PC トラス鉄道橋の張出し施工

——久慈線槇木沢橋りょう——

沢野 耕二^{*1}・岩崎 徹^{*2}・野々村政一^{*3}

概要 槇木沢橋りょうは三陸縦貫鉄道のうち久慈線に架設された単線のPCトラス橋である。スパンは36mと小規模なものであるが、従来のものにくらべ、①構造が連続線形式であること、②床版が主構と合成されていること、③コンクリート強度が一般のPC橋と同じ400kg/cm²であること、④施工法に張出し工法を採用したこと、に特長がある。特に張出し工法は、今後PCトラスが長大スパン化するにあたり不可欠の要素であり、ここに、張出し施工を中心にして報告する。

キーワード：鉄道橋、PCトラス、張出し工法

1. ま え が き

槇木沢橋りょうは、岩手県三陸沿岸を縦断する三陸縦貫鉄道久慈線の建設に伴い新設された単線の下路ワーレン式PCトラスで、支間36.0m×2=72.0mの2径間連続橋りょうである(図-1、図-2参照)。

鉄道橋りょうのスパン長大化のため、昭和46年から新技術開発に取り組んできた鉄道公団盛岡支社は、過去太田名部橋りょう(支間24m)、安家川橋りょう(支間45m×6連、27m×1連)のPCトラス橋を完成させ、長大化の可能性の高いことを実証してきた。

今回これらの成果を踏まえて、初めての張出し架設を試み、合せて主構と床版の合成を図ったものが槇木沢橋りょうである。ここにPCトラス橋の張出し施工を中心に報告する。

2. 計 画

(1) 地形及び地質

架橋地点はリアス式海岸と呼ばれる複雑な地形の中にあって、南を小本トンネル(5174m)、北を切牛トンネル(1820m)に挟まれた約110m間のU字谷にある。

地質は表層を崖すいで覆い、その下に河成の玉石と砂

れきが部分的にシルトを挟んで互層をなしている。さらにその下は海成の砂れき層で支持地盤として待期でき、A₁橋台、P₁橋脚を井筒、P₂橋脚を深礎として設計した。

(2) 構造形式

トラス形式はハウトラスとワーレントラスの両形式を比較し、断面力、美観上からワーレン形式としたが、施工上は格点部に鋼線、鋼棒がふくそうし煩雑となる。また張出し施工のため連続形式とした。

床版は、従来主構と非合成であったため横方向の安定性、死荷重の軽減化が不十分であった。今回主構と合成化を図り安定性を強化し、かつ床版に下弦材と同じ主構作用の一部分担を可能せしめた。

(3) 架設方法

従来は総足場、あるいはガーター使用による引出しであったが、将来架設条件に順応性を持たせるためには張出し架設が必須となる。しかし鋼トラスと異なり部材重量が大きく、また連結方法に工夫を要す。さらにそれらを解決する架設台車の開発が必要となる。今回は経済性を見地から現行ディビダーク工法用のワーゲンを一部改良使用した。

(4) 部材のプレキャスト化

上弦材、斜材、及び上横げたはプレキャスト化し、施工の単純化と迅速化を図った。下弦材、下横げたは床版と一体化されるため場所打ちとなっている。

(5) コンクリート強度

長大スパンの場合を前提にして、従来 $\sigma_{ck}=800\text{kg/cm}^2$ の超高強度コンクリートが使用されてきたが、本橋では

*1 日本鉄道建設公団盛岡支社計画部計画課長

*2 日本鉄道建設公団本社計画部調査課総括補佐(旧盛岡支社工事部工事第二課補佐)

*3 日本鉄道建設公団新潟新幹線建設局計画課(旧盛岡支社小本鉄道建設所副所長)

図-1 横木沢橋りょう全体図

図-2 構造寸法図

Cantilever erection of a prestressed concrete railway truss bridge

—Magizawa Bridge on the Kuji Line—

Koji Sawano, Toru Iwasaki and Masa-ichi Nonomura

Concrete Journal Vol. 16, No. 8, Aug. 1978, pp. 36~43

Synopsis Magizawa Bridge is a single-track railway bridge of prestressed concrete truss, erected on the Kuji Line which is one of the railway networks servicing the Sanriku district. It has only a span of 36m, but has the following characteristics, ① a continuous spanned bridge, ② floor slab is calculated as a component of the main truss, ③ design strength of concrete is 400 kg/cm² that is adopted generally in prestressed concrete bridge, ④ constructed by the cantilever erection. The prestressed concrete truss bridge is now expected to have a longer span in near future, the construction method of which would require the cantilever erection. This paper outlines the cantilever erection of the Magizawa Bridge from the view point of design and construction scheme.

