

論文・報告

キーワード

曲線箱桁橋
送出し架設
テフロン板
施工管理
腹板座屈

塩原 9 号橋(曲線箱桁橋)の架設

Construction of The Ninth SIOBARA Bridge

間 島 謙 一*
Ken-ichi MAJIMA

北 見 和 夫**
Kazuo KITAMI

河 野 信 哉***
Shinya KOHNO

島 田 清 明****
Kiyoaki SHIMADA

西 土 隆 幸*****
Takayuki NISHIDO

枝 元 勝 哉*****
Katsuya EDAMOTO

1. まえがき

国道400号は、図-1に示すように、栃木県北那須の中核都市大田原市のほぼ中央を横断し、交通の要衝西那須野町から塩原温泉街へと延びている。さらに、標高1142mの尾頭峠を越えて藤原町上三依で国道121号に接続し、福島県へと続いている。

しかし、尾頭峠をはさんで、塩原町上塩原から藤原町上三依までの10.4kmは、急峻な地形のため、がけ崩れなどにより交通不能の状態であった。交通需要の増加にもかかわらず、利用者は、長い間、主要地方道藤原塩原線へ大きく迂回することを余儀なくされていた。このような背景から、地域の発展を期すため、トンネルを含めた全長7.74kmの道路改良は、昭和46年度に着工、昭和63年秋に完成した。

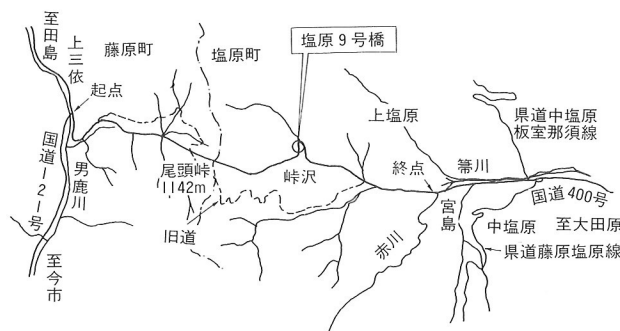


図-1 塩原 9 号橋の位置

塩原 9 号橋は、この道路改良に伴い計画されたものであり、本橋の架設地点の地形的な制約は、構造形式、架設工法に大きく影響した。その結果、本橋は、山肌に沿って平面線形 $R=100\sim 200\text{m}$ 、縦断勾配7.6%、橋長188m

の鋼曲線箱桁橋となった。また、架設工法は、トラベラクレーンによる片持ち式工法とテフロン板による送出し工法を併用するという特殊な方法となった。

テフロン板による送出し工法を曲線箱桁橋に採用したのは国内で初めてのことであり、架設時の桁の挙動が十分に把握されていないことから、架設時に種々の施工管理を行った。

本文は、主として、上部工の架設方法およびテフロン板による送出し工法で行った施工管理の結果について報告するものである。

2. 塩原 9 号橋の計画

(1) 上部工形式

本橋の計画位置は、崖錐が広く分布し、斜面勾配も約 40° と急であった。また、径が2~3mの巨れき帯が分布し、山頂に向かって堆積していた。そのような地形条件から、施工機械による道路建設は不可能であると判断され、洞門工、擁壁工および橋梁について施工性、経済性が比較検討された。その結果、施工時の安全性および地すべり、落石崩壊の危険性を避けることができる橋梁案が採用された。

次に、図-2に示すような、4径間および5径間の連続板桁、連続箱桁、連続トラスという三つの案の中から橋梁形式が決定されることになった。計画位置の地質調査の結果より、断層の影響範囲が予想以上に広いことがわかり、この破碎帯を避けるためには支間長を60~65m、曲線半径を100~200mとする必要があった。また、曲線桁であることから、アップリフトの影響も考慮する必要があった。これらの地形的な制約から上部構造形式には3径間連続箱桁+単純箱桁が採用された。

*川田工業(株)東京工務部工事課係長 **川田工業(株)東京工務部工事課 ***川田工業(株)東京工務部計画一課 ****川田工業(株)技術本部設計部設計課
*****川田工業(株)技術本部中央研究室

