

仙空，第3増田川橋りょう製作架設工事

－仙台空港線2径間連続下路トラス－

CONSTRUCTION OF SENKUU RAILWAY VIADUCT FOR THE SENDAI AIRPORT

小早川 豊¹⁾ 角山 隆司²⁾ 重田 光則³⁾
 Yutaka Kobayakawa Takashi Kakuyama Mitsunori Shigeta

1. まえがき

宮城県名取市の JR 名取駅と仙台空港間（約 7.1km）を結ぶ仙台空港線は、2006 年度末開業を予定している鉄道路線（単線）であり、本橋は仙台空港から北に約 1.5km に位置している。また、本橋は耐候性橋梁として計画されており、太平洋岸からの距離が約 2km の海浜隣接地区に位置することから、3%Ni 系高耐候性鋼板を使用した。

構造は、平面線形が単曲線から緩和曲線を経て直線となる 2 径間連続下路トラスであり、架設工法は、第 1 径間は張出し架設工法、第 2 径間はベント架設工法を採用した。図-1 に一般図、図-2 に断面図を示す。本報告では、まず平面曲線区間の張出し架設による主構造への影響を考慮した計画・設計について、次に格点部の工場製作および現場架設の検討事項と結果について述べる。

2. 工事概要

工事名：仙空，第3増田川B鉄けた製架他
 工事箇所：宮城県名取市
 構造形式：2 径間連続下路トラス橋
 橋長：159.0 m （79.75m+79.25m）
 主構間隔：4.85 m
 鋼材重量：約 180t（当社施工分）、約 440t（JV 全体）
 軽量コンクリート：RC 床版：約 266m³

軽量コンクリート：耳 桁：約 77m³
 架設工法：張出し工法+ベント
 列車荷重：165 kN/1 軸（M-16）
 平面線形：R=1,000 m ～ ∞
 縦断勾配：0.03%
 工期：平成 16 年 10 月～平成 18 年 3 月
 施工主：鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社
 施工：川重・ハルテック共同企業体

