

# プレキャスト工法を活用した サッカー専用スタジアムの設計施工

松 尾 享

我が国における大規模スポーツ施設は15年前後の周期で建設ブームがあり、2020年オリンピック関連施設を筆頭に新スタジアム建設、既存施設の更新がここ数年活発化している。一方で、建設技能労働者の減少、施工管理者不足、また短工期・ローコストへの対応等から建設工事の生産性向上ニーズはますます高まっている。本稿では、設計と施工の早期協業による構造躯体のプレキャスト化推進、プレキャスト（以下、PCaという）と現場在来工法の最適化を図った設計施工の取組みについて紹介する。特に大規模スタジアム空間での省仮設、省人化、安全・品質の向上に大いに貢献した複数PCa部材の大型地組ユニットとその揚重方法について解説を行う。

キーワード：プレキャスト、短工期、省人化、安全先取り、早期協業、大規模空間、大型地組み

## 1. はじめに

市立吹田サッカースタジアムはJリーグ、ガンバ大阪のホームスタジアムである。その事業スキームは、サポーター並びに企業からの寄付金等で建設するという日本で初めての取組みであり、収容人員40,000人のサッカー専用スタジアムとして西日本最大の規模かつ国際サッカー連盟（FIFA）主催の大会を誘致できる基準を満たしている。設計施工一括方式で計画されたプロジェクトとして、設計に先立ち予算、工期等の多くの課題があったが、特に躯体職を中心とした労務職不足は深刻であった。その打開策として合理的な架構と生産性の向上をめざし、着工の1年半前から設計者と施工者が協業し、躯体のプレキャスト化を軸とした設計・施工計画がスタートした。

## 2. 建築計画概要

### (1) 設計概要

建物の完成写真を写真-1に、建物概要を下記に示す。設計にあたっては以下の5つの要件を満たしたヨーロッパスタイルのサッカー専用スタジアムをコンセプトに計画された。

- 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



写真-1 完成写真

- ⑤災害に対する高い安全性を確保する

### 【建物概要】

建物名称 市立吹田サッカースタジアム  
 建築地 大阪府吹田市千里万博公園内  
 設計・施工者 ㈱竹中工務店

建築面積 24,695.51 m<sup>2</sup>

延床面積 63,908.71 m<sup>2</sup>

建物高さ 40.33m

階数 地上6階

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（屋根免震構造）

基礎形式 杭基礎

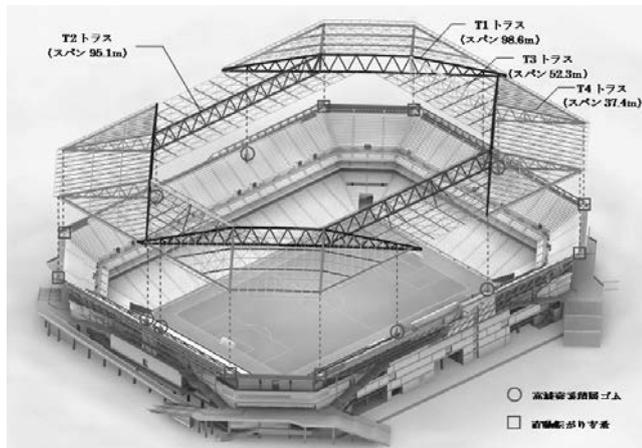
工期 2013年12月～2015年9月（22ヵ月）

(2) 構造概要

スタンドの主要構造体は鉄筋コンクリート造（以下、RC）とし、試合観戦時の多人数による歩行やジャンプによる振動防止、建物剛性を確保するとともに、コンクリート断面の縮小やひび割れ防止を目的として、プレストレスト鉄筋コンクリート（以下、PRC）梁を併用した純ラーメンの架構システムとした。またスタンド躯体全体のエネルギー吸収用にオイルダンパーを51台架設し、コンクリート強度は柱及び大梁はFc45、床はFc24、屋根荷重を受ける柱はFc100とFc60の組合せとなっている。またホームスタンドの一部柱にはFc200を適用した。屋根架構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が配置された屋根免震構造とした（図一1）。通常、大スパン屋根の荷重を受ける柱には、温度変化による屋根全体の伸縮応力や地震時の水平力等の大きな力がかかるが、屋根免震構造の採用は、地震時の屋根水平力が1/10に低減されるなど地震等に対する安全性向上に加え、屋根直下の柱のスリム化とスタンド架構全体のシンプル化にも大いに寄与した。