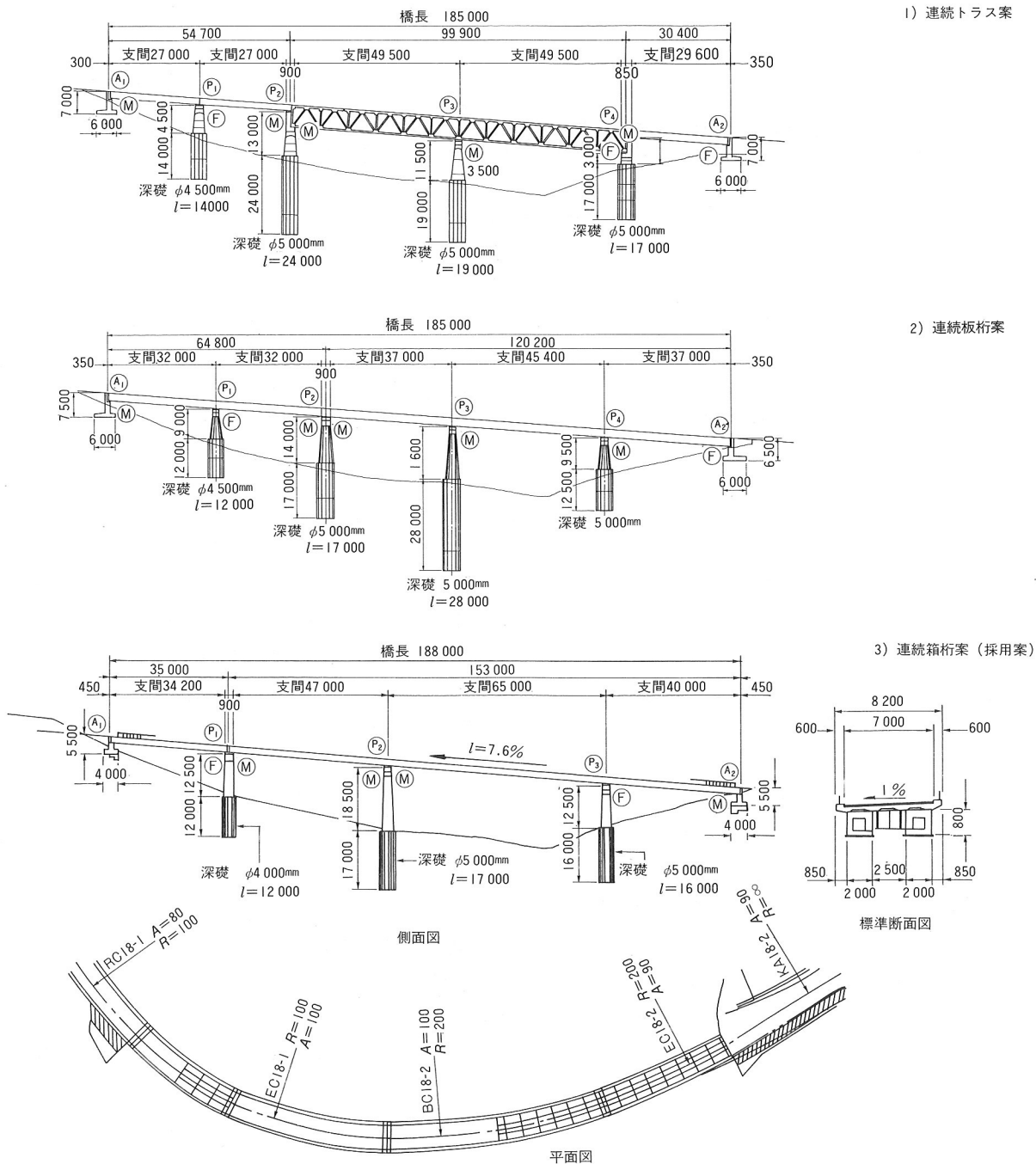


図-2 上部工形式案

架設工法は、架設用機械の桁下への搬入が不可能であるため、トラベラクレーンによる片持ち式工法(A₁~P₂間R=100m)と、テフロン板による送出し工法(P₂~A₂間R=200m)を併用するという特殊な方法となった。

また、幅員を考えると、1箱桁および2箱桁が適当であるが、桁の輸送と架設工法を考慮し、2箱桁が採用された。

(2) 下部工形式

上述したように機械施工は不可能であるため、下部工は、人力施工による深礎基礎形式が最適となった。

深礎基礎形式は、一般に図-3の形式となり、1), 2)の形式が経済的であるという検討結果が得られた。また、

2本基礎にした場合には、山側と沢側が同時施工できないため工期が長くなり、冬期積雪時も考慮して、下部工は、1)の大口径による1本柱形式(杭径φ4 000, 5 000 mm)が採用された。

