

PCaPC 梁+S 梁ハイブリッド架構の設計・施工

— 日亜化学工業諏訪技術センター —

奥出 久人*1・九嶋 壮一郎*2・佐々木 淳一*3・今村 雅泰*4

PC 構造の特性を活かして、S 造とのハイブリッド架構とすることで、28.8 m スパンや 6.4 m 跳出しを有する空中に浮遊したダイナミックでフレキシブルな構造躯体を構築し、諏訪湖の眺望を一望できる開放的な執務空間を実現した。施工面においては部材の PCa 化率を高めることで、寒冷地における躯体工事の省人化と精度確保による品質向上を図った。

キーワード：PCaPC 梁，混合構造，ロングスパン，省人化

1. はじめに

本建物の敷地は、長野県諏訪湖北東岸であり、前面に広がる諏訪湖と背後にそびえる信州の山々に挟まれた自然豊かな場所である。建物は、LED に関して世界トップシェアである日亜化学工業の LED や LD（レーザー・ダイオード）を使った応用商品の開発を行う技術センターである。

自然豊かな地域環境と共生するフレキシブルで良好な研究環境をつくり、知的生産性を向上させることを目的として、諏訪湖を一望できる、空中に浮遊したダイナミックでシンボリックな技術センターを創造した。

プレキャストプレストレストコンクリート（PCaPC）造の採用により、空中に浮かせたメインの執務空間の居住性を向上させるとともに、構造部材の数と断面を最小限とすることでフレキシブルな空間を実現した（図 - 1、写真 - 1）。

また、PCaPC 造と鉄骨（S）造を適材適所で組合せることで躯体をプレキャスト（PCa）化し、現場作業を削減することで、寒冷地での施工効率・品質を向上させつつ、労

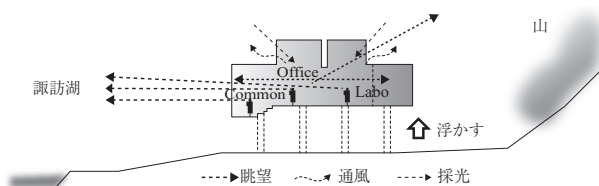


図 - 1 設計コンセプト図

務職不足を克服する省人化を実現した。

2. 建築概要

- ・建物名称 日亜化学工業諏訪技術センター
- ・建設地 長野県諏訪郡下諏訪町
- ・設計施工 (株) 竹中工務店
- ・建築面積 2 625.44 m²
- ・延床面積 4 002.86 m²
- ・最高高さ 15.00 m
- ・階数 地下 1 階，地上 2 階，塔屋 1 階
- ・構造種別
 - B1 階～2 階床：鉄筋コンクリート造・一部プレキャストプレストレストコンクリート造
 - 2 階～R 階：鉄骨造



写真 - 1 建物全景



*1 Hisato OKUDE

(株) 竹中工務店
設計部 構造部門



*2 Souichirou KUSHIMA

(株) 竹中工務店
設計部 構造部門



*3 Junichi SASAKI

(株) 竹中工務店
設計部 構造部門



*4 Masayoshi IMAMURA

(株) ピーエス三菱

3. 建築計画

建築計画におけるデザインコンセプトは「良好な研究環境づくり」と「知的生産性の向上」の2点である。これらを実現するために以下のポイントを建築計画に採用した。

①良好な研究環境づくり

- 主機能を1フロアにまとめ、上部へ持ち上げることで諏訪湖への良好な眺望を確保
- 周囲の豊かな自然環境を取込みながら、採光、通風、多様な場を生み出す断面構成
- 周囲の自然環境と繋がるランドスケープとピロティ空間

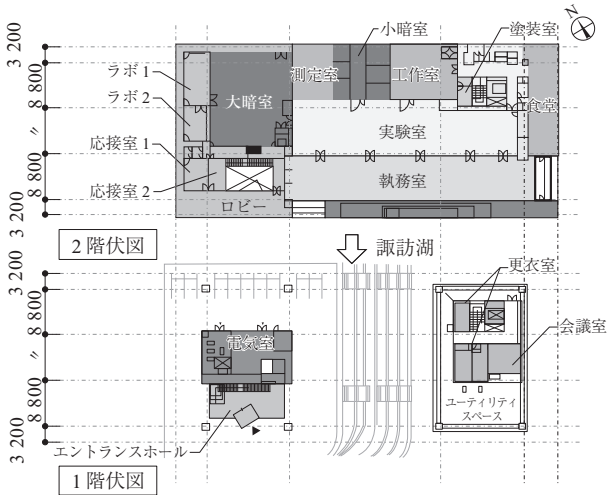


図 - 2 各階伏図

②知的生産性の向上

- 湖と山に挟まれた敷地環境に呼応した、創造や閃きを促すゾーニング
- ワンフロアに集約した各機能空間をシームレスにつなぐことで、研究者の閃き・行動をサポートする空間
敷地東西は約3mのレベル差があり、その段差を挟んで東西に2つのコアを配置することで、来客用と従業員用の動線を区別している。それらのコアに支えられる形で、2階レベルで建物は一体となっており、28.8mというロングスパンの上に執務スペースを配置している (図 - 2, 3)。

