

(仮称) ヒューリック大伝馬ビルの設計・施工

— PCaPC 細柱を用いた事務所ビル —

村上 勝英*¹・田中 耕治*²・安田 友彦*³・井上 裕介*⁴・南 伊三男*⁵

中規模ビルが密集して建つ地域の狭小な敷地において、地下一階柱頭免震を採用し、プレキャストプレストレストコンクリート造・鉄骨造・鉄骨鉄筋コンクリート造を併用した事務所ビルを提案した。本建築の顔となる接道面の PCaPC 柱は 250 × 670 mm の日射遮蔽性能をもった扁平な断面である。PCaPC 柱は石打込み仕上げであるが、製作に先立ち緊張導入実験を行い、変形追随性能を確認した。コア部の SRC は節ごとに、事務室部のロングスパン大梁と PC 柱はフロアごとに建方を行い、高い施工精度を実現した。

キーワード：細柱，圧着，免震，石打込み

1. はじめに

敷地である日本橋大伝馬町は昔ながらの中規模ビルが密集して立ち並ぶ地区である。事務所機能をもつ本建物の建設計画にあたり、高い環境性能・耐震性能を備えた高機能オフィスであるだけでなく、そのような地区の新たなアイコンとなり、ひいてはこの地域の価値が向上するような、端正で品格のあるデザインが求められていた。

狭小敷地のなか、地下一階柱頭を免震層とする中間層免震構造を採用したうえで、接道面の架構を日射遮蔽性能をもった PCaPC 細柱とし、コアを SRC 造、事務室の梁を S 造としたハイブリッド構造とすることで、先進的な環境性能・耐震性能を備えた事務所ビルを実現している。

2. 建築概要

所在地：東京都中央区日本橋大伝馬町 7 丁目
 用途：事務所
 建築面積：735 m²
 延床面積：7 700 m²
 階数：地下 1 階 地上 10 階 塔屋 1 階
 軒高：SGL + 42.8 m
 最高高さ：SGL + 49.0 m

構造種別：耐震壁付き SRC 造（免震構造，一部 PCa 造 S 造）



図 - 1 全景パース



*¹ Katsuhide MURAKAMI

(株) 日建設計
構造設計部門 部長



*² Koji TANAKA

(株) 日建設計
構造設計部門



*³ Tomohiko YASUDA

大成建設 (株)



*⁴ Yusuke INOUE

大成建設 (株)



*⁵ Isao MINAMI

(株) 建研
東京支店 設計部

○ 特集 / 工事報告 ○

基準階は東西方向約 36 m × 南北方向約 20 m の平面形状をしており、事務室は短辺方向約 14 m のロングスパンの無柱空間とし、高いレンタブル比を確保した (図 - 2)。基準階階高は 4.0 m、1 階階高は 5.5 m である。

事務室の空調は個別制御性の高いシステムと自然換気を併用したハイブリッドシステムとし、さらに躯体による自然換気シャフト・ソーラーチムニーを計画することで温度差換気による有効な換気量を確保している。また、アウトフレームに配置している PCaPC 柱は圧迫感を与えず日射遮蔽性能を付加できるように、1.8 m ピッチで 250 × 670 mm の断面とし、奥行きの浅い中規模事務所に合理的な日射遮蔽と 3 面自然採光を得られるよう計画している。

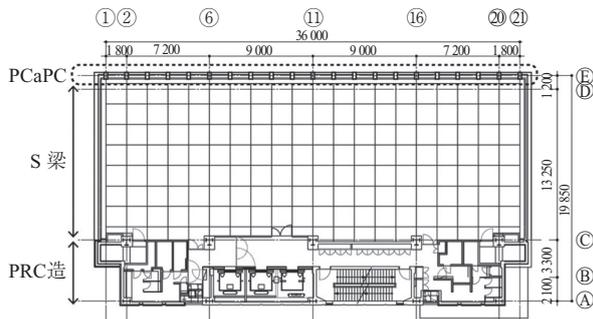


図 - 2 基準階平面図

3. 構造計画

3.1 構造計画概要

本建物は高い耐震性能を確保し、100 年以上の使用期間を想定した長寿命建築とするため、免震構造を採用している。既存建物の地下外壁および地下底盤の内側に新築躯体を計画して既存の解体量を減らし、さらに地下・基礎工事を経済的に行えるよう、免震層は駐車場である地下 1 階柱頭に設けた (図 - 3)。基礎は場所打ちコンクリート杭基礎であり、GL-25 m 付近の東京礫層を支持層としている。

