

PCaPC 円錐シェルの設計・施工

— 天理駅前広場空間整備工事（南ゾーン） —

橋本 宗明*¹・加藤 鐘悟*²・磯田 千秋*³・坂梨 嘉洋*⁴

奈良県天理市の玄関口である JR・近鉄天理駅駅前広場が生まれ変わる。駅周辺地区のにぎわいのある街づくりを目的として、屋外ステージや周遊観光拠点となる複合施設が新設された。本計画は都市計画施設に該当することから、「容易に撤去または移転が可能であること」という制約を満足するために、構造形式にはプレキャスト部材を用いた現場緊張によるプレストレストコンクリート構造を採用している。本構造の採用により、直径 26 m の円錐シェル屋根をもつ大スパンの自由な空間を実現することができた。

キーワード：PCaPC 造, シェル構造

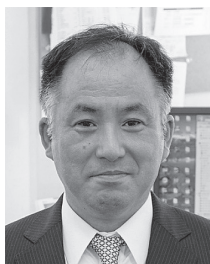


写真 - 1 全景（古墳 A：手前，古墳 B：右奥，古墳 C：左奥）

1. はじめに

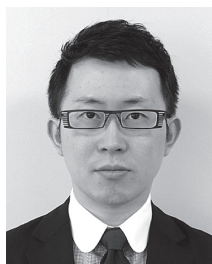
計画地は奈良県天理市の玄関口である JR・近鉄天理駅南側の駅前広場である。広場内には総合案内所のほか、カフェ、サイクルショップ、遊具、屋外ステージなどを備え、イベントや観光情報の発信、近隣住民憩いの場として活用されることで駅周辺地区の活性化を目的としている。天理市内には大小さまざまな古墳が現存することから、古墳をモチーフとした円形階段状の意匠を採用している。

本計画は、屋上に膜状遊具を有するふわふわコフン（古墳 A）および子供たちが走り回って遊ぶすりばちコフン（古墳 B）、総合案内所・休憩施設（古墳 C）の 3 棟で構成される。古墳 A および古墳 C の屋根床版にはプレキャストプレストレストコンクリート（以下 PCaPC）造の円錐シェル構造を採用している。これは本計画が都市計画施設に該当することから、「容易に撤去または移転が可能であること」という構造形式の制約を満足するとともに、現場施工性に優れ、かつ意匠コンセプトにも合致した構造形式で



*¹ Muneaki HASHIMOTO

(株) 北條建築構造研究所
代表取締役所長



*² Shogo KATO

(株) 北條建築構造研究所



*³ Chiaki ISODA

大和ハウス工業(株)
奈良支店 建築工事課



*⁴ Yoshihiro SAKANASHI

(株) ピーエス三菱
大阪支店 PC 建築部

あるといえる。

本報告では、古墳 A および古墳 C の PCaPC 円錐シェルの設計・施工について紹介する。

2. 工事概要

2.1 工事概要

工 事 名：天理駅前広場空間整備工事（南ゾーン）

建 設 地：奈良県天理市川原城町 816

発 注 者：天理市長 並河健

デザイン：佐藤オオキ（デザインオフィス nendo）

設計監理：株式会社シードコンサルタント

株式会社安井建築設計事務所

株式会社北條建築構造研究所

施 工：大和ハウス工業（株）・（株）岡徳建設

特定建設工事共同企業体

工 期：2016 年 3 月～2017 年 3 月

2.2 建築概要

(1) 古 墳 A

用 途：屋外ステージ（屋外観覧場）

階 数：地上 1 階，直径 26.0 m

建物高さ：最高 6.80 m，軒高 5.60 m

延床面積：188.88 m²

基礎形式：ベタ基礎

(2) 古 墳 C

用 途：休憩施設（カフェ），周遊観光拠点

規 模：地上 1 階，直径 26.0 m

建物高さ：最高 7.60 m，軒高 7.60 m

延床面積：497.47 m²

基礎形式：独立フーチング基礎

本計画の使用材料を表 - 1 に示す。

表 - 1 使用材料

コンクリート	
場所打ち躯体	24 N/mm ²
PCaPC 柱	60 N/mm ²
PCaPC 床版	60 N/mm ²
PC 鋼材	
PC 鋼より線	SWPR7BL
PC 鋼棒	SBPR930/1080
鉄筋	
D10～D16	SD295A
D19～D25	SD345
D29～D32	SD390

3. 構造計画

3.1 構造上の特徴

(1) 古 墳 A

① PCaPC 床版は直径 26.0 m，ライズ 3.60 m，版厚 240～540 mm の逆円錐（すり鉢型）シェル構造である。一部に昇降用の約 1 700×3 000 の開口を設けている。