4. 構造計画

4.1 全体計画

メインの執務空間である2階は周囲の自然環境を取込み開放的な空間とし、その執務空間を浮かせるための1階およびB1階は最小限の用途とする建築計画に対して、部位ごとに最適な構造種別を組み合わせた (図 - 4)。

1階およびB1階は用途を最小限としつつ2階執務空間を浮遊させるために、東西コア部分のみで構成している。コア部分は純ラーメン構造とし、2階の執務空間を支持す

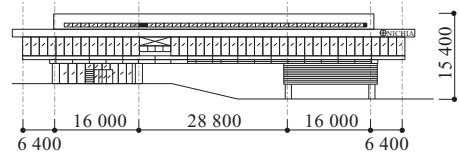


図 - 3 南立面図

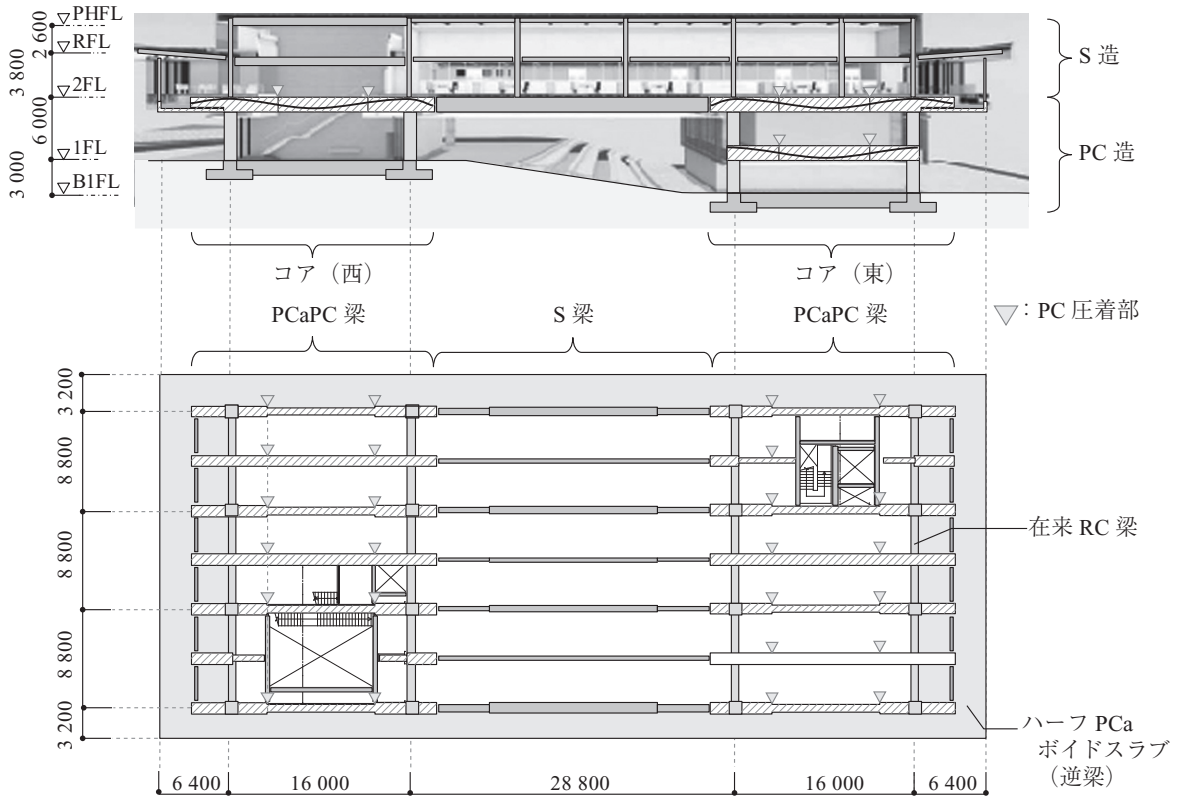


図 - 4 建物断面パース・2階床伏図

る耐力と剛性を確保するために RC 造（柱 PCa、梁 PC）とした。

東西コア部分の建物長手方向の梁 12 本は、3 分割の PCa 部材をポストテンション方式による圧着工法で一体化する PCaPC 梁を採用した。PCaPC 梁を用いることで各コアの柱本数をそれぞれ 8 本に低減し、柱スパン 16 m における梁成も最小化した。

PCaPC 梁に直交する建物短手方向の大梁は現場打ち RC 梁とすることで、PCa 柱梁架構の施工誤差を調整し、コスト増加を抑制した。また、2 階レベルで東西のコアを結ぶ 28.8 m のロングスパンは、PCaPC 梁の跳出しと S 梁の組合せにより軽量化を図った。

