

みよろ 三四六総合運動公園 体育館の設計・施工

— プレートグリッドを用いた空間デザインの提案 —

原 健一郎*1・安部 良治*2・長岡 寛之*3・脇村 佳伸*4・屋田 研郎*5

体育館などの大空間を覆う屋根は、鉄骨や木などの軽量な材料を用いて構成するのが一般的であるが、本体育館ではPCa柱梁を積極的に用いる計画を行った。PCa部材は力学的合理性や施工性だけでなく、意匠性にも配慮した構造躯体として、PCa架構の魅力ある空間設計の一手法を実践した。

キーワード：斜格子、スポーツ空間、相互依存架構

1. はじめに

和歌山県では2015年に44年ぶりの国体となる、紀の国わかやま国体が開催される。県南部の田辺市で整備される三四六総合運動公園は30.8haの広大な敷地に陸上競技場や野球場などが計画されている（図-1）。国体ではボクシング、少年サッカー、軟式野球のほかインディアカ、キンボールスポーツの会場に予定され、国体終了後も拠点施設としてスポーツ環境の充実に期待されている。体育館は運動公園内の南西、陸上競技場に隣接した、宿泊施設および研修室も併設する複合施設で、災害時には避難・救護活動の場として機能する。



図-1 運動公園完成イメージ

田辺市は熊野古道への入り口として数々の史跡に恵まれている。新体育館は地域の歴史性を背景に、伝統に根ざした建築を実現し、周辺環境に配慮しながら、機能的で、また地域交流の場として各種イベントなど多目的な利用も可能な施設として計画された。

2. 建物概要

- 建設地：和歌山県田辺市上の山一丁目
- 主要用途：観覧場（体育館）
- 建築面積：5 619.13 m²
- 延床面積：7 964.24 m²
- 階数：地上2階，地下1階
- 最高高さ：19.03 m
- 構造：鉄筋コンクリート（RC）造，一部プレキャスト鉄筋コンクリート（PCaRC）造，プレキャストプレレストレストコンクリート（PCaPC）造，鉄骨造
- 架構：耐震壁つきラーメン架構
- 基礎：直接基礎
- 工期：平成24年12月～平成26年5月
- 設計：中央コンサルタンツ・石本建築事務所
特定設計業務共同企業体
- 監理：株式会社岡本設計
- 施工：田中・東宝・裏地JV



*1 Kenichiro HARA

(株)石本建築事務所
プロジェクト推進室 次長



*2 Ryoji ABE

(株)石本建築事務所
大阪支所 主事



*3 Hiroyuki NAGAOKA

(株)石本建築事務所
大阪支所 主任



*4 Yoshinobu WAKIMURA

(株)岡本設計
構造部 部長



*5 Kenrou YADA

ピーエス三菱(株)
大阪支店 PC建築部

3. 建築計画

陸上競技場と体育館アリーナの間に位置する二層吹抜けのホールが、このエリアの中心的空間となっている。ホールからは東側に陸上競技場を広く見渡すことができ、室内側はアリーナ、南北両翼には宿泊施設および研修棟がつながっている。

体育館棟の中心となるアリーナ部分は、田辺市の熊野本宮大社の屋根のメタファーとして表現し、底辺 54.6 m、頂辺 39.0 m、傾斜 15 度の壁で囲まれる正四角錐形状とした。外装材は檜肌葺きを想起させるタイル貼りとしている（図 - 2, 3, 4）。

