

9. 大径間屋根のリフトアップ時の解析と計測

井上 重信
福本 昇
飛田 喜則

要 旨

長辺方向39.6m×短辺方向31.9mの大屋根（総重量580 t）のリフトアップ工事を行った。今回行ったリフトアップ工法の特徴は、大屋根を支持する四隅の柱をリフトアップ時の支柱に利用したことと、この柱の外側にジャッキを組み込んだ補強フレームを設けて柱の変位制御を行ったことなどである。リフトアップ工事を行う中で屋根トラスおよび柱の構造安全性の確認を行うために、部材応力と変位の計測を行った結果、リフトアップ時に生じた柱の傾斜、また部材応力も計画時の解析値と良く一致していることが確認できた。

キーワード

リフトアップ／ステップロッド／ジャッキ

目 次

1. はじめに
2. 建物および構造概要
3. リフトアップ工法の概要
4. 大屋根のリフトアップ時の解析
5. 計測および結果
6. ま と め

9. ANALYSES AND MEASUREMENTS DURING LIFT-UP OF HUGE-SPAN ROOF-CONSTRUCTION

Shigenobu Inoue
Noboru Fukumoto
Yoshinori Tobita

Abstract

A large roof (long span : 39.6m, short span : 31.9m, total weight : 580t) was lifted into position. The lift-up method used for this construction work is characterized by the use of four corner posts supporting the large roof as supports during lift-up, and the control of column displacement by installing a reinforcement frame having built-in jacks, outside the supports. As a result of measurement of stress working on the members and displacement made to verify the structural safety of roof truss and columns during lift-up, it was found that the inclination caused in the columns and the member stress during lift-up were in full agreement with analytical values defined in the plan.

1. はじめに

本建物の大屋根は四隅に配置された4本の柱で支える構造となっている。そのために、柱、トラス部材とも大きな断面形状を持つものとなっており、従来工法で施工する場合、大型の揚重機が数台必要となるだけでなく、1階床上に大型クレーンを乗り入れるための床の補強工事が必要になるなど、施工面、安全面、そして経済性の面で多くの課題を有していた。これらの課題の解決を図るため、大屋根の鉄骨を地上で地組みし、屋根仕上げ工事、設備工事を完了した後、大屋根をリフトアップする工法を採用した。ここでは、リフトアップの工事の概要と施工時の構造体の解析および作業中の部材の計測結果について報告する。



写真-1 リフトアップ完了時

2. 建物および構造概要

2.1 建物概要

本建物は、地域住民のための体育施設として計画されたものであり、また震災時の避難施設としての利用も予定されていたため、耐震強度の割り増しが考慮された設計となっている。建物内部の最上階には約37m×約34mのメインアリーナ、2階には約24m×約17mのサブアリーナが配置されている。建物概要を表-2.1に示す。

表-2.1 建物概要

・名称	(仮称) 東成スポーツセンター建設工事
・建築主	大阪市
・設計・監理	大阪都市整備局営繕部 ㈱日本設計
・建築場所	大阪市東成区
・用途	スポーツ施設
・敷地面積	2,688.97㎡
・建築面積	1,846.18㎡
・延床面積	5,693.86㎡
・構造	SRC造一部鉄骨造
・階数	地下1階 地上4階 塔屋1階
・建物高さ	27.5m
・工事期間	平成8年9月20日～平成10年3月31日

2.2 構造概要

屋根伏図、A通軸組図および3通軸組図を図-2.1～2.3に示す。なお、図中には、リフトアップするために設けた補強フレームを併記している。

主架構は、四隅に設けられた十字型の鉄骨柱（本工事ではSRC造の柱となる。）と最上階のトラス梁、2階～3階の1層分のトラス梁で構成されており、大きなラーメン構造を形成している。

大屋根は長辺方向39.6mのT1トラス（トラス成2.8m）、短辺方向31.9mのT2トラス（トラス成6.5m）およびT2トラスに支持されたT3トラス（トラス成2.0m）の平行弦トラスで構成されており、剛性の高いフレームである。また、屋根荷重の大部分を負担するT2トラスには、T3トラスの応力による面外変位とT2トラスが負担する風荷重に抵抗するためにT2トラスの上、下弦材の位置に水平トラスが設けられている。