2 階外周部はすべてハーフ PCa ボイドスラブによる跳出し構造とし、東西面は PCaPC 梁とスラブを逆梁として組み合わせることで、6.4 m の跳出し構造を実現した。また、2 階床の大部分は逆梁とすることで、床下空調などの建築・設備計画と合せた構造計画とした（写真 - 2）。

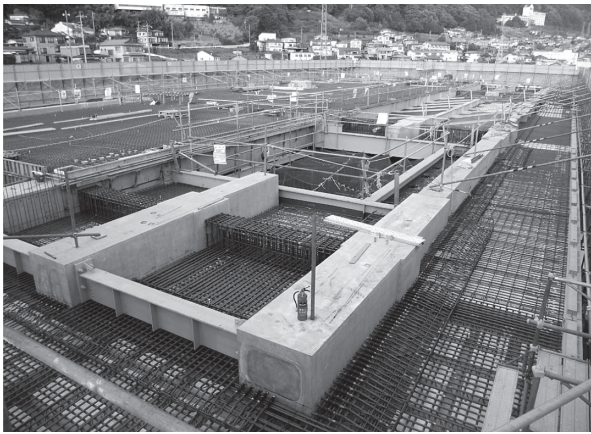


写真 - 2 2 階躯体施工状況

2 階から上部の架構は、周囲の自然環境を取込む開放的な空間を実現するために S 造とし、ブレースを有するラーメン構造で軽快な架構とした。柱の最小径は $\phi 139 \text{ mm}$ とし、開放的な空間を構成すると同時に、軽量の躯体で構成することで下部躯体の負担荷重を低減した。

4.2 ロングスパン梁の構成

本建物ではロングスパン架構を構築するために、ゲルバー橋の考え方を採用した。東西それぞれのコアから跳出した PCaPC 梁をピン接合の S 梁で結び、建物中央部の 28.8 m ロングスパン部を構成した。さらに、建物東西端部の 6.4 m 跳出し部分についても、跳出し長さの半分である 3.2 m まで逆梁形式の PCaPC 梁を跳出し、コア部分のラーメン架構の長期応力をバランスさせた（図 - 5、6、写真 - 3、4）。

S 梁は上部居室の居住性を考慮して H 形断面とし、最大梁成 1 800 mm とした。

PCaPC 梁の断面寸法は 850 mm \times 1 500 mm、コンクリート強度は $F_c 60 \text{ N/mm}^2$ とし、柱梁接合部一体型の PCa 部材を工場製作した後、現場建方・緊張を行った。PCaPC 梁の全長は 2 階で 21.4 m であるが、3 分割し、緊張時にブ

レストレスにより圧着することで施工性を向上させた。

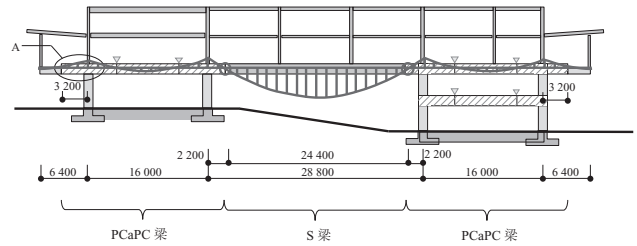


図 - 5 2 階 PCaPC 梁と S 梁の長期応力図

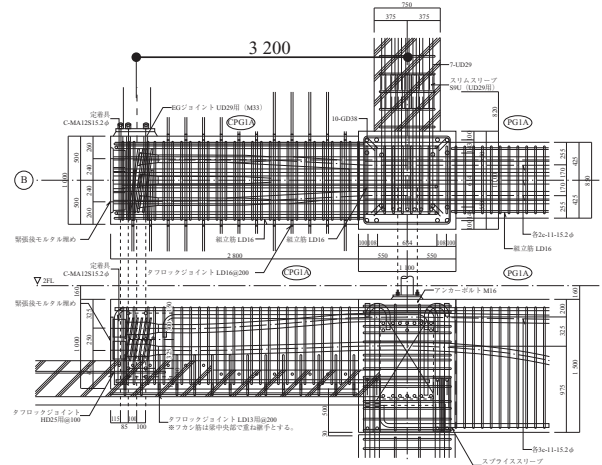


図 - 6 A 部詳細図



写真 - 3 PCaPC 梁と S 梁 全景



写真 - 4 PCaPC 梁と S 梁の接合部

4.3 中央28.8mスパン側のPCaPC梁跳出し長さの決定

2階PCaPC梁の長さは、①応力状態が最適となる長さに対して、②PCaPC梁の納まりを改善しつつ断面性能を最大限活用できる長さを検討し、2.2mと決定した。

① 応力状態が最適となる長さ

2階PCaPC梁は1スパンの架構であるため、両側の跳出し部分の長期応力が等しいときがもっともバランスが良い状態である。妻面は建築計画上6.4m跳出しが決まっていたため、その応力と釣り合わせるために最適な建物中央側の跳出し長さは1.7mであった。