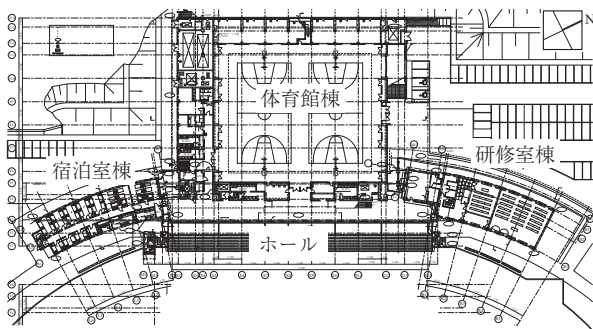


図 - 2 1階平面図

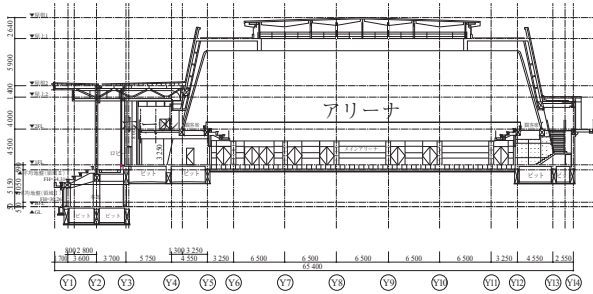


図 - 3 断面図



図 - 4 外観パース

4. 構造計画

4.1 構造計画概要

体育館棟と宿泊施設・研修室棟は、エキスパンションジョイントを設け構造的に分離した。アリーナ部分は体育館棟の中心となり、四周を付帯施設により囲まれた構成となっている。機能用途上 RC 壁が多く計画されたことから、

各棟とも構造的に積極的に壁を活用する方針とした（図 - 5, 6）。

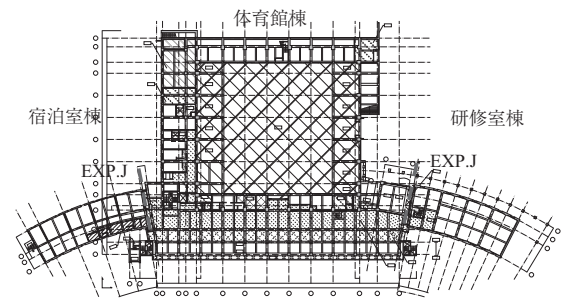


図 - 5 1階床梁伏図

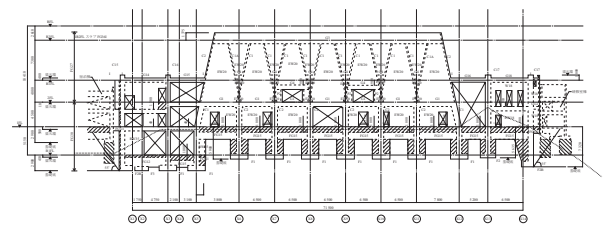


図 - 6 軸組図

4.2 体育館棟アリーナ構造計画概要

体育館棟アリーナの特徴は四角すいを水平に切り出した外形をもつ大空間ということにある。壁面は垂直に対して 15 度の傾斜をもっており、立面的には台形である。

体育館のような大空間は鉄骨や木造などの軽量の屋根で構成することが一般的で、外周となる立ち上がり架構を RC とした場合、屋根の端部にはスライド機構などを付与して地震や温度応力などに対し互いに影響を及ぼさないよう計画することが多い。

傾斜のある壁は長期で自重により倒れこむ力が生じ、当然ながら地震時外力も作用する。外周を RC 架構と想定すると、頂部に広幅の梁をはちまき状にまわし、下部から片持ち柱で受けるなど、相当の対処が必要となるため、本計画においては内部空間の有効性が懸念された。

そこで本計画では、平面に対し 45 度方向に斜格子フレームを構成する架構を発想した。フレームは屋根および壁に沿った台形の門型ラーメンで、このことにより壁の倒れこもうとする力は梁の軸力となりフレームごとにバランスする。屋根面は RC スラブで一体とし、地震力はすべて外周の耐震壁で負担する考えとした。屋根中央は軽量化のため八角形の範囲で吹抜けをつくり、その上に鉄骨造の屋根をかぶせ、すき間をハイサイドライトとして活用した（図 - 7）。それに加え、ここはスポーツを観たり楽しむ大空間であることから、今までの RC 空間（写真 - 1）とは一味違う緊張感や軽快さを目指し、幅の狭い板状の部材で構成する格子梁「プレートグリッド」の実現に挑戦した。板状の部材構成は木造に多く見られる（写真 - 2）。本設計では、強度の高い材料を用い、かつプレストレスによる応力調整の可能な PCaPC とすることで、部材プロポーションのスリム化を図り空間デザインを洗練させた。

