

(仮称) 吹田市立スタジアムの設計・施工

奥出 久人*1・大野 正人*2・木原 隆志*3・松尾 享*4

本報告で紹介するスタジアムは、収容人数 40 000 人の西日本最大のサッカー専用スタジアムである。スタンド部分の構造計画においては、10.75 m スパンのコンコース部分と跳ね出し寸法の大きな上段席に、プレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 大梁を採用し、ひび割れの制御と断面寸法の縮小を図った。また、施工面においては、現場打ち部材と工場もしくはサイトでプレキャスト (PCa) 化する部材を適材適所で使い分け、現場での生産効率向上による省人化施工と工期短縮を実現した。

キーワード：スタジアム、PRC 梁、プレキャスト、PC 段床

1. はじめに

日本プロサッカーリーグ (Jリーグ) に所属するガンバ大阪は、大阪府の北摂・北河内地域をホームタウンとする Jリーグ発足時からのクラブで、2014 年シーズンには主要なタイトルを 3 つ制覇するなどした Jリーグを代表するチームの一つである。

現在のガンバ大阪のホームスタジアムは万博記念競技場で、収容人数 (21 000 人) が少ないこと、老朽化が目立っていること、観客席からピッチまでの距離が遠いことなどの課題があった。国際サッカー連盟 (FIFA) 主催のワールドカップのスタジアム基準を満足させるサッカー専用スタジアムの建設は、ガンバ大阪にとって長年の夢であった。

2010 年に設計施工コンペが行われ、当社案が最優秀案に選ばれた。その時に設定した工期は 22 ヶ月、多くの作業員を投入しなければ完成させられない非常に厳しい工期設定であった。しかしながら、着工が 2013 年 12 月に決まった頃、経済状況の好転に伴う建設工事の増大により、躯体工事の労務職が逼迫する事態となった。設計においても、現場での生産効率を向上させるべく、作業所と一体となって、省力化工法の適用に取り組んだ。そのなかでも、プレストレストコンクリート構造の採用とプレキャスト

(PCa) 工法の適用は、躯体工事の省人化と工期短縮に大きく貢献した。以下にその設計・施工概要について報告する。

2. 建築計画概要

2.1 設計コンセプト

本スタジアムはサポーターならびに企業からの寄付金で建設される日本で初めてのスタジアムとなる。設計にあたっては、ヨーロッパスタイルのサッカースタジアムを目指



図 - 1 完成予想パース



*1 Hisato OKUDE

(株) 竹中工務店
設計部 構造部門



*2 Masahito OHNO

(株) 竹中工務店
設計部 構造部門



*3 Takashi KIHARA

(株) 竹中工務店
設計部 構造部門



*4 Susumu MATSUO

(株) 竹中工務店
大阪本店 作業所

すこととし、下記に示す5つのコンセプトを設定した。

- ① サッカー専用とし観客席をピッチに近接させる
- ② 客席の全席を覆う屋根を設置する
- ③ 社交場となるVIP施設を充実させる
- ④ 収容人数は40,000人とする
- ⑤ 災害に対する高い安全性を確保する

2.2 設計概要

スタジアムの建築計画にあたっては、シンプルでコンパクトな計画を目指した。図-2に3階平面図を、図-3に断面図を示す。また、下記に建築概要を示す。

【建築・構造概要】

建物名称：(仮称)吹田市立スタジアム
 建築地：大阪府吹田市千里万博公園内
 設計者・施工者：(株)竹中工務店
 建築面積：24,717.59 m²
 延床面積：66,509.36 m²
 最高高さ：40.33 m
 階数：地上6階

