

上信越自動車道 北千曲川橋（Ⅱ期線）の施工報告 （剛結構造、合成床版）

Construction of Kita Chikumagawa Bridge (Phase II Line) on Joshinetsu Expressway (Rigid Frame Structure, Composite Slab)

佐藤 正勝*¹ 河重 貴之*²
Masakatsu SATO Takayuki KAWASHIGE

Summary

Turning in the four-lane construction of the Joshin-etsu Expressway performed by the Hokuriku Branch of the Japan Highway Public Corporation, high-level safety was required since the Kita Chikumagawa Bridge work (Phase II Line) was conducted near the in-service road (Phase I Line). A characteristic of the main structure is laid that the intermediate support is steel-concrete composite rigid frame structure of steel box girder and RC pier. For this rigid connection, self-filling, superplasticized concrete was employed in order to ensure casting firmly to the joint. A steel-concrete composite slab was selected in view of reduction of dead load, improvement of durability and seismic resistance, cost reduction, and shortening of construction period. Casting concrete in the rigid-connection was conducted in winter (the dry season) because its execution on the riverbed, and launching erection of main girder was carried out from the opposite bank in the wet season. During the dry season, construction of the rigid connection was added to the normal erection process, and the overall process was carefully controlled to complete the work.

キーワード：剛結構造、高流動コンクリート、充てん性、供用線近接施工、冬期施工（渇水期施工）、送り出し施工、合成床版

1. はじめに

本橋は長野県北部の信州中野 IC～豊田飯山 IC 間に位置し、一級河川千曲川を横過する橋長 350.55m の鋼 4 径間連続非合成ラーメン箱桁橋であり、現在、交通渋滞緩

和に向けて急速に進められている上信越自動車道の 4 車線化工事の 1 つである。

施工位置図を図 1、全体一般図を図 2 に示す。

平成 9 年に完成し、既に供用中のⅠ期線と近接して建設される本橋（Ⅱ期線）は、阪神淡路大震災における鋼橋の損傷状況を踏まえ、耐震性に配慮した構造としており、その 1 つは桁の中間支点部で RC 橋脚と鋼箱桁を剛結する複合ラーメン構造を採用している点にある。本構造は耐震性に優れており、中間支点部の支承を省略できるため、経済的に有利であり維持管理の軽減が期待できる。2 つ目は、床版に鋼とコンクリートの合成床版（以下、合成床版という）を採用し、耐震性の向上はもちろん、死荷重の低減および工期の短縮を図っている点である。

また、工程上の制約として、渇水期施工中（11 月～3 月）に流水部の架設、柱頭部コンクリート施工および棧橋組立・解体の完了が必須条件となり、出水期の送り出し架設を含めた綿密な工程管理が要求された。

本稿は北千曲川橋の現場施工全体を通して、報告するものである。



図 1 施工位置図

*¹ 工事本部工事部部長（現場代理人）
*² 工事本部工事部工事課（監理技術者）

平成15年 2月 2日 P3桁内剛結部 } ①

平成15年 11月 16日 P1桁下部

平成15年 11月 23日 P1桁内剛結部 } ③

①の施工は栈橋の組立・解体があるため工程的に一番厳しい条件であった。

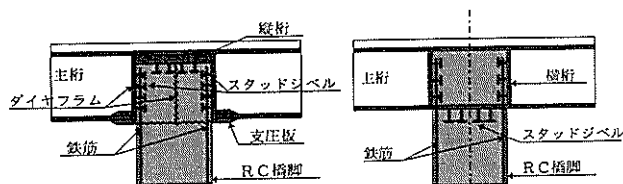
3. 柱頭部の高流動コンクリート施工

(1) 剛結部構造

既に供用中である北千曲川橋Ⅰ期線の鋼桁とRC橋脚との剛結部は、図-3に示すように、柱頭部の橋脚コンクリートを優先させ、主桁下フランジは連続させずに支圧板によって応力を伝達する「下フランジ支圧板形式」が採用されている。この接合部構造は、鉄筋の組立てやコンクリート打込みなどの施工性に優れ、普通コンクリートを用いて十分な充てん性が保証されている。しかしながら、下フランジ支圧板形式は下フランジに引張応力が発生する場合には応力伝達機構が不明確となる。

これに対し、本橋（Ⅱ期線）の剛結部は、平成14年の道路橋示方書改訂に伴う、大規模地震を想定した非線形動的解析を実施した結果、下フランジ側で引張応力の発生が認められた。そこで耐震性の向上と引張応力伝達のため、下フランジを連続させ、鋼桁からRC橋脚への応力伝達は、隅角部内に定着した鉄筋が担う「鉄筋定着形式」を採用することとした。（図-3）

ここにⅡ期線剛結部の構造概念図と鉄筋の組立完了状況写真を示す。（図-3、写真-1）



Ⅰ期線「下フランジ支圧板形式」¹⁾ Ⅱ期線「鉄筋定着形式」

図-3 剛結部形式²⁾

(2) 高流動コンクリートの特徴

「鉄筋定着形式」の剛結部構造は、箱桁下フランジを優先させた構造であることから、コンクリートの施工性、特に箱桁下フランジ下面と箱桁上フランジ下面の充てん性が課題となった。そこで、剛結部のコンクリートは、自己充てん性を有する高流動コンクリートを用いることとした。

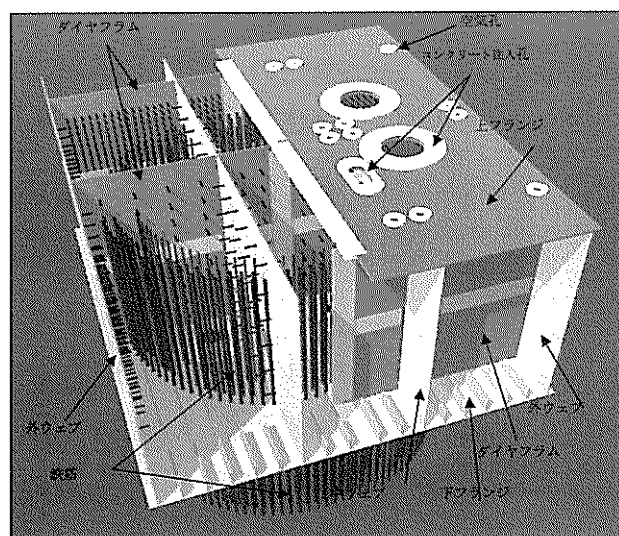


図-4 柱頭部構造概念図

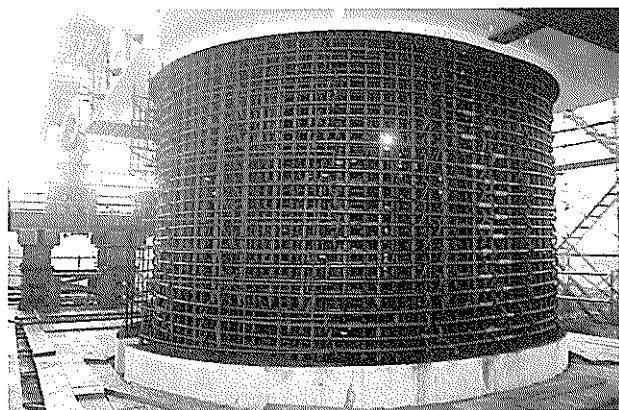


写真-1 柱頭部鉄筋の組立完了状況

高流動コンクリートは、使用する材料の種類や量などの観点から一般に粉体系、増粘剤系、併用系の3種類に分類される³⁾が、本橋では剛結部のコンクリート（マスコンクリート）施工におけるセメント水和熱による温度ひび割れが問題になること、コンクリートプラントの対応が比較的容易であることなどを考慮し、増粘剤系を採用した。

増粘剤系の高流動コンクリートは、増粘剤の効果によって材料分離抵抗性を高めるとともに、高性能AE減水剤の添加により、高い減水性能と所用の流動性が得られることから、基本的にコンクリートの締固めは不要で、打込み後のコンクリート表面はノンブリージングのため、表面処理の必要はない（確認のため、試験施工時にブリージング試験を行い、300時間で0%の結果を得た）。また、セメント粉体量も低減できることから、水和熱の抑制に効果的である。

(3) コンクリートの現場配合

試験施工結果を踏まえて決定した高流動コンクリートの決定配合は下記の通りである。(表-2, 3)

使用した膨張材は、従来タイプよりも添加量を低減できる低添加タイプ（通常使用量は 20kg/m^3 ）としたが、本橋では、セメント量が 400kg/m^3 以上と多いことから「コンクリート施工管理要領」（日本道路公団）における膨張コンクリートの規格値を満足しない恐れがあったため、その添加量を 25kg/m^3 とした。(表-4)

表-2 基本配合条件

種別	設計基準強度 σ_{ca} (N/mm ²)	スランプフロー (cm)	目標空気量 (基準空気量) (%)	セメントの種類	最大塩化物含有量 (g/m ³)	単位水和剤量 (%)
高流動コンクリート	30	55~70	4.5 ± 0.5 (4.5 ± 1.5)	高炉セメントB種	300	C×2.2

表-3 基本配合

水結合材比	細骨材率	単位量(kg/m ³)							増粘剤
W/(C+E) (%)	S/a (%)	W	C	S	G	E	AD	SFCA (g/m ³)	
37.8	48.0	170	425	786	861	25	9.45	200	

表-4 膨張率試験データ

	20kg	25kg
C330kg/m ³	200 μ	300 μ
C480kg/m ³	150 μ	230 μ

(4) 施工上の留意点とその対策

一般的なコンクリートと比較した場合の高流動コンクリートの施工上の留意点としては、下記のものが挙げられる。

- ①ポンプ圧送時の抵抗が大きくなる。
- ②型枠に作用する側圧が大きくなる。
- ③打込んだコンクリートの流動距離を短くする。
- ④仕上げ面を乾燥させない。

増粘剤系の高流動コンクリートは、粉体量を減らしているため、圧送損失量は普通コンクリートとほとんど変わらず、その性状は充てん性を高めるため、見た目はドロドロとしている（モルタルに骨材を入れたような性状）。したがって、コンクリートを打込んだ型枠材には、大きな側圧が作用することから、鋼製型枠の使用が望ましいが、橋脚の断面形状は楕円形であるとともに、その一部に排水目隠し用の拡幅部もあったため、型枠材は、加工が容易な木製とし、所定の強度を確保出来る写真-2の構造を採用した（型枠固定バンドは下半分を@150mm、上半分を@300mmで固定）。



写真-2 木製型枠バンド施工状況

また、高流動コンクリートのノンブリージング性に着目し、打継ぎ目を設けて橋脚部と桁内の2リフトに分けてコンクリートを打込むことで、型枠への側圧低減に配慮した。

また、打継ぎ目を柱部に設けることは構造上望ましくないことから、下フランジから上へ約300mmの高さに設定した。(図-5)

高流動コンクリートの水平方向の流動距離は8mを原則とすることから4) 打込み用のマンホール（ $\phi 600$ ）を下フランジに2箇所、上フランジには4箇所設置し、必要に応じて筒先を入れ替えて、打込みできるようにした。また、打込み後の打継ぎ目は、水分の急激な乾燥によるプラスチックひび割れに配慮し、噴霧器にて水分を定期的に補給した。

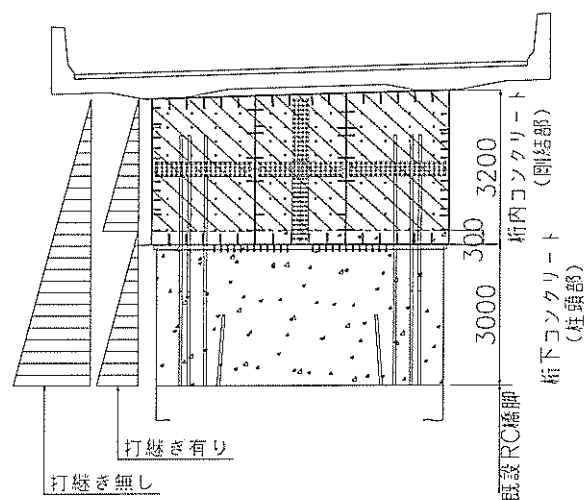


図-5 打継ぎ位置と側圧分布図

(5) コンクリートの打込み

高流動コンクリートは、特殊コンクリートであり、打込んだコンクリートが型枠材に作用する側圧は、通常のコンクリートよりも過大となることから、コンクリートプラントから出荷し、打込み完了までの所要時間を1.5hとし、打込み速度を20m³/h (4m³/車) と小さくした。原則として打込み時には、ポンプの筒先をコンクリートの中に挿入し (筒先から1mの所にマーキング)、その圧力を利用して、材料分離を防止した。なお、前述したコンクリートの打継ぎ目を設けることにより、柱頭部と剛結部で打込み手順が異なるため、下記の通り施工を行った。また、1橋脚に着目したとき、柱頭部コンクリート打込み作業の1週間後に剛結部の打込み作業を行った。

