

JR 根室本線 星が浦海岸通架道橋の施工

— 下路桁形式 PC ランガーアーチ橋 —

川村 力*1・枝松 正幸*2・神田 隆司*3・江島 賢一*4

1. はじめに

東北海道の中核都市である釧路市では、物流アクセスの円滑化を目的に釧路港西地区整備事業が進められており、その一環として、JR 根室本線新大楽毛 - 新富士間の全長 1 450 m の鉄道高架化が実施された (図 - 1)。星が浦海岸通架道橋は、高架の道路横断部に建設され、釧路港湾地区のシンボルとして下路桁形式の PC ランガー橋が選定された (図 - 2)。

本稿では、PC ランガー橋の構造上の特徴、アーチリブコ

ンクリートに採用した自己充てん型高強度高耐久コンクリート (以下、S. Q. C と称す)、施工に先立ち実施した確認試験と施工の概要について報告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

星が浦海岸通架道橋の工事概要を以下に示す。また、構造一般図を図 - 3 に示す。

工事名：新大楽毛高架 3 工区

事業主体：北海道、釧路市

発注者：北海道旅客鉄道株式会社

施工者：鉄建・坪野総合工業共同企業体

構造形式：単線 2 主桁下路形式 PC ランガーアーチ橋

橋長：66.400 m

支間：65.000 m

ライズ：11.300 m

曲線半径： $R = \infty$

斜角： 90°

2.2 構造概要

PC ランガー橋は、補剛桁、アーチリブおよび両部材を連結する鉛直材から構成される。本橋では各部材の力学的特徴に応じて構造を選定しており、大きな軸圧縮力が発生するアーチリブは RC 構造、軸引張力が支配的な鉛直材は鋼構造、曲げとアーチリブ圧縮力に対抗する軸引張力が作用する補剛桁は PC 構造とし、コンクリート構造と鋼構造とが混在する複合構造となっている。



