

大阪大学・日本財団 感染症センター

—フレキシビリティを追求したフラットプレート架構—

大成建設株式会社 阪井由尚・豊島裕樹・須藤峻介

本建物は、感染症によるパンデミック下において人命を守り、社会・経済活動を維持するための感染症対策の研究基盤として整備された。長きにわたって使用される建物であることを踏まえ、基準階は将来の間仕切り変更や設備更新に柔軟に対応可能とするため、プレストレストコンクリート（以降、PC）を用いて柱とスラブのみで構成するフラットプレート構造を計画した。その架構を実現するために免震構造を採用し、コアの連層耐震壁およびアウトリガー架構を適切に組み合わせることにより高い耐震性能を確保した。

1 はじめに

感染症の問題は、世界を巻き込む人類としての問題であると同時に、地域格差や差別など、一人ひとりの心の問題でもある。それらを多角的に解決する（バックミンスター・フラーの著書¹⁾をオマージュした）「宇宙船地球号」としての役割を意識してデザインされ、「アンダーワンルーフ」で各専門家が集う拠点の形成を目指し整備された（写真1）。

地上10階、延床面積約18,000㎡、最高高さ約43mであり、平面の規模は長手方向が約81m、短手方向が約27mの楕円形が特徴的な平面形状となっている。

構造的には、大地震等の災害時にも研究所としての機能を維持・継続できる高い耐震性能を目指した免震構造、アンボンドPCを用いた梁型のないフラットプレート構造、陸立ち柱を支え下階の大空間居室を実現したPC梁、免震装置に生じる引き抜き力を抑え建物全体の変形量を低減させるアウトリガー架構などの特徴を有している。

本稿では、大阪大学・日本財団 感染症センターの構造計画概要と、アンボンドPCスラブおよびPC梁の設計・施工概要について報告する。

2 建築計画概要

図1にフロア構成、図2に研究室階（基準階）平面図を示す。研究施設ではあるが、低層部1・2階にはセミナー室やオフィスを配置し、交流と情報発信の場を構成した。3階から9階にはオープンラボ、共用実験室、研究室を配置し分野横断的な研究活動を促進し、7-9階には共創スペースと呼んでいる3層の吹抜け空間を整備するなど、建物の各所に共用部を散りばめることにより、偶発的な交流を促進する計画である。上下階のつながりを円滑化し、フロアを超えたユーザーのコミュニケーションの誘発を図っている。



写真1 外観写真

<建物概要>

建物名称	： 大阪大学・日本財団 感染症センター
設計	： 大成建設・日建設計 特定建設工事共同企業体
施工	： 大成建設株式会社関西支店
敷地面積	： 994,411.65 ㎡
建築面積	： 2,353.80 ㎡
延床面積	： 17,619.16 ㎡
階数	： 地上10階
最高高さ	： 42.821 m
構造種別	： 鉄筋コンクリート造、免震構造
基礎構造	： 杭基礎（既製コンクリート杭）
工期	： 2023年9月～2025年2月（18カ月）

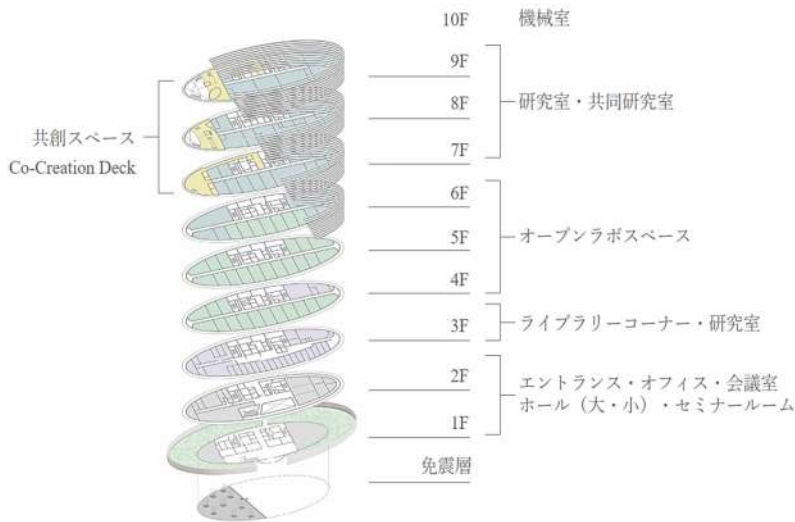


図1 フロア構成

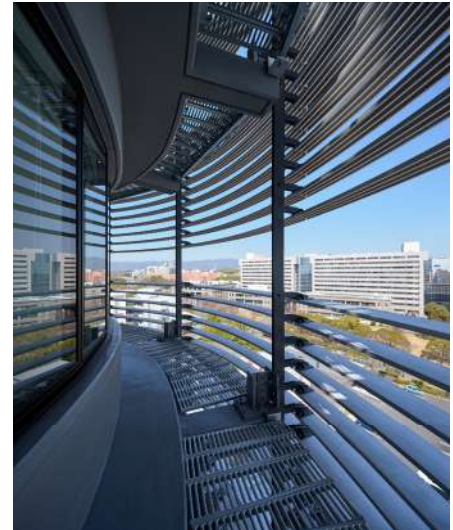


写真2 アルミルーバーの施工完了状況 (設備バルコニー)