設計条件を表-1に、また、架設の全体工程表を表-2に示す。

3. 架設要領

架設一般図を図-4に、架設状況を写真-1に、そして架設条件を表-3に示す。

(1) トラベラクレーンによる片持ち式工法

比較的ベント高さが低いA₁~P₂間には、ベントを2

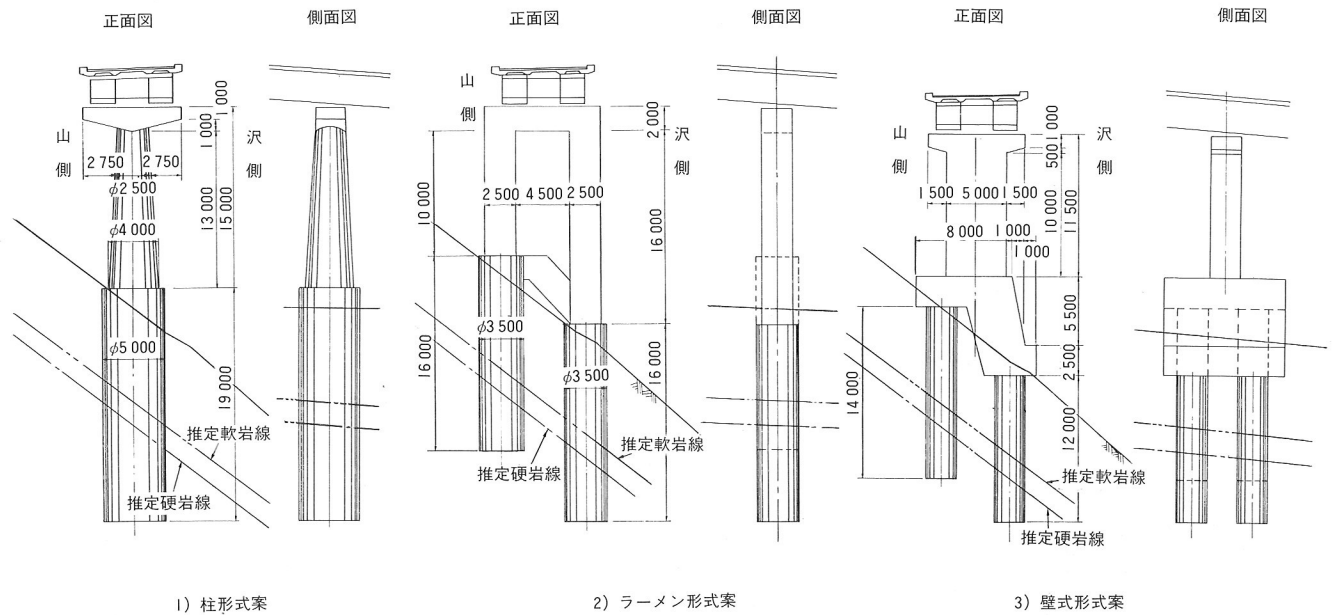


図-3 橋脚形式案

表-1 設計条件

道路規格	第3種 第4級
橋 格	1等橋 (TL-20)
橋 長	188.000m
形 式	単純箱桁+3径間連続箱桁
支間(m)	34.20+47.00+65.00+40.00
幅員(m)	7.00~7.50
線 形	平面線形 単 円 区 間: $R=100.00\text{m}$ (1車線あたり0.25m拡幅) $R=200.00\text{m}$ クロソイド区間: $A=100$ $A=90$ 縦断線形 片勾配 $i=7.635\%$ 横断線形 片勾配 $1.5\sim6.0\%$ 斜 角 $90^{\circ}00'00''$
設計震度	$K_h=0.18$, $K_{hm}=0.23$
適用図書	道路橋示方書・同解説: 日本道路協会, 昭和55年2月 鋼道路橋設計便覧: 日本道路協会, 昭和54年2月 鋼道路橋施工便覧: 日本道路協会, 昭和60年2月

表-2 架設の全体工程

(昭和62年) 月	3	4	5	6	7	8
工場製作, 輸送工	61/10~62/5					
準備, 設備工						
送出し架設工 ($P_2\sim A_2$)						
トラベラクレーン架設 ($A_1\sim P_2$)						
設備撤去工						
EXP, 支承, 排水工						
後片付け						

表-3 架設条件

風 荷 重	30m/s										
水 平 震 度	$K_h=0.09$										
衝 撃 荷 重	$i=0.2$										
最大支点反力	片持ち式架設 G_1 桁170t, G_2 桁25t 送出し架設 G_1 桁256t, G_2 桁94t										
鋼 重	471t, 送出し鋼重278t										
摩 擦 係 数	0.10										
不均等係数	1.50										
反力作用幅	800mm										
許容応力度の割増し	鋼構造架設設計指針による 許容応力度の割増し係数の標準 <table border="1"> <thead> <tr> <th>荷重の組み合わせ</th><th>割増し係数の標準</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(1) $P_0+H_0+T+F+U+S$</td><td>1.0</td></tr> <tr> <td>(2) $P_0+H_0+T+I+F+U+S$</td><td>1.1</td></tr> <tr> <td>(3) $P_0+W+T+F+U+S$</td><td>1.1</td></tr> <tr> <td>(4) $P_0+EQ+T+F+U+S$</td><td>1.3</td></tr> </tbody> </table> 1. 基本鉛直荷重 (P_0) 6. 衝撃荷重 (I) 2. 風 荷 重 (W) 7. 摩 擦 力 (F) 3. 地震荷重 (EQ) 8. 不均等荷重 (U) 4. 温度変化の影響 (T) 9. 予想される特殊な荷 5. 照査水平荷重 (H_0) 重 (S)	荷重の組み合わせ	割増し係数の標準	(1) $P_0+H_0+T+F+U+S$	1.0	(2) $P_0+H_0+T+I+F+U+S$	1.1	(3) $P_0+W+T+F+U+S$	1.1	(4) $P_0+EQ+T+F+U+S$	1.3
荷重の組み合わせ	割増し係数の標準										
(1) $P_0+H_0+T+F+U+S$	1.0										
(2) $P_0+H_0+T+I+F+U+S$	1.1										
(3) $P_0+W+T+F+U+S$	1.1										
(4) $P_0+EQ+T+F+U+S$	1.3										
トラベラクレーン	自重47.6t, 作業半径17.5m, 最大吊り荷重20t										
手 延 べ 桁	長さ50m, 鋼重94t										
ジ ャ ッ キ	送出し用センターホールジャッキ2台 能力200t/台, ストローク500mm 反力管理用鉛直ジャッキ8台 能力600t/台, ストローク70mm										
適 用 図 書	道路橋示方書・同解説: 日本道路協会, 昭和55年2月 鋼道路橋施工便覧: 日本道路協会, 昭和60年2月 鋼構造架設設計指針: 土木学会, 昭和53年5月 栃木県土木工事共通仕様書: 栃木県建設業協会, 昭和61年度 労働安全衛生規則: 労働省, 昭和58年6月 鋼橋架設等工事における足場工および防護工の構造基準: 日本橋梁建設協会, 昭和57年5月										