② PCaPC梁の断面性能を最大限活用できる長さ

建物中央側の跳出し部は、PCaPC梁の配筋とシース管、PC鋼線の定着部やS梁のアンカーボルトが密集するため、1.7mでは納まりが悪く、PC鋼線を理想的な位置へ配置できなかった。そこで跳出し長さを2.2mまで伸ばして納まりを改善することで、応力は大きくなるが、応力に対して最適な位置（片持ち梁の上端）へPC鋼線を配置することで耐力を上げ、PCaPC梁の断面性能を最大限に発揮させることで効率の良い部材断面とした（図-7）。

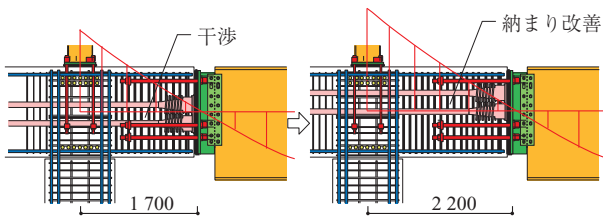


図-7 PCaPC梁とS梁の接合部

①、②の両面から断面性能を最大限活用できるように設定したPCaPC梁の跳出し長さであるが、跳出し長さを伸ばすことで建物中央部のロングスパンS梁を短くできるため、梁の剛性と、床の振動性能を向上させることができた。

汎用有限要素解析プログラム(midas)を用いたFEM解析により、固有振動数は4Hzを確保した。施工後の実測値は4.25~5.40Hzであった。なお、2階ロングスパン中央部にはTMD(有効質量1t)を6基設置し、執務室としての居住性をさらに向上させる配慮を行っている(図-8)。

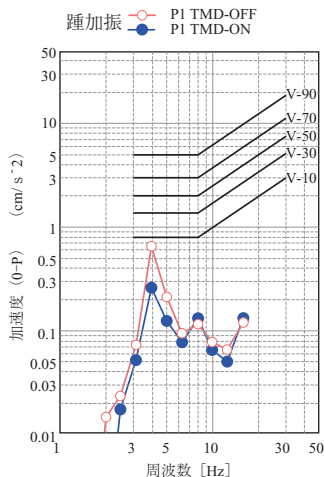


図-8 床振動性状

4.4 6.4m跳出し構造

2階外周床はすべて跳出し構造となっている(写真-5)。跳出し構造にはハーフPCaボイドスラブを採用することで自重を低減し、裏面を化粧打放しとする意匠性とも整合させている。

東西面は6.4mの跳出し長さとなっており、支持点側3.2mまではPCaPC梁を4.4m間隔に逆梁形状で配置し、その先にハーフPCaボイドスラブを設置することで、6.4mの跳出しを実現させている(写真-6)。跳出しPCaPC梁の先端は鉄骨小梁で連結し、鉄骨小梁を中心にスラブを天秤形式で支持することで、実質のスラブ跳出し長さを3.2m程度となる納まりとした(図-9, 10)。

南北面は3.2mの跳出し長さとし、ハーフPCaボイドスラブによる跳出しスラブとして成立させている。

また、跳出しをすべて逆梁形式とすることで、執務空間の床下を空調スペースとする建築・設備計画と構造計画を融合させた。



写真-5 6.4m跳出し見上げ



写真-6 6.4m跳出し部配筋状況

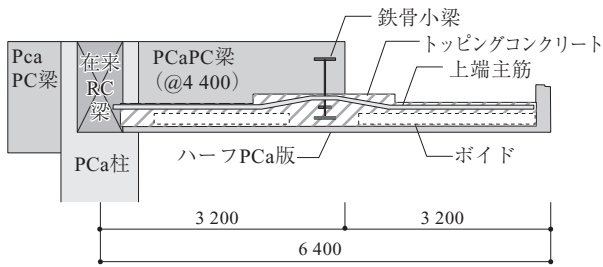


図 - 9 6.4 m 跳出し部詳細

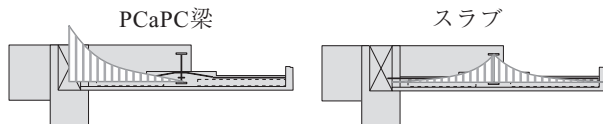


図 - 10 6.4 m 跳出し部応力状態

各施工段階に応じた跳出しスラブ先端の変形状態を確認するために、汎用有限要素解析プログラム (midas) を用いて FEM 解析を行った (図 - 11, 12)。

施工順序を考慮し、ハーフ PCa ボイドスラブのトッピングコンクリート打設完了・コンクリート強度発現までは支保工で支持するものと想定した。スラブ自重、屋根鉄骨荷重、外装荷重、仕上げ荷重、積載荷重それぞれが作用し