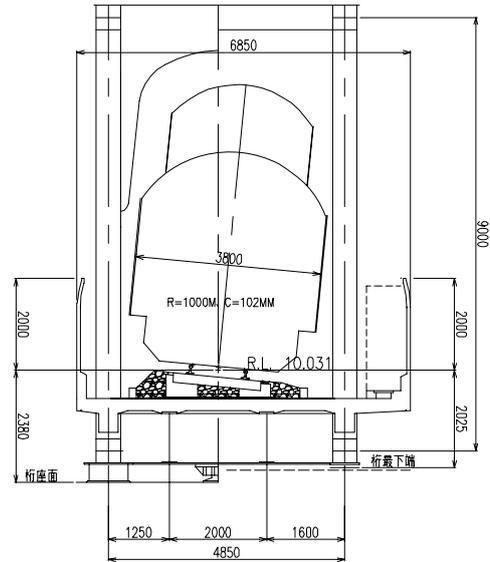


図-2 断面図

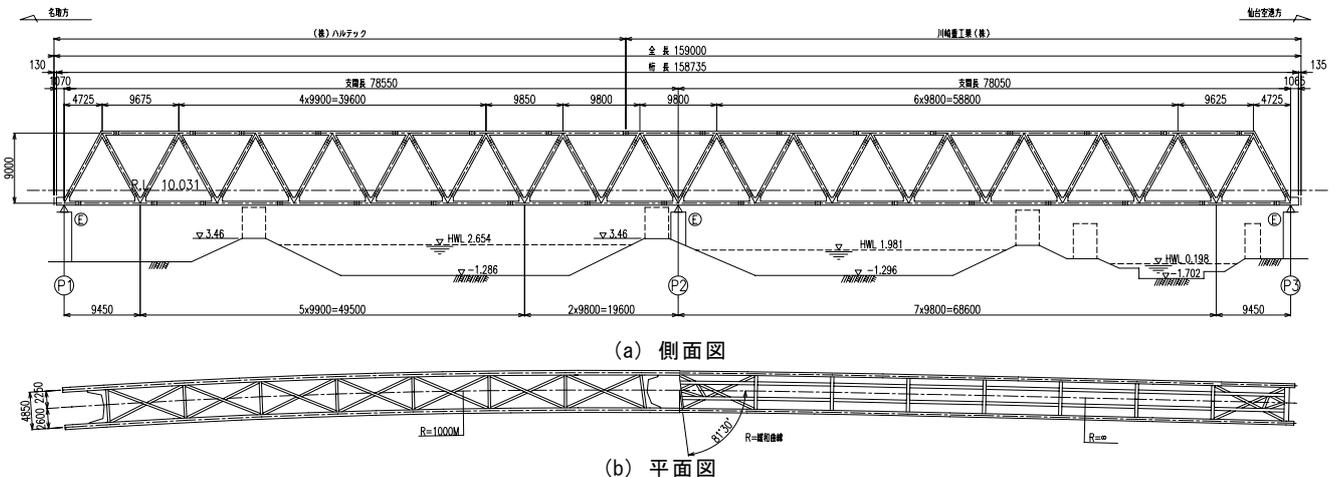


図-1 側面図および平面図

1)生産第一グループ 和歌山工場 生産技術チーム
 2)生産第二グループ 工事部 大阪チーム
 3)技術グループ 設計部 東京チーム

3. 製作キャンパー値の設定

3.1 立体解析モデル

本橋は、P1～P2間が平面曲線区間のため、面外方向のねじれ変形が生じやすい構造である。よって建築限界との余裕量が最も厳しい橋門構において、これを侵害する恐れがあったため¹⁾ねじれの影響をキャンパーに適切に反映する必要があった。図-3に解析モデルを示す。なお、解析は実断面諸量および実鋼重を用いて行った。

3.2 節点条件

通常、トラス構造の格点は構造解析上ピン結合とする。しかし、本橋は下弦材格点部がRC床版に囲まれる構造であり、支点上横桁は箱桁内にコンクリートを充填しSRC構造としているため、面外方向には剛な挙動をすることが予見された³⁾。これらのことから、支点部の各節点条件について剛結合およびピン結合モデルによる変位量を比較検討し、キャンパー値に反映することとした。

3.3 立体解析の比較とFEMモデルによる検証

各モデルにおける橋軸直角方向の節点条件を図-4に、橋軸直角方向水平変位を表-1に示す。曲線区間中央のU7において、節点条件による変位差が最大約70mmとなったことから、節点条件による差異を無視できないと判断し、採用値の比較検討をすることとした。そこで、斜材および端柱部を取り出した格点剛結合骨組モデル（モデル2相当）とFEMモデルを作成し、単位荷重100kNを上端部に水平載荷して、水平変位の差異を比較した。その結果、表-2に示すように、斜材の変位は剛結合とはみなせず、端柱部（支点部）の変位はFEMモデルの値に近い値が得られた。これらのことから、支点部が剛結合であるモデル3の値を設計キャンパー値として採用することとした。