② 床版は放射状に 36 分割された PCa 部材で形成する。

③ 床版は塗装仕上げのため，躯体の表裏ともに階段形状としている。

④ シェルの内部は高さ 2.0 m まで軽量盛土により嵩上げを行い，この上に空気膜の遊具を設置する。

⑤ 床版は中心部下部に設けた直径 7.95 m の円筒状の基礎梁に支持され，接合部にコンクリートを打設し，床版と基礎梁を一体とする。

(2) 古 墳 C

① PCaPC 屋根床版は直径 26.0 m，ライズ 4.35 m，版厚 340 mm の円錐（山形）シェル構造である。

② 床版は放射状に 36 分割された PCa 部材で形成する。

③ 屋根中心部には，採光のために直径 4.0 m のトップライトを設けている。

④ 床版の室内側は天井仕上がりがあるため，躯体はフラットな形状としている。

⑤ 屋根床版は外縁部の円周上に均等な間隔で設けた 12 本の PC 柱で支持している。柱断面は 350×1 960 とし，円周の曲率に沿ったアール形状とする。PC 柱は，屋根床版内蔵 PC 梁と基礎梁間に設置する PC 鋼棒 6-26 φ により結合する。

⑥ PC 柱と床版内蔵 PC 梁および基礎梁により，外周部に円周状のラーメン架構を形成している。

3.2 構造設計方針

古墳 A，C ともに構造設計ルートはルート 3b（保有水平耐力の確認）とする。図 - 1 に示すように，床版中腹から外縁部にかけて PC ケーブル 4-12.7 φ を配置し，長期荷重時にシェル全体が圧縮状態となるように計画している。同一円周上のケーブルは 4 分割し，1 ピース分をラップさせて配置している。構造概要図を図 - 2 に示す。

固定荷重（自重・仕上げなど）と積載荷重の鉛直荷重を積載した鉛直荷重時解析モデル（図 - 3）と，PC ケーブルの緊張力を考慮した PC 導入時解析モデル（図 - 4）をそれぞれ作成し，各モデルの応力および変形を重ね合せたものを長期荷重時の応力および変形としている。

地震荷重時は，鉛直荷重時と同様の解析モデルを使用する。構造特性係数の最大値である 0.55 を地震時水平震度として短期許容応力度設計を行うことで，保有水平耐力を満足することを確認している。

