

張弦梁構造による体育館大屋根の施工と施工時解析

Construction and Construction Analysis of Large Gymnasium Roof using the Beam String Structure

上原 健一*1 井上 宣良*1
Kenichi Uehara Noriyoshi Inoue
平林 竜次*2 杉山 佳孝*2
Ryuuji Hirabayashi Yoshitaka Sugiyama

要旨

いちき串木野市総合体育館建設工事の屋根架構を施工するにあたり、設計者、施工者を交え、①施工方法の選定、②施工フローの確定、③施工時解析、④精度管理方法、⑤その他の鉄骨の施工が完了するまでの問題を抽出し検討等を行った。

本報告では、まず施工計画時の検討内容を説明し、次に実際の施工方法および施工手順ごとの施工時屋根部材の解析結果を示す。また、施工結果として写真を交え報告し、最後に解析結果と実施工時の計測結果との比較について述べる。

キーワード：屋根架構 張弦梁 施工フロー 施工時解析

1. はじめに

いちき串木野市総合体育館は、平成25年10月に鹿児島県いちき串木野市内に建設され、体育館を含め、多目的グラウンド、テニスコートなどの総合運動公園内に位置する。

当建物は、いちき串木野市の長年の構想に基づいて、市の象徴である「マグロ」をモチーフに「流線型」をテーマとして設計された。

本報告では、屋根架構についての施工計画、施工方法および施工時解析の報告を行う。また、解析と実施工時の計測結果との比較の報告を行う。

2. 建築概要

工 事 名 称：いちき串木野市総合体育館
所 在 地：鹿児島県いちき串木野市生福地内
工 期：平成24年10月～平成25年10月
建 築 主：いちき串木野市
設 計・監 理：株式会社 日本設計 九州支社
施 工：鴻池・渡辺特定建設工事共同企業体
用 途：体育館
建 築 面 積：6,567.26 m²
延 床 面 積：6,854.24 m²
構 造：1,2階部 鉄骨鉄筋コンクリート造
屋根架構部 鉄骨造

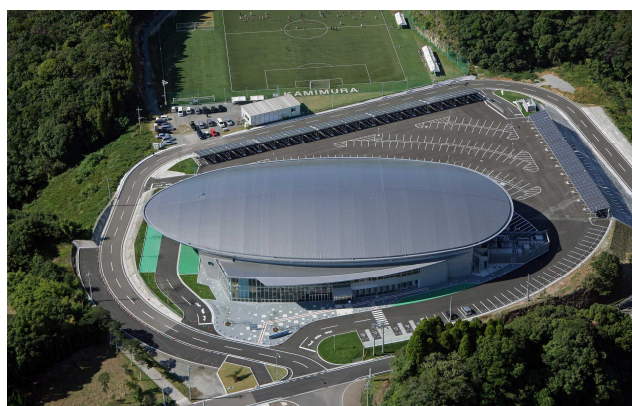


写真1 航空写真（北東側より）



写真2 外観（南東面）

*1 南九州支店 建築部 *2 新日鉄住金エンジニアリング(株)

3. 構造概要

大屋根は長辺約100m、短辺約50mの楕円球形をしており、地上 2FL (1FL+5400) からバックステイの柱、地上 3FL (1FL+9400) から方杖の斜柱が立ち上がり、H-500×300×12×22の曲げ材を上弦材・ストランドロープ 2-22.4φを下弦材とした張弦梁を11列有した構造となっている。建物の最大高さはGL+18.55mである。南北部は大庇としてH鋼の平面トラスでそれぞれ約20mおよび13m跳ね出した片持ち梁構造となっている(図1, 2, 3)。

下部構造はSRC造(図2, 3)で、屋根構造と下部構造を分離したモデルで構造計算を行っており、屋根構造は下部構造の上部にのる塔屋抜いとして1.0ZG(Z:地震地域係数=0.8, G:自重)が作用するとして短期許容応力度設計を行っている。

設計図書での張弦梁ケーブルの張力値は、

- ① 張弦梁部分のみの架構でスラストをキャンセルする張力を導入(地組施工を考慮)
- ② 建物完成後に風荷重による吹上で張力損失が発生しないよう、追加で1列あたり60[kN]を導入が構造性能として指定されている。