1) 柱頭部コンクリートの打込み

柱頭部は、ほぼ円形の型枠中にコンクリートを打込むため、下フランジ上に打込み作業者を配置し、2箇所の注入口 (φ 600) よりポンプ筒先を抜き差ししながら打込みを行うが、下フランジ鉄筋貫通孔 φ 70 に対して D51 主鉄筋が貫通しているため隙間は小さく、打込んだコンクリートの内、モルタル分しか桁内に入っていない。(写真-3) したがって、この問題を解消するために図-6に示す要領でコンクリートの打込みを行った。

なお、下フランジの縦断勾配の高い側にはスカートプレートからのフロー孔を設けることで、下フランジ下端の充てんも確認出来るようにした。(写真-4) なお、スカートプレートとは、下フランジ下面にリング状に設置した鉄板のことであり、木製型枠組立時の当て板となるとともに、下フランジとコンクリートの境界面から水が侵入するのを防ぐ水切りの役割を担っている。

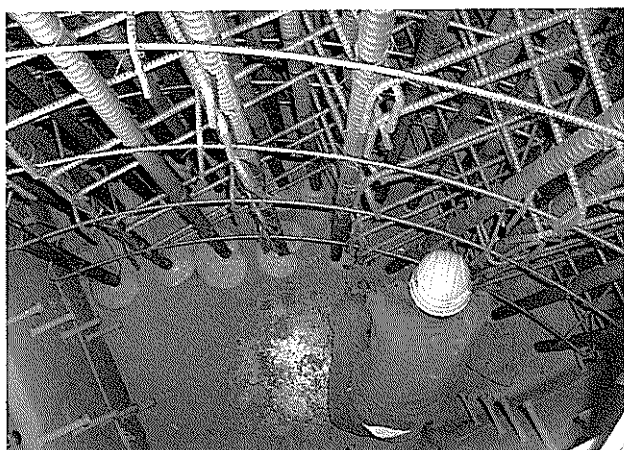


写真-3 下フランジフロー状況

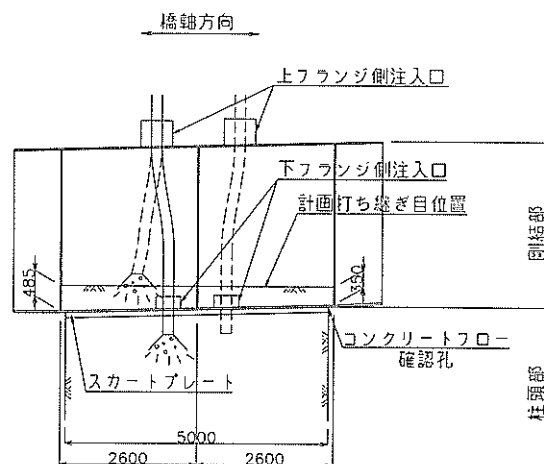


図-6 下フランジ打込み要領

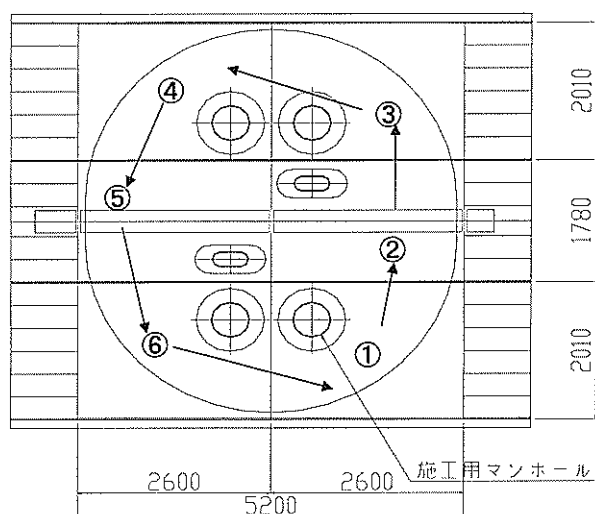


写真-4 スカートPLフロー状況

2) 剛結部コンクリートの打込み

剛結部は、箱桁のウェブにより6つの部屋に分かれており、打込み作業者は、上フランジの上に配置することとした。また、コンクリートの打込みは、柱頭部同様に過大な側圧に配慮し、1車 (4 m³) ずつ部屋ごとに施工した。なお、コンクリートの打込みは、図-7に示すように、①→⑥に順序で繰り返し打込みを行い、その1サイクルの所要時間は75分であった。

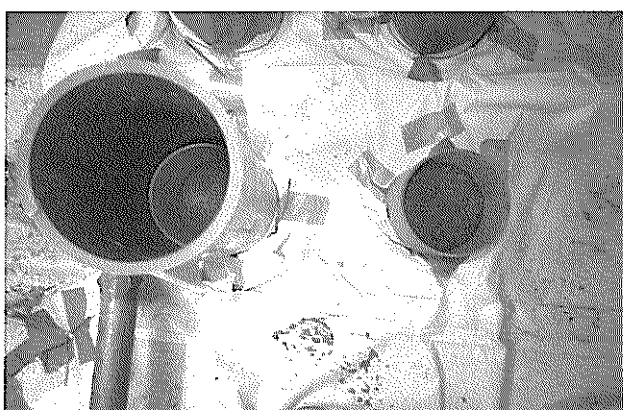
コンクリートの打込みを継続し、打込み面が上フランジに近づくと、縦横断の低い側から圧力を利用して、箱桁内をコンクリートで充てんし、空気孔からのフローを確認することで打込み作業を完了した。(写真-5～7)



図ー7 剛結部の打込み手順



写真ー5 上フランジ充てん補助型棒圧入状況



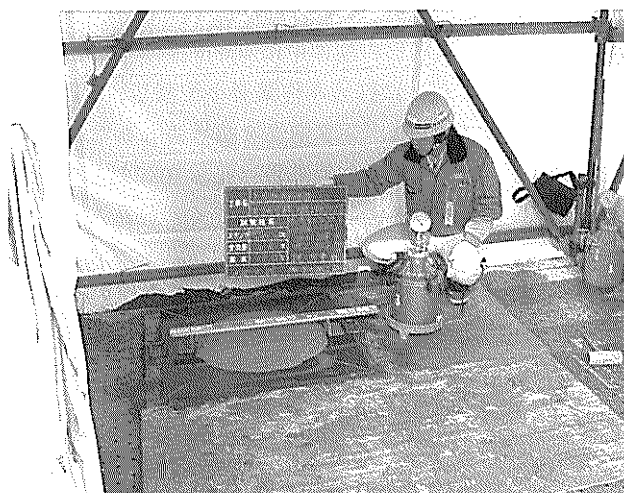
写真ー6 上フランジ空気孔フロー状況

(6) 高流動コンクリートの品質管理

高流動コンクリートの品質管理は、配合表にしたがい、フロー値を全車で確認した。なお、打込み予定日の3日前に経時変化試験を行い、厳冬期の気温・重機械の温度・輸送時間等を考慮し、物性に变化があるかを確認したところ、配合自体には問題がないものの、高性能AE減水剤による流動性の発現が、通常時期に比べて遅いこ



写真ー7 柱頭部高流動コンクリート打設状況



写真ー8 コンクリート受入れ検査

とが分かった。高流動コンクリートの流動性は、工場練り混ぜ完了から約30分を過ぎたあたりからその効果が発現するため、コンクリートフロー値は、出荷時にあらかじめ現着値よりも低めに設定・管理するとともに、荷卸し時にその性状を確認することとした。

品質管理を行う試験室は、全面シートで覆い、風雨に対する対策を講じた場所を確保し、受け入れ検査を行った。(写真ー8)

試験結果は、大きなばらつきもなく、品質の安定した良質のコンクリートを受け入れることができた。(表ー5)

(7) コンクリートの養生

コンクリートの打込み作業が厳冬期であることに配慮し、ブルーヒーターによる給熱養生と外気温により冷え

表－5 コンクリート物性管理表

打設区画		打設年月日		平成15年1月12日			
P2桁下		記 録 者		河 重 貴 之			
工 場		現 場					
No	フロー	Con℃	現場フロー	50cm	停止	空気量	Con℃
1	59.0 × 58.0	11.0	66.0 × 64.0	4.3	56.9	3.5	11.0
2	59.0 × 56.0		66.5 × 65.5	3.4	56.5	4.1	11.0
3			61.5 × 62.5	6.1	55.2	3.9	11.0
4			60.0 × 58.0	5.6	49.3	3.8	11.0
5	57.5 × 57.0	12.0	63.0 × 62.5	3.6	56.8	3.8	11.0
6			62.5 × 61.0	5.0	53.5		11.0
7			62.5 × 62.0	3.5	54.6		11.0
8			59.5 × 57.0	5.9	48.7		12.0
9			59.0 × 58.5	5.0	50.2		12.0
10	58.5 × 56.0	13.0	61.5 × 62.0	3.4	53.9	4.0	12.0
11			59.0 × 57.0	6.6	46.8		13.0
12			59.5 × 58.5	4.8	47.5		14.0
13			62.5 × 61.0	3.1	47.2		14.0
14			60.5 × 58.5	5.2	47.5		14.0
15	58.0 × 59.0	14.0	63.0 × 58.0	4.5	50.7	3.8	13.0
16			62.5 × 60.5	3.8	45.4		14.0
17			63.0 × 60.0	4.3	49.0		14.0
18			63.0 × 61.5	4.5	54.9		14.0
19			64.0 × 62.0	3.9	51.4		14.0
20	59.5 × 59.0	14.0	62.0 × 60.5	4.1	48.3	4.1	14.0
21			64.0 × 61.0	3.8	47.1		14.0
22			62.5 × 63.0	3.8	46.4		14.0

ている鋼桁を暖めるための投光器を数ヶ所に配置することとした。コンクリートの中心温度は、セメント量が多いことから最大約70℃にまで上昇するため、マスコンクリートの内外温度差による温度ひび割れの防止に配慮し、給熱養生は打ち込み後2週間の昼夜継続して実施した。また、養生枠解体は、給熱養生完了後、さらに1週間遅らせ、渇水期施工の工程の許す限り、コンクリートに対して出来る限りの給熱養生を行った。その結果、外気温は氷点下であったにもかかわらず、養生枠内の温度は約10～15℃に保つことができ、養生終了時のコンクリート内外の温度差はほとんど無くなり、有害なひび割れを防止することができた。(写真－9～11)

4. 鋼桁の架設

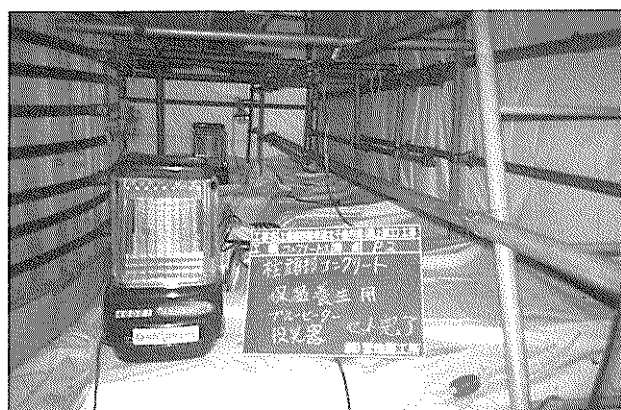
鋼桁の架設は図－8に示す架設計画一般図にしたがい、流水部は栈橋を利用したクローラークレーンベント工法と送り出し工法、河川敷部はクローラークレーンベント工法を採用した。

(1) 第3径間閉合桁の架設

本橋の中間支点部は、鋼桁とコンクリート橋脚との剛結構造であるため、中間支点上の鋼桁ブロックは、先行架設となる。したがって、後架設となる鋼桁閉合ブロックを調整桁部材として架設を行った。この調整桁部材は、