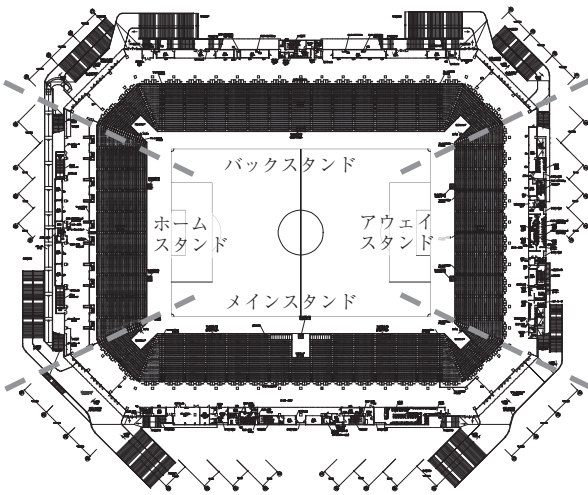


図-2 3階平面図

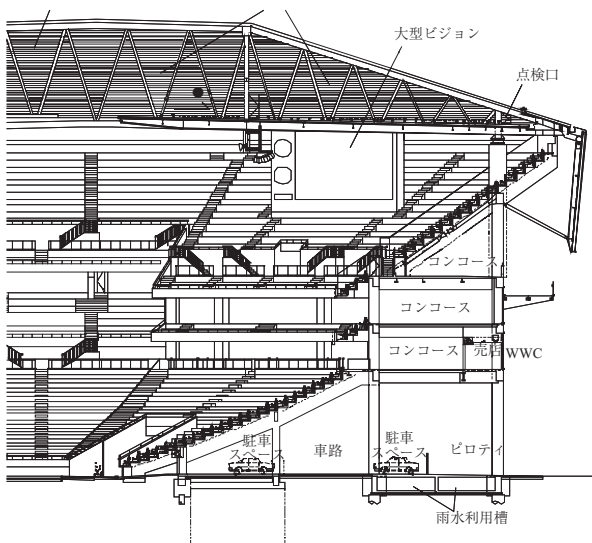


図-3 断面図

構造種別：

下部構造：鉄筋コンクリート造 (一部PRC造)

屋根構造：鉄骨造

基礎形式：杭基礎

構造形式：オイルダンパーを有するラーメン構造および屋根免震構造

工期：2013年12月～2015年9月(22ヵ月)

PC製作・工事：(株)ピーエス三菱

3. 構造計画概要

3.1 構造計画方針

スタンドの主要構造体には、多人数歩行やジャンプ応援による振動の防止、建物剛性の確保などの理由から鉄筋コンクリート造を採用した。また、コンクリート断面の縮小やひび割れ防止、施工効率の向上を目的として、プレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 梁を併用する計画とした。

屋根構造には、大スパンの実現や軽量化を図る目的から鉄骨造のシングルトラス構造を採用し、屋根直下に免震装置を配置する屋根免震構造とした。

3.2 スタンド部分の構造計画

収容人数から客席の配置構成が決まると、その段床をどのように支持するかが構造計画上の重要なポイントとなる。とくに総収容人数の半分にあたる20,000人を収容する上段席は、高さが20mから30mの位置に設置されるので、支持架構の形式によっては、躯体数量が大きく変動する。

図-4にスタンド部分におけるPRC梁案とRC梁案での架構形式の比較を示す。下記に示す多くの長所があったため、PRC梁案を採用した。

- 柱を1列少なくすることができ、コンコースの幅が広がる (柱下の杭も削減できる)。
- 上段席を支えるための構造体が少なくなる。
- PRC梁とすることで、コンコース上の梁断面が小さくでき、圧迫感が低減する。
- 10.75mスパン梁を、接合部まで含めて一体化したPCa化ができる。

上段席部分も、外側への跳ね出し長さが長くなることから、PRC梁を採用した。工場製作や運搬上の制約から一体でのPCa化は困難であったので、構造的に無理のないところで分割し、圧着接合でPCa梁を接続させた。

図-5に下段席を含む3階伏図を示す。床版には主として穴あきPC版を採用したため、柱と大梁だけのシンプルな構造形式となっている。

3.3 屋根架構の構造概要

屋根架構モデルと免震装置の設置位置を図-6に示す。

屋根トラスは、長辺方向、短辺方向、45°方向の3方向に架ける計画とした。トラスせいの最大は9mで、台形のT1トラス (スパン98.6m)、T1トラス間にX方向、Y方向に架ける平行弦のT2トラス (スパン95.1m)、T3トラス (スパン52.3m)、T1トラスから隅角部に架ける三角形のT4トラス (スパン37.4m) の4種類のトラスを組み合

