株) 織本構造設計
取締役 第二設計部部長



^{*3} Jun MIYAZAKI

(株) 織本構造設計
第二設計部 主任



^{*4} Motoyuki KITAZAWA

三井住友建設 (株)
東京建築支店 所長

工事期間中の安全性と竣工後の機能を両立させるために、免震基礎構造に PC 構造が採用され、PC 構造がもつ効果を最大限に発揮できる構造となっている。

本報では、建物を支える円筒形大断面柱の免震基礎の設計と免震化工事に主眼をおき、設計段階より施工に至るまでの計画と実施の概要を報告する。

2. 建物概要

本建物は地下2階、地上8階建ての事務所ビルであり、写真-1に示すように、建物を支える円筒形柱がそのまま外観にも現れる特徴的なデザインをしている。地下階には地下2階に機械室と倉庫、中間階である地下1階にはホールが配置され、地上階にラジオ・テレビスタジオを含む事務室と飲食店などが配置されている。

・建築概要

建物名称：山梨文化会館

所在地：山梨県甲府市北口2-6-10

敷地面積：3 858 m² 建築面積：3 091 m²

延床面積：21 883 m²（竣工時 18 085 m²）

構造規模：SRC 造，地下2階，地上8階

最高高さ：42.9 m（アンテナ塔頂 58.3 m）

用途：YBS グループ各社本社事務所，テレビ・ラジオスタジオ，飲食店

元設計者：丹下健三・都市・建築設計研究所

元施工者：三井住友建設（旧住友建設）

竣工年：昭和41年（1966年）

・改修工事概要

工事名称：山梨文化会館耐震改修（免震レトロフィット）計画

発注者：株式会社 山梨文化会館

設計監理：意匠 丹下都市建築設計

構造 織本構造設計

設備 建築設備設計研究所

施工者：三井住友建設

工期：H27年6月1日～H28年12月31日

3. 改修計画

3.1 構造計画概要

図-1に改修前の地下2階平面図を、図-2に軸組図と部材断面を示す。本建物は直径5.0 m、壁厚50 cmの円筒形柱16本が支えており、柱間のスパンは最大17.3 mである。円筒形柱の内部は乗用エレベーター（1箇所、2台）・荷物用エレベーター（2箇所、2台）・階段（3箇所、3本）・その他設備スペース等に使われている。

円筒形柱間には、図-2に示すように大梁が設置されているものの、円筒形柱の剛性は大梁に比べ非常に大きいため、一般的なラーメン構造ではなく、剛強な基礎梁から立ち上った円筒形柱が、片持ち柱として水平力に抵抗する特殊な構造となっている。そのため、地震時には図-3に示すように円筒形柱の足元に大きな反力（曲げモーメント）が生じる。本改修計画では、図-4に示すように地下2階の円筒形柱の足元を切断して免震装置を設置し、1