(3) PRC 梁の採用

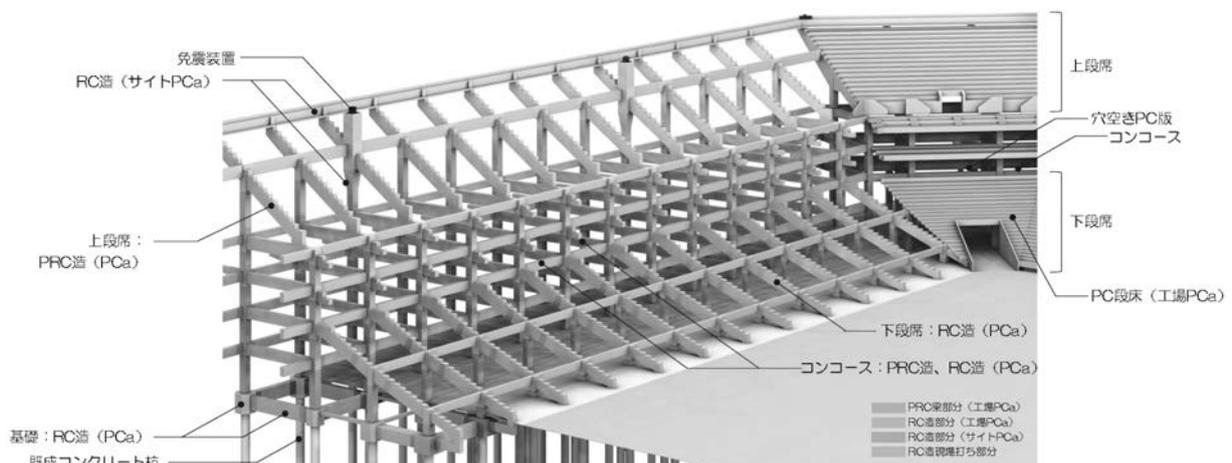
スタジアム建築において、屋根及びスタンド段床をどのように支持するかは構造計画上の重要なポイントとなる。特に40,000人規模のスタジアムになると観客席スタンドは下段と上段に分かれた複層構成となる。本計画では約20,000席を有する上段スタンドを支持する柱・梁の配置が、下階のコンコース空間の構造並びに杭配置にも大きな影響を与えた。つまり、段床を支える梁スパン長と柱割が、杭を含んだ躯体全体数量並びに施工計画の最適化に最も大きな影響を与えることとなり、本スタジアムでは、これら諸条件の最適化を図るため、スパン長10.75mの柱梁接合部一体型のPRC梁を採用した（写真一2）。また、上部スタンドを支持するPRC段梁（傾斜角35度）は、全長18m～20m、部材重量50t～85tとなるため工場製作や運搬上の制約から一体型でのPCa化は不可能であったため、構造的に無理のない所で分割し、現場での圧着接合にてPRC梁を接合するポストテンション併用型とした。図一2に構造フレーム全体を示す。



