

複合式張弦梁構造の設計と施工

(その2) 山口きらら博記念公園水泳プールの施工計画

正会員 ○田畑 英樹*
 同 城戸 隆宏**
 同 櫻井 優貴**

複合式張弦梁構造 テンション構造 施工時解析
 長さ管理

1. はじめに

本稿では、山口きらら博記念公園水泳プールの屋根架構に採用した複合式張弦梁構造の施工時解析と施工結果について報告する。複合式張弦梁構造は、片持ちのトラス架構（キャンチトラス）の先端に自碇した張弦梁を繋いだ複合構造で、張弦梁構造の特徴を利用しながら、製作・施工の合理性に優れた架構形式である。

2. 施工時解析と施工方法

2.1 施工手順

本構造は、施工方法の違いが完成状態の応力性状に影響を与えるため、施工手順を踏まえた検討が必要となる。本建物では、キャンチトラスと張弦梁の接合部で支持した支保工の反力を解除する施工方法を採用した。施工手順を図1に示す。

2.2 張弦梁地組の検討

張弦梁の精度と施工性を確保する上で、自己釣合いの特徴を利用し、地組による施工を計画した（写真1）。

上弦材の全長が設計スパンとなるように地組架台に設置し、束材・ケーブル材を取り付けた。ケーブル材には初期張力を導入し、単純支持状態で張弦梁の全長が設計スパンとなることを目標とした。導入張力量はケーブル材定着端と束下接合金物間の長さによる管理とし、ケーブル材には、スパン調整用張力が導入された状態で設計寸法となる位置に、予め工場にてマーキングを施した。地組作業では、ケーブル材をマーキング位置まで定着端のネジを締め付け、定着端とクランプ間距離を管理することで、地組精度を確保する計画とした。また張弦梁の全長とライズが設計寸法になっていることも確認しながら行う。各通りの張弦梁の初期張力量を施工時解析により求めた結果、38kN/2本～83kN/2本となった。図2にX10通りの検討例を示す。設計スパン長で地組した張弦梁に意図的に導入する張力は5kN/2本～27kN/2本と小さいため、ジャッキを用いず手締めによる張力導入を行った（写真2）。地組期間は、上弦材建て込みから張力導入まで2unitずつ同時に行い、3日サイクルで完了した。

2.3 張弦梁建方の検討

張弦梁建方は、キャンチトラス先端を支保工で支持した状態で、キャンチトラスと吊上げた張弦梁を接合後、支保工の反力解除を行う。

張弦梁の吊上げは、施工性を優先してスパンの1/4点付近を吊点とする計画とした（写真3）。張弦梁建方は、キャンチトラス先端の下端フランジに設置した仮設道具

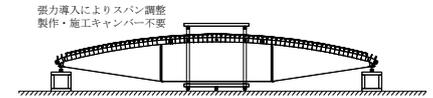
STEP1

- ・キャンチトラス建方
- ・先端を仮設支保工で支持



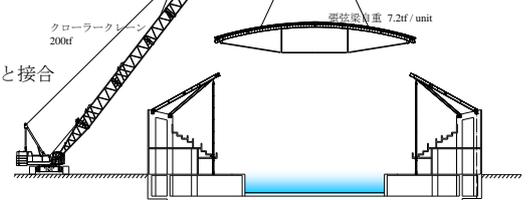
STEP2

- ・張弦梁地組
- ・ケーブルに初期張力導入



STEP3

- ・張弦梁建方
- ・キャンチトラスと接合



STEP4

- ・支保工の反力解除
- ・仕上げ施工
（金属屋根、膜屋根、内膜）

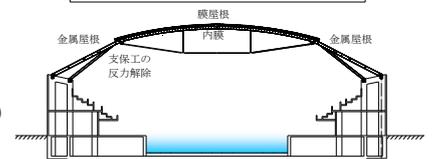


図1. 施工手順



写真1. 張弦梁地組

写真2. 手締めによる張力導入

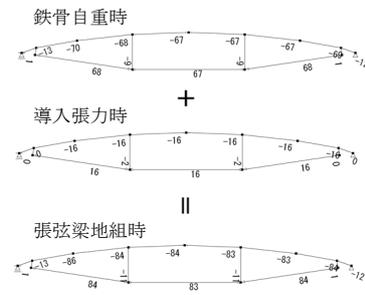


図2. X10通り張弦梁地組時軸力図(kN)



写真3. 張弦梁の吊上げ

に吊上げた張弦梁を徐々に預けていきながらウェブにボルトを差し込む。吊上げ自重によってスパンの縮んだ張弦梁が設計長に戻ったことを確認し、接合（ウェブ：ボルト接合，フランジ：現場溶接）した（写真 4）。反力解除は、張弦梁の建て方・溶接・HTB 本締め完了後、施工性を考慮し X0 通り側から 1 列ずつ順次行う（写真 5）。

施工時解析では、張弦梁単体を吊上げた状態の検討と張弦梁建方後の屋根架構全体での検討を行った。張弦梁を吊上げた状態では自重の影響によりスパンが短くなるため、縮み量を解析にて求めた。図 3 に X10 通りの検討例を示す。張弦梁建方後の解析は、初期張力を考慮した張弦梁単体モデルと門型の RC フレームを含めた全体屋根架構モデルとを足し合わせた。後者のモデルでは、施工手順を踏まえ、自碓した張弦梁自重を張弦梁とキャンチトラスの接合部に鉛直下向き荷重として入力し、張弦梁の比重を 0 とし剛性のみ評価した（図 4）。また反力解除したときの隣接フレームへの影響を検討し、鉄骨の相対変位量・部材応力・仮設支保工反力の変動は小さいことを確認した。

