

PCa 架構の利用によるスタジアムの構造設計

— 新広島市民球場における PCa 造の適用 —

金箱 温春*1・坂田 涼太郎*2

新広島市民球場はグラウンドの開放感や街との一体感を生かした計画であり、非対称かつ多彩な観客席を設けるために形態が多様なことが特徴である。構造設計において、PS 造、PCa 造を主体構造として採用することにより、短工期、ローコストのスタジアムを実現した。

下部構造は現場打ちコンクリートのプレストレス造、上部構造は PCa 構造を主体構造としたが、多様化した形態に対しては PCa が不向きであり、これにどう対応していくかということが構造計画の最大の課題である。基本的な架構を PCa 造で計画し、PCa 造では対応困難な特殊な形態や用途の部分を鉄骨造とした。

放射方向の PCa 架構はコンコース上部の半円弧アーチ梁、2 階後方席を支持する斜め柱、7～10.5 m の片持ち梁による特殊な形態であり、分割位置や PS 配線に工夫を行った。桁行き方向に長い構造物であるため、ストレス導入による不静定 2 次応力を小さくするため、ブロック分割による PC 鋼線の緊張方法を採用している。

キーワード：プレキャストコンクリート造、スタジアム、併用構造

1. はじめに

新広島市民球場は、わが国の従来のスタジアムとは異なった新しい感覚で作られている。グラウンドの開放性を高め街との一体感を生かした計画あり、非対称かつ多彩な観客席を設けるために形態が多様なことが特徴である。また、1 階観客席の後方に球場内を一周するコンコースが配置され、上部には 2 階席を支えるアーチ状の構造体の連続したデザインとしても表現されており、観客席をなるべくグラウンドに近づけるために 2 階席の先端部を 1 階席の上部に跳ね出している。設計が 8 ヶ月、施工が 16 ヶ月と短時間であること、工事費がこの規模のスタジアムとしては低く設定されていたことも特筆すべきことである。

このプロジェクトは設計コンペが実施されたものであるが、コンペの段階より設計や施工期間のことを考慮して PCa を基本構造とすることを考えていた。PCa 造は同一形状の部材を工場で繰り返し生産し、高品質、高精度なものが得られることができ、現場施工の時間や仮設部材を低減できることで特徴であるが、一方で多様な建築形態に対してはおのずと限界が生じてくる。設計が進むにつれて PCa

の特徴をどう活かすか、一方で PCa が不向きな部分をどう対応していくかということが課題となり、鉄骨造の併用により解決を図った。

表 - 1 建築概要

所在地	広島県広島市南区
主な用途	野球場
敷地面積	50 472.42 m ²
建築面積	22 964.48 m ²
延床面積	39 524.01 m ²
最高高さ	30.65 m
建築設計	仙田満+環境デザイン研究所
構造設計	金箱構造設計事務所
施工	五洋・増岡・鴻治 JV
PC 工事	黒沢建設株式会社