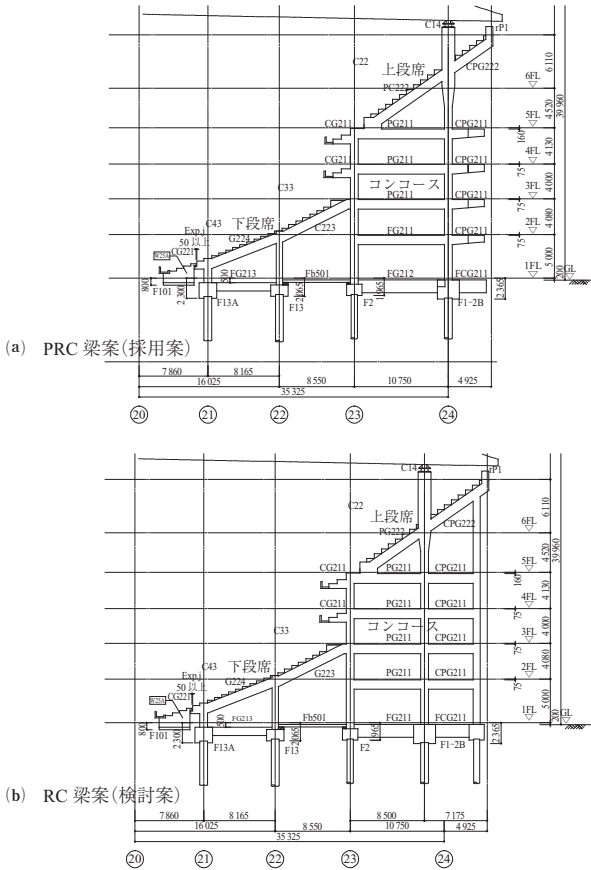


図 - 4 PRC 梁案と RC 梁案による架構形式の比較

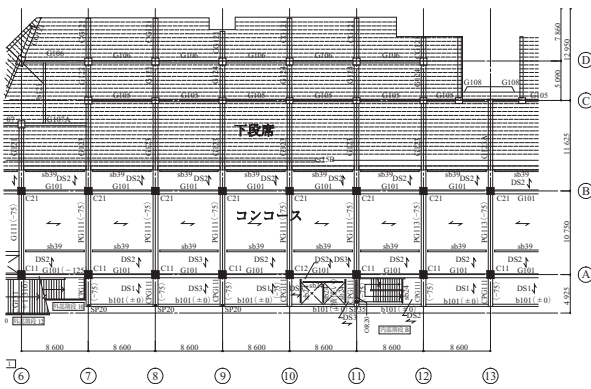


図 - 5 3階伏図

せた。

3.4 免震装置の概要

約 23 000 m² の屋根はスタンド架構に設置された 16 基の免震装置によって支持させている。4 本の T1 トラス両端部の計 8 基に高減衰積層ゴム (800φ) を、8 本の T4 トラスの外周側端部に 8 基の直動転がり支承を配置した。図 - 7 に免震装置の配置図を示す。

4. PRC 梁の設計概要

4.1 PRC 梁の採用範囲

図 - 8 に各スタンドの軸組図と PRC 梁の採用範囲を示す。ホームスタンドは、他の 3 面のスタンドと異なり下段

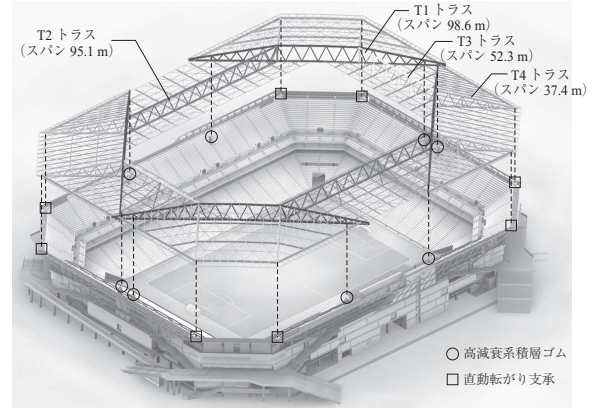


図 - 6 屋根架構モデルと免震装置の設置位置

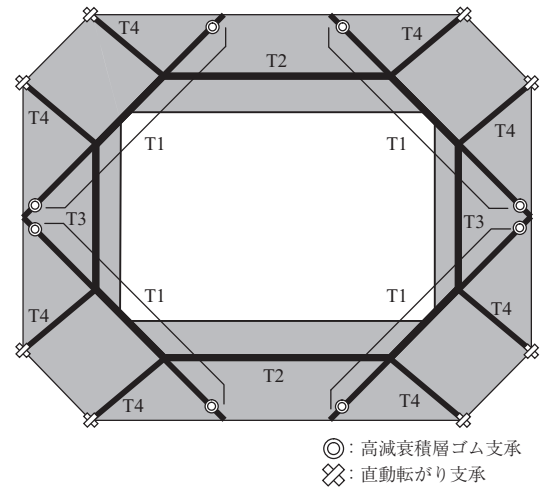


図 - 7 免震装置の配置図

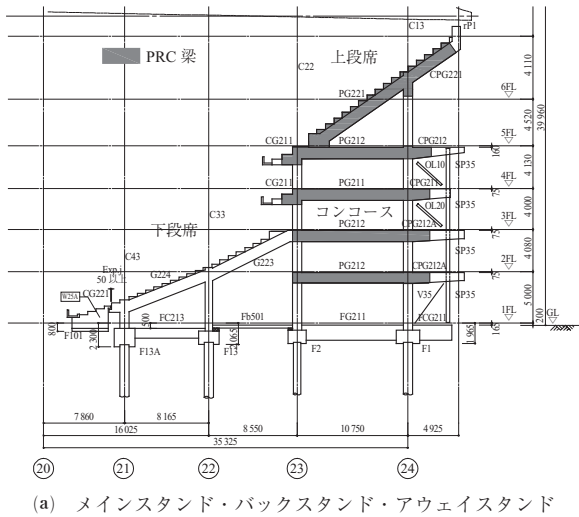
席の応援席を多くとった客席構成となっているが、コンコース部分と上段席部分に PRC 梁を採用しているところは同じである。