図 - 1 橋梁架設位置



図 - 2 イメージ C.G

*1 Chikara KAWAMURA : 北海道旅客鉄道 (株) 工務部 工事課 主席

*2 Masayuki EDAMATSU : 北海道旅客鉄道 (株) 工務部 工事課 副課長

*3 Takashi KANDA : 鉄建建設・坪野総合工業共同企業体 工事主任

*4 Kenichi EJIMA : 鉄建建設 (株) エンジニアリング本部 計画部 課長代理

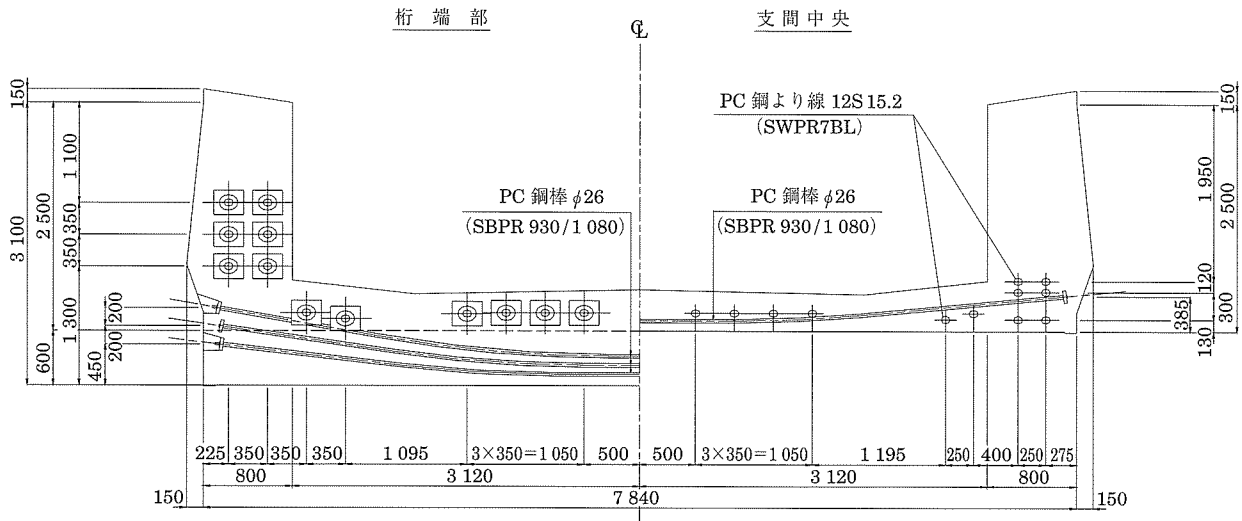


図 - 6 補剛桁 PC 鋼材配置断面図

また、アーチリブと補剛桁との接合部に生じる引張応力度に対しては、FEM 解析を実施し、PC 鋼棒を配置してひび割れの防止対策を実施した。FEM 解析結果を図 - 7 に、接合部の PC 鋼材配置を図 - 8 に示す。

(4) 鉛直材の設計

鉛直材は、断面寸法 500 mm の角形鋼管を使用し、板厚は長さが短く比較的大きな曲げモーメントが生じる端部の鉛直材は 22 mm とし、その他は 16 mm とした。

鉛直材の定着部の設計は、引抜力に対しては支圧板部に

生じるコンクリートの支圧応力および引抜せん断耐力で抵抗し、水平力および曲げモーメントに対しては鉛直材埋設部側面に作用するコンクリートの支圧応力で抵抗する設計モデルを想定して安全性の検討を実施した。図 - 9 に定着部の設計モデル図を示す。

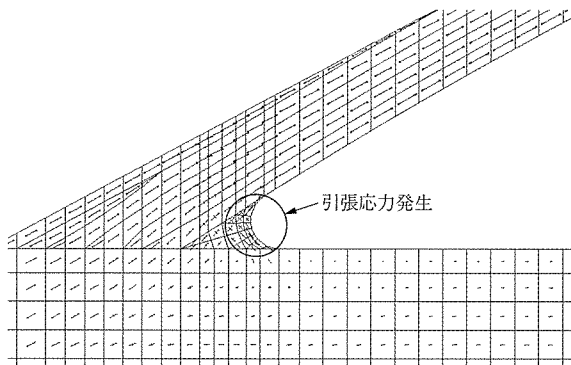


図 - 7 アーチリブ基部の FEM 解析結果

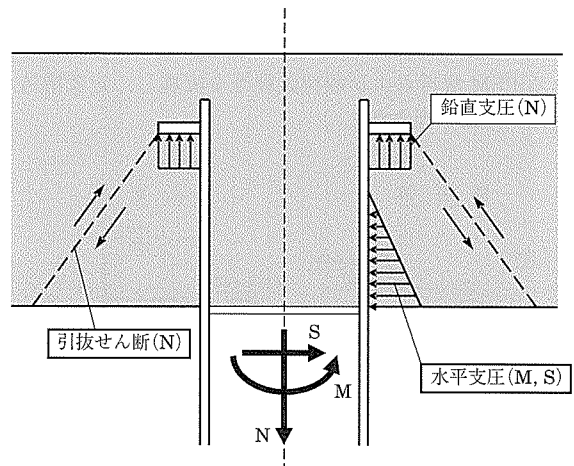


図 - 9 定着部設計モデル

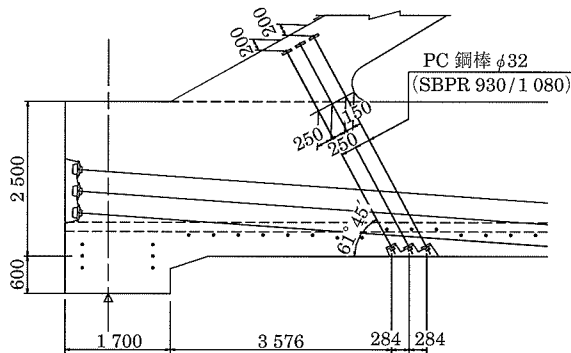


図 - 8 アーチリブ基部の PC 鋼材配置図

3. アーチリブコンクリートの配合

3.1 自己充てん性が必要な理由

アーチリブには、設計基準強度 60 N/mm² の高強度コンクリートが採用され、アーチリブ、鉛直材およびストラットの結合部は、鋼材および鉄筋が交錯して配置されている(図 - 10)。また、アーチリブの上面は勾配があるため、伏せ型枠を設置する必要がある(写真 - 1)。このような条件下で高品質な施工を行うため、高い自己充てん性と高強度、高耐久性を兼ね備えた S. Q. C を採用した。

