

# ニコン 本社/イノベーションセンター

光と風を取り入れる執務空間に採用したハーフ PCaPC 鋼コンクリート合成スラブ

三菱地所設計 沼田祐子・中村俊介

## 【建築概要】

建設場所： 東京都品川区  
設計・監理： (株)三菱地所設計  
施工者： (株)安藤・間  
PC工事： (株)建研  
PC製作工場： 川田建設(株)那須工場  
延床面積： 約42,000m<sup>2</sup>  
階数： 地上6階  
最高高さ： 約33m  
主用途： オフィス，ホール，食堂，ラボ，ミュージアム



## 1. はじめに

本計画は、株式会社ニコンが100年以上にわたり拠点を構え、様々な製品やサービスを生み出してきた創業の地（大井製作所）に各部門を集約し、先進開発機能の強化やシナジー創出を図り、持続的な成長を実現する新本社の建設計画である。地上6階、延床面積約42,000 m<sup>2</sup>の新本社は、将来の変化に柔軟に対応する整形で柱の無い執務空間や、ホール・食堂・ラボ・企業ミュージアム等を有し、社内外の交流と創造の場となる計画としている。

ニコンの持つ「デザインと機能が統合された製品やサービス」を想起させるべく、デザイン・構造・設備計画が統合された建築を目指した。外装は日射を抑制する水平庇と彫りの深い横連窓、反射光を取り込むライトシェ

ルフにより水平ラインを積層し、光で未来を変えていくニコンの新本社に相応しいデザインとした。横連窓による自然換気の促進や、庇による日射遮蔽と外光利用、居住域空調等によるエネルギー効率化を図り、ZEB Readyを実現している。

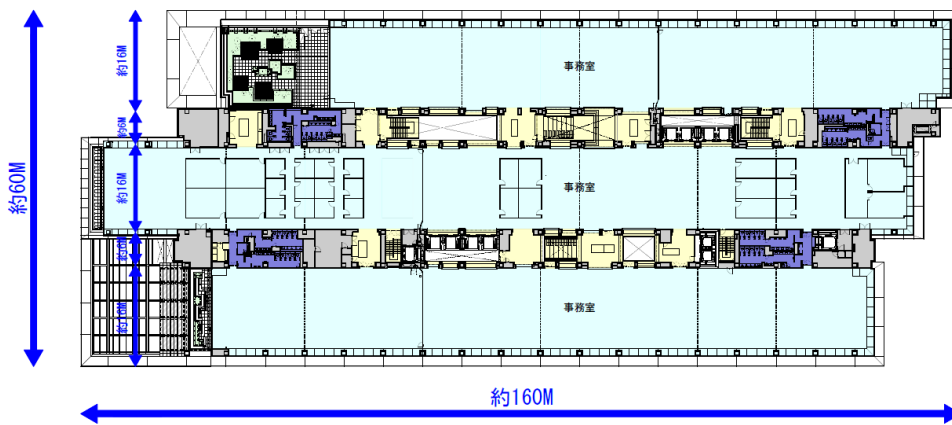
## 2. 建築計画

オフィスエリアは整形な16mスパンの執務空間を基本とし、階段・吹抜・リフレッシュエリア・ミーティングエリア・キッチン・トイレ等が配置された6mスパンの帯状コアを執務空間で挟む計画となっている。帯状コアに機能を集約することで、明快で開放感あふれるフレキシブルな空間構成とできた。コア内の吹抜や階段を介して、上下の執務空間がつながり、ワーカーが自由に行き来することで、コラボレーション・イノベーションが起きることを期待している。

執務空間はリブ付きPCスラブを採用することで、階高

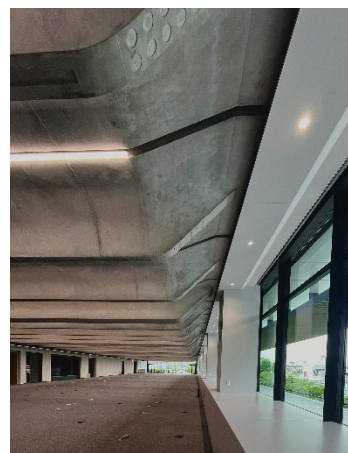
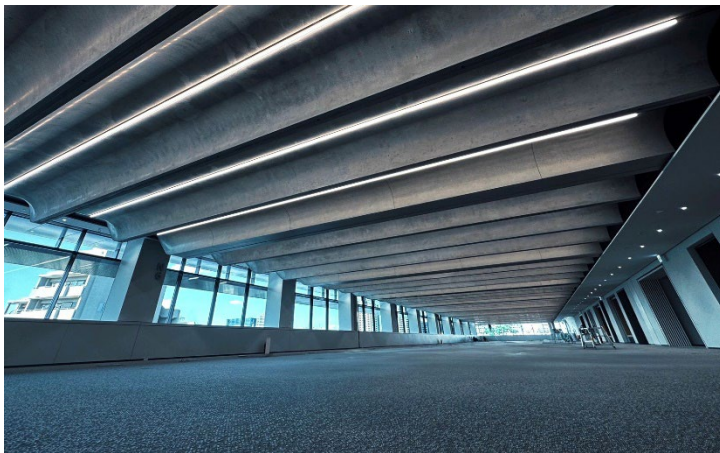
4.35mで天井高3.5mを実現しつつ、振動を抑えた高い居住性を確保した。特徴的な内装デザインとして、PCスラブあらかし天井を実現するにあたり、空調は各階の四隅に配置した機械室および外装の特徴の1つとなっている水平庇をダクトルートとして活用した床吹出空調を採用。また、PCスラブ間のボイドを排煙チャンバーとすることで、ダクトレスな執務空間とした。