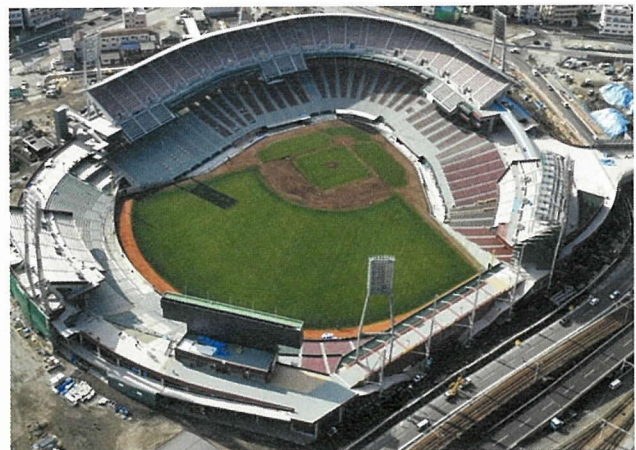


写真 - 1 スタジアム全景



*1 Yoshiharu KANEBAKO
東京工業大学 特任教授
金箱構造設計事務所



*2 Ryotaro SAKATA
金箱構造設計事務所

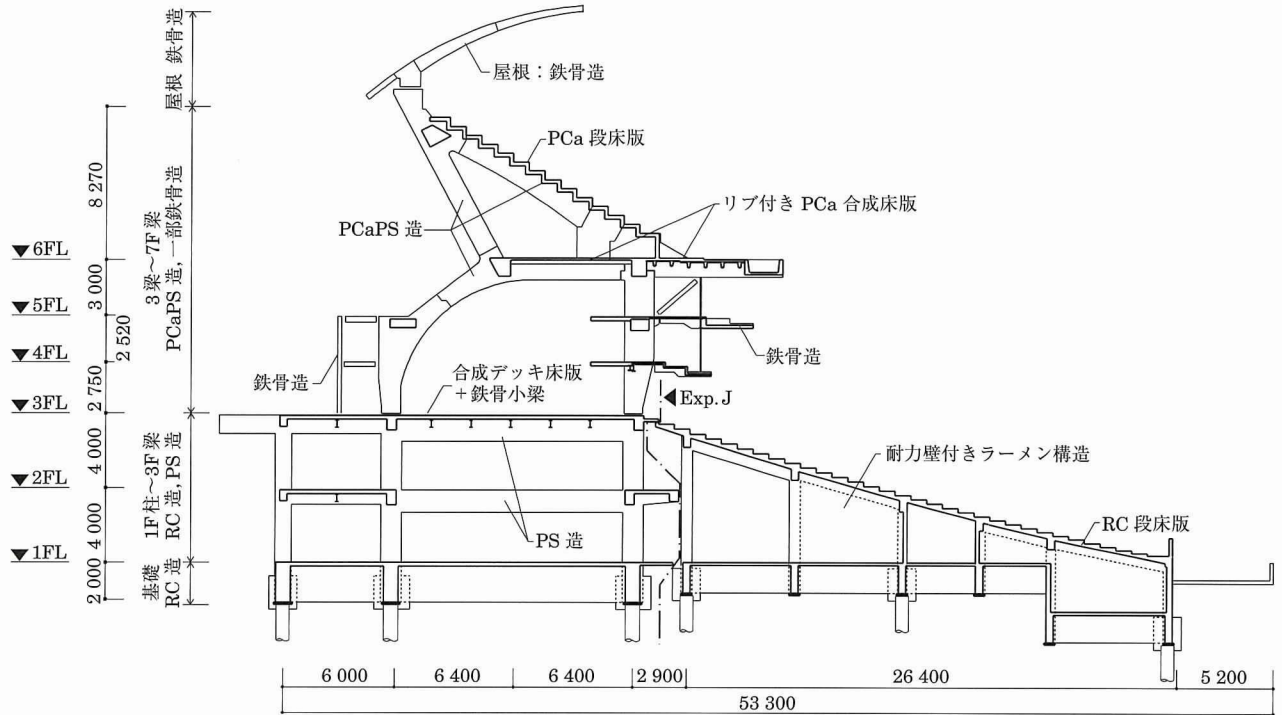


図 - 1 構造概要図

2. 架構の計画

2.1 全体の計画

コンコースより上部においては、形態が複雑なこと、見える架構となること、繰返し部分が多いことなどから PCa 造を採用し、下層階は現場打ちの鉄筋コンクリート造とした。下層階の現場施工と並行して上部構造の規則的な PCa 架構を工場で生産し、下層階の施工完了後に上層の PCa の建て方を行うことで工期的にもメリットが生じる。ただし、上層階においても、スタンド前方の特殊なゾーンや外周部の店舗関係の部分はさまざまな形態が計画され、とくに店舗関係は設計の後半時期まで調整が続くことが予測されたため、これらは鉄骨造を用いて対応することとした。基本の架構を PCa として設計の初期段階で基本断面を決定しておき、特殊性な部分や設計調整に時間がかかる部分を鉄骨