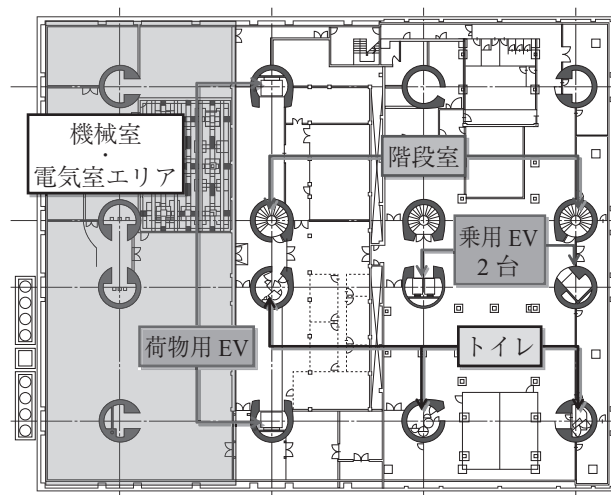


図-1 地下2階平面図（改修前）

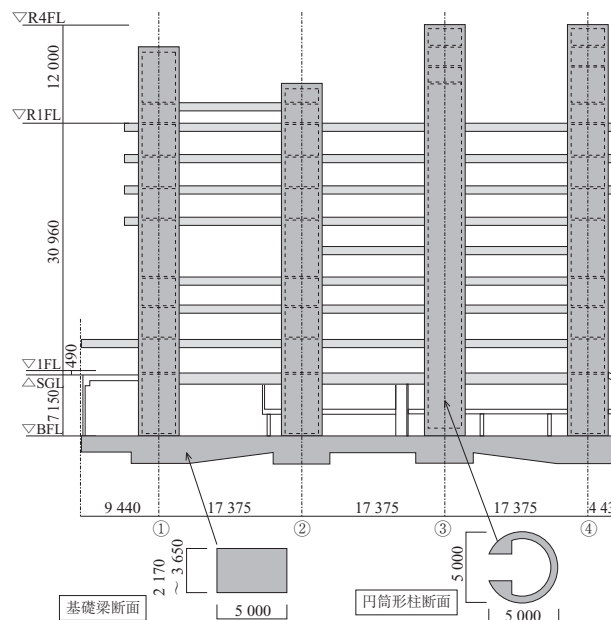


図-2 軸組図と部材断面

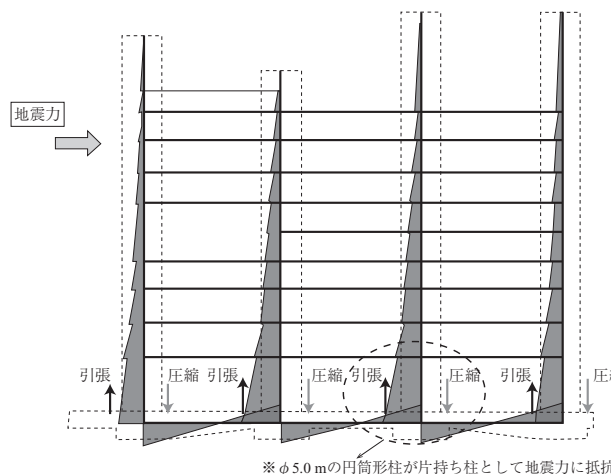


図-3 地震時の架構応力図と円筒形柱反力

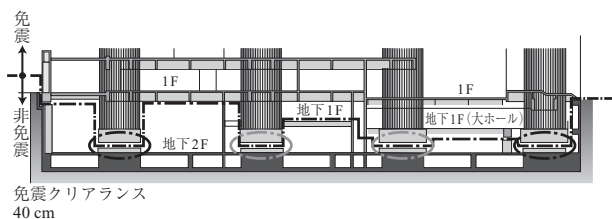


図 - 4 地下階断面と免震位置

階床レベルで地下外周壁と縁を切ることで免震化を図っている。免震クリアランスは400 mmである。

3.2 免震装置の配置

図 - 5 に円筒形柱に設置する免震装置の配置図を示す。前述のように地下階の円筒形柱には地震時に大きな曲げモーメントが発生するため、免震装置には引抜力が作用する。とくに長期軸力の小さな妻側 (①・④ 通り) の8本の円筒形柱には引抜抵抗性の高い直動転がり支承 (以下、CLB 写真 - 2) を4基配置している。さらに4隅の円筒形柱には減衰性能と回転剛性を付与するために、その中央に錫ブラグ入り積層ゴム支承 (以下、SnRB 写真 - 3) を1基配置している。一方、中央部 (②・③ 通り) の円筒形柱には

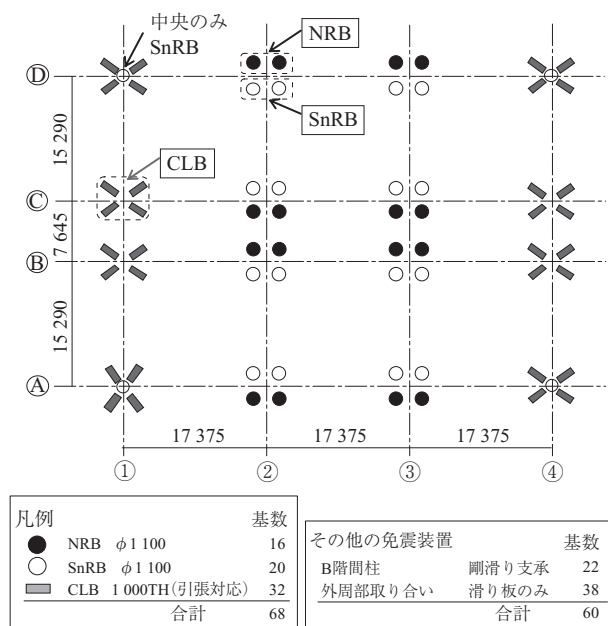


図 - 5 円筒形柱に設置する免震装置配置図

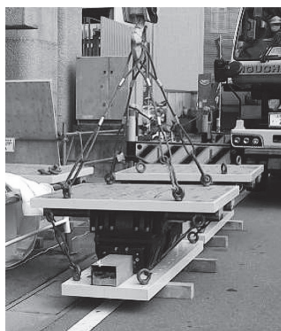


写真 - 2 CLB



写真 - 3 SnRB

さほど大きな引抜力は発生しないため、SnRBと天然ゴム系積層ゴム支承 (以下、NRB) を各2基ずつ配置している。本工事に使用する免震装置の数は、16本の円筒形柱に対して合計68基となる。これら免震装置の他にも、地下階にある間柱に剛滑り支承を22基、1階・地下1階外周部との取合部に滑り支承板を38基設置するため、免震装置の総数は128基となる。

4. 免震基礎の設計

4.1 設計概要

図 - 6 に CLB を設置する免震基礎の当初計画図を示す。装置反力が大きいため上側の基礎せいは2200 mmと大きくなっている。この基礎せいは、コンクリートの許容せん断応力によって決定されており、配筋の増加によって対応できるものではなかった。また、免震装置に作用する引張力に抵抗させるために必要な長さ700 mmのアンカーボルトを配置するため、基礎梁の一部を解体する計画となっていた。そのため、当初計画ではCLB設置に必要な解体範囲は基礎梁を含む高さ4.1 mの非常に大きな範囲となり、施工時の安全性と解体工期の問題から変更が必要であった。また基礎せいが大きいために、上階 (MB階) の床上に基礎型が突出するという機能面の問題もあった。

