

論文・報告

貝泊大橋の施工

～曲線半径200mの6径間連続曲線箱桁の全断面送り出し架設～

Construction of the KAIDOMARI bridge

三浦 敏*1
Satoshi MIURA栗山 浩*2
Hiroshi KURIYAMA加納 晋至*3
Shinji KANO

貝泊大橋は、平面線形が半径213m（道路中心線）の曲線を有する6径間連続曲線箱桁である。地形や環境への配慮などの条件により、桁下イベント等の仮設備の設置及び大型重機の進入が困難であったため、6径間全てを全断面（2箱桁）送り出し工法により架設を行なった。過去の実績をもとに支間長と曲率半径の関係から求まる係数からも、難易度が高いと評価される架設条件であるため、本体断面の照査および仮設備に対する種々の検討を行なった。ここでは、曲線箱桁の送り出し架設を施工するにあたり実施した主な検証事項および現場施工の実施事項について報告を行なう。

キーワード：送り出し架設、曲線箱桁、自然環境

1. はじめに

一般国道289号荷路夫バイパスは、福島県いわき市田人町荷路夫地内における幅員が狭く、急カーブ・急勾配が連続する交通の難所の解消を目的として整備されている。このバイパスの一部として施工された貝泊大橋（施工時の橋名：荷路夫2号橋）は、道路中心線上における平面線形が半径213mの曲線を有する6径間連続非合成箱桁橋である。このバイパス整備地域は、豊かな自然が残されており、生態系などの自然環境に配慮した道路（エ

コロード）として整備されている。環境への配慮と架橋高さが50m近くあることなどの理由により、手延べ桁による送り出し工法にて架設を行った。曲線桁の架設は、送り出し最大支間長（L）と曲率半径（R）との係数 $L^2/R = 12.25$ を境界として、これを越える場合、難易度が高い工事とされるが、本橋は、 $L^2/R = 14.7$ であり、本体および仮設備に関する安全性に対する種々の検討が必要であった。^{1), 2)}