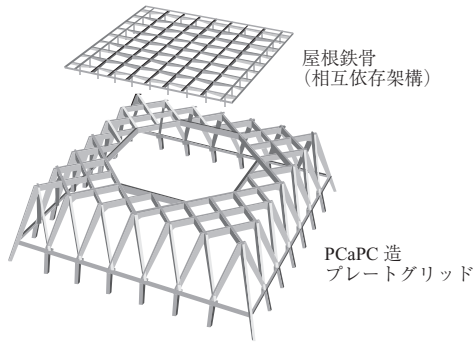


図 - 7 アリーナ架構イメージ



写真 - 1 RC 格子梁事例



写真 - 2 プレートグリッドのイメージ

4.3 耐震設計方針

耐震設計はルート3とした。保有水平耐力は地域の災害拠点としての要求より重要度係数1.25を考慮して十分な耐震性を確保している。アリーナの屋根柱梁架構部分は、

大地震時にも短期許容応力度以内となるよう設計した。

4.4 部材計画

下部（基礎～2階床）までの主架構柱は800×800mmのRC造で、耐震壁は十分な剛性と耐力を確保するため200～300mm厚を分散配置とした。

アリーナ部分の斜格子門型ラーメンは@6500mmの下部柱位置を45度方向に結ぶ配置で、屋根格子のグリッドは@4600mm程度となる。施工性や工期を考慮し柱はPCaRC、梁はPCaPC造とした。柱梁の交点はアーチ状の入隅形状とし、また柱脚に向かって断面を縮小して内部空間の有効性を高めた（図-8、9）。

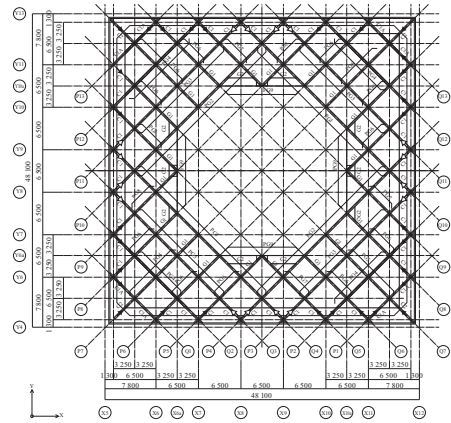


図 - 8 アリーナR階伏図

4.5 PCa部材の設計

プレートグリッドの実現に向け、部材は可能なかぎり幅を抑える方針とした。

梁のプレストレス導入方式はディビダーク工法（DW工法）、PC鋼より線15.2φ（SWPR7BL）を配置するポストテンション方式とし、緊張定着部分やケーブル配線および個材分割位置など詳細を検討し、基本となる部材幅を300mmに抑えた。梁はフルプレストレスングを目標とし、梁上部部分はPRCまで許容している。