各階には多様な屋外テラスを設置し社員交流を促す屋上庭園を計画。地上部は建物をセットバックした広い空地に在来樹種を生かした植栽を行い、周辺地域にも四季を感じさせる屋外空間となっている。



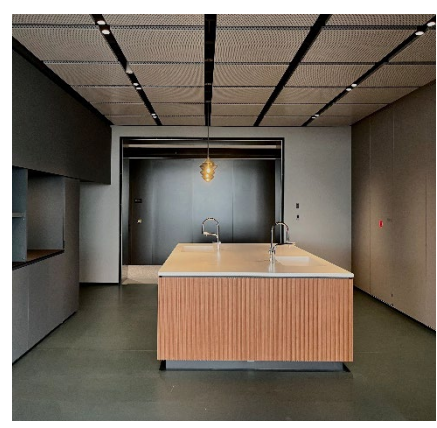
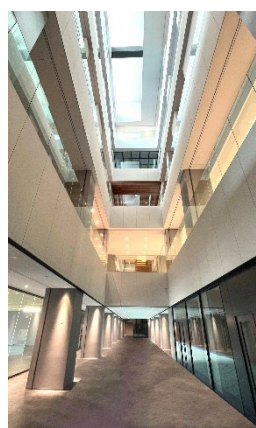
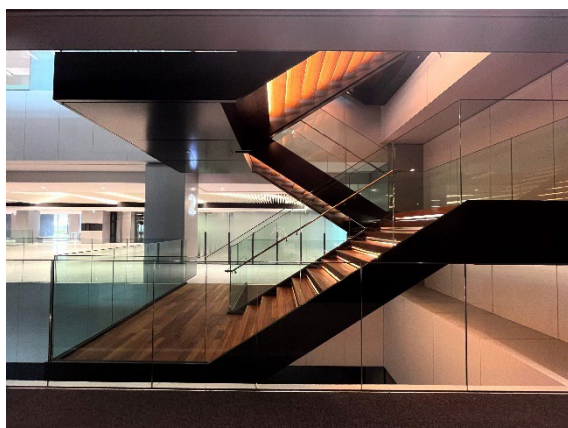
### 【事務室フロアの構成】

PCスラブの16Mスパンと6Mスパンを交互に配置。16Mスパンは基本的に大部屋の執務空間とし、6Mスパンには階段、EV、キッチン、文具コーナー等動線やコミュニケーションを促進する吹き抜け等を配置している。



◀【16Mスパン】  
執務室の大空間

▼【6Mスパン】  
コミュニケーション促進の各機能



### 3. 構造計画概要

#### 3.1 構造概要

構造形式：基礎免震構造

純ラーメン構造（免震上）

構造種別：RC造（基礎～免震上1階床）、

S造（1階以上）一部CFT、

床形式：鉄筋コンクリート造

ハーフPCaPC鋼コンクリート合成スラブ

基礎形式：直接基礎

#### 3.2 構造計画

本建物は基礎免震構造であり、基礎および免震層直上の1階梁までがRC造、1階柱以上はS造純ラーメン構造で、1階柱脚は露出型柱脚を採用している。平面形状は整形であり、立面形状は5階以上でセットバックする形状をしている。大梁の最長スパンは約16.1m、基準階階高4350mmに対し大梁せいはX方向600mm、Y方向800mmである。柱は700角を基本とし低層部CFT柱、高層部S柱である。

4～6FLのオフィス空間の大部分には、ハーフプレキャストプレストレスト(PCaPC)コンクリートと鋼による合成スラブを採用しており、この詳細については後述する。

免震層の応答変位量を500mm以下、居室のある1～6階床加速度を250gal以下とすることをクライテリアとして設計した。免震装置には球面すべり支承のみを採用し、中摩擦タイプと低摩擦タイプを組み合わせることで、必要な剛性と減衰を確保する計画とした。