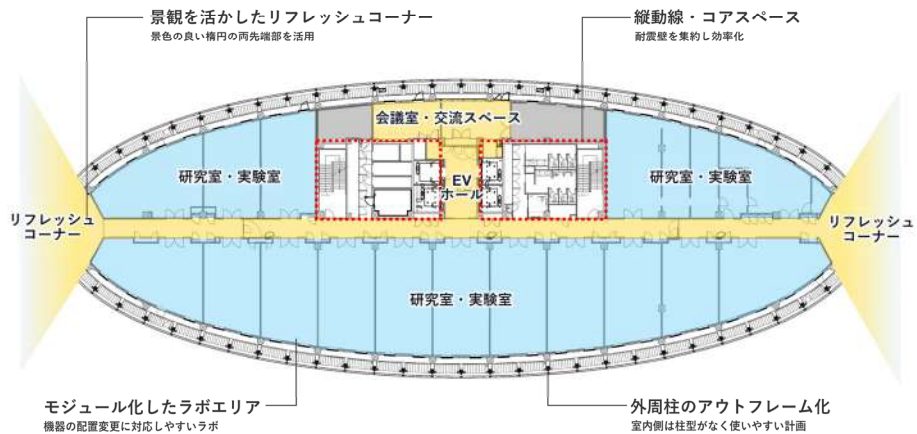


図2 研究室階 (基準階) 平面図

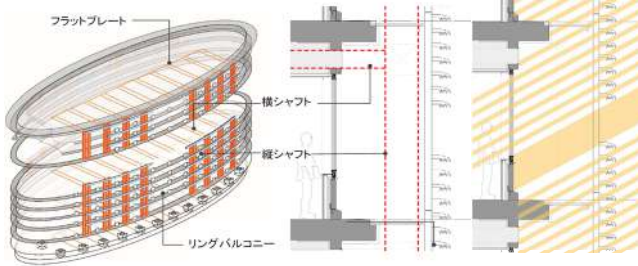


図3 設備展開とアルミルーバーによる日射遮蔽のイメージ

楕円形を象徴する外装はアルミダイキャスト製のルーバーを計 100 段積み重ねることで構成した。

このルーバーは鋳物とすることで楕円形状を再現し、外装デザインとしての役割のみならず日射遮蔽を行うことで、熱環境負荷を低減する働きも兼ねており、ZEB Ready 認証や CASBEE S ランクの取得にも寄与している。

アルミルーバーと建物とにあるリングバルコニーと呼ばれるスペース (写真2) は、室外機置場や縦シャフト

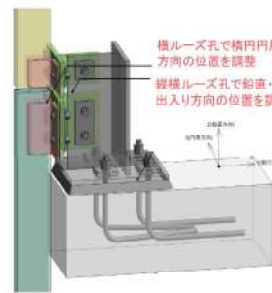


図4 アルミルーバー架台ディテールおよびユニット施工状況

のスペースとしても機能しており、フラットプレート構造により水平展開のしやすさを確保しつつ、縦方向にも展開しやすい計画とした (図3)。

また、施工性も考慮してユニット化しており、地組した1ユニットをクレーンで吊り上げ、上部で位置調整して取り付けるだけの取り付けディテールとすることで、高速施工を可能とした (図4)。

3 構造計画概要

構造計画のダイアグラムを図6に示す。以下に架構計画の概要について述べる。

3.1 設計クライテリア

本建物は時刻歴応答解析により検討を行った。設計クライテリアを表1に示す。

3.2 コア+フラットプレート+免震による架構形式

本建物は基礎免震構造としており、基準階の研究室は設備展開を容易にしつつ将来的な間仕切り変更などに柔軟に対応可能(図5)なフレキシビリティを確保するため、フラットプレート構造を採用し、連層耐震壁付きラーメン構造のコアと組み合わせて構成した。また、偏心コアのために平面的なねじれが生じやすいが、免震構造を採用することによって、ねじれを抑えることにも寄与している。

フラットプレートは400mmの厚さとし、アンボンドPCとボイドを用いて最大14mスパンで柱のない研究室を実現し、梁型のない構造体とすることで設備展開を容易にしつつ将来的な間仕切り変更や設備更新に配慮した計画とした。

