

三重交通 G スポーツの杜 伊勢 陸上競技場

— 「伊勢」に呼応した架構デザイン —

山浦 晋弘*1・秋田 智*2・渡邊 祥*3・坂梨 嘉洋*4

本建物は、三重県伊勢市に位置し、神宮の森に隣接する「五十鈴公園」内に建つ。“「伊勢」に呼応した競技場”を実現するため、プレストレストコンクリート梁を含めた PCa 部材や高張力鋼を用いた張弦梁構造などの現代の技術を用いて「伝統工法」を連想することのできる建物とした。さらに、木組みのような構造躯体をそのまま外観デザインとすることで、自然景観との調和や地域性の表現という課題に対する解とした。

キーワード：PCaPC 造、競技場、張弦梁

1. はじめに

伊勢市の五十鈴公園に建つ本競技場は、昭和 43 年に供用を開始し、約 45 年にわたり三重県内のスポーツ振興の拠点となる施設として親しまれてきた。しかしながら、競技規則の変更による第 1 種公認陸上競技場としての施設基準を満たしていないことや部分的に施設の老朽化が進んでいることから、メインスタンドを建替え、他のスタンドは既存施設を改修し有効活用することとなった。

伊勢神宮内宮につながる「杜の中の競技場」をコンセプトに「架構美の継承」「山並み景観との調和」「素材感」をキーワードとして設計を行い、「伊勢」に呼応した競技場をめざした(図 - 1)。メインフレームは PCa 化した直線部材により、組柱や木組みといった伝統技術をイメージさせる架構デザインとし、構造体そのままを外観デザインに表した。また、張弦梁構造により軽快で高さを抑えたフラットな屋根としてボリューム感を抑え、背後の山並み景観との調和を図った。さらにコンクリートや鉄による構造部材の力強さに加え、親しみを感じさせる県産木材による外壁ルーバーや玄関庇など、素材そのものの質感や魅力を活かすことを狙った(写真 - 1)。

エントランス横に設けられたアプローチテラス(写真 - 1)は、隣の補助競技場での選手のウォーミングアップ姿が一望でき、観客をスムーズにスタンドへ導くだけでな

く緊張感や期待感を誘う仕掛けとしている。さらに 2 階コンコースレベルをサイド・バックスタンドへとつなげ、観客が競技場全体を回遊できる動線や立見席を新たに計画し、さまざまな観戦が楽しめる競技場として整備した。

なお本競技場は、2021 年開催の三重とこわか国体のメイン会場に予定されている。

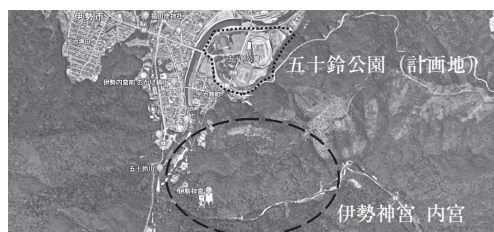


図 - 1 計画地 (Google より)