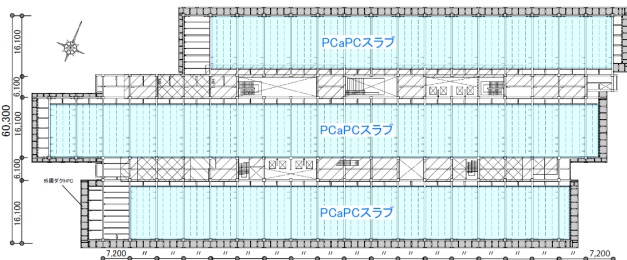


図-2 4階梁伏図

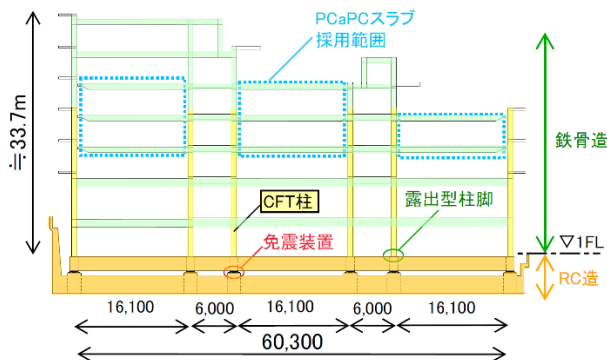


図-3 短辺方向 軸組図

### 4. PC-鋼コンクリート合成スラブの設計

#### 4.1 ハーフPCaPC鋼コンクリート合成スラブの採用経緯

本企業の原点は光学工業だったこともあり、外光の取入れ方や照明計画に注力した。設計の初期段階で、外周に配したライトシェルフやダクトを内包するPCを介して取り込んだ外光を、内部でさらに攪拌させる仕掛けとして、リブ付きPCスラブあらかわしの採用が浮上した。構造合理性のみを追求すると7.2mスパンの短辺方向に架けるが、取り込んだ光の伸びや外部との連続性という観点から、14.5mスパンの長辺方向をリブ方向としたいという建築的な強い要求があった。よって、本PCスラブは14.5mの長辺方向に架ける計画とした。

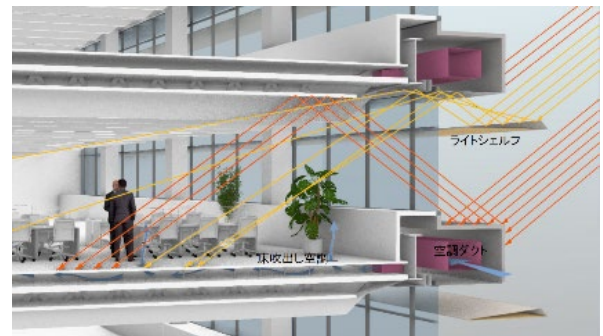


図-4 初期のアイディアパース

PCスラブ断面は、図5に示す200mm程度のリブ幅のPCaPCスラブから検討を開始した。PC形状を入れた3Dモデルで検証したところ、光の攪拌効果や空間イメージとの親和性からは、図5のように鋭角で彫りの深いPC形状とするより、図6のような緩やかな曲面形状とする方が好ましいこと分かった。一方で、この形状ではPC版自重が過大となるため、スラブの設計改善が必要となった。

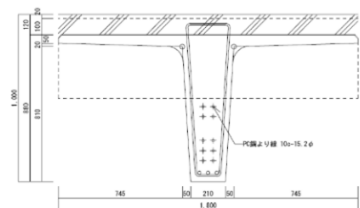


図-5 当初のPCスラブ形

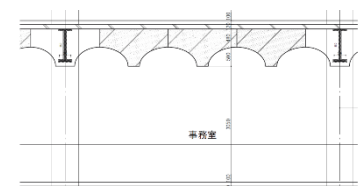


図-6 緩やかな曲面形状の

そこで、軽量化を意図して図7に示すようにPC版とトップピングコンクリートの間にボイドを設ける案が生まれた。しかし、ボイド部をどのように構築するかや、端部70mm幅の立ち上がり部分が運搬時に割れのリスクがある等、製作上・運搬上の難しさが課題としてあり、またボイドとしてデッドスペースにするのは空間の有効利用という観点からもさらなる改善が必要だった。

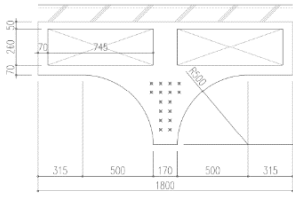


図-7 中空ボイド案

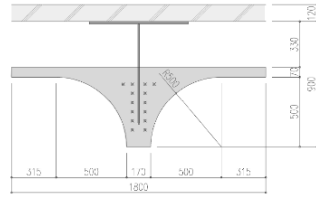


図-8 PC鋼合成スラブベース案

これらを解決して、かつさらなる軽量化とボイド空間の有効利用を実現する案として、図8に示すウェブと上フランジ部のコンクリートを鋼に置換する形状を考案した。隣接するPC版には80mmのすきを設けることとし、PC版上の空間は、排煙経路として設備的に有効利用することとした。また80mmのすきにはライン照明も設置し、PC版を照らす計画として、印象的な空間を演出することが出来た。

また、本案では鉄骨大梁と合成スラブの取合いを高力ボルト接合にできるため、全体鉄骨造との親和性も高い案であった。本案をベースとして製作性や施工性のスタディを重ね、最終的には図13のようにウェブの束材鉄骨（V字型フラットバー）をPCに埋込んでプレストレス導入までを行い、上フランジとなる上弦材鉄骨（山形鋼）を後取付けとするシステムとした。