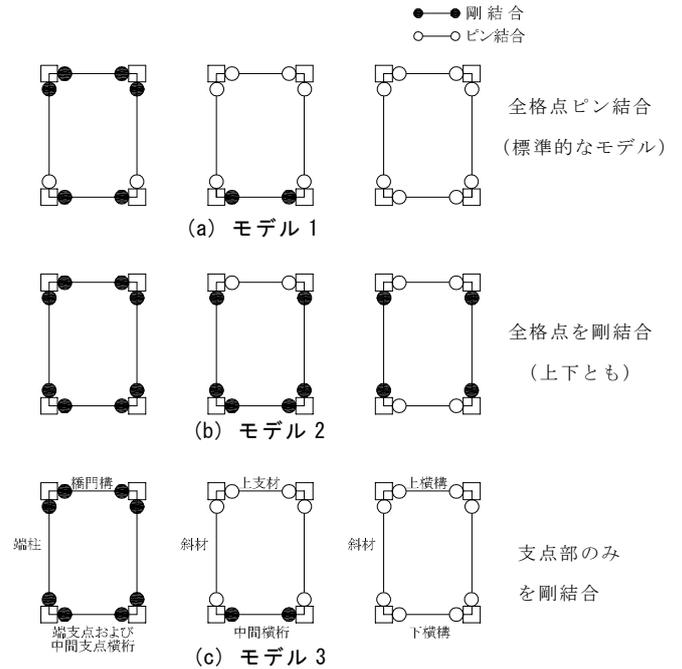


図-4 橋軸直角方向の節点条件

表-1 面外方向の水平変位（単位：mm）

上弦材	格点	U1	U7	U15	U25	U31
	モデル1	78	80	36	21	11
モデル2	12	7	-5	-3	-8	
モデル3	29	39	8	6	0	
下弦材	格点	P1	L8	P2	L24	P3
	モデル1	0	-34	0	-14	0
	モデル2	0	-12	0	8	0
モデル3	0	-33	0	-16	0	

表-2 骨組モデルとFEMモデルの変位比較（単位：mm）

	斜材		端柱
	H形断面 (引張)	箱断面 (圧縮)	P1, P2, P3
骨組モデル	93	90	11
FEMモデル	129	157	13

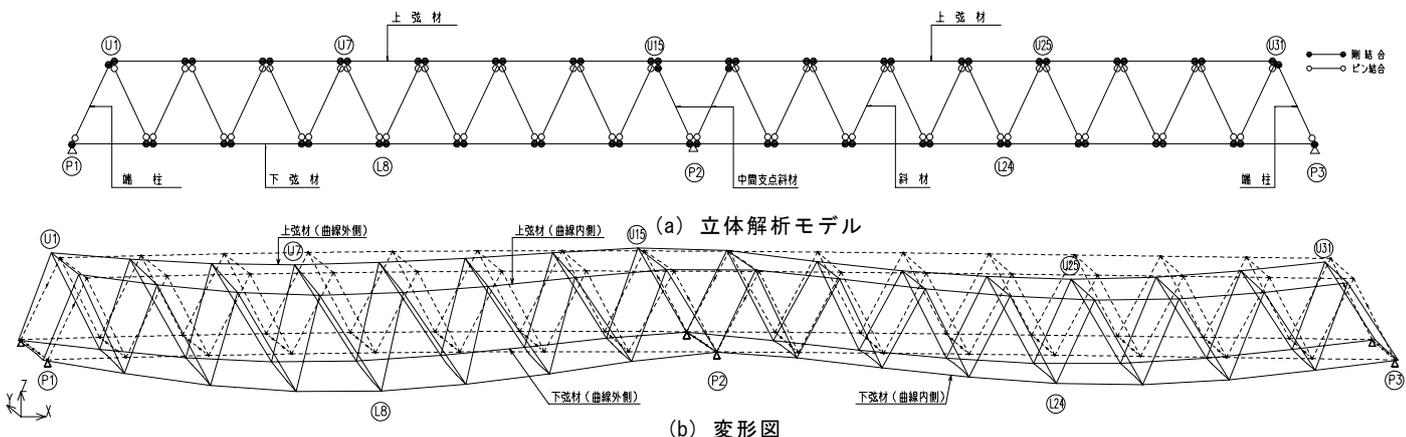


図-3 立体解析モデルおよび変形図

3.4 キャンバーによる部材製作方針

上記の検討結果を反映し、曲線部である当社製作範囲の P1~P2 間については、鉛直方向、橋軸方向、橋軸直角方向ともに製作キャンバー値を設定して製作を行った。ただし、橋軸方向、橋軸直角方向については、左右主構の平均値（最大差 6mm）を製作座標として採用することとした。この際、橋軸直角方向の倒れ量が格点毎に異なるため、上、下弦材は 1 ブロック内でねじれが生じることとなる。これにより部材製作性が極端に悪くなるため、本橋ではトラス面外方向の剛性が最も高い P1 橋門構の倒れ角 θ を全ての上、下弦材の傾きとして統一した。製作座標上の傾きとの差は斜材の仕口部の角度差として斜材添接板のなじみ（添接板の中心で 0.5mm）で吸収し、各ブロック内でねじれが生じない構造を採用した。