図一1 屋根免震構造



写真一2 柱梁接合部一体型 PRC 梁



図一2 構造フレームパース

### 3. 施工計画概要

#### (1) プレキャスト化の基本方針

一般的にPCa化は在来工法と比較してコストは高くなる傾向があるが、型枠の転用回数を上げるための部材の標準化やPCa工場の製作工程（山積み予定）を考慮した計画的な製作等，設計的な工夫とPCa工場との連携を図ることにより，仮設工事を含めた総合的な比較では在来工法を上回る成果を得ることが可能である。特に大規模建築において在来工法では多くの労務職を必要とし，かつ外部側での高所作業が多い場合は，揚重機の条件がクリアできれば安全性向上，仮設資機材の大幅な削減等PCa化が非常に有効であることは周知のとおりである。一方で，過度のPCa化依存はコスト面やPCa製作納期等の工程面でもリスクが高いため，在来工法との最適なバランスを図ることが施工計画上の重要なポイントとなる。施工計画時にPCa化が困難またはメリットの少ない部位，PCa部材間の接続部等は在来工法で計画されるが，そのような部位は手間がかかり施工歩掛が伸びないことが多い。従って在来部分の労務条件としてのバランスも考慮し，一定量の施工歩掛が伸びる部分とうまく組み合わせることにより，鉄筋工及び型枠大工の業務量の平準化を図ることが現場運営上の鍵となる。言い換えれば，在来躯体職の業務の平準化は信頼できる優秀な躯体職メンバーによる一貫した施工を可能とし，PCa接合部等重要部位の施工の品質面の安定化を意味する。更にある一定量の在来施工部分があることは，特に大規模建築ではコンクリートをはじめとした躯体材料手配の地元還元も図ることが出来，総合的な調達面でのバランスを考慮することもプロジェクト運営上非常に重要な要素となる。以上の複合的要因も踏まえ，本プロジェクトでは柱を在来工法（システム型枠と地組鉄筋），梁をPCa化という大きな方針を立て，さらには現場の躯体職混成チームによるサイトPCaを組み合わせることでPCa化と在来工法の最適化を図った（図-3）。

本スタジアム施工計画でのPCa化と在来工法の組合せの基本方針は以下のとおり。

- ①柱在来システムとPCa大梁の短工期タクト施工
- ②仮設設備の排除〈支保工，足場の徹底的削減〉
- ③大型揚重機の適材適所配置〈450tクラスと150tクラスのクローラーの最適な組合せ〉
- ④躯体職の少数精鋭化〈鉄筋工・型枠大工の業務平準化と，PCa関連部材（PCa大梁，小梁鉄骨，PC段床，床スパンクリート他）の揚重・仮設工事の薦工によ

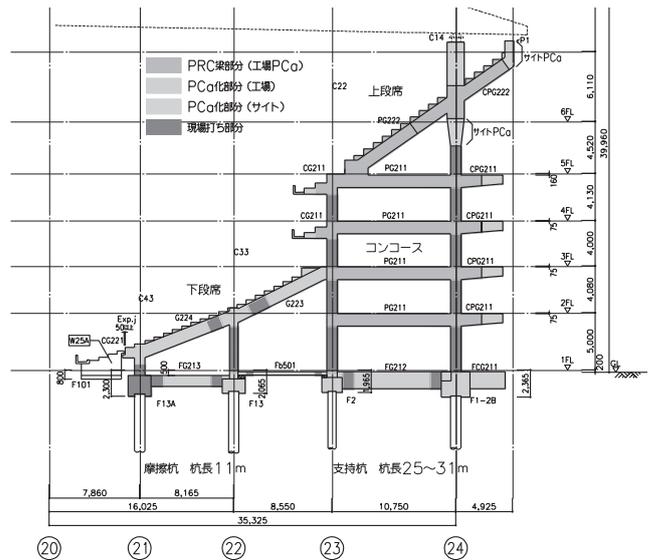


図-3 PCa, サイトPCaと在来区分

る多能工化)

- ⑤サイトPCaの積極的採用〈小型の大量部材，及び高所作業削減や工期短縮・品質安定につながる部位へのサイトPCaの取組み〉

#### (2) 基礎PCa化の取組み

フーチング基礎は一般的に杭接合部での複雑な鉄筋配置等により在来工法で施工されている。本工事では約23,000m<sup>2</sup>に及ぶ基礎を約2.5か月で完了させる必要があり，それには300人/日近い躯体労務職の動員が必要で工程及び労務調達の面で非常に困難な状況であった。そのため，基礎においても全面的にPCa化を図ることとし，フーチング（206ピース）並びに基礎梁（460ピース）について工場製作PCa化に取り組んだ（写真-3）。最もグラウンドに近い列は引抜き力がかかるため現場打ちとしたが，それ以外の基礎は杭頭半剛接で設計し，杭とフーチングPCa接合部は下部に切欠き部を設け杭の施工誤差を吸収するとともにPCa設置後，ポンプ圧入によるコンクリート充填での接合により一体化を図った。