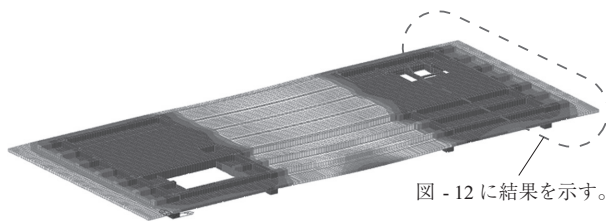


図 - 11 解析モデル図

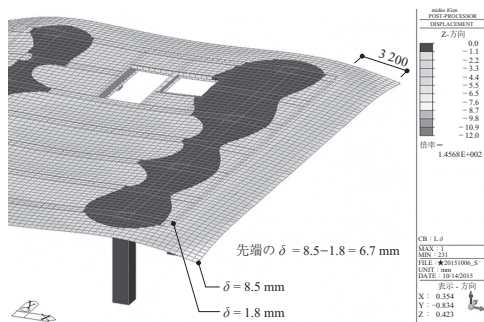


図 - 12 解析結果

た場合の変形を算出し、施工計画に反映させた。

変形量が大きく現れるロングスパン中央部分の 3.2 m 跳出しスラブ先端と、建物 4 隅の 6.4 m 跳出し部先端については、それぞれ施工時にむくりを指定した。ロングスパン S 梁はたわみ量に応じて最大 25 mm のむくりを設けた。4 隅の 6.4 m 跳出し部についても、トッピングコンクリート打設時に最大 10 mm レベルを上げてコンクリートを打設することで、初期の弾性たわみを均一化した (写真 - 7)。施工後の実測値は解析値と精度良い対応を確認できた。

5. 施工概要

5.1 PCa 部材の製作

部材の形状、および配置を図 - 13 に示す。また、部材数量表を表 - 1 に示す。

表 - 1 部材数量表

階 - 工区	部位	部材数 (P)	部材重量 (t)	総重量 (t)
B1F - 東	柱	8	7.75~10.04	63.96
1F - 西	柱	8	14.16~15.05	115.71
1F - 東	柱	8	9.52~10.16	78.72
1F - 東	PG 梁	12	9.91~20.05	162.42
2F - 西	PG 梁	12	15.80~24.13	236.26
2F - 西	PB 梁	8	13.70~19.34	130.22
2F - 東	PG 梁	12	15.80~24.13	236.26
2F - 東	PB 梁	9	4.6~19.34	135.33
2F - 東	床	11	5.06~8.51	63.22
2F - 西	床	11	5.14~8.51	68.63
2F - 南	床	12	4.73~6.27	60.21
2F - 北	床	12	4.72~6.27	59.89

PCa 部材の製作は、PCa 柱部材を川岸工業 (株) 筑波工場、PCaPC 梁部材をピー・エス・コンクリート (株) 茨城工場、PCa 床部材を (株) ヤマックス埼玉工場にて行った。

PCa 柱部材は、1 層目の部材に意匠として東西面に突起形状が設けられているため (写真 - 8)、打設方向を北面側に統一した。

PCaPC 梁部材は柱梁接合部が一体化した部材として計画されていたが、型枠数の転用を考慮して大梁 (PG) と小梁 (PB) の部材が同じ形状となるよう設計時に配慮したため、PG シリーズおよび PB シリーズは同じ型枠で製作を行うことが可能であった。



