

大型移動式架設桁を用いた大井沢橋の設計・施工

小林 勝*1・八木 恵治*2・深谷 浩史*3・石原 成昭*4

1. はじめに

山形自動車道は村田ジャンクションで東北自動車道と分かれ、山形市を経て日本海に面する酒田市に至る延長約158 kmの高速道路である。

大井沢橋はこの山形自動車道のほぼ中間に位置する橋長474 m (支間：68.3 m+3@112.0 m+68.3 m)のPC5径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋梁の構造一般図を図-1に示す。本橋梁は総貯水容量約1億tの月山湖(寒河江ダム)上

を通過するため、計画段階から綿密な施工計画・検討ならびに関係機関との協議が行われた。その結果、上部工の架設には桁下空間の制約を受けずに施工可能なP&Z工法(大型移動式架設桁を用いた張出し架設工法)を採用した。

支間長112mはP&Z工法における世界最大支間長であり、既存のP&Z装置では対応不可能であったため、今回新たに大型P&Z装置(適用支間90m~120m)を製作し、本橋梁で使用した。施工状況を写真-1, 2に示す。

以下に大井沢橋の設計と施工について、概要を報告する。

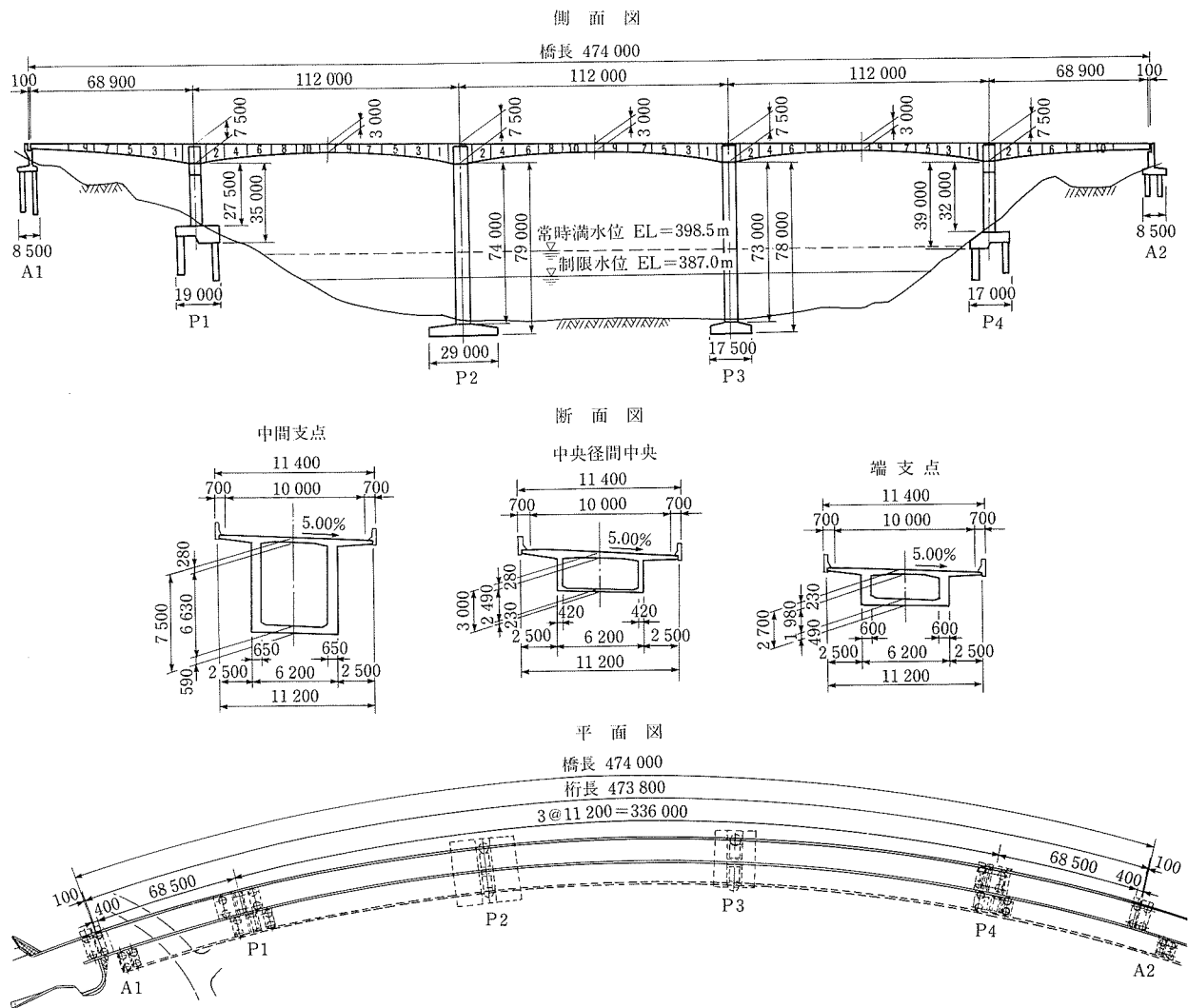


図-1 構造一般図

*1 Masaru KOBAYASHI: JH東北支社 建設部 構造技術課 課長
 *2 Keiji YAGI: JH東北支社 山形工事事務所 構造工事区 工事長
 *3 Hiroshi FUKAYA: (株)富士ピー・エス・清水建設(株)共同企業体 所長
 *4 Nariaki ISHIHARA: (株)富士ピー・エス・清水建設(株)共同企業体 副所長