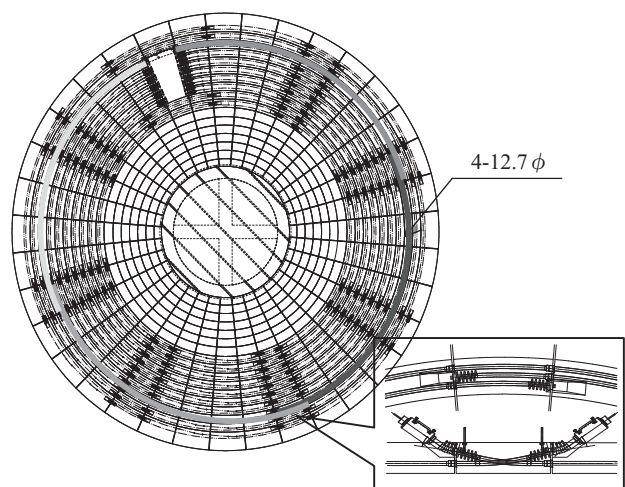


図 - 1 PC ケーブル配置図

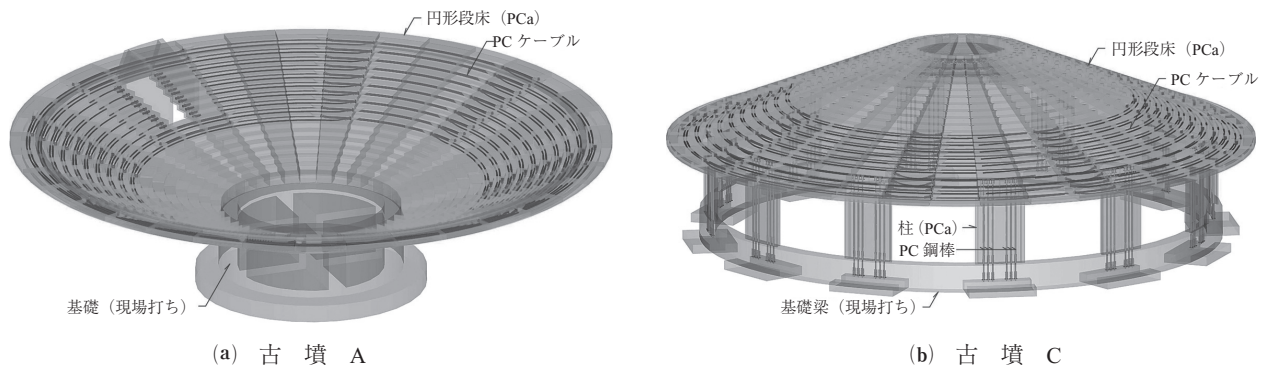


図 - 2 構造概要図

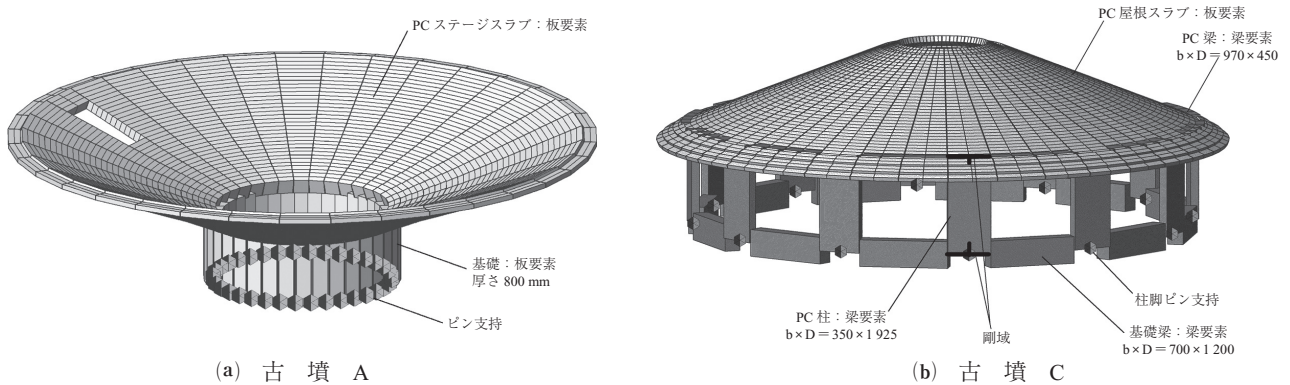


図 - 3 鉛直・地震荷重時解析モデル

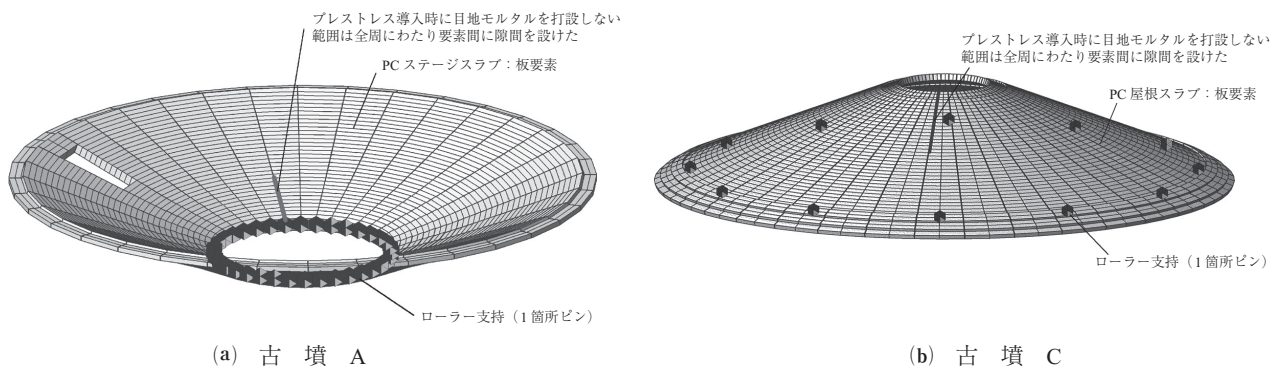


図 - 4 PC 導入時解析モデル

3.3 シェルの構造解析

(1) 古墳 A の構造解析

逆円錐シェルの円周方向の縁圧縮応力度 (図 - 5) は、鉛直荷重時は中心部で最大 2.9 N/mm^2 、PC 導入時は開口縁部付近で最大 7.1 N/mm^2 となる。重ね合せた長期荷重時は、最大 4.7 N/mm^2 程度となり、圧縮応力度は比較的小さな値となることがわかる。法線方向 (放射方向) の長期面外曲げ応力は、中心部で最大 280 kNm/m 程度であり、法線方向に配筋した D16@100 により伝達している。

鉛直変位 (図 - 6) は、外縁部において、鉛直荷重時は 2.4 mm 下がり、PC 導入時は 4.8 mm 上がるため、重ね合せた長期荷重時の鉛直変位は 2.4 mm 上がる結果となった。