写真 - 1* 建物全景



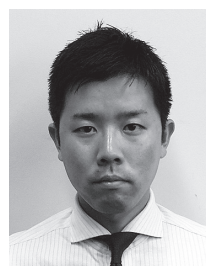
*1 Nobuhiro YAMAURA

(株) 安井建築設計事務所
大阪事務所 構造部長



*2 Satoshi AKITA

(株) 安井建築設計事務所
大阪事務所 構造部



*3 Sho WATANABE

(株) 安井建築設計事務所
大阪事務所 構造部



*4 Yoshihiro SAKANASHI

(株) ピーエス三菱
大阪支店 PC 建築部

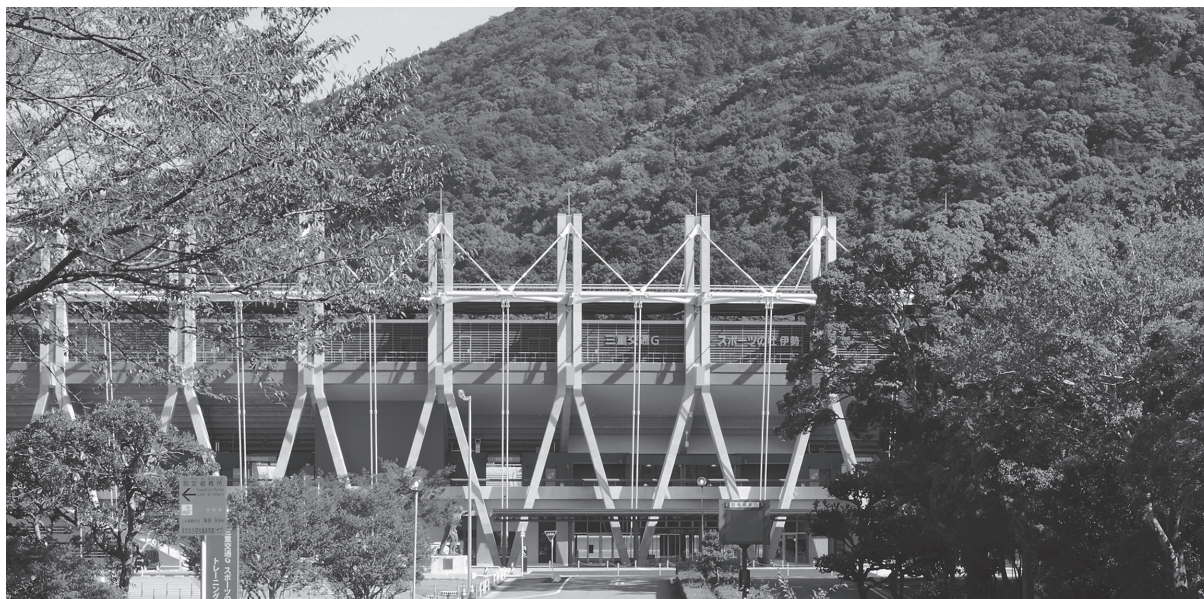


写真 - 2* 建物西側外観（正面アプローチより）

2. 構造計画

設計を進めるにあたり、構造設計において実現すべき重要事項の3本柱を掲げて設計を進めた。それが以下の3つである（図 - 6、写真 - 3～7）。

- ① 軽快で伸びやかな大屋根
- ② 伝統工法（伊勢）を連想させる架構
- ③ コスト管理

2.1 軽快で伸びやかな大屋根

正面アプローチより計画地を見ると、手前の公園に広がる緑と向こう側の美しい山の緑が目に入る。この風景の中に27m跳ね出しの大屋根が自然と溶け込めるように、できるだけこの風景を壊さない構造として採用したのが「張弦梁構造」である（写真 - 2）。屋根を構築する方法はほかにも考えられるが、主として軸力系の部材で構成でき、部材断面を小さくできる構造を採用することで、景観に対するインパクトを低減できるように配慮した。引張材であるテンションロッドφ90（材質：NHT690/740）のバックステイの配線計画にあたって、大屋根を軽快に支えるためにテンションロッドが地震時にブレースとして働き、思わぬ損傷を引き起こすことを避けるため、地盤面では斜め柱脚部から垂直に配線し、屋根面レベルから最上部に向けて斜めに分岐させることにした。さらに、吹上げ防止用のテンションロッド（フロントステイ）を観客席内に設けることにしたが、BIMによる視認性の検討を加えながら、建築主の同意を得て極力視線の妨げにならない位置に設けた。

テンションロッドは初期張力を導入することにより、大屋根の安定性を確保するとともに、2層目の片持ち柱（組柱）の柱脚部の曲げモーメントを打ち消す役割も果たす。その初期張力の値については、張力導入終了時に屋根面が設計値レベルになること、また風吹降ろし時にフロントステイの張力が消失しないことを目標に設定して、トライ&エラーを重ねて決定した。

2.2 伝統工法（伊勢）を連想させる架構

神宮の森に隣接する競技場としてシンプルな架構美を継承するため、木組みのような「伝統工法」を現代の技術を用いた形で表現する方針で設計を進めた。

まずスタンド棟はPCa部材で構成する計画とした。X方向（桁行方向）はスパン10mのPCaRC造梁（800mm×1200mm）、一方Y方向（梁間方向）は最大スパン14.2mの圧着工法によるPCaPC造梁（800mm×1400mm）とした。また、スタンドの大部分を占める段床は、2段で一体のPCaPC造とすることで、支持スパン10m、最大厚さ140mmで設計し、現場打ちコンクリート範囲を限定した。

大屋根（鉄骨）とスタンド部（コンクリート）の交差部は、構造種別の異なる部材が集まるため、屋根面のS造大梁とRC造柱を立体的に交差させ、伝統技術の「貫」をイメージさせる接合部とした。具体的には、2層目の片持ち柱を4階床面から屋根面までは2本の柱を束ね、屋根面からはマスト頂部までは柱を2本に戻し、その柱2本の間にS造大梁（H網）を通し、そこに回転ピン支承（SCW480）を設けてRC部に接合した（図 - 2、5）。マスト頂部では、柱2本を再度一体として3方向から取りつくテンションロ