写真－9 養生枠組立完了

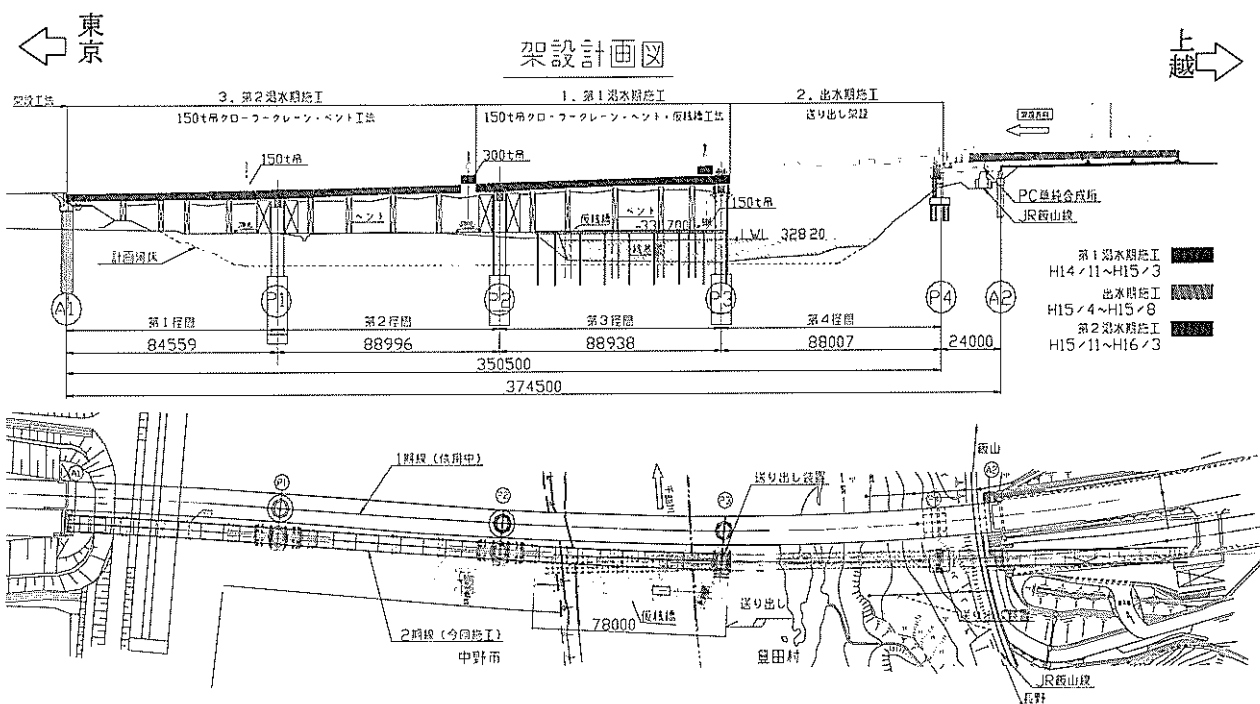


写真－10 養生設備配置完了



写真－11 高流動コンクリート打込み完了

架設空間実測値の工場指示から製作反映・仕上げ塗装・現地納入されるまでに約2週間の期間が見込まれたため、閉合部材の架設に先駆け、先行架設部材のキャンパー検査を受けることで、約10日の工程短縮を図った。(写真－12, 13)

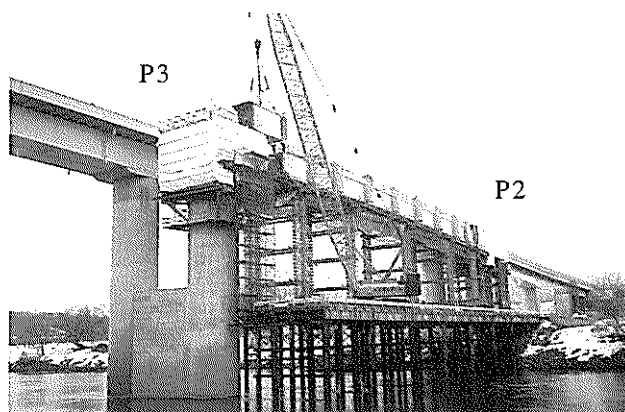


図ー8 架設計画図

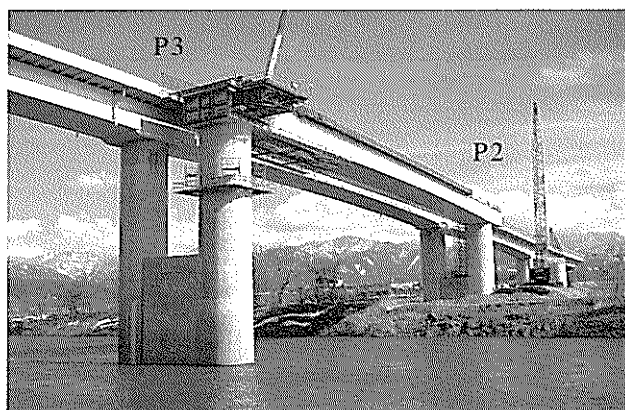
(2) 河川内流水部ベントの解体 (第3径間)

河川内流水部に設置した4基のベント解体作業は、栈橋上からの作業となったが、現地の状況は、いわゆるウナギの寝床であり作業スペースが限られていたことから、安全性の確保と作業効率の向上が課題となった。そこで、2台のクレーンによる相吊解体を採用した。

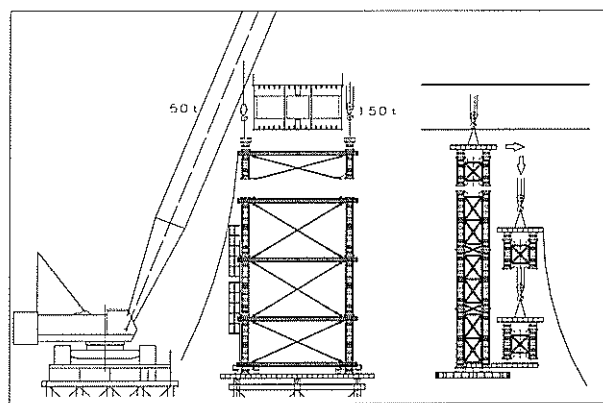
使用クレーンは、架設用の150tクローラークレーンと別の50tラフダクレーンの2台とし、ベント部材の吊り込みおよびベント基部への仮置きまでこの2台で行い、その後の解体作業は、各クレーンの能力に応じた分担作業とすることで完了させた。重機の役割分担を明確にし、作業効率を上げ、高所作業の減少と安全性を確保した。(図ー9、写真ー14, 15)



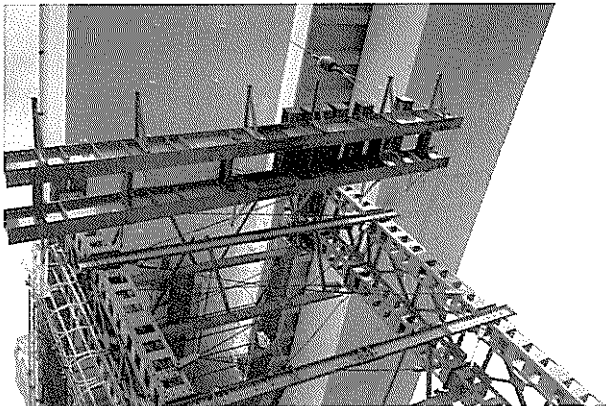
写真ー12 閉合桁の架設状況



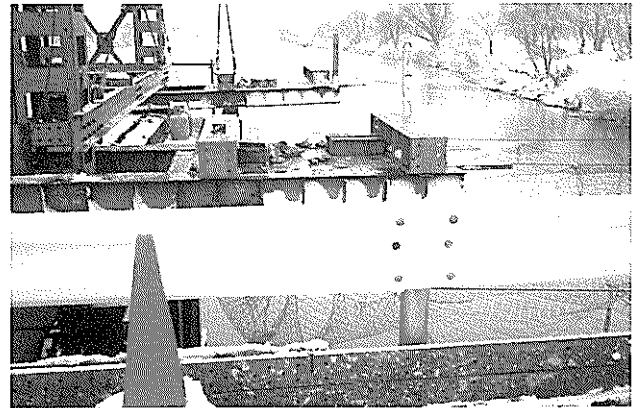
写真ー13 第3径間 (P2~P3) 架設完了



図ー9 河川ベント解体図



写真一14 相吊り解体状況(手前50tRC、奥150tCCで玉掛け)



写真一15 ベント基部受け台設置状況

(3) 送り出し架設 (第4径間)

1) 送り出し架設の概要

本橋の第4径間部 (P3～P4の1径間、約88m) の架設は、A2橋台背面ヤードで組み立てた鋼桁ブロックを1.2% (完成系の縦断勾配は2.7%) の下り勾配で送り出すとともに、送り出し完了後の降下量を減らすため、送り出しヤードの地盤を掘り下げて、送り装置を設置する

こととしたが、ヤードでの軌条設備は設置せず、送り装置のみとした。(図-10)

また、送り出しヤードは、地形的条件から十分な広さが確保できず、桁の組立と送り出しの繰り返し作業となった。

なお、送り出し勾配を1.2%としたのは、送り装置の水平能力及び装置の安定を図るためである。

送り出しブロックはクロソイドを含む平面曲率を有す

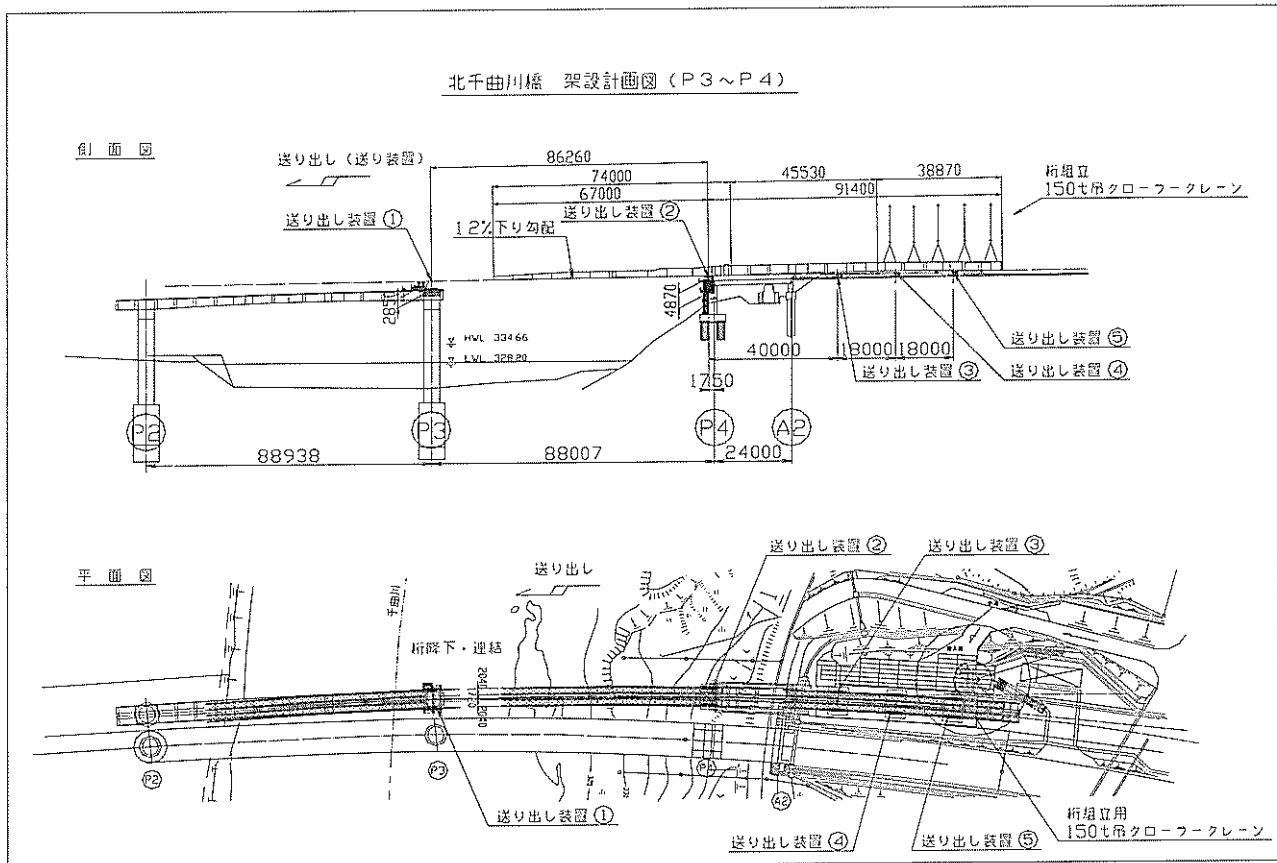
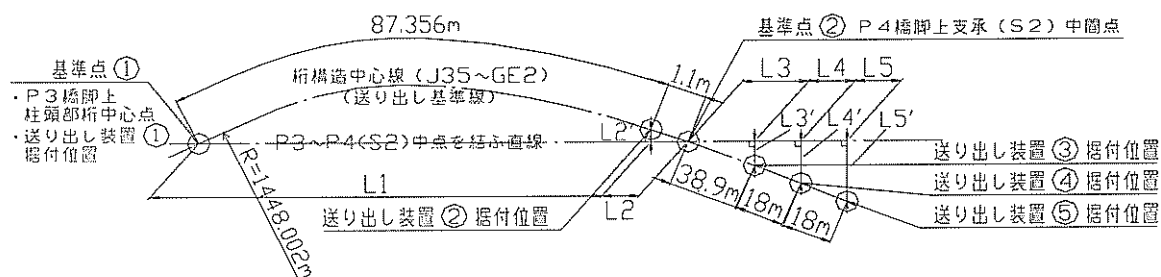