基準階は接道面に事務室を配置した片コアの平面計画である。事務室の接道面架構は建築の顔としての表現を模索した結果、環境性能・構造性能を備えた PCaPC 細柱によるアウトフレームを採用した。コアは SRC 造とし耐震壁を集中的に配置し、PCaPC 柱とコア間の事務室空間は 750 mm せいを基本とする鉄骨梁によって構成した。PCaPC 柱のサイズは意匠性・日射遮蔽性を考慮し扁平な 250 × 670 mm としている。PCaPC 柱が負担するせん断力を減らすため、柱と鉄骨梁の接合部は柱よりプレートを出し、鉄骨梁ウェブとのボルト接合のみで接合している。PCaPC 柱に接合する部分は鉄骨せいを 460 mm せいにし、ハンチ部を利用して天井を折り上げ、接道面からの自然換気口とするともに柱への鉄骨梁固定度を小さくした。また、エントランスとなる 1 階は短辺方向地震時に振られる挙動を抑制するため、耐震壁付き SRC 造とし、剛性を高めるとともに上部構造の力を各免震部材に分散させる役割を果たしている。

免震部材は天然ゴム系積層ゴムアイソレータ、錫プラグ

入りアイソレータ、直動転がり支承を採用している。上部構造の建築計画は片コアであり、接道側 PCaPC 架構は耐震要素としての水平剛性をほぼもたないため、長辺方向の地震に対し大きな偏心を生じるが、免震構造を採用することで、上部構造への入力を抑え、過大なねじれ挙動は生じさせない計画としている。

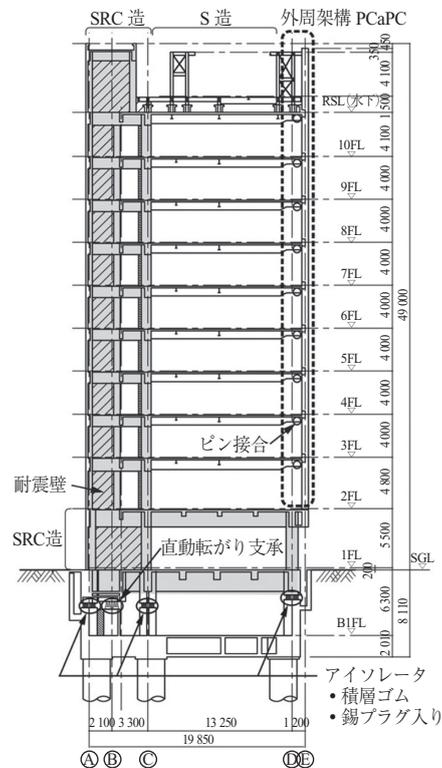


図 - 3 軸組図 (短辺方向)

なお、偏心と敷地形状に起因するアスペクト比から、コア耐震壁直下には短辺方向地震時に大きな引張力が生じるが、耐震壁直下に直動転がり支承を配置することで地震転倒時の引張力を負担させ、積層ゴムに過度の引張力が生じない計画とした。

耐震設計のクライテリアを表 - 1 に示す。

表 - 1 耐震クライテリア

		稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
上部構造	耐力	短期許容応力度以下	
	層間変形	1/200 以下	
免震層	最大相対変位	設計許容変形 (40 cm) 以下	
	引張応力	引張限界強度 (1.0 N/mm ²) に達しない	
下部構造	耐力	短期許容応力度以下	

静的解析、振動応答解析とともに立体骨組モデルを採用し、振動応答解析時には各層 1 質点、各質点 3 自由度のみ与えている (図 - 4)。免震層の積層ゴムと直動転がり支承は部材ごとに復元力を設定し、それぞれの位置に配置した。設計用地震動は告示模擬地震動 3 波、観測波 3 波、南関東



図 - 4 構造解析モデル

地震を想定したサイト波3波を採用した(表 - 2)。各地震波の応答スペクトルを図 - 5 に示す。振動応答解析の結果、極めて稀に発生する地震動時に、いずれの構造部材も設計クライテリアを満足していることを確認した。

長辺方向の偏心率は最大0.8程度と大きい、上記立体骨組モデルによる振動応答解析で、外周架構の層間変形は極めて稀に発生する地震荷重時に最大で1/700程度と非常に小さいことを確認している。

表 - 2 設計用入力地震動

地震名称	稀に発生する地震動		極めて稀に発生する地震動		
	最大加速度 [cm/s ²]	最大速度 [cm/s]	最大加速度 [cm/s ²]	最大速度 [cm/s]	
告示波	位相: HACHINOHE	85	12.1	423	60.7
	位相: TOHOKU U.	80	11.4	400	57.0
	位相: JMA KOBE	91	12.0	457	60.0
観測波	EL CENTRO NS	255	25.0	510	50.0
	TAFT CALIF. EW	249	25.0	497	50.0
	HACHINOHE NS	167	25.0	334	50.0
*1 サイト波	位相: 北海道留辺蘂	-	-	328	50.9
	位相: 陸別	-	-	397	56.3
	位相: 糠平	-	-	313	59.6

*1: 仮想南関東地震

3.2 PCaPC 架構の設計

PCaPC 架構の概要を図 - 6, 7 に示す。柱間隔は1.8 m, 断面寸法は耐火仕様を満足する250(前面)~300(最大)×670(奥行き) mmである(図 - 8)。桁行方向の梁は柱からRCの梁をだし、スパン中央を現場打ちコンクリートで繋ぐ計画とした。