S. Q. C とは、「Super Quality Concrete」の略で自己充てん性をもつ、高強度、高耐久性のコンクリートである。平成 8 年に S. Q. C の普及を目的に協会が設立され、平成

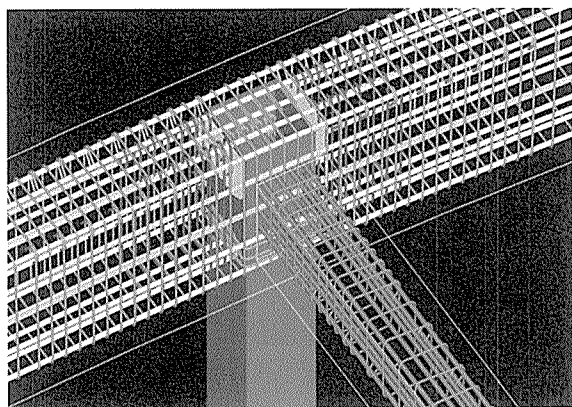


図 - 10 鉛直材定着部の鋼材配置 (C.G)



写真 - 1 アーチリブ伏せ型枠

13年には土木学会より設計・施工・維持管理指針が発刊された。

3.2 コンクリートの配合検討

一般に、高強度コンクリートは、セメント量が多く、コンクリート中の総アルカリ量が増加する傾向にある。土木学会では、アルカリ骨材反応を抑制するためにはアルカリ総量を 3.0 kg/m³ 以下にすることが望ましいとしており、本橋ではアルカリ骨材反応の抑制効果がある高炉セメント B

種を基本とする配合を採用した。また、高炉セメントを使用したコンクリートは普通セメントを使用した場合と比較して、自己収縮・乾燥収縮が大きい傾向にあるため、ひび割れを抑制するために膨張材を添加した。表 - 1 にアーチリブコンクリートの配合表を示す。

土木学会では、コンクリートの自己充てん性を鉄筋等の障害物の量、配置間隔に応じて3つのランクに分類している²⁾ (表 - 2)。本橋のアーチリブは鉄筋量が比較的多く、ランク2に相当する。しかし、高炉セメント B 種を使用した S.Q.C は、セメント量が多く粘性が高いため、エアの巻き込みが多く型枠面に多数の気泡が発生し、外観上の問題となる可能性がある。このため、本橋では小型パイプレタおよび型枠パイプレタを併用して、コンクリートの充てんおよび気泡の除去を行うこととしたため、材料分離抵抗性を考慮したうえで、自己充てん性の低いランク3を採用した。表 - 3 にアーチリブコンクリートの要求性能を示す。

表 - 3 アーチリブコンクリートの要求性能

必要性能	評価値
自己充てん性ランク	3
スランプフロー (cm)	55.0 ± 5.0
空気量 (%)	4.5 ± 1.5
圧縮強度 (N/mm ²)	60.0 以上

3.3 施工確認試験

アーチリブの施工上の主な課題は、鋼材が過密に配置されている鉛直材結合部の充てん性と伏せ型枠を用いるアーチリブ上面の仕上がりであり、確実な施工のために事前に確認試験を実施した。

結合部の充てん確認試験は、結合部付近の実際の鋼材配置を模擬した 3.5 m の実物大試験体により実施し、選定した配合のコンクリートで確実な打設、充てんできることを確認した。

アーチリブ上面の仕上げ方法は、コンクリート打設終了数時間後に伏せ型枠を撤去し、金ごて等で仕上げするのが一般的である。この方法では良好な仕上げ作業が可能な伏せ型枠の撤去時間の設定や仕上げ面表層に微細ひび割れが発生することなどの問題がある。このため、最近、性能が