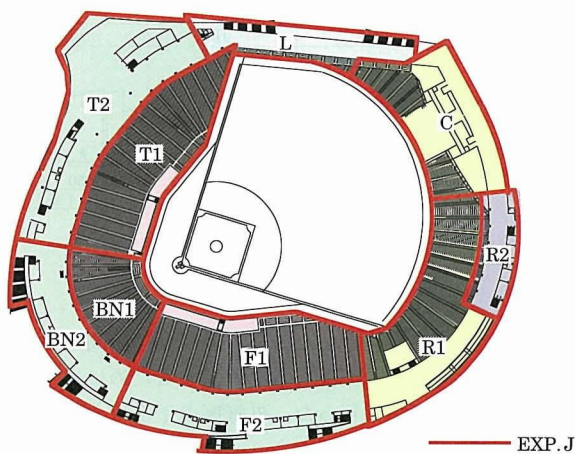


図 - 2 エキスパンション位置

造とし、短時間の設計スケジュールへの対応とした(図 - 1)。耐震設計上は PCa 架構が主体構造となり、鉄骨造は鉛直荷重のみを負担する部材となる。また、構造の明快さを得るため、エキスパンションを設けて建物を 10 の部分に分ける計画とした(図 - 2)。

2.2 コンコース下部の構造 (PS 造)

客席後方はコンコース床を境に下部と上部とで構造種別が異なるが、上下を通して比較的スパンの大きいラーメン構造を採用した。下部は現場打ち RC 造とし、13 m スパンの梁や片持ち梁はプレストレス造とした。

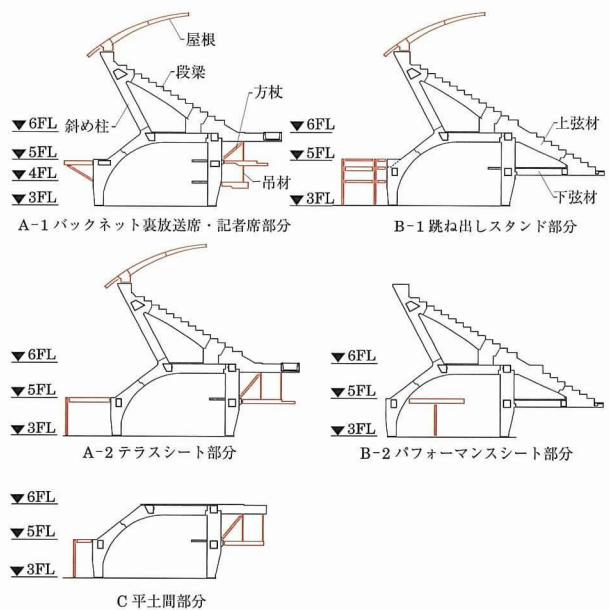


図 - 3 基本の PCa 架構

2.3 コンコース上部客席の構造 (PCa 造+S 造)

コンコース上部は両方向とも PCa 造とし、アーチ架構、2 階席前方の跳ね出しを形成している。放射方向の基本的な PCa 架構は 3 種類とし、エキスパンションジョイント端部では柱、梁とも幅を減らしたものを採用している。これらの基本形は下記の 3 種類であり、コンコース上部のアーチ形態は共通である。

- A：前方へ 7m の水平の跳ね出し床を有する架構
- B：前方へ 10.5m の傾斜した跳ね出し床を有する架構
- C：2 階席が水平で後方の床がない架構

これらの 3 種類の PCa 架構を基本として、各部の客席の断面的なバリエーションを作ったものが、図 - 3 に示す 5 種類である。張り出した 2 階席の下部に床を設ける部分は鉄骨造として PCa 梁から吊り下げ、2 階席上部に位置する屋根は鉄骨造として計画した。桁行方向の PCa 梁はそれぞれの位置において共通化を図り、また、2 階客席の床も PCa 床版を用い共通化を図った。

2.4 パフォーマンスシート

外野の 2 階席であるパフォーマンスシートでは平面的なバリエーションも加えられた。ホームベースに対する視点確保の配慮などから放射状の基本架構に対して端部で三角形の平面が追加されている。これらの端部の梁はいずれも特殊な形態、寸法の部材となるため PCa とすることは得策ではない。この梁は鉄骨造とし、その梁を斜めの鉄骨柱により支持した。床は基本の PCa 床版の長さを調整することで対応した (図 - 4、写真 - 2、3)。