PCa 柱と鉄骨梁との接合部には、アンカー筋を溶接したプレート柱内に埋め込んでおり、鉄骨梁ウェブと1面せん断接合によって接合している(図 - 9)。PCaPC 柱に取りつく鉄骨梁端部せいはハンチをつけてしほり、1面せん

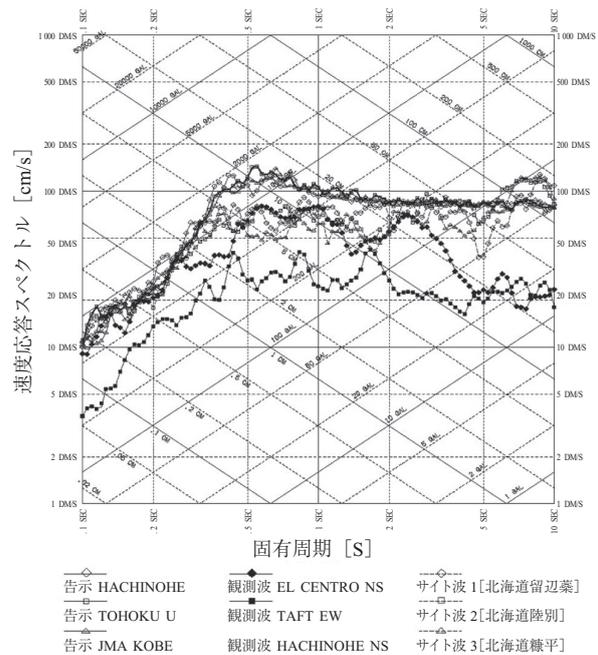


図 - 5 設計用入力地震動応答スペクトル (h = 5%)

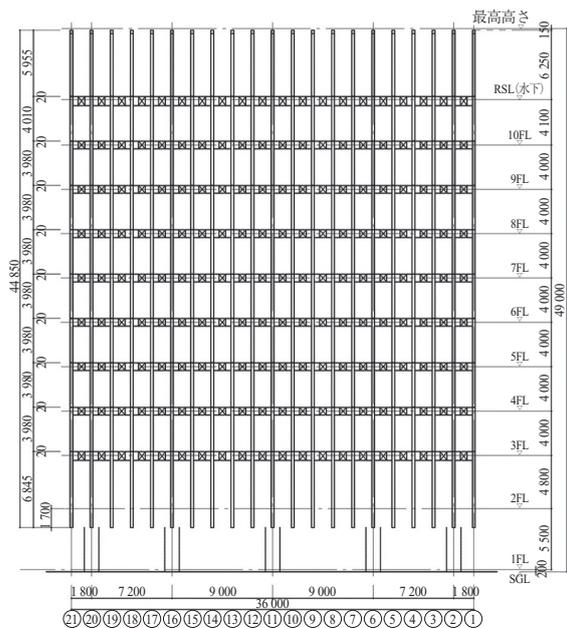


図 - 6 PC 柱割付図 (E 通り軸組図)

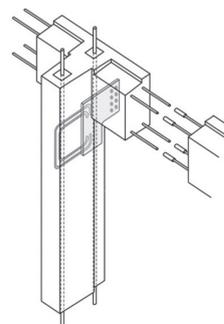


図 - 7 PC 柱概要

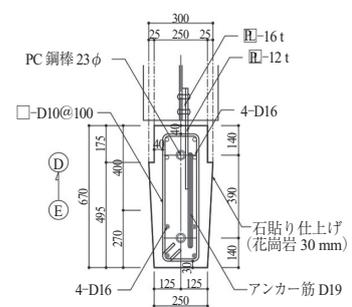


図 - 8 PCaPC 柱断面図

断接合し端部固定度を小さくすることで柱に発生する曲げモーメントが小さくなるよう計画している。局所的にみると、鉄骨梁と接合する高力ボルトのせん断力作用点と柱との距離によって偏心曲げが発生するが、その付加曲げを考慮しても柱の縁応力には余裕をもたせてある。

柱は花崗岩 30 mm を仕上げとしている。石が貼られた状態で柱が軸力を受けると、軸ひずみを生じるコンクリートと周面の石との変形差によって石にひび割れ等が発生する可能性が考えられた。そこで、仕上げの石材の裏面に緩衝材をはさむディティールとした。既往の実験によると、今回想定されるひずみは危険なレベルではなかったが、意匠上・安全上非常に重要な箇所であるため、事前にモックアップを作成し変形追随性を確認する試験を行い、危険なひずみとならないことを確認した。

PCaPC 柱は 2 階床レベルからの陸立ち柱となっており、1 階柱頭より出した片持ち SRC 梁で柱からの軸力・曲げを受けている (図 - 10)。柱は事務室側からの地震力によ