写真 - 7 建物正面跳出し先端

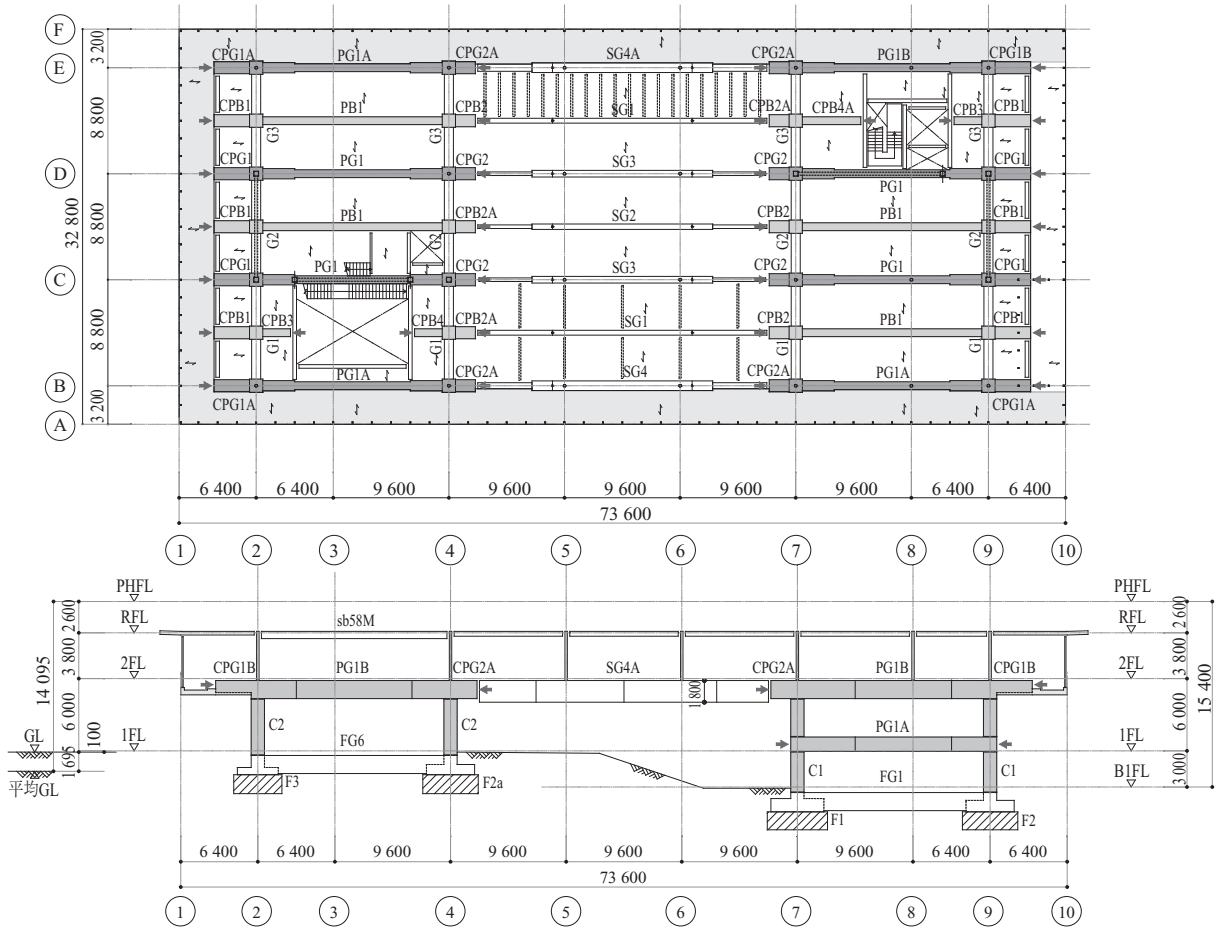


図 - 13 部材配置図

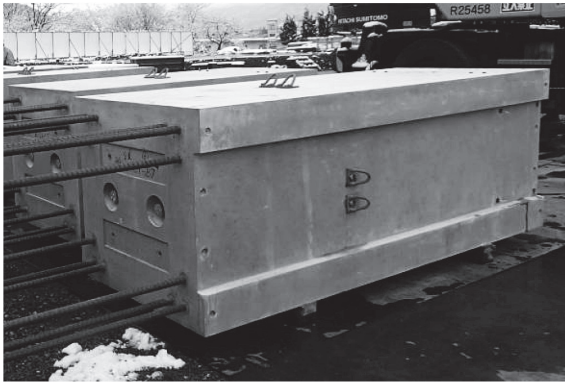


写真 - 8 柱部材の突起形状

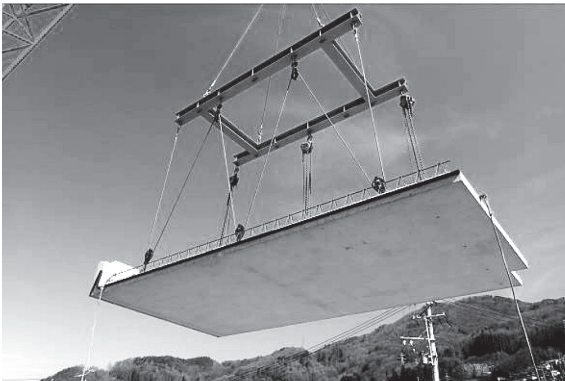


写真 - 9 PCa 床部材吊り治具

PCa 床部材は隅部の片持ち床部材が 6.4 m × 3.2 m と大きく、さらに跳出し先端部 2 辺に立ち上がりが設けられている。そのため、脱枠時に部材が傾くことから、特殊な治具を用いて脱枠を行った。なお、この治具は部材の建方時にも使用した (写真 - 9)。

5.2 PCa 部材の建方

架設計画図を図 - 14 に示す。

敷地条件として、施工現場前の搬入路に渡る高木橋の耐荷重量が 25 t であること、敷地の南側に中央本線が敷設されていること、また、東西の敷地に 3 m の高低差があることが、PCa 部材の建方計画で解決しなければならない課題であった。

搬入路の耐荷重量に対しては、全長 21.4 m (約 65 t) とする PCaPC 梁は設計段階において、3 分割のブロック分割で設計されており、1 部材重量は 25 t 以下として計画することができた。

南側の中央本線および高低差に対しては、主な PCa 部材の架設を東西側から行うこととし、とくに、南側からの架設は制限した。

上記を実現するためのクレーンとして、能力 200 t クローラクレーンを採用した。

各部材の建方手順は、① PCa 柱部材架設、② PCa 柱脚目地モルタル注入、③ PCaPC 梁部材架設、④ PCaPC 梁目地モルタル注入、⑤ PC 鋼線の緊張、⑥ PCa 柱頭目地モル