そこで、建物全体の免震装置配置を再検討して円筒形柱脚部の回転剛性を調整することにより、CLBに作用する引抜力を減少させ、CLBを当初の高さ790 mmのものから659 mmのものに変更し、装置高さを131 mm低くした。さらに、上部免震基礎については図 - 7 に示すように水平2方向にPC鋼棒を配置してプレストレスを導入し、既存円筒形柱の壁を新設の内部基礎コンクリートと外部キャピタルで挟み込んで圧着する構造 (以下、この構造による基礎をX型基礎と呼ぶ) に変更した。その結果、上部の基礎せいを1600 mmに抑え、CLBの設置レベルを上げることで基礎梁の解体を無くすことができた。

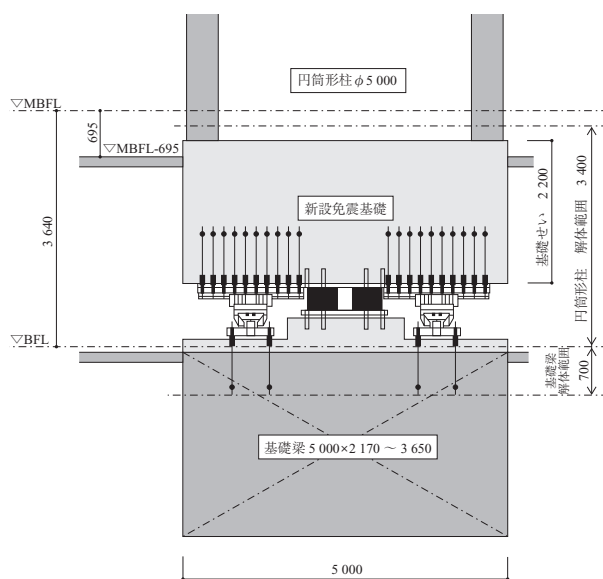


図 - 6 当初計画時のCLB基礎と解体範囲

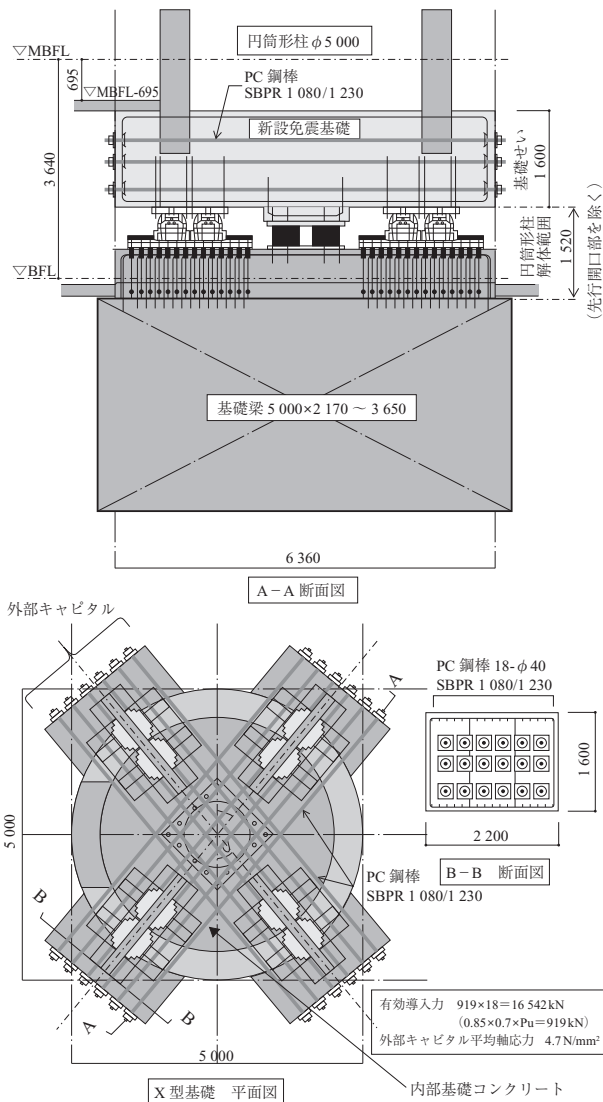


図 - 7 変更後の CLB 基礎 (X 型基礎)

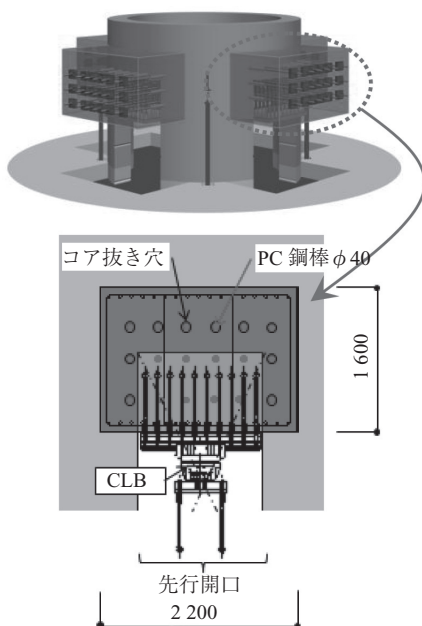


図 - 8 外部キャピタルと CLB アンカーボルトの納まり

上階スラブ底レベルに基礎せいを納めることで、上階貸しホールの機能を従来どおり維持でき、円筒形柱の解体範囲も当初計画の 1/2 以下となり、施工時の安全性向上および解体工期の短縮が図れた。