図1に橋梁位置図および全体一般図³⁾を示す。

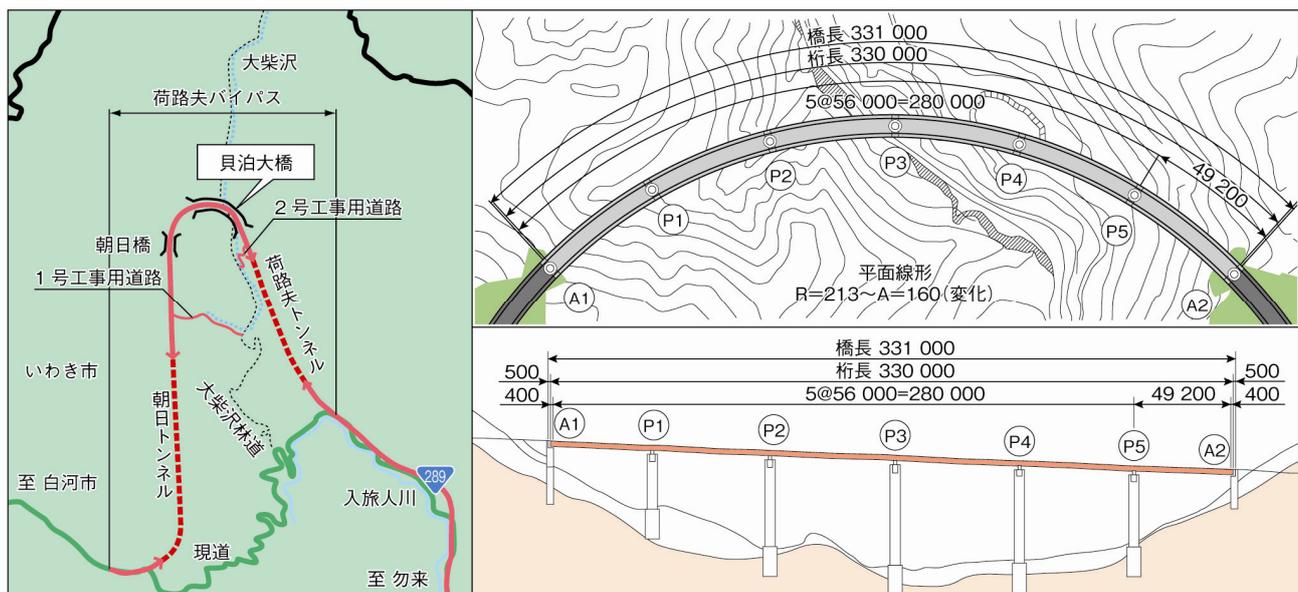


図1 橋梁位置図および全体一般図

*1 川田工業㈱ 橋梁事業部工事部東京工事部工務課 係長

*2 川田工業㈱ 橋梁事業部技術部東京技術部富山技術室 係長

*3 川田工業㈱ 橋梁事業部工事部東京工事部工務課 係長

2. 工事概要

(1) 工事概要

橋名：貝泊大橋
 発注者：福島県
 施工者：川田・佐藤・古河特定建設工事共同企業体
 路線名：一般国道289号
 所在地：福島県いわき市荷路夫地内
 工期：自) 2006年10月16日
 至) 2009年2月27日

(2) 橋梁諸元

形式：鋼6径間連続2主箱非合成箱桁橋
 橋長：331.0m
 支間長：5@56.0m+49.2m
 有効幅員：9.0m
 縦断勾配：4.0% (片勾配)
 横断勾配：6.0%~2.0% (片勾配)
 平面線形：R=213m~A=160m
 舗装：アスファルト舗装 (t=80mm)
 活荷重：B活荷重
 防錆仕様：耐候性鋼材裸仕様

3. 架設設計

(1) 送り出し工法の選定

貝泊大橋の架設地点の路下は、中央付近で交差する大柴沢林道と大柴沢であり、あまり平坦な場所のない谷間に架けられる橋梁である。桁下空間の最大は交差する林道付近にあり、約47mを有している。起点側(A1橋台側)から半分は殆どが急斜面で架設用の大型クレーンの接近は難しく、クレーンでの架設は不可能であると考えられた(写真1)。以上の条件より、終点側(A2橋台側)を地組および送り出しヤードとする「送り出し工法」を選定した。



写真1 工事着工前 A2橋台側から望む

(2) 送り出し時の本体断面の検証

本工事受注時の設計図書において、手延機を用いた送り出し架設による補強設計がされており、垂直補剛材や水平補剛材などの補剛材を追加設置するよう設計図に反映されていた。本工事施工にあたり、実際に使用する機材(曲線手延機⇒直線手延機+格点折れを有する連結構など)に合わせた解析および断面検証を実施した。

送り出し架設は、桁の移動と共に支持位置が異なるため、常に断面力や反力の状態が変化する。そのため桁の送り出しステップ約2m毎の構造解析を行ない、断面照査を実施するのが一般的である。しかし、本橋の場合は曲線を考慮した格子モデルで解析を行なう必要がある。格子モデルにより桁移動2m毎の解析を実施するのは、解析量が膨大になる。そのためコンサル設計においても、汎用ソフトによる1本直線桁としての送り出しステップ2mごとの解析、さらに格子モデルの解析を代表ステップのみ行ない、両結果の比較により算出した割り増し係数を1本直線桁の結果に反映し断面補強設計を行なっている。実施工の条件においても、代表ステップにおいて格子モデルによる解析を行ない、断面力比較により検証を実施した。表1に送り出し時における橋体照査の流れを示す。