表 - 1 アーチリブコンクリートの配合表

打設部位	セメントの種類	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
					W	C	EX	S	G 1	G 2	SP
アーチ部	BB + EX	30.7	29.6	40.7	164	534	20	650	960	—	5.540 : B × 1.00 %

表 - 2 自己充てんのランクと各評価試験値²⁾

自己充てん性のランク		1	2	3
構造条件	鋼材の最小あき (mm)	35 ~ 60	60 ~ 200	200 以上
	鋼材量 (kg/m ³)	350 以上	100 ~ 350	100 以下
U 型またはボックス形充てん高さ (mm)		300 以上 (障害 R 1)	300 以上 (障害 R 2)	300 以上 (障害なし)
単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)		0.28 ~ 0.30	0.30 ~ 0.33	0.32 ~ 0.35
流動性	スランプフロー (mm)	600 ~ 700	600 ~ 700	500 ~ 650
材料分離抵抗性	漏斗の硫化時間 (秒)	9 ~ 20	7 ~ 13	4 ~ 11
	500 mm フロー到着時間 (秒)	5 ~ 20	3 ~ 15	3 ~ 15

向上している透水性型枠を使用して、上面の気泡を除去することを検討した。試験には気泡が残留しやすい緩い勾配の長さ2mの実物大試験体を3体作成し、伏せ型枠に市販の3種類の透水性型枠を使用した。写真-2に試験体配置状況を、写真-3に試験体表面の仕上がり状況を示す。結果的には、程度の差はあるものの、すべての試験体表面に多くの気泡が発生し、透水性型枠による気泡の除去は断念し、一般的な方法で施工することとした。

次に、一般的な仕上げ方法の場合の課題である、伏せ型枠の撤去時間、仕上げ作業の施工性および仕上がり状況を確認するための試験を行った。伏せ型枠には通常の化粧合板と、表面にモルタル分を集めて仕上げを容易にする目的で化粧合板に樹脂製ネットを貼り付けたものを使用した。また、試験体の勾配は伏せ型枠撤去時間の影響を受けやすいアーチリブの最大勾配とした。写真-4に仕上げ確認用の試験体を示す。伏せ型枠の撤去、仕上げ開始時間は、打設後1.5、2.0、3.0、4.0時間の4ケースとしたが、2時間以下の場合にはコンクリートが安定せず、垂れ、ひび割れが発生し、3～4時間が施工性、仕上がりとも良好であった。また、伏せ型枠の樹脂ネットの有無による施工性への影響は確認できなかった。この結果、伏せ型枠は化粧合板を使用し、打設3時間後に伏せ型枠の撤去・仕上げを開始する計画とした。写真-5に表面の仕上がり状況を示す。