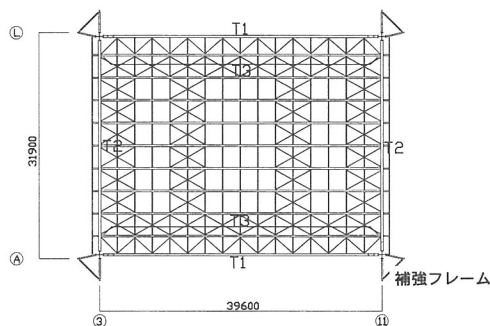


図-2.1 屋根状図

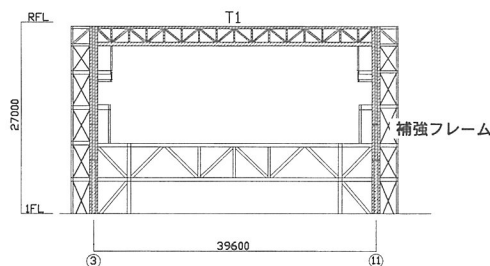


図-2.2 A通軸組図

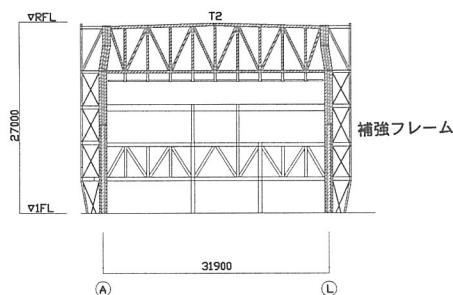


図-2.3 3通軸組図

3. リフトアップ工法の概要

本建物は施工段階においてリフトアップ工法を採用することとしたため、以下に記述する項目について重点的に検討を行った。

3.1 リフトアップの計画の要点

a) 四隅の柱の補強

リフトアップ時には四隅の柱は鉄骨のみであること、かつ4本の柱がすべて最上部で内側にセットバックしていることから柱単独では屋根荷重を受けた時に短辺方向内側に柱が大きく傾斜するため、トラス梁を柱に接合することが不可能であると予測された。従って、リフトアップ時に柱頂部が内側へ変位しないように、それぞれの柱の外側に補強フレームを設けて支柱を構成し柱の剛性を高めることにした。

長辺方向にも、柱頂部の変位を小さくするためと支柱全体のねじれに対する剛性を上げるために補強フレームを設けた。

b) リフトアップ時の柱頂部の変位制御

リフトアップ時に柱と大屋根接合部との間隔を確保するため、補強フレームの柱に小型のジャッキ（バックテンションジャッキ）を設けて、短辺方向柱の柱頂部に生じる変位をあらかじめ制御しておくことにした。図-3.1にバックテンションジャッキ設置図を示す。

c) 長辺方向T1トラス接合部間隔の調整

柱頂部の長辺方向内側への変位は小さいと予測されたため、T1トラスは調整用の鉄骨短梁を挿入して接合することにした。

d) 原設計部材の設計変更

リフトアップを行うためにトラスの部材および形状に変更が生じないように、T2トラス下に揚重用の仮設受け材を設けた。またT2トラスと受け材の接合はピンとローラー支承とし、力学的にも明快な単純支持とした。図-3.1に仮設受け材設置図を示す。

e) T1,T2,T3のむくり

トラス材は組立時の中央のたわみを考慮してT1,T3トラスにむくりを設けることにした。T2のメイントラスは剛性が大きくトラス中央でのたわみも少なく、また水勾配が40cmとられていることから、むくりは設けなかった。

f) T2トラスの面外変位

T2トラスはT3トラスのたわみの影響によって面外にはらむことが予測された。このはらみを予防するた

めT2トラスをワイヤーで緊張することにした。

g) 柱の柱頂部のジャッキ配置

図-3.2に柱頂部のジャッキ配置図を、図-3.3にジャッキ断面図を示す。四隅の柱頂部にT2トラス方向に揚重用の150tジャッキ（ステップロッド径120mm）2台を設置した。また、リフトアップ中にT1トラスとT2トラスに高低差が生じないようにT1トラス揚重用として50tジャッキ（ステップロッド径70mm）各1台を設置した。