(3) 曲線による左右ウェブ反力不均等に対する検証

箱桁を送り出す時、各ウェブ位置にて送り出し装置などで支持するが、曲線の影響により左右の反力が不均等になる。片側ウェブに負反力が生じ、反対側のウェブに

表1 送り出し時における橋体照査の流れ

送り出し時における橋体照査の流れ	
コンサル設計	①1本棒モデルによる2m送り出し毎の解析(直線、1本桁取り出し) ②曲線2主桁を考慮した格子モデルによる解析(代表ステップのみ) ①と②の断面力を比較し、割増係数を設定 再度、①の1本棒モデルにて、割増を加えて解析 ⇒主桁断面照査 →縦リブ・水平補剛材の追加 ⇒腹板局部座屈照査 →垂直補剛材・水平補剛材の追加
一次検証	③実際に使用する手延機、連結構を反映した格子モデルによる解析(代表14ケースのみ) コンサル設計時の設計断面力と新たに求めた断面力の比較を行なう。 ⇒主桁断面、縦桁断面、横桁断面において問題ないことを確認。
二次検証	④曲線による左右ウェブ反力の不均等に対する検証 架設時に実際に支点となるウェブ位置に支点を設けて、左右ウェブの反力不均等の状況を確認。(代表3ケース) ⇒G1-L側ウェブに負反力発生、 G1-R側ウェブは設計値の3倍の反力が発生。 この反力差が、連動ジャッキによる調整が出来る範囲なのかを検証 ⇒G1-L、G2-Lを約0.5mm上げ越すことで、左右均等になる。 よって、連動ジャッキで調整可能な範囲と判断 ⇒局部座屈照査の結果、補強等は不要であることを確認。
三次検証	⑤手延機部分を立体トラスモデルにして立体骨組解析を実施。 (桁折れの影響確認) I断面の手延機は、トラスモデルへ換算して、骨組みを構成。 ⇒手延機の各部材に応力超過等が無いことを確認。

は3倍の反力が生じ、局部座屈が生じる危険があった。そこで、片側のウェブをジャッキアップした時のストロークを算出し、連動ジャッキを使用することで、左右の反力差を均等に近づけることができる量（約0.5mm）であることを確認した。

(4) 手延機の照査

後で詳しく述べるが、曲線桁を曲線方向に送り出す際、手延機は直線であるため、送り方向と手延機の方が異なる。この角度は鋼桁と手延機を連結する連結構に角折れを設けて調整している。そのため、送り出し途中では、径間部に格点折れが生じることになり、手延機にねじり作用が生じる。従って、手延機の部分を図2のような立体トラスモデルにより構造解析を行ない手延べ桁の各部材の応力状態を検証した。

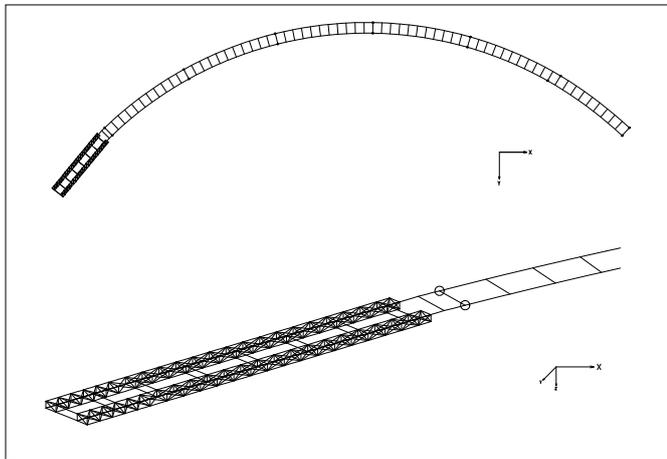


図2 手延機の立体解析モデル

4. 現場施工

(1) 本工事における送り出し架設工法の計画時の留意点
本工事の送り出し架設工法計画時において、以下の点について留意して計画を進めた。

a) 縦断勾配に対する検討

通常送り出し工法が対応可能な縦断勾配は-3%~+4%といわれている。本工事はその上限である+4%の登り勾配である。送り出し力（推進力）は、その+4%の登り勾配を送り出し可能な装置の選定が必要である。