部材は応力に応じてPCケーブルの配置/非配置を選定し、中央の八角形範囲にはケーブル定着体が現れないようにした。柱は脚部を現場打ちRCとし、PCa部材と下部の

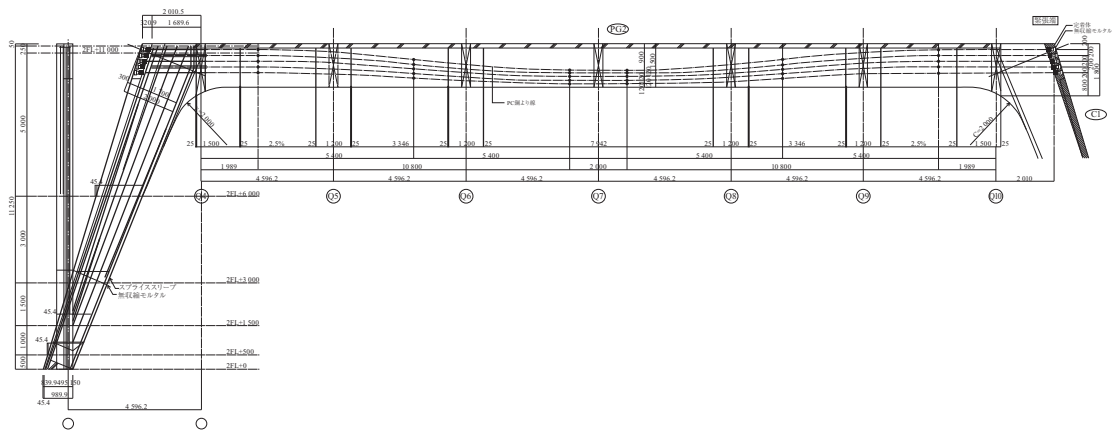


図 - 9 PCケーブル配線図

接続においてこの範囲を調整し、誤差を吸収し、主筋をつなぎ合わせる考えとした。

PC 梁への不静定応力への入力、各位置の偏心モーメントから梁に作用する荷重を算出し、要素の特殊荷重とした。各構面におけるケーブル配置本数などを調整し、曲げ応力は均質な性状に近づけている (図 - 10, 11)。

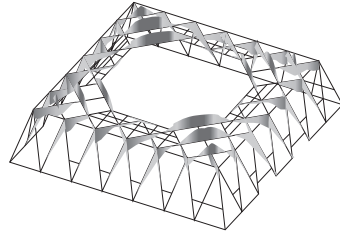


図 - 10 不静定応力図

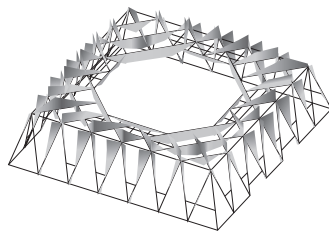


図 - 11 長期応力図

4.6 屋根鉄骨部分の設計

中央の八角形範囲を覆う屋根は鉄骨造とした。八角形の直径は 26.0 m、屋根のレベルはコンクリート部分より 2.0 m 高く、鉄骨屋根周囲は排煙およびハイサイドライトとして機能的に役立っている。

鉄骨屋根における梁の構成は、複数案の中から下部に調和するような格子梁を採択し、格子の角度は通り芯方向、すなわち下部の格子梁とは 45 度振れた角度とした。鉄骨屋根は平面的に正方形で四隅はメンテナンススペースとしている。

格子梁の組み方は、単純梁の連続である相互依存架構 (図 - 12, 13) とした。

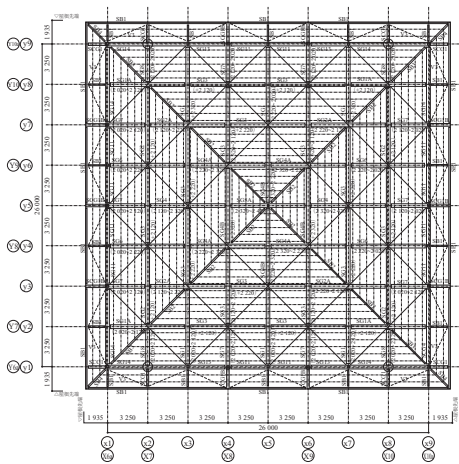


図 - 12 屋根鉄骨伏図

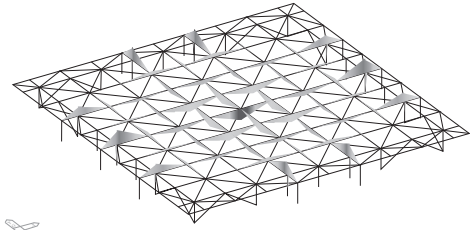


図 - 13 相互依存架構曲げモーメント図

相互依存架構は剛接架構に比べやや変形が大きくなるが、屋根の外周に張り出した部分にタイロッドを設置して端部の固定度を高め、鉛直変位を抑制した (図 - 14)。

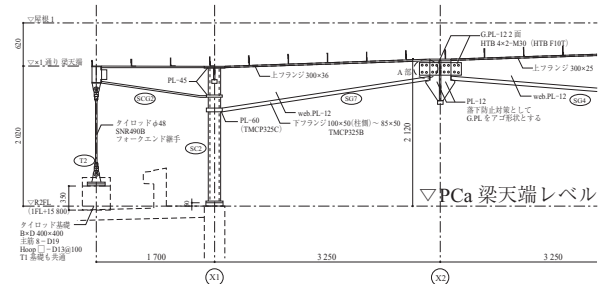


図 - 14 架構詳細図

相互依存架構は、想定されるあらゆる状況においても接合部の健全性を確保する設計とした。また、フェイルセーフの考えより、ある部材を失った場合においても接合部の実情を考慮して進行性の崩壊は生じないことを確認した。表 - 1 に設計クライテリアを示す。解析モデルは部材端部の接合条件や支点状況、梁の勾配有無などあらゆる状況を想定した複数モデルを作成し各モデルの最大応力を組み合わせた部材設計を行った。