地震時に作用する床版と基礎梁間のせん断力は、図 - 7 に示す接合部のせん断補強筋 D25@150 により伝達する計画としている。

(2) 古墳 C の構造解析

円錐シェルの円周方向の縁圧縮応力度 (図 - 8) は、鉛直荷重時は中心部付近で最大 0.7 N/mm^2 、PC 導入時は床版中腹部で最大 4.3 N/mm^2 となる。重ね合せた長期荷重時は、最大 3.9 N/mm^2 程度となり、こちらも圧縮応力度は比較的小さな値であった。法線方向 (放射方向) の長期面外曲げ応力は、柱付近で最大 50 kNm/m 程度であり、法線方向に配筋した D16@100 により伝達している。

鉛直変位 (図 - 9) は、床版中腹部が最大となり、鉛直荷重時は 1.0 mm 下がり、PC 導入時は 1.0 mm 上がるため、重ね合せた長期荷重時は相殺され $\pm 0 \text{ mm}$ となった。

地震荷重時の柱の最大曲げ応力 1135 kNm (図 - 10) は柱の中に設けた PC 鋼棒 $6-26\phi$ により伝達している。12 本の柱のうち、地震加力方向に対して 0 度から 30 度の角度を成す 6 本の柱が主とした耐震要素となっており、地震力の約 73% 程度を負担する結果となった。

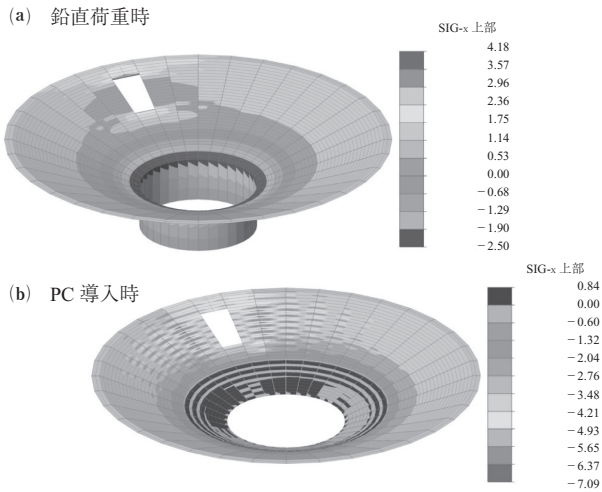


図 - 5 古墳 A 縁圧縮応力度図 (N/mm²)

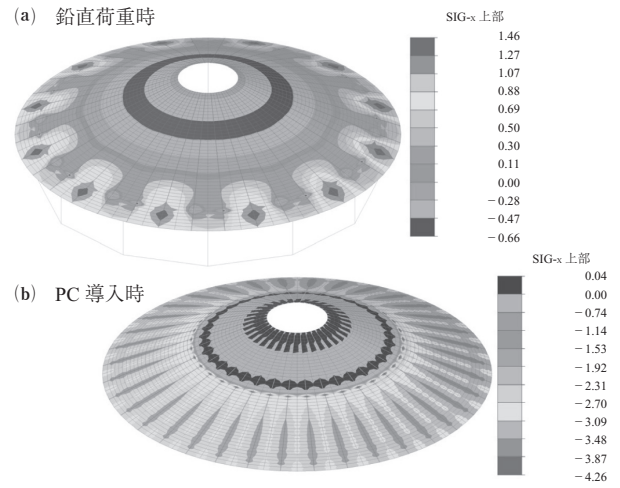


図 - 8 古墳 C 縁圧縮応力度図 (N/mm²)

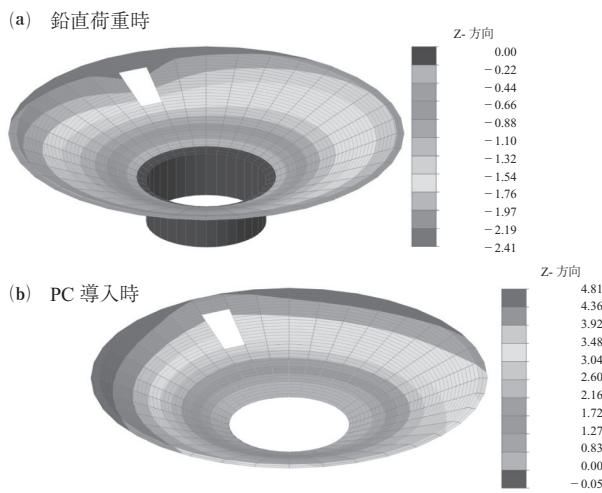


図 - 6 古墳 A 鉛直変位図 (mm)

