

(仮称) 吹田市立スタジアム



奥出 久人
竹中工務店



野澤 裕和
同



大野 正人
同



木原 隆志
同

1 はじめに

日本にプロサッカーリーグ（Jリーグ）ができて22年、現在1部のJ1リーグに所属するチームは18チームに増えてきた。大阪府の北摂・北河内地域をホームタウンとするガンバ大阪は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つ獲得するなどしたJリーグを代表するチームの一つである。

本編で紹介するスタジアムは、そのガンバ大阪のホームスタジアムとなるもので、サポーター並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。設計に当たっては、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サッカー専用で客席がピッチに近接
- ②客席の全席を覆う屋根を設置
- ③社交場となるVIP施設の充実
- ④収容人数40,000人
- ⑤災害に対する高い安全性を確保

一方、地震が多発する我が国でのスタジアムや空間構造の被害例を調べると、屋根からの懸垂物の落下が多く報告されている。これらの構造物では、地震によって上下動が卓越することがあり、設計で想定した以上の上下動によって被害が生じたものと考えられる。構造体に損傷がなくても、懸垂物の落下は人命に大きく影響するため、本スタジアムの設計においては、屋根の上下動応答の低減を主目的として、屋根免震構造を採用するに至った。以下にその設計概要について報告する。

2 建築計画概要

本スタジアムの建築計画に当たっては、シンプル



図1 完成予想パース

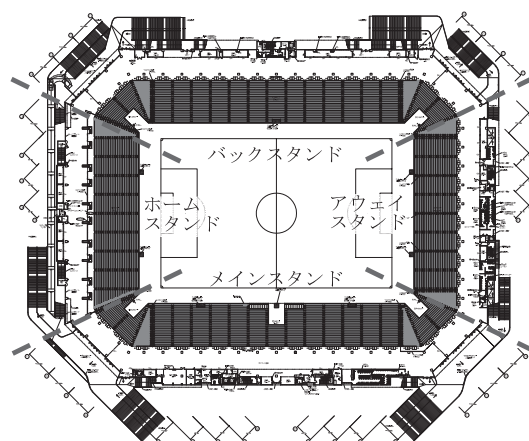


図2 3階平面図

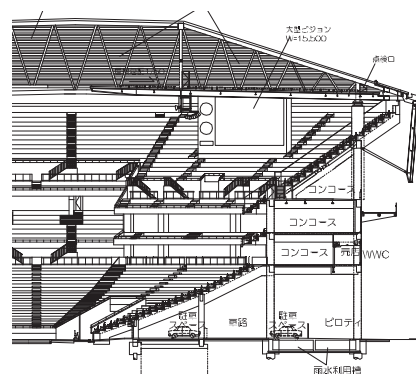


図3 断面図

でコンパクトな計画を目指した。図1に完成予想パースを、図2に3階の平面図を、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：24,717.59m²
 延 床 面 積：66,509.36m²
 最 高 高 さ：40.33m
 階 数：地上6階
 構 造 種 別：スタンド構造:鉄筋コンクリート造
 (一部PC造)
 屋根架構：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

3 構造計画概要

3.1 スタンド構造の構造概要

スタンドの主要構造には、多人数歩行やジャンプ応援による振動抑止、建物剛性の確保など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

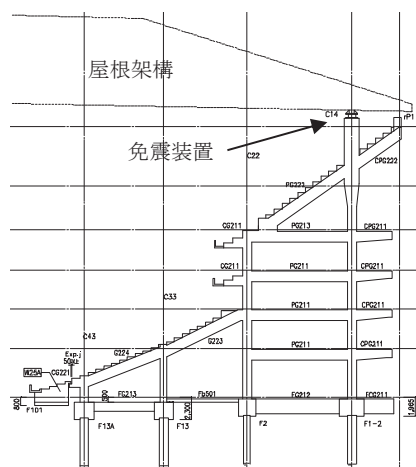


図4 軸組図



写真1 バックスタンドの施工状況

面の縮小やひび割れ防止、施工効率の向上を目的として、一部にプレストレストコンクリート梁を併用する計画とした。図4に軸組図を示す。

3.2 屋根架構の構造概要

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た。屋根架構モデルと免震装置の設置位置を図5に示す。

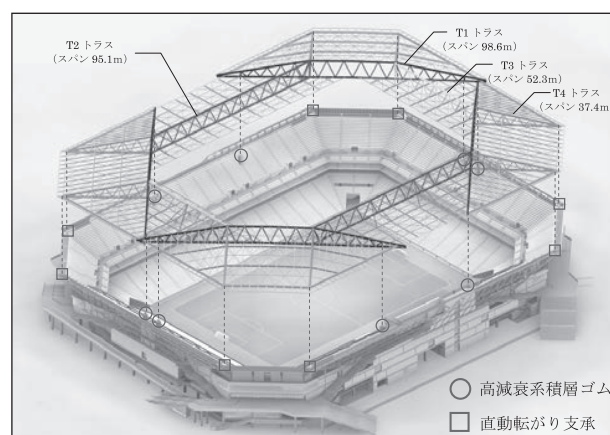


図5 屋根架構モデルと免震装置の設置位置

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。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）、トラスの交点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わせた。なお、トラスせいは最大9mである。