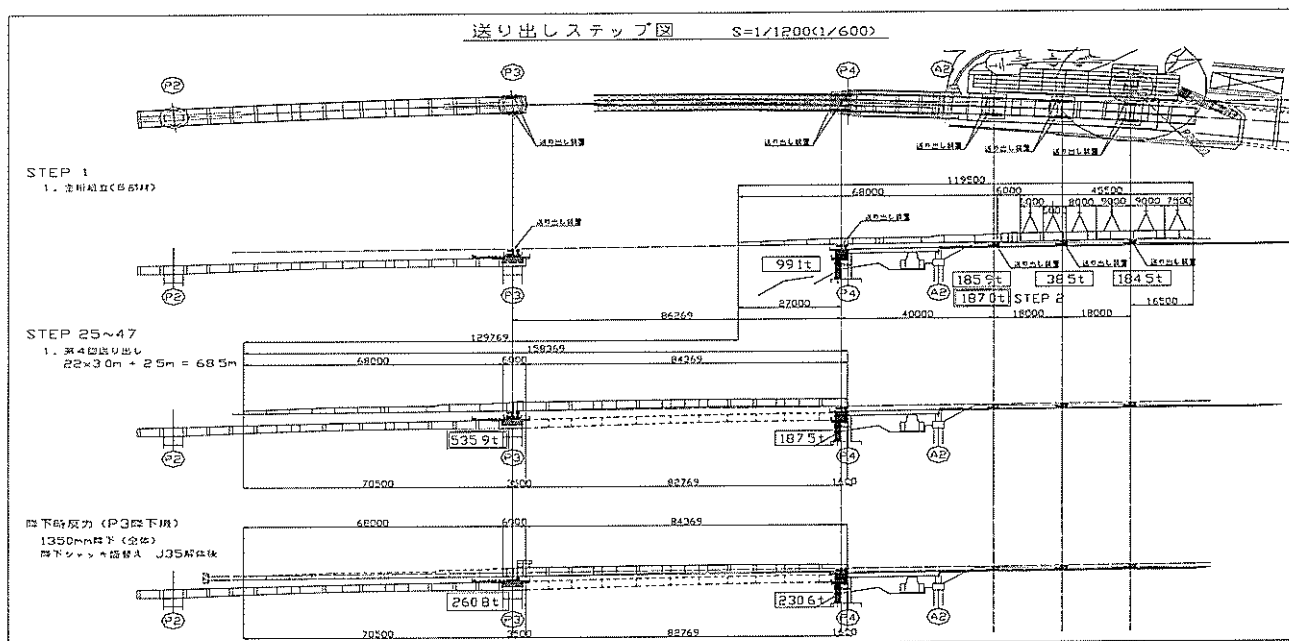
図-10 送り出し架設計画一般図



送り出し装置据付要領

- ・桁構造中心線を送り出し基準線とする。
- ・P3橋脚部基準点、及びP4橋脚部基準点を直線で結ぶ。
基準点①（P3橋脚部基準）：P3橋脚部柱頭部桁中心点
基準点②（P4橋脚部基準）：P4橋脚上支承（S2）中間点
- ・P3橋脚部基準点上に、送り出し装置①を据え付ける。
- ・基準点①、②を結んだ線に対して、
水平方向 L n、垂直方向 L n' の位置に、送り出し装置④をそれぞれ、据え付ける。
据付方向は、送り出し基準線接線方向とする。

図－11 送り出し基準ラインの決定



図－12 送り出しステップ図

ることから、送り出し方向、および送り装置の配置は、図－11に示すとおりとし、使用した手延べ機は、送り出しブロックの曲線形状に対応させるため、左右の桁長を調整した。

送り出し架設における鋼桁ブロックの平面的な位置管理は、手延べ機先端部、後端部および鋼桁後端部の3ヶ所で行い、その位置調整は、送り出し装置の水平ジャッキを使用した。

また、送り出しブロックの転倒に対する安全性を確保するため、カウンターウエイトを桁端部に載荷することとした。

(図－12、写真－16、17)

2) 送り出し先行設備

前述したように、湧水期施工中に流水部の栈橋を解体する必要があることから、P3上の送り出し設備とそれを

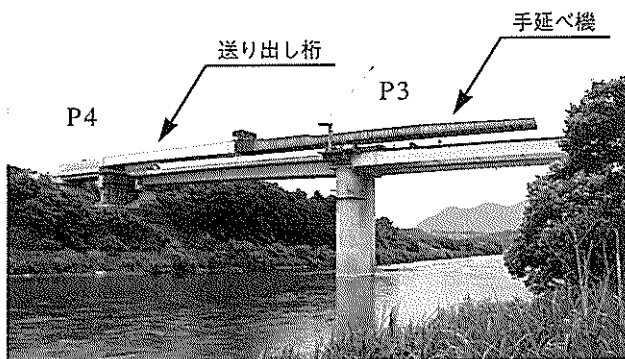


写真-16 送り出し状況

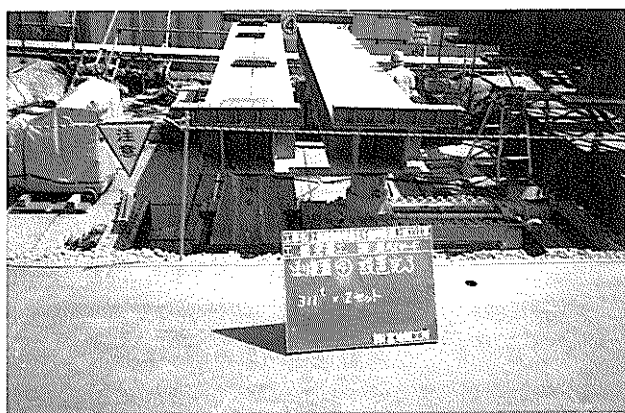


写真-17 送り出し装置配置

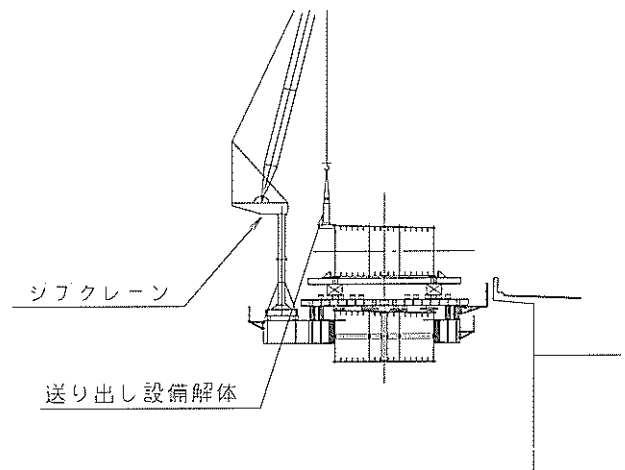


図-13 P3ジブクレーン配置図

解体するジブクレーンの設置を栈橋の解体前に行うこととした。(図-13, 14, 写真-18)

また、送り出し架設完了後の手延べ機受け架台の組立作業を渇水期施工期間内に完了させるため、栈橋解体後、P2位置で地上からクレーンおよび機材を荷揚げするとともに、鋼桁上の走行車両に配慮し、その添接部に15mm

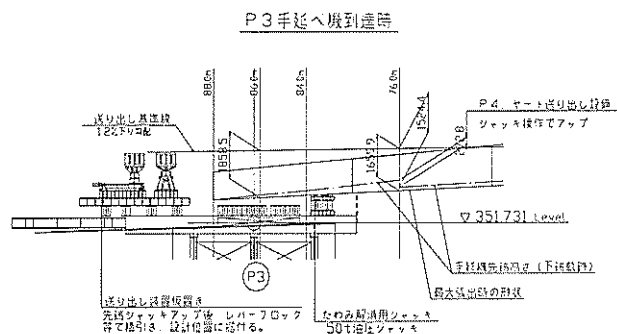


図-14 P3送り出し装置設置図



写真-18 送り装置撤去状況 (ジブクレーン)



写真-19 添接部ゴムマット養生状況

の乗り越え用のゴムマットを敷設した。(写真-19)

送り出しブロック後端側については、桁降下時にP4

ベント前面に解体用の足場が必要であったため、吊り下げ用の足場を予め組んでおいた。(図-15)

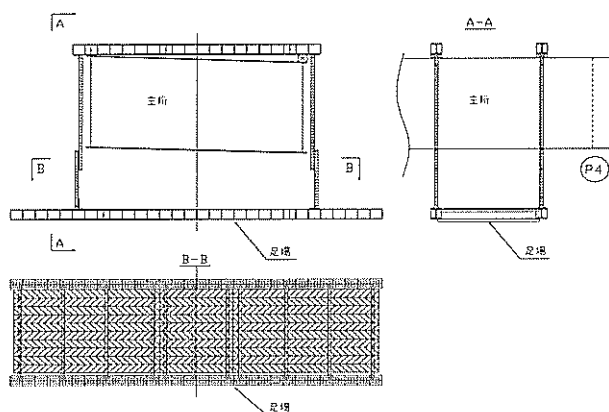


図-15 P4降下足場

(4) 送出しブロックの降下

送り出し架設完了後、鋼桁ブロックを図-16に示す要領で降下した。

なお、降下作業において、下記の点に配慮した。

- ①手延べ機を解体せずにP3から張り出した状態でP3、P4 2点でのジャッキによる全体降下を行った。降下量はP3側で1350mm、P4側で700mmとした。降下量

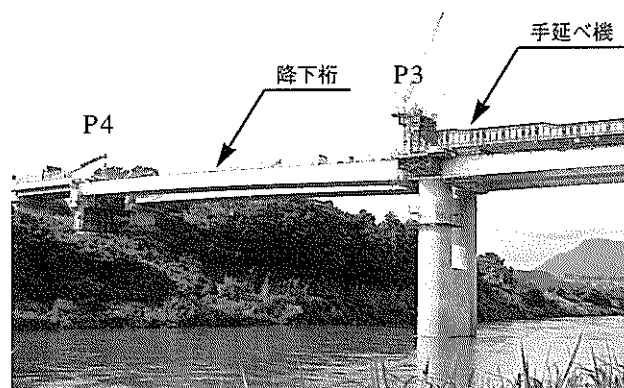


写真-20 桁降下完了

に差をつけることで送り出し縦断勾配1.2%から完成系縦断勾配2.7%に戻し、張り出した手延べ機をP2-P3間に予め設置しておいた受け架台に到達させ、手延べ機自重による取り付け桁添接にかかるモーメントを解消するとともに、不安定状態の期間を短縮した。

- ②P3降下ジャッキを降下機に盛り替えて、手延べ機添接解体後、P3、P4とも一定量降下量させた。
- ③降下ブロックとP3剛結ブロックの添接作業をモーメント連結で行うため、P3側の降下を先行して仕口角度を合わせ、P4側の降下量を最後に残すこととした。(図-16, 17, 写真-20)

降下作業フローチャート

①全体降下

回数	P3(200t×4台) 200ST	P4(200t×4台) 220ST
送り出し完了時全降下量	6010	4870
合計降下量	1350	700
残降下量	4660	4170

※送り出し勾配1.2%

※完成型勾配2.7%に合わせる

②P3テンションロッドに盛替え

③連結構へJ35 縁切り

(①でJ35鉛直)

(P4で650mm上げ越しの状態)

④P3,P4 交互にジャッキダウン

回数	P3	P4
降下量	4660	4170
1		300
2	400	
3		300
4	400	
5		300
6	400	
7		300
小計	1200	1200
?	?	?
20	400	
21		150
小計	1200	1050
22	400	
合計降下量	4000	3450
残降下量	660	720

P4設計上げ越え 670mm

⑤P3のみ660mmジャッキダウン モーメント連結

⑥J35添設足場組立

SPL取付

HTB本締め

⑦P4で670mmジャッキダウン ダウン完了

⑧支承セットボルト取付

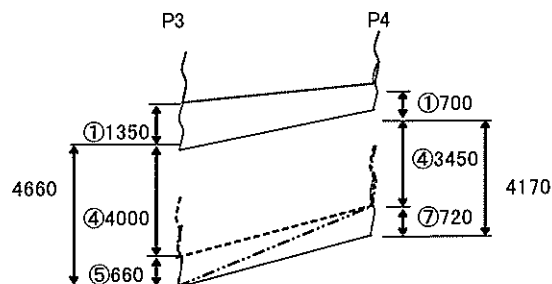


図-16 降下作業フローチャート

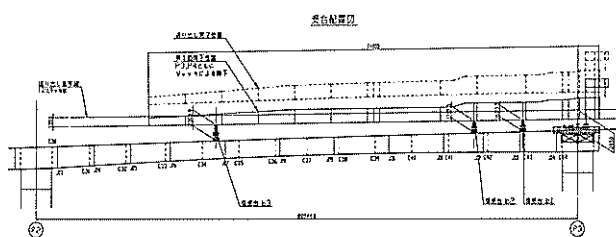


図-17 手延べ機受け架台

(5) 手延べ機の解体

既に供用中のⅠ期線に隣接する本橋は、Ⅰ期線とほぼ同レベルの高さに位置することから、送り出しブロックと分離した手延べ機本体は、供用線の安全確保並びにドライバーへの圧迫感の低減のため、その早期搬出が必要となり、鋼桁上に50吊ラフタクレーンと10tトラックを搬入し、供用線への飛散物の要因となる細かな材料を出さないように、ブロックごと解体した。また、解体作業時の安全性確保のため、Ⅰ期線に対するクレーンの旋回方向を限定するとともに、ネットによる養生を行った。(図-18, 19, 写真-21, 22)