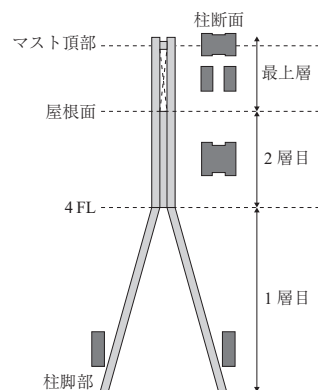


図 - 2 木組みフレームの部材構成

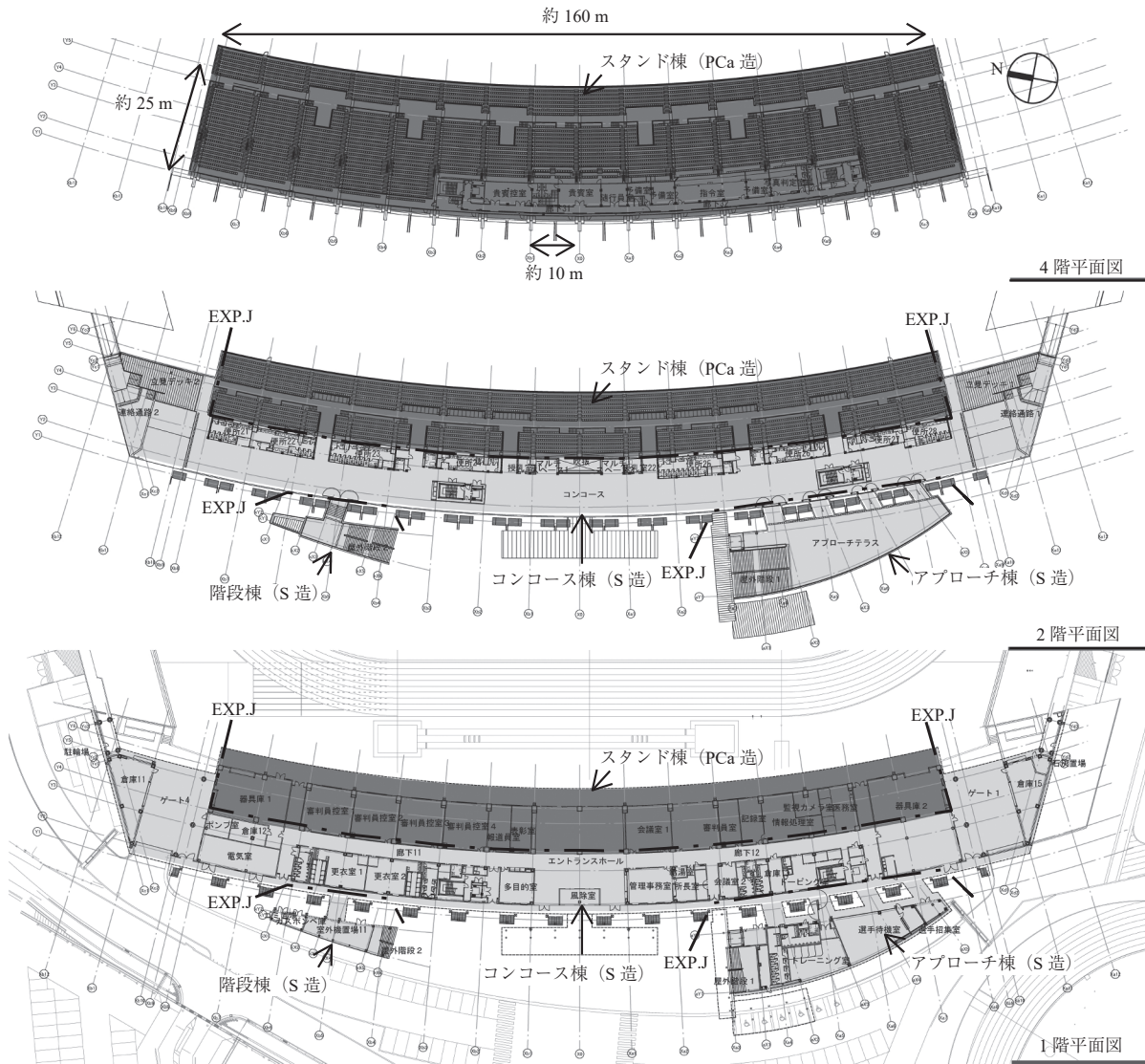


図 - 3 各階平面図

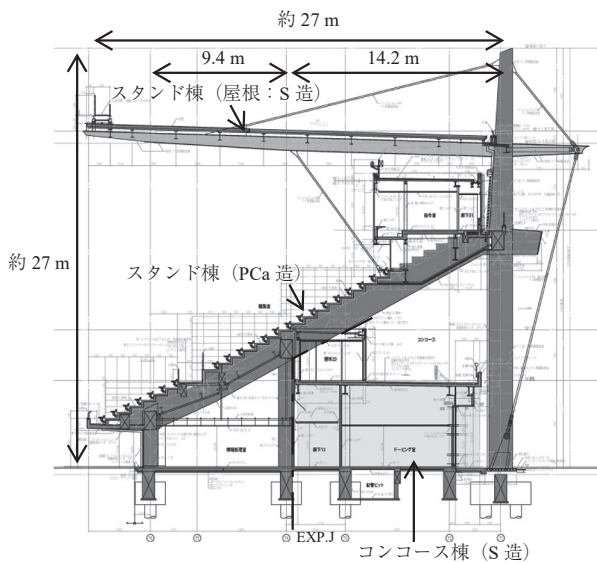


図 - 4 断面図

ッドをRC部に内蔵させた鉄骨に接合することで接合部を簡素化した。その他、複数の部材が集まる接合部について

も、BIMを用いて個々にガセットプレートの取合い、施工性を確認しながら形状を決定した。

2.3 コスト管理

基本設計中にいくつかのポイントで工事費を概算し、コストの把握に努めた。その途中の概算の段階において、当初の計画のままでは予算を超過することがわかり、PCaRC/PC造のスタンド棟はそのままにして、コンコース棟を鉄骨造としてスタンド棟内に独立させて計画した。このことにより、競技場の骨格はRC系、コンコース棟を含むスタジアムの機能として平面的に展開していくその他の棟はS造として、適材適所の構造種別で計画できただけでなく、スタジアム建築特有の斜め梁による短柱の問題も解決させることができた(図-3, 4)。

①～③のほか、本建物は不静定次数が低く、軸力系でバランスが保たれているため、想定外のことが起きたときのフェイルセーフとして、大地震時における弾性設計や、一部のテンションロッドの張力消失時でも崩壊させない設計などで安全性を担保する計画とした。