タル注入，⑦桁方向場所打ち RC 梁打設および床の施工，⑧ PCa 床板敷設，⑨ トッピングコンクリート打設，とした。

なお，2階においては，東西の PCa 片持ち床板が PCaPC 梁の下端に架設されるため，③ PCaPC 梁部材架設前に敷設を行った。

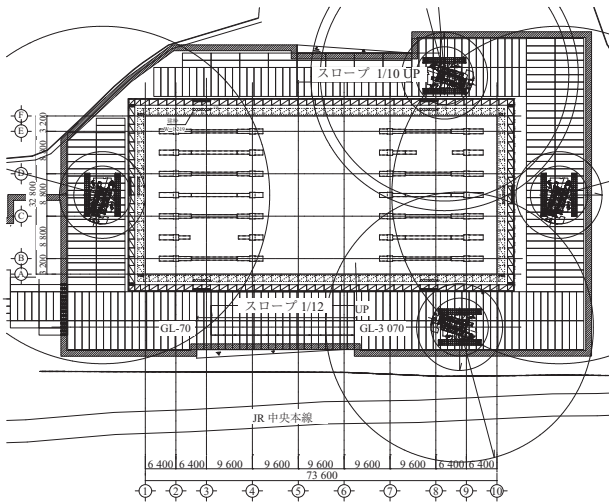


図 - 14 架設計画図

5.3 PCa 柱の目地モルタル強度管理

PCa 柱の柱脚にはモルタル充填式機械式継手を用いた。機械式継手のモルタルと目地モルタルは同じ材料を用いており，PCaPC 梁の架設は，モルタルの強度が 30 N/mm² 以上確保されたあとに行うことが必要であった。なお，PCa 部材の建方工事は 3 月であり，長野県諏訪郡の 3 月の平均気温は 3.4℃であった。そのため，材齢 1 日のモルタルの発現強度は 10 N/mm² 以下であり，モルタルの強度発現が PCa 部材建方工程のクリティカルになることが予想された。また，モルタルの凍結も懸念されたため，PCa 柱脚目地内に温度センサーを埋設し，モニタリングを行った。なお，凍結防止処置としては，モルタル充填後に目地部分に直接外気があたらぬようシートで覆い採暖養生を行った（写真 - 10）。



写真 - 10 PCa 柱脚部採暖養生

温度センサーによるモニタリング結果をもとに，打設時間から任意時間後の平均温度を測定し，推定圧縮強度が 30 N/mm² 以上であることを確認した。さらに，圧縮強度確認用のモルタル供試体による圧縮強度を確認することで，目地モルタルの強度管理を行った。

5.4 PCaPC 梁の緊張工事

PCaPC 梁部材は内法スパンの 1/4 の位置でブロック分割されており，架設時には支保工にて支持した。プレストレスによる不静定応力を生じさせないように，柱頭の目地モルタルを注入する前に PC ケーブルを緊張するため，プレストレスによる変形により，柱頭部が内側に 3.3 mm 移動することが計画段階から算出された。そのため，PCaPC 梁部材は柱頭部分で外側に 3 mm ずらして架設した。

また，PCaPC 梁部材と PCa 柱頭部の目地には，複層に分けた鋼製ライナーを用い摩擦を低減することにより，プレストレスによる変形を拘束しないように対処した。そのほか，PCaPC 梁目地位置に設けた支保工が，緊張時にプレストレスによる変形を拘束しないよう注意した。

以上により，緊張後の部材の建方精度を ±5 mm 以下で行った。

なお，緊張工事は床の施工前に行うことから，施工時荷重と設計時荷重とで応力状態が大きく変わる。圧着目地部は内法スパンの 1/4 点としていたため，応力の変化は少ないが，複数のケーブルが配置されていることから，緊張順序により圧着目地部に過度な引張応力度が発生しないよう配慮した（図 - 15，写真 - 11）。