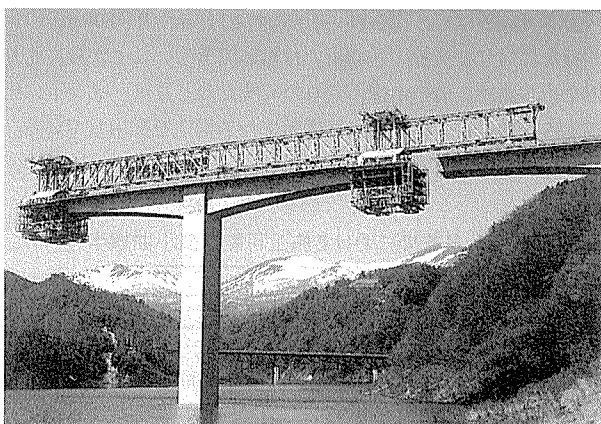


写真-1 施工状況

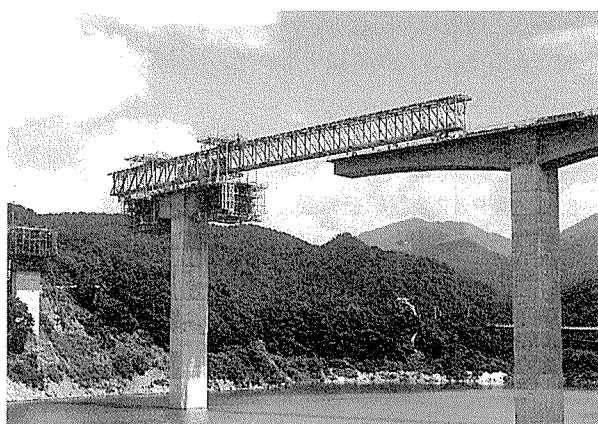


写真-2 施工状況

2. 工事概要と構造概要

2.1 工事概要

発注者：日本道路公団 東北支社
 路線名：東北横断自動車道酒田線
 工事名：山形自動車道 大井沢橋（PC上部工）工事
 場所：山形県西村山郡西川町大字月山沢
 工期：平成8年2月28日～平成10年12月13日
 主要数量：コンクリート（ $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ ）5 435 m^3
 鉄筋（SD345） 656 t
 PC鋼より線（12S15.2B） 318 t
 PC鋼より線（1S28.6） 39 t

2.2 構造概要

橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 構造形式：5径間連続ラーメン箱桁橋
 橋長：474.0 m
 支間：68.3 m + 3@112.0 m + 68.3 m
 幅員：10.000 m（有効幅員）
 平面線形： $R=800$ m
 勾配：2.000%～0.500% VCL=300 m（縦断）
 5.000%（横断）
 道路区分：第1種第3級B規格（暫定2車線）
 荷重：B活荷重

3. 架設工法

3.1 架設条件

本橋梁が跨ぐ月山湖は寒河江ダムの建設により造られた人造湖であり、その特徴は平均の年間水位変動が約30mと非常に大きいことである。また、寒河江ダムは最上川治水計画の一環として、流水量の調整、灌漑用水、水道用水、および発電等の機能をもつ多目的ダムであるため、工事のための水位調整には、ダムを管理する建設省、周辺市町村、東北電力など多くの機関との調整を行う必要があった。当初、「建設工事のための水位調整は原則として行えない」という施工条件であったが、下部工施工に必要な渇水期（1月～3月の3ヵ月）に限り、水位を調整して工事を行うことが許可された。しかし、上部工の施工は水位調整を行わず、桁下空間の制約に左右されない工法の採用が強く望まれた

ため、各種施工法の検討を行った。

3.2 架設工法の選定

架設工法の選定にあたっては、年間に30mの水位変動があっても、資材搬入や作業員の移動が可能な架設工法について、次のような経済性・施工性の比較検討を行った。

- ① P&Z工法
- ② 移動式作業車により張出し架設を行い、資材の搬入路として仮栈橋や浮き栈橋、または台船を用い、資材の揚重にタワークレーンを用いる工法
- ③ ケーブルクレーンを用いる工法

これらについて比較検討した結果、以下の理由により最終的にはP&Z工法を採用した。

- ① 年間の水位変動が30mと非常に大きいため、仮栈橋などを設置した場合、非常に大規模なものとなり、不経済である。
- ② 橋長474 mで、平面線形（ $R=800$ m）であるため、ケーブルクレーンでの架設は困難である。
- ③ 架橋地点は日本有数の豪雪地帯であり、タワークレーンやケーブルクレーンを用いた場合、その維持管理が困難である。
- ④ P2橋脚高74 m、P3橋脚高73 mと非常に高いため、タワークレーンを用いる場合、大型設備が必要であり、経済性に劣る。また、タワークレーンの撤去時期にも制約がある。

3.3 P&Z工法の特徴

P&Zとはこの工法を開発した西ドイツのPolensky & Zöllner社の頭文字から命名されたものである。

本工法は移動式架設桁（送り桁）を用いた張出し架設工法であり、図-2に示すとおり、移動式架設桁から懸垂した2基の型枠装置（ S_v 、 S_H ）を用い、橋脚の両側に上部工を順次張出し架設していく工法である。以下にこの工法の特徴を列記する。