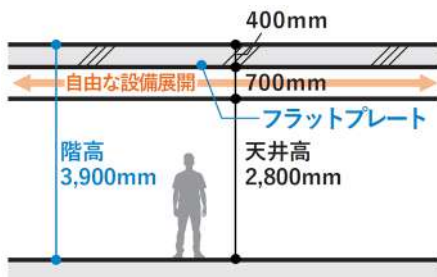


図5 設備展開しやすいフラットプレート構造

フラットプレートのうち柱と取り合う柱列帯は1,200mmの幅をボイドのない無垢のスラブとして計画し、全体の地震力の約20%をフラットプレート架構で負担させる設計とした。

3.3 アウトリガーシアウォール

最上階の建物短辺方向にアウトリガーシアウォールを4構面設けることで地震時のアウトリガー効果を狙い、変動軸力を外周部に分散させることで、免震装置に生じる引き抜き力を抑える計画とした。さらに、連層耐震壁の地震時の変動軸力による免震装置に生じる引き抜きを抑えるため、部分的に壁脚部の免震装置をなくし陸立ちで支持する計画とし長期軸力を集めた。陸立ち柱を支持する梁はプレストレスを導入した。

表1 設計クライテリア

		目標性能
検討用地震波レベル		極めて稀に発生する地震動
上部構造	部材設計	許容応力度以下
	層間変形角	1/300(rad)以下
免震層	偏心率	3%以下
	せん断ひずみ	250%以下
	面圧(圧縮)	基準面圧の2倍 かつ 圧縮限界強度の2/3
	面圧(引張)	引抜きを生じさせない
基礎構造	部材設計	許容応力度以下
杭	杭体	許容応力度以下
	支持力	許容耐力以下

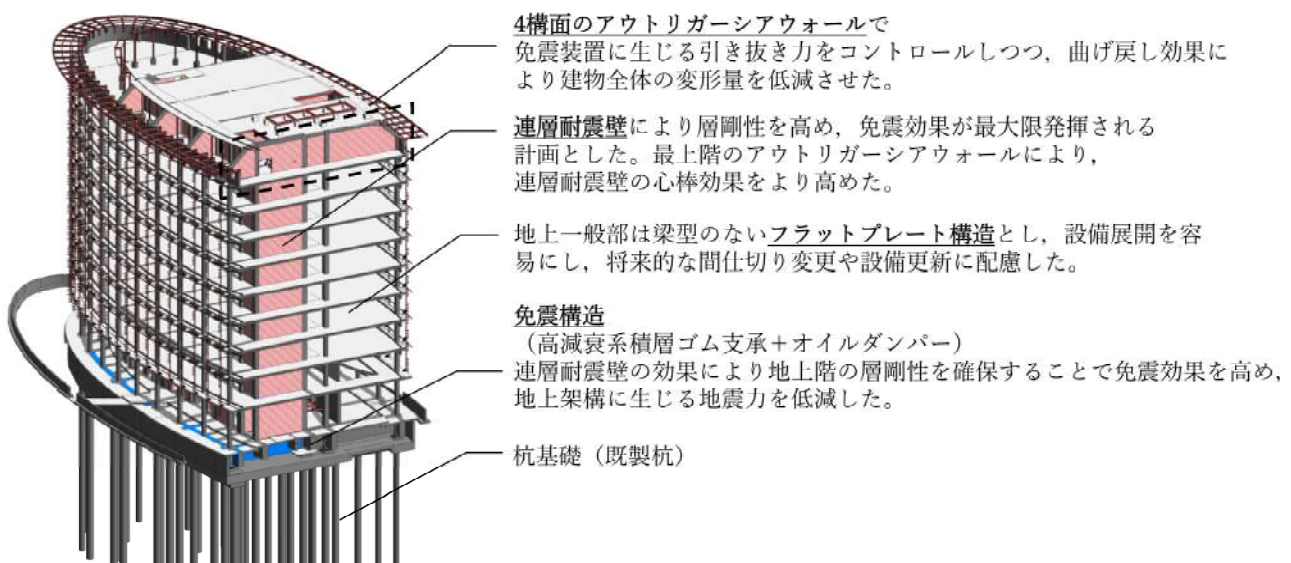


図6 構造計画ダイアグラム

また、頂部アウトリガーシアウォールのハットビーム効果による曲げ戻しにより、建物全体の変形量を低減しつつ、コアに配置した連層耐震壁の心棒効果をより発揮させ、想定を超える地震動に対しても特定の層に被害が集中しないようロバスト性を確保する架構計画とした。

長期的に運用される建物であることを踏まえ高い安全性を確保するため、免震構造による地震力の低減とこれらの架構の組み合わせにより、レベル2の設計用地震動における最大層間変形角を $R = 1 / 560 \text{ rad}$ に抑え、建物の地震力の 80 % を負担する連層耐震壁はせん断ひび割れを生じさせない設計とした。