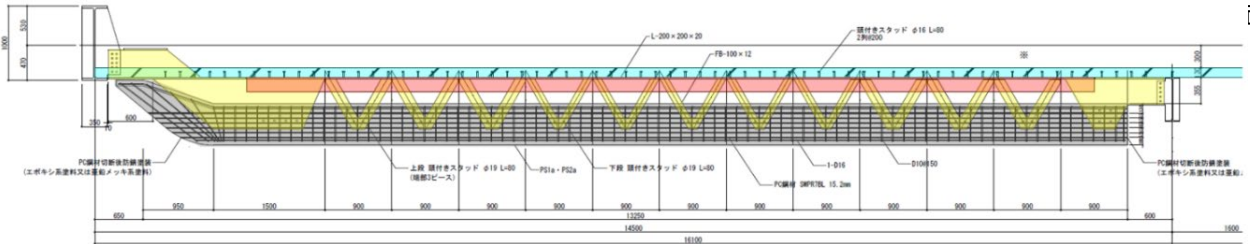


図-12 ハーフ PCaPC 鋼コンクリート合成スラブの断面（長辺）

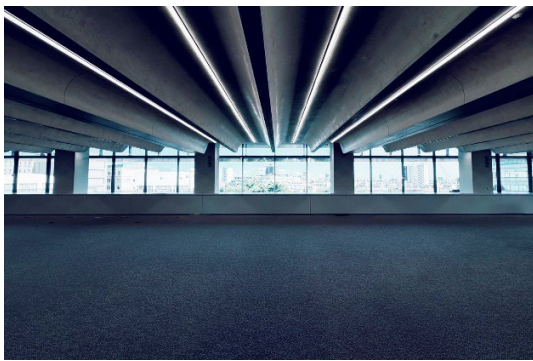


図-9 PCスラブとライン照明

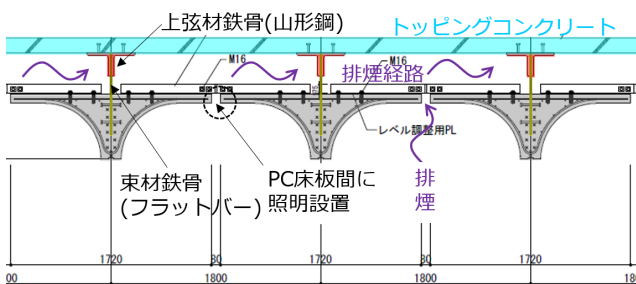
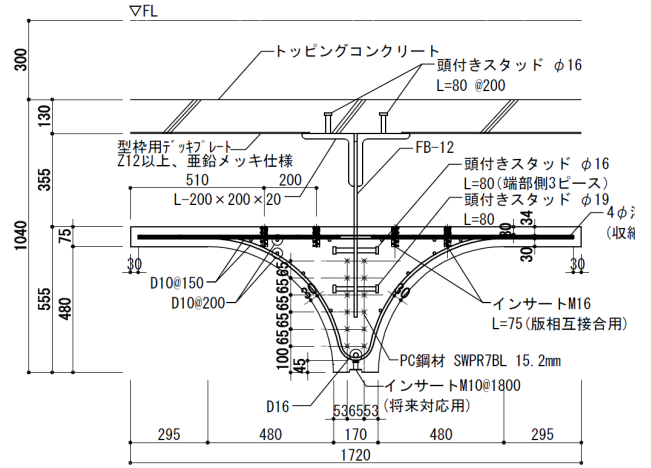


図-10 ハーフPCaPC鋼コンクリート合成スラブの断面（短辺）

#### 4.2 PCaPC鋼コンクリート合成スラブ断面とPC鋼材配線

本合成スラブは、PC版に埋め込んだ束材鉄骨（FB-12）、上弦材鉄骨（2L-200x200x20）、およびトッピングコンクリートから構成される。PC打設・プレストレス導入後に、束材鉄骨と上弦材鉄骨をボルト接合により一体化して工事現場に架設し、トッピングコンクリートを打設する。PCの設計基準強度はFc60、PC鋼材はSWPR7BL-15.2mmを採用し、図11に示す形状と鋼材配線とした。



#### 4.3 プレストレス有効率の算定

PCaPCスラブの設計におけるプレストレス有効率 $\eta$ は、プレテンション方式の場合、プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説1) (以下、PC規準) に依る0.80を採用して設計するのが一般的である。一方、本システムではPCと鋼の合成構造であるため、鋼構造部分の応力負担を明確にすることが課題であった。よって有効率については、プレストレス導入からトッピングコンクリートの打設、およびそれ以降の各ステップにおけるプレストレス減退量を計算することで算出した有効率を採用した。プレストレス有効率の算定フローを図13に示す。

まず、プレストレス導入時の弾性ひずみ量計算によって算出されるプレストレス減退が81kN (①)、次に上弦材鉄骨を取付けてトッピングコンクリートを施工するまでの5週間のストック期間における材令によるプレストレス減退144kNをPC規準に沿って算出した (②)。その後、トッピングコンクリート施工以降のプレストレス減退量を、クリ

ープによるひずみと乾燥収縮によるひずみ量をそれぞれ算出して足すと184kNとなった(③)。東材鉄骨および上弦材鉄骨へのプレストレスの移行量を算出するために、図14のように上弦材・東材・下弦材を線材とした解析モデルを用いて検討した。下弦材に1722kNを作用させた結果、下弦材の平均軸力は1645kNとなったため、鉄骨部材への移行量は77kNとした。(④)