2.5 内野前方客席および外野席 (RC 造)

内野前方客席は下部に管理諸室や選手関係諸室が設けられた 1 層の建物である。建築的な壁を耐震壁に利用して耐

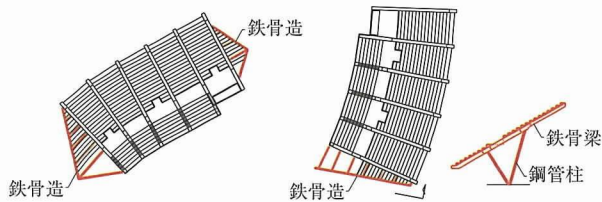


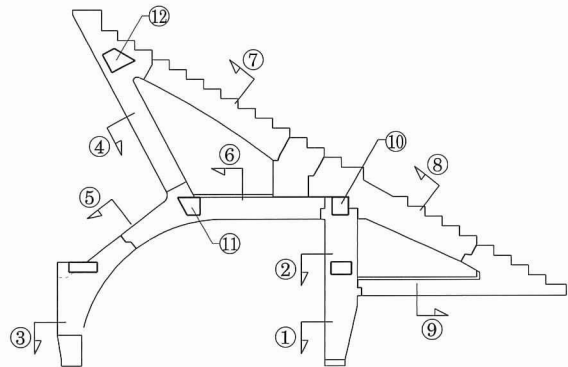
図 - 4 パフォーマンスシートの架構



写真 - 2 パフォーマンスシート



写真 - 3 パフォーマンスシートの構造



柱断面 ◆は PC 鋼棒 32φ を示す

①	②	③	④
1300 800	1600 800	1200 800	1100 800

梁断面 ◆は PC 鋼線 1 ケーブル (12 本×12.7φ ストランド) を示す

⑤	⑥	⑦	⑧
1000 800	1070 130 800	486 925 800	486 1228 800
⑨	⑩	⑪	⑫
770 130 800	820 130 800	870 130 463 580 1043	1000 650 638 1288

図 - 5 PCa 部材断面リスト

震壁付きラーメン構造とした。前方の部分は階高が徐々に小さくなるため必要な天井高さを確保するために通路部分を無梁版とする工夫も行った。外野席の下部は倉庫、管理動線などに利用される空間であり、内野側と同様に耐震壁付きラーメン構造とした。

3. PCa 架構の計画

3.1 部材断面

放射方向の PCa 架構と円周方向の PCa 架構は応力状態、形態とも異なっている。放射方向はコンコース上の半円弧アーチ梁、2 階後方席を支持する斜め柱、下層の床も負担する 7 ~ 10.5 m の片持ち梁などによって構成されており、鉛直荷重時の応力が支配的となる。架構の形態は曲げモーメントの大きさに対応させ、さらにデザイン的な要素も加味して変断面部材を多用している。柱、梁とも部材の幅は一般部で 800, EXP. J 部は 600 に統一し、厚み（放射方向軸組図で見付け面となる寸法）は、柱は 1 000 ~ 1 600mm, 梁は 900 ~ 1 833 mm とした。とくに大きな曲げモーメントを受ける片持ち梁固定端付近は部材のボリュームを大きなものとした。

桁行方向は 8 m 前後のスパンで構成される均等な架構が連続している。梁部材は基本形状を矩形断面（800 × 800 mm）としているが、放射方向の架構で傾斜している部材に取り合う部分では、応力のやり取りや PS 配線の納まりを考慮して台形状の梁を用いている。両方向とも梁の端部には柱と一体の受けあごを設け、施工時の安定性、完成時の安全性の向上を図った。