4.2 コンコース部分の設計概要

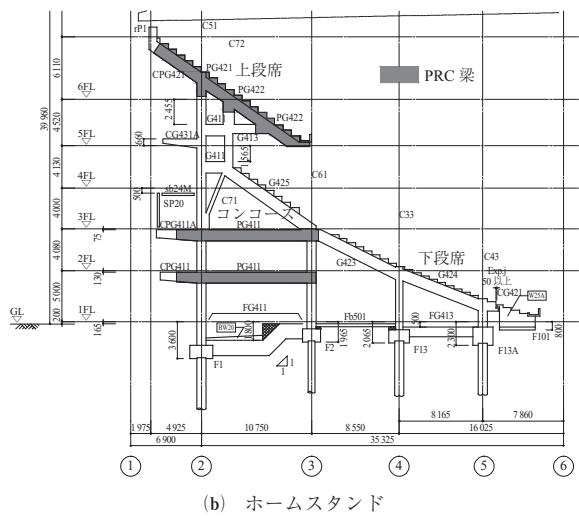
2 階から 5 階のコンコース部分は、柱スパンが 10.75 m で外部側の跳ね出し長さは、一般部で 4.050 m、最大部で 4.925 m である。PRC 梁の断面寸法は 600 × 1 100 mm、コンクリート強度は Fc45 とし、接合部一帯型の PCa 部材を製作したのち工場にて緊張工事を実施した。図 - 9 に PRC 梁の配線図を示す。

4.3 上段席部分の設計概要

上段席は 35 度の勾配があり、外部側への跳ね出し長さは、一般部で 4.925 m、コーナー部では 7.480 m となっている。さらに、一般部では「覆い壁」と称している外壁の荷重を負担しており、コーナー部の 22.5 度方向の梁においては、屋根トラスの荷重を跳ね出しの先端で受けており、応力条件は非常に厳しいものとなっている。図 - 10 に 6 階コーナー部の床伏図を、図 - 11 にコーナー部 (22.5 度方向) の軸組図を、図 - 12 ~ 14 に上段席 PRC 梁の配線図を示す。一般部の断面寸法は 600 × 1 250 mm、コーナー部の断面寸法は最大部で 800 × 2 200 mm となっている。



(a) メインスタンド・バックスタンド・アウェイスタンド



(b) ホームスタンド

図 - 8 PRC 梁の採用範囲

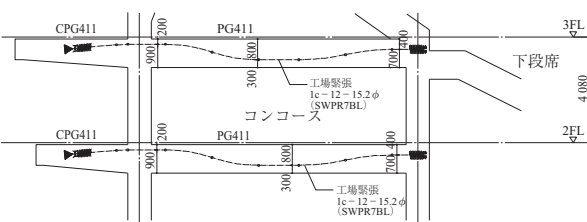


図 - 9 コンコース部分の PRC 梁配線図

5. PC 段床の設計概要

5.1 段床の構造概要

段床は、プレストレストコンクリート造（パーシャルプレストレス）として設計を行った。コンクリート強度は Fc60 とし、プレストレスの導入はプレテンション方式とし、全部材を工場製作による PCa 部材とした。

剛性の向上および取り付けピース数の削減を目的として、2 段一体型の 2 段床（8.6 m）とした。図 - 15 に下段席および上段席の代表部材の断面図を示す。2 段床としたため、総ピース数は 1 537 ピースとなり、1 段床とした場