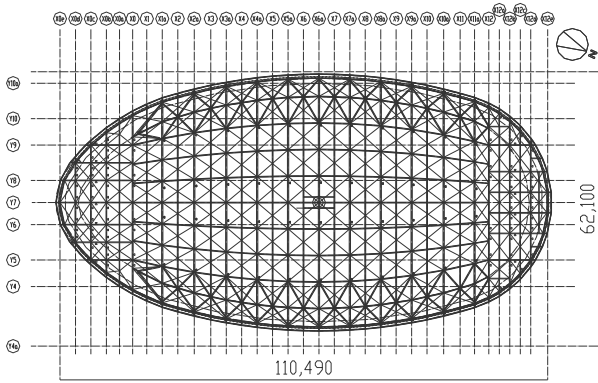


図1 屋根伏図

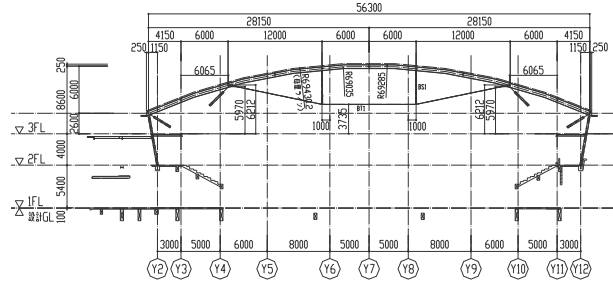


図2 X6a 通り軸組図

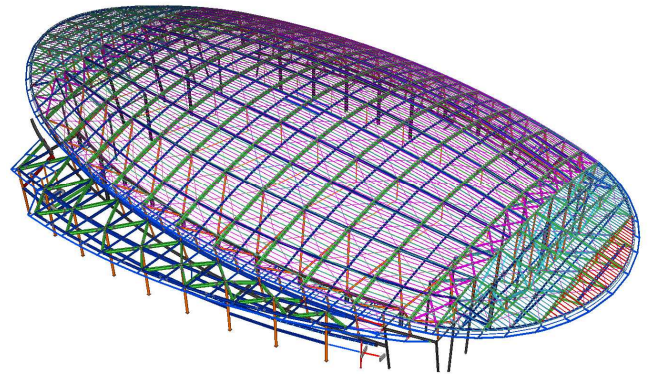


図3 鉄骨 3D モデル

4. 大屋根鉄骨施工計画

4.1 施工方法の選定

構造計算時に指定された張弦梁ケーブルへの張力を適切に管理するために、自旋式の張弦梁を地組して建方を行う計画とした。張力導入量については、地組の段階でケーブルに風荷重の吹上による張力損失分をキャンセルする張力を導入する方法も考えられるが、張弦梁のスパン方向の変形が大きくなり施工に支障が生じると判断したため、地組時点では鉄骨自重によるスラストをキャンセルする張力(以下、地組張力)を導入し、架構完成後に図4のように追加で張力を導入する計画とした。

建方は先行して斜柱部先端を仮設支保工で受け(図5)、本締めが完了してから地組張弦梁を建方し、並行して南北トラス(X0e~X0 通りおよびX12~X12e 通り)も先端を仮設支保工で受けて建方を実施する計画とした。