最後にPC鋼材のリラクセーションによる減退量を考慮するため、リラクセーション率1.5%として算出すると減退量は32kNとなり(⑤)、最終的な残存プレストレスは1613kNとなった。以上よりプレストレス有効率 $\eta$ は下式より0.757として断面設計を行うこととした。

$$\eta = 1613[\text{kN}] / 2131[\text{kN}] = 0.757$$

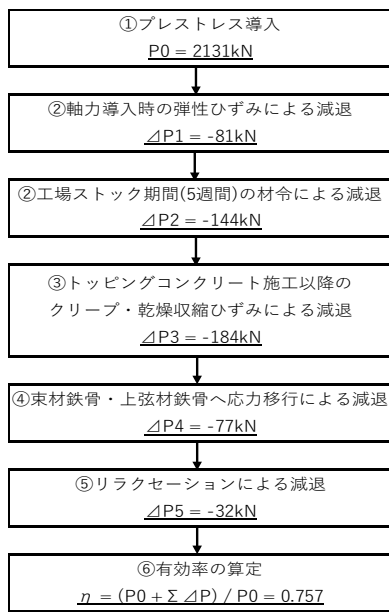


図-13 プレストレス有効率の算定フロー

設計ではこのように有効率を設定したが、鋼コンクリート合成構造におけるプレストレス有効率を算定した先例は少なく、形状も特殊なことから、実大試験体を製作して計測を行い、設定した有効率の妥当性を確認する方針とした。

#### 4.4 曲げ応力に対する設計

曲げ応力に対しては、Step1.PC版単体時(図15)、Step2.上弦材鉄骨取付け時(図16)、Step3.トッピングコンクリート合成時(図17)の3段階に分けて検討を行った。Step1.では、PC版自重に対してPC版単体の断面性能を用いて応力度を算出した。Step2.ではトッピングコンクリート自重に対して、PC版と上弦材鉄骨による断面性能を用いて応力度を算出した。Step3.では、仕上げ荷重と積載荷重に対して、PC版・上弦材鉄骨・トッピングコンクリートを合成

した断面性能を用いて作用応力度を算出した。Step1~3.を足し合わせたものを設計応力度として、コンクリートの曲げ引張強度以下、すなわちPRCⅢ種であることを確認した。

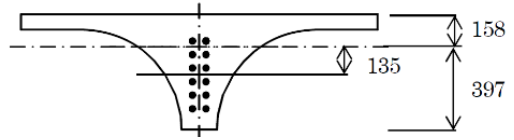


図-15 PC版単体時の有効断面

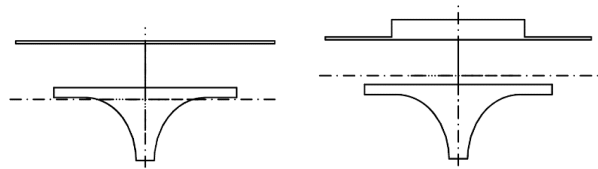


図-16 上弦材鉄骨合成時 図-17 トップコン合成時

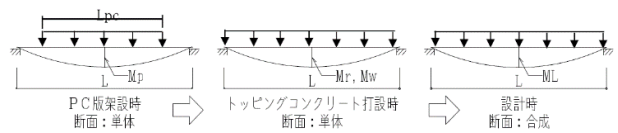


図-18 各ステップにおける曲げ応力

#### 4.5 むくり・たわみの検討

むくり、およびたわみ量の算定にあたっては、導入プレストレスによる変形、PC版自重による変形、トッピングコンクリート自重による変形、仕上げ荷重・積載荷重による変形をそれぞれ計算し、足し合わせて算出した。前項のように各段階の断面性能を用いて算出し、最終的な変形量は中央部で7.3mm上むくりする結果になった。

#### 4.6 東材・上弦材スタッド・PC横つなぎ材の設計

東材鉄骨はせん断力を負担するため、端部のせん断力に対して許容応力度以下となるよう断面を設定した。

一般的なハーフPCaPCスラブの場合、PCとトッピングコンクリートの打継ぎ面に水平せん断力が生じ、コンクリート間の付着力で伝達する。本システムではこの水平せん断力は、上弦材鉄骨とトッピングコンクリートの境界面で生じるため、上弦材鉄骨に配した頭付きスタッドによって伝達する計画とした。作用水平せん断力 $H_v$ は、波型鋼板ウェブPC橋計画マニュアル2)を参照し、下式によって算出した水平せん断力に対して、スタッドの許容耐力以下となるようスタッド本数を決定した。

$$H_v = Q \cdot S / I \quad Q: \text{面外せん断力}$$

S: 断面一次モーメント I: 断面二次モーメント

各PC版の間は80mmの離隔があるため、一体化のために山形鋼の横つなぎ材(図10)を配した。横つなぎ材は水平震度1.0Gに対し、許容応力度以下となるよう断面を決定した。

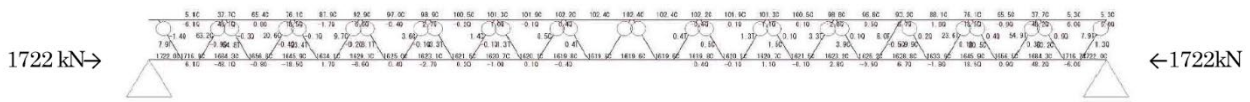


図-14 線材解析モデルによる鉄骨部材への移行力

## 5. 実大試験体の製作と計測

### 5.1 PCaPCスラブ実大試験の概要

本部材の製作過程において、プレストレス有効率を推定し実施工へ反映することを目的として、実大試験体を用いた計測を実施し、製作から現場搬入までのストック状態を再現した上でプレストレス導入力の経時変化を測定した。また、模擬試験体によりクリープおよび乾燥収縮の収束値を推定した。4点曲げ試験にて設計荷重相当を部材断面に作用させ、変形やひび割れ状況を確認する試験も実施した。