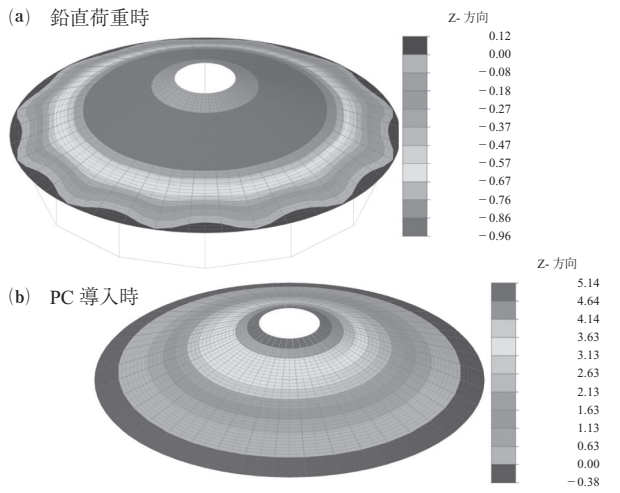


図 - 9 古墳 C 鉛直変位図 (mm)

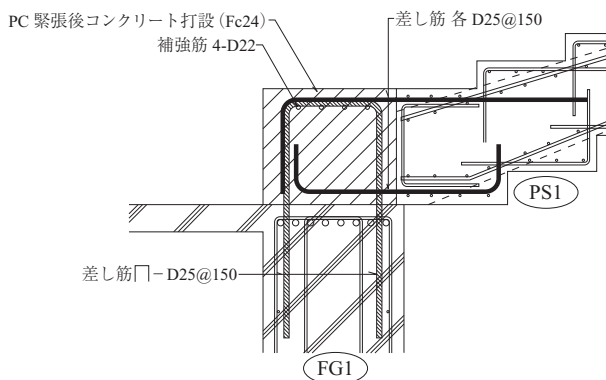


図 - 7 古墳 A 接合部詳細図

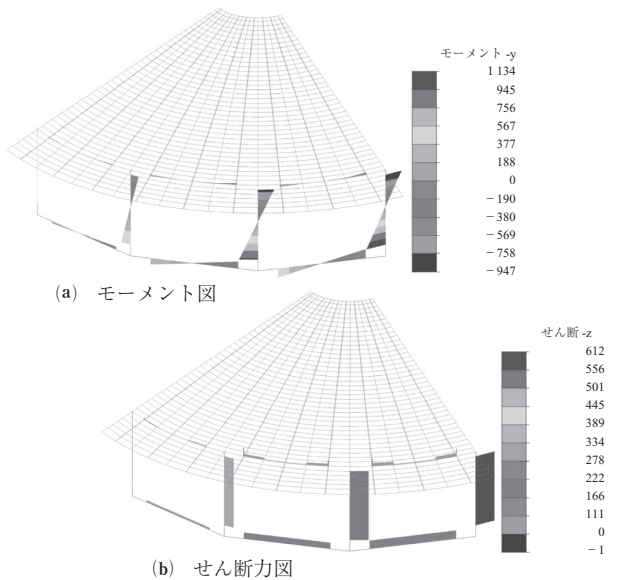


図 - 10 古墳 C 地震時応力図 (1/4 部分) (kNm)

4. 施工概要

4.1 揚重機計画

現場の敷地は、地下に駐輪場が設置されており、揚重機の配置において大きな制約となった。図 - 11 に示すように、揚重機は地下駐輪場を避けて、古墳 A と古墳 C の間に配置し、1カ所から2つの古墳の架設ができるように計画した。

揚重機は、1ピースあたり15t～17tのPCa部材を架設するため、写真 - 2 に示す450tオールテレーンクレーンを選定した。また、敷地の西側にはJR天理駅が隣接しており、万が一揚重機が転倒した場合にも、線路に倒れ込まないように計画した。