4 PC 部材の設計・施工概要

PC 部材の 5 階キープランを図 7 に示す。

以下にアンボンド PC ボイドスラブおよび PC 梁についてそれぞれ設計・施工概要を示す。

4.1 アンボンド PC ボイドスラブ

最大約 14m スパンを支持する各階フラットプレートのアンボンド PC ボイドスラブは、スラブ厚を 400 mm に設定し、ボイド管 $\phi 250 \text{ mm}$ を 400 mm ピッチで配置し、その間に PC 鋼材とスラブ筋を配置する計画とした (図 8, 写真 3)、コンクリートの設計基準強度は $F_c = 36 \text{ N/mm}^2$ とした。

プレレスト鉄筋コンクリート造 (Ⅲ種 PC) 2) として計画し、クリープ係数を考慮した長期たわみを $R = 1 / 500 \text{ rad}$ 以下にすることを旨として緊張力と配線を調整した。

PC 鋼材は SWPR19L-19.3mm を採用し、1 ケーブルあたり 310 kN (施工時) の緊張力を導入し圧縮応力度は $\sigma_c = 1.94 \text{ N/mm}^2$ (ボイド欠損考慮で 2.77 N/mm^2) とした。

PC 鋼材緊張時には緊張方向に耐震壁が隣接する X5, X10 通りの壁端部付近に応力が集中することを避けるため、スラブの壁側面にスリットを設けた。

10 階のみ押さえコンクリートや設備機器などの荷重が大きいため、PC 鋼材を SWPR19L-28.6mm とし、1 ケーブルあたり 646 kN (施工時) の緊張力を導入し、圧縮応力度は $\sigma_c = 4.04 \text{ N/mm}^2$ (ボイド欠損考慮で 5.77 N/mm^2) とした。

2 階の楕円の頂点部分では、PC 鋼材を十字に配線する計画としている (図 9)。

楕円先端部のたわみを集中的に抑えるため、まず先に Y 方向の柱間中央部に上向き吊り上げ力が発生するように緊張力を導入し、X 方向の PC 鋼材緊張後に発生する鉛直下向きの反力を受ける見かけの支点の剛性を高めた。その後、X 方向の緊張を行う手順とすることで、楕円先端部を狙ったアンボンド PC の吊り上げ効果がより発揮される設計とした。

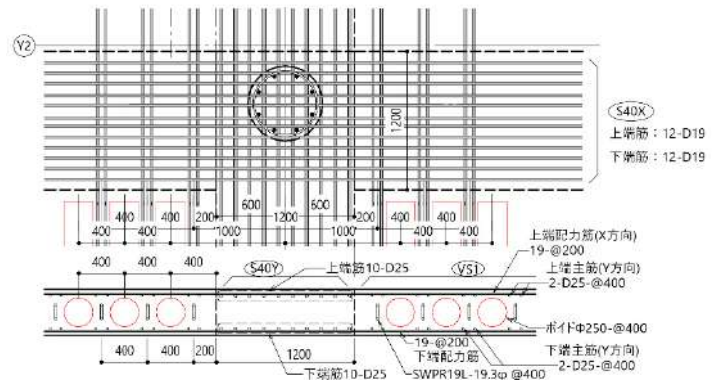
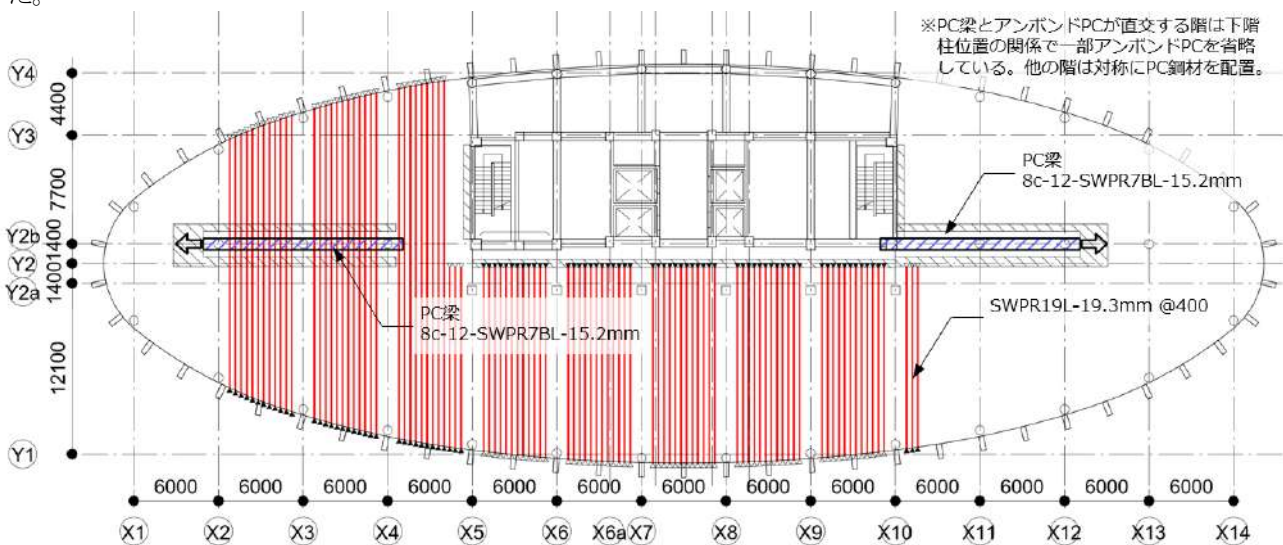