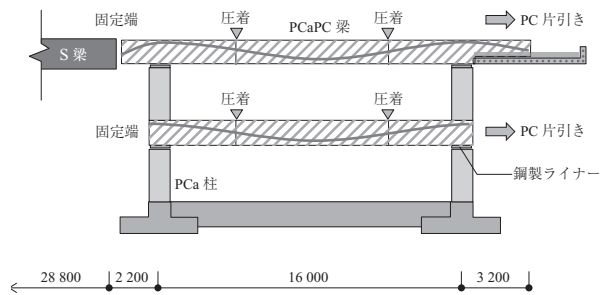


図 - 15 PCa 柱・PCaPC 梁 架構図

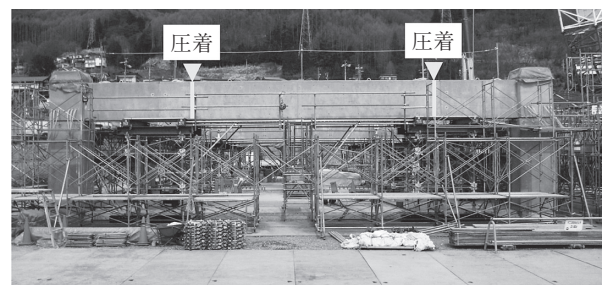


写真 - 11 PCa 柱と PCaPC 梁の架設状況

5.5 PCaPC 梁と鉄骨部材の取合い

2階において，東西の PCaPC 造による 2 棟は，約 24 m スパンの S 梁で接続された。PCaPC 梁の緊張端部において，S 梁と取り合うために，PCaPC 梁部材にアンカーボルトを埋設した（図 - 16）。なお，アンカーボルトを埋設する端部には緊張用の定着体が設けられているため，定着体を避けた位置にアンカーボルトを配置し，ベースプレートおよびガセットプレートを取り付けた。アンカーボルトは部材の製作時に鋼製枠に固定したため，製作精度 ±5 mm 以下で施工できた（写真 - 12）。

また、2階から立ち上がる鉄骨柱のアンカーボルトもPCaPC 梁部材に埋設され、精度よく架設された。

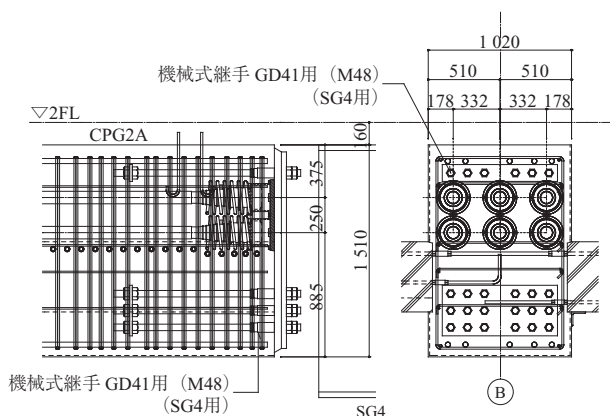


図 - 16 アンカーボルト納まり図



写真 - 12 PCaPC 梁と鉄骨部材の取合い

5.6 PCaPC 梁と PCa 床部材の取合い

2階の建物外周部に配置されたPCa床部材は、片持ち床としてPCaPC 梁に接続された。東西に配置されたPCa片持ち床は、PCaPC 梁部材の下端に配置されており、PCaPC 部材下端に設けられたジベル筋を介して支持された。なお、PCa 部材の下端にジベル筋を設けることから、PCaPC 梁には機械式継手が埋設されており、架設前に地組みにてジベル筋を取り付け加工した(写真 - 13)。またPCa片持ち梁の定着筋も同時に挿入し、PCaPC 梁を架設した。

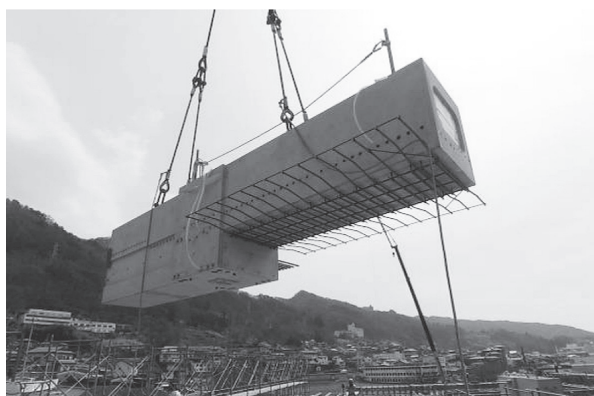


写真 - 13 PCaPC 梁下端の定着筋

PC 鋼線の挿入および緊張作業は、このPCa床部材を足場として安全に施工できた(写真 - 14)。



写真 - 14 PC 鋼線挿入状況

また、南北に配置されたPCa片持ち床の上端の定着筋は、PCaPC 梁の側面に100mm以下の間隔で配置された(写真 - 15)。PC 鋼線は曲線配置しているため、定着筋と干渉することから、定着筋の設けられる位置を事前に確認し、下端の定着筋についてはPCa片持ち床のトラス筋およびボイドとの干渉も避けるよう計画を行った。



写真 - 15 PCaPC 梁側面の定着筋

6. おわりに

PC構造の特性を活かして、S造とのハイブリッド架構とすることで、28.8mスパンや6.4m跳出しを有する、空中に浮遊したダイナミックでフレキシブルな構造躯体を構築し、諏訪湖の眺望を一望できる開放的な執務空間を実現できた。施工面においては、部材のPCa化率を高めることで寒冷地における躯体工事の省人化と、精度確保による品質向上を両立することができた。

最後に、本工事では設計段階から施工段階まで数多くの方にご協力いただいたことで、複雑な納まりを事前検討により解決し、高品質、高精度の作品を実現することが可能となった。この場を借りて、本技術センターの建設に関係されたすべての方々に心より御礼申し上げます。

【2017年4月28日受付】