4. 工場製作

本橋梁は、海浜地区でのライフサイクルコスト低減のために Ni 系高耐候性鋼材（鍍安定化補助処理）を用いた無塗装曲線トラス橋である。工場製作時に配慮した点について報告する。

4.1 使用材料

海浜地区での無塗装橋梁として表-3 の材料を使用した。

また、Ni 系高耐候性鋼材の溶接については専用溶材を用い、事前に溶接施工試験を実施して溶接部の品質確認を行った。（写真-1）

表-3 使用材料

品 目	メーカー
鋼 材	(株)新日鐵製 3%Ni 鋼
溶接材料	日鐵住金溶接工業(株)製 3%Ni 鋼用
高力ボルト	NS ボルテン(株)製 3%Ni 鋼用
表面処理剤	R C I (株)製 ラスコール N (#200 標準仕様)



写真-1 Ni系高耐候性鋼材溶接施工試験状況

4.2 トラス格点部製作

本橋のトラス格点部は端支点部にコンクリートを充填する SRC 構造であり、単線のため左右弦材と端支点上横桁にジョイントを設けない一体構造である。そのため、

板構成が複雑で溶接作業性と現場打ちコンクリートの充填性が懸念された。この問題を解決するために、実物大の模型（写真-2）を作成し板構成、開先形状、コンクリート打設孔および作業用ハンドホール位置等の十分な検討を行った後に工場製作に着手した。（写真-3）端支点部材の下フランジは左右支点部のゴムシューと端支点横桁中心の水平シュー（地震時橋軸直角方向ストッパー）のソール PL を兼ねているために平坦度の確保が必要であるが、支点部の完全溶込み溶接が集中し溶接歪みが予想されるため設計板厚+5mm の鋼板を用いて製作し、部材溶接完了後にフェーシングマシンにより端面切削を行った。（写真-4）



写真-2 端支点格点部模型



写真-3 端支点部製作状況



写真-4 端支点部製作状況

また、本工事の製作期間中に鉄道運輸機構殿による溶接工のすみ肉技量試験更新試験を受験し、2004年秋に導入したNCプライマー剥離機によるプライマー剥離性能とすみ肉溶接の各種プライマー別での内部欠陥発生率の関係を検証・判定頂いた。その結果、当社の溶接工技量とともにNCプライマー剥離機を用いた溶接底面側ショッププライマーの除去による良好な溶接品質の確認が出来た。

4.3 仮組立検査

(1) 分割仮組立

共同企業体の川崎重工工業製作範囲と当社の製作範囲を分割して仮組立検査を実施した。工区境部については、通り、キャンバー値を検証できる2格点を重複仮組立とし、現場出荷工程を考慮して、各社1ブロックずつ部材を転送した。写真-5に仮組立状況および図-5に仮組立要

領を示す。

(2) 管理方法

仮組立状態を現場で再現するため出来形確認後に、横桁上フランジと下弦材ガセットにそれぞれ、通り基準線とキャンバー基準線の罫書きを行った。

5. 現場施工

5.1 架設工法

(1) 張出し架設の採用

P1~P3の2径間のうち、P2~P3間は作業ヤードが確保されておりベント設置が可能であったので、120t吊りクローラークレーンを用いるベント架設とした。しかし、P1~P2間は河川上であるためベント設置ができないことから、100tmトラベラークレーンを用いる張出し架設工法を採用した(写真-6)。P2支点上からP1へ向かって下弦材を張出し、順次横桁、縦桁、斜材、上弦材、