- ① 橋脚下からの作業をまったく必要としないので、河川・海上、渓谷や市街地など桁下の使用条件に制約がある場合や、高橋脚上の橋梁上部工を安全・確実に施工できる。
- ② 1ブロック長を10m程度とし、橋脚の両側の1対のブロックを12日（大型装置：稼働率考慮）で施工できるた

め、工期短縮が図れる。

- ③ 地上支保工や揚重機を用いず、柱頭部や側径間を施工できる。
- ④ P&Z装置を用いて、張出し架設中の橋脚に生ずるアンバランスモーメントを調整できる。

3.4 大型P&Z装置構造概要

曲線橋の施工においても、直線の送り桁を使用する方が一般的であり、送り桁の汎用性も高い。直線の送り桁を用いて曲線橋を施工する場合について、支間が60m, 80m, 100mのときに施工可能な最小曲線半径を試算した結果は表-1のとおりである。

試算の結果から、大井沢橋(スパン112m, $R=800m$)の平面線形に対して直線の送り桁では対応できないことから、送り桁を折り曲げる構造が採用された。またねじりモーメントに抵抗するため、送り桁断面には四角トラス構造を採用している。

図-3に送り桁組立て図を示す。全長132.5mの送り桁は、

表-1 各支間における施工可能な最小曲線半径

支間 (m)	60	80	100
最小曲線半径 (m)	390	690	1060

計算の仮定：送り桁は直線
送り桁の幅 3.0m
橋体のウェブの中心間隔 5.5m

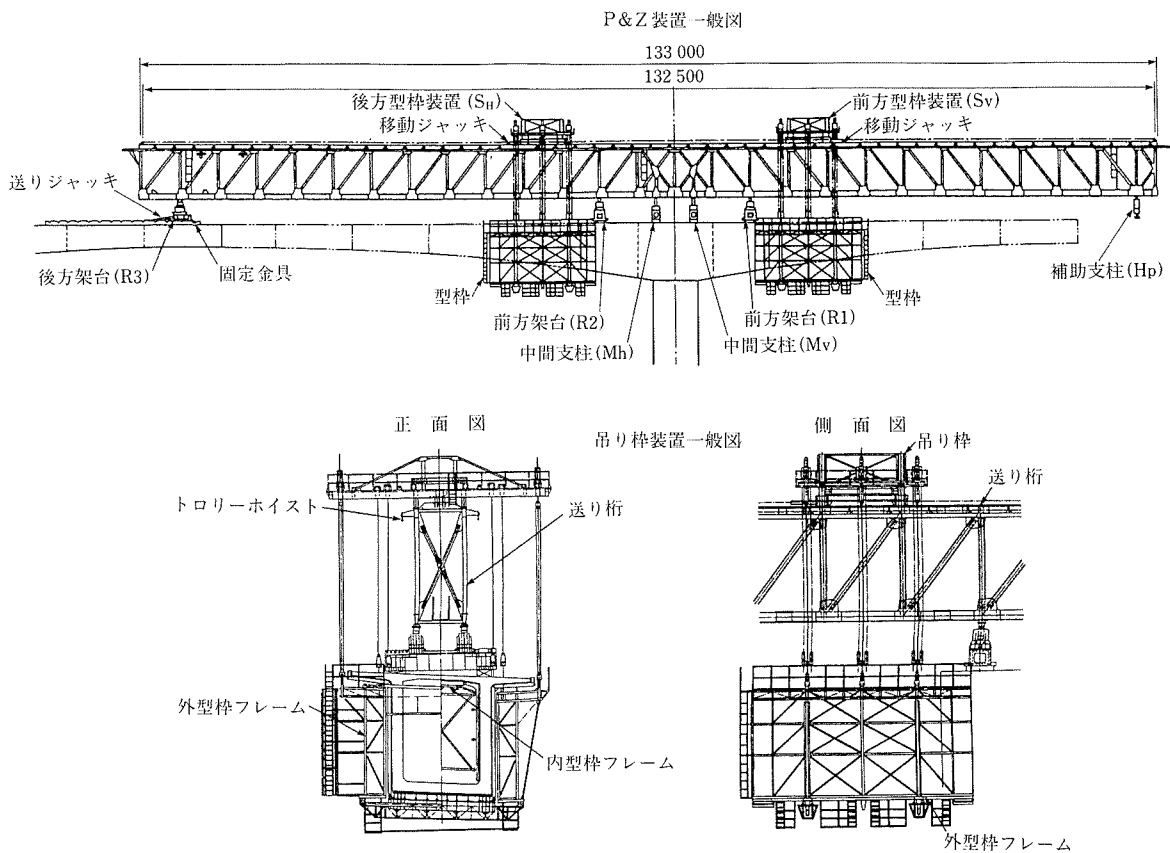


図-2 P&Z装置一般図

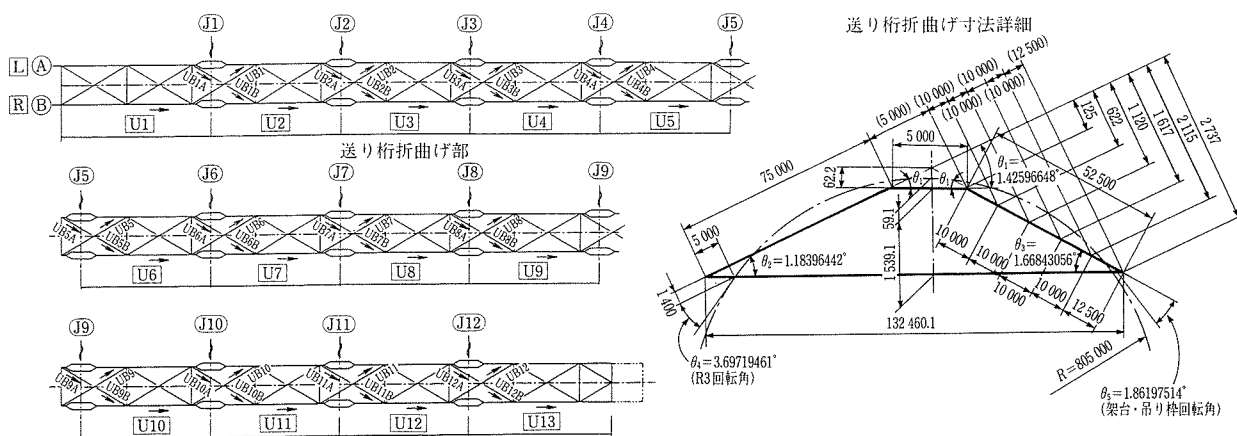
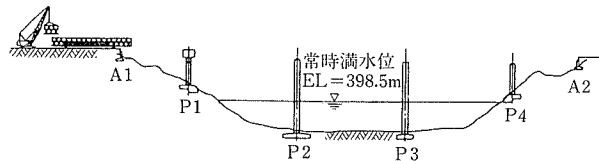


図-3 送り桁組立て図(平面線形図)

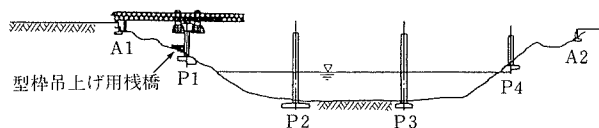
ステップ1

- A1橋台の背面でP&Z装置の送り桁・吊り棒を組み立てる。
- P1橋台の脚頭部を施工後、ブラケットを用いて柱頭部を施工する。



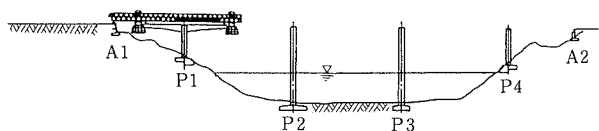
ステップ2

- 仮ベントを設け送り桁をP1橋脚に移動させ、型枠装置を栈橋を組み立て吊り上げる。
- P1橋脚より張出し施工を行う。



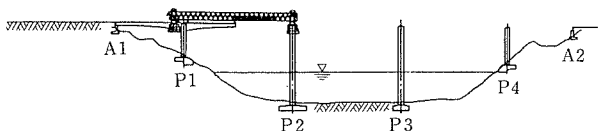
ステップ3

- P1最終張出しブロック施工後、型枠装置にてA1側径間部を施工する。



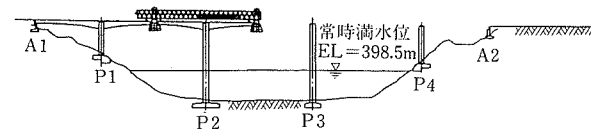
ステップ4

- 送り桁を前進させ、P2橋脚に補助支柱を据え付ける。
- 型枠装置をP2橋脚に移動し、柱頭部の施工を行う。



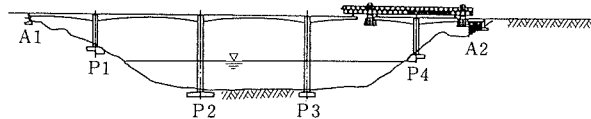
ステップ5

- P&Z装置を前進させ、P2橋脚の張出し施工を行う。
- P2最終張出しブロック施工後、型枠装置にてP1~P2閉合部を施工する。
- 以下同様に、P3橋脚の施工を行う。



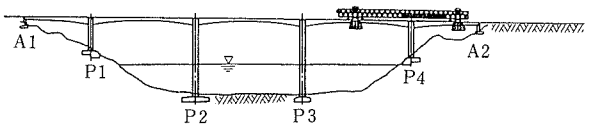
ステップ6

- P4橋脚の脚頭部を施工後、ブラケットを用いて柱頭部を施工する。