張弦梁部は天井仕上げも無く建方後の作業量が少ないため、足場を設けずに高所作業車で作業するようにし、仮設の低減を図っている(図5)。

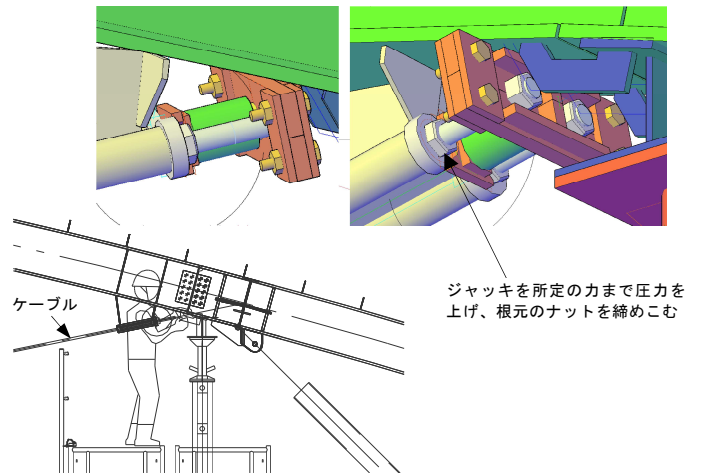


図4 追加張力導入方法

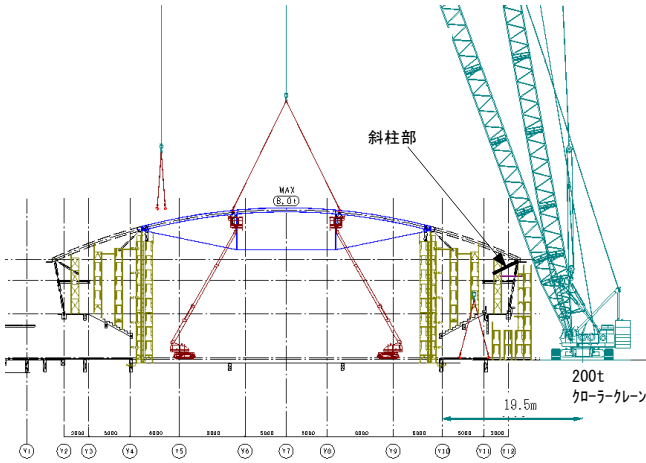


図5 建方計画図

4.2 施工フロー

地組～建方～本締め～反力解放・追加張力導入までの施工フローを図6に示す。

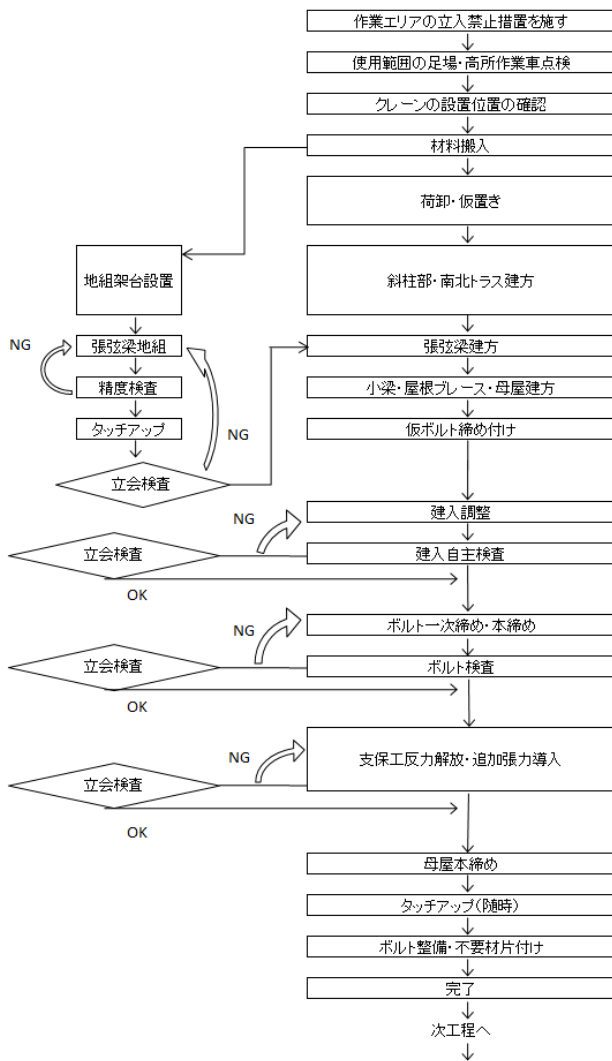


図6 施工フロー

4.3 施工時解析

ロッドやケーブルなどを主要構造部材として使用したテンション構造は

- ・張力導入の方法
- ・張力導入のタイミング