写真-5 仮組立状況



写真-6 張出し架設状況

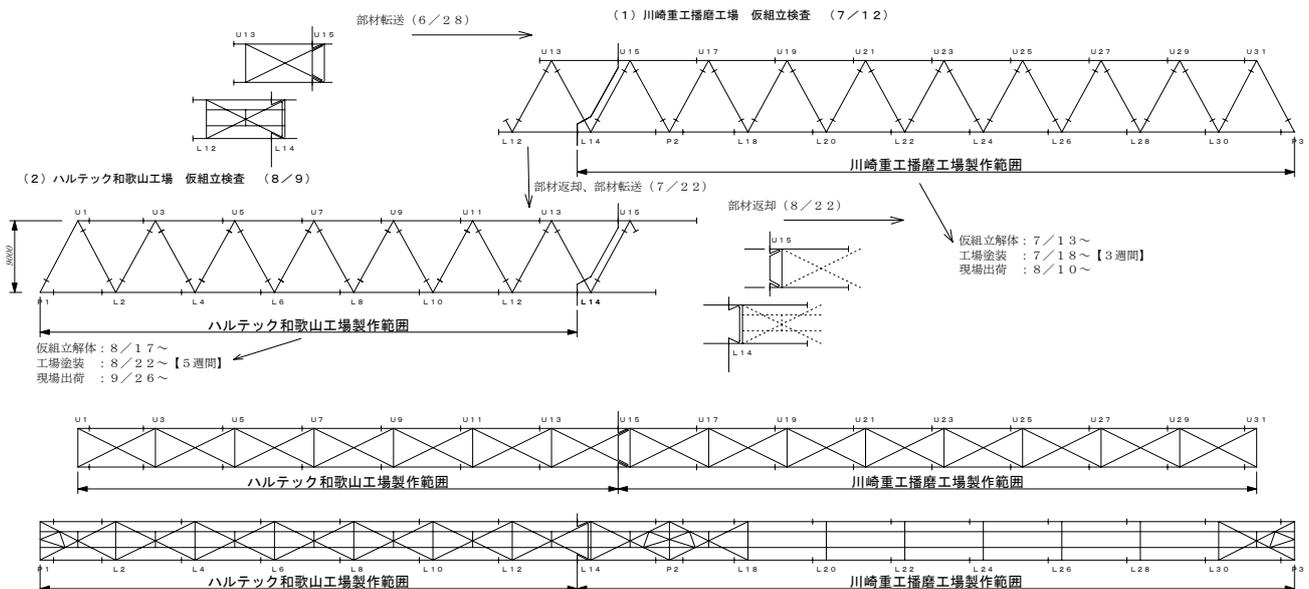


図-5 仮組立要領

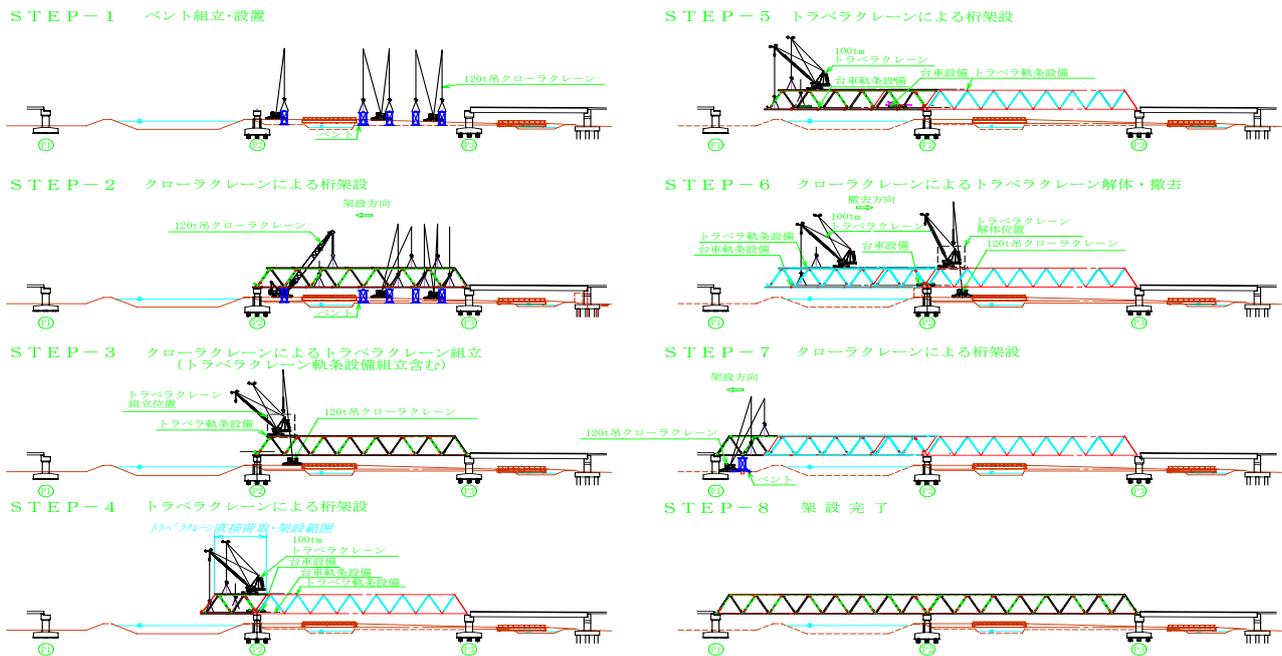


図-6 架設ステップ

横構を組立てた。1ブロック架設完了後、吊足場組立、高力ボルト締付、上弦材にはトラベラークレーン移動用のレールを設置した。さらに下弦材には架設部材運搬に用いる台車移動用のレールを設置し、最後にトラベラークレーンの移動までを1サイクルとして繰り返し施工を行った。図-6に架設ステップを示す。また、P1～P2で支間が約79mあり桁の張出しにより桁先端でのたわみ量が大きくなるので、1ブロック手前にベントを設置した。ベント上に桁が到達した後、トラベラークレーンを撤去し、桁を所定の高さまで調整完了後、残りの1ブロックをクローラークレーンにて架設した。

(2) 張出し架設を考慮した管理方法

P1～P2間の張出し架設においては、1ブロック架設完了後に仮組立完了後に罫書いた通り基準線とキャンパー基準線を確認するため、レベルとトランシット及び鉛直レーザーを使用して下弦材の高さと桁の通り及び上弦材と下弦材のズレによる傾きを測定した。また、ベント架設したP2～P3間の各点も同様に計測し張出し架設によるたわみの影響を確認した。