### 5.2 試験体概要

試験体は図11に示す断面形状を有し、部材長12.7m、版幅1720mm、版厚75mm、リブせい480mmのシングルT型リブ付きスラブであり、スラブ下からリブ先端にかけて曲面形状となっている。PC鋼材SWPR7BL-15.2mmを12本用いてプレストレスを導入している。スラブ上面中央には頭付きスタッドが溶接されたフラットバー(t=12mm)がラチス状に埋め込まれており、現場においてアングルがフラットバー上部に接合され、防錆処理を施した後に隣り合うスラブのアングル間にデッキプレートを敷設し、現場打ちコンクリートを打設することで一体化されて合成スラブとなる。フラットバーとアングル材はボルト接合され、アングルと現場打ちコンクリートはスタッドを介して一体化する。

図19にスラブ端部詳細図を示す。スラブ端部には鉄骨が埋め込まれており、タワークレーンを用いて架設した後、ガセットプレートを用いて鉄骨大梁と接合する。

### 5.3 実大試験体の製作

図20にPCaPCスラブの製作フローを示す。部材製作の流れとしては、型枠の組立、配筋、フラットバーの取り付け、PC鋼より線の通線、インサートの取り付け、PC鋼より線の緊張、コンクリート打設、養生、脱型&プレストレスの導入である。本部材の端部は三次元曲面形状のリブを有しているため、鋼製型枠の加工は容易ではなく、鋼板の叩き出しによって成型している。

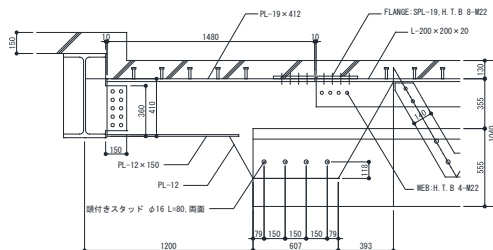


図-19 PCaPCスラブ端部接合部詳細図

写真-4に鉄筋の配筋状況、写真-5に型枠内に配筋を落とし込みフラットバーをセットした状況を示す。フラットバーの取り付けに際して、専用の取り付け治具を製作し、ボルトでフラットバーを所定の位置に固定した。コンクリー

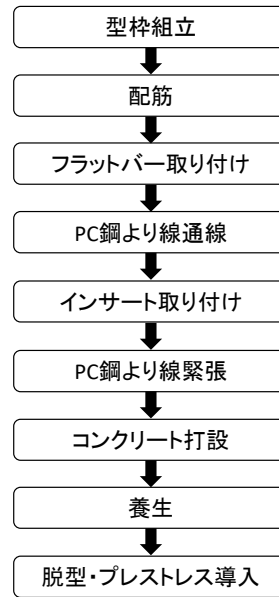


図-20 PCスラブ製作フロー

トの打設はスラブ上面からとした。

写真-6に脱型後のPCaPCスラブの端部リブ形状を示す。端部の三次元曲面となっているリブにおいては比較的ピンホールも少なく、綺麗に仕上げることができた。写真-7に脱型後のスラブ上面におけるフラットバー状況を示す。専用の固定治具によりフラットバーを精度よくスラブに埋め込むことができた。

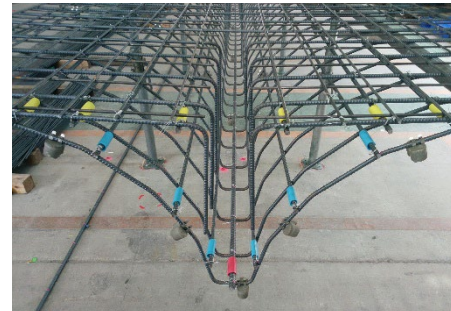


写真-4 配筋状況

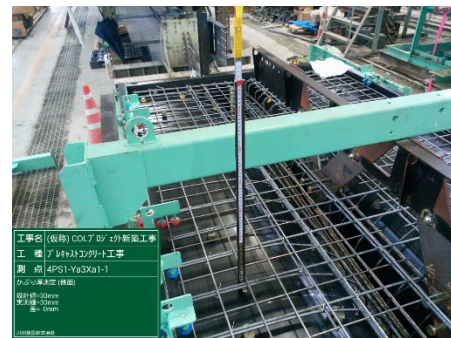


写真-5 フラットバーセット状況



写真-6 脱型後端部リブ形状



写真-7 脱型後フラットバー状況

#### 5.4 部材製作におけるプレストレス有効率実測概要

図-21 に本実験における試験体の荷重条件および支持条件の比較を示す。①②では脱型・プレストレス導入後、スラブ端部に支持点を設け、約1か月間計測を行う(ステージ1)。③④ではスラブの架設時を想定して支持点の位置を端部鉄骨位置に変更し、フラットバーにアングルをボルトで取り付けた(ステージ2)。その後、木製のスラブ型枠設置およびスラブ配筋を行い、⑤においてトップコンを打設し約2か月間計測した。ステージ1からステージ2に支点を架け替える際には盛替えを行った。主な計測項目は、試験体端部および中央における鉛直変位、試験体両端部の水平変位、PC鋼より線のひずみである。PC鋼より線のひずみは素線に貼付したひずみゲージを用いて計測した。