b) 送り出しライン（平面線形）に対する検討

本工事の送り出しラインは平面線形を考慮した半径 R=213m であるため以下の事項について検討した。

①送り出しサイクルによる移動量差の設定（図3）

同一支点上で送り出し装置の内カーブと外カーブのジャッキストローク量に差を持たせることにより

曲線送り出しを可能とする。（1サイクルで外カーブ1000mm に対して内カーブ962mm とする。）

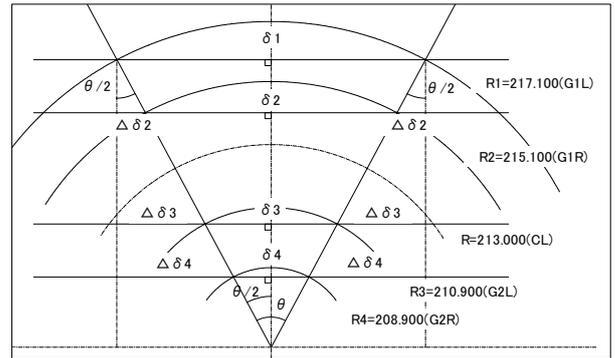


図3 送り出しサイクルによる移動量差 概念図

②送り出し装置移動方向と送り出し基準線との橋軸直角方向の変位量の把握（図4）

送り出し装置の移動方向は送り出し基準線放線に直角であり、送り出し基準線は円弧であるため橋軸直角方向にズレが生ずる。そのズレ量を把握し方向修正時の参考値とする。（1サイクルで0.6mmのズレが発生する。）

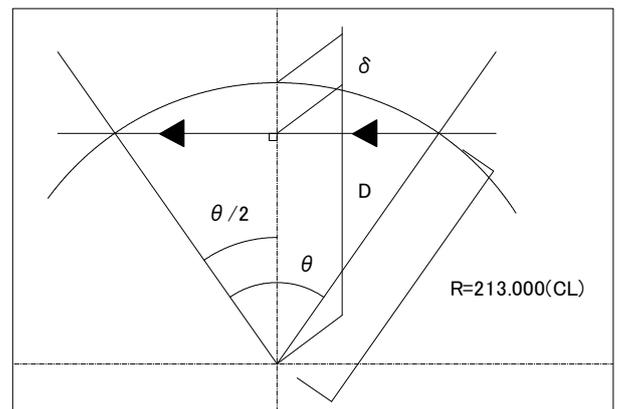


図4 送り出し装置移動方向と基準線との橋軸直角方向変位量 概念図

③送り出し時の橋軸直角方向変位量の把握（図5）

送り出し装置は直線移動であるが桁は曲線であるため送り出すたびにズレが生じるため、そのズレ量を把握し方向修正時の参考値とする。（1サイクルで0.02mmのズレが発生する。）

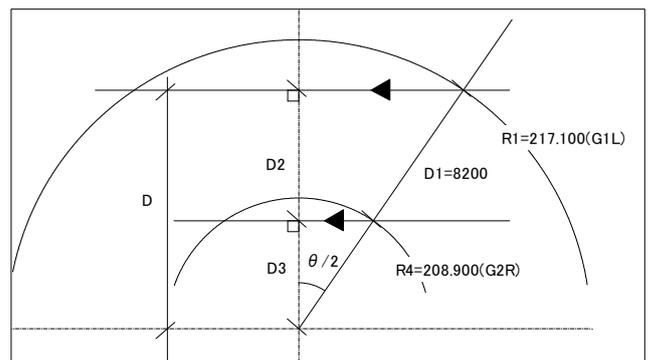


図5 送り出し時の橋軸直角方向の変位量 概念図



写真2 後方台車設備 (クビスジャッキ使用)



写真3 前方台車設備



写真4 地組架台配置状況

④送り出し時の橋軸方向変位量の把握 (図6)

隣り合う橋脚において、送り出し装置サイクル起
点同士の距離と、橋軸直角方向変位量が最大である
送り出し装置サイクル中間点同士の距離に差が生ず
るため、そのズレ量を把握し方向修正時の参考値と
した。(1サイクルで0.16mmのズレが発生する。)

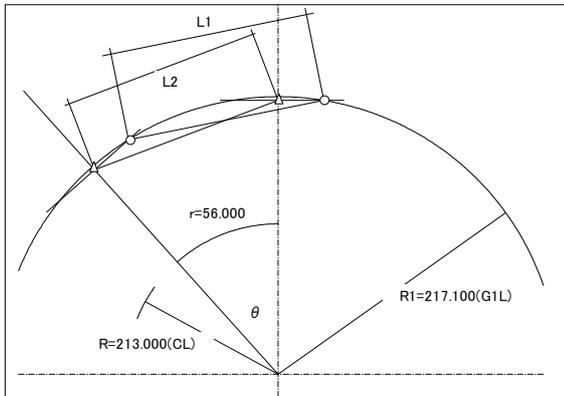


図6 送り出し時の端軸方向の変位量 概念図

⑤手延機と送り出し基準線との変位量の把握 (図7)