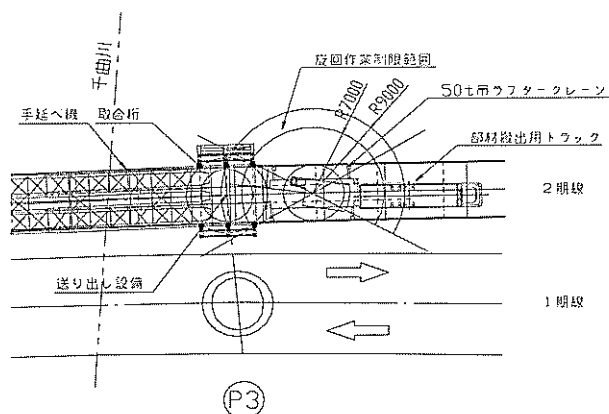


図-18 手延べ機解体要領図(その1)

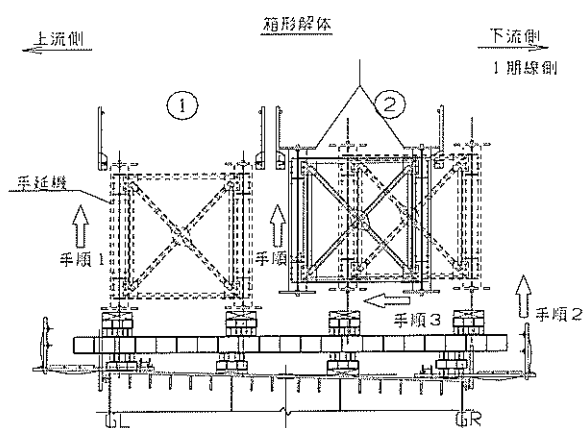


図-19 手延べ機解体要領図(その2)

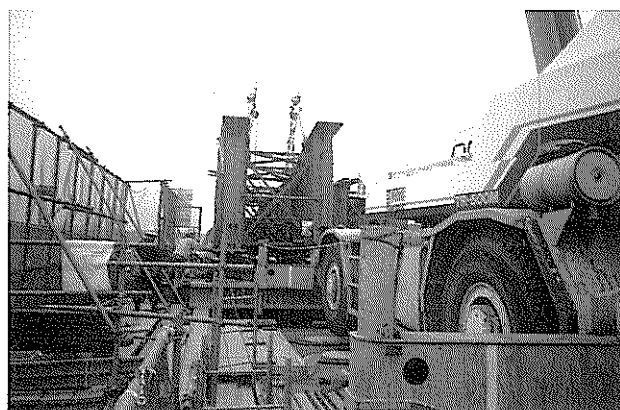


写真-21 手延べ機解体状況



写真-22 第3,4径間(P2~P4)架設完了

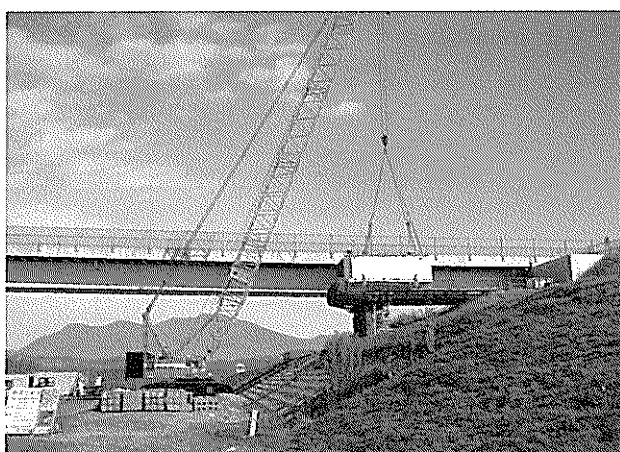


写真-23 架設状況

(6) 第1,2径間部鋼桁の縦取り架設

第1径間部堤防上の鋼桁は、クレーン定格荷重における作業半径の制約から、他径間の架設に使用した150t吊クローラクレーンでの架設が成り立たないため、軌条設備を用いた縦取り架設を採用するとともに、台車上の架台高さを抑える目的から、所定の高さより低い位置で架設した後、ジャッキアップにより所定の高さに据え付けた。それ以外の架設は、通常の架設を行った。(写真-23, 24)

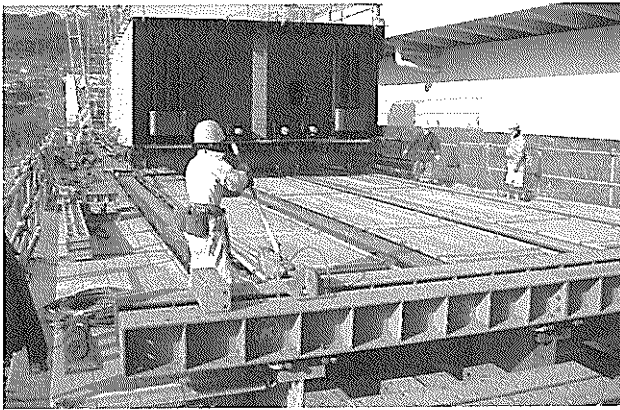


写真-24 桁縦取り状況

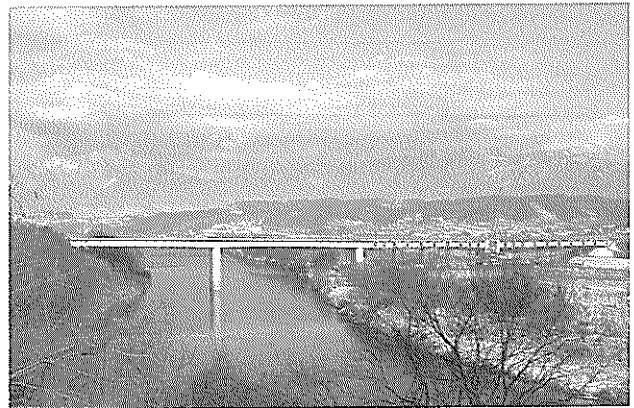


写真-26 鋼桁架設完了

(7) 河川内陸上部ベントの解体

河川内陸上部のベントの解体は、流水部のベント解体同様、安全性の確保と施工効率の向上を図るため、図-20に示す要領で2台のクレーンを使用して行った。作業手順は、まず150t吊クローラークレーンで天秤を用いて、ベント上部を吊り込み、ベント柱の中断の縁を切った後、50t吊ラフタークレーンでベント下部をだるま落としのような格好でブロックごと解体することとした。(写真-25、26)

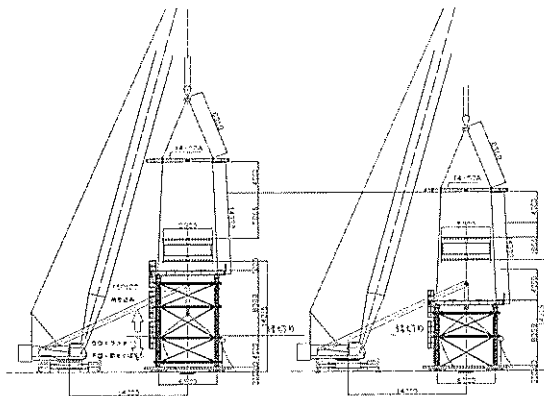


図-20 ベント解体要領図

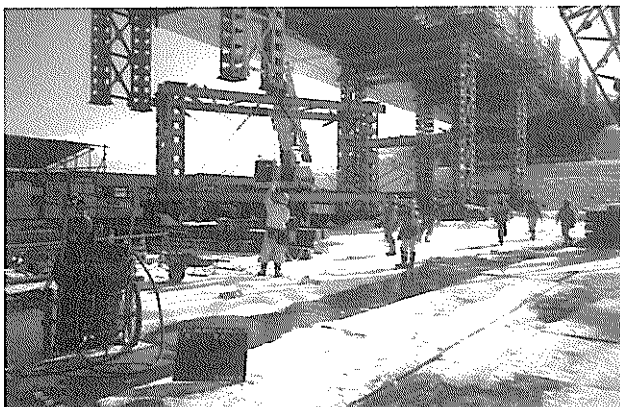


写真-25 河川敷ベント解体状況

(8) 厳冬期における添接部作業

厳冬期における鋼桁継手部の高力ボルト締め付け作業および現場塗装作業を所定の品質を確保した上で迅速かつ確実にを行うため、下記の対策を実施した。

- ①主桁架設完了後の添接部は高力ボルトの締め付け前と本締め完了後の2度にわたり、鋼桁上面（上フランジ）にシートを敷設し、雪が降ってもシートをはがすだけで、高力ボルト締め付け作業および塗装作業が出来るようにした。(写真-27)
- ②桁上に積もった雪は、日照により解けて、縦断勾配の低い側に流れ、添接部は濡れた状態となることから、鋼桁上に大型温風機を設置し、ジャバラ管を通してハンドホールより桁内の空気を塗装作業前日の夕方から翌日の朝まで暖めることとした。(設定温度は50℃～80℃)これにより、暖めた位置から前後約20m範囲の主桁並びに添接部は完全に乾いた状態となり、すぐに作業に取りかけられるようにした。(写真-28)



写真-27 上フランジシート養生状況

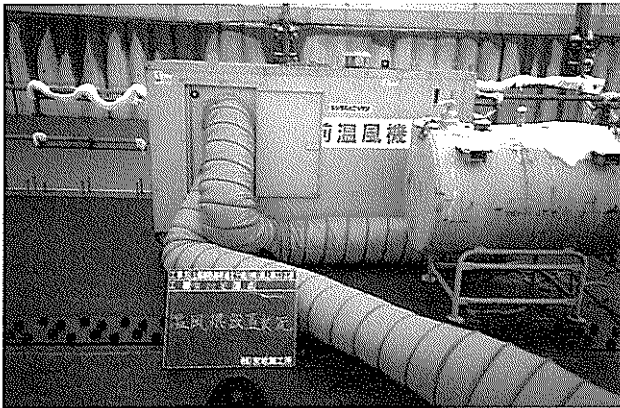


写真-28 添接部塗装用温風機設置

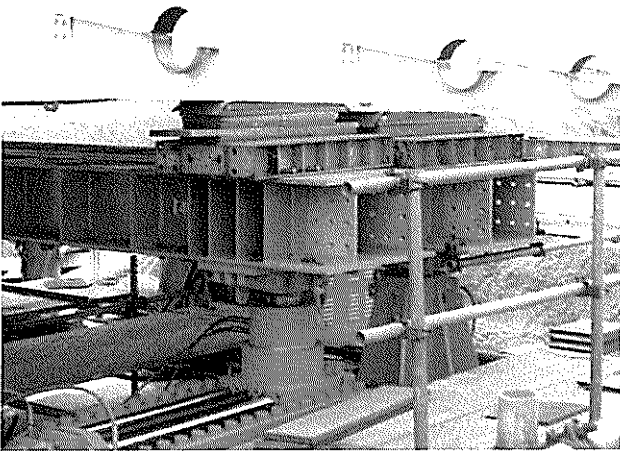


写真-29 主桁荷受点養生状況

(9) 仕上げ塗装桁に対する配慮

本橋に限らず、最近の鋼桁部材は、製作工場において、現場継手部を除き、上塗り塗装まで施工された状態で現場に搬入されることから、塗装表面を傷つけないように下記の対策を行った。

- ①ベント受点部では、フロアマットを養生材として使用した。これは事務所などの床に敷設してある厚さ5mm程度のゴムであり、クッション材の役割を果たし、受点部解体後の鋼桁塗装表面部を損傷させることもなく、ゴムの跡が付くこともなかった。(写真-29)
- ②足場用チェーン金具とチェーンの接触部において、水道のゴムホースを縦に切り込み、それをチェーンに巻き付けて養生を行う方法がよく見られるが、本橋では、寒冷地の一般家庭で使用する水道管凍結防止の断熱材を使用することとした。これは、水道のゴムホースよりも厚肉であるため、従来の養生よりも、しっかりした養生が出来た。(写真-30)