図 8 フラットプレート断面の構成



※ ← は PC 梁の緊張方向を示す。 ▶ はスラブの緊張端を示す。 ▷ はスラブの固定端を示す。
 ※ ◻ は、緊張後、コンクリート打込み範囲を示す。

図 7 PC 部材キープラン (5 階)



写真3 アンボンドPCボイドスラブの施工状況

4.2 PC 梁

PC 梁は、免震層上部の1階と、地上の3, 4, 5, 10階に設け、それぞれの梁はプレストレスト鉄筋コンクリート造(Ⅲ種 PC)とし、コンクリートの設計基準強度は $F_c=48 \text{ N/mm}^2$ とした。

以下にそれぞれの部材の設計・施工についての概要を示す。

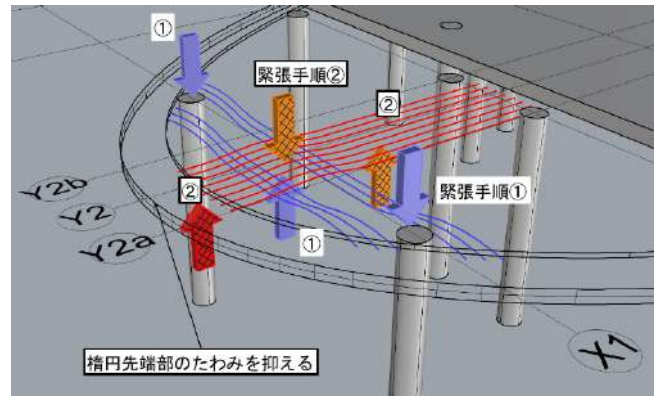
(1) 1階免震層上部のPC梁の設計・施工

免震装置に長期軸力を集めることにより地震時に生じる引き抜き力を発生させないようにするため、連層耐震壁および建物外周の一部柱を陸立ちで支持する計画とし、これらの部材を支持する梁にプレストレスを導入した。

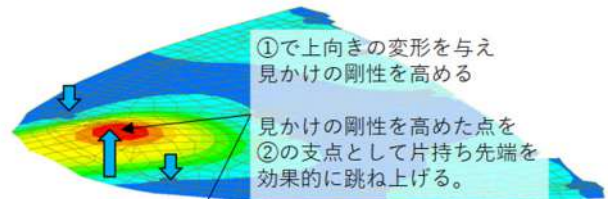
PC 梁の断面は $B \times D = 800 \text{ mm} \times 2200 \text{ mm}$ とし、8c-12-SWPR7BL-15.2mm を用いて約 17,000kN (施工時) の緊張力を導入し、圧縮応力度はスラブの協力幅分を考慮し $\sigma_c = 6.46 \text{ N/mm}^2$ とした。

陸立ち柱を支持する PC 梁は図 10 に示すように、スパン約 12m の中央で陸立ち柱を支持する部材であり、PC 鋼材は 2 スパン分で約 24m にわたって配線し、作業性を考慮して片側から緊張を行う計画とした。

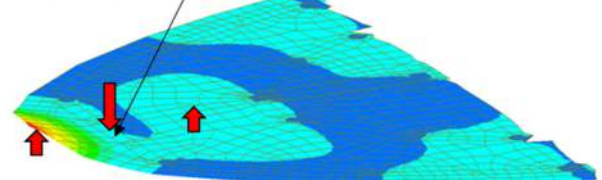
これらの1階に設けた PC 梁は地震時に柱や連層耐震壁を支持することから地震時に大きな荷重を負担するため、梁に緊張力を導入することによりコンクリートの