地組時管理許容値は、スパンの基準値を設計寸法+2mm，許容値を±5mm（最大スパンの 1/7191）として、 $-3\text{mm} \leq \Delta L \leq +7\text{mm}$ とした。地組時の張弦梁全長が設計スパン長よりも短い場合にキャンチトラスと接合できないことを考慮してスパンの基準値を設定した。またライズは $-7\text{mm} \leq \Delta R \leq +7\text{mm}$ ，反力解除は鉛直方向±10mm（最大スパンの 1/6161）を管理許容値とした。これは膜材が施工可能な隣接フレーム間の相対変形量を基に設定している。

通り番号	設計値 (mm)	張力導入前		張力導入後		
		実測値 (mm)	差 (mm)	実測値 (mm)	差 (mm)	
X5	L	2575.3	2578.0	+2.7	2573.0	-2.3
	R	1204.3	1204.0	-0.3	1210.0	+5.7
	A	7752.5	-	-	7751.0	-1.5
	C	8974.4	-	-	8976.0	+1.6
X10	L	33013.0	33013.0	±0	33010.0	-3.0
	R	1873.5	1875.0	+1.5	1879.0	+5.5
	A	10137.3	-	-	10139.0	+1.7
	C	11426.2	-	-	11428.0	+1.8
X15	L	33908.5	33908.0	-0.5	33906.0	-2.5
	R	2489.5	2494.0	+4.5	2495.0	+5.5
	A	10511.5	-	-	10515.0	+3.5
	C	11633.5	-	-	11632.0	-1.5
X20	L	24709.0	24713.0	+4.0	24711.0	+2.0
	R	4485.5	4483.0	-2.5	4485.0	+0.5
	A	7402.5	-	-	7404.0	+1.5
	C	8452.0	-	-	8451.0	-1.0

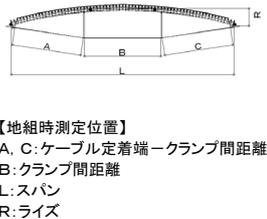


図 5. 張弦梁地組精度測定結果

通り番号	解析値 (mm)	実測値 (mm)	差 (mm)	
X5	A1	-8	-4	+4
	C.L.	-2	+1	+3
	A2	-8	-7	+1
X10	A1	-13	-15	-2
	C.L.	+7	+13	+6
	A2	-13	-7	+6
X15	A1	-4	-8	-4
	C.L.	+6	+11	+5
	A2	-4	-6	-2
X20	A1	0	+2	+2
	C.L.	-2	+2	+4
	A2	0	0	0

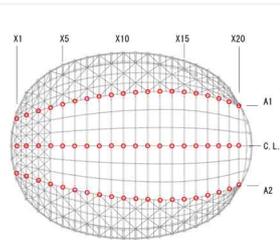


図 6. 支保工の反力解除時 鉛直変位測定結果 (○印は測定箇所を示す)

3. 施工結果

張弦梁地組精度結果の抜粋を図 5 に、反力解除時変位量の抜粋を図 6 に示す。張弦梁地組精度は、全ての値が管理許容値内に納まる結果となり、ケーブルの引込量（定着端-束下接合金物間距離）を管理することで張弦梁を精度良く施工できることが確認できた。また反力解除時変位量も許容管理値内となり、張力測定を行わず、精度の高い施工ができた。約 4,000m²の屋根架構に対し、僅か 2 ヶ月で屋根架構の施工を完了した（写真 6）。

4. まとめ・謝辞

- ・ 複合式張弦梁構造の採用により 3 次元曲面の屋根形状をシンプルな架構の組合せで構築した。
- ・ 支保工を用いた施工方法による複合式張弦梁構造の基本性能を把握し、製作・施工の有効性を検証した。
- ・ ケーブル材の長さ管理による張弦梁を地組し、結果として短工期かつ精度の高い施工ができた。

本計画の遂行にあたり、基本設計段階よりご指導して戴きました、斎藤公男日本大学名誉教授、ならびに五洋建設 JV の各担当者様には深く感謝の意を表します。

【参考文献】[1]斎藤公男著:空間 構造 物語, 彰国社, 2003 [2]岡田章:張弦梁構造の構造計画に関する研究, 学位論文, 1999 [3]斎藤, 金田, 日下他:複合式張弦梁構造の設計と施工, AIJ 大会 1991 [4]斎藤, 岡田, 前島他:膜と張弦梁で構成された軽量複合構造の力学特性に関する研究, AIJ 大会 1994 [5]日本建築学会編:柱のない空間, 彰国社, 1994



写真 4. 仮設治具を用いた接合

写真 5. 支保工の反力解除

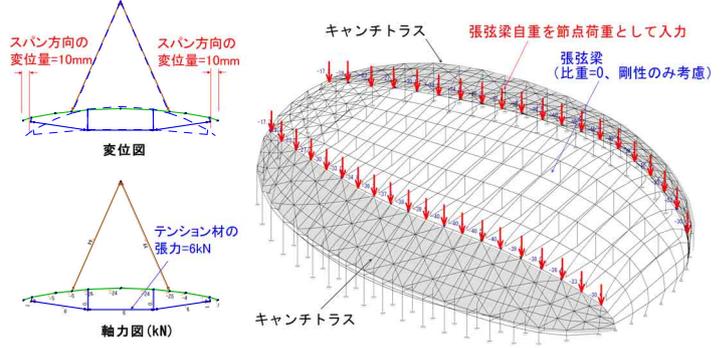


図 3. 張弦梁の吊上げ時の検討 図 4. 施工手順を考慮した解析モデル



写真 6. 屋根架構建方完了状況 (2010.3.30 撮影)