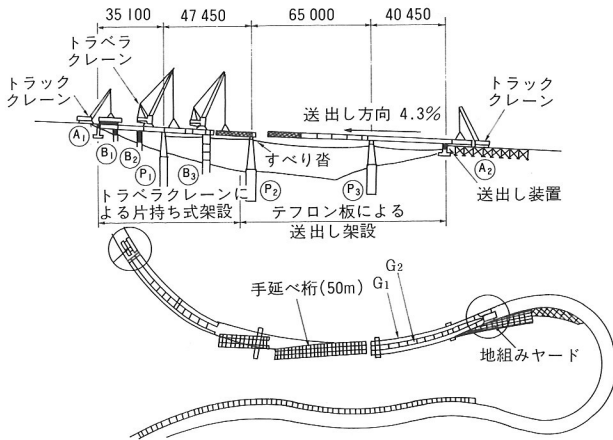


図-4 架設一般図

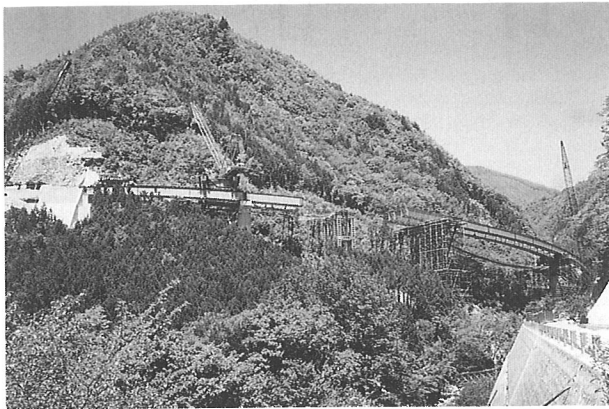


写真-1 架設状況

基 (B_1, B_2) , $P_1 \sim P_2$ 間には、ベントを1基 (B_3) 設置し、片持ち式工法による桁の安定性を確保した。 P_1 上の単純桁と連続桁の不連続部では、トラベラクレーンの走行に支障をきたさないように、それらを仮連結板でつないだ。

なお、架設時にベントに作用する力は、橋軸方向については、橋脚基部からベントに控索を張り、一方、橋軸直角方向については、ベント基部に分担させるようにした。

架設は、図-5に示すステップに従って行った。

(2) テフロン板による送出し工法

架設する主桁は、 A_2 側の道路に設けた地組みヤードで地組み、高力ボルト締めを行った。その際、道路線形の関係から送り出す桁の後端に添接するブロック長を長くできないため G_1 , G_2 桁とも1ブロックずつ添接した。送出しは、 P_2 上と A_2 部にセットしたセンターホールジャッキ(以後、送出しジャッキと呼ぶ)で行った。

送り出し時には、一般に、仮設用の支点(以後、仮支点と呼ぶ)を使うため、桁を完成系の支点位置よりも高い位置で送り出す。そして、送り出し終了後に桁を完成系の支承にセットするためジャッキダウンする。本橋の完成時の縦断勾配は7.6%であるが、送出し完了後の桁のジャッキダ

ウン量を小さくすること、滑動に対する安全度を高めることなどから、送出し時の縦断勾配を4.3%にした。また、架設中の桁の安定性(特にねじれ剛性)を高めるため、左右の箱桁は、横桁を介してあらかじめ一体化して送出した。

テフロン板による送出し工法で用いた装置を図-6に示す。主桁が曲線であるため、送出しジャッキで前方に送り出すと橋軸直角方向にも移動する。そこで今回は、仮支点の幅を900mm(従来は600mm)とした。

仮支点は、送出し中の桁のたわみ、ねじれに追従でき、箱桁の左右の反力を均等に保たなければならない。そこで、仮支点の下にユニバーサルヘッド(球面支承)を有する600tの鉛直ジャッキを1箱桁あたり2台、計4台設置し、1箱桁左右の鉛直ジャッキを1台の油圧ポンプにセットした。そして、油圧ポンプのバルブを開放し、左右のジャッキ圧を等しくした(以後、この処理を連動と呼ぶ)。このような仮支点を A_2 , P_2 上のウェブ下に、それぞれ4基ずつ設置した。

P_2 上では、主に手延べ桁が通過することになるが、手延べ桁はまっすぐなため、 A_2 , P_2 上に比べ、手延べ桁の橋軸直角方向の移動量が大きくなる。その移動量を考慮し、図-7に示すように P_2 を利用して斜ベントを架設し、その上に、表面にステンレス板を張り付けた長さ13.2mの梁を設置し、それを仮支点とした。

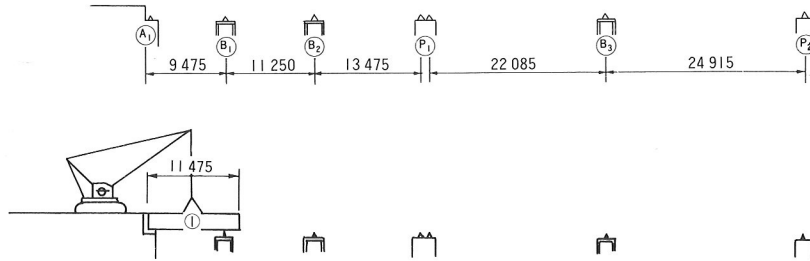
送出しジャッキの盛替え時に、桁が A_2 方向へ滑動するのを防止するため、 A_2 付近の地組みヤードに設けたアンカープレートと桁端部の反力受け梁との間にワイヤロープを渡し、おしみをとった。また、手延べ桁が P_2 上の仮支点に到達直前に最大の張り出し長となり、それに伴い手延べ桁先端のねじれも大きくなることから、そのままでは手延べ桁先端が P_2 上に到達できないと考えた。そこで P_2 上に、手延べ桁を仮支点上に載せるための昇高装置を設置した¹⁾。