h) リフトアップ総重量

リフトアップする大屋根の総重量は鉄骨部材と屋根および天井仕上げ材料、電気設備と空調設備を含み約580tであった。

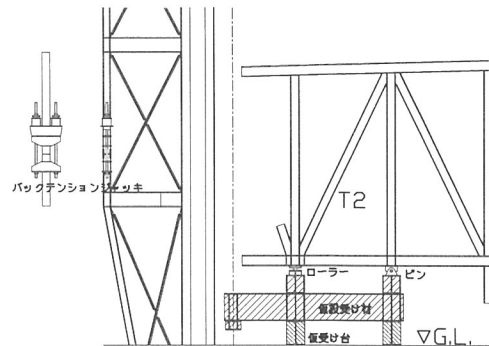


図-3.1 バックテンションジャッキ
仮設受材設置図

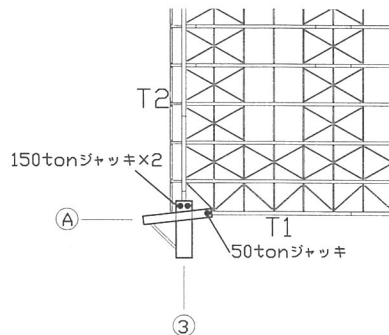


図-3.2 柱頂部ジャッキ配置図

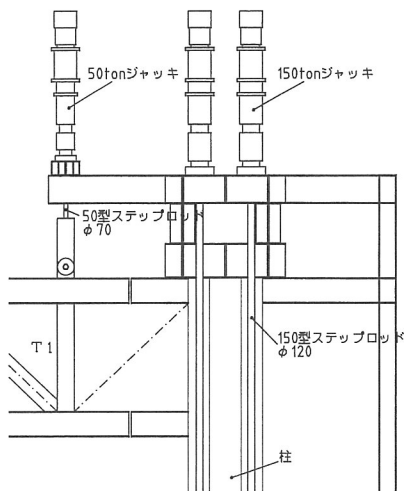


図-3.3 柱頂部ジャッキ断面図

3.2 リフトアップの施工順序

1階床上で大屋根の地組を行った後、全揚程17.2mを4回ステップロッドの解体を行いながらリフトアップを行った。リフトアップは補強フレームに組み込んだジャッキであらかじめ柱の柱頂部に強制変位を与えて外側に傾斜させておき、大屋根をリフトアップした時に、その荷重で柱が元の位置に戻るようにした。以下①～⑥にその施工順序を示す。

- ① 1階床コンクリートを打設する。
- ② 建物四隅の柱の鉄骨および補強柱を最上階まで建てる。
- ③ 柱鉄骨頂部にリフトアップ用のジャッキを、補強柱の中間2階部にバックテンションジャッキを取り付ける。
- ④ 屋根鉄骨トラス（T1、T2、T3、）を1階床上で組み立てる。屋根仕上げ工事、設備工事を完了する。
- ⑤ バックテンションジャッキで柱に強制変位を与える。地切り後各部の計測を行いながら大屋根をリフトアップする。
- ⑥ 所定の高さに到達すると大屋根トラスと柱を接合する。