プレキャストコンクリートおよび目地モルタルの設計基準強度は 50 N/mm² を用い、鉛直荷重に対して曲げ引張応力度以下となるように断面、導入力を決定した。

3.2 分割方法と PS 導入の計画

部材分割方法は施工性とも大きな関連があり、設計時に複数のメーカーからヒヤリングを行い、それをもとに、長さ 12 m 以内、重さ 30 t 以内という条件を考慮して決定した。PCa 部材は工場においてプレテンションを与え、運搬、現場組立て後にポストテンションによって圧着する。柱は 32 φ の PC 鋼棒（導入力は一本あたり 500 kN）を、梁は曲線配置が可能な PC 鋼線（導入力は 1 ケーブルあたり 100 ~ 125 kN）を使用した。放射方向の部材のケーブル配置は一般部で 2 列、EXP. J 部は 1 列とした（図 - 6）。

桁方向の応力は地震力が支配的であり、スパン中央より接合部周辺に配線が多くなるように配置の工夫を行った。また、桁行方向はエキスパンションを設けているものの、構造体の長さは比較的大きく（最大で 136 m）、プレストレスによる変形量を抑え端部に生ずる 2 次応力を小さくする



写真 - 4 放射方向の PCa 架構

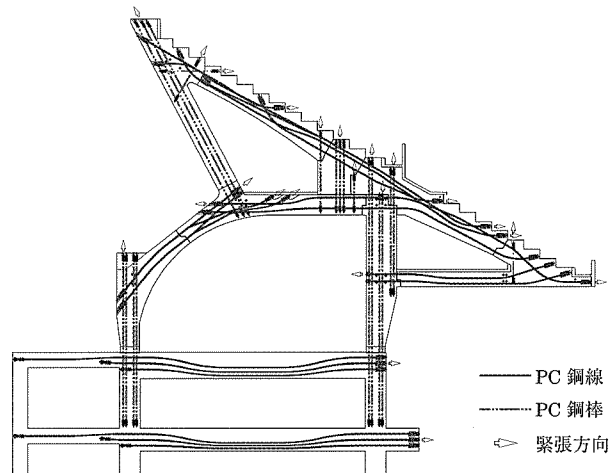


図 - 6 放射方向配線図

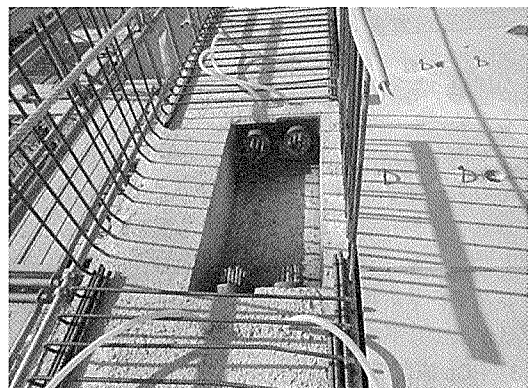