Keywords : railway bridge, prestressed concrete truss, cantilever erection

表-1 設計条件一覧表

項 目	内 容	備 考
形 式	有道床式2径間連続PCトラス	36.0 m+36.0 m
荷 重	列車荷重 衝撃係数 地震係数 クリープ 乾燥収縮 温度変化	KS-16 建造物設計標準による $K_h=0.2, K_v=2.0$ $\varphi=1.0, \text{or}=2.0$ $S_r=15 \times 10^{-5}$ $+10^\circ\text{C}, -5^\circ\text{C}$
架 設	架設方法 架設荷重	単線 架設時 $K_h=0.1$ $\varphi=3.0$ でも検討済 収縮差としてさらに 5×10^{-5} 温度差として考える 改造フォルバウーゲン使用 ワーゲン重心は前支点より 1.0 m
部 材 制 作	現場打部材 プレキャスト部材	下弦材, 下横けた, 床版 上弦材, 上横けた, 斜材
使 用 材 料	コンクリート PC鋼材 鉄筋	$\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ SBPR A種2号, B種2号 SD 35 ディビダーク鋼棒
そ の 他	支点沈下 破壊荷重 たわみ	1.0 cm $1.3 \times \text{死荷重} + 2.5 \times \text{活荷重}$ $1.75 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重})$ 活荷重に対し $L/1000$ 端および中央支点

橋りょう規模, 列車荷重等から $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートで設計した。

3. 設 計

(1) 設計条件

設計条件一覧表を表-1に示す。従来とくらべ相違している点は、プレキャスト材と場所打ち材の材令差を考慮して乾燥収縮差を与えたこと、上下弦材の温度差を過去の実績から変更したこと、そしてコンクリート強度を変更したことである。

(2) 主構の設計

解析は格点剛結の平面フレームとして行った。なおこの結果の妥当性は別途アクリル樹脂模型による実験を行い、二次元、三次元解析値と比較検討を行った。

架設終了時 ($t=0$)、クリープ終了時 ($t=\infty$)、及び列車荷重（衝撃を含む）の断面力を図-3～図-5に示す。なお図上, 上弦材, 斜材の曲げモーメントは小さいため省略してある。逆に下弦材は床版と直接合成されているため大きな曲げモーメントを生じている。

また各断面に導入するプレストレストは図-6のとおりで, 上弦材, 斜材は直線配置, 下弦材は曲げモーメントに抗するため曲線配置となっている。

クリープによる断面力は, 上, 下弦材から生じるクリープ差を考慮する意味で基本係数を $\varphi=1.0, 2.0, 3.0$ として検討し, 各断面とも安全な方向で設計した。なお図-4は $\varphi=2.0$ の場合である。

(2) 下横けたの設計

図-3 架設終了時の断面力

下横けたは単純ばりとして設計した。これは模型実験の結果から床版及び下横けたと下弦材の剛結度合は, 下弦材のねじり剛性が小さいためピン結合に近いことを示

図—4 クリープ終了時断面力 ($\varphi=2.0$)

図—5 列車荷重による断面力

したためである。

(3) 床版の設計

当初四辺固定版と考えていたが下弦材の拘束度合が低いので、2辺固定、他端準固定、あるいは4辺準固定のいずれにも安全ように配筋している。

(4) 沓の設計

図—6 導入プレストレス

図—7 P_1 沓設計図

P_2 橋脚付近は基盤岩のチャートあるいは粘板岩に岩着でき水平力をとらせるのが好都合なこと、また地震時に単純構造として対処した方がよいとの結論に達した。このため橋軸方向は A_1 橋台、 P_1 橋脚を可動、 P_2 橋脚を固定に、橋軸直角方向は A_1 橋台、 P_2 橋脚を固定、 P_1 橋脚を可動としている。 P_1 橋脚上の全方向可動沓は図—7に示すようにベアリングプレート支承の1種で上沓が $\phi 1320$ mm、下沓が $\phi 920$ mm の大きさを持ち最大 200 mm の移動が可能となっている。