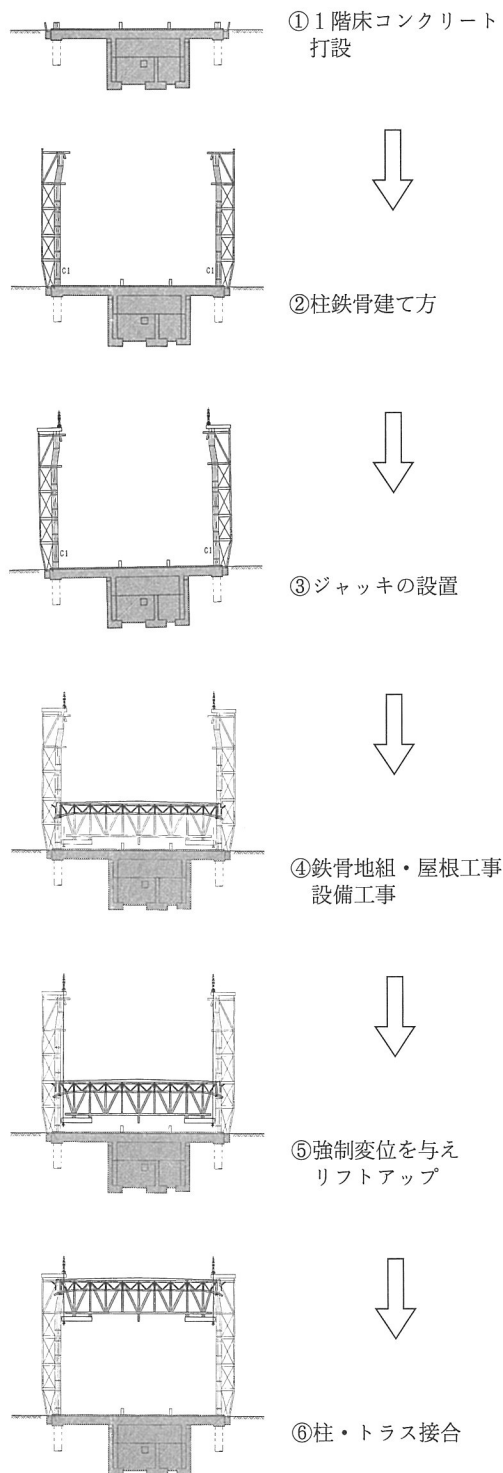


図-3.4 リフトアップ施工順序

4. 大屋根のリフトアップ時の解析

4.1 解析方法

解析する構造体の架構は、四隅の柱と補強フレームとで構成された支柱、および大屋根部で形成されている。リフトアップを正確に安全に行うため、立体骨組モデルを用いてリフトアップ時の解析を行い、その安全性を確認した。解析は有限要素法解析プログラムNas tranを用いて行った。

4.1 解析モデル

解析のモデル化は、柱部材を板要素、トラス部材を梁要素とし、対象物がほぼ中心線で対称であることから全体の1/4モデルとした。

図-4.1に解析に用いた立体骨組モデル図を示す。

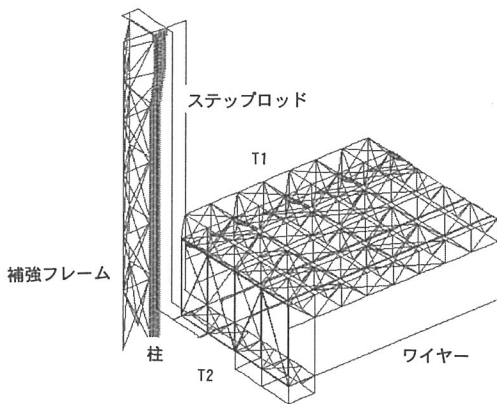


図-4.1 解析モデル

4.3 解析結果

a) リフトアップ時の支柱の応力と柱頂部の変位

図-4.2にリフトアップ時（柱頂部の変位制御がない場合）の支柱の応力状態を示す。リフトアップ時の四隅の柱とブレースを組み込んだ補強フレームの応力を求めて部材断面の検討を行なった。その結果、部材断面を変更する必要性はなかった。また四隅の柱については、柱単体の曲げ座屈に対する検討を行った。

図-4.3にリフトアップ時（柱頂部の変位制御がない場合）の短辺方向柱の柱頂部の変位（ブレースを組み込んだ場合）を示す。

補強フレームにブレース設けないで、リフトアップすると柱頂部は短辺方向内側に傾斜し約4cmの変位が生じた。

またブレースを設けた場合の変位は約2.8cmとなった。この結果柱頂部の変位を極力少なくするために、ブレースを組み込んだ補強フレームを短辺方向、長辺方向の両方向に設けて、支柱の剛性を高めた。