桁は曲線であるが手延機は直線であるため、手

延機先端を送り出しライン上とする連結構造角度を設定し
た。そのため各支点(橋脚)を手延機が通過するときの
内カーブ側にズレが生じる。その最大ズレ量を把握し設
備構造に反映した。(手延機通過時の最大ズレ量は
1113mm。)

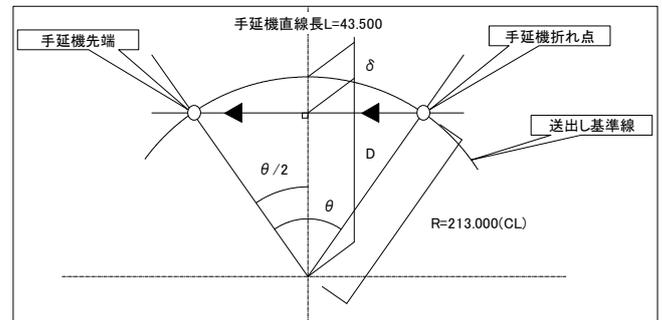


図7 手延機と送り出し基準線との変位量 概念図

以上、検討の結果、最終到達点A1橋台を除く各橋台・橋
脚上に推進設備として送り出し装置(送り出し力20ton、
鉛直耐力200ton)を1脚当たり4セット、合計24セット
を設置し、それらを連動させ送り出し作業をおこなうも
のとした。

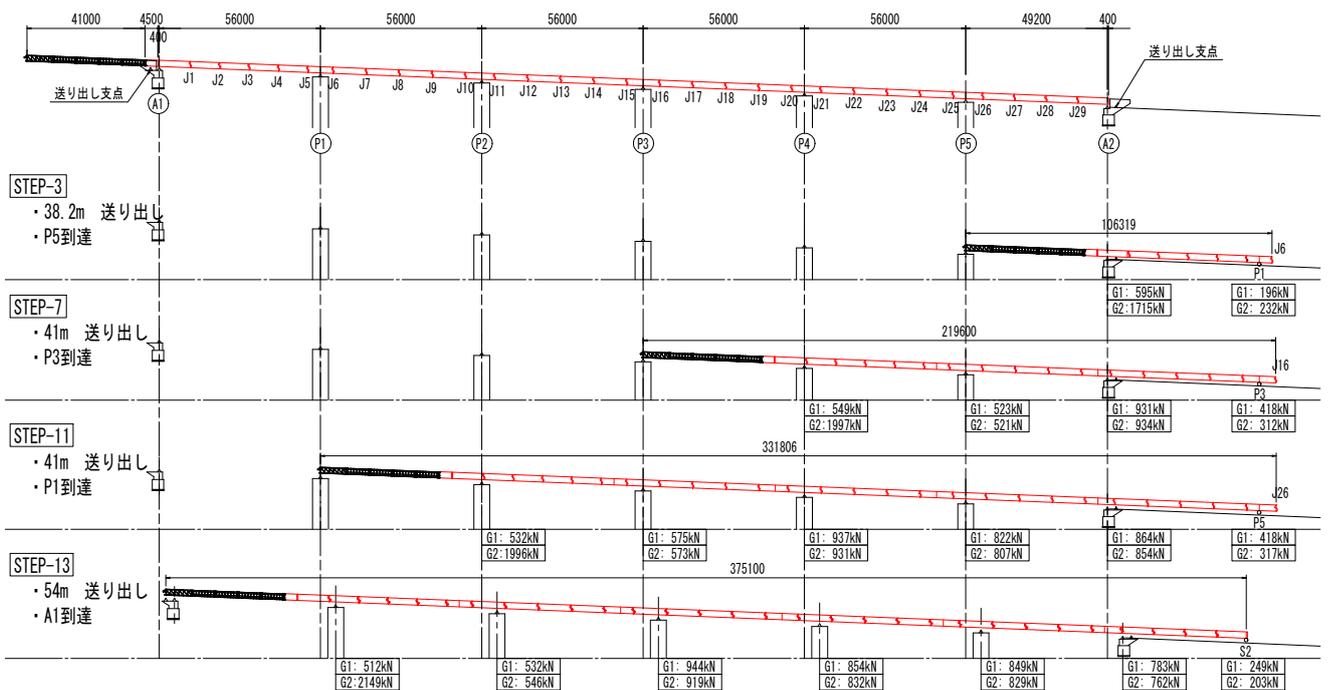


図8 送り出しステップ図 (代表ステップ)