写真 - 3* 外観 南東面



写真 - 4* 観客席



写真 - 6* 外観 南西面



写真 - 5* コンコース

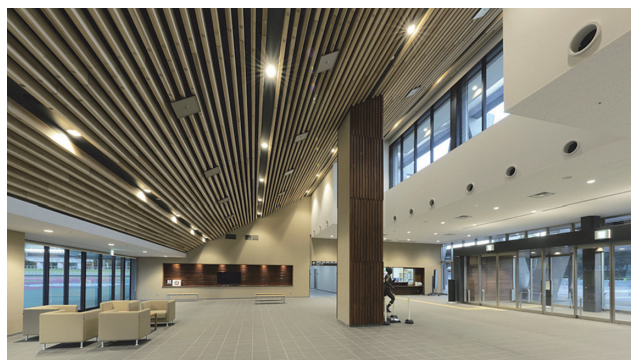


写真 - 7* エントランスホール

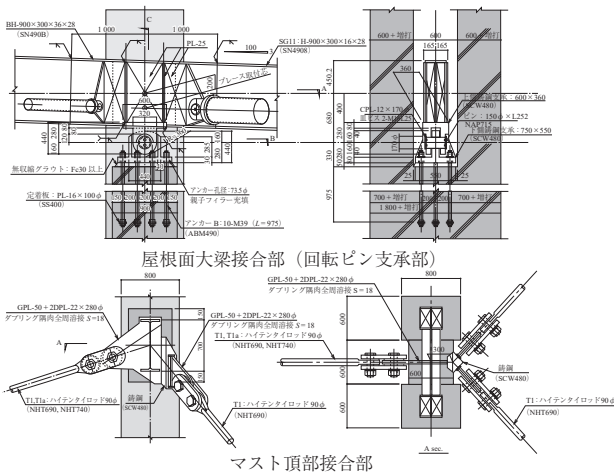


図 - 5 RC 躯体と S 造の接合部詳細

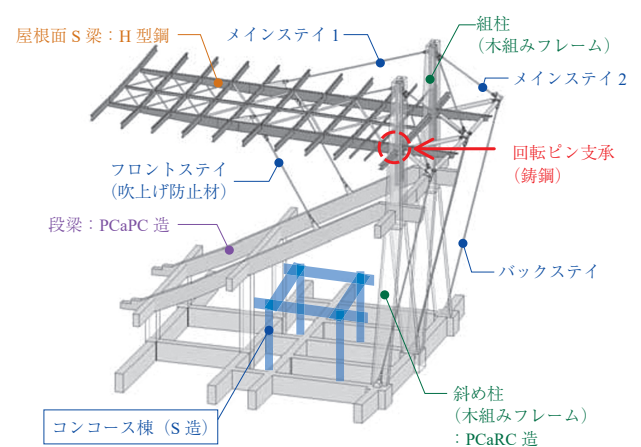


図 - 6 架構パース

3. 施工概要

3.1 PCa 部材の製作

部材の形状、および配置を図 - 7 に示す。また、部材数量表を表 - 1 に示す。運搬に配慮して1ピースの重量が25 t 以下となるように部材の分割を計画した。

表 - 1 部材数量表

部位	部材数 (p)	部材重量 (t/p)	総重量 (t)
柱	34	5 ~ 17	374
上段柱	34	15	255
下段柱	34	20	340
片持ち柱	17	25	425
門形柱	17	20	340
段梁	51	25	1 275
接合部	17	20 ~ 25	415
片持ち梁	17	4	68
桁梁	26	13 ~ 14	348
小梁	90	2 ~ 15	666
段床	205	2 ~ 7	1 132
踏み石	428	0.2 ~ 0.4	93