るせん断力伝達はないが、自らに発生する慣性力を下階へ伝達する必要がある、さらに 2 階柱脚には自重により大きな曲げが発生する。柱脚曲げを安全に伝達するため、2 階柱脚部には鉄骨を内蔵し、2 階の片持ち SRC 梁と接合した。

PCaPC 柱の検討は「プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計計算例 2009 年版」に準拠するとともに、細長比が 15 を超える 2 階については「鉄筋コンクリート造計算基準・同解説」に基づき応力を割り増して検討を行った。柱は繊細な断面寸法であるが、設計用軸力の最大耐力に対する比が 0.3 程度以下と大きな余裕度をもたせている。

4. 石打込み PCa 柱

4.1 石打込み PCa 柱の製造

石打込み PCa 柱は柱頭部分に T 型に梁型を有した形状となっている。製作本数は 210 ピースで、(株)建研の協力

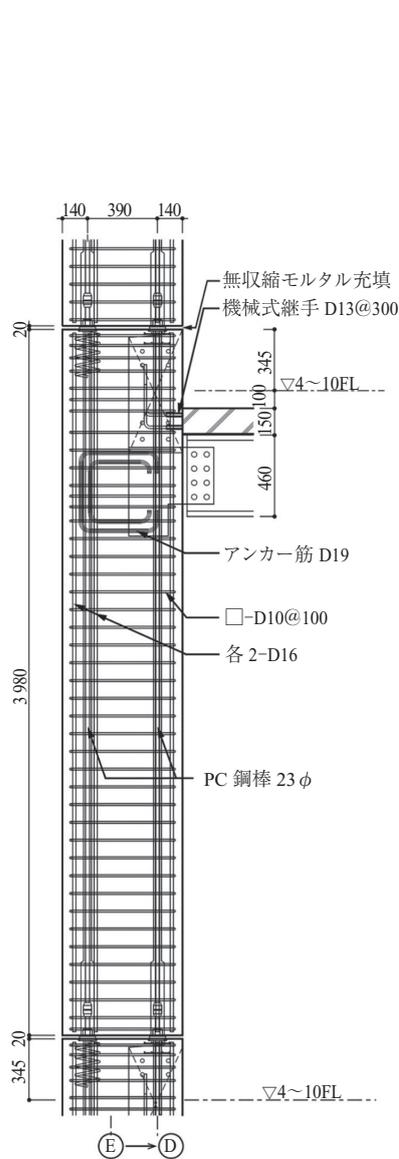


図 - 9 基準階 PC 柱取り合い詳細図

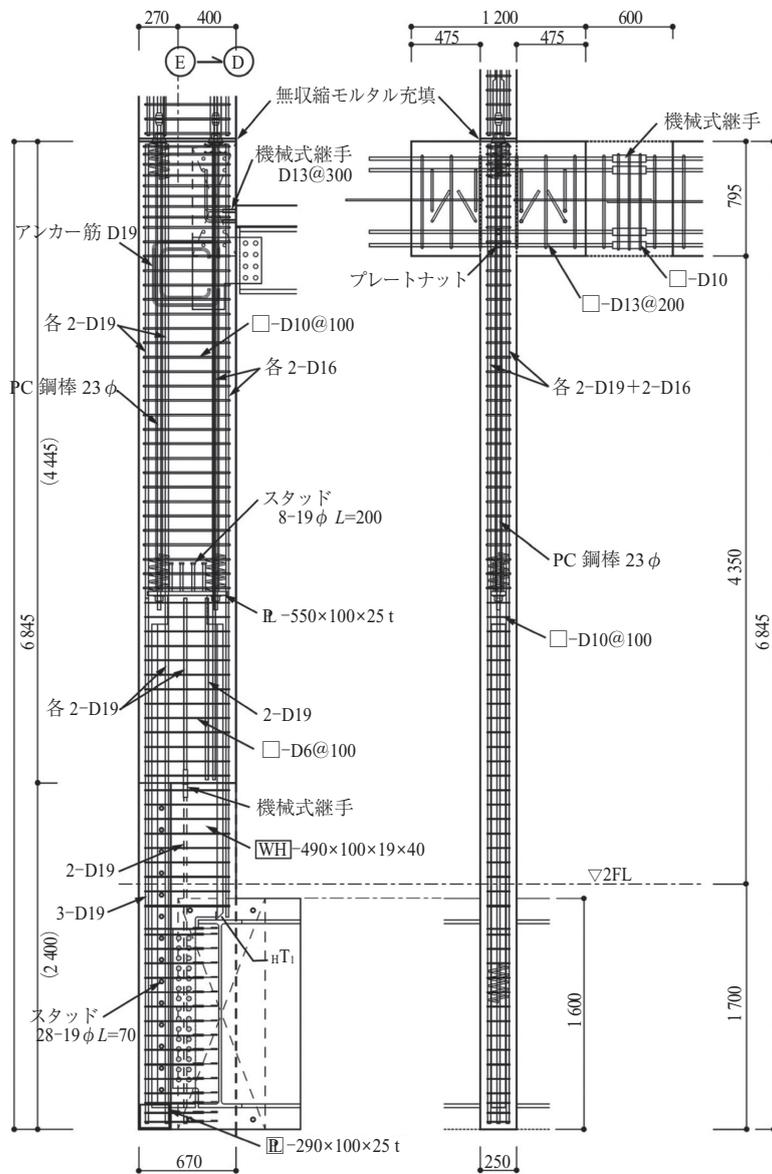


図 - 10 2 階 PC 柱取り合い詳細図

工場であるトヨタ T & S 建設(株) 海老名工場にて製作を行った。製作順序は以下のとおりである。

(1) 石材裏面処理 (写真 - 1)

- 石材の養生：屋内で2日間乾燥させた後、石の周辺をマスキングテープにより養生
- 裏面処理材（緩衝材）の塗布：厚さ2mm以上の確保
- 定着金物（シアコネクター）のセット
- 硅砂の散布：3号硅砂 750 g/m² を均一に撒く
- 裏面処理材の厚さ確認：膜厚計にて測定



写真 - 1 石材裏面処理

(2) 鋼製型枠内への石材のセット (写真 - 2)

- 石材の配置：型枠と石材の間にプラ板スペーサー
- 目地詰め：スペーサーによる設計目地巾の確保
- 目地詰め：漏れ止め材+裏面処理材によるシーリング



写真 - 2 型枠内石材のセット

- (3) 配筋およびシース管のセット