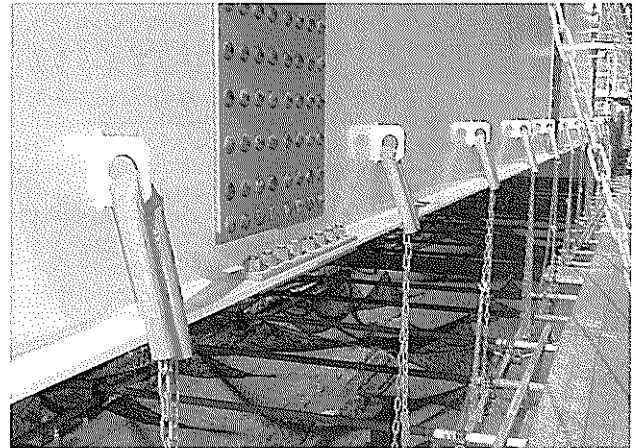


写真-30 足場チェーン養生状況

5. 合成床版の施工

(1) 合成床版の概要

本橋の床版構造については、死荷重の低減、耐久性、耐震性の向上、コスト縮減および工期短縮に有利となる合成床版を採用することとした。合成床版は鋼製パネル(型枠)とコンクリートスラブを一体化させたものであり、通常のRC床版と比較して、下記の利点がある。

- ①死荷重軽減(スラブ厚をスリム化)
- ②耐久性・耐震性の向上
- ③維持管理の軽減(ライフサイクルコストの縮減)
- ④工期短縮(現場工事の省力化・型枠支保工不要)

以上の利点は、本橋の長支間床版(床版支間5.8m、張出し長1.965m)に適応した十分合理的な構造であるといえる。

合成床版の概念図を図-21に示す。

型枠材を兼ねる鋼製パネルは、標準サイズで2.5m(橋軸方向)×9.75m(橋軸直角方向)、重量は約3tであり、鋼桁上にクレーンを用いて137ブロックの鋼製パネルを設置した。本合成床版の鋼製パネル相互の連結は、鋼製パネル底鋼板添接部を高力ボルトで本締めすることで完了する。(図-22)

合成床版施工完了後、壁高欄の施工に移行するが、鋼製パネルにボルトで固定する側鋼板(側型枠)は、本橋では、壁高欄天端まで上げずにスラブ厚の26cmまでの高さとし、合成床版コンクリートの打込み完了後、木製型枠にて対応した。これは、背の高い側鋼板を採用した場合、後死荷重による支間中央部(支間長90m)のたわみに伴う側鋼板の変形防止に配慮したことによる。

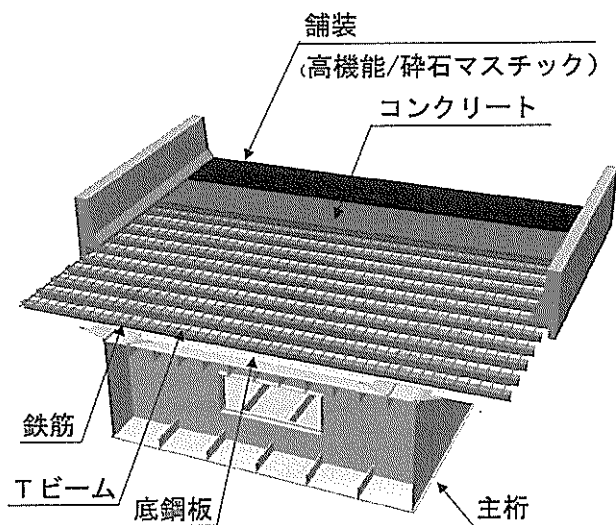


図-21 合成床版概念図

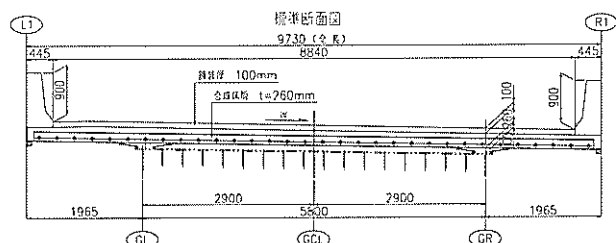


図-22 合成床版標準断面図

(2) 鋼製パネルの架設、高力ボルト本締め、止水処理

合成床版架設に先立ち、足場の組立を行った。第1, 2径間は通常の朝顔付き吊り足場、第3, 4径間は中段足場より上の朝顔付き足場のみとした。これは、前掲水期施工において、この流水部の足場を存置してしまうと、解体に要する期間が長くなるために、考案した足場である。(写真-31)

合成床版の架設は2通りの方法で行い、第1, 2径間は河川敷を利用し、第3, 4径間は桁上での架設とし、全137ブロックを約20日で架設・本締めまで終了させた。なお、河川敷部においては、1日最大20ブロック、桁上部においては12ブロックの施工を行った。(写真-32)

また、全パネル中に5ジョイント分、調整パネルを設定し、据え付け時の温度、縦断勾配、据え付け誤差等を吸収出来るように配慮した。(写真-33)

底鋼板の添接は、埋殺し部を節付き高力ボルト（ボルト両端部にネジ切りのある頭ナシの特殊高力ボルト（写真-34））、張出し部をトルシア形高力ボルトとした。鋼製パネル上での接合部高力ボルト本締め作業を可能と

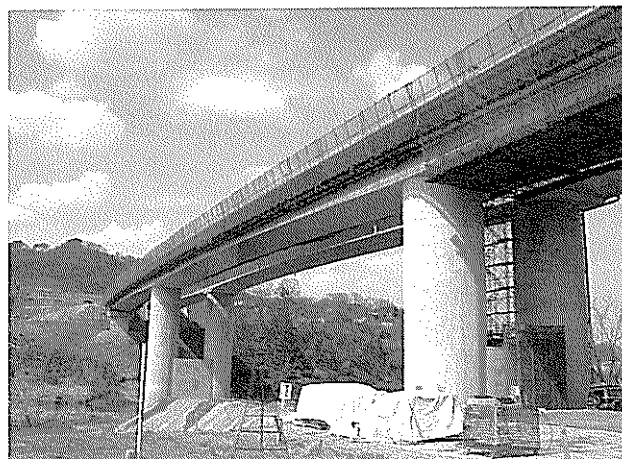


写真-31 足場組立完了



写真-32 合成床版架設完了

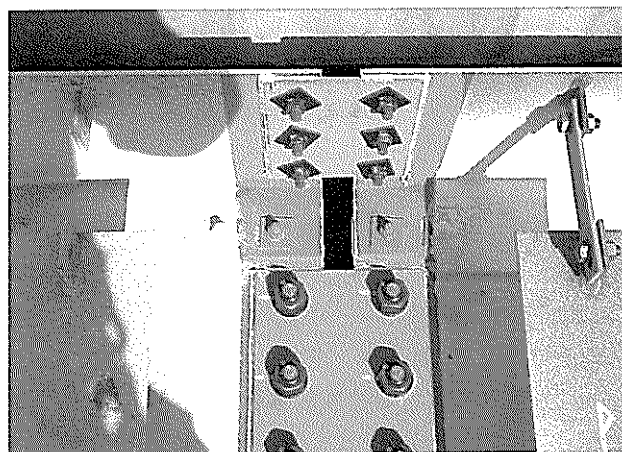


写真-33 調整パネル添接完了
張出し部TCボルト締め完了

するために1面摩擦接合を採用し、ボルト部は予め工場製作時に取り付けておくこととした。なお、高力ボルトは、一次防錆ボルトを使用することで、現地搬入までの期間に錆びないように配慮した。また、高力ボルトの締め付けの品質管理は、ナット回転角法を用いた。

高力ボルトの本締め完了後、コンクリート打込み時に

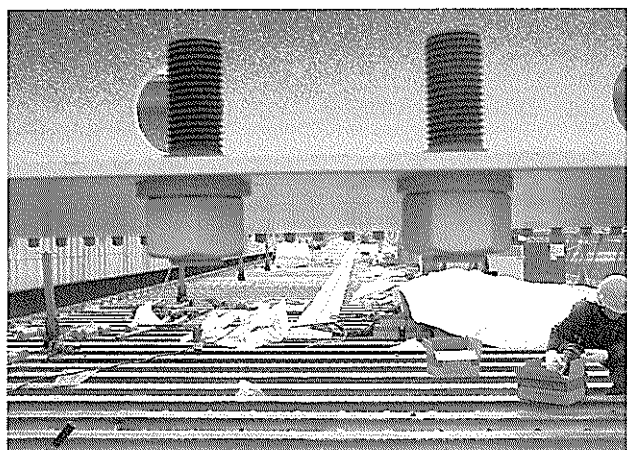


写真-34 埋殺し部節付きボルト



写真-36 側板通り調整状況

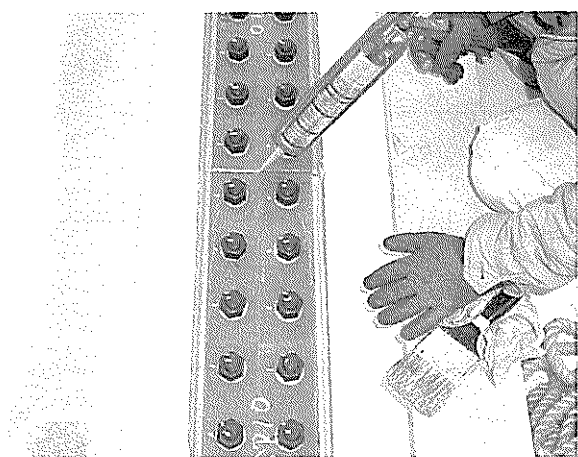


写真-35 添接部シール状況
節付きボルト本締め完了

おけるノロ漏れを防止するため、添接部の周囲を止水（シール）処理することとした。（写真-35）

（3）側鋼板の調整

鋼製パネルの据付けが完了すると、壁高欄の出来栄えを左右する側鋼板の立ちと前後の通りをジャッキにて調整し、固定金具により固定した。（写真-36）

（4）鋼製パネル上面部（コンクリート接触面）の塗装

本橋では添接部の止水処理完了後、添接部の塗装を行ったが、鋼製パネル上面部は、コンクリート接触面であることから、通常塗装は不要となる。しかしながら、将来、万一のコンクリートからの雨水等の進入と冬季における凍結防止材の散布による影響に備え、下記の要求性能を満足するポリマーセメント系の材料（金属溶射はコスト面で不経済）を用いた防錆処理を行うこととした。添接部以外については工場にて塗装を行った。

- ①止水効果
- ②コンクリート、鉄の付着性能
- ③伸縮による追随性
- ④耐塩害性

本橋で使用したポリマーセメント系の材料は、マグネエマルジョン（液体のポリアクリル酸エステル系複合高分子）とマグネコンパウンド（セメント＋細骨材）を1：3の割合で現場配合して使用するものであり、コンクリート系床版の下面やRC橋脚巻き立ての耐震補強、鋼製構造物の防錆などに幅広く使用されている。

以下に主な材料特性を示す。

- ①耐候性、耐摩耗性、耐アルカリ性
- ②耐塩害、凍結融解抵抗性、中性化抑止
- ③コンクリート、鉄の付着性
- ④ひび割れ追随性
- ⑤鉄に塗布したときの疲労性
- ⑥止水性

使用材料の品質管理として、素地調整、中塗り 900g/m² 500μm、上塗り 900g/m² 各層 500μmの管理を行い、吹付工法で施工した。また、材料は水溶性であるため、雨天は作業中止とし、水分が施工箇所に残っている場合には、確実に除去した。なお、セメント同様に水和反応で硬化するため、塗装間隔は1～10日とした。（写真-37）

外面塗装については、景観に配慮して桁外面塗装と同じ仕様とした。コンクリート接触面、外面ともに工場にて塗装可能な範囲については施し、現場においては添接部のみの施工とした。（写真-38）



写真-37 マグネライン吹付状況



写真-38 調整パネル部外面塗装完了

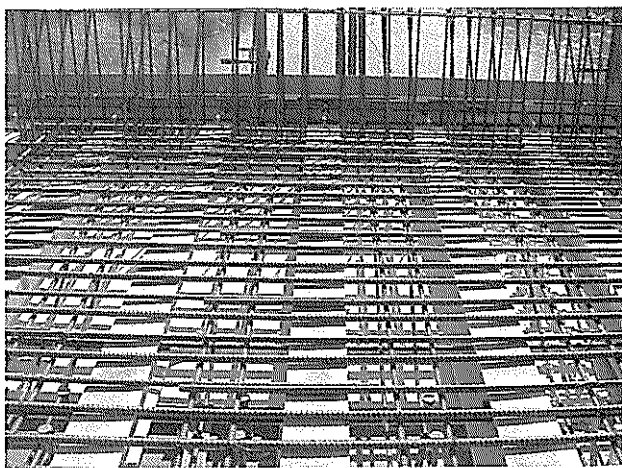


写真-39 鉄筋組立完了（支点補強部）

(5) 鉄筋組立

鋼製パネルは、鋼製の型枠材であるとともに、鉄筋としての役割も担うことから、その鉄筋量は通常のRC床版の半分程度となり、鉄筋の組立作業の省力化に大きく

寄与している。（写真-39）

(6) コンクリートの配合

合成床版に使用するコンクリートは、耐久性とフレッシュコンクリートのワーカビリティおよび充てん性の確保に配慮し、膨張材と高性能AE減水剤を添加した配合とした。また、壁高欄のコンクリートにも、初期ひび割れの防止に配慮し、膨張材を添加した。（表-6, 7）