外部キャピタル部と円筒形柱との取り合い詳細を図 - 8 に示すが、先行開口を利用して CLB のアンカーボルトを基礎内部に納めている。各方向には 18 本 - φ40 の PC 鋼棒が配置され、有効プレストレス力は約 16 500 kN であり、外部キャピタルの平均圧縮応力は 4.7 N/mm² である。

積層ゴムのみが取り付く免震基礎は正方形断面の RC 造とした (以下、この基礎を口型基礎と呼ぶ)。

4.2 施工時と設計荷重時の応力検証

X 型基礎は形状が特殊であり、かつ CLB を設置するために円筒形柱に先行開口が必要となることから、施工時と設計荷重作用時に生じる応力を FEM 解析で検証した。

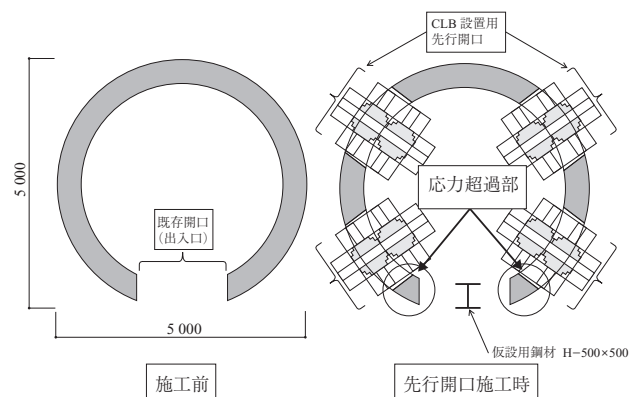


図 - 9 円筒形柱の既存開口と先行開口

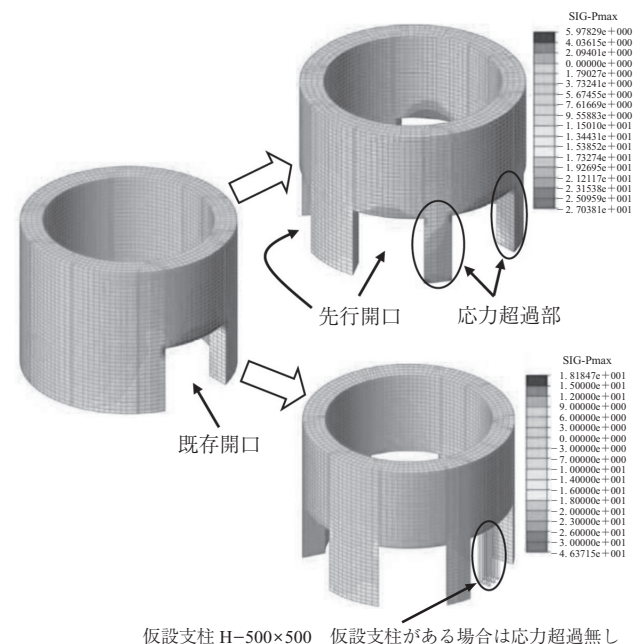


図 - 10 施工前と先行開口施工時 (仮設支柱の有無) の主応力分布図

(1) 先行開口施工時の応力検証

円筒形柱の壁には、図 - 9 に示すようにアンカーボルトを取り付けた CLB を設置するために 4 箇所の先行開口が必要となる。しかしながら、検証の結果円筒形柱に 4 箇所の先行開口を設けると、既存の開口に隣接する部分の壁の応力が部分的にコンクリートの圧縮強度を超過することが確認された（図 - 10）。そこで既存開口の中央部に仮設支柱（H-500×500）を設置して施工時の安全性を確保することとした。

(2) プレストレス導入・仮受け時・設計荷重作用時の応力検証

図 - 11 にプレストレス導入時の主応力分布とコンター図を示す。プレストレス導入時には、既存円筒形柱の壁と内部基礎コンクリートとの間にも十分なプレストレスが作用することが必要であるが、既存円筒形柱の壁が連続しているために一定量のプレストレス力が壁に流れる。そこで、FEM 解析結果より、図 - 12 に示すように全プレストレス力から壁に流れる分を差し引き、内部の圧着面に作用する有効プレストレス力は全体の 85 % 程度であることを確認した。