4. 施 工

(1) コンクリート

施工時期が冬期、夏期にわたること、3～4日で緊張に必要な強度が得られること、またプラントから現場まで運搬距離 14 km、搬入時間約 40 分を要することを考慮して、表—2のように2種類の配合を定めた。A配合は冬期用でプレキャスト部材は全てこれによっている。B配合は柱頭部付近を除く場所打ち材に使用した。どちらも初期強度の伸びが悪くプレストレス導入は遅れ気味であった。

(2) プレキャスト部材の製作

表-2 コンクリートの配合及び試験練り結果

種別	σ_{sk} (kg/cm ²)	セメントの種類	最大骨材寸法 (mm)	コンクリート 1m ³ 当り配合 (kg)					水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	コンクリート強度		
				セメント	水	砂	砂利	混和剤					σ_4	σ_7	σ_{28}
A	400	早強ポルトランドセメント	25	440	164	663	1 094	ボゾリス No. 5 L	37	6.3	2.8	38	336	402	486
B	400		25	420	157	676	1 118		37	6.0	3.0	38	320	395	480

榎木沢川はもともと伏流河川の傾向が強く、大雨時、あるいは雪融け時に出水する程度である。このためプレキャスト部材は河川敷を盛土整地して製作した。製作ベースは7基とし、上弦材用2基、斜材用4基、上横げた用1基である。プレキャスト

部材の製作本数は上弦材22本、斜材48本、上横げた12本の計82本である。製作工程は図-8に示すように5日サイクルとして計画した。52年2月第1回の製作後、積雪と寒波のため3月中の製作を中止し4月中旬再開した。このため当初のものは養生に手間がかかり7日を要した。上弦材、斜材は端部に部分的に曲線形状の鋼棒を配置している。従って配置誤差を $\pm 3\text{ mm}$ に定め、鋼棒を入れて製作した。実際の張出しにあたっては、精度が非常に良好で接続に伴うトラブルは皆無であった。

図-8 プレキャスト部材製作工程

(3) 査及び仮ストoppの据付

プレストレスによる弾性収縮、クリープ、乾燥収縮等により、 A_1 査は 30 mm、 P_1 査は 15 mm 短縮する。このため A_1 査は上査と下査をずらしてセットした。 P_1 査は移動可能量が大きいので上査、下査を一致させている。グラウトはプレミックスタイプのエムベコグラウトを使用し、注入は橋脚天端より 1.5 m の高さから自然流下させ注入した。

P_1 査は全可動査であるため張出し時に仮固定の必要がある。このため図-9に示すような中間支点下横げたと下弦材のコーナーに移動防止用のコンクリートストッ

図-9 仮固定設計図

パを設けた。1ストップあたり3本のP.C鋼棒 (SBPR B種 2号 φ32 mm) を埋込み締めつけている。下横げた及び床版を橋脚と直接締めつける方法もあるが、下横げたの補強が困難なためこの方法によった。なおこの方法は有効であったが、後述のブラケットが弾性沈下するため、橋軸方向に回転を許容させておくことが必要で、仮ストップと本体の間にゴム板等を入れておくことが望ましい。ストップは橋りょう完成後撤去した。

(4) 柱頭部工

従来の箱げたのように、橋脚上でアンバランスモーメントが処理できないため、図-10に示すように下弦材2格間、上弦材1格間を柱頭部として施工した。このため下弦材の格点下に仮支点を設け、さらに鋼製のブラケットにより支持している。

(i) 仮支点設置用ブラケット

仮支点は橋脚と独立してベント等により設ける方法も

図-10 柱頭部施工図

写真-1 橋りょう全体図

写真-4 プレキャスト部材の吊込み

写真-2 中間張出し状況

写真-5 アクリル樹脂模型の載荷試験

写真-3 プレキャスト部材固定治具

あるが、今回は橋脚に鋼製のブラケットを設けた。これは、流水等のために別途支柱が設けられない場合を想定したためである。

ブラケットは 300 H, 400 H を主材に最大 500 t の反力に耐えるように設計した。久慈方の仮支点には 100 t のオイルジャッキを 8 台セットし、ブラケットのたわみ、型わくのしたを調整できるようにした。今回予想以上にブラケットのたわみが大きく、調整に手間がかかった。特にジャッキ下のなじみ用木材の変形が大きく、今