梁の個材は単純梁であるため、つねに引張側となる下フランジの幅を抑え、プレートグリッドとの調和を図った。梁せいは中央で 650、端部 300 mm のハンチ形状とし、部材応力に応じてフランジ厚さを調整して鋼材量の削減に努めた。

表 - 1 設計外力とクライテリア

荷重ケース	荷重組合せ	クライテリア
長期荷重時	$G + P$	長期許容応力度以下
地震荷重時	$G + P + K_E + K_{UD}$	短期許容応力度以下
暴風荷重時	$G + P + W_{500}$	弾性限耐力以下 変動分による変形が スパンの 1/300 以内

G : 固定荷重 P : 積載荷重
 K_E : 水平震度 = 2.20 による地震力
 K_{UD} : 鉛直震度 = 1.00 による地震力
 W_{500} : 500 年再現相当の風荷重 (1.25 V_0 で算出)

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 - 15 に、部材数量表を表 - 2 に示す。

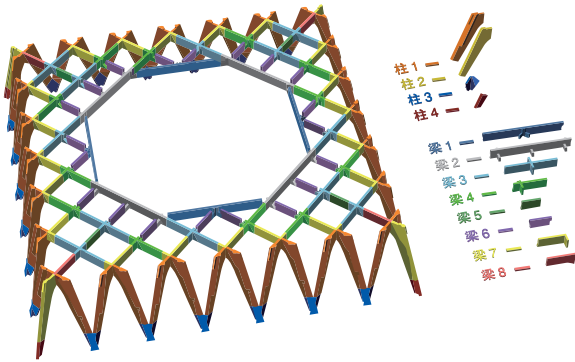


図 - 15 部材配置・形状図

表 - 2 部材数量表

部材名	部材数	部材重量 (t)	総重量 (t)
柱 1	48	11.44	549.12
柱 2	4	11.35	45.4
柱 3	24	3.63	87.12
柱 4	4	2.10	8.4
柱部材合計	80		690.04
部材名	部材数	部材重量 (t)	総重量 (t)
梁 1	4	11.85	47.4
梁 2	4	13.15	52.6
梁 3	12	8.78	105.36
梁 4	12	5.93	71.16
梁 5	4	2.40	9.6
梁 6	20	2.70	54
梁 7	20	4.48	89.6
梁 8	4	3.63	14.52
梁部材合計	80		444.24

PCa 部材はピー・エス・コンクリート兵庫工場で製作した。部材の形状は、梁 8 種類・柱 4 種類とした。

柱脚は狭い角度で部材が交差すること、梁は格子梁であることなど、形状面・部材の取合面において立体的な検討が必要であった。そのため、複数の模型を作成し、課題解決に向けた多角的な検討を行った (写真 - 3)。



写真 - 3 検討用模型

柱脚部材に関しては各断面毎に断面形状が変化することや左右の柱が交差することから、製作図表現の難易度が高く、そのため 3 次元 CAD を用いて検討および作図を行った。柱脚部材の上部・下部で主筋の納まりを検討し、上下の主筋位置を確定、その後、各断面を輪切りに切断することで、形状確認と配筋図の作図を行った。切断箇所は帯筋の位置とし、柱脚部材で 25 断面、柱部材で 88 断面となり、各断面における主筋位置やかぶりなどの確認を行った。柱

脚部材の配筋図及び製作状況を図 - 16、写真 - 4、5 に示す。

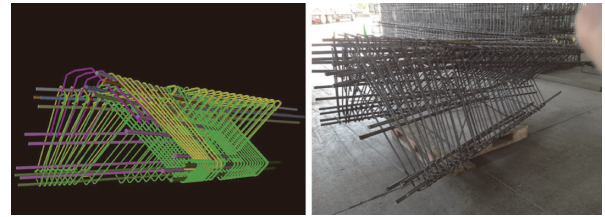


図 - 16 柱脚部材配筋図 (左) および配筋状況 (右)