- P4張出し施工を行うと同時に、地上支保工を用いてA2側径間部を施工し、最終ブロック施工にて側径間閉合を行う。



ステップ7

- P3~P4側径間閉合部の施工を行う。



ステップ8

- A2橋台の背面にてP&Z装置を解体し、橋体工を完了する。
- 高欄作業車にて橋面工を施工する。

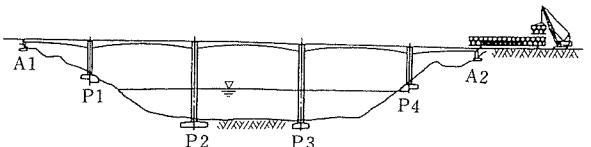


図-4 施工順序

表-2 大井沢橋工事工程表

工期：平成8年2月28日～平成10年12月13日

年 月	平成8年												平成9年												平成10年											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
工種・種別																																				
準備工																																				
上部工詳細設計																																				
P&Z装置設計・製作																																				
仮設工																																				
仮栈橋																																				
P&Z装置組立て																																				
型枠装置組立て																																				
装置径間移動																																				
橋体工																																				
A1側径間																																				
P1柱頭部(支保工)																																				
P1張出し部																																				
P2柱頭部(P&Z装置)																																				
P2張出し部																																				
P3柱頭部(P&Z装置)																																				
P3張出し部																																				
P4柱頭部(支保工)																																				
P4張出し部																																				
A2側径間(支保工)																																				
橋面工																																				
地覆・高欄ほか																																				
後片付け工																																				
下部工引渡し																																				