により完成時の応力状態が変わる場合がある。端的な例としては、図7のように張弦梁部分を地組するかしないかによってアーチ効果によるスラストの発生量が変化する。

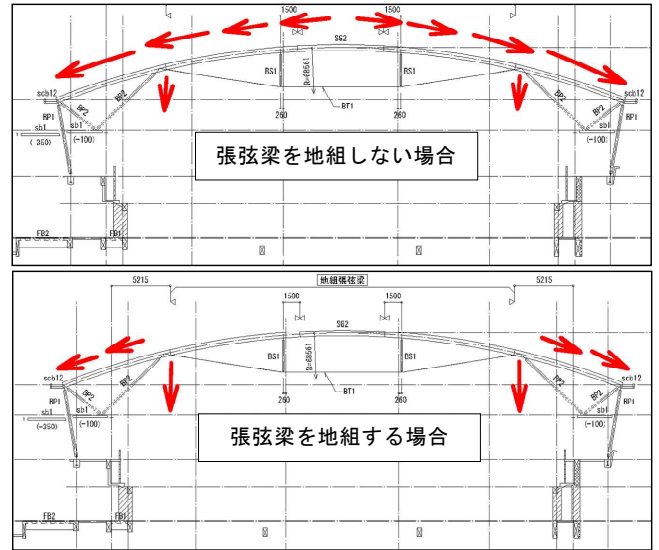


図7 施工方法の違いによる完成時の応力の違い

このような差異が構造的な問題や施工時の不測事態の発生に繋がらないよう、施工時のステップ毎で応力・変形を検討する施工時解析を実施した。

検討したステップを図8～13に示す。施工時解析では、完成時のケーブル張力が設計値とほぼ同じにすることを目標とし、施工時解析でその確認を行った。また、他の部材で設計値との差異が生じたが問題となるレベルではないことを確認した(図14)。また、各施工ステップでの応力状態と変位を把握し、施工途中の管理目標値を設定した。