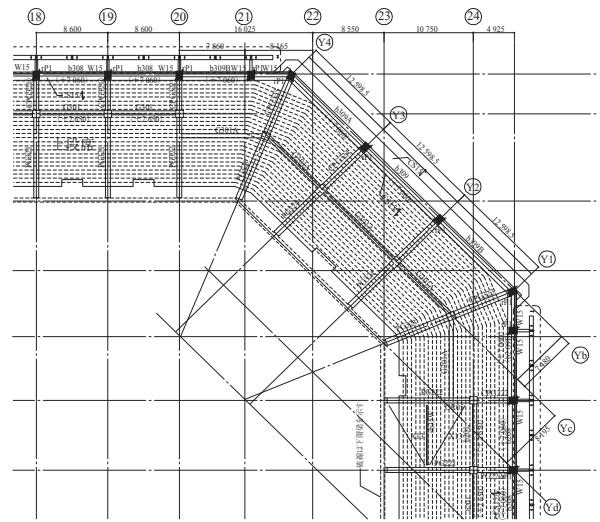


図 - 10 6階床伏図（コーナー部）

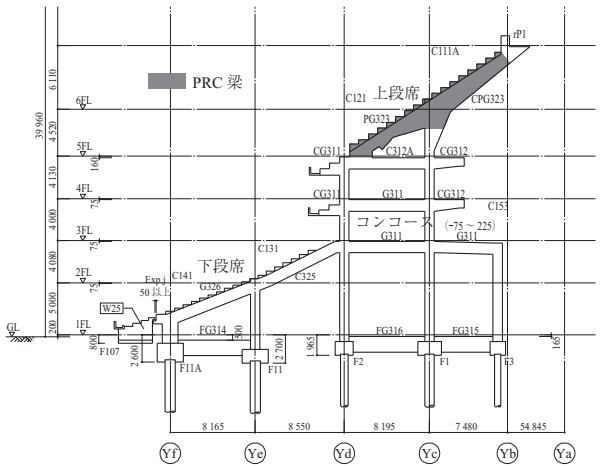


図 - 11 コーナー部（22.5°）軸組図

合（2 788 ピース）に比べて、45 % ピース数を削減することができた。また、型枠数については 17 枠で製作を行った。

5.2 ジャンプ応援に対する振動対策

サッカーの応援においては、サポーターと呼ばれる熱狂的なファンが、ゴール裏に陣取って声援を送ると同時にジャンプを繰り返す。このジャンプ応援はチームに関係なく行われ、日本ではよく行われる応援スタイルである。ジャンプするタイミングを合せることはしていないが、設計当初から構造体への影響が懸念された。

このジャンプ応援に対しては、躯体の損傷が生じないことを設計の目標とした。既存のスタジアムでの測定から加振力を推定し、梁および床版の構造体をモデル化した解析によって、床版の固有振動数が 10 Hz 程度以上あれば、問題が生じないことを確かめた。

本スタジアムにおいては、ホームスタンドおよびアウェイスタンドの一部に RC 小梁を設置して、床版の固有振動数の改善を図った。完成後の実測によれば、小梁のないバックスタンドでは 8.25 Hz だった固有振動数が、小梁を設置したホームスタンドでは 10.50 Hz になっており、RC 小

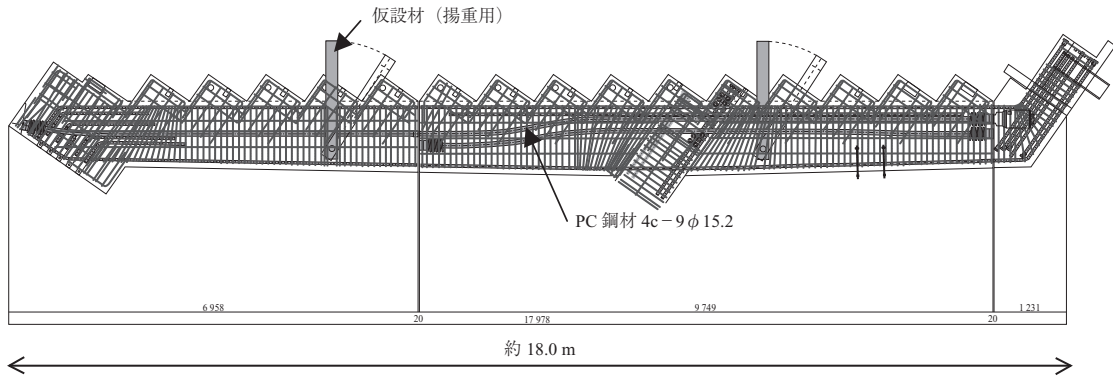


図 - 12 上段席部分の PRC 梁配線図 (一般部)