PCa 部材の製作は、ピー・エス・コンクリート(株)兵庫工場・滋賀工場、および(株)ナルックス員弁工場の3工場にて行った。

PCa 部材のコンクリート強度は、プレストレスの導入される段梁・接合部・片持ち梁および段床は Fc60 N/mm² であり、その他の部材は Fc50 N/mm² である。

PCa 部材の製作にあたり、鉄骨屋根との取り合いのため鉄骨を埋め込む部材については、充填性を考慮して高流動コンクリートを採用した。また、打込み時の締め固めを確実にするため、鉄骨のウェブにバイブレータを通せる開孔を設けた。

門形柱は、現場において柱脚から突出した2本の鉄骨を下部の部材と接合するため、鉄骨位置は±1 mm 程度の精度が要求された。そこで、部材製作時に門形柱と下部の部材を仮ボルトで接合した状態で、同時にコンクリートを打ち込む計画とした。写真 - 8 に製作時の接合状況を示す。

段梁は上面に段の付いた形状のため、梁側面を打込み面とし、工場にて建て起しを行った(写真 - 9)。

斜め柱は、下面を打込み面とすることで雨掛かりとなる上面に密実なコンクリートが形成されるように配慮した。

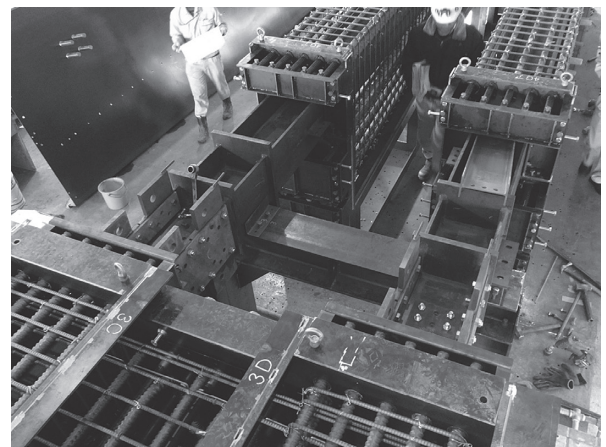


写真 - 8 門形柱と下部材の仮接合状況

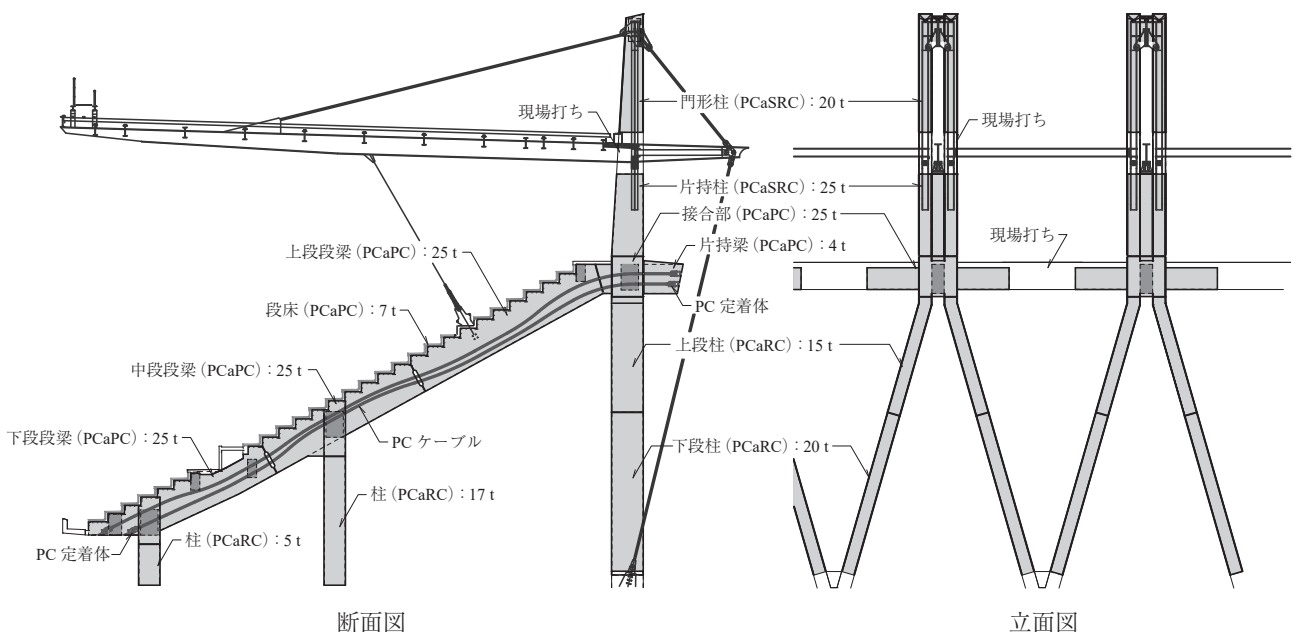
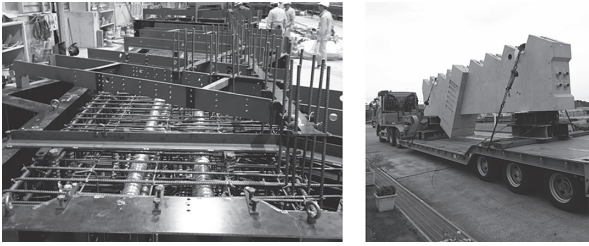