通常，基礎は工程上一番始めに必要なため，工



写真-3 フーチングPCa取付状況

事期中での変更は困難な部位であるが、設計施工のメリットを活かし着工の1年前から基礎PCa化の方針を定めPC協力会社との連携を開始した。半年前からは基礎躯体図の作成によるPCa鉄筋配筋及びピット内設備スリーブとの整合チェックを重ね、着工3か月前から各PCa製作単品図の作成・承認を順次行った。杭着手時にはPCa工場での基礎PCa製作をスタートし、杭工事完了エリアから順次フーチングPCaを搬入し、鳶工3人でセットするという非常に整然とした形で超短工期での基礎工事を進めることが可能となった。この工法ではフーチングPCaと基礎梁PCaのジョイント部のみが現場打ちとなるが、その部分のジョイント用鉄筋をPCa工場ですべて事前にセットし、型枠を鉄板型枠（仮設敷鉄板リース材を利用）としてPCa設置の鳶工事の一式工事に含めることで、在来工法での型枠・鉄筋工事をゼロとし、当初の計画に対し1/6の人員で基礎工事全体を整然と行うことが出来た（写真—4）。



写真—4 基礎PCa配置状況

### (3) 地上躯体の施工システム

前述のプレキャスト化の基本方針に基づく地上躯体システムの施工手順を以下に示す。

- ①先組鉄筋とシステム型枠を用いて柱を構築
- ②PRC大梁（柱梁仕口部内蔵型）を支保工無しで直接柱に設置（写真—5）
- ③仕口部の柱鉄筋とシース管内にジョイント用の高強度グラウト材を充填
- ④桁行方向の大梁PCaを中央1か所の支保工で受け、PCa接続部の配筋・型枠を施工
- ⑤床設置（一般エリアは中空PC板、それ以外は鉄骨小梁+デッキ床）及び配筋
- ⑥床コンクリート打設

PCa部材を多用する地上躯体計画では、現場でのコンクリート打設が毎日少量かつ梁ジョイント部のみ等、限定的となる特徴がある。現場打ちコンクリート



写真—5 無支保工でのPCa接合

柱の打設は一本当たり約 $2.5\text{ m}^3$ で、多い日でも打設は8本。また床についても中空PC板の上部にトップコンクリート厚約 $120\text{ mm}$ を工区毎に打設するサイクルであるため、床でも打設量が $60\sim 80\text{ m}^3$ 程度である。一方で、スタジアム空間は非常に大きいためコンクリート打設範囲は非常に広く、少量であっても $10\text{ t}$ ロングのブーム車で配管をしないと打設できないような場所が多く非常に非効率な状況が発生する。そのため、大型揚重機が常駐している特徴を生かし、 $5\text{ m}^3$ 用の大型電動ホッパー（ホッパー自重含め $5\text{ m}^3$ で約 $13.5\text{ t}$ ）を躯体工事期間中リース採用することで、大型クレーンによるピンポイント施工かつ品質面でも筒先のコンクリート分離がない状態でコンクリート打設を行うことが出来た。また配管が不要なため残コンが発生せず、環境面でも非常に効果的であった（写真—6）。



写真—6 大型ホッパー（ $5\text{ m}^3$ ）によるCON打設

#### 4. 大型地組みによる工期短縮、省人化、安全施工の取組み

##### (1) 工程の逼迫と解決策の模索

下部スタンドと5階床までの躯体施工システムは前述の基本方針に基づきフロア毎に習熟度を高め、順調に施工が進んだ。しかしながら5階以上の上部スタンド躯体は、これまでの躯体と全く違ったものであった。1周約600mのスタジアム上部を囲む約20,000席の観客席は上級スキーコース並みの傾斜角35度のスタンドであり、それを8.6mスパン毎に支えるPRC斜梁（全長18m～20m、一体化後の自重が50t～85t）は、2分割された状態で製作・納入され、斜めの状態で現場にて圧着接合することが求められた。しかもPRC梁最頂部では、更に在来工法で梁頂部を約2m延長し、覆い壁と呼ばれる巨大な外壁パネルのブラケット鉄骨を埋設する必要があった。その頂部高さは地上より約30mかつ、作業床である5階（地上約17m）の床端部より外部側に6m跳ね出している条件となっていた。これら全ての条件を満たして施工するには膨大な仮設支保工が必要となり、施工精度上の品質面及び高所での安全面での大きな懸念とともに、工程面でもこの上部スタンド躯体を2.5か月で完了させて屋根鉄骨工事をスタートさせることは非常に困難な状況であった（図-4）。