写真 - 5 桁行方向の PS 定着部

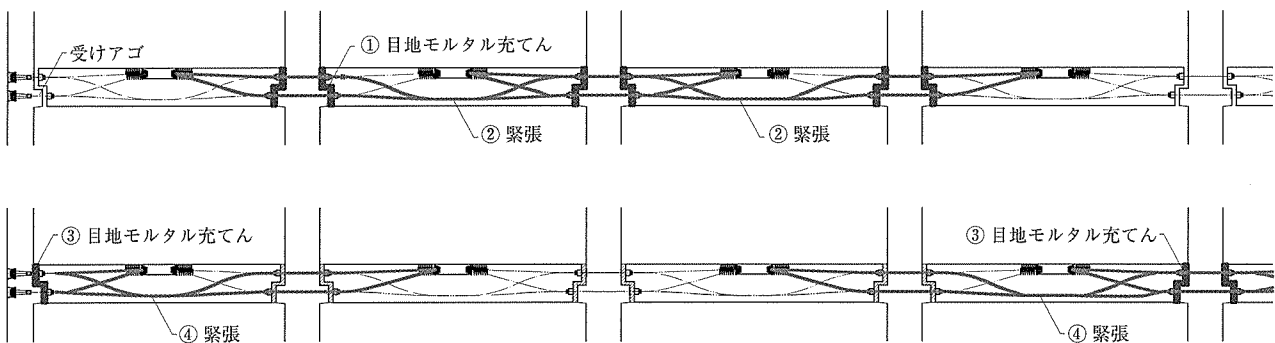


図 - 7 桁行方向の配線と緊張方法

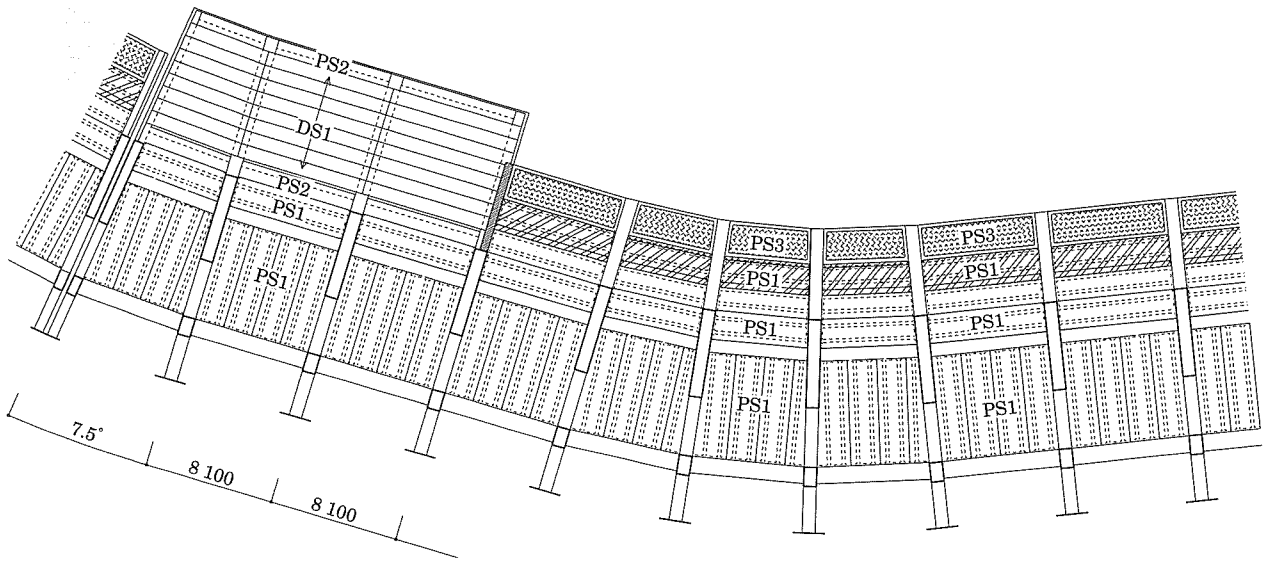


図 - 8 PCa 床版配置図



写真 - 6 段床部の PCa 床版

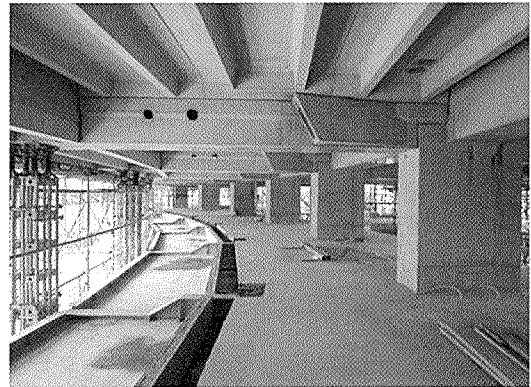


写真 - 7 平場部分の PCa 床版

ことが課題となった。端部に生ずる不静定 2 次応力を小さくするため、2～6 スパンごとにブロックを形成してそのブロック内で完結する PC 鋼線のみを緊張して変形を生じさせたのち、他ブロックとの境界部のモルタルを注入して他ブロックと繋がっている PC 鋼線を緊張することを施工条件として想定した。この方法によれば、全体を一体としてプレストレスの導入を行った場合に比べ、桁方向全体の変形量が減少し不静定力が減少する (図 - 7)。

3.3 PCa 床版の計画

上部観客席は平場部分、段床部分とも PCa 床版を多用した。平場部分は幅約 900 mm、リブせい 300 mm、床版の厚さ 45 mm の T 形スラブを用い、上部に厚さ 100 mm のトップコンクリートを配して床剛性を確保した。観客席は円弧状になっているため、PCa 床版の配置は同一形状のものが使用できるように配慮した。