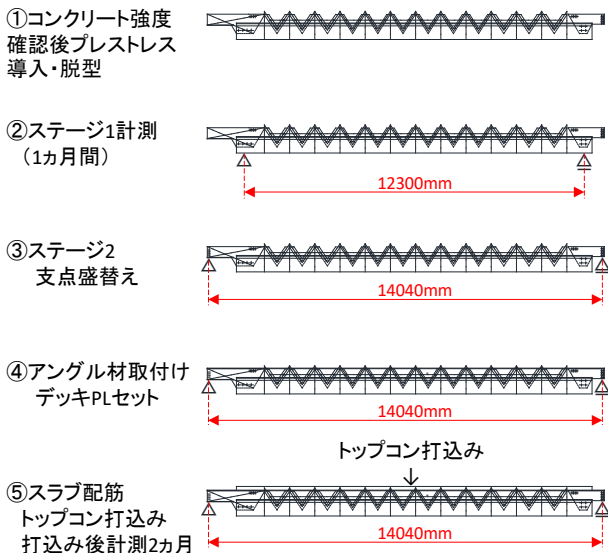


図-21 実測実験の各段階における試験体条件

#### 5.5 プレストレス有効率測定結果

図-22にPC鋼より線ひずみの時間経過グラフを示す。グラフ縦軸がひずみ、横軸が日時である。PC鋼より線のひずみは最上段と最下段PC鋼より線に貼り付けた各々のひずみゲージの平均値を、PC単体図芯位置に直線補完した

値である。図より緊張終了時のひずみは $6160\mu$ 、プレストレス導入完了時のひずみは $5566\mu$ であった。プレストレス導入完了時から45日でトップコンを打込んだ。

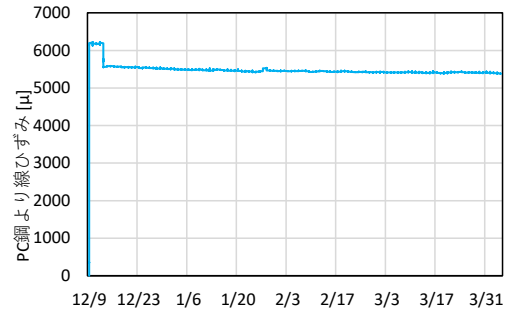


図-22 PC鋼より線ひずみの時間経過

図-23に図-22のプレストレス導入完了後の拡大図を示す。図-22によると、1/27のトップコン打込みにより1/28のPC鋼材の伸びは急に増加しており、ここで不連続が生じている。この不連続はトップコン打設によるものと考えられ、プレストレス有効率予測式を求めるには、この荷重効果を補正する必要がある。そこで図-23では1/28以降のひずみからトップコン打設によるひずみ増加分を差し引いている。

ここではトップコン打設による不連続であることを確認するため、トップコン荷重による応力解析値と平面保持を仮定した断面ひずみより得られる曲げ応力値の比較を行う。応力解析は上部アングルフランジ部をヤング係数比倍したPCa合成断面や端部鉄骨を平面フレームにモデル化し、トップコン荷重を載荷したものについて行った。解析による曲げ応力は $M_a=130.6\text{kNm}$ 、これに対し断面のひずみ分布より求めた曲げ応力は $M_b=114.5\text{kNm}$ となり、概ね応力値は整合している。したがって、1/28におけるPC鋼より線のひずみ増分はトップコン打設による応力増分の影響によるものと考えられる。

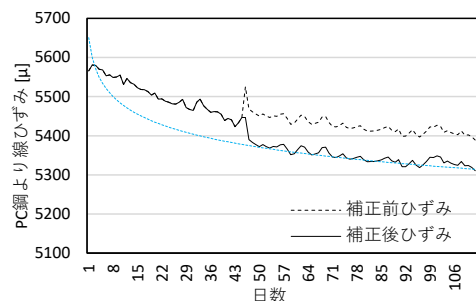


図-23 PC鋼より線ひずみの補正

荷重効果を補正した1/29以降のひずみは1/27以前のひずみより若干小さくなっているため、1/29以降の区間における近似曲線を以下の式のように算出した。

$$\epsilon = 5650.7x - 0.013$$

x: 日数

上記の式から700日後のPC鋼より線のひずみを予測すると以下の通りである。

$$\epsilon_{700} = 5650.7 \times 700 - 0.013 = 5189\mu$$

ミルシートによるリラクセーションは0.68%よりリラクセーションによる減退量をひずみに換算すると

$$\Delta \varepsilon R = 0.0068 \times 6160 = 42 \mu$$

以上よりプレストレス有効率 $\eta$ を求めると以下の通りである。

$$\eta = (\varepsilon_{700} - \Delta \varepsilon R) / \varepsilon_{io} = (5189 - 42) / 6160 = 0.836$$