緊張手順①



緊張手順②



緊張手順①+②

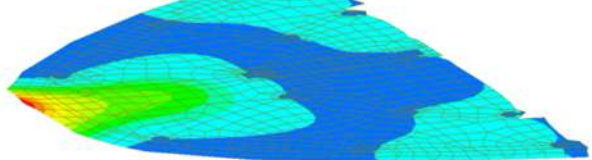


図9 2階橋脚先端部のPC鋼材の緊張効果概念図

せん断ひび割れ耐力の上昇を図り、レベル2地震動(水平動および上下動)による繰り返し荷重に対してもせん断ひび割れを発生させず、剛性低下が起らない設計とした。

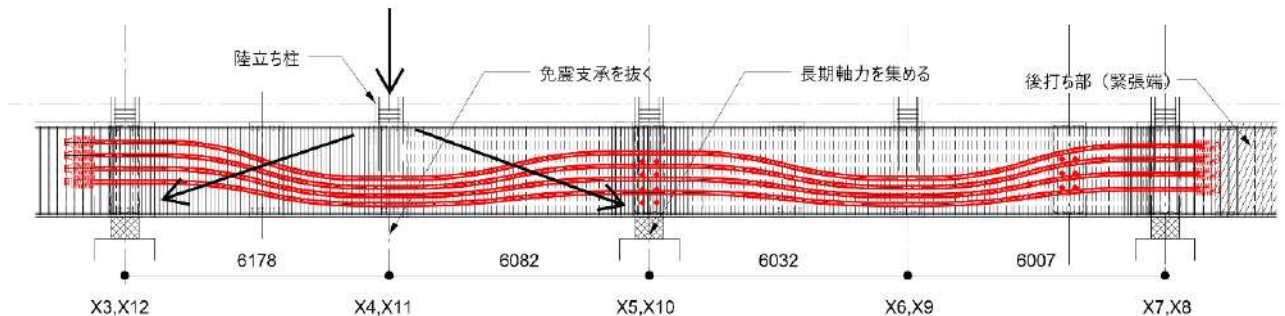


図10 1階PC梁の配線計画図

(2) 3階、4階、5階のPC梁の設計・施工

1階に位置するセミナールームには柱を設けず大空間を実現するため、PC梁により上部柱を陸立ちで支持する計画とした。この陸立ち柱はロングスパンの中央部に位置し大きな荷重を支持することや、このセミナールームの天井高を確保するため、3階、4階、5階の3フロアにPC梁を配置した(図11)。

陸立ち柱から伝達される中央集中荷重によって両側の付帯柱に大きな応力が発生し、柱断面が大きくなってしまったため、PCによる緊張力を調整することで柱の応力をコントロールした。さらに施工ステップを考慮すると陸立ちの最下部に応力が集まることや、後述するPC梁の緊張効果が相互に作用する事象を考慮し、3階、4階は6c-11-SWPR7BL-15.2mm、5階は6c-12-SWPR7BL-15.2mmを用いて緊張力としては約12,000kN(施工時)の緊張力を導入し、圧縮応力度はスラブの協力幅分を考慮し $\sigma_c=8.41\text{N/mm}^2$ とした。

PC梁緊張時は、陸立ち柱を支持することを考慮して緊張力を確実に梁に導入するためスリットを設け、緊張時のスラブの協力幅である1,800mm(梁幅800mmに対して両側500mmずつ)を残して他のスラブとは縁を切ることとした。

このPC梁の直交方向にはアンボンドPCボイドスラブが存在するため(写真4)、慎重に納まりを検討した。施工手順としてはPC梁を緊張し、スリット部のコンクリート打込みを行い必要強度を確認の上、直交するアンボンドPCの緊張を行う計画とした。また、PC梁緊張時はPC梁小口面のスラブにあと施工範囲を設け作業スペースを確保した。

3フロアにわたるPC梁は、4階、5階のPC梁緊張時には下階のPC梁と梁中央部の柱(X3通り)でつながっている状態となる。例えば3階のPC梁施工後に4階、5階の緊張を行うと、3階のPC梁の中央がさらに吊り上げられるため、その影響を考慮し梁上端のひび割れを抑えるための工夫が必要であった。

よって各施工フェーズの応力状態を正確に把握するため施工ステップ解析を行い、3階、4階、5階のPC梁は上層のコンクリート打込み前までに6本のPC鋼材のうち4本を緊張し、最下部の2本を緊張しないまま残して施工を進め、7階床梁のコンクリート打込み後に十分な上載荷重を確保したうえで残りの2本を緊張する計画とした(写真5、写真6、図12)。

当初コンクリート打込み時には支保工を一般的な2層受けとして計画していた。前述したようにPC梁緊張後にスリット部のコンクリートを打ち込み、強度発現後にアンボンドPCを緊張するため、梁のPC鋼材のうち残した2本を緊張するまでの間、下階の支保工の残置が必要となっていた。より工程促進を図るため、最下部の2本のPC鋼材はスラブ下から緊張できるように調整し、4本

の緊張後に梁横のスリットのコンクリートを打ち込むこととした。

また、PC鋼材を後から緊張することを考慮し、プレストレスの有効率が設計値の $\eta=0.85$ を下回らないことを確認しつつ、緊張力導入時期をコンクリート強度36N/mm²発現かつコンクリート打込み7日後と設定した。