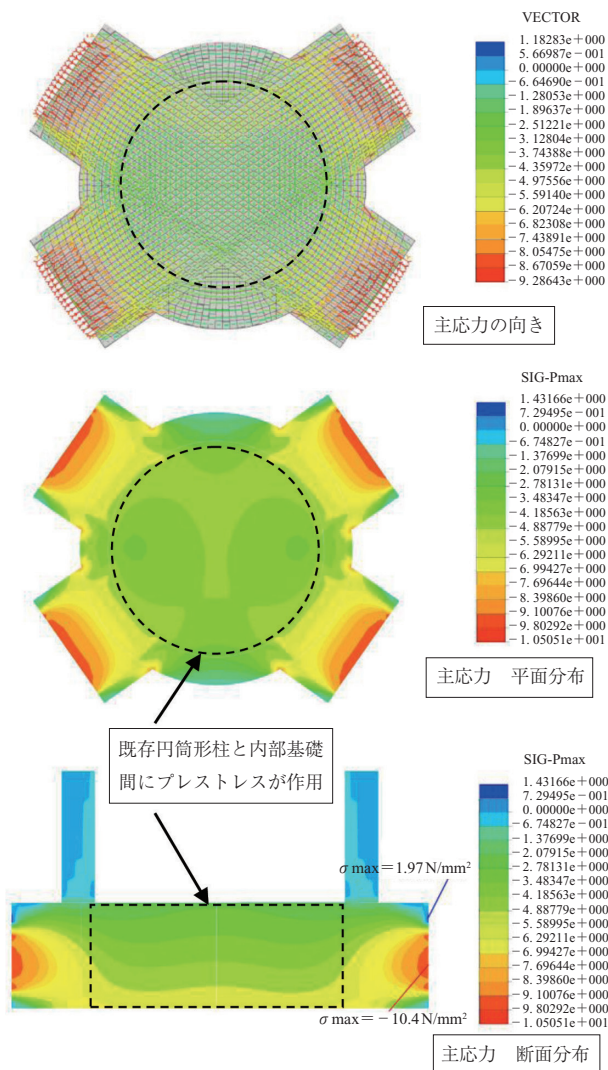


図 - 11 プレストレス導入時の主応力分布図

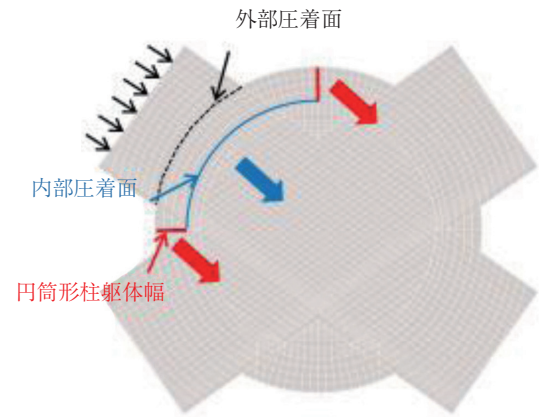


図 - 12 内部圧着面に作用する有効プレストレス力

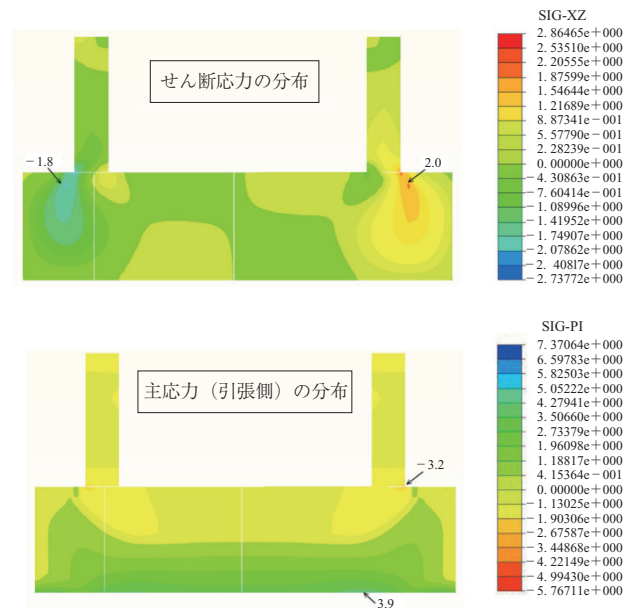


図 - 13 仮受け時のせん断応力と主応力分布図

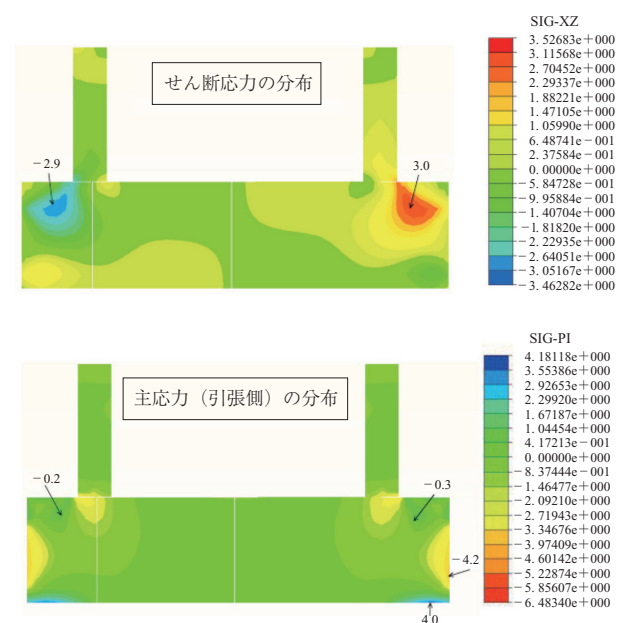


図 - 14 圧着+仮受け時のせん断応力と主応力分布

図 - 13 に応力状態がもっとも厳しくなるジャッキによる仮受け時のせん断応力と主応力（引張側）分布図を示す。仮受け時にはコンクリートの許容せん断応力を上回るせん断応力が発生し、主応力は許容斜張力を超えているが、図 - 14 の圧着 + 仮受け時の主応力分布図を見ると、プレストレスの効果によって引張応力は載荷位置近傍表面のはく裂応力のほかにはほとんど生じていないことがわかる。