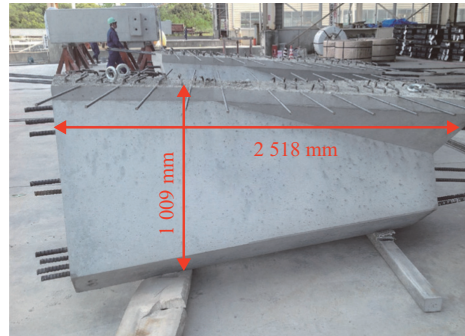


写真 - 4 柱脚部材 (柱 3)

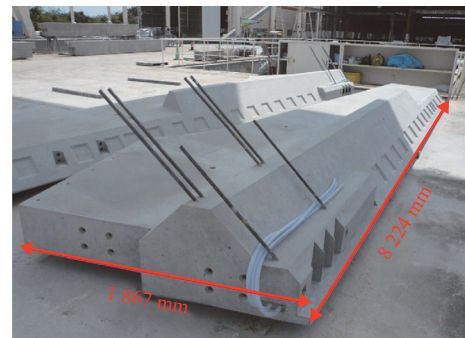


写真 - 5 柱上部材 (柱 1)

柱頭付近の、部材がアーチ状に弧を描きながら交差する部分は、平面的に L 型をした「梁 7」に含め、梁下面の交差形状は複数パターンと比較検討を行い決定した。交差部の形状検討図及び採用した形状写真を図 - 17 に示す。

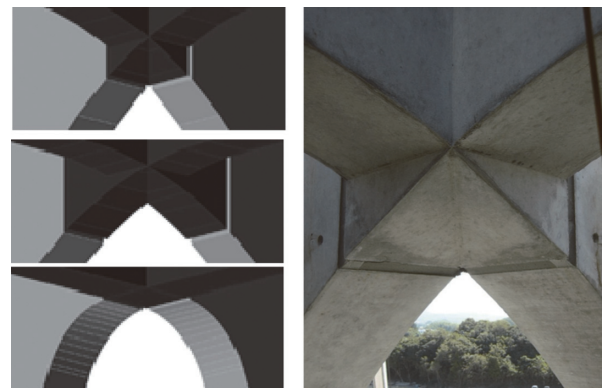


図 - 17 検討時形状図 (左) および採用形状 (右)

5.2 PCa 部材の建て方

PCa 部材の継手は主筋が垂直に建ち、スリーブジョイントを介して接続するのが多い。本工事は柱が傾斜し、柱脚ではそれが交差するため、柱脚から 963 mm の範囲を現場打ちとし、下部から立ち上がる主筋と PCa 柱に打ち込んだ主筋をスプライススリーブを用いて接続することとした。下部から立ち上がる主筋の位置は PCa 柱とずれがないように、全数確認を行い建て方に問題がないように現場監理を行った。図 - 18 に施工計画時の検討図を示す。

柱の中間継手は、主筋が傾斜に沿って斜めに立ち上がる。PCa 柱頭部材の吊りこみ時に所定の位置に精度よく取り付けられるように、あらかじめ工場です試験建てを起しを行い、仮設ガイドの設置により主筋を傷めない施工を行った。斜めの PCa 柱に対しては、傾斜柱を支持できる剛強な支保工を各柱の内側に設置した。部材製作から建て方までの工程表を表 - 3 に、施工状況を写真 - 6 に示す。