なお、膨張コンクリートの膨張性の確認は、試験練り時に実施し、「コンクリート施工管理要領」（日本道路公団）膨張コンクリートの規格値 $150 \times 10^{-6} \leq 250 \times 10^{-6}$ を満足することを確認した。

表-6 基本配合条件

種 別	設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	スランプ (cm)	目標空気量 (%)	セメントの種類	最大塩化物含有量 (g/m ³)	単位混和剤量 (%)
床版コンクリート A1-3(A)	30	12.0±2.5	4.5±0.5	N	300	C×1.1
壁高欄コンクリート A1-1	30	8.0±2.5	4.5±0.5	N	300	C×1.0

表-7 基本配合

種 別	水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m ³) AD(g/m ³)					
	W/C (%)	S/a (%)	W	C	S	G	E	AD
床版コンクリート A1-3(A)	46.0	41.4	152	311	743	1063	20	3640
壁高欄コンクリート A1-1	46.0	39.9	163	335	696	1061	20	3780

※壁高欄はAE減水剤(標準I種)ボソリスNo.70 比重 1.065

(7) コンクリート打込み、締固め

合成床版コンクリートの打込み順序の検討は、打込み後のコンクリートに有害な引張り応力のかからないような図-23に示す順序とした。

コンクリートの打込み要領は、現場条件より、河川敷からのブームによる打込みとP4側からの配管による打込みの2つの方法を採用した。最大配管長は打設区画②(P2～P3間)で95mとなり、事前に施工検討を実施したが、圧送作業によるスランプ低下等の問題はなく、実施工でも問題は発生しなかった。また、打込み速度は、午前中に打込み作業を完了できるように、30m³/h～40m³/hとした。（写真-40, 41）

打込みの手順は、基本的に縦断勾配の低い方から高い方へ向かって施工するとともに、断面で見たときに床版支間部を先行して打込み、その後張出し部の低い側、高い側の順で施工した。これは張出し部の鋼製パネルが、

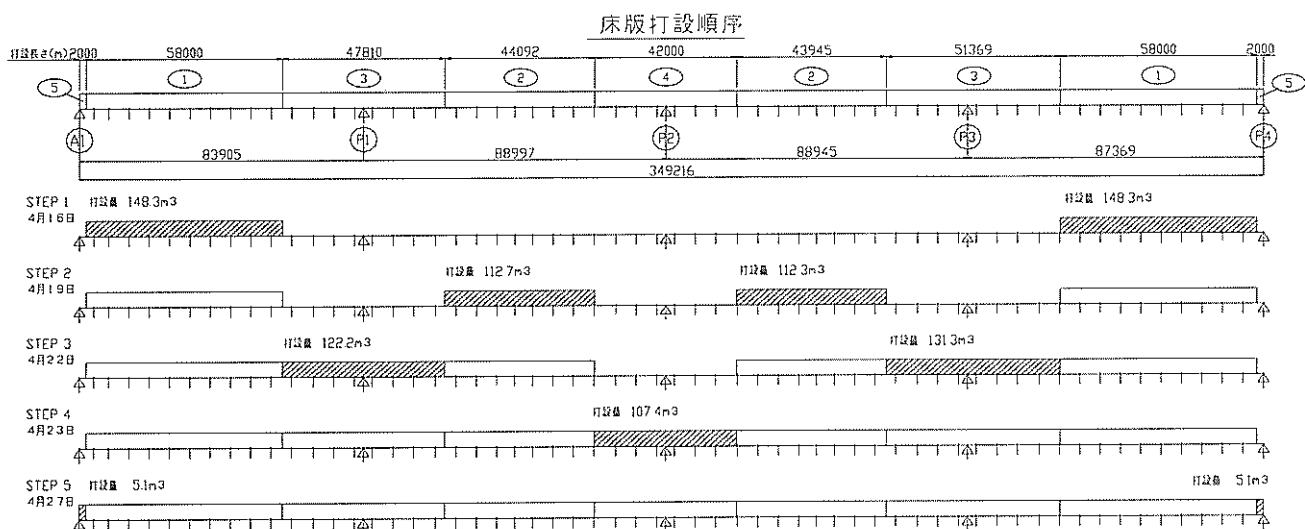


図-23 床版打設順序・区画図

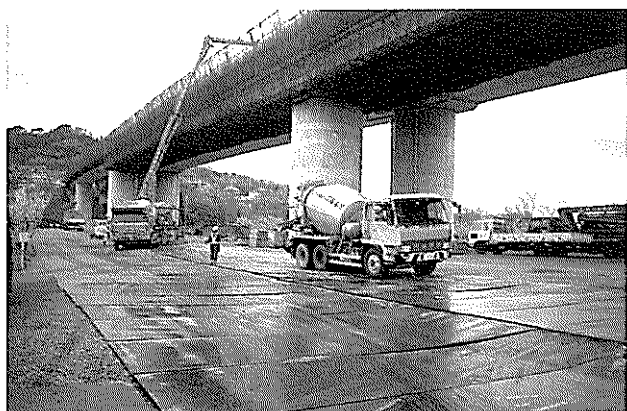


写真-40 第1,2径間ブーム打設

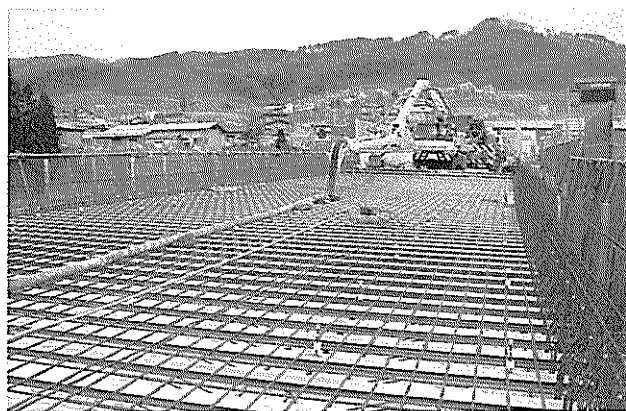


写真-41 第3,4径間配管打設

コンクリート自重で過大にたわむことを避けるためである。(図-24)

コンクリート打込み時、床版厚を管理するための床版厚検測棒を設置したが、撤去時にコンクリート表面に弱点を作らないように、発泡スチロールで型枠を作り、打込み後に検測棒はこの下端から切断し、その部分は無収縮モルタルにて補修した。(写真-42)

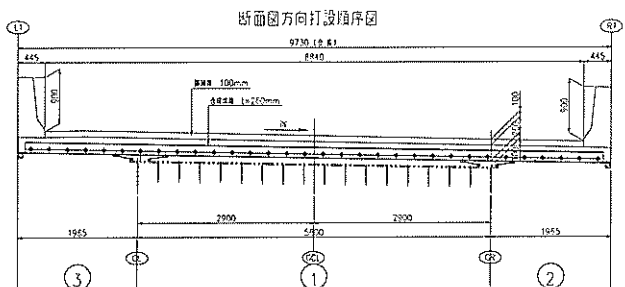


図-24 断面方向打設順序図

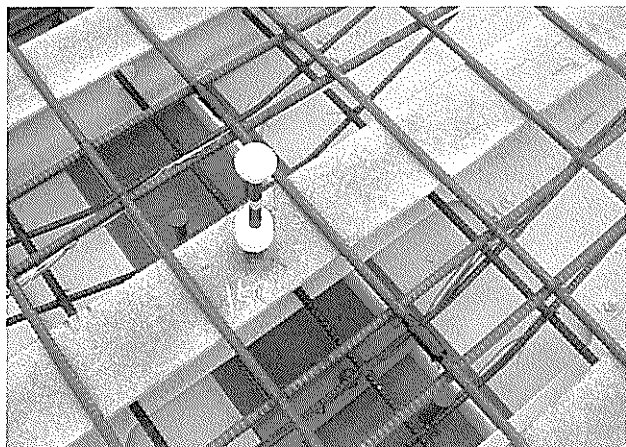


写真-42 床版厚検測棒

ートが、十分に充てんされるよう作業への締固めの指示等の管理に重点を置く必要があり、前者については、高性能AE減水剤の添加とTビームウェブに $\phi 60$ のパーフォンド孔を設け、Tビーム間を流動するようにした。また、後者については、施工において、コンクリートの流動性を確認するとともに、バイブレーターをかける作業者に特に注意を払って管理した。締固め作業は、 $\phi 41$ の高周波バイブレーター2台を先行締固めとし、その後ろから $\phi 30$ のバイブレーターで再度締固めを行った。なお、バイブレーターのかけすぎは、材料分離を引き起こすおそれのあることから、目視で確認しながら、目安として3～5秒で施工した。(写真-43)

締固め後の表面処理は養生剤を散布し、トロウエルで仕上げた後、金ゴテ仕上げを行った。なお、金ゴテ仕上げとしたのは、防水層との付着性能を満足させるためである。(写真-44)

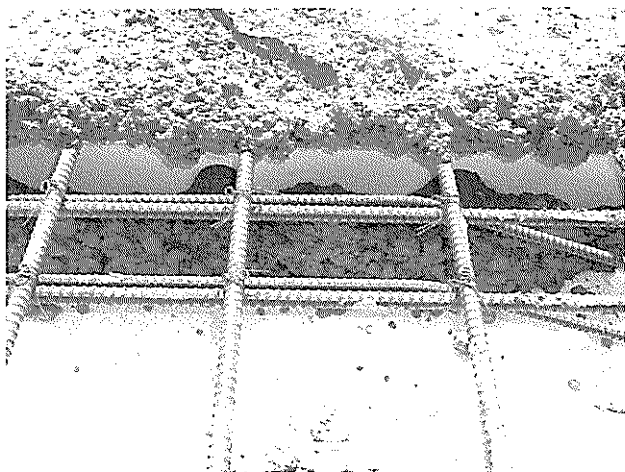


写真-43 パーフォンド孔流動状況

壁高欄との打継ぎ面には凝結遅延剤を散布し、コンクリート打込み後の弱点にならないようにした。なお、壁高欄の型枠組立前とコンクリート打込み前には十分に清掃し、不純物を除去した。(写真-45)

(8) コンクリートの養生

コンクリートの養生は、マット敷設後、散水を行い、全ての区画において5日間以上湿潤状態を保った後、養生を終了した。なおコンクリート硬化時の水和熱による乾燥を防ぐため、コンクリート材齢1,2日目は特に注意し、2～3時間ごとに確認し、散水を行った。(写真-47)

合成床版は、耐久性や施工性において優れた構造であるが、コンクリート打込み前に雨が降り、鋼製パネル内に雨水がたまることもあった。(写真-48) 通常の木製型枠であれば、一部型枠をはずして水を抜くことが出来るが、今回はそれが出来ずコンクリート打込み前に、この水をバキュームで除去する必要があった。