図 - 15 に設計荷重（圧着 + 長期、圧着 + 長期 + 地震）作用時の主応力分布図を示す。長期および地震時においても、外部および内部圧着面は全圧縮状態にあることがわかる。

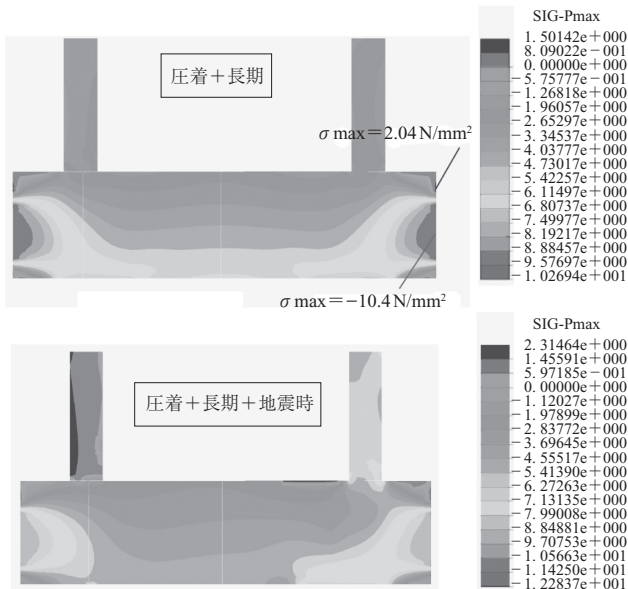


図 - 15 設計荷重作用時（圧着 + 長期、圧着 + 長期 + 地震時）の最大主応力分布図

5. 施工計画

5.1 工程計画

表 - 1 に総合工程表を示す。免震装置の納期 6 ヶ月の間に内装・外周 2 重壁の解体を終えて、外壁・間柱補強工事

および電気・設備撤去・切回し工事に着手する計画とした。

また、免震装置納入と同時に柱免震化工事を開始し、柱免震化工事完了後に 1 階外周部の床を切断して建物を免震化する計画とした。従来のレトロフィット案件で使用されていた地震時水平耐力を確保するための仮設ブレースも必要なくなり、コスト削減にも貢献した。

柱免震化工事の施工サイクルは、積層ゴム 4 基で支持するロ型基礎を 40 日、CLB 4 基（隅柱は SnRB を加えた 5 基）で支持する X 型基礎を 50 日で組み立てた。施工順序は柱切断を行なう本数がつねに 2 本以内かつ隣接しないように決定した。また、円筒形柱内部にある EV・階段シャフトの施工によって 2 方向避難の阻害が生じないように、新設階段・新設エレベーター工事のタイミングを計画した。

5.2 免震基礎の施工計画

図 - 16 に免震基礎の配置図を示す。X 型基礎は建物妻側の 8 箇所、ロ型基礎は建物中央の 8 箇所である。X 型基礎では機械室・電気室の周辺機器の配置状況に応じて水平 2 方向の交差角度が調整されている。

図 - 17 に X 型基礎の施工フローを示す。X 型基礎ではまず CLB の設置に必要な先行開口を開け、次いで PC 鋼棒

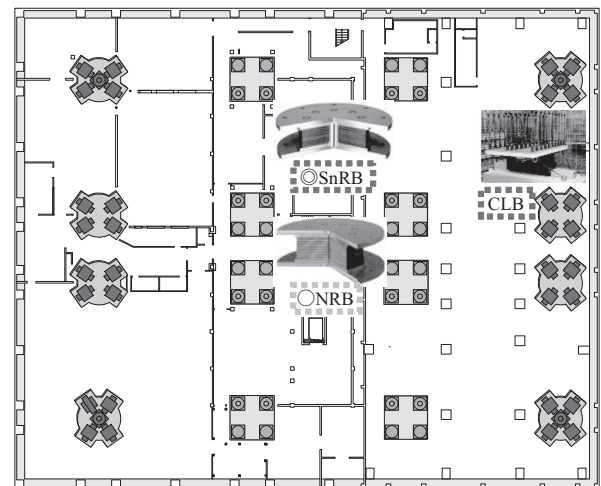
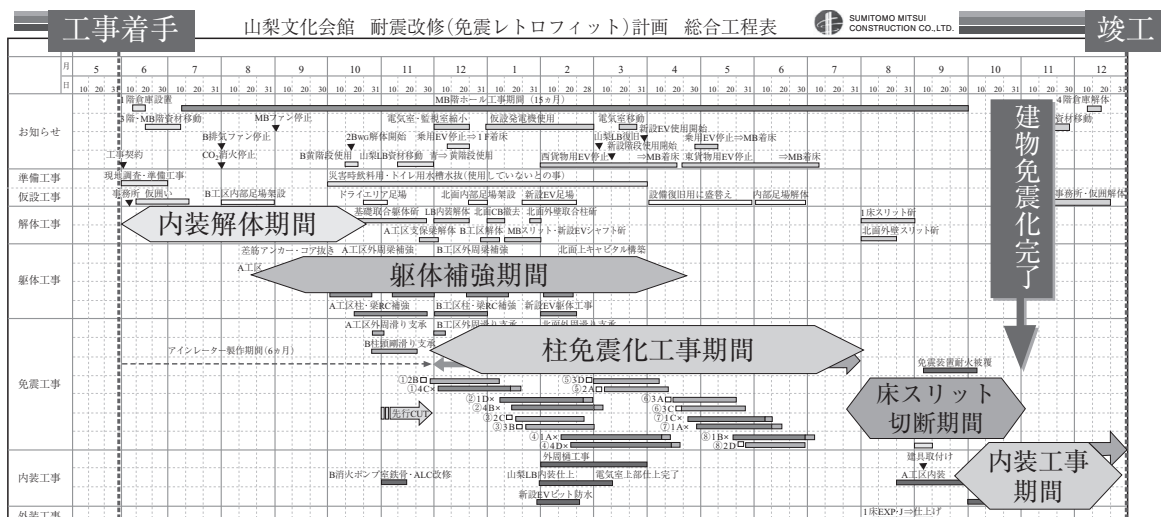