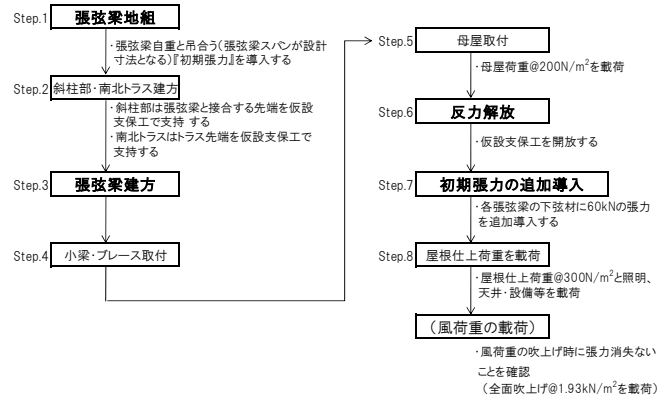


図8 施工時解析フローチャート

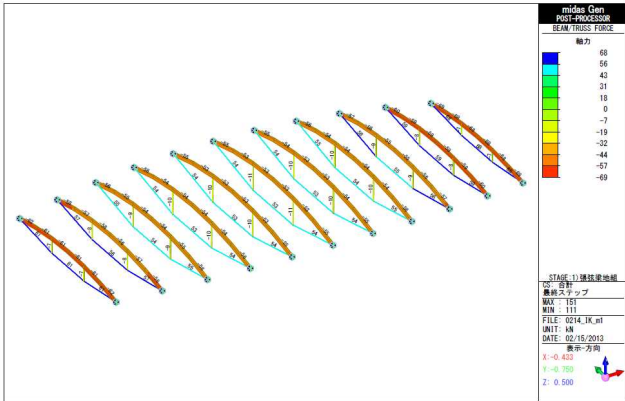


図9 Step1 張弦梁地組時の軸力

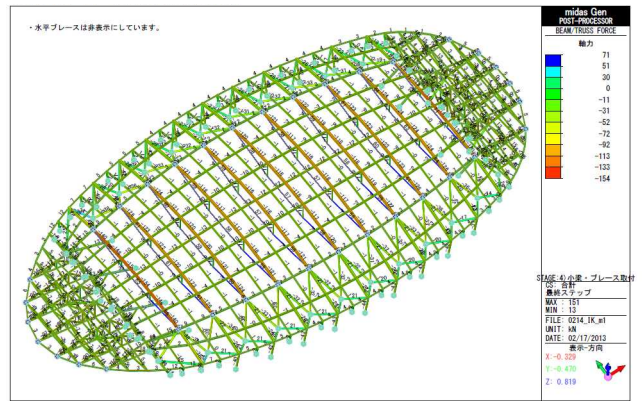


図12 Step4 小梁・ブレース取付時の軸力

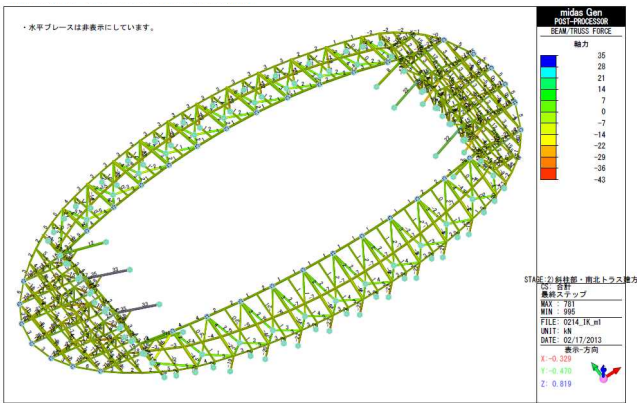


図10 Step2 斜柱部・南北トラス建方時の軸力

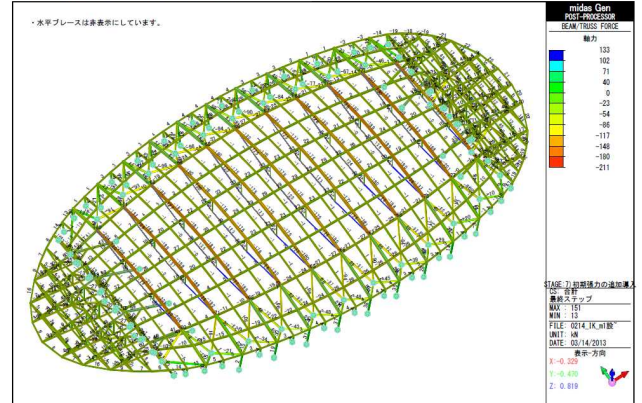


図13 Step7 初期張力の追加導入時の軸力

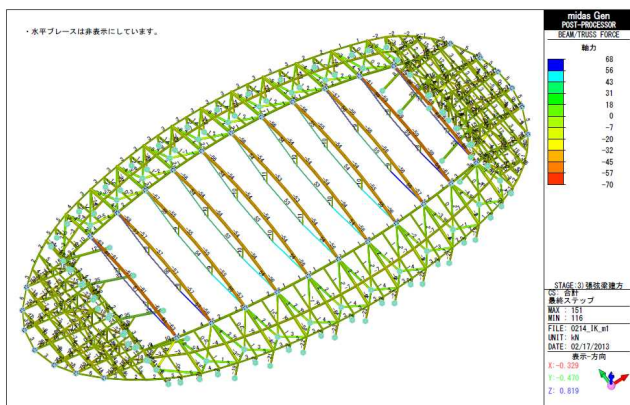


図11 Step3 張弦梁建方時の軸力

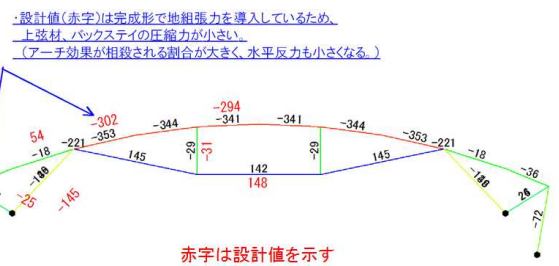


図14 Step8 完成時の軸力比較

4.4 精度管理方法

鉄骨自体の精度は、建物形状が3次元的に複雑に変化するため3次元測量機を用いて座標管理を行った。張弦梁ケーブル軸力は、地組時はケーブル端部を締め込み架台上の両端2点で支えて中央が浮く状態をスラストがキャンセルされた状態とみなした。架構完成後の追加張力については油圧ジャッキの圧力計の値で管理し、施工時解析結果の張力値を下限として+30[kN]まで(おおよそ150[kN])になるように調整した。