基本的には10mを1ユニットとする部材で構成されており、曲線(R=800m)に対応するため、送り桁中央部の1ユニットを折り曲げた構造としている。本装置で直橋を施工する場合は、この1ユニットを交換することにより直線の送り桁にすることができる。

4. 施工概要

4.1 施工要領

概略の施工順序を図-4に、また工事工程を表-2に示す。

(1) P&Z装置の組立て

写真-3に示すとおり、架台、送り桁および吊り枠は、A1橋台背面の土工区間で組み立てた。また、2基の型枠は、A1～P1間の2カ所に設けた構台上で組み立て、送り桁がP1橋脚上に到達後、吊り上げ、張出し施工位置まで移動した(写真-4)。

なお、この構台のうち1カ所はP1橋脚施工時に用いられた構台を拡張したものである。

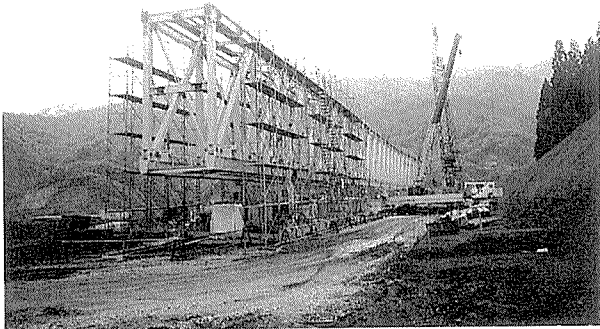


写真-3 装置の組立て



写真-4 型枠の組立て

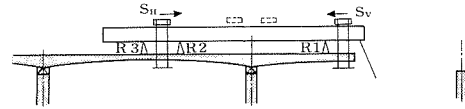
(2) 装置の径間移動

P&Z装置の径間移動手順を図-5に示す。平面線形(R=800m)に対応するため、送り桁の送出し量とそれに必要な送り桁の横移動量を事前に計算し、送出しと横移動は必ず並行して行った。また径間移動時と柱頭部施工時、型枠装置は橋脚を通過するために、

① 型枠装置の底版は開閉できる構造

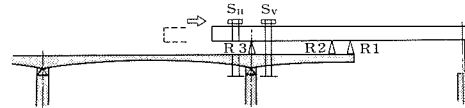
ステップ1

架台R1・R2・R3で送り桁を支持し、前方型枠(S_v)と後方型枠(S_h)を柱頭部へ移動する。



ステップ2

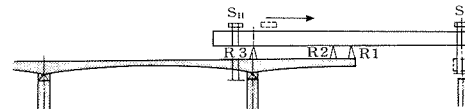
架台の盛替えを行って、送り桁を前進させる。なお、次の橋脚に補助支柱(H_p)を設置する。



ステップ3

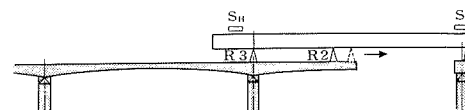
前方型枠(S_v)を移動し、柱頭部ブロックを施工する。

注) P1, P4柱頭部はブラケット支保工で先行施工。



ステップ4

架台R1を柱頭部へ移動して送り桁を支持し、補助支柱(H_p)を撤去する。



ステップ5

架台R2を柱頭部へ移動し、架台R1・R2・R3で送り桁を支持し、所定位置まで送り桁を前進させる。前方型枠(S_v)と後方型枠(S_h)を①②ブロック施工位置へ移動する。

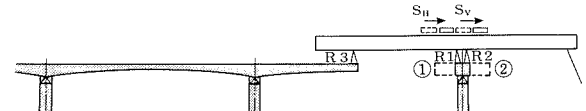


図-5 装置の径間移動手順

② 型枠装置の底版を開いた状態で、側枠は幅員方向にスライドできる構造

を採用している(写真-5)。

P4柱頭部に到達直前の送り桁の径間移動状況を写真-6に示す。

(3) 柱頭部の施工

P1, P4柱頭部については、橋脚部施工時に使用した作業構台が使用でき、資機材の搬入はこの構台上からクレーンで行えるため、ブラケット式支保工を用いて先行施工した。

湖面上のP2, P3柱頭部は、P&Z装置の前方型枠装置(S_v)を用いて施工した。資機材はすべてA1橋台背面から既設上部工上を通り、送り桁後端まではトラックで運搬し、送り桁後端から施工位置までは送り桁に設置したトロリーホイストによって運搬した。また、コンクリートは送り桁後端までアジテーターカーで運搬し、ここに配置したポンプ車により送り桁上の配管を介して施工位置に供給した。

施工に要した期間は、ブラケット式支保工により施工したP1, P4柱頭部でそれぞれ約60日(支保工組立てから撤去まで)であった。またP&Z装置の前方型枠装置を用いて施工し