図 - 16 免震基礎の配置図

表 - 1 総合工程表



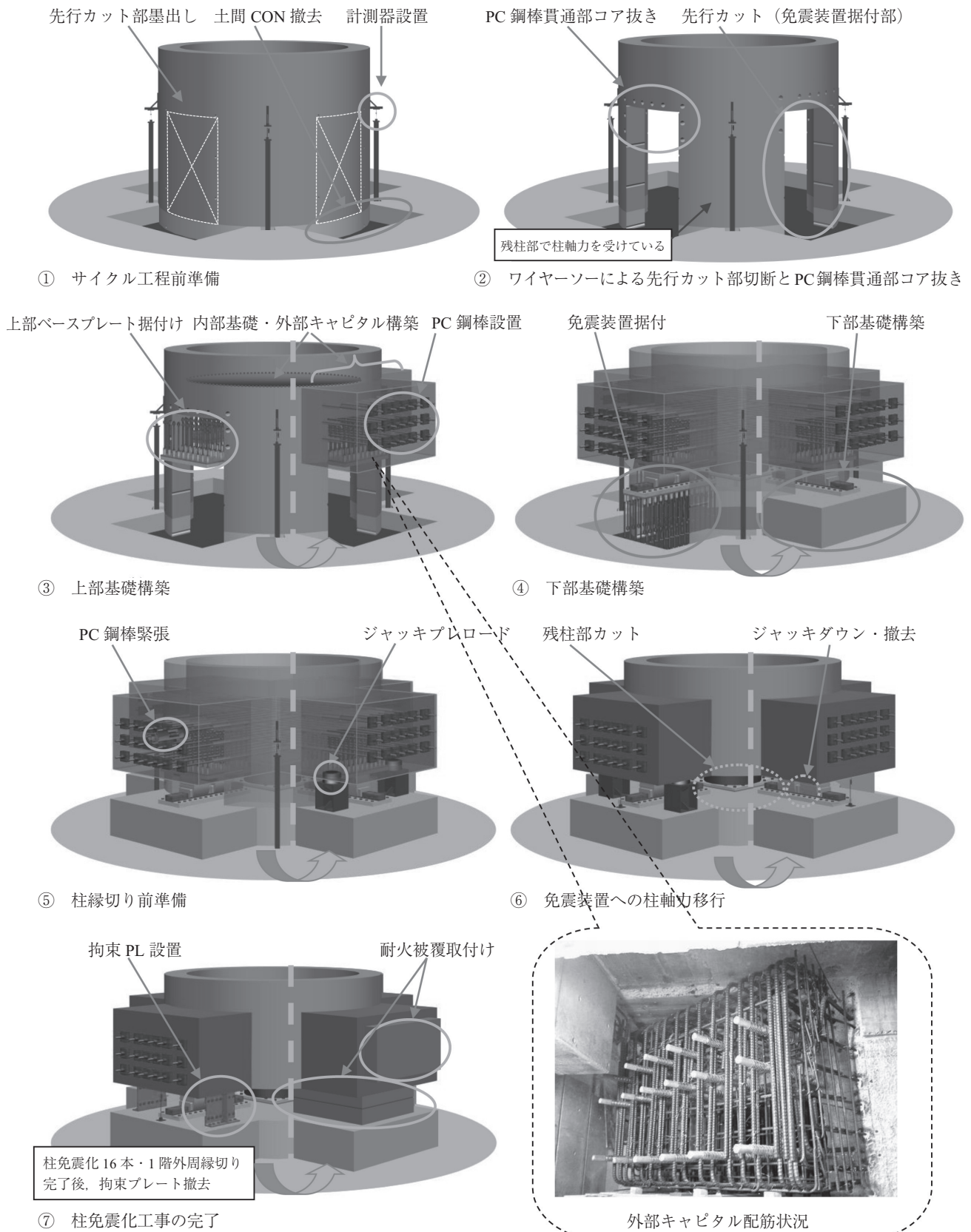


図 - 17 X 型基礎の施工フローと外部キャピタル配筋状況

などを配置して上部基礎を構築する。上部基礎より CLB を吊下げ設置した後に下部基礎を構築し、上部基礎のコンクリート強度が発現したら、PC 鋼棒を緊張してプレストレスを導入する。プレストレス導入後、下部基礎のコンクリート強度が発現したら仮受けジャッキに軸力を移行し、柱残置部を切断する。最後に仮受けジャッキを減圧し CLB に軸力を移行する。