送出し工法による架設は38ステップとし、次に示す要領で行った。

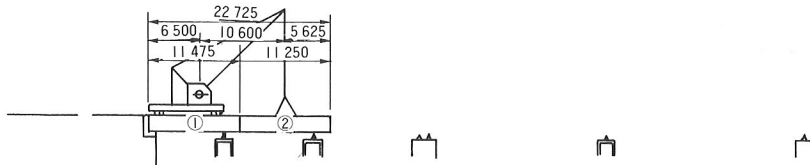
- ① 仮支点後方より、桁と仮支点の間に緩圧材(木材)とテフロン板を挿入する。
- ② 桁端部のスプラインプレートのボルト孔を利用して取り付けした反力受け梁に、PC鋼棒の一種であるゲビンデスターブをセットする。
- ③ ゲビンデスターブを送出しジャッキで引き出し、桁を移動させる。
- ④ 送出しに伴い、仮支点の後方から緩圧材とテフロン板を挿入する。
- ⑤ 1ステップの送出しの後、1ブロックの桁を後端に添接する。

ステンレス板とテフロン板の摩擦係数が、非常に小さ

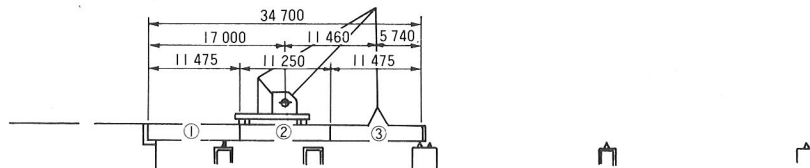
- STEP-1
1. トラッククレーンにて(B₁)
ペント組み立て
 2. クローラクレーンにて①主
桁部材の架設
 3. 架設済み部材上に軌条設備
を設置



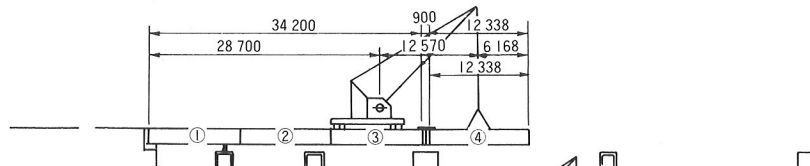
- STEP-2
1. トラッククレーンにてトラ
ベラクレーン組み立て
 2. トラベラクレーンにて(B₂)
ペント組み立て
 3. ②主桁の架設



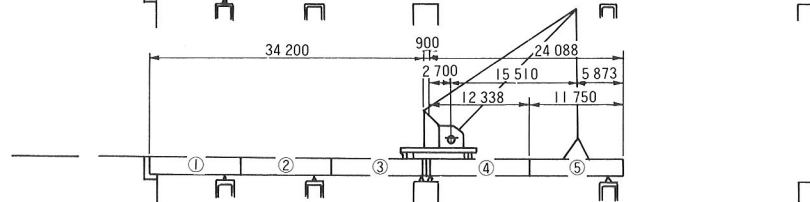
- STEP-3
1. (P₁) 上巻の架設
 2. ③主桁の架設



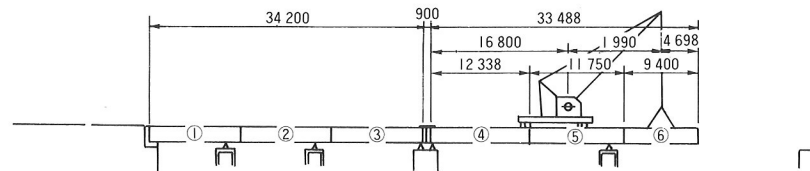
- STEP-4
1. ④主桁の架設
 2. (P₁) 上仮連絡板の取り付け



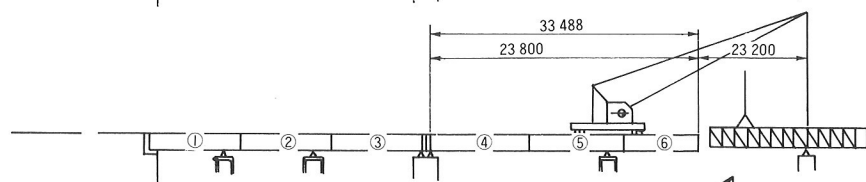
- STEP-5
1. (B₃) の組み立て
 2. ⑤主桁の架設



- STEP-6
1. ⑥主桁の架設



- STEP-7
1. 手延べ桁の解体
 2. 主桁下装置組み立て
 3. 主桁下下



- STEP-8
1. ⑦主桁の架設 (閉合)
 2. 斜ペント解体
 3. 主桁下下装置解体

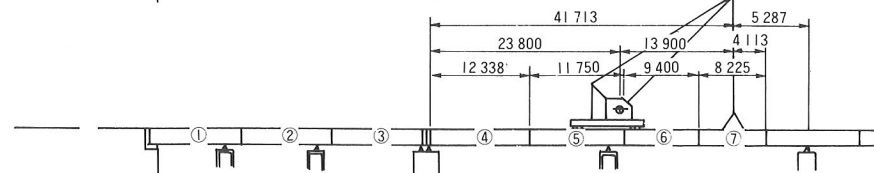


図-5 トラベラクレーンによる片持ち式工法の架設ステップ

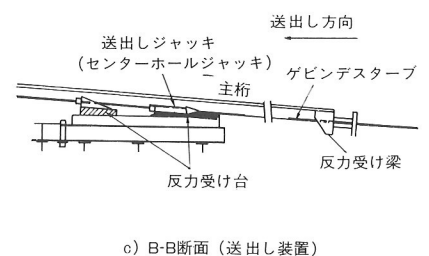
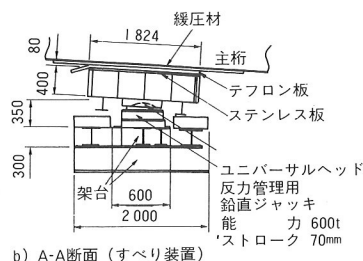
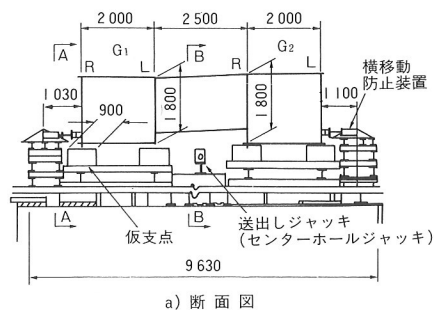