後の課題である。宮古方仮支点は柱頭部施工時のみ、オイルジャッキを入れているが、張出し時は中央橋脚と久慈方仮支点の 2 点で支持され、外的に静定構造となっている。これは 3 点支持構造にすると計算が複雑になるだけでなく、橋脚支点到働くアップリフトの防止、仮支点の沈下による反力の調整、等が必要となるためである。

(ii) プレキャスト部材吊支保工

柱頭部に集まる 16 本（斜材 12 本、上弦材 2 本、上横げた 2 本）のプレキャスト部材を支持するため、ブラケット上に 300 H, 350 H を主材とした吊支保工を組立てた。プレキャスト部材はこの支保工にゲビンデ鋼棒 $\phi 26$ を介して吊下げられる。従って吊位置、吊高等は細心の注意を必要とし、十分な時間をかけて施工した。しかし、このセット作業は想像以上に煩雑で、

- ① プレキャスト部材の本数が多すぎる。
- ② プレキャスト部材が空中に浮いた状態のため、基準線あるいは固定点がとりにくい。
- ③ プレキャスト部材の吊下げによって、吊支保工が変形するため、先に吊下げたプレキャスト材は当初の位置を保つことができない。
- ④ プレキャスト部材（特に斜材）は治具で互いに連結されており、一部材の移動は全体の移動を発生す

(a) 下弦材施工系

(b) 上弦材施工系

図-11 施工要領図

る。

等の問題が生じた。このため、誤差を収束させるべく数回の繰返し調整を行いセットした。今後の課題として、

- ① 吊支保工式をやめ、床版、下弦材等場所打ち部分を先に施工し、これを基礎とした支保工を考える。
- ② 施工の単位を1格間あるいは1主構に分割し、先に施工した単位を基準に次の施工を行う。

が必要である。

(iii) 施工の概要

施工順序は、①ブラケットの組立、②仮固定用ストップパの設置、③仮支点ジャッキ据付、④下弦材側場所打ち部分の支保工組立、⑤吊支保工組立、⑥下弦材側場所打ち部分の型わく組立、⑦プレキャスト部材の吊込み、⑧場所打ち部分のPC鋼棒配置と鉄筋組立、⑨コンクリート打設、⑩プレストレス導入、⑪型わく及び支保工の撤去、⑫柱頭部の完成

以上である。前述のとおり部材の調整に手間どったため、柱頭部工は約60日要間をした。またコンクリートの打設は、下弦材側はポンプ車を使用し48m³に対し6時間30分、上格点部はトラッククレーンによるバケット打ちで、6.7m³に対し4時間を要した。

(5) 架設機械及び治具

(i) ワーゲン

ワーゲンは、自重37tの普通ワーゲンを用了。吊部材の位置関係から、フレーム長が多少長くなっている。ワーゲンの支点間隔は4.9mで、後支点は格点上にあるが、前支点は上弦材の上にある。これは、前支点が格点上にあると斜材の緊張ができないためである。

プレキャスト部材吊下げのため、部材1本につき4本のゲビンデ鋼棒を使用し

た。ゲビンデ鋼棒は本体にあらかじめ取付けられており、橋軸及び橋軸直角方向には不動である。従って本体の移動据付を正確に行えば、ゲビンデ鋼棒の鉛直方向はプレキャスト材の心出位置と一致するようになっている。このようにワーゲンは、吊下げ及び鉛直方向の微調整は可能であるが、プレキャスト材を引込み移動する装置は持っていない。

また、施工要領は図-11に示すように、下弦材施工系と上弦材施工系に分けられる。下弦材系は2本の斜材と下弦材、床版等から成り、つり荷重54.0t、モーメント91.5tmである。上弦材系は上弦材2本、斜材2本、上横げた1本のプレキャスト部材を吊りながら上格点を打設するもので、つり重量22.0t、曲げモーメント124tmである。