5. 大屋根鉄骨施工結果

5.1 張弦梁地組

張弦梁は最大約 35m のスパンで、上弦材は 3 分割されており写真のように山留材の架台上で組み立てした(写真 3)。上弦材の Joint 部分を本締め・溶接した後、下弦材のケーブルを取り付けて端部の金具を締め込み張力(地組張力)を導入した(写真 4)。



写真 3 張弦梁地組状況



写真 4 ケーブル端部金具締め込み状況

5.2 斜柱部建方

斜柱部は大梁を仮設支保工に預けてから方杖の斜柱を建方した(写真 5)。斜柱の脚部は原設計では下部 SRC 柱の柱頭に直接ガセットプレートが取り付けられる形状となっていたが、SRC 柱の施工精度に対して斜柱のピン取り合いは高い精度が要求されるため、写真 6 のように SRC 柱頭にボルトを仕込み、コンクリート打設後に実測してベースプレートの孔位置を合わせ、引き抜き力に対してはボルトが、水平力に対しては SRC 柱頭とベースプレート小口の隅肉溶接で処理をするようにした(写真 6)。



写真 5 斜柱部建方状況



写真 6 斜柱脚部納まり

5.3 張弦梁建方

地組した張弦梁は 200t クローラークレーンで建方を実施した。(写真 7, 8)



写真 7 張弦梁建方状況



写真8 張弦梁建方状況

5.4 反力解放・追加張力導入

架構の本締め・溶接が完了した後、斜柱部の先端を支えている仮設支保工を解放した(写真9)。なお、施工時解析で得られた支保工反力の値から、特別な工具を用いなくて反力解放が実施できることを確認している。



写真9 支保工反力解放状況

反力解放後、写真10のように油圧ジャッキをセットし、所定の張力まで追加張力を導入した。



写真10 追加張力導入状況

6. 大屋根鉄骨の計測結果

支保工反力解放時と追加張力導入時の変位および張力値の施工時解析と実測の比較を表1に示す。(計測位置は張弦梁中央部)

反力解放時は解析ではほぼ変位がないのに対し、実測ではやや浮き上がっているものも見受けられる。この原因としては、地組時に導入していた張力が予定よりも大きかった可能性などが考えられる。追加張力導入時の変位は概ね解析結果通りとなっており、全体としては張力が実測と解析ので30%以内の値となっており、適正に施工できていることが確認できた。

表1 支保工反力解放・追加張力導入時の変位と張力

		変位[mm]※		張力 [kN]
		支保工反力 解放時	追加張力 導入時	
X1a	実測	1	7	150
	解析	1	6	129
X2a	実測	1	14	150
	解析	-1	13	127
X3a	実測	1	18	147
	解析	-1	17	125
X4a	実測	1	22	147
	解析	-1	18	123
X5a	実測	7	18	147
	解析	-1	20	123
X6a	実測	9	24	147
	解析	0	19	123
X7a	実測	8	24	147
	解析	0	19	123
X8a	実測	2	27	147
	解析	-1	18	124
X9a	実測	6	19	150
	解析	-1	16	126
X10a	実測	2	12	150
	解析	0	13	129
X11a	実測	-1	5	155
	解析	0	6	133

※変位
+ : 上向き
- : 下向き

7. まとめ

本工事の屋根架構の施工にあたり、事前検討をするなかで、設計者と施工者での共通の理解ができ、問題点の早期解決を行うことができた。また施工時解析を行うことで、施工中の屋根架構の応力状態や挙動の変化を把握し、精度管理基準や計測基準を設定することができた。さらに計測結果との比較を行うことで適正な施工が行われていたことが確認できた。

謝辞

今回、いちき串木野市総合体育館建設工事を施工するにあたって、いちき串木野市役所担当者様、(株)日本設計 今林光秀主管、森園知弘主任技師、新日鉄住金エン지니어リング(株) 田畑英樹マネージャー、ほか関係各位の皆様にご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。