図-6 送出し装置の詳細(A₂, P₃)

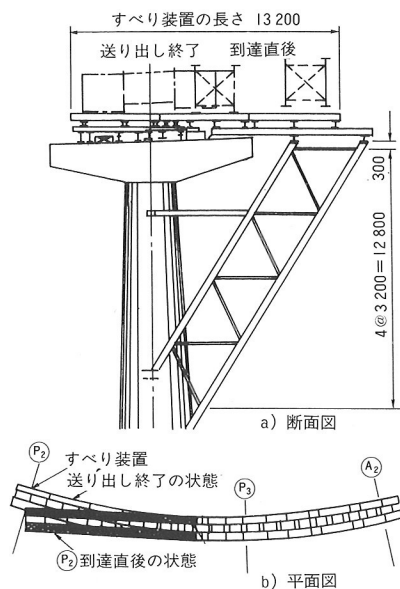


図-7 仮支点の詳細 (P)

いことから、小さな水平力で桁を送り出すことが可能となる。これが、テフロン板による送出し工法の大きな特徴である。

架設ステップの一部を図-8に示す。今回は、曲線桁であるため、送出しに伴う手延べ桁の張り出し長の増加による後方支点の負反力(桁の浮き上がり)に加え、桁がねじれることによる負反力も生じる。そのため、ステップ⑮～⑳ではG₂桁後端にG₁桁の1ブロックを載せて、A₂側のG₂桁仮支点の負反力への対処とした。

(3) 閉合およびベント解体

片持ち式工法により架設した桁と、送出し工法により架設した桁との閉合およびベントの解体方法を図-9に示す。

4. 架設検討

架設時の桁に作用する断面力は、左右の箱桁を各一つの梁とみなし、横桁を力学的に等価な部材となるように置換し²⁾、曲線格子桁モデルとして計算した。

(1) トラベラクレーンによる片持ち式工法

トラベラクレーンによる片持ち式工法に対する種々の検討を以下の方法で行った

まず、各架設ステップごとに上述した方法で桁に作用する断面力と、トラベラクレーンの四つの脚から軌条設備上に作用する力を計算した。それらの計算結果より、(B₁)、(B₂)、(B₃)ベント本体およびそれらベントの転倒防止用ワイヤ、(P₁)上仮連結材などの応力検討を行った。また、軌条設備、トラベラクレーンの滑動防止用おしきワイヤなどの応力検討およびトラベラクレーンの転倒の検討を行った。

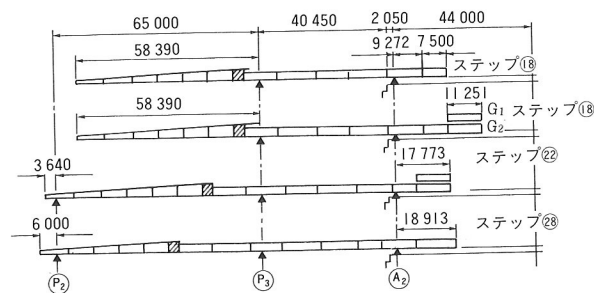


図-8 テフロン板による送出し工法の架設ステップ

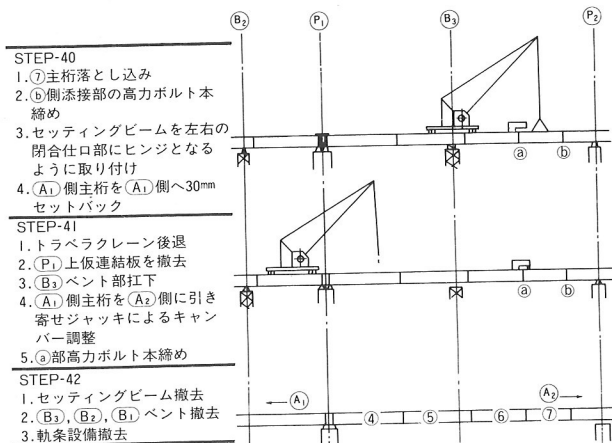


図-9 閉合およびベント解体方法

(2) テフロン板による送出し工法

著者らは、直線箱桁橋の送出しに対し、完成系のスケルトン、材料特性データ、全架設ステップの支持条件などをあらかじめ入力することにより、各架設ステップの桁の断面力計算、上下フランジの全体座屈の照査、ウェブの局部座屈の照査³⁾などを自動的に行う架設プログラムを開発した^{4),5)}。さらに今回は、このプログラムを拡張して曲線箱桁橋の送出しにも適用できるようにした。

前述したように鉛直ジャッキを連動にしたが、曲線箱桁橋のため、仮支点上の桁のねじれ角が大きくなり、反力の不均等が起こる可能性があると考えた。そこで、ウェブの局部座屈の照査に対し、不均等荷重を考慮して割増し係数を1.5(すなわち、計算した反力を1.5倍とする)とした。また、架設ステップの中で横桁に作用する曲げモーメントが完成系の値以上の場合には、そのつど横桁の応力検討を行った。

ステンレス板とテフロン板の摩擦係数は、送出し工法と同条件を持つ室内実験を行った結果^{6),7)}から0.10とした。また、各架設ステップの鋼重と縦断勾配の影響による水平力を考慮し、送出しジャッキの能力を200t、ゲビンデスターブの直径を36mmとした。