図 - 7 PCa 部材の形状と配置



配筋 運搬
写真 - 9 段梁製作状況

3.2 PCa 部材の建方

各部材の接合は、PCケーブルが配置されている段梁・片持ち梁については、プレストレス導入による圧着接合であり、そのほかは、モルタル充填式継手を用いた接合である。

各部材の施工手順は、①PCa 柱建方、②柱脚目地モルタル注入、③PCa 段梁架設、④段梁目地モルタル注入、⑤PCa 桁梁架設、⑥段梁PCケーブルの挿入と緊張、⑦PCグラウト注入、⑧PCa 小梁架設、⑨現場打ち部コンクリート打込み、⑩PCa 段床架設、⑪4階柱（片持ち柱）建方、⑫柱脚目地モルタル注入、⑬門形柱建方、⑭片持ち柱-門形柱接続部コンクリート打込み、である。目地グラウトの注入は、建方当日に行うことで、部材を早期に固定すると共に、次の部材建方までの目地モルタルの養生期間を確保した。

本建物の特徴である斜め柱（断面寸法 600 mm × 1 500 mm）は、重量制限（5 t 以下）のため2分割している。施工中は柱を斜めに支持するためさまざまな工夫が必要であった。斜め柱の建て起しと吊姿を写真 - 10 に示す。



建て起し 吊姿
写真 - 10 斜め柱の建方状況

電動チェーンブロックを使用し、斜めの状態で吊上げを行った。吊り角度についても角度調整器を用いてあらかじめ角度を調整した。電動チェーンブロックから潤滑油が滴り落ちる懸念があったため、部材に養生シートを被せる工夫を行った。斜め柱の仮設計画図を図 - 8 に示す。柱を斜めに支持するため、部材に埋め込まれたインサートを使用して水平にブラケットが付けられるように計画した。そうすることで、支保工に対して斜めの力がかからないように工夫した。2分割された目地部では、斜め柱がずれる懸念があったため、ずれ止め金物を設置する計画とした。ずれ止め金物は目地モルタル用の型枠と干渉しないように、

目地部を切り欠いた形状とした。斜め柱はハの字となり柱頭部で接合部材と取り合うため、柱主筋の位置精度が重要である。そのため柱頭部の主筋をテンプレートで固定する計画とした（写真 - 11）。また、プレストレス導入により梁が軸方向に縮むことにより、柱が倒れることを考慮した建方計画を行った。三次元フレーム解析による検討を行い、材長の長い斜め柱側に変位が集中する結果（5.7 mm の水平変位）となった。そのため、軸縮みと逆方向に 6 mm 倒した位置を目標に建方を行った。実施工において解析結果どおりの変位となることを確認した。