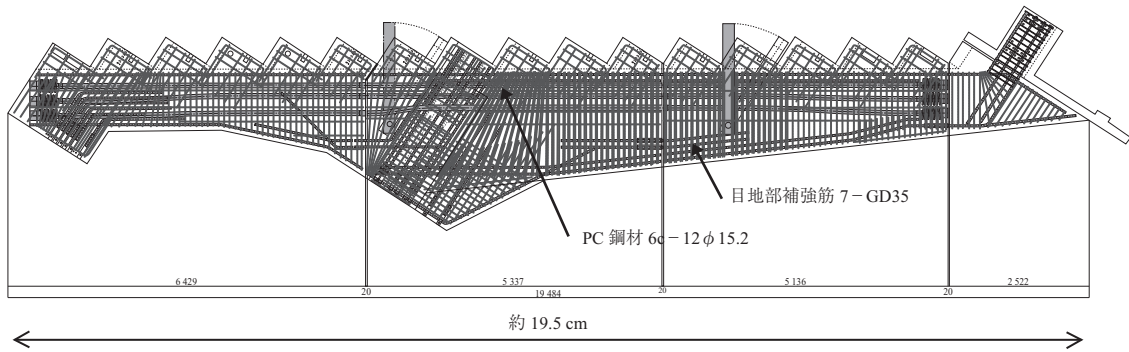


図 - 13 上段席部分の PRC 梁配線図 (コーナー部 22.5° 方向)

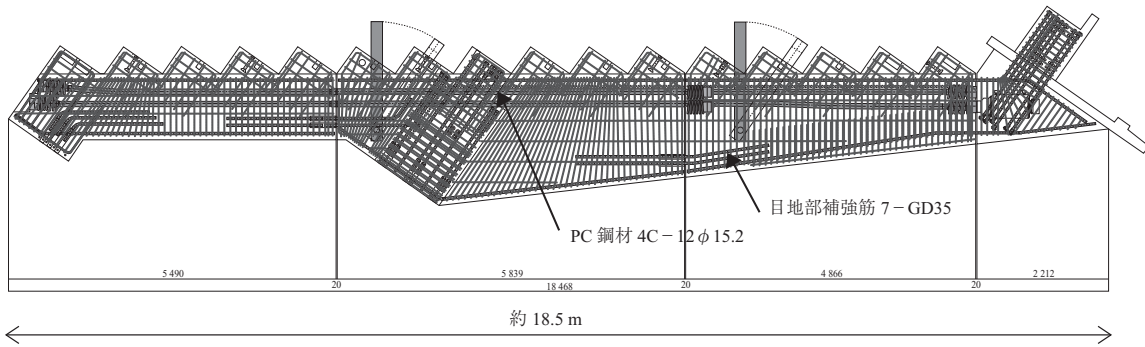


図 - 14 上段席部分の PRC 梁配線図 (コーナー部 45° 方向)



写真 - 1 ホームスタンドに設置した RC 小梁

梁の設置効果が確認できた。

6. 施工概要

6.1 躯体工事のプレキャスト (PCa) 化方針

コンペ時に設定した 22 ヶ月の工期は、他のスタジアムに比べて非常に厳しいものであった。また、募金を集めて建設資金とするため、コスト的にも厳しいものがあった。

図 - 16 に現場打ち部材と PCa 化部材を示す。コストおよび工期において最適となるよう、設計時から作業所担当者と打合せを行って PCa 化する範囲の検討を行った。その結果、梁は PCa 化、柱は現場打ちとする大きな方針を立て、工場の生産能力や必要な型枠数などに応じて、工場 PCa 部材とサイト PCa 部材への仕分けを行った。また、次項に示すように、基礎構造においても PCa 化を行った。なお、柱を現場打ちとした主な理由を以下に示す。