5. テフロン板による送出し工法の施工管理

テフロン板による送出し工法で行った管理項目を表-

4に示す¹⁾。

これらの管理項目の中で、特に重要と思われる反力や摩擦係数、反力分布幅の管理方法と、その結果および考察について以下に述べる。

(1) 管理項目

a) 反力、摩擦係数

送出し中に、仮支点の据え付け誤差、桁の製作誤差などの影響により反力が管理値(割増し係数に対応させ反力の計算値の1.5倍)を超える場合には、ウェブの局部座屈を生じる恐れがある。また、ステンレス板とテフロン板の摩擦係数が設計値を超えると、送出しジャッキやゲビンデスターブにも過大な負担がかかり送出しが不可能となることも考えられる。

そこで、仮支点の鉛直ジャッキに圧力計を、また、反力受け梁にセンターホール型ロードセルを取り付け、油圧ジャッキの油圧およびゲビンデスターブの引張力を測定した。そして、これらから得られる実測値を施工管理用のマイコンに送り、送出し中は常にリアルタイムで管理値と対比させた。

b) 反力分布幅

著者らは、直線箱桁橋の場合に、仮支点上のたわみ角が大きくなる架設状態においても、仮支点到ユニバーサルヘッドを用いることによって設計値を十分に満足する反力分布幅が得られることを確認した⁸⁾。

しかし、曲線箱桁橋では、片持ち状態の張り出しが長くなるに従い、仮支点上のたわみ角と同時にねじれ角も大きくなる。そのため、圧力パッドによって反力分布幅を測定し、ウェブの局部座屈の検討に用いた反力分布幅800mmを満足しているかを確認した。なお、圧力パッドとは反力分布を測定するために独自に開発したもので、パッドにかかる鉛直荷重を三軸ゲージを使って測定するひずみゲージ式変換器である⁹⁾。

分布幅の測定は、仮支点のたわみ角、ねじれ角が共に大きくなるステップ⑮の(P)、ステップ⑳の(A₂)で行った。

(2) 施工管理結果と考察

a) 反力、摩擦係数

各架設ステップにおける仮支点(P₃)反力の管理結果の一部を図-10に、摩擦係数の管理結果を図-11に示す。

これらの結果から、仮支点のねじれ角が大きくなる場合にも、鉛直ジャッキを連動にすれば1箱桁左右の仮支点の反力は均等になることがわかった。

②仮支点では、送出し中の反力が小さい時に、反力が管理値を超えるステップがあった。その場合には、反力の実測値および、その反力からマイコンで計算したせん断力と曲げモーメントを用いてウェブの局部座屈を検討し、安全性を確認した。所要座屈安全率³⁾が1.0以上となる場合には、仮支点の鉛直ジャッキのストロークを上下することにより強制変位を与えて、反力の調整を行う

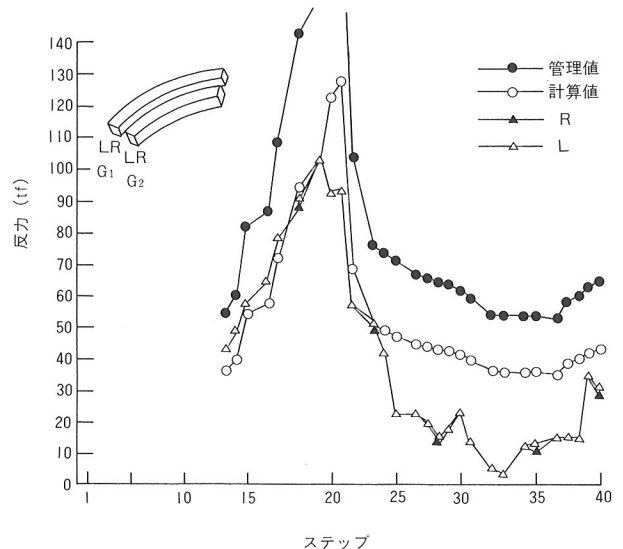


図-10 各ステップにおける反力 (P₃, G₁)

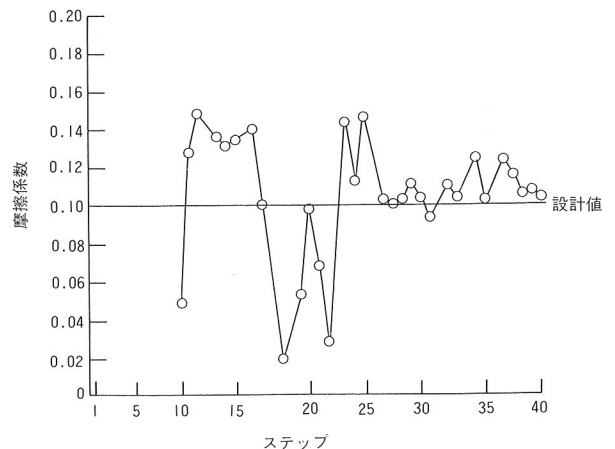


図-11 各ステップにおける摩擦係数

表-4 施工管理項目

施工管理項目	目的	測定機器
仮 支 点 反 力	ウェブの局部座屈の防止	圧 力 計
ステンレス板と テフロン板の 摩 擦 係 数	送出しジャッキ、ゲビンデ スターブの管理	センターホール型 ロードセル
仮 支 点 の 標 高、 たわみ角、ねじれ角	仮支点の管理	変 位 計
仮 支 点 の 桁 の 横 移 動 量 (橋軸直角方向)	送出し方向の修正、横移動 防止装置の管理	スケール
仮 支 点 上 の 反 力 分 布 幅	ウェブの局部座屈検討方法 の確認	圧力パッド
桁の温度変化による 変 形	形状管理 反力変化量の把握	熱電対レベル・ト ランシット