- (4) コンクリート打設・締固め、仕上げ
- (5) 蒸気養生：50℃以下に設定
- (6) 脱型：15 N/mm² 以上の確認 (写真 - 3)
- (7) ストック養生：(写真 - 4)

石材の縦目地部は45度カットされており欠けが生じやすいために、ストック時や運搬時には、端角材を製品巾内に納める専用の架台を製作し固定した。

4.2 緊張導入実験

製造に先立ち、石材の変形追従性および、ひび割れ、はく落等の有無を確認するために実大モックアップ試験体による緊張導入実験を行った。



写真 - 3 脱型



写真 - 4 ストック状況

試験体は原設計のPC 導入力 600 kN に対し、

- No.1 ~ No.3 試験体：3 倍の緊張力 1 800 kN（圧縮応力度 $\sigma = 10 \text{ N/mm}^2$ ）を与える試験体
- No.4 ~ No.6 試験体：5.5 倍の緊張力 3 300 kN（圧縮応力度 $\sigma = 18.3 \text{ N/mm}^2$ ）を与える試験体の計 6 体である (図 - 11)。

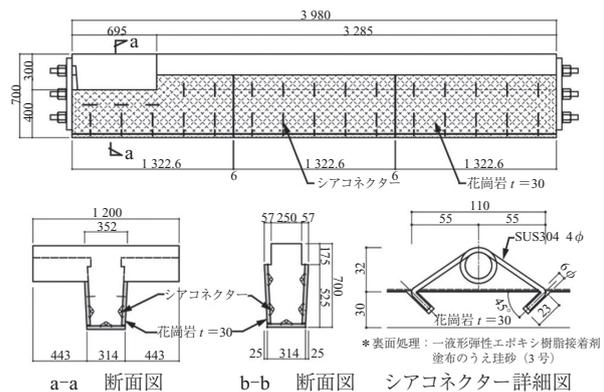


図 - 11 試験体形状図

実際の設計では 23 φ の PC 鋼棒 2 本を配するところを 40 φ の PC 鋼棒により No.1 ~ No.3 試験体では 2 本, No.4 ~ No.6 試験体では図 - 11 に示すように 3 本配置して緊張力を与えた (写真 - 5)。

ひずみゲージの位置図を図 - 12 に示す。側面の各石材中央表面に一枚ずつ軸方向に貼付し、モールドゲージはコ



写真 - 5 実験状況 (No.3)

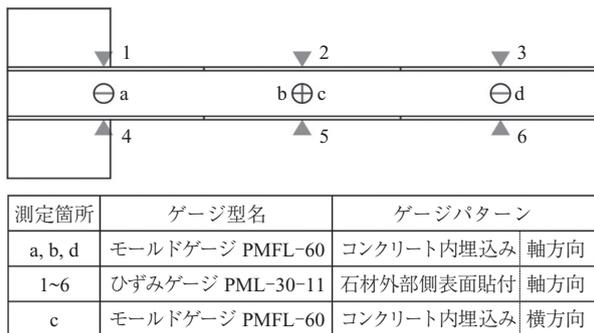


図 - 12 歪ゲージ位置図

ンクリート断面の中央に埋め込み軸方向に3カ所、断面幅方向に1カ所とした。ゲージの測定はジャッキ緊張力の増分に従い、細かく測定した。また、最終緊張導入時には試験体の軸縮み量をスティールメジャーにより計測した。