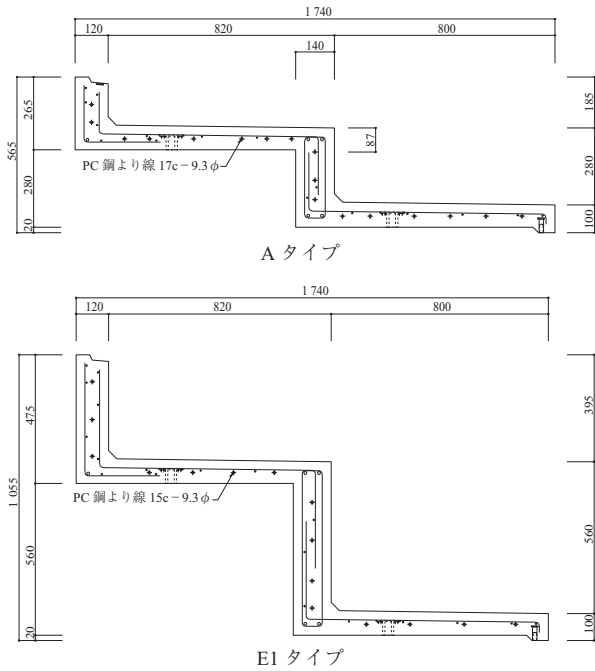


図 - 15 PC 段床の断面図

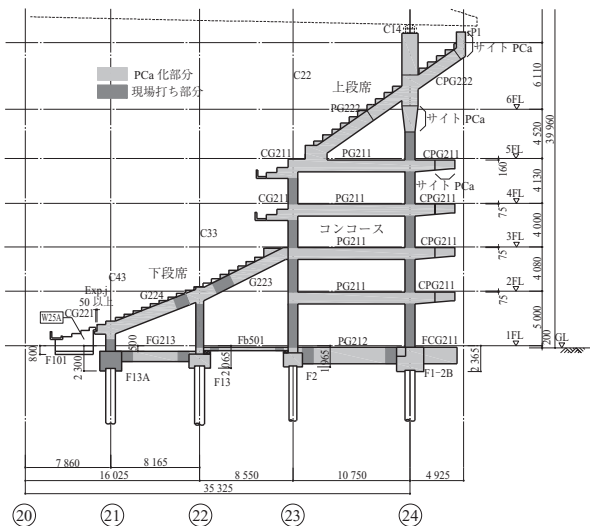


図 - 16 現場打ち部分とPCa化部分

- 柱は先組鉄筋工法やシステム型枠を用いれば、現場打ちでも短工期施工が可能であったこと。
- PCa化すると、大型のクレーンがさらに必要になること。
- 躯体職（大工および鉄筋工）にも一定の作業量を確保する必要があったこと。
- 作図および製作スケジュールにおいて、PCa工場に依存しすぎることを避けたかったこと。

6.2 基礎構造体の施工概要

通常、基礎構造は在来工法で施工されている。しかしながら、コンクリート約 13 000 m³、型枠約 25 000m²、鉄筋約 2 500 t におよぶ基礎躯体工事を 3.5 ヶ月の期間で施工しようとしたとき、一日に必要な躯体職は 300 人にもなることが判明した。しかも景気回復を受けて、関西地区でも工

事が増大しており、300 人もの躯体職を一つの現場に投入できる余裕はなかった。そこで、基礎工事においても、現場での作業量を大幅に低減するという目標をたて、基礎および基礎梁の大部分を PCa 化する計画とした。

写真 - 2 に基礎工事の施工状況を示す。基礎底より 300 mm 高い位置で整地したのち杭を打設し、杭頭を掘り出して PCa 基礎を設置する。杭の施工誤差は PCa 基礎の底に設けた切り欠きで吸収し、杭と基礎の切り欠きとのすき間には基礎設置後に上部からコンクリートを打設して一体化した。基礎梁端部の接続部分の型枠には敷き鉄板を用いたため、基礎工事時の型枠大工は不要に、鉄筋工は継手部分のみであったため、躯体職は在来工法の場合に比べて 98 % 減となり、劇的な労務の削減を実現できた。



写真 - 2 基礎工事の施工状況

6.3 コンコース部分の施工概要

図 - 17 にコンコース部分の PCa 分割図を、写真 - 3 ~ 7 に施工状況を示す。また、一般的な施工手順を下記に示す。

- ① 先組鉄筋とシステム型枠を用いて柱を構築
- ② 運搬の関係で一体化できなかった跳ね出し大梁の先端部分を地組ヤードにて一体化
- ③ 一体化したスタンド方向の PRC 大梁をノンサポートで柱に直接設置し、仕口部の柱主筋とシース管の間にグラウトを充填
- ④ 桁行方向の大梁をサポート 1 箇所設置し、接続部分

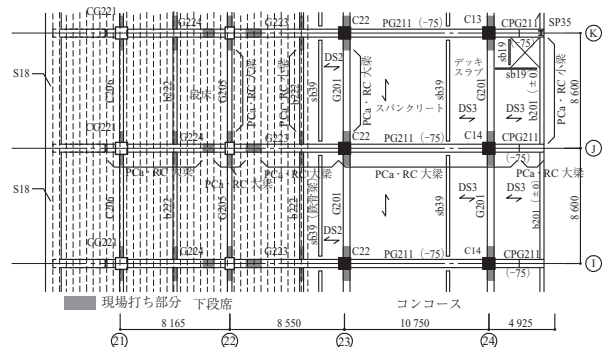


図 - 17 コンコース部分の PCa 分割図



写真 - 3 コンコース部分の柱のコンクリート打設状況



写真 - 4 コンコース部分の PRC 梁の設置状況



写真 - 5 コンコース部分の跳ね出し部施工状況



写真 - 6 コンコース部分の施工状況 (2 階梁架設時)



写真 - 7 コンコース部分の施工状況 (床版設置時)