ことにしていたが、今回、その必要はなかった。

一方、摩擦係数は、ほとんどの架設テスツで設計値の0.10以上となった。この原因として、 G_2 桁が P_3 の横移動防止装置に接触していたことが挙げられる。摩擦係数が0.10以上の場合には、そのステップにおける摩擦係数と、計算した反力の計算値の合計(鋼重)から送出しジャッキとゲビンデスターブの安全性を確認した。

b) 反力分布幅

測定結果の一部を図-12に示す。これらより、たわみ角、ねじれ角がともに大きくなる場合でも、仮支点到ユニバーサルヘッドを用いれば、直線箱桁橋と同様に仮支点は、そのほぼ全幅で桁を支持でき、架設検討時の分布幅800mmを確保できることがわかった。

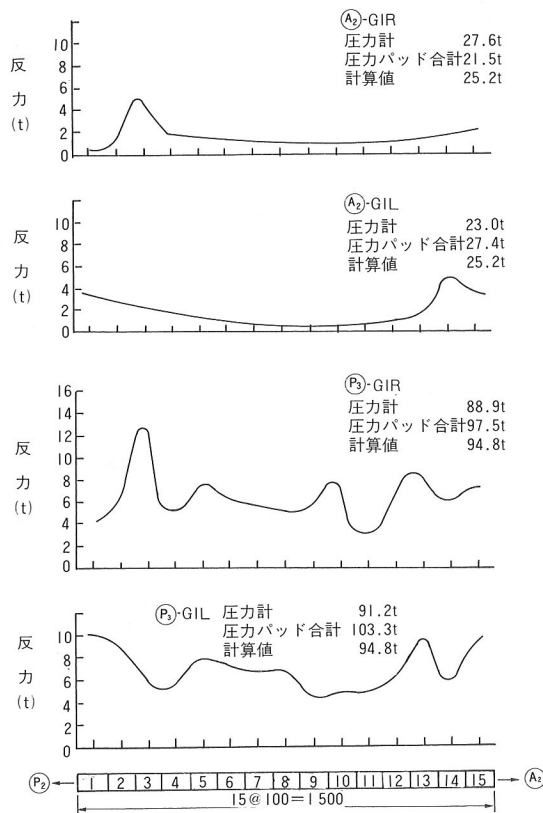


図-12 反力分布幅

(3) まとめ

表-4に挙げた項目に対する施工管理結果から、以下の考察が得られた。

- ① 仮支点的反力は、曲線箱桁橋の場合も1箱桁左右の鉛直ジャッキを連動することにより均等になった。
- ② ユニバーサルヘッドを持つ鉛直ジャッキを連動としたため、仮支点は桁の変位に追従できた。
- ③ 仮支点は、架設検討時の仮定どおりピン支持となっていた。
- ④ 反力作用幅は、曲線箱桁橋の場合でも架設検討時

の仮定を十分満足していた。

- ⑤ 日照による桁の温度変化によって手延べ桁先端に最大100mm程度の鉛直方向の変位が生じたが、そのたわみ量に対し、仮支点到桁を上げ越す力は約2tと大きいものではなかった。また、手延べ桁先端の水平変位に及ぼす日照の影響は小さいものであった¹⁾。

6. あとがき

鋼曲線箱桁橋である塩原9号橋は、極めて厳しい地形的な制約条件により、トラベラクレーンによる片持ち式工法とテフロン板による送出し工法を併用し、無事架設を完了することができた。

塩原9号橋を含めた国道400号の利用者は、古くから交流のあった南会津地方や横川、上三依と塩原を結ぶ暮らしの幹線としてばかりでなく、日光国立公園内の日光、塩原、那須などの名所、旧跡を効率的に周遊することができるようになった。また、それに伴い新たな観光開発が推進されることが予想され、国道400号に住民の大きな期待が寄せられている。

最後に、本架設工事全般にわたり、ご指導いただいた栃木県土木部の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 本田・小島・間島・西土：塩原9号橋の架設、テフロン板による送出し架設、橋梁と基礎, Vol.22, No.9, pp.9~16, 1988年9月。
- 2) 小西編：鋼橋(設計編II), 丸善, p.416, 1977。
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋施工便覧, pp.408~411, 1985年8月。
- 4) 西土・前田・深尾・浦井：鋼桁送出し架設検討用プログラムと施工管理システム, 土木学会第11回シンポジウム論文集, No.11, pp.167~174, 1986年10月。
- 5) 水口・渡辺・前田・西土・浦井・深尾：鋼桁引出し架設時の断面力および図化システム, 川田技報, Vol.5, pp.129~134, 1986年1月。
- 6) 西土・渡辺・前田：テフロン板使用時の鋼桁引出し工法に関する2, 3の試験結果について, 第39回土木学会年次講演会講演概要集, pp.403~404, 1984年10月。
- 7) 水木・松野・渡辺・前田・西土：テフロン板使用の鋼桁引出し工法に関する2, 3の検討, 川田技報, Vol.4, pp.113~122, 1985年1月。
- 8) 岡田・服部・松田・渡辺・西土：テフロン板による鋼桁引出し架設工法, 新掛斐川橋, 橋梁と基礎, Vol.20, No.12, pp.9~15, 1986年12月。
- 9) 西土・島田・本田：鋼曲線箱桁橋のテフロン板による送出し架設に関する2, 3の考察, 第43回土木学会年次講演会講演概要集, pp.470~471, 1988年10月。