3.3 免震装置の概要

約23,000m²の屋根はスタンド最上部に設置された16基の免震装置によって支持させた。4本のT1トラ

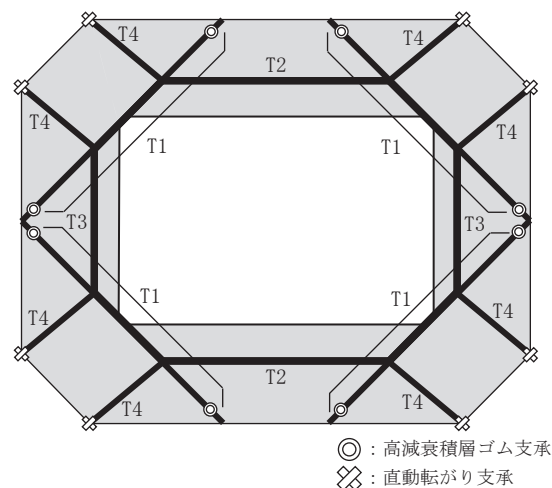


図6 免震装置の配置図



写真2 積層ゴムの設置状況



写真3 直動転がり支承の設置状況

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6に免震装置の配置図を、写真2、写真3に設置状況を示す。

4 屋根免震構造の応答解析結果

4.1 屋根免震構造の採用理由

屋根免震構造の採用に至った主な理由は以下の3点である。

- ①懸垂物の安全性向上
- ②応答加速度の低減
- ③温度応力の解放

本スタジアムには観客席全てを覆う屋根が設置されており、屋根からは照明設備やキャットウォークなど様々なものが吊られている。地震時にこれらの懸垂物を落下させないためにも、屋根の上下動応答を低減する必要があった。

また、本スタジアムの屋根はフラットであったため、トラスの支持点を拘束してしまうと、温度荷重によって大きなスラスト力が発生する。トラス受け柱を適度な断面寸法に抑えるためには、このスラスト力を何らかの方法で低減する必要もあった。

これらの課題を解決する手段が屋根構造の免震化であり、下記に示す大きな効果を確認できた。

4.2 地震応答解析モデル

本建物の地震応答解析は、2つのモデルを使って行った。一つは建物全体の振動性状を検証するためのモデル（スタンドモデル）で、屋根は1質点に置換している。もう一方は、6階柱より上部（免震装置含む）をモデル化した屋根架構フルモデルで、屋根構造材全てモデル化した。屋根鉄骨部材の設計は、スタンドモデルの応答解析から6階のフロアレスポンスを取り出し、その加速度波形を入力地震波として、屋根架構フルモデルで解析を行った。

4.3 固有値解析結果

屋根架構フルモデルにおいて、免震部材の剛性を水平変位400mm時（レベル2最大応答変位相当）の剛性として固有値解析を行った。並進モードとなる1次、2次の固有周期は3.25sec、ねじれモードとなる3次の固有周期は3.03secとなっている。

4.4 応答解析結果の概要

図7、図8にレベル2地震時の屋根免震を採用した場合と採用しなかった場合の最大応答加速度分布を示す。図7は長手方向（X方向）に地震動を入力し

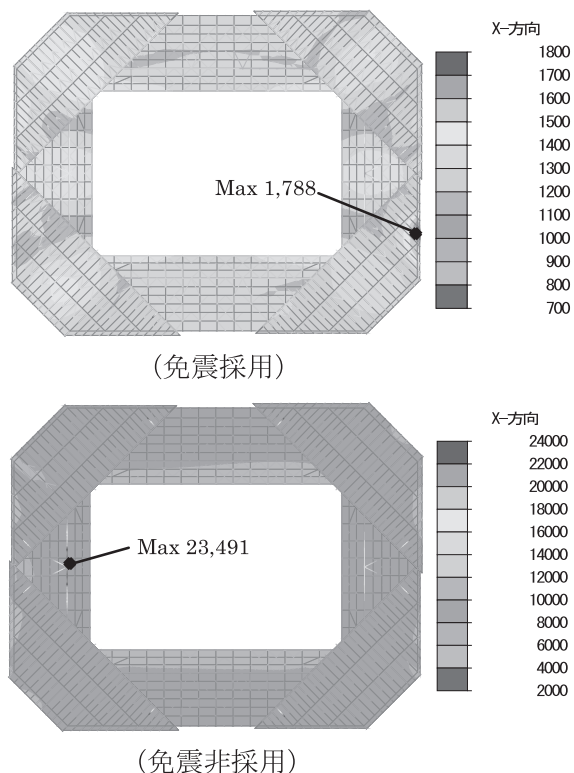
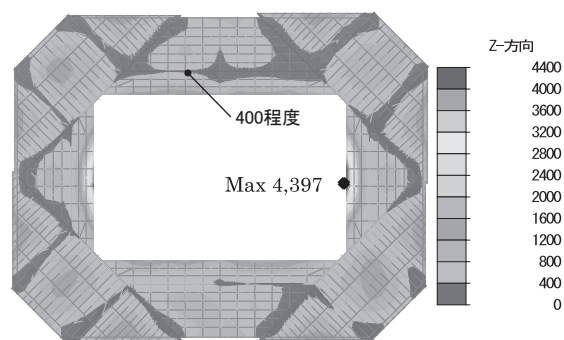
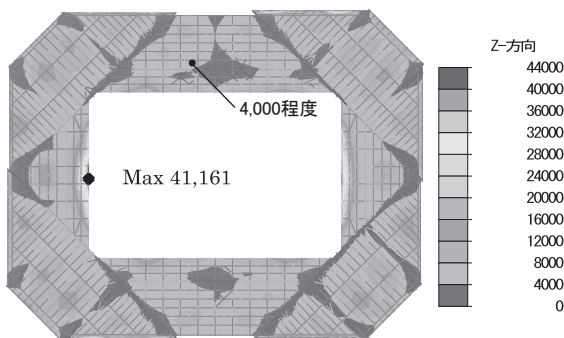