写真-4 仕上げ確認用試験体

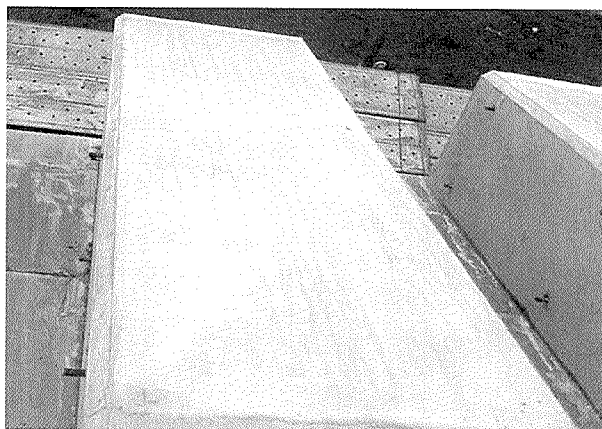


写真-5 表面仕上がり状況

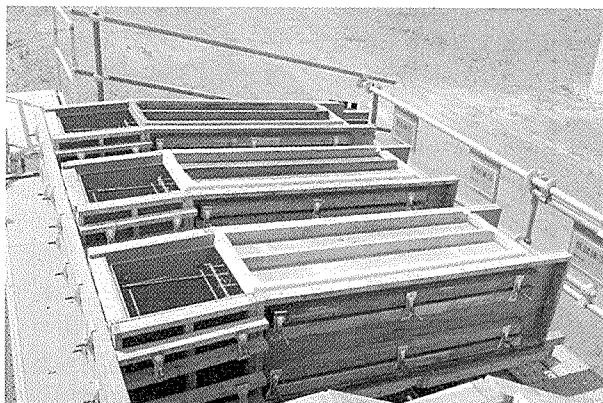


写真-2 試験体（透水性型枠使用）



写真-3 表面仕上がり状況（気泡発生）

4. 施工概要

4.1 施工ステップ

本橋は総支保工式の場所打ち工法により施工を行った。図-11に施工ステップ図を示す。

4.2 補剛桁・鉛直材の施工

(1) 支保工・型枠設置

本橋の建設地点は比較的良好な地盤であるため、表層部の碎石で置換し、鉄板を敷設して地耐力を確保し、支保工を設置した。一般のPC橋の場合、上げ越し量は、死荷重のほか、全クリープによる変形を合計して算定する。本橋では、全クリープを考慮して上げ越しを実施し、計算どおりのたわみが生じない場合に軌道敷設時に基準のバラスト厚さを確保できない可能性があるため、軌道敷設時（補剛桁打設後15ヵ月と想定）に計画高さとなる上げ越し量とした。

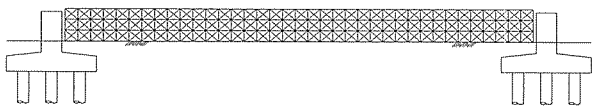
(2) 鉛直材の設置

補剛桁に埋設される鉛直材は、底版型枠上にコンクリート製スペーサーおよび台座フレームを設置して固定した。鉛直材の設置精度は、鉛直材相互を連結する仮つなぎ材および仮プレスにより確保したが、鉛直材の塗装が損傷しないよう、ゴムマットで防護した（写真-6）。なお、鉛直材の設置精度については、事前に設置誤差が構造物の安全性に与える影響を検討したうえで、施工管理値を設定した。