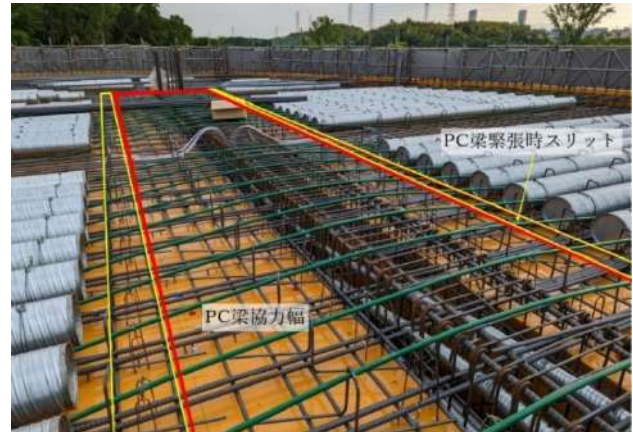


写真4 PC梁および直交するアンボンドPC配線状況



写真5 地上4階PC梁緊張後(下部2本未緊張)の様子



写真6 下部2本のPC鋼材緊張前の様子

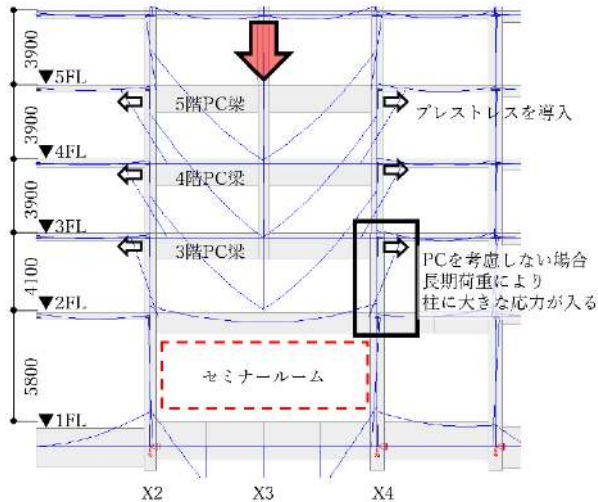


図 11 地上陸立ち架構の PC 非考慮時長期応力



写真 7 10 階 PC 梁の PC 鋼材配線状況

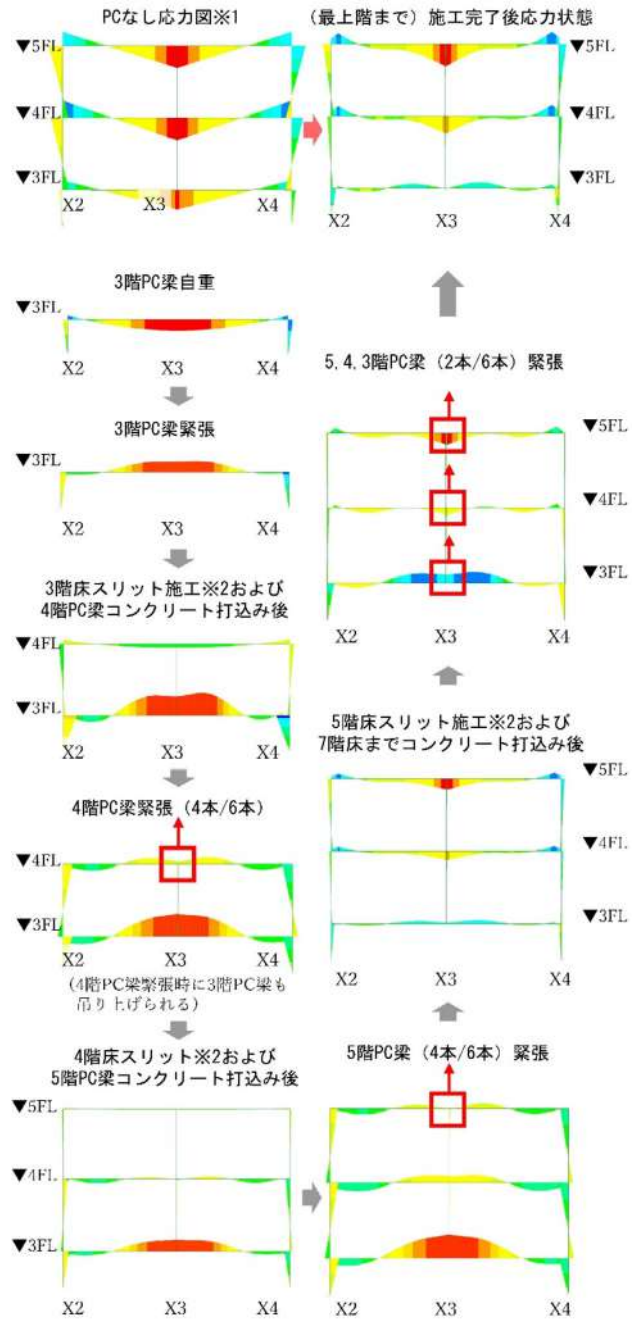


写真 8 共創スペース及び 10 階 PC 梁の位置

これらにより、各層の PC 梁の応力度が各施工フェーズでも PC 設計上の許容応力度以下となり、工事工程に配慮しつつ、各 PC 梁に最大限の緊張力を導入することが可能となった。

(3) 10 階の PC 梁の設計・施工

7~9 階の 3 層吹き抜けの共創スペースでは 10 階で PC 梁を設け、スパン中央の柱を抜き、より開放的な空間とした。PC 梁のスパンは約 17m であり、上部は屋外