の配筋および型枠を施工

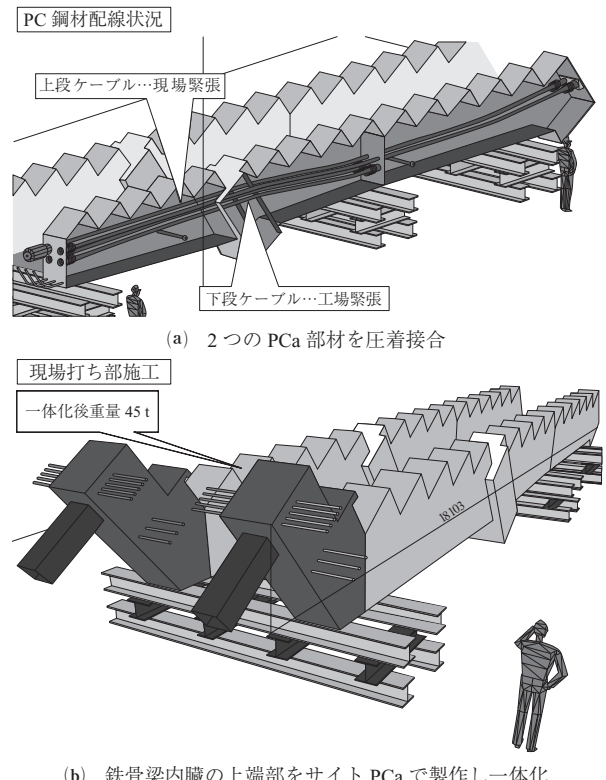
- ⑤ 跳ね出し部の先端小梁をノンサポートで設置
- ⑥ 床版 (一般部: 穴空き PC 版, 跳ね出し部: 鉄筋付きデッキ床版) を設置し床配筋
- ⑦ コンクリート打設

コンコース部分の大梁を PCa 化した PRC 梁としたことで、揚重ピース数が削減でき、工事工程の短縮に貢献できた。

6.4 上段席部分の施工概要

上段席部分のスタンド方向大梁は、工期短縮を考え PCa 化した PRC 大梁とし、圧着接合で接続する設計とした。施工にあたっては、フィールド内の地組ヤードで、先行して緊張工事を行い、800 t クラスの超大型揚重機を利用して一体化した長さ 20 m 弱の部材を一気に設置した。

図 - 18 に地組での施工手順を示す。上段ケーブルで 2 つの PCa 部材を圧着接合したのち、サイト PCa 化した鉄



(b) 鉄骨梁内臓の上端部をサイト PCa で製作し一体化

図 - 18 上段席部分の地組での施工手順

骨梁を内蔵した上端部を取り付けた。写真 - 8, 9 に地組状況を、写真 - 10 ~ 13 に揚重状況と設置状況を示す。一般部の一体化後重量は約 45 t、部材断面の大きいコーナー部（22.5 度方向）は、最大で 85 t に達した。



写真 - 8 地組状況（一般部）

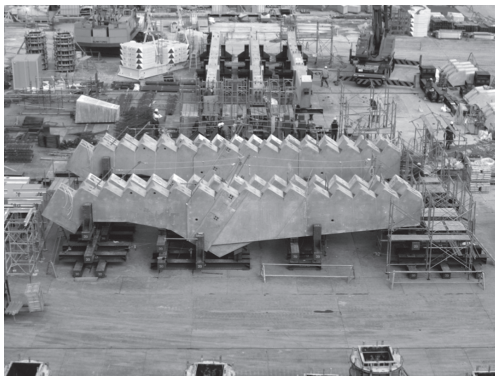


写真 - 9 地組状況（コーナー部）



写真 - 10 揚重状況（一般部）

7. おわりに

40 000 人を収容する西日本最大のサッカー専用スタジアムにおいて、PRC 大梁や PC 床版の採用による合理的な構造体の構築を目指した。設計施工一貫のメリットを活かして、早くから設計者と施工者が PCa 化の範囲や施工手順などの検討を行い、スタンド構造の現場での生産効率向上



写真 - 11 上段席設置状況（一般部）



写真 - 12 上段席設置状況（コーナー部）



写真 - 13 上段席完了状況（コーナー部）

による省人化施工と工期短縮を実現した。建設労働者の減少が顕著となっている今日において、本編で紹介した技術が、プレストレストコンクリート技術の発展の一助となれば幸いである。

最後に、募金でスタジアムをつくるという日本で初めての試みは、建築主ならびに建設資金を寄付された個人および企業の皆さまのおかげで、何とか実現できる見込みとなった。この場を借りて、本スタジアムの建設に関係された全ての方々に心より感謝の意を表します。

【2015 年 5 月 4 日受付】