プレストレス有効率に対するばらつきは材料による影響を考慮し、コンクリートの調合強度より考察する。

部材製造工場の過去実績（102日間）によると、標準偏差 $\sigma = 3.08 \text{N/mm}^2$ に対し最大偏差は $S = 6.9 \text{N/mm}^2$ となっており、これより正規分布の $n$ は $n = 6.9 / 3.08 = 2.24$ となっている。本物件の試し練り計画書によると調合強度 $F$ は①脱型時所要強度②出荷時所要強度③品質基準強度の3種類の内、①より決定され $F = 85 \text{N/mm}^2$ となっている。過去実績に当てはめると最大値： $85 + 2.24 \times 3.08 = 91.9 \text{N/mm}^2$ 、最小値： $85 - 2.24 \times 3.08 = 78.1 \text{N/mm}^2$ の範囲となる。これよりヤング係数を計算すると $37624 \sim 38616 \text{N/mm}^2$ 。 $F = 85 \text{N/mm}^2$ のヤング係数は $37624 \text{N/mm}^2$ なので、割合では $0.972 \sim 1.026$ となり、これを700日後ひずみに乗ずると $5044 \mu \sim 5324 \mu$ の範囲となる。

以上より、リラクセーションによる減退量を考慮したプレストレス有効率は下限値： $(5044 - 42) / 6160 = 0.812$ 、上限値： $(5324 - 42) / 6160 = 0.857$ の間で変動することとなる。

本試験より得られたプレストレス有効率は、 $\eta = 0.836$ であった。ばらつきなどを考慮しても下限値は、設計で用いられたプレストレス有効率 $\eta = 0.757$ 以上となっていることが確認された。

## 5.6 載荷試験結果

載荷試験は、床版中央から左右に1020mmずつ2点に載荷を行った。荷重値と重りの関係は以下の通りである。

荷重1：仕上げ・積載荷重 $1.8 \text{kN/m}^2$ の場合  $P = 12.7 \text{kN}$  重り  $W = 2 \times P = 25.4 \text{kN}$  (20kN用×1+5kN用×1)

荷重2：仕上げ・積載荷重 $6.0 \text{kN/m}^2$ の場合  $P = 42.5 \text{kN}$  重り  $W = 2 \times P = 85.0 \text{kN}$  (20kN用×4+5kN用×1)

変位の計測は、25kNまで荷重をかけた状態で5分間30秒ごとのインターバル計測を行った。その後荷重を除荷し、30秒ごとのインターバル計測を行った。続いて荷重2では、40kNまで載荷後に5分間保持して30秒ごとのインターバル計測をし、80kNで同様に計測、最終の85kNで30秒ごとのインターバル計測を行った。計測後に一旦サポートをかけた状態で等曲げ区間におけるコンクリートのひび割れ発生確認を行った。5kN除荷後、20kNずつ除荷および計測を行い、荷重0まで除荷した。荷重0の状態を5分間維持し、30秒ごとのインターバル計測を行った。

載荷試験における変位計測結果を図-27に示す。黒線が鉛直変位（中央変位から両端の変位の平均値を引いた数値）、グレー線が水平変位HD1とHD2（右端上下）との平

均値、黒破線が同じくHD3とHD4（左端上下）との平均値を示す。絶対値は小さいものの、鉛直変位と水平変位は同じ傾向で変化している。

図-28は、鉛直変位のうち、5分間保持データを除いて繋いだグラフである。荷重1・荷重2ともに載荷・除荷ともにほぼ直線状に変位している。これよりクラックなどの剛性低下がないものと思われる。なお除荷時に変位が0にもどらずに若干プラス側へ移動しているが、これは変位をデジタル値として読み取っていることによる誤差と言う事が第一に考えられる。それに加え、試験当日はかなり日差しが強く試験体周辺も $40^\circ\text{C}$ 付近まで上昇しており、試験体内部の温度も時間と共に上昇し、温度によるひずみの残存、と言った複数の要因が重なったためと推察される。

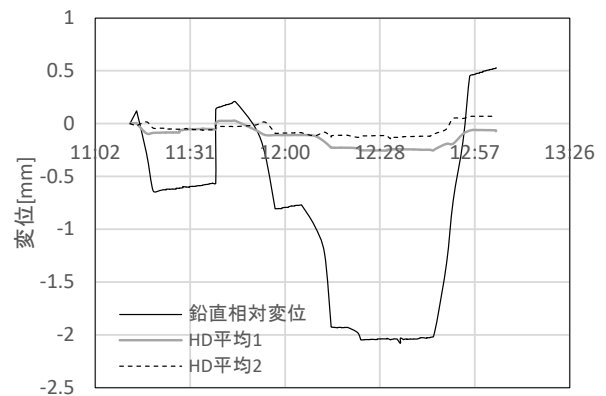


図-27 載荷試験結果

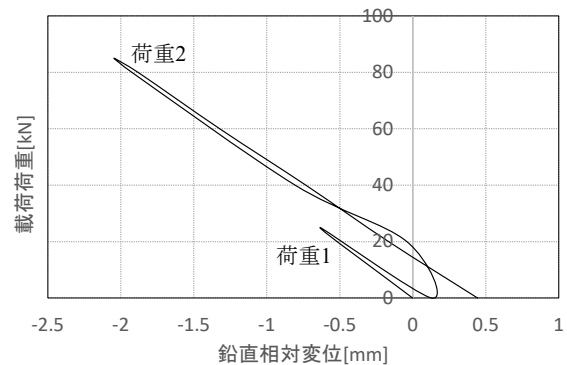


図-28 載荷試験結果

## 6. おわりに

結びに、実大試験体の製作や計測についてご助言を賜った日本大学の福井剛教授をはじめ、関係者の皆様に心から感謝を申し上げます。