実験結果を代表してNo.1とNo.4試験体の荷重-ひずみ関係のグラフを図-13に示す。軸縮み量計測値はNo.1~No.3の平均値が1.16mm、No.4~No.6が1.92mmであり、計算値の1.22mm、2.23mmとほぼ一致した。また、軸縮み量のひずみ換算値はそれぞれ306 μ 、561 μ となり、図-13のモールドゲージ最終値とよく一致している。これに対し石材のひずみ値は1/10以下の小さい値となっており、裏面処理材の縁切り材としての機能が効果的に働い

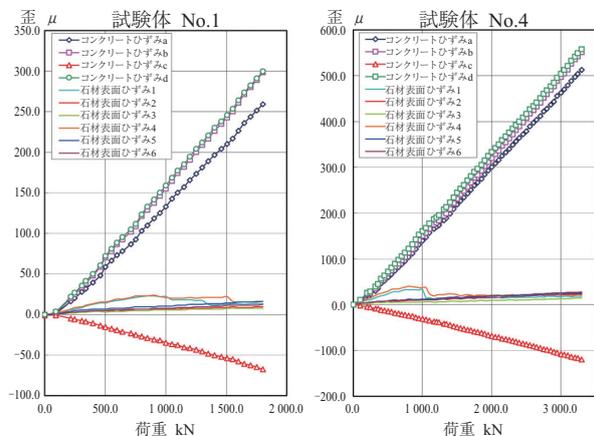


図 - 13 試験体の荷重-歪関係

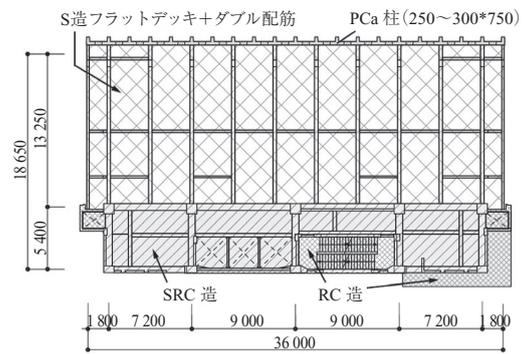
ていることが確認された。また、石材の追従性には問題はなく、試験終了時まで石材に何ら支障は生じなかった。

5. 施工計画

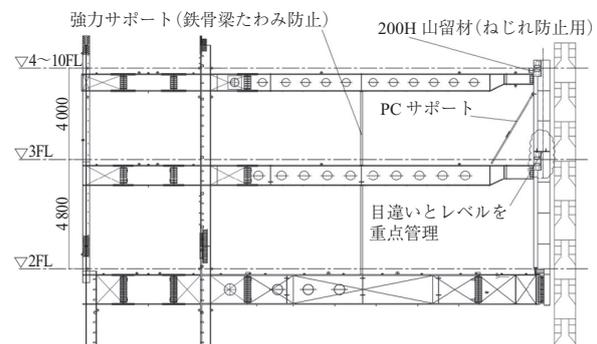
PC柱の石貼外装は本建物の正面となる重要な部分に配置されているため、その建方精度の確保がこの建物の大きなポイントとなる。

5.1 仮設・工程計画

本建物はコア部のSRC部とPC柱をロングスパンの大梁にて接続する納まりであり、SRC部は節ごとに建方を行い、ロングスパン大梁とPC柱はフロアごとに建方を行う計画とした(図-14)。



(a) 略梁伏図



(b) 断面図

図 - 14 PC柱建方計画

作業フローとしては、外部足場を先行で組立てし、PC柱、ロングスパン大梁の取付けを行った後、PC柱の調整、目地グラウト、PC鋼棒緊張を経て、次フロアのPC柱建方を行う計画とした。なお、2階柱脚のみは高力ボルト接合+溶接接合を行った(図-15)。

仮設計画として、PC柱はX、Y方向にPCサポートを設置することにより調整し、PC柱頭部分のねじれ対策として200H山留材を配置した(写真-8)。また、ロングスパン大梁の鉛直方向のたわみを懸念し、ロングスパンの中央部に強力サポートを設置する計画とした。なお、2階については溶接接合があるため、事前に柱頭部分を油圧ジャッキにて支持し、溶接の熱影響を軽減できるよう計画した(図-16)。