PC 梁の架設は、各部材分割目地部に支保工を設けた総足場工法にて行い、PC 梁架設、スラブコンクリート打設、プレストレス導入後にジャッキダウンを実施した。

架設は、中央の吹抜けを構成する 8 辺の部材を先行架設

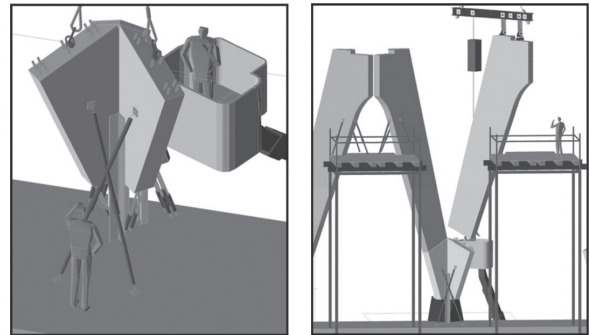


図 - 18 施工計画時検討図

し、それらの部材から外周の柱に墨出しすることで格子梁に目違いが起きないように配慮した。

プレストレス導入は、スパンの短い四隅の梁から順に緊張を行い、4 台の緊張ジャッキを用いて平面的に対角の関係となる梁 2 本の同時緊張を行った。PC 梁の緊張順序を図 - 19 に示す。プレストレス導入によるスラブへの影響については、施工前に緊張順序を追った FEM 解析を行い、スラブに過大なせん断変形が生じないことを確認した。