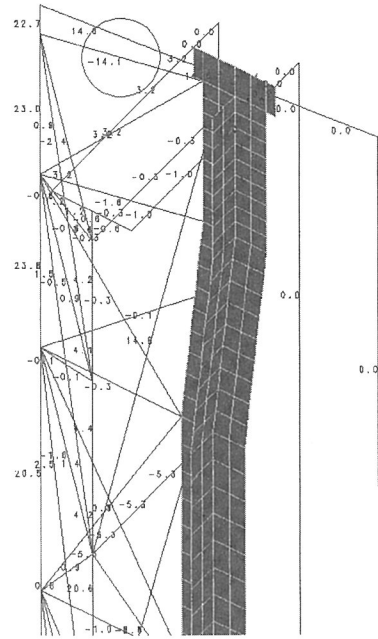


図-4.2 リフトアップ時の支柱の応力（軸力分布ton）

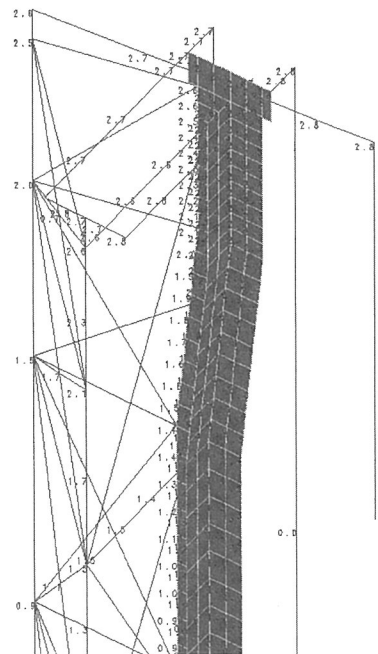


図-4.3 リフトアップ時の短辺方向柱頂部の変位（単位cm）

b) 柱の柱頂部の変位制御

図-4.4にジャッキの引張力と柱の柱頂部の変位関係を示す。

リフトアップ時に支柱内側への変位が約2.8cmであることから、リフトアップ前に支柱をそれとほぼ同量外側へ傾斜させることにした。支柱にはバックテンションジャッキで30tの張力を導入した。支柱に張力を導入した状態でリフトアップを行えば、支柱の変位はほぼ0となった。

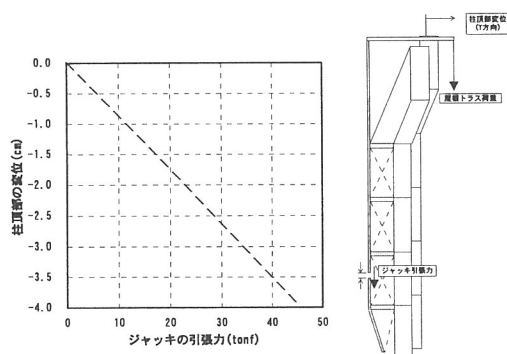


図-4.4 ジャッキ引張力と柱頂部の変位の関係

c) 揚重用の仮設受け材

T2トラス下弦材下部に設けた揚重用の仮設受け材は片持ち梁形式になるため、ステップロッドの取り付け先端部の変位が0.5cm以下になるように部材断面を決定した。また接合部のピンとローラー支承に生じる応力は、解析ではピン支承には引張力約70.0tローラー支承には圧縮力約210tが生じた。ローラー支承、ピン支承には応力が集中するため、支承板の支圧強度の確認を行った。

d) T1、T2、T3トラスの応力と変位

図-4.5にT1、T3トラス、図-4.6にT2トラスの応力状態を示す。特に注目したのはT2トラス下弦材に設けた仮設受け材支承位置のトラス束材（引張力約70t）と斜材（圧縮力約154t）に生じる応力であった。解析による検討の結果、各トラスの部材に断面変更の必要がないことを確認した。

T2トラスの下弦材には、水平トラスが設けられているが、リフトアップ時に柱部に接合できないこともあり、T3トラスの影響で下弦材の中央位置で面外方

向に約2.0cmの変位を生じることが分かった。従って、このT2トラス下弦材位置の変位をとめるため、両側にあるT2トラス間にワイヤー（5ヶ所×2）を張り1ヶ所約10.0tの張力で緊張した。その結果T2トラス上弦材位置でT3トラス側に0.3cm、下弦材位置で外側に0.1cmの変位が生じた。図-4.7にT2トラスの面外変位を示す。

T1、T3トラス中央位置のたわみは解析の結果それぞれ約4.0cm、約4.5cmであった。この変位は鉄骨を制作する時点でむくりを8.0cm設けることにした。T2トラスは中央位置でたわみが0.78cmとなったが、屋根仕上り等に影響を与えないと判断しむくりを設けなかった。図-4.8にT1、T2、T3トラスのトラス中央位置のたわみを示す。