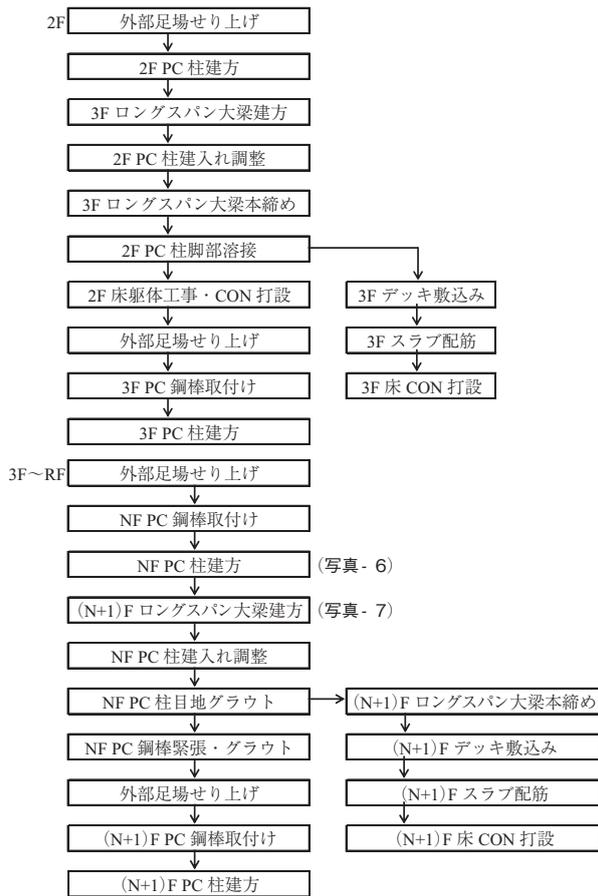


図 - 15 作業フロー図

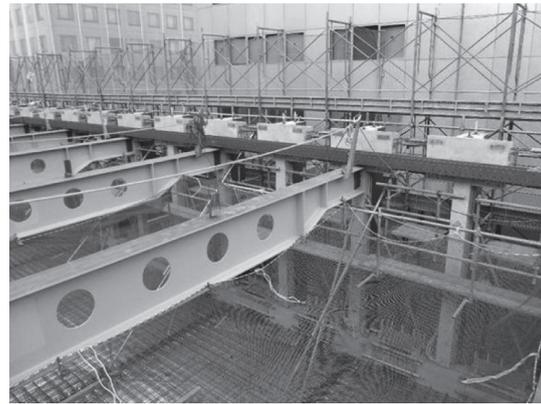


写真 - 7 ロングスパン大梁取付け状況



写真 - 8 PC 柱頭部ねじれ防止鋼材取付け状況
外部側水系設置状況

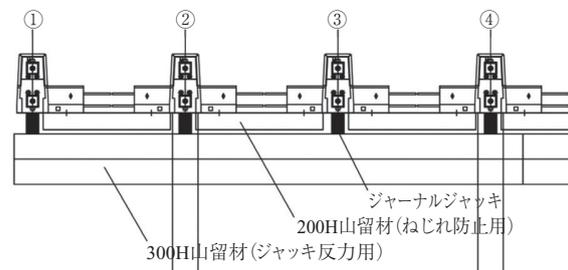


写真 - 6 PC 柱建方状況

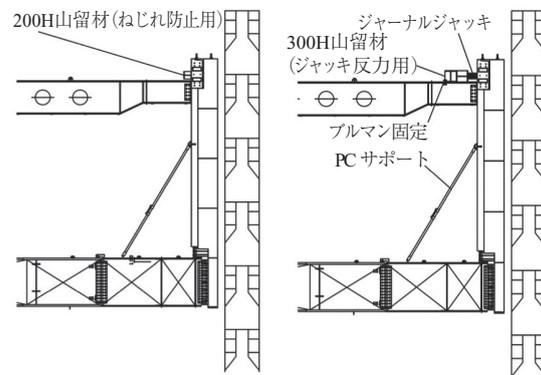
5.2 建方・精度管理

PC 柱の建方精度管理においては、水平位置・レベルの許容値を ± 3 mm とし、柱頭、柱脚部での建方精度も ± 3 mm 以内を目標とした。

測定方法は、柱脚・柱頭共に X、Y 方向をトランシットにより確認し、さらに Y 方向においては水系を張り放しにして、本締め・溶接・ロングスパン大梁接合・PC 鋼棒緊張・デッキスラブコンクリート打設と現場の状況が変わる度に直ちに計測し、変位を確認できるようにした。また、レベル管理は、図 - 17 に示すように、M20 のインサートを柱