図7 最大応答加速度分布図 (mm/s²)
(X方向レベル2地震時X方向成分)



(免震採用)



(免震非採用)

図8 最大応答加速度分布図 (mm/s²)
(X方向レベル2地震時Z方向成分)

たときの水平方向 (X方向) 成分、図8は上下方向 (Z方向) 成分である。図中には最大値を示した箇所とその値を示している。図7の水平方向 (X方向) では、屋根免震を採用した場合は全般的に1,200mm/s²程度、採用しなかった場合は10,000mm/s²程度を示しており、屋根免震構造を採用することによって最大応答加速度を大幅に低減できている。

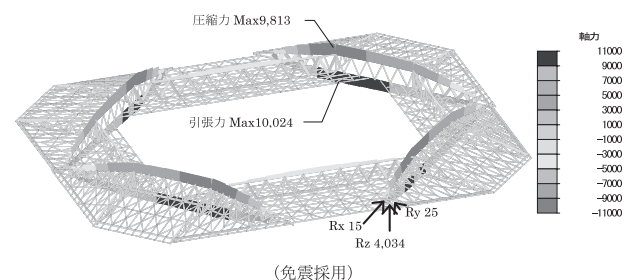
図8の上下方向 (Z方向) 成分においては、フィールド側の先端部分で最大値を示し、屋根免震構造を採用することにより、最大値が1/10程度に低減できている。また、吊り物の多いT2トラス付近でも屋根免震を採用することで、最大応答加速度は大きく低減されている。

4.5 免震化による温度応力の低減効果

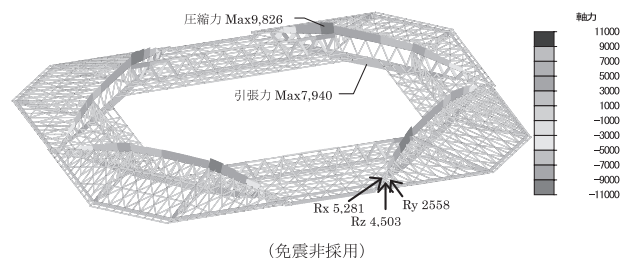
屋根面は、昼夜の温度変化、季節の温度変化を受けるため、温度応力による検討が必要となる。本屋根架構では、建設地の日最低月別平均気温と日最高月別平均気温の差の最大値 (30℃) から、温度荷重 $\pm 30^\circ\text{C}$ と設定した。ただし、トラスが屋根材より上に露出する部分については、直射日光の影響を考慮して $+60^\circ\text{C}$ と設定した。

図9に長期荷重+温度荷重 ($+30^\circ\text{C}$) のときの静的応力解析結果 (軸力図) を示す。上側の図は屋根免震構造を採用した場合、下側は屋根免震構造を採用

しなかった場合である。両方の場合において、T1トラスに生じている軸力はほぼ同値であるが、支点反力には大きな差が生じている。屋根免震構造を採用した場合には水平方向の支点反力はほぼ0であるが、屋根免震構造を採用しなかった場合は、長期荷重に温度荷重によるスラスト力が加わり、約6,000kNのスラスト力が発生している。トラスの軸力がほぼ同じため屋根架構への影響はほとんどないが、6,000kNのスラスト力はスタンドの柱断面等へ大きな影響を及ぼす。このため、屋根免震構造の採用によってスラスト力を低減することはスタンド構造の設計において大きなメリットとなっている。



(免震採用)



(免震非採用)

図9 静的応力解析結果 (軸力図) (kN)
(長期+温度荷重+30℃)

5 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、全観客席を覆う屋根架構に、スタジアム屋根としては初めて屋根免震構造を採用した。約23,000m²の屋根を16基の免震装置で支持し、地震時の応答加速度を水平方向、上下方向とも大きく低減することができ、免震化の効果が大きいことを確認した。また、露出する屋根鉄骨の温度変化によるスラスト力を免震装置で解放することによって、スタンド構造への影響をなくすることができ、建築計画の自由度を高めることができた。本スタジアムで採用した屋根免震構造が、免震構造の新たな展開につながることを期待したい。