(3) 設計キャンパー値の検証

設計におけるキャンパー値および仮組立検査時の形状が現場施工時に再現されたかどうかの検証として、各段階でのキャンパー値を図-7および図-8に示す。なお、施工に先立ち、床版コンクリートと縦桁の合成効果について、

打設順序を考慮した立体解析を実施し、床版に有害な引張応力が生じないことを確認している。

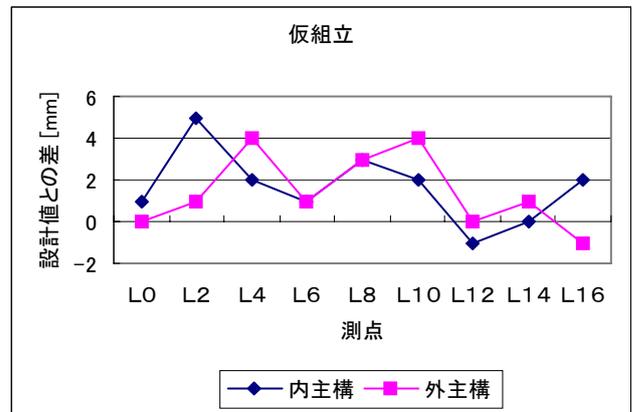


図-7 仮組立時の設計キャンパーとの比較

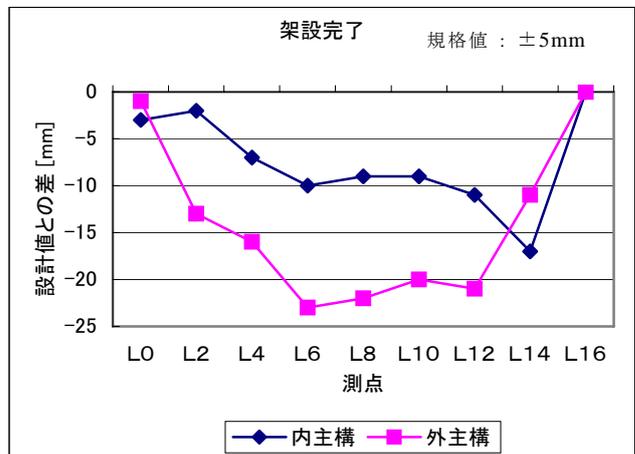


図-8 架設完了後の設計キャンパーとの比較

(4) 考察

仮組立時のキャンパー値は内主構と外主構とも規格値内で問題のない結果であった。しかし、張出し架設の進行に従いたわみが大きくなり、桁の L4 架設時には、設計値との差が最大で-79mm になった。トラベラークレーン撤去後の測定では、外内主構の平均値で最大が-40mm となった。しかしながら、桁のベント到達、高さ調整等すべての架設作業完了後の測定結果では、外主構側において、最大で-23mm であった。その結果、床版施工において調整可能な範囲内となった。