※1 施工ステップ非考慮

※2 床スリット施工とは、梁横のスリット部のコンクリート打込みを示す。

図 12 地上 PC 梁 各施工ステップ応力概念図

で設備機器が設置されるなど大きな荷重を負担するスラブを支持している (写真 7, 写真 8)。

断面は $B \times D = 800 \text{ mm} \times 1400 \text{ mm}$ とし、4c-12-SWPR7BL-12.7mm を用いて約 6,000 kN (施工時) の軸力を導入する計画とした。また梁下の配管類展開の自由度を確保するため、梁底をスラブ下端合わせの逆梁とした。



写真9 エントランス庇

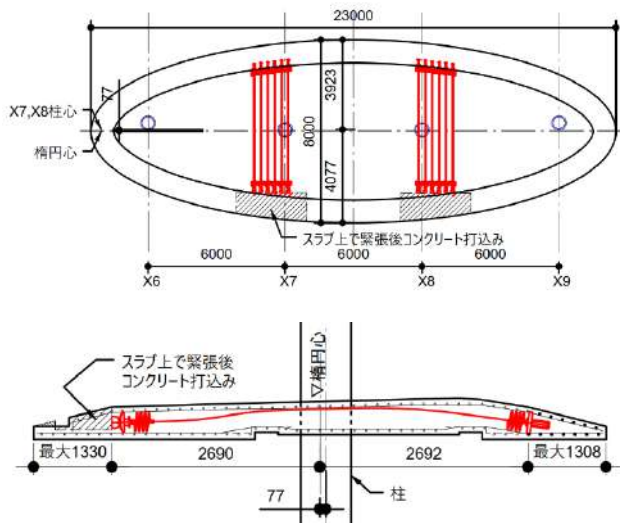


図13 エントランス庇のPC鋼材配線図



写真10 渡り廊下のPC鋼材配線状況

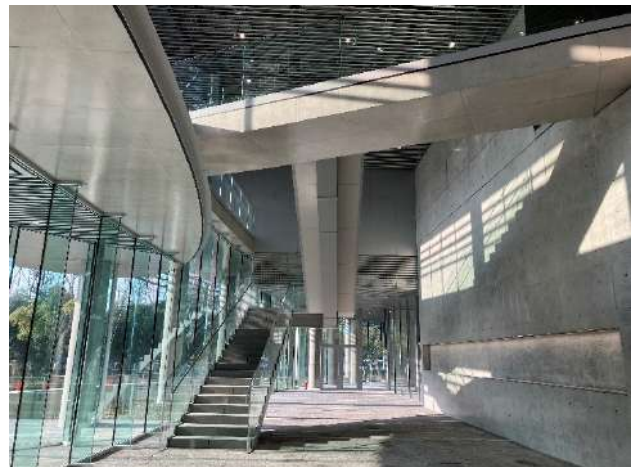


写真11 渡り廊下と1F エントランス吹き抜け部

5 その他のPC部材の設計・工事概要

5.1 エントランス庇

エントランスの楕円庇は最大約4.0mの片持ち架構で計画し、先端の厚みを100mmまで絞り小口面にアングルを打ち込むことで先端をシャープに見せ、軽快かつ建物のコンセプトをより一層際立たせる印象的なエントランスを実現した(写真9)。

クリープを考慮した片持ち先端のたわみを $R=1/300$ rad以下に抑えることを目標にプレストレスを導入する計画とし、SWPR19L-28.6mmを6本2か所に配線した(図13)。

5.2 ホワイエ渡り廊下

1階エントランスと2階のホワイエを結ぶ吹き抜け空間にある渡り廊下は、支持スパン(鉛直部材間)が約11mであり、フラットプレートの厚みと揃え、 $B \times D = 1600 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ の部材断面で計画した。スパンの中央部で階段が取り付けため大きな荷重を支持しているが、スラブ下が化粧打放しとなり、たわみおよびひび割れを抑えるため、SWPR19L-28.6mmを270mm間隔で4本配置する計画とした(写真10, 写真11)。

6 おわりに

本建物は、梁型のないフラットプレート構造を採用することで設備展開を容易にしつつ、将来的な間仕切り変更や設備更新に配慮する架構とした。

免震構造や連層耐震壁、アウトリガー架構を効果的に用いることで高い耐震性能を保有するとともに、その効果を高めるためにプレストレスを有効に用い、魅力のある建築空間を実現した。

今後長きにわたって「宇宙船地球号」としての役割を全うすることを期待している。

参考文献

- 1) バックミンスター・フラー：宇宙船地球号操縦マニュアル，1969年
- 2) 日本建築学会：プレレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説，2003年

<謝辞>

本建物のPC部材設計・施工にあたり、株式会社建研の皆様にご協力いただき、多大なるご尽力を賜りました。ここに記し、謝意を示します。