写真-5 型枠装置



写真-7 柱頭部の施工状況

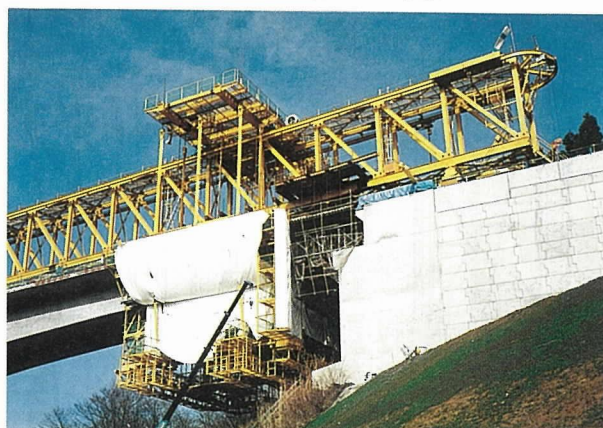


写真-8 A1側側径間の施工



写真-6 径間移動状況

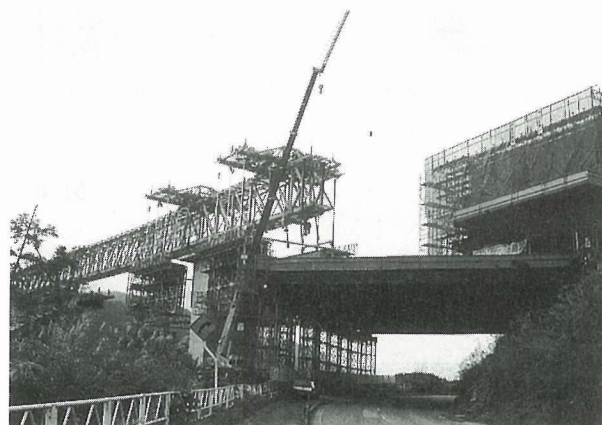


写真-9 A2側側径間の施工

たP2, P3柱頭部については、施工時期が1月～3月の豪雪期であったP2柱頭部で約50日を要したが、P3柱頭部では約35日であった。

P&Z装置を用いた柱頭部の施工要領を図-6および写真-7に示す。

柱頭部を型枠装置(S_v)で施工するための装置構造上のポイントは以下のとおりである。

- ① 一般部の主桁(下床版)幅6.2mに対して、橋脚幅が8.0mと大きいことから、型枠吊り位置を幅員方向に広げられるスライド機構を有すること
- ② 型枠装置の底版を開放するため、側枠を固定する横梁を配置すること



写真-10 張出し架設状況

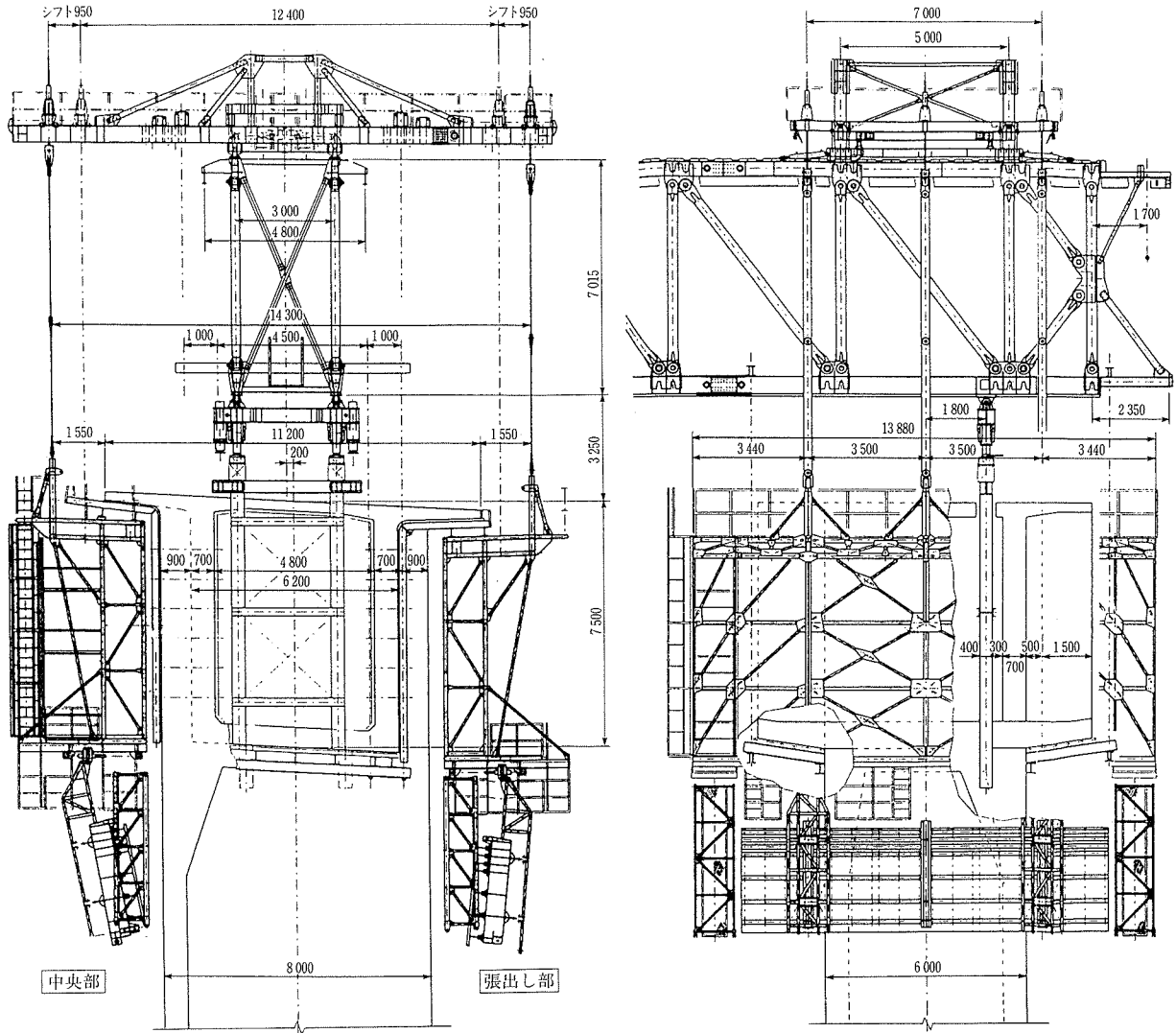
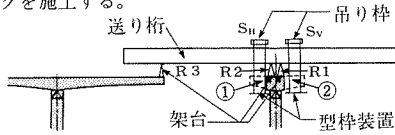