コンコース上部は放射方向の配置し、その他のスパンでは円周方向に配置した (図 - 8)。

段床部分は幅約 900 mm、高さ 480 mm、厚さ 90～120 mm の L 形スラブを用いた。段床部分は PCa 床版のみで構成し、構造解析上は面内剛性が無いものと仮定した。



写真 - 8 鉄骨屋根

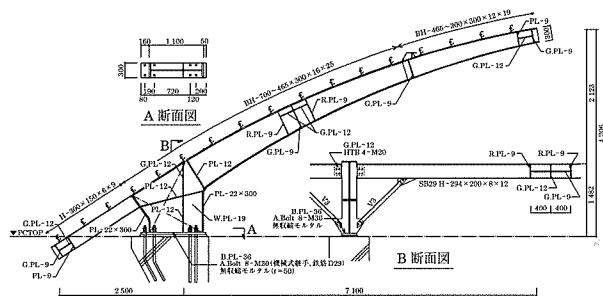


図 - 9 鉄骨屋根との取合い

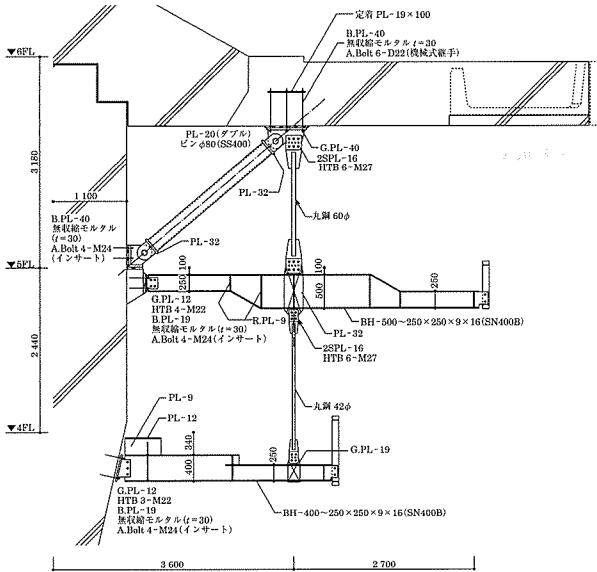


図 - 10 鉄骨吊床との取合い

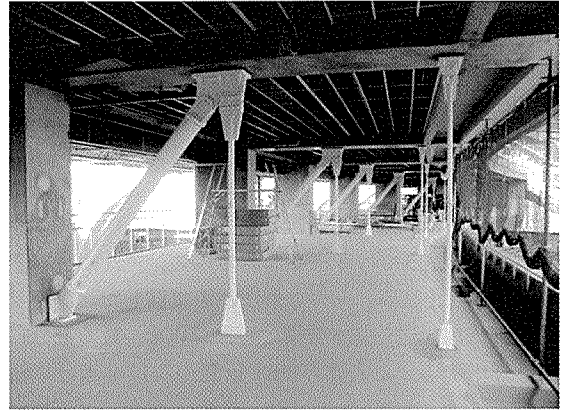


写真 - 9 鉄骨吊床

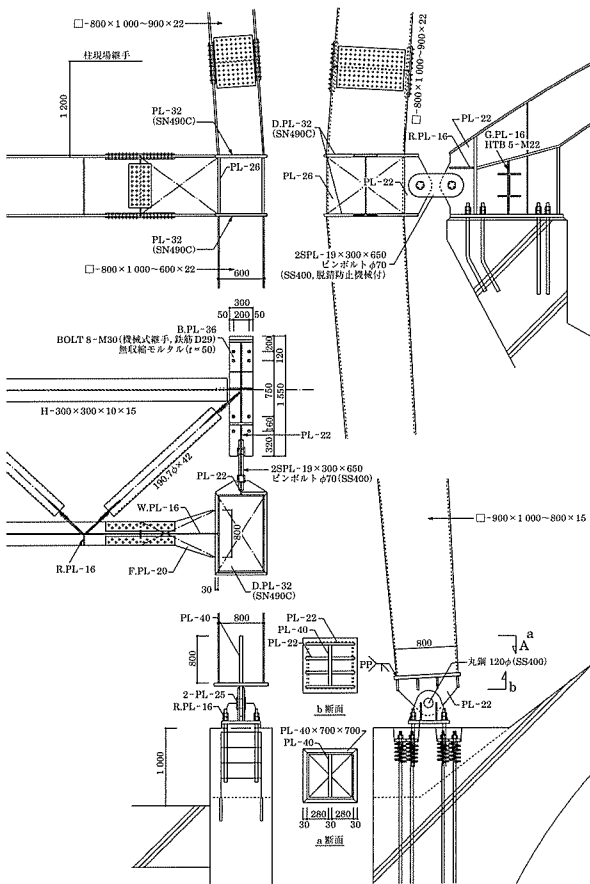


図 - 11 照明塔との取合い



写真 - 10 照明塔

れも PCa 部材の外側にアンカーを出さない納まりとしている。これらのアンカー配置は PC 内を縦横斜めに走る PC 鋼線をよけて設ける必要があった。

● 鉄骨屋根

最大 8 m の跳ね出しをもち、H 700 ~ 300 の組立て H 形鋼の片持ち梁構造である。したがって、柱脚部では曲げモーメントを負担するため剛性の大きい接合が必要とされた。PCa 段梁頂部において機械式継手を用いたアンカーにより緊結している (図 - 9, 写真 - 8)。

● 2 階席下部の吊床

上部の 7 m の PCa 片持ち梁から 1 層あるいは 2 層の鉄骨床を丸鋼ロッド 60 φ および 42 φ により吊り、デッキプレートの上部にコンクリートを打設している。基本の PCa 部分に比べて応力が大きくなるが、基本 PCa 架構に対応されるため鋼管 267.3 φ を用いた方杖を用いた。圧縮力は小口面のプレートを介して鉄骨と PCa 部材間の力の伝達を行っている (図 - 10, 写真 - 9)。

● 照明塔