写真5 P5橋脚上での送り出し設備の組立



写真6 配置された送り出し装置



写真7 配置されたスライドベースジャッキ

(2) 主桁及び二次部材の地組・架設

桁本体の地組は、送り出し架設用の軌条設備（37 kgレール+枕木+砕石）及び台車設備を送り出しラインに準じて、半径 R=213m で地組ヤード内に設置した後（写真2,3）、地組架台（写真4）を配置し120ton吊油圧式クレーンにて行った。地組ヤード長の関係から、全橋を一度に組上げることができないため、地組及び送り出しステップを14段階に細分し、桁地組と送り出し架設を繰り返しながら全橋を架設した。図8に代表ステップを示す。図9に示すとおり、6径間を全橋送り出すため、都合6回の地組→本締め→送り出しを繰り返す架設手順とした。

(3) 送り出し設備

送り出し設備は、前記した地組ヤード内の軌条設備、台車設備及び手延機に加え、各橋台、橋脚に送り出し装置及び架台を配置した。橋の中間部分のP3橋脚が地上約47mの高さを有していたため、組立解体に50tonラフタークレーンのフルジブ仕様と120ton油圧式クレーンのジブ仕様を使用して行った（写真5）。

送り出し装置は、川田機材で保有している送り出し装置をP4~A2の3箇所、外部からのリースでスライドベースジャッキをP1~P3の3箇所で使用した（写真6,7）。

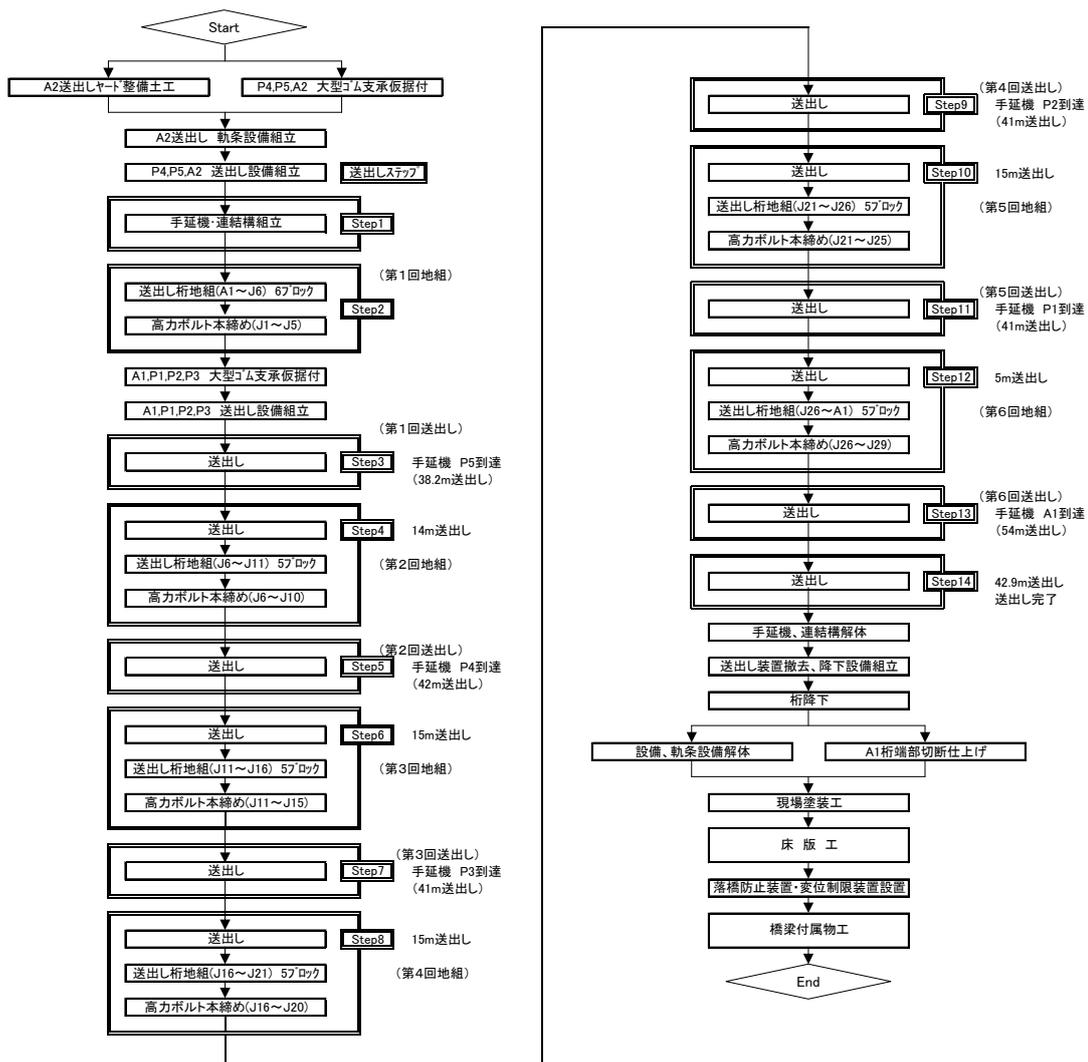


図9 架設工フローチャート



写真8 P3到達を大柴沢林道から望む



写真9 P3到達を大柴沢から望む



写真10 第4回地組み立て完了

(4) 送り出し架設

送り出し架設は、各送り出し装置（推進力）を連動させて行った。送り出し時の各支点での受け荷重（反力）は刻々と変化するため、送り出し1サイクル（約1m）毎に各支点上の送り出し装置に掛かる1主桁当たりのオイルプレッシャーをロードセルを介して荷重表示（ton）するデジタル表示計の実測値を確認し、その反力データが鋼桁の耐力に影響のない荷重であるか、あらかじめ設定した計画荷重内であるか確認しながら管理した。また配置した各送り出し装置には方向修正ジャッキ機能が備えてあり、各支点上に送り出し基準線を明記し、送り出し方向や桁位置について随時計測を行ない適宜調整しながら送り出し作業を行った。2008年2月下旬より開始し同年5月上旬に無事送り出し作業が完了した（写真8, 9, 10, 11）。