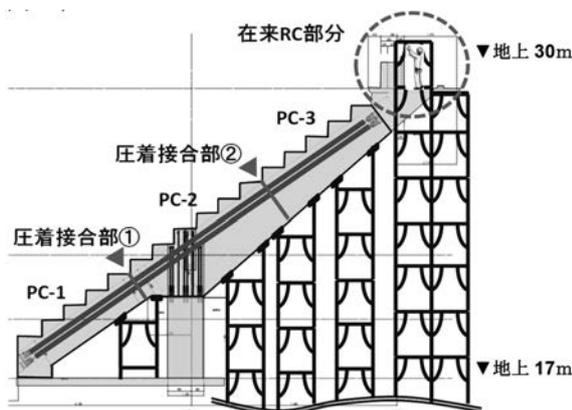


図-4 当初設計条件に基づく上部スタンド斜梁構築計画

##### (2) PRC斜梁の大型地組み化による課題解決

前述の条件を克服するには従来の発想をゼロベースでリセットする必要があった。どういう状態でありたいかという理想的な姿を描くことにより、解決の糸口を探った。

【課題克服のアイデア（理想的条件）】

①膨大な支保工をゼロにする⇒大型PRC斜梁を最終形状にて本設柱に直接設置する

- ②上部での斜め接続等の難しい仕事を無くす⇒圧着接合はフィールドで行い、水平作業で行う
- ③地上で圧着接合した超大型部材（吊治具込で100t×旋回範囲70m）の揚重が可能な揚重機を探す
- ④超大型部材の相吊りなど危険な建て起こしはせず、簡単にする
- ⑤スタンド傾斜角調整は事前に地組ヤードで行い、35度傾斜の状態での現場まで揚重する
- ⑥最頂部の在来部分はサイトPCaとし、鉄骨まで仕込んだ状態で地組時にPRC斜梁と事前接合する
- ⑦毎日2スパンずつスタンド躯体のフレームが出来上がる基本サイクルとし、PCa工場の製作サイクルと合わせることでフィールド内の地組ヤード架台を最小限のユニット数とする



写真-7 大型PRC斜梁地組状況（コーナー部材）



写真-8 地組ヤードでの安全な圧着接合作業



写真-9 圧着接合完了及び頂部サイトPCa接合後の地切り状況

上記のアイデアは、実際に1/600及び1/100程度のスケールで分割製作されたユニット部材模型をつくり、地面に寝かせたり立てたりすることで、浮かんできたものである。困難な施工条件に対し、俯瞰的に見つめなおすことで関係者一同これまでの閉塞感が解放され、一気に前に突き進んだ感覚を覚えた。

このPRC斜梁大型地組化は、圧着接合工事及び最頂部サイトPCa部材の接続という工程及び品質上の重要なサイクルを地組ヤードで行うことによりこれらの作業を全体工程のクリティカルから外すことが出来たことに非常に大きいメリットがあった。その結果、超大型PRC斜梁を柱の上に直接載せるだけという従来の施工サイクルが踏襲されることとなり、複雑であった施工サイクルが非常にシンプルでわかりやすいものになり、安全・品質・工程・コスト全ての面において所期の目的を達成することが出来た（写真一7～9）。