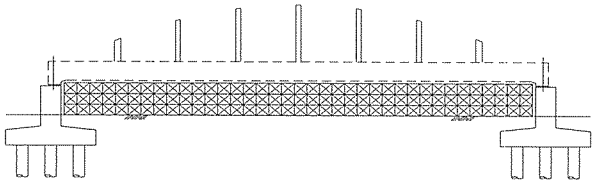
(3) コンクリート打設

補剛桁コンクリートは、施工の確実性を考慮し、2分割

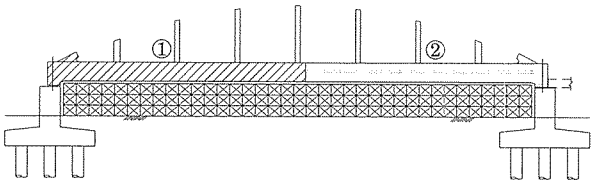
STEP1：補剛桁支保工・型枠設置



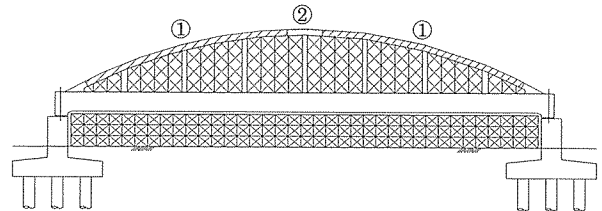
STEP2：鉛直材設置



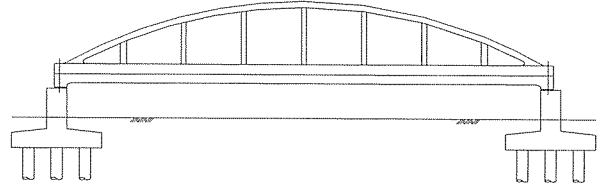
STEP3：補剛桁コンクリート打設



STEP4：アーチリブ支保工・支保工組立て、コンクリート施工



STEP5：補剛桁 PC 鋼材緊張，支保工解体



STEP6：橋面工，施工完了

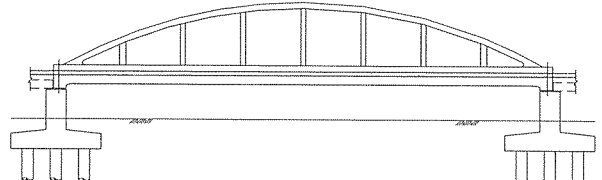


図 - 11 施工ステップ

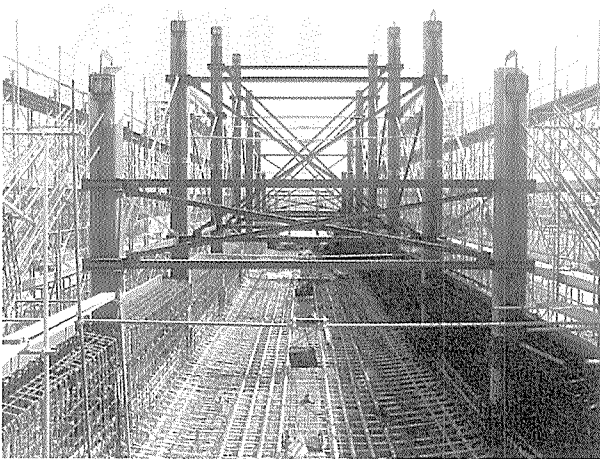


写真 - 6 鉛直材設置状況



写真 - 7 補剛桁コンクリート打設状況

して打設した。打継ぎ部にはひび割れ防止用の補強鉄筋を配置するとともに、雨水が滞留しやすい底版上面には防水工を実施し、耐久性の向上に配慮した。また、アーチリブ基部のコンクリートは、主桁接合部の拘束ひび割れを防止するために、主桁コンクリートと同日の施工とした。写真-7に補剛桁コンクリート打設状況を示す。

PC ランガー橋のプレストレス導入は、アーチリブの施工が完了し、構造系が完成した後に実施されるが、長期間支保工上に存置される補剛桁のひび割れ発生防止のために、補剛桁コンクリート打設後に主ケーブルの一部を先行緊張した。

4.3 アーチリブの施工

(1) 分割方法の検討

補剛桁上で施工するアーチリブは、外部拘束によるひび割れ発生が問題となり、セメント量が多く水和熱が大きい S. Q. C を使用するにはその影響が顕著となる。そこで、アーチリブを一括打設した場合と分割打設した場合の 2 ケースについて温度応力解析を実施し、ひび割れ発生の可能性が低くなる分割打設を採用した。

(2) コンクリート打設

左右のアーチリブで約 100 m³ の第 1 ロットコンクリートは、2 台のコンクリートポンプ車を使用して 1 日で打設した。早朝から打設を開始し、伏せ型枠の解体・仕上げ作業

が完了したのは深夜であった。写真 - 8, 9 にアーチリブ打設状況, アーチリブ上面仕上げ作業状況を示す。事前の確認試験で決定した作業手順に従って適切な施工を行い, コンクリート表面の仕上がり状態はきわめて良好であった。また, アーチクラウン部 3 m の第 2 ロットコンクリートの打設は, 事前の温度履歴確認試験を実施し, 第 1 ロットコンクリートの温度が外気温まで低下する 7 日後に実施した。

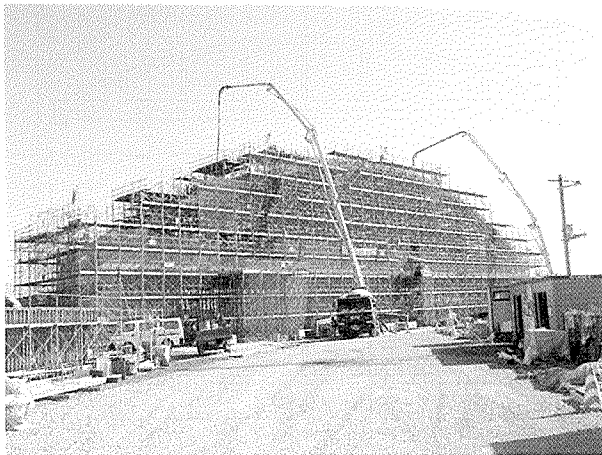


写真 - 8 アーチリブ打設状況