図-6 柱頭部施工手順

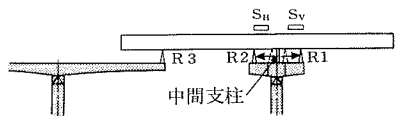
ステップ1

①②ブロックを施工する。



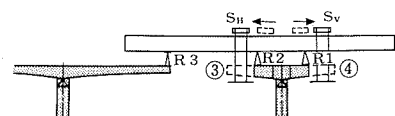
ステップ2

①②ブロックにプレストレスを導入後、架台R3と中間支柱で送り桁を支持して架台R1, R2を③④ブロックの直前に盛り替える。



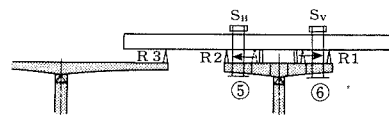
ステップ3

型枠装置を移動させ、③④ブロックを施工する。



ステップ4

③④ブロックにプレストレスを導入後、架台R3と中間支柱で送り桁を支持し、架台R1, R2を⑤⑥ブロック直前に盛り替える。



ステップ5

上記のステップを繰り返して、既設の上部工と連続させる。

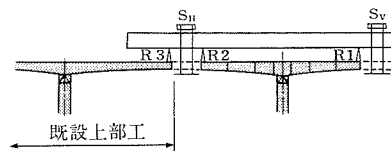


図-7 張出し施工手順

(4) 側径間の施工

A1側側径間を固定支保工で施工する場合、P&Z装置の組立て、P1柱頭部の施工、P1橋脚施工用栈橋の拡幅や型枠装置組立てなどの作業が重なり、作業ヤードが確保できないため、A1側側径間の施工は、P&Z装置を使用した吊り支保工で施工した。吊り支保工による施工状況を写真-8に示す。側径間約16.8m区間のうち、10mは後方型枠装置(S_H)を用い、残りの6.8m区間は送り桁から懸垂した吊り支保工を用いて施工した。

一方、A2側側径間ではA1側のような制約がないため、支柱式支保工を用いて現在施工中である(写真-9)。

(5) 張出し架設部の施工

張出し架設状況を写真-10に、張出し施工手順を図-7に示す。送り桁は張出し施工中の橋面上に設置した架台(R1, R2)と張出し施工が完了した既設橋面上に設置した架台(R3)によって支持されている。この送り桁に懸垂された前方型枠装置(S_V)および後方型枠装置(S_H)を用い、平均12日サイクル(稼働率考慮)でS_V, S_Hとも同時にコンクリートを打設(10m×2カ所=20m)し、順次張出し施工を行った。

張出し施工で使用する資機材やコンクリートの運搬方法は、P&Z装置を用いて施工したP2, P3柱頭部と同様である。

(6) 架台反力管理

設計に準じた各架設段階の架台反力を管理する目的は、施工時の安全性、完成後の構造物の安全性を確保するためである。

架台反力管理限界値の設定方針を以下に示す。

- ① 橋体の架設時許容応力度を満足すること
- ② 橋体完成後の許容応力度を満足すること
- ③ P&Z装置の安全性を確保すること

張出し施工の1サイクルにおける架台反力、上越し量の管理は以下の時期に行った。

- ① 型枠セット時、② コンクリート打設終了時、③ プレストレス導入後

また、橋脚高が非常に高いことから、架台反力、上越し量と併せて、橋脚の倒れも確認しながら施工を行っている。

5. 橋梁上部工の設計について

橋梁上部工設計の特徴について以下に述べる。

5.1 せん断力に対する設計

ウェブ厚の低減、施工性の向上を図る目的で本橋梁ではせん断鋼棒を配置せず、せん断力に対しては、主方向プレストレス力とその鉛直成分で、斜め引張応力度を許容値以下とするよう設計した。その結果、支点付近の主方向PC鋼材の配置は設計荷重時のせん断力に対する設計で決まって