### (3) 大型揚重機と大型電動チェーンブロックによる重量斜梁の安全揚重

当時日本に2台しかないドイツ製の600tクローラークレーンを運よく2か月限定で確保でき、機械本体に追加の200tカウンターウエイトをつけることで、吊治具込で重量100t×旋回範囲70mという建築分野ではまず体験できないレベルの施工が実現した。この最新の大型揚重機はカウンターウエイトをつけてもウエイトが地面より50cm程度浮き、かつメインジブの起伏に応じてウエイト部分も前後に移動するため600tクローラーという100t級の部材を吊るには比較的小さい車体でありながら超重量物を広い旋回範囲で揚重することが可能な機械である。一般的にカウンターウエイトが付加できる500t前後のクローラークレーンはカウンターウエイトが台車に載っており、平滑な作業地盤でないとクレーン旋回と同時にカウンターウエイトが動かない場合が多い。通常スタジアム等の大空間建築工事では敷鉄板での作業地盤が多いため、これがカウンターウエイト装着時のネックになることが多い。今回選定した機種はまさにこの施工条件をクリアするに最適の機械であった（写真一10,11）。

揚重機が確保でき、もう一つの大きな課題は、地組み時の状態のまま安全に揚重し、スムーズに回転させ、最終形の35度の傾斜角のまま一体化されたPRC斜梁を現地に取付ける仕組みであった。当初クレーンの相吊りによる建て起こし等の検討を行ったが、超大型揚重機同士の接近作業は非常に危険であるため、クレーンによる建て起こしではなく、クレーンは吊るだ



写真一10 600tクローラークレーン（追加ウエイト付）



写真一11 600tクローラーによる広旋回範囲での揚重

けに限定し、回転は30tの電動チェーンブロックで行う形で揚重と回転を分離して考えた。まず一体型のPRC斜梁（自重50t～85tまでの6タイプ）の重心位置を出し、重心を起点に左右約3.8mずつ離れたポイントに100φの鋼管を埋設、揚重時に80φの回転用鋼棒（モリブデン鋼）を差込むことで、30t×4台のチェーンブロックの長さ調節だけで自由に回転できる機構を考案した。揚重手順としては、この4つの30tチェーンブロックを支えるトラバーサーにて地切り後35度の高さ調節ができる程度の高さまで一旦水平に吊上げ、その段階で電動チェーンブロックのリモコンボタンで所定の長さ調節（下側のチェーンブロック2台のみの操作）を行い、地組みヤードにて事前に角度調整を行った斜梁を、大型クレーンにて所定の位置まで揚重・取付するという手順となる（写真一12,13）。

## 5. おわりに

建設業全体として生産性の向上は将来にわたって継続的な課題となる。その中でPCa化は省人化、短工期化及び安全・品質の向上に対して大きく効果のある工法としてますます展開されるであろう。PCa化のプロジェクトは、事前に製作されたPCa部材が整然



写真-12 傾斜回転用治具（トラバース&amp; 30tチェーンブロック）



写真-13 電動チェーンブロックのリモコン操作にて35°傾斜実現

と運ばれてくるため一見簡単なように見えるが、そこには設計者と施工者の長きにわたる事前の作りこみ、そして一つずつの部材に対するPCa工場の設計・工場関係者の緻密かつ昼夜にわたる懸命の努力がある。建設業でのPCa化の推進をPCa業界としても継続発

展していくくみとして共に改善・向上の取組みを行っていくことが大切であると考え。また、今回のように大規模空間建築でのPCa化は大型揚重機に代表される建設機械の性能とも大いに関係する。今後も開発・改善事例の交流が互いの発展に寄与することを願う。

本スタジアムでは2016年のJリーグ開幕に先がけ、こけら落しの試合が行われた。スタジアム完成を待ちわびた満員のサポーターによる大歓声はまさにヨーロッパのスタジアムに負けない、これまでの日本のスタジアムでは感じたことのない臨場感と興奮に包まれたものであった。このプロジェクトに携わった関係者の一人としてサッカー界発展の一助となれば幸いである。

JICMA

## 《参考文献》

奥出久人, 大野正人, 木原隆志, 松尾享:(仮称)吹田市立スタジアムの設計・施工, プレストレストコンクリート Vol.57, No.4, pp.50-57, 2015.7

## 【筆者紹介】

松尾 享(まつお すずむ)  
 ㈱竹中工務店  
 市立吹田サッカースタジアム作業所  
 所長(現所属 生産本部生産企画部副部長)