(ii) 治具

図-12 張出し施工順序

2本の斜材を三角形に固定するため2種類の治具を開発した。同じ格点に集まる斜材を固定するヒンジ式のもの、相隣格点に向う斜材の角度を固定するトラス式のものである。あらかじめストックヤードにおいて、斜材軸線とゲビンデ鋼棒の交点の心出しを行い、これに合わせて治具を取付け、部材を吊込み後はピンを挿入するだけで固定できるようになっている。治具の斜材に対する取付方は、締付けによる、すなわちせん断力による方法を採用し、直接部材に穴をあける方法は避けた。このため、パッキング材として当初硬質ゴム板を用いたが、吊上げ時に滑りがみられたため、角材をパッキングとして使用し、滑動を防ぐことができた。

ゲビンデ鋼棒に吊込んでからの微調整は、あらかじめ斜材にマークした点と既設斜材にマークした点との高さ、距離を測定して行う。

(6) 張 出 工

張出工は前述のとおり、上弦材系と下弦材系の順次繰返しにより施工される。以下施工順序について図-12により説明する。

- ① 柱頭部を施工する。この時は中間支点と左右仮支点の3点支持となっている。
- ② 久慈方ワーゲンを組立て上弦材系を施工する。これより先⑨までは、中間支点と久慈方仮支点の2点支持で施工する。
- ③ ワーゲンを移動し下弦材系を施工する。
- ④ ワーゲン位置はそのまま上弦材系を施工する。
- ⑤ 久慈方ワーゲンを移動後、宮古方ワーゲンを組立て上弦材系を施工する。
- ⑥ 宮古方ワーゲンを移動し下弦材系を施工する。
- ⑦ ワーゲン位置は両者そのままとし、久慈方は下弦材系、宮古方は上弦材系を施工する。
- ⑧ 宮古方ワーゲンのみ移動し、久慈方上弦材系、宮古方下弦材系を施工する。
- ⑨ このようにして、左右交互に作業を繰返し、常に久慈方が先行する順序で張出す。
- ⑩ 久慈方ワーゲンを撤去すると同時に、図中A点に仮支柱を建てて支持し、上弦材系を施工する。この時点でブラケット上仮支点の役目は終了する。
- ⑪ 次に宮古方ワーゲンを撤去し、同時に図中B点に仮支柱を建てる。この状態で、両側の端格間をステーキングで施工し架設を終了する。

張出工は、図-13に示すように上弦材系7日、下弦材系7.5日の計14.5日として計画した。実績は上弦材系8.5日、下弦材系9.5日の計18日であった。当初の

図-13 張出し工程

養生3日を4日にしたこと、作業の慣れに時間を要したこと、そして片側の作業状態が反対側の作業と関連して遊びの時間が生じたため等による。

コンクリートの打設は、上弦材系は1打設量が2.5m³と小さいためバケットを、下弦材系は1打設量が18.6m³でポンプ車によった。どちらも格点部の打設に時間を要し、格点1箇所当り約50分を要した。特に下弦材側の格点は斜材のため逆打ちとなる部分があり、コンクリートの沈下をみながら打ち上がる必要があった。

張出架設中は自重、プレストレス、ワーゲン自重等によって、水平、鉛直の両変位が各架設系に応じて生ずる。ワーゲンによる張出終了時(図-12の⑩)の変位量は、計算値で端部5mm、支間中央部で3mmと非常に小さい。これは施工誤差の範囲と考えられ、上げ越し、下げ越しは行わず、架設完了時で直線为目标に定めた。しかし、前述のとおりブラケットの変形が大きかったため、基準線のとり方が困難であった。一応左右仮支点上の格点に基準点を取り、この基準点を結ぶ軸線によってセットの高さを定めた。また、線路こう配5‰へのセットは、仮支点ジャッキにより架設完了直前に行った。張出軸線の精度は計画値に対し、±1cm程度の差を生じたがおおむね良好であった。

5. おわりに

以上、施工を中心に報告してきた。今後の技術的課題として、①架設機械の開発、②柱頭部の施工単位、③オールプレキャスト化、④部材固定の方法、⑤超高強度コンクリートの使用と長大化、等が考えられる。しかし、最大の課題はトラスの需要と経済性にあるといえ、今一つ伸び悩んでいることは否めない。今後の研究に期待したい。

最後に本橋りょうの設計・施工にあたり、ご指導、ご援助いただきました大学の諸先生、国鉄の方々に対し、誌面を借りて謝意を表するものであります。