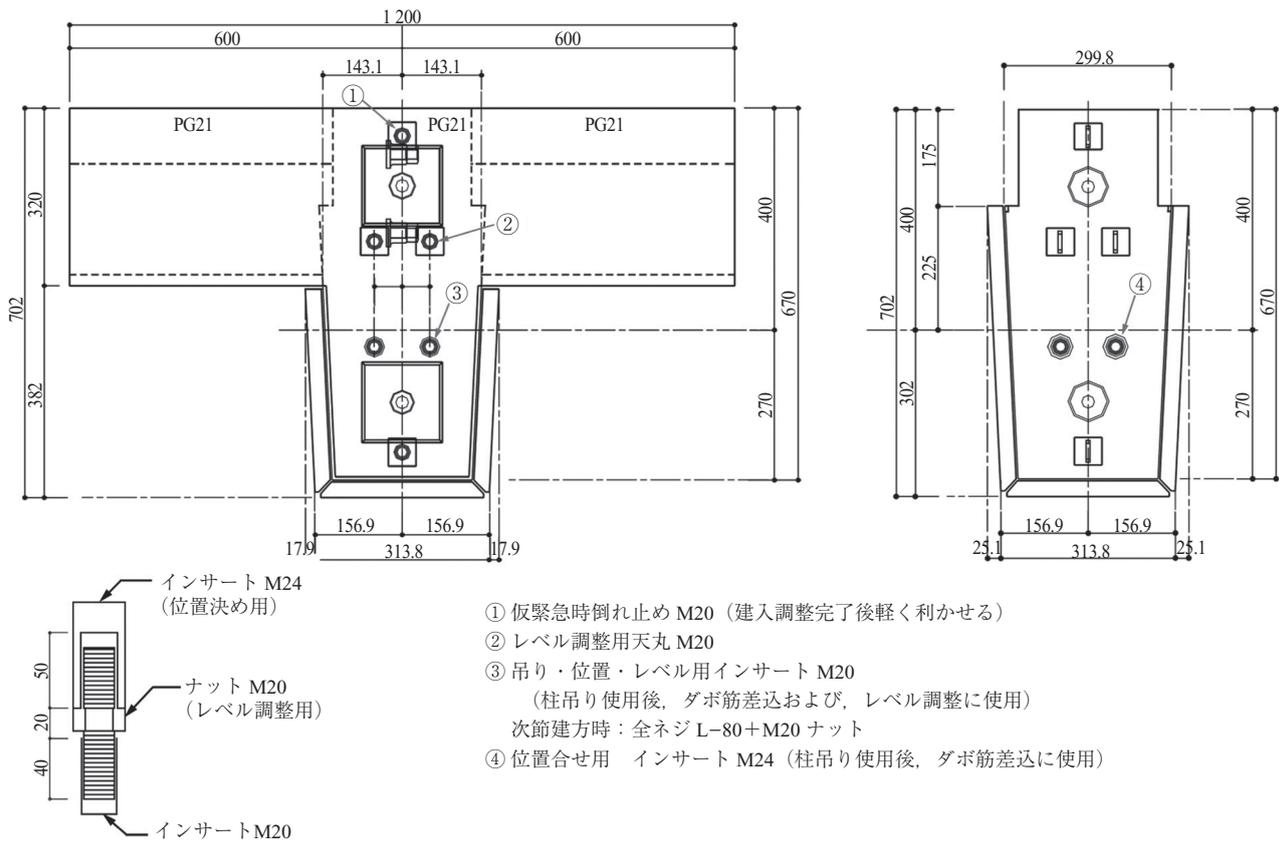


(a) 平面図



(b) 断面図

図 - 16 2階 PC 柱仮設計画



頭に6カ所埋め込み、中央部4カ所をレベル調整ボルトとし、建方前にレベルを合せておくことにより行った。残りの2カ所のボルトは調整後PC柱下部に合わせることでぐらつきや転倒防止を図った。なお、この中央部4カ所の内、2カ所のインサートについては、建方後の横ずれや転倒防止用のだぼピンとしての役割をするようにPC柱脚部にワンサイズ大きいM24のインサートを埋込み、下部柱の柱頭に取付したM20の全ネジが上部柱の柱脚に差し込める形とした。

上下PC柱接合に際して目違いが懸念されるため、写真-9にあるように接合部の上下をまたぎ、挟み込むように板状の治具を作成することにより、建方時玉掛けを解放する前に調整できるように計画した。目違い精度管理は、1mm以内を目標とした。

6. おわりに

地区の新たなアイコンとなる先進的な建築を実現するため、接道面の柱を日射遮蔽性能をもつPCaPC柱とする事務所ビルを計画した。柱は石打込み仕上げであり、高い品質・施工精度が求められたが、緊張実験や綿密な施工計画によってそれを確認・実現できた。

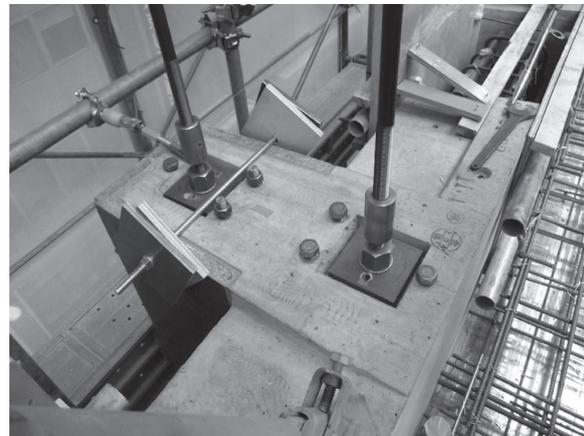


写真 - 9 レベルボルト取付け状況
目違い防止ガイド材取付け状況

PCaPC柱の設計・製作・施工にあたり、魅力的な建築実現のため、高い品質・施工精度の実現に尽力くださった皆様に深く感謝いたします。

【2012年5月12日受付】