5.3 施工状況および施工結果

・特殊コンクリートの調査・施工

X 型基礎の上部、PC 鋼棒でプレストレスを導入する部位には Fc50 の高強度コンクリートに膨張材を添加した調査を適用した。膨張剤を添加するのは、既存円筒形柱の壁を新設の内部コンクリートと外部キャピタルで挟み込んで圧着するにあたり、コンクリート打込み直後の初期収縮による PC 鋼棒引張応力の低下を減少させるためである。

・円筒形柱の切断

円筒形柱の切断にはワイヤーソーを使用し、場所により湿式工法と乾式工法を使い分けた。湿式工法は切断速度が速いが多量の水を処理するために排水設備が必要となる。乾式工法は切削粉塵を集塵機で回収しながら切断する工法で、水は使用するものの排水設備は不要である。切断速度は湿式工法より劣るが、水を嫌う場所での作業には適しており、機械室・電気室内の作業に採用した。

・切断塊の引抜きと搬出 (写真 - 4)

最大 1.88 t の切断塊を、既存躯体に固定した吊ピースを反力としてチェーンブロックで上方および水平方向に引いて抜きだした。パワーリフターで床に降ろし、ハンドパレットで水平運搬、チェーンブロックで 1 階へ揚重しフォークリフトを用いてダンプに積み込み搬出した。



写真 - 4 切断塊の引き抜き

・免震装置の設置 (写真 - 5)

X 型基礎を構成する CLB は総重量 3.9 t であり、装置搬入ルートの揚重設備能力 (2.4 t) を超えるため上下分割搬入とした。基礎近傍まで分割したまま運搬し、特製鉄骨門型架台を用いて上下部材を合体させたのち、レールを用いて平床台車で上部ベースプレート直下まで引き込み、ジャッキで持ち上げてボルト固定した。

・PC 鋼棒緊張 (写真 - 6)

C 種 1 号、直径 40 mm、長さ 6 700 mm の PC 鋼棒を X 型基礎の上部キャピタルに 6 列×3 段×2 方向設置した。機械室・電気室機器と隣接した狭い場所での作業もあり、シーす管・PC 鋼棒ともに分割しカプラーで繋いだ。緊張作業は鋼棒 1 本ずつ、キャピタルの中央部から外側に向かって順番に行った。

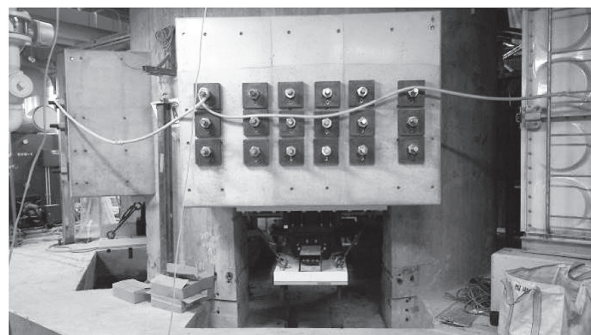


写真 - 5 CLB の設置

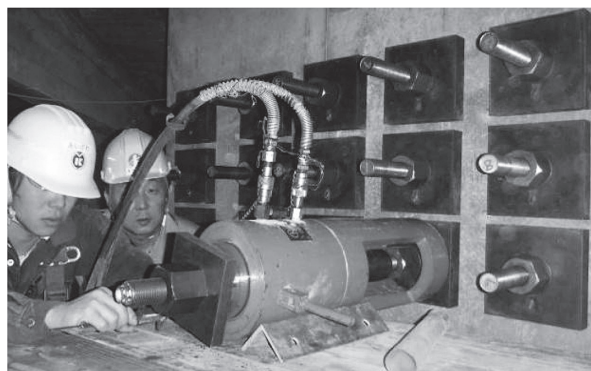


写真 - 6 PC 鋼棒の緊張

・計測管理

柱の切断開始から当該柱の免震化工事が完了するまで、柱切断位置における鉛直変位と仮受けジャッキの荷重を計測管理した。データの信頼性を高めるため、毎日計測日報とグラフを施主・工事監理者・社内関係者に配信し、共有できる体制を構築した。鉛直変位の管理値は、構造設計者からの指示によりスパン長の 1/2 000 以下の ± 3 mm 以下としたが、実施工では +1 ~ -2 mm 以内に収めることができた。

6. おわりに

円筒形大断面柱を用いた特殊な構造を有する建物の中間階免震レトロフィット工事において、PC 構造がもつ効果を最大限に発揮できる設計とすることで、施工の安全性・工期短縮・機能性の向上が可能となり、技術的難易度の高い工事を完遂することができた。

長きにわたり騒音・振動を許容していただいた山梨文化会館職員の皆様、関係するすべての方々に感謝の意を表します。

[2017 年 12 月 14 日受付]