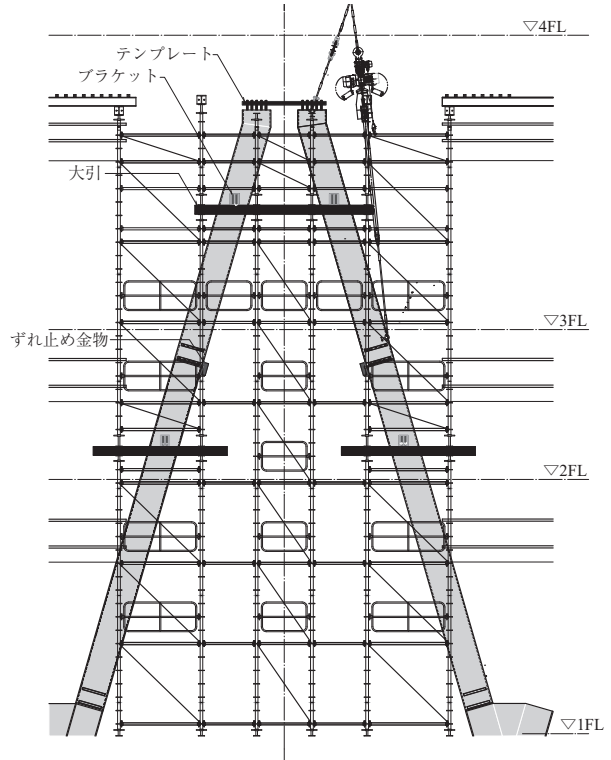


図 - 8 斜め柱の仮設計画図



ずれ止め金物 テンプレート
写真 - 11 斜め柱の仮設状況

段梁の架設においても斜め柱と同様に電動チェーンブロックを使用し、斜めの状態で吊上げを行い、斜めに支持するため、梁側面にブラケットを取り付けて支保工に斜めの力がかからないように配慮した。図 - 9 に段梁の仮設計画図、写真 - 12 に段梁の側面受け写真を示す。

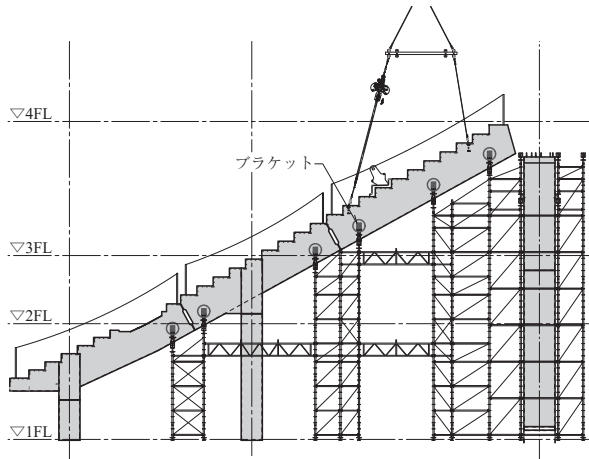
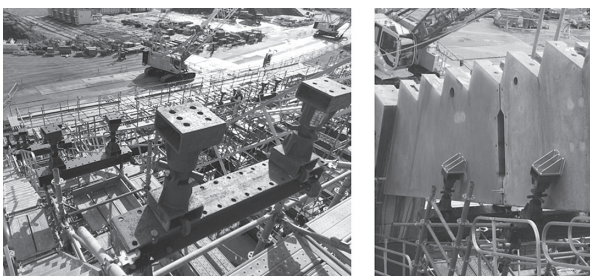


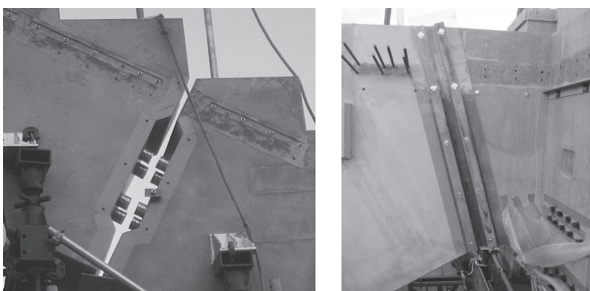
図 - 9 段梁の仮設計画図



架設前 架設後
写真 - 12 段梁の側面受け状況

3.3 PCaPC 段梁のプレストレス導入

段梁および片持ち梁は、ポストテンション方式によりプレストレスを導入し、各部材を圧着接合するPCaPC部材である。梁断面は600mm×1400mmであり、PCケーブルはPC鋼より線12-15.2mm(SWPR7BL)が4ケーブル配置されている。緊張は、上部の片持ち梁側からの片引き緊張である。各部材を架設した後、目地部でシースを接続する。4カ所ある目地の内、2カ所は目地とシースの配置が垂直であるため、飛出シースを用いて接続している。残りの2カ所では、目地に対しシースが斜めに配置されている。そこで、一部目地を拡張することで、シースを手作業で接続できるように工夫した。また、目地が傾いているため、目地モルタルの打込み時に充填状況を確認できるアクリル型枠を採用した。写真-13に目地拡張部とアクリル型枠の写真を示す。