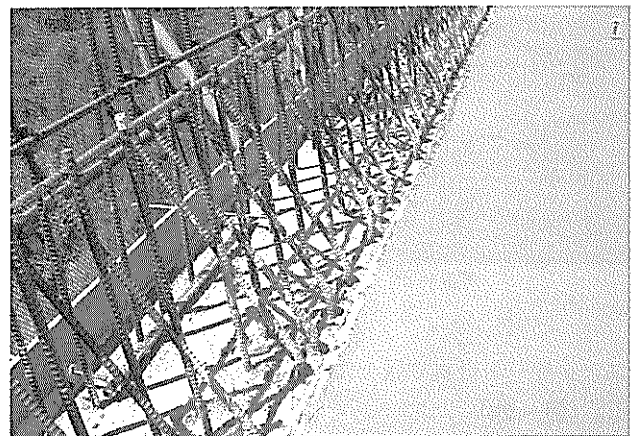


写真-45 壁高欄打継ぎ目遅延材散布完了



写真-44 床版天端養生材散布
トロウエルによる表面仕上げ

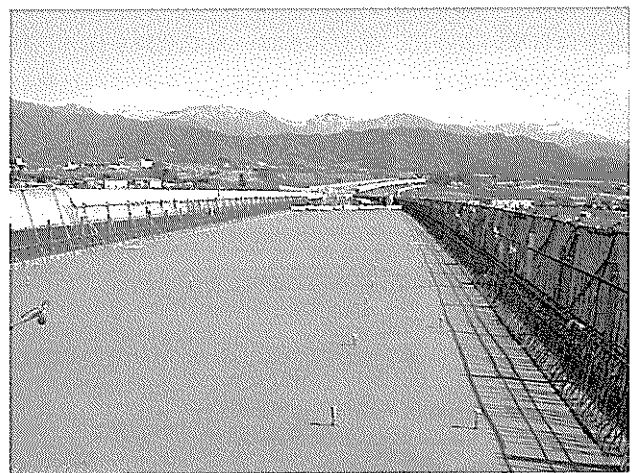


写真-46 床版打設完了



写真-47 養生マット敷設、散水養生

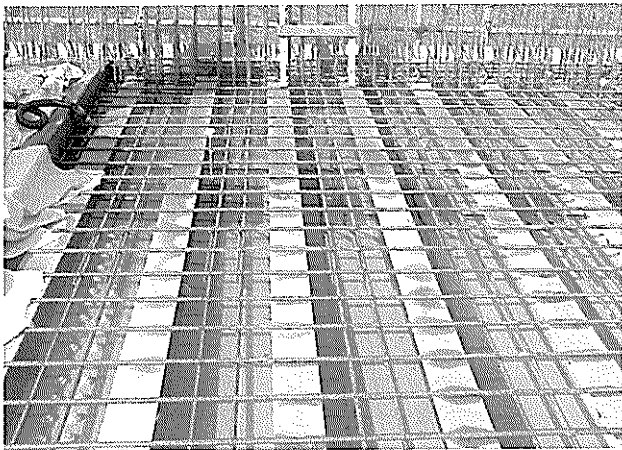


写真-48 打設前雨水滞留状況

(9) 漏水確認

設計段階で考慮し底鋼板に設けているφ24.5のモニタリング孔は、主桁上は縦横断の低い側ハンドホールの直上、張出し部は横断の低い側にあり、コンクリートの打込み後に万一、床版内に水が浸透した場合、確認出来るようにしている。したがって、通常ハンドホールはボルトにて締め付けて蓋をするが、この位置だけは蓋が回転して点検出来るようにしたもの、鋼製パネル架設時には、蓋をしておかないと施工中の雨が箱桁内部に入るので、この点に注意して施工した。また、合成床版のモニタリング孔は、テープなどで養生し打込み時のコンクリートが漏れないように配慮した。打込み直後の点検の様子を下記に示す。(写真-49, 50)

6. 壁高欄の施工

本橋の壁高欄の構造はフロリダタイプであり、本断面

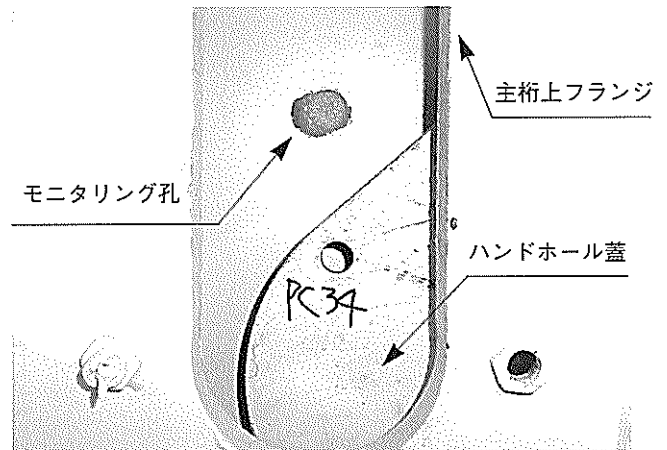


写真-49 箱桁内部モニタリング孔

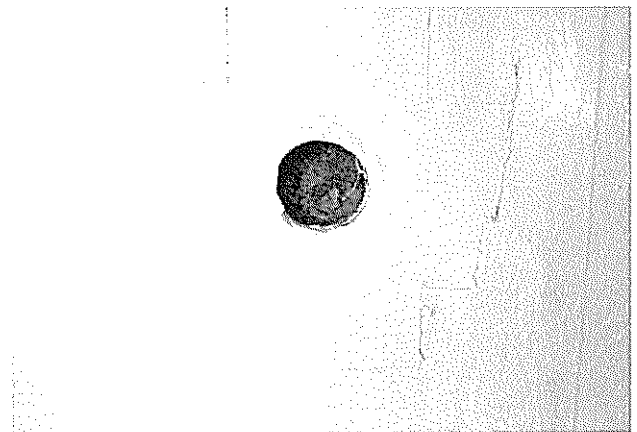


写真-50 張出し部モニタリング孔

形状はコンクリート打込み時に内型枠部に空気が残ったり、その部分にジャンカが発生することがある。そこで、この部分の型枠は、空気を吸収することでジャンカの発生を防止できる布型枠とした。これは通常の型枠に布を貼り付けたもので、脱枠時の仕上がりが非常にきれいである。また、補修の手間も軽減することから採用した。(写真-51)

型枠施工時、橋面における材料運搬を効率的に行うため、白タイヤを装着したフォークリフトを使用した。なお、白タイヤを使用することで、床版コンクリート上面部の汚れの防止に配慮した。(写真-52)

コンクリートの打込み作業に先立ち、ポンプ車・アジデータ車の通行位置に床版天端養生のゴムマットを敷設した。(写真-53)

1区画のコンクリート打込み数量は、60m³以内、その速度は20m³/hとして施工したが、壁高欄の幅は狭く、鉄筋が密に配置されており、締め固めには長い時間を要するため、必要に応じて、打込み速度を落とすこととし



写真-51 布型枠



写真-52 白タイヤのフォークリフト

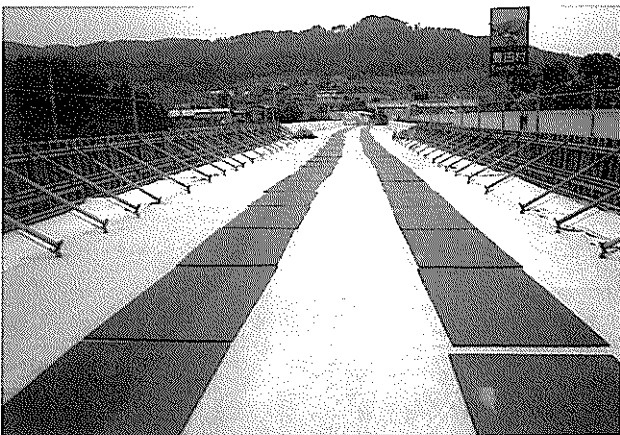


写真-53 養生ゴムマット敷設

た。また、左右の壁高欄コンクリートを均等に施工することと、ポンプ車の据え付け回数を極力減らすことに配慮し、下図の通り打込みを行った。なお、施工長12mがちょうど1車分 4m^3 となるため、左右にブームを振る間に、アジデータの入れ替えを行った。左右を打込み、また左に戻るまでの所要時間は15分であり、床版施工同

様に十分締固め、散水養生を行った。(図-25)

コンクリート打込み時の止水の観点から、側鋼板と壁高欄木製側枠との境界部に面木を打ち、脱型後にシールを施工した。これは、側枠と壁高欄の外表面は一致しており、側鋼板の板厚が6mmであることから、クラックがここから入り水の進入の恐れがあったためである。なお、脱型後に、この部分を清掃し、プライマー塗布後、シール処理を行った。(図-25、写真-54)

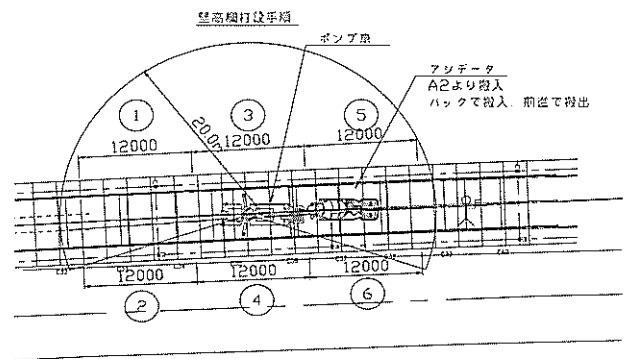


図-25 壁高欄コンクリート打込み手順

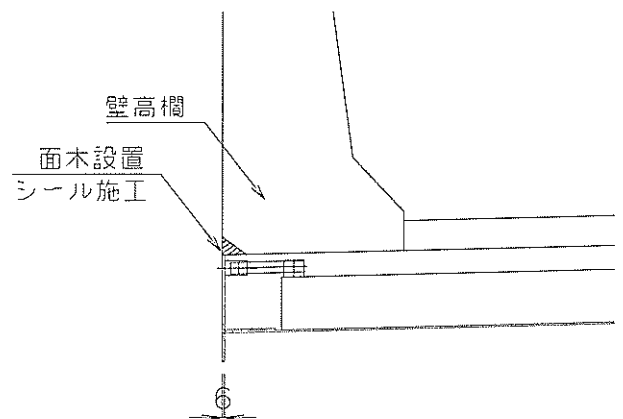


図-26 壁高欄・側板継ぎ目シール位置

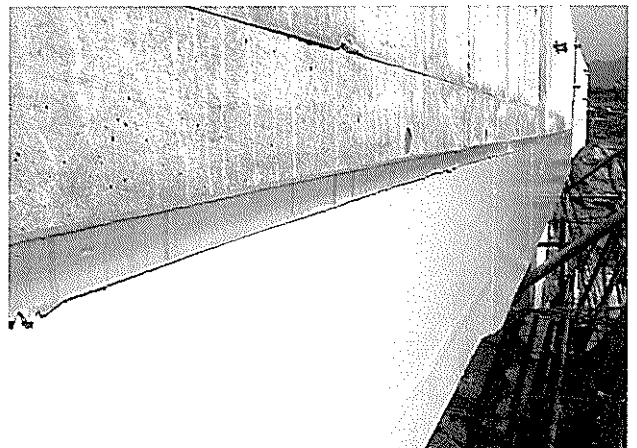
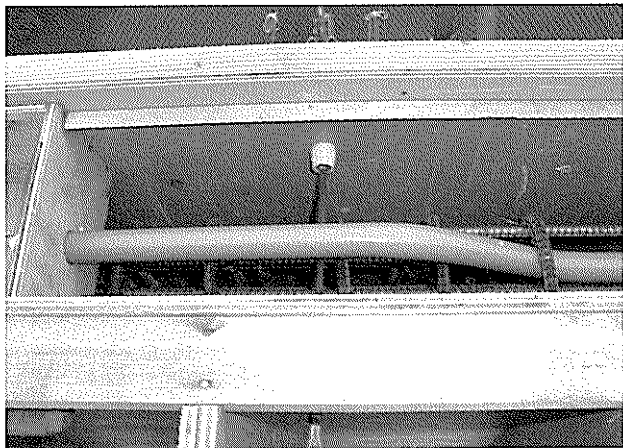


写真-54 壁高欄・側板継ぎ目シール完了

壁高欄内に配置される管路は設計上、壁高欄主筋の上に配置されていたが、一般部においては主筋の下に管路を通すこととした。ただし、自発光デリニエータ部については、構造上やむを得ず、主筋の上に配置する必要があったため、管を曲げて対処した。(写真－55, 56)



写真－55 壁高欄天端管路配置完了



写真－56 壁高欄打設完了



写真－57 工事完了

7. おわりに

北千曲川橋Ⅱ期線工事は、平成14年10月の現場着手より約2年の工期を要して施工を完了した。本工事で採用した中間支点部剛結構造は、支承の省略を可能とするとともに、「耐震性・耐久性の向上」および「維持管理の低減」という優れた利点を有している。その要求性能を満足させるため、柱頭部に高流動コンクリートを使用することとし、施工性やコンクリート充てん性の確保などの課題について検討を行った。「厳冬期における高流動コンクリート施工」をキーワードに、配合、マスコンクリートの温度管理、施工方法、品質管理および養生方法を十分に検討することで、実構造物の施工においてこれらの課題を克服することが出来たと考えている。なお、高流動コンクリートは外気温等に非常に敏感であることから、今後は、暑中施工におけるコンクリート性状の把握とその施工管理における留意点について検討したいと考えており、その中でも特に、セメント量の多い富配合コンクリートに起因する温度応力度の把握とひび割れ防止対策に向けて検討したいと考えている。

また、合成床版を採用することで、死荷重の低減による耐震性の向上、コスト縮減および工期短縮が可能となり、特に現場施工の省力化と工程の短縮には、目を見張るものがあつた。しかし、添接部高力ボルトの締結方式、合成床版と鋼桁との取り合い、側鋼板構造、鉄筋の配筋位置および足場構造など、今後に向けた課題も残っており、合成床版の更なる発展に向けて取り組んでいく必要がある。

最後に、本工事の施工にあたり、長岡技術科学大学の長井正嗣教授、丸山久一教授、日本道路公団信越工務事務所の坂本前所長、上條所長、笹井工事長には多大なご指導を賜りました。ここに記して深謝いたします。

<参考文献>

- 1) 角昌隆ほか：千曲川橋の複合剛結部の設計について、土木学会第51回年次技術講演会概要集、I-A451、平成8年9月
- 2) 日本道路公団 設計要領第二集：9章 複合構造、平成10年7月
- 3) 4) 土木学会 コンクリートライブラリー93：高流動コンクリート施工指針、平成10年7月

2005.2.7 受付