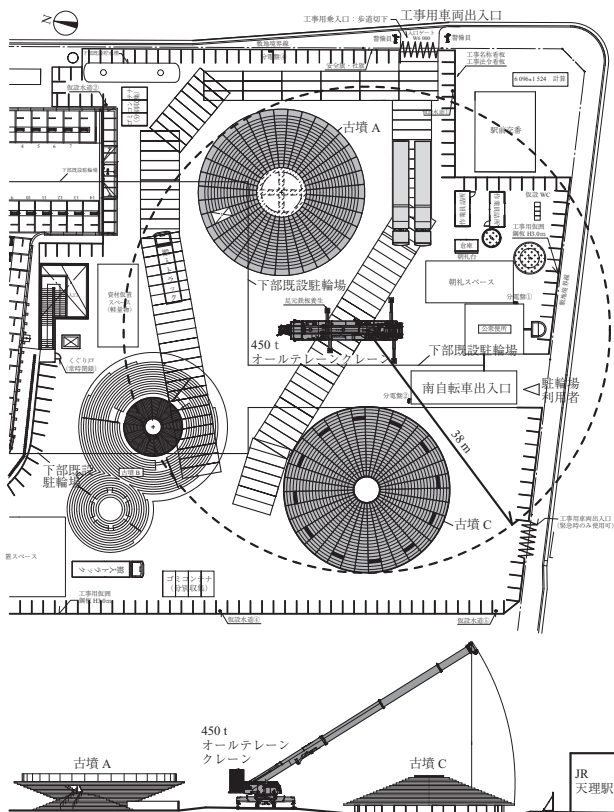


図 - 11 揚重機配置図



写真 - 2 450tオールテレーンクレーン

4.2 工程

表 - 2 にPC工程を示す。PCa部材製作においては、3.5ヵ月を要しており、内訳として、鋼製型枠(1.5ヵ月)、PCa部材(2.0ヵ月)であった。現場におけるPC工事は、1.5ヵ月の短工期を実現し、PCaPC工法のメリットが発揮された。建方の順序は、古墳C、古墳Aの順で進めることとした。円形段床版については、1日あたり5ピースずつの架設となった。

本工事の特徴として、PCa部材間の目地範囲が広く、型枠も複雑になることから、工程のなかで目地工事の占める割合が大きくなっており、架設と同程度の日数を要した。PCケーブルの緊張作業は、それぞれ1日で完了した。

表 - 2 PC製作・工事工程表

	5月	6月	7月	8月	9月
古墳A		鋼製型枠製作		床版製作(37p)	
古墳C		鋼製型枠製作	柱製作(12p)	屋根版製作(36p)	
	9月	10月	11月		
古墳A		目地工事 PCケーブル入線(86c) 床版架設(37p)		PCグラウト 床版 PC緊張	
古墳C		目地工事 PCケーブル入線(80c) 屋根版架設(36p) 柱建方(12p)	屋根版 PC緊張 柱 PC緊張	PCグラウト	

4.3 モックアップ

円形PCaPC床版は、最終的な仕上り状態として、部材の分割を意識させない一体的な構造物に見せたい、という意匠的にレベルの高い要求があり、部材間の目地を消す仕上がりが必要となった。そのため、一部を切り出した実物大のモックアップを用いて目地の施工方法から仕上材の選定、角の面取り形状の確認など多岐にわたる検討を行なった。

写真 - 3 にモックアップを示す。

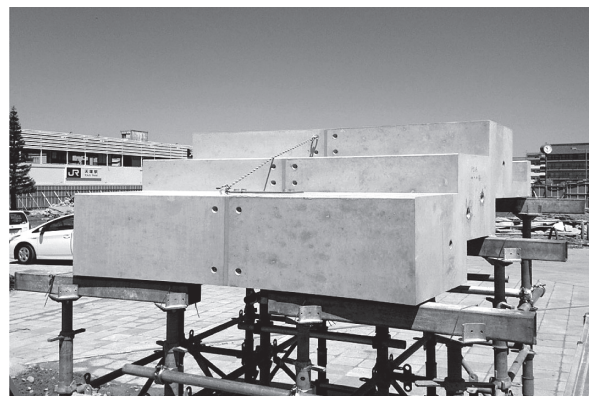


写真 - 3 モックアップ

4.4 PCa 部材の製作

製作は、古墳 A の床版（37 ピース）、古墳 C の柱（12 ピース）と床版（36 ピース）に対して、各 1 枠ずつ、計 3 枠の鋼製型枠を使用し、最大で 1 日あたり 3 部材の製作を行なった。

鋼製型枠については、写真 - 4 に示すように、部材を 90 度に立てた状態で小口面からコンクリートの打ち込みができるように計画した。これにより、上下面が型枠面となり、段の部分を精度良く製作することが可能となった。また、部材形状を考慮して、コンクリートの締固めを確実なものとするため型枠パイププレタを採用した。図 - 12 に床版の配筋、写真 - 5 に PCa 部材の製作における各工程を示す。