照明塔を経済的に作るため PCa 架構と一体化する設計とした。その際に PCa 部に局所的な曲げを生じさせないように取合い部をピン接合としている。放射方向において PCa 架構に直接照明塔支柱が取り付けると、この部分で三角形のフレームが形成され剛性が局所的に大きくなり地震時に応

4. 鉄骨部材との取合い

この建物は PCa 造を基本として鉄骨を併用したことが大きな特徴である。それらの取合いディテールも設計上のポイントであった。鉄骨と PCa の取合いにおいては、引張力が生ずる部分には機械式継手を用いたアンカーボルトを、せん断力のみを伝達する箇所はインサートを使用し、いず

力集中を生じることが懸念された。接合部のディテールとしてピン支承を接続部材の両側に配置したダブルヒンジとすることで、応力集中を回避している(図-11, 写真-10)。桁行方向は照明塔鉄骨を PCa 梁の間に鉄骨水平ブレースを設けた。

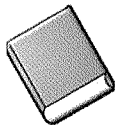
5. おわりに

本プロジェクトでは多様な形態のスタジアムに PCa 造を適用することを試み、一つの解決法を実践した。異型ラーメン構造の PCa 造を基本架構とし、変化をつける部分に鉄骨造を併用することにより PCa 構造の特徴を十分に活か

せ、適用範囲を広げたものと考えている。PS 造や PCa 造はここで述べたようにデザインと一体化した部材への適用や工期短縮といった長所以外にも、製品の精度が高く、耐久性に優れたコンクリートを構築することができ、構造物の耐久性を高めるという長所がある。

なお、設計および施工に際しては、広島市都市活性化局新球場担当の皆様、環境デザイン研究所ならびに五洋・増岡・鴻治 JV の関係者の皆様にご指導、ご協力をいただいた。

【2009年6月3日受付】



新刊図書案内

高強度コンクリートを用いた PC 構造物の設計施工規準

平成 20年 10月

定 価 6,000 円／送料 600 円

会員 特 価 5,000 円／送料 600 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会