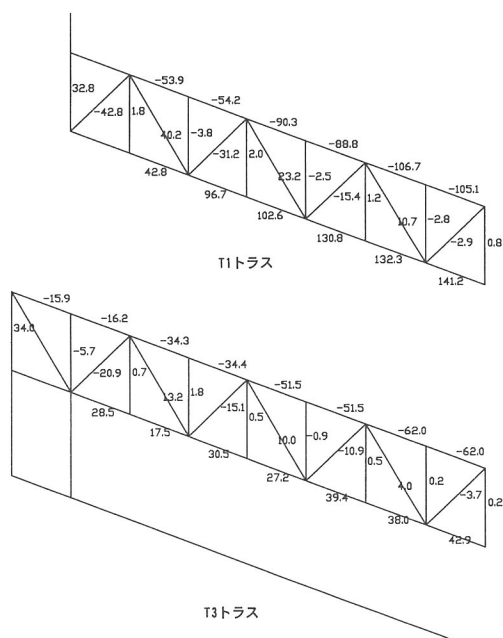


図-4.5 T1、T3トラス応力（軸力分布ton）

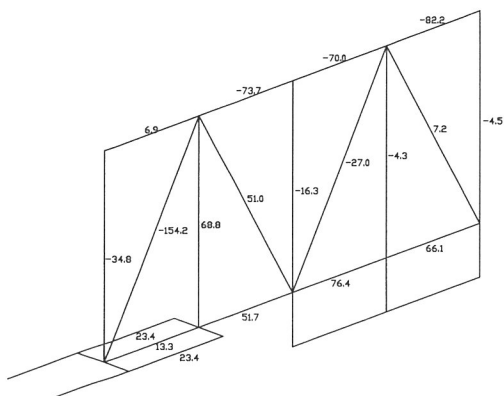


図-4.6 T2トラス応力（軸力分布ton）

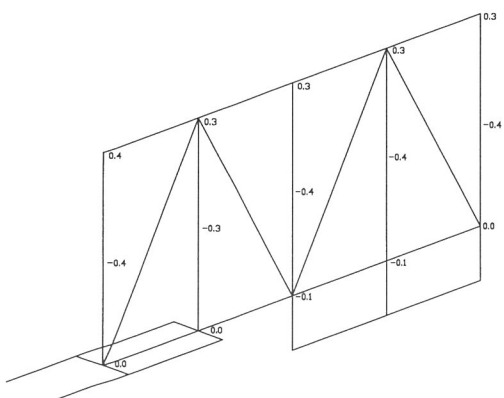


図-4.7 T2トラスの面外変位（単位cm）

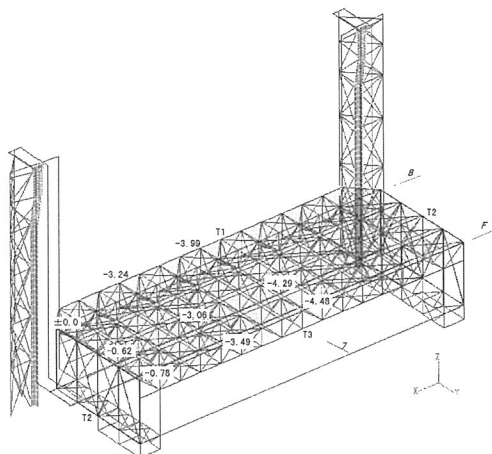


図-4.8 リフトアップ時各部位の変位（単位cm）

5. 計測および結果

屋根本体の位置、接合部の間隔、柱およびトラス材に生じる応力と変位は地切りを行う、その段階で把握できた。ひずみは、鉄骨部材にひずみゲージを貼付して計測した。また風向と風速等についても自動計測を行った。

計測は屋根トラスの組立時、地切り時および屋根トラスの接合時の各工程毎に行った。リフトアップ中には常時T1、T2トラス、柱および補強フレームの主要部材の応力、変位および接合部の間隔を測定し、それらの値が、解析値以内であることを確認した。それらの結果の概要を以下に示す。

5.1 鉄骨部材の応力計測結果

T2トラスのひずみの測定位置を図-5.1に、解析値と計測値の結果を表-5.1に示す。

部材の応力はひずみを軸方向応力度に換算した値で示した。解析値と計測値は、ほぼ一致していることを確認した。

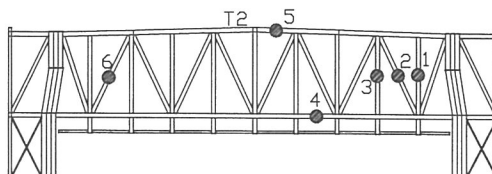


図-5.1 T2トラス応力測定位置

表-5.1 T2トラス応力

単位 (kgf/cm ²)		
測定位置	解析値	計測値
1	-150.6	-55.3
2	-490.6	-401.5
3	310.6	325.9
4	314.6	219.5
5	-334.7	-301.9
6	-490.6	-512.8