PCa 部材はピー・エス・コンクリート（株）兵庫工場において製作を行った。

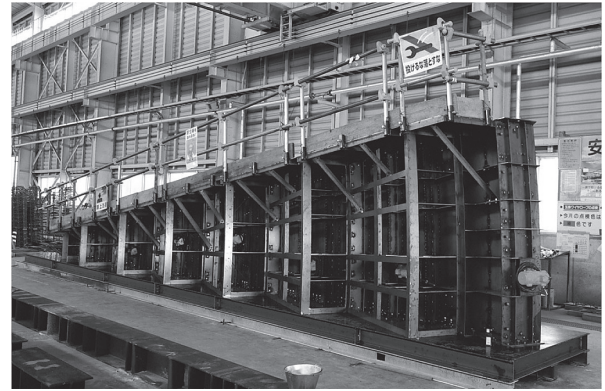


写真 - 4 床版の鋼製型枠

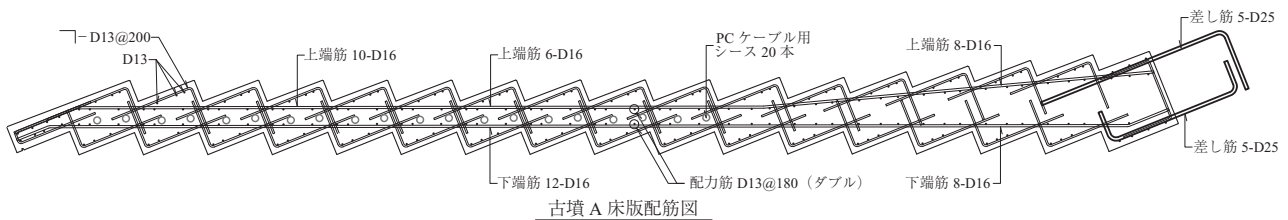


図 - 12 床版の配筋図



鉄筋組立て



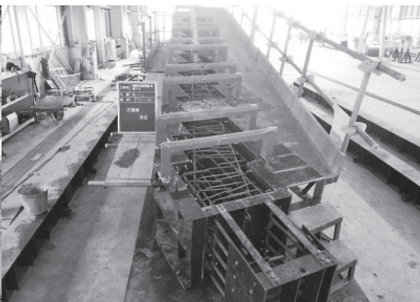
底版・側枠組立て



鉄筋配置



鉄筋・シース配置完了



打込み前状況



コンクリート打込み状況



側枠取外し状況



取出し状況



反転作業

写真 - 5 PCa 部材の製作における各工程

4.5 古墳 A の施工上の留意点

床版の分割は、部材の運搬を考慮して、1 ピースの部材幅が道路法で定める幅制限 2.5 m を超えないように 10 度ごとの 36 分割として計画した。

PC ケーブルは 1 周を 4 ケーブルに分割して配置しており、PC ケーブルの緊張により不均一な面内応力がシェルに作用しないように、緊張ジャッキ 8 台によって同一円周上の 4 本の PC ケーブルを同時緊張する計画とした。また、緊張を行わない床版中心付近の目地モルタルは、すべての PC ケーブルの緊張が完了したあとに、打ち込みを行ない、中心付近にも不均一な面内応力が作用しないように配慮した。

以下に古墳 A の施工手順を示す (図 - 13)。

- ① 支保工の建方を行い、分割された床版を 1 ピース (約 16 トン) ごとに揚重機を用いて、円形状に架設を行う。
- ② PC ケーブルの緊張を行う床版中腹から外縁部にかけて PCa 部材間に目地モルタルの打込みを行う。
- ③ 床版のシース管に PC ケーブルを挿入し、目地モルタルの強度発現を確認したあとに、緊張ジャッキにより円周方向に緊張を行い、床版を圧着接合する。
- ④ 床版中腹から中心部の残りの目地モルタルの打込みを行う。
- ⑤ 床版のシース管に PC グラウトを充填する。
- ⑥ 床版中心部と基礎梁からそれぞれ持ち出しておいたアンカー鉄筋接合部にコンクリートの打込みを行う。
- ⑦ 接合部のコンクリート強度発現を確認したあとに、支保工のジャッキダウンおよび撤去を行う。
- ⑧ 防水工事ののち、すり鉢内部に軽量盛土を施工する。