目地拡張部 アクリル型枠
写真 - 13 段梁の圧着目地

3.4 PC 段床

観客席の段床は、全部材を工場製作として、プレテンション方式によりプレストレスを導入するPCaPC造である。部材形状は、剛性の向上と部材数削減を目的として、1枚の版に2つの段を設けた2段床(標準スパン10m)である。図-10に標準断面を示す。部材の固定方法は、図-11に示すように、版下部に埋め込んだ金物(各4カ所)に固定用ボルトを取付け、無収縮モルタルを充填したスリーブに落とし込むことで段梁に固定される。

PC段床においては、隣り合う版の間に目地ができるため漏水対策が重要である。図-12に示すように、目地部にはシーリング材を充填するが、鉛直目地の直下にはシールが切れることを前提に排水溝を設けている。

本建物では、段床で防火区画に関わる範囲があったため、一部の目地にロックウールを設けた。

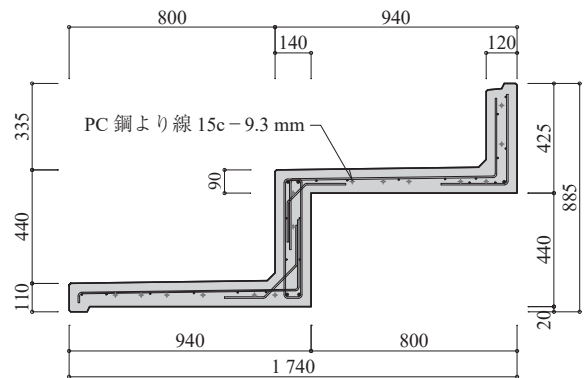


図 - 10 PC 段床の標準断面

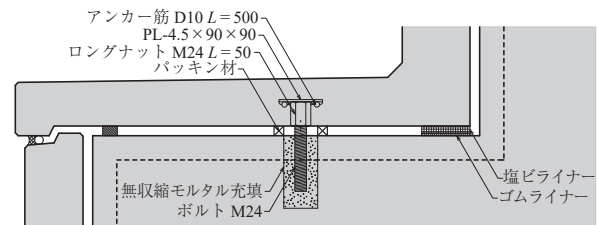


図 - 11 PC 段床の固定方法

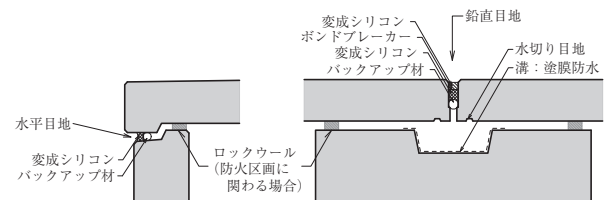


図 - 12 PC 段床の目地詳細図

3.5 PC 工事の各工程

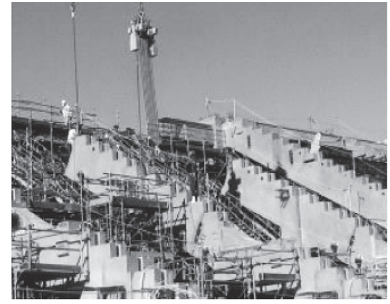
写真-14にPC工事における各工程写真を示す。



① 柱 建 方



② 下段段梁架設



③ 中段段梁架設



④ 上段段梁架設



⑤ 接合部架設



⑥ 片持ち梁架設



⑦ PC ケーブル入線



⑧ PC ケーブル緊張



⑨ PC グラウト注入



⑩ 段床架設



⑪ 片持ち柱建方



⑫ 門形柱建方

写真 - 14 PC 工事における各工程写真

4. おわりに

計画段階から竣工に至るまで、大変お世話になりました三重県庁のみなさまをはじめ、本工事・施工に関わった関係者のみなさまに心から御礼申し上げます。

また、本競技場が県民のみなさまから親しまれる競技場となれるよう、また選手が日ごろの練習の成果を十分に発揮することのできる競技場となることを願っております。

参考文献

- 1) 落合 等, 福本紘久, 山下英次, 宮崎靖之: コンクリート工学 2018年4月, pp.304-310.

建築概要

- 計 画 地: 三重県伊勢市宇治館町 510 番地ほか
- 建 物 用 途: 陸上競技場
- 建 物 面 積: 8 387 m²
- 延 床 面 積: 13 601 m²
- 構 造 種 別: RC 造・一部 S 造
- 階 数: 地上 4 階, 地下 1 階
- 発 注 者: 三重県
- 設計・監理: 株式会社 安井建築設計事務所
- 施 工: 清水・堀崎・伊藤 JV (建築)
- PC 施 工: 株式会社 ピーエス三菱
- 撮 影: 株式会社 リフレクト (*付き)

【2018年5月7日受付】