平面曲線の外側である外主構の方が内主構に比べて設計値より大きいたわみが生じたことから、解析結果よりも実際にはねじれの影響が大きかったことが分かる。

5.2 コンクリート施工

(1) 支点部充填コンクリートの打設

支点上横桁は、箱断面内にコンクリートを充填する SRC 構造物として設計している。当初設計書では、普通コンクリートでの打設であったが、充填性を考慮して高流動コンクリートを採用した。配合を下記に示す、

30-60-20N (=強度-スランプ-粗骨材)

コンクリート打設はポンプ車にて行い、高流動コンクリートを用いることにより、箱断面内に空隙を生じることなく施工することができた。

(2) 鋼繊維コンクリートの打設

本橋の RC 床版は、中間支点部に目地を設けない 2 径間連続構造となっている。そのため、負曲げ区間となる中間格点部付近には、床版コンクリートのひび割れ防止対策として、鋼繊維コンクリートを採用した。

鋼繊維入り軽量コンクリートはポンプ圧送の施工実績が少ないため、流動化後のスランプ値について、15cm と 18cm の 2 種類を用意し、現地で圧送試験を行った。



写真-7 コンクリート打設状況

採用した配合を下記に示す。

軽量 1 種 : 24-8→18-15H (=強度-スランプ-粗骨材)

試験を行った結果、鋼繊維の投入量 (80kg/m³) が多く粘性が大きくなり、ポンプ車内でコンクリートが詰り圧送できなかった。その際使用したポンプ車の最大吐出量は 110m³/h であったので、吐出容量を大きくする必要があると判断し、最大吐出量 160m³/h のポンプ車で再度試験を行い圧送できることを確認した。このポンプ車 (外国製) は、国内では台数が少なく、コンクリート打設日の変更が容易に出来ないことから、正確な工程管理が求められた。写真-7 には、コンクリート打設状況を示す。

また、この区間のずれ止めは、H 形状の柔ジベルを適用している。今までの実績では、合成効果の低減を図るため、発泡スチロールを巻きつけていたが、今回は、鉄筋組立及びコンクリート打設により発泡スチロールが破損することを懸念し、樹脂発泡目地材を用いた。これらの効果により、床版の健全性を保持することができた。

(3) 出来形管理について

鋼桁架設完了時において、キャンパー値の出来形は最大で、-23mm あった。床版打設後の規格値が±10mm であることから床版施工で調整する必要があったが、架設時において桁のたわみ量が大きくなったので、床版厚をあまり厚くできなかった。そこで、ハンチ調整を行い規格値の下限值-10mm に入るように床版施工を行った。コンクリート打設後、床版基準高を測定し、規格値内で施工したことを確認した。

6. あとがき

本橋は、コンクリート高架橋が主な仙台北港線の中でも、ひときわ工事の進捗状況が一目で分かるシンボリックなトラス橋である。架設地周辺は、宅地造成も盛んであることから、横桁および縦桁への制振コンクリートの打設やゴム製制振材の貼付等、騒音対策にも配慮している。

本工事施工後、軌道工事に引き渡し、現在鋭意工事が進められており、平成 19 年 3 月に開通する予定である。

最後に本工事の製作架設に当たり、多大のご指導、ご協力を賜った鉄道運輸機構・設計技術部および名取鉄道建設所様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 運輸省鉄道局監修・鉄道総合研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，2000.7.
- 2) 運輸省鉄道局監修・鉄道総合研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，1999.10.
- 3) 日本鉄道建設公団：鋼鉄道橋ディテール・解説 (トラス編)，2002.3.