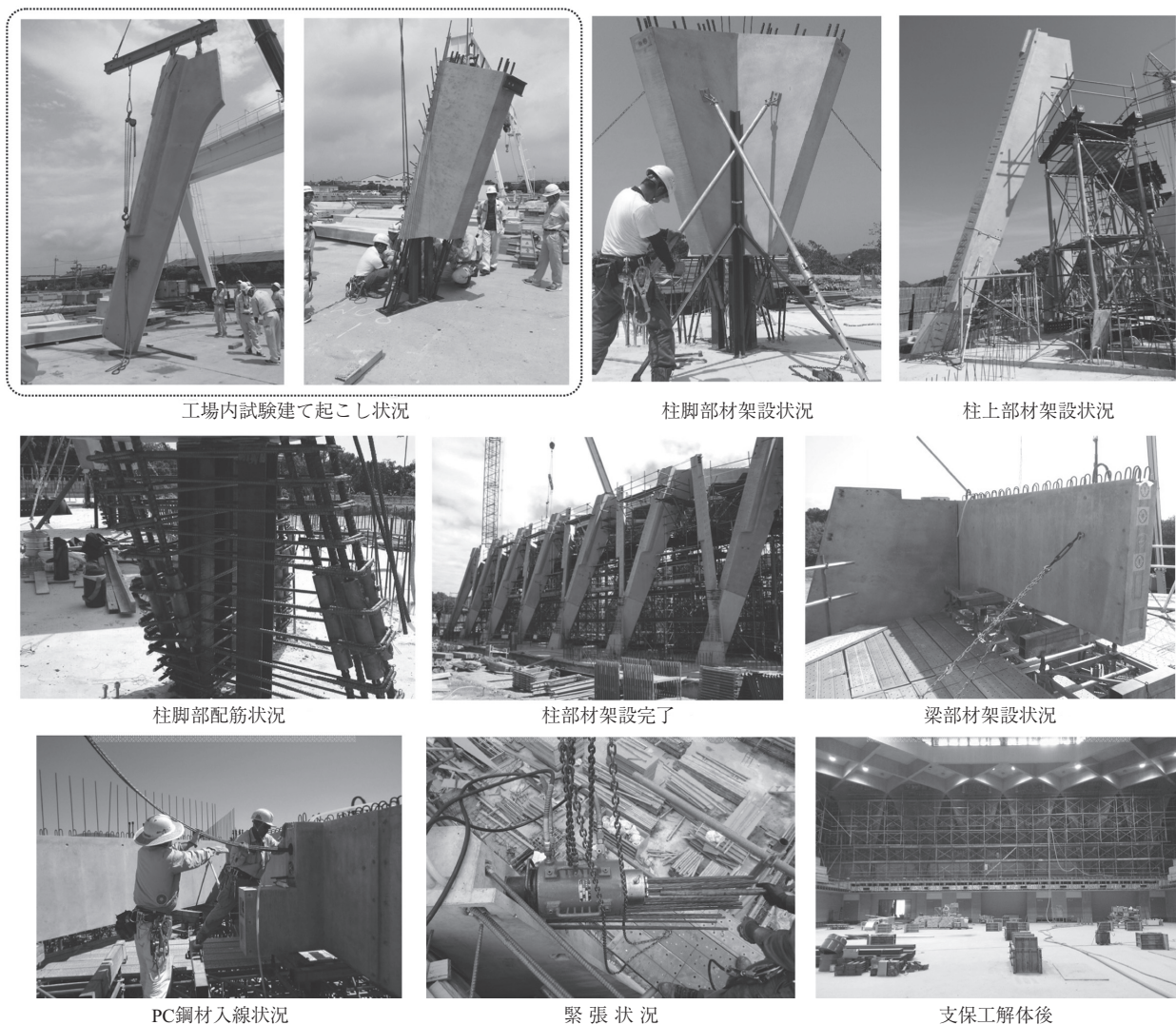


写真 - 6 施工時における各工程

表 - 3 製作・施工工程表

		6	7	8	9	10	11	12
工製 程作	柱部材	●			●			
	梁部材		●		●			
工建 程方	柱下部材			●	●			
	柱上部材				●	●		
	梁部材				●	●		
	PC鋼材入線					●	●	
	緊張					●	●	
	グラウト						●	●

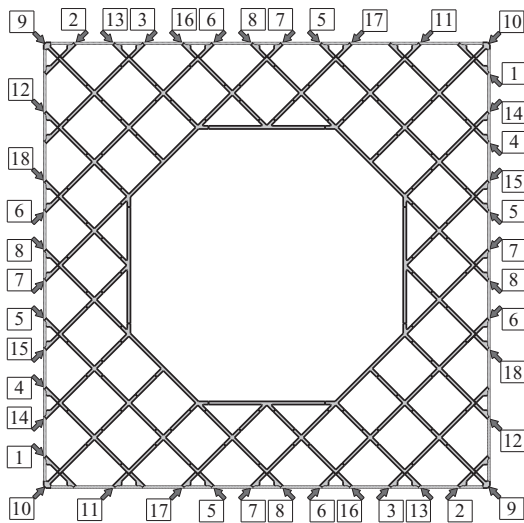


図 - 19 PC 梁緊張順序

PC 梁架設状況, 支保工解体後状況を写真 - 7, 8 に示す。



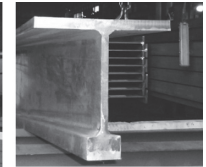
写真 - 7 PC 梁架設状況



写真 - 8 支保工解体後

5.3 屋根鉄骨の製作

屋根の鉄骨梁は, BH 部材の製作を加古川市にある日名工業にて行い, 以降の加工組立てを現場にほど近い蒲田鉄鋼にて行った。BH 部材の製作状況, 鉄骨製品状況を写真 - 9, 10 に示す。



梁せい
中央 650 mm
端部 300 mm
下フランジ 75×50 mm

写真 - 9 BH 部材モックアップの製作



写真 - 10 鉄骨製作状況

5.4 屋根鉄骨の建て方

鉄骨建て方は, 5カ所に支保工を設けた総足場工法にて行った。ジャッキダウンは, 中央部1カ所 → 周囲4カ所の順に行い, 各支保工での負担荷重, 屋根中央変位および外周部の倒れを下げ振りにより確認した。変位量は解析予測値とほぼ等しく, 各部材に異常がないことを確認し, 予定とおり完了とした。ジャッキダウン完了時の写真を写真 - 11 に示す。



写真 - 11 ジャッキダウン後の状況

6. おわりに

アリーナ内部は、熊野古道の樹木に囲まれた荘厳な雰囲気醸し出し、ハイサイドライトからの光は木漏れ日のように柔らかく、内部を仄かに照らしている。

本建物では、PCa 部材の特徴を活かしたプレートグリッド下架構に挑戦し、力学的合理性や施工性だけでなく、構造躯体をインテリア要素に高め、田辺市らしい地域ならではのスポーツ空間を実現した（写真 - 12～15）。



写真 - 12 アリーナ内観



写真 - 13 プレートグリッド



写真 - 14 プレートグリッド見上げ



写真 - 15 熊野本宮大社・熊野古道

最後に、建築主である田辺市関係者をはじめ、綿密な施工計画のもとに、特殊性のある架構を意欲的に取り組んでいただいた工事関係者の皆さまに、心よりお礼申し上げます。

【2014年5月21日受付】