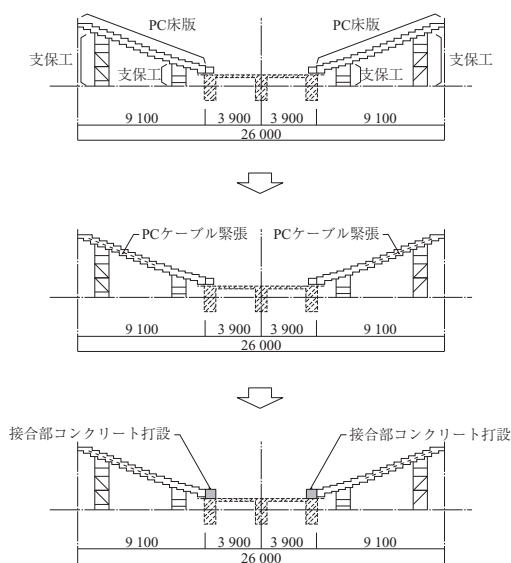


図 - 13 古墳 A 施工手順

4.6 古墳 C の施工上の留意点

屋根床版の施工上の留意点については、古墳 A と同様として、シェルに不均一な面内応力が作用しないように配慮した。

古墳 C においては、円周方向に PC 柱が配置されている。屋根床版の PC ケーブルの緊張時に、これらの PC 柱が接合されていた場合、プレストレス力が PC 柱に流れることが懸念された。そのため屋根床版の PC ケーブルの緊張がすべて完了したあとに PC 柱の PC 鋼棒を緊張し床版と柱を接合する計画とした。

以下に古墳 C の施工手順を示す (図 - 14)。

- ① PC 柱の建方を行い、サポートにより柱を支持する。
- ② 支保工の建方を行い、分割された床版を 1 ピース (約 17 トン) ごとに揚重機を用いて、円形状に架設を行う。
- ③ PC ケーブルの緊張を行う床版の中腹から外縁部にかけて PCa 部材間に目地モルタルの打込みを行う。
- ④ 床版のシース管に PC ケーブルを挿入し、目地モルタルの強度発現を確認したあとに、緊張ジャッキにより円周方向に緊張を行い、床版を圧着接合する。
- ⑤ 床版の中腹から中心部にかけて残りの目地モルタルの打込みを行う。
- ⑥ PC 柱の目地モルタルの打込みを行い、目地モルタルの強度発現を確認したあとに、PC 鋼棒を緊張ジャッキにより鉛直方向に緊張し、床版・柱・基礎梁を圧着接合する。
- ⑦ 床版・柱のシース管に PC グラウトを充填する。
- ⑧ 支保工のジャッキダウンおよび撤去を行う。

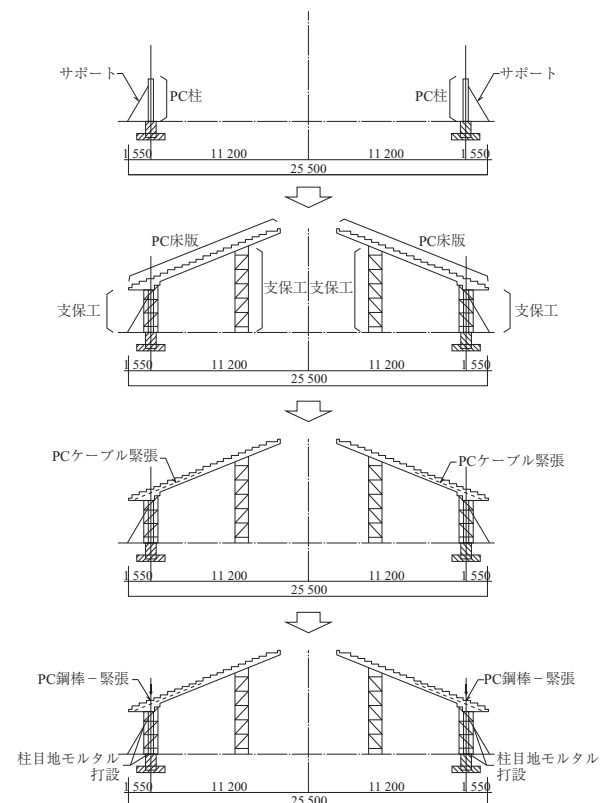


図 - 14 古墳 C 施工手順

4.7 PC 工事の各工程および竣工写真

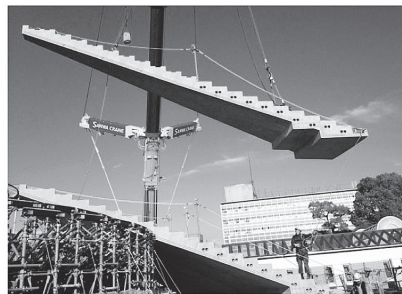
写真 - 6 に PC 工事における各工程写真、写真 - 7 に竣工写真を示す。



支保工の設置状況



PCa 部材の架設（古墳 A）



PCa 部材の架設（古墳 C）



目地モルタルの打込み



PC ケーブルの入線



PC ケーブルの緊張

写真 - 6 PC 工事における各工程写真



写真 - 7 竣工写真

5. おわりに

PCaPC 円錐シェルの構造設計・施工について紹介した。
PCa 部材の製作・建方、目地工事、仕上げ工事などの各工

程においてつねに意匠性に配慮した施工を行うことで、部材の分割を意識させない質の高い仕上りを実現することができた。

【2017 年 7 月 3 日受付】