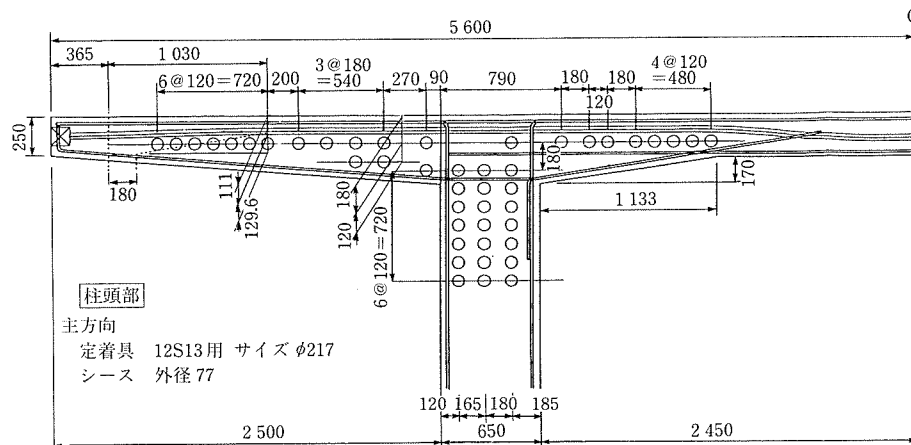


図-8 12S12.7Bを用いたケーブル配置図

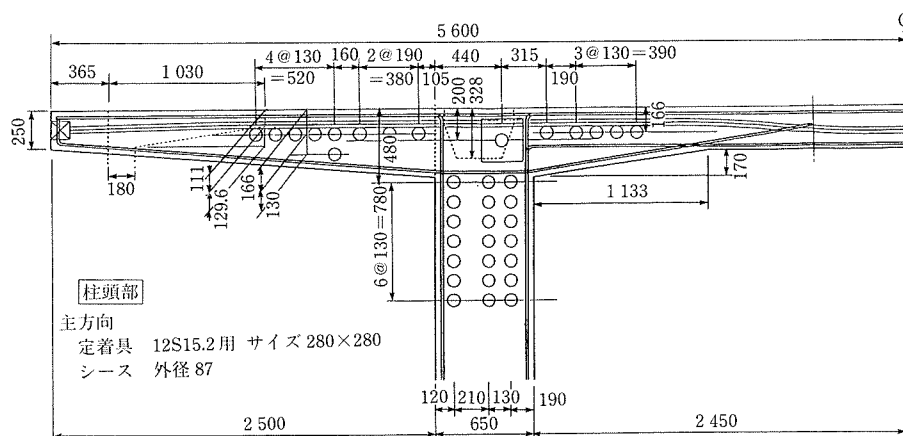


図-9 12S15.2Bを用いたケーブル配置図

◆ 工事報告 ◆

おり、一方、スパン中央付近の主方向PC鋼材配置は設計荷重時の曲げモーメントに対する設計で決まっている。

5.2 主方向PC鋼材の選定

P&Z工法の特徴の一つである1ブロック長10mでの張出し架設では、移動式作業車を用いた1ブロック長3.5m程度の張出し架設に比べ、主方向ケーブルを定着できる断面数が1/3程度に減少する。これを踏まえ、大容量テンドン12S15.2Bと従来から用いられている12S12.7Bの2種類について、PC鋼材の配置、経済性、施工性を比較検討し、12S15.2Bを採用した。図-8、9に12S12.7Bおよび12S15.2Bを用いた柱頭部の主方向ケーブル配置を示す。

12S12.7Bの場合、上床版端部までPC鋼材が配置され、排水ますとの取合いが困難であることが分かる。

5.3 主方向PC鋼材定着部の補強

近年、12S15.2Bの利用実績は増加しつつあるが、箱桁橋の張出し架設ケーブルとして利用された実績は少なく、採用にあたっては定着部背面の補強筋に対する検討が必要と考えられた。

3次元FEM解析を行った結果、定着具背面5cm～20cm付近に約100kgf/cm²の割裂引張応力が発生したため、このFEM解析結果に従い必要補強筋量の配置を決定した。次にこの補強筋を配置した実物大供試体の載荷実験を行い、補強効果を確認した後、実橋で採用することとした。

6. おわりに

P&Z装置の最後の径間移動も終了し、現在P4橋脚からの

張出し架設を開始したところである。現在の施工状況を写真-11に示す。

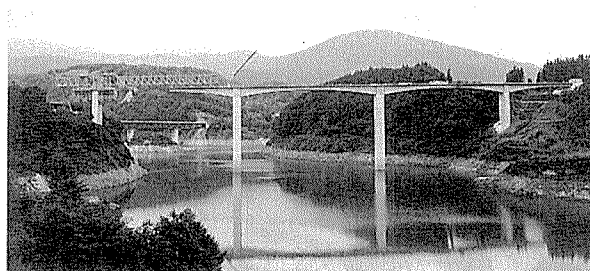


写真-11 P4橋脚からの張出し架設

8月末現在で出来高は約75%、積雪4mに達する冬が来る前に竣工させるべく、鋭意施工中である。

山形に来られる機会があれば、ぜひ国道112号線を鶴岡方面に向かって走っていただきたい。寒河江ダムを過ぎて約5分、左側に月山湖上に浮かぶ大井沢橋が必ずやご覧いただけると思う。

最後に、本橋の設計および施工に際し、ご指導・ご協力をいただいた方々に深く感謝の意を表する次第である。

【1998年10月13日受付】