(5) 桁降下

送り出し作業および送り出し設備撤去完了後、各橋台、橋脚で約2.1mの桁降下作業を行った。降下作業は、油圧ジャッキ（耐力2000kN×ストローク200mm）を用いて、桁降下時の各支点の反力が鋼桁の耐力に影響がない荷重となるよう降下ステップを検討し、各支点150～300mmずつサンドル降下方式でジャッキダウンし、支承への定着を行った。



写真11 A1到達後手延べ桁撤去併用送り出し

5. おわりに

本工事は、RC床版施工を経て、2009年2月末に無事竣功を迎えた。前述のとおり、本橋を含めた荷路夫バイパスは、調査・計画段階から、設計・施工・管理の段階まで、自然環境の保全にきめ細かく配慮された道路「エコロード」として整備されている。例えば、動物の生息地を分断しないように橋梁やトンネルを多く採用し、さらに動物用の横断構造物を設置して動物の移動を助けるなど、さまざまな工夫が施されている。⁴⁾ 本工事においても、自然破壊が最小限となるよう施工に十分配慮するとともに、地元小学生の学習の場として現場見学会を実施するなど、地域との連携にも積極的に取り組んだ。本報告が今後の同様な橋梁計画の一助となれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり、福島県いわき建設事務所及び川田・佐藤・古河JVの関係者の方々には、多大なるご指導・ご協力を頂きました。この紙面をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) わかりやすい鋼橋の架設Ⅱ, (社)日本橋梁建設協会, 2007.9
- 2) 工法別架設計算例題集シリーズ(2) 送出し工法, (社)日本橋梁建設協会, 2009.3
- 3) 一般国道289号「貝泊大橋」パンフレット, 福島県いわき建設事務所, 川田・佐藤・古河特定建設工事共同企業体, 2008.2
- 4) 一般国道289号「荷路夫バイパス」と「根室工区」パンフレット, 福島県いわき建設事務所, 2004.10