5.2 鉄骨架構の変位

図-5.2にT1、T2トラス中央部のたわみの計測位置と解析値および計測値を示す。T1トラス中央部のたわみの解析値-3.99cm、計測値-4.1cm、T2トラスでは解析値-0.78cm、計測値-1.1cmとなりほぼ一致した。

図-5.3にリフトアップ前に各柱に与えた強制変位の初期値とリフトアップ時の柱頂部の計測値を示す。

柱と梁の母材間隔が1.0cmと狭いため、大屋根を所定の位置までリフトアップしている間は、支柱を正規の位置より外側へ0.5~1.0cm余分に傾斜させて、母材間隔を大きくした。そのため、柱頂部の外側への傾斜を約4.0cmとし、この時のバックテンションジャッキの計算荷重値が約45.0tであったので、これをジャッキの管理値として支柱の補強フレームに張力を与えた。支柱に4.0cmの変位を与えた後リフトアップすると柱頂部の外側に解析では1.5cmの残留変位が生じた。

柱頂部の解析値の変位と計測値はほぼ一致し、大屋根と柱接合部との間隔を確保することができた。

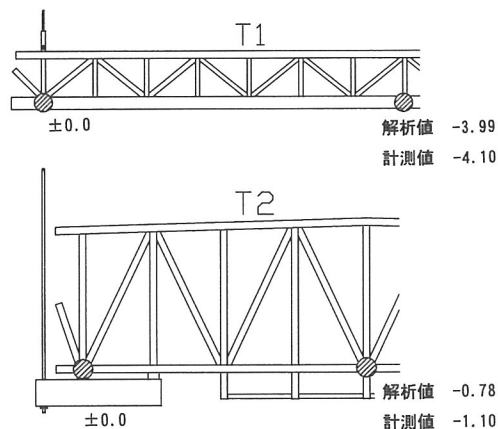


図-5.2 T1、T2トラスたわみの解析値と計測値
(単位cm)

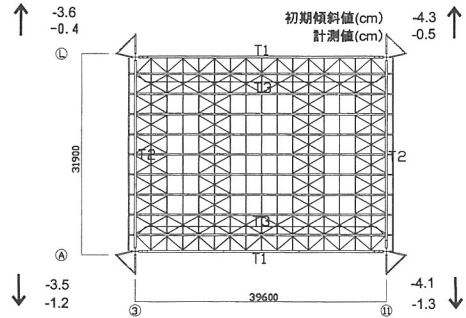


図-5.3 柱頂部に強制変位を与えた後、リフトアップした時の柱頂部の変位

5.3 仮設受け材支承部の応力状態

図-5.4にリフトアップ時のローラー支承部の支圧応力度の変化を示す。計測の結果、ローラー支承部のC点に応力の集中が認められた。これはピン支承部のピン径と孔径に隙間があり、リフトアップ時に受け材が外側に移動したため、C点側に応力が集中したものと考えられる。ローラー支承部の応力度は許容応力度以内であった。

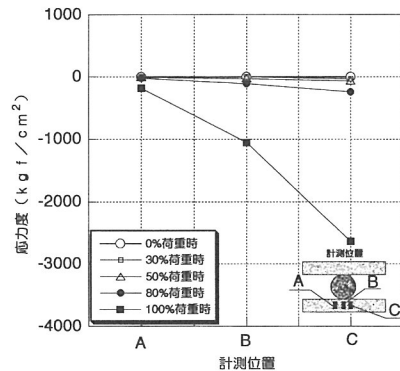


図-5.4 ローラー支承部の応力度

6. まとめ

ジャッキを用いて柱に強制変位を与えた後、大屋根のリフトアップ工事を行った時の事前解析とその計測結果について報告をした。

柱の傾斜、メイントラスに生じる部材応力および変位の計測値はリフトアップ時の構造解析値と比較的良好一致した。リフトアップ工事はロッドの取り外し作業も含め約6.5時間を要したが、無事工事が完了した。今後この実績をもとに再度工法が採用される機会があることを期待するとともに、さらに技術の研鑽を行い、当工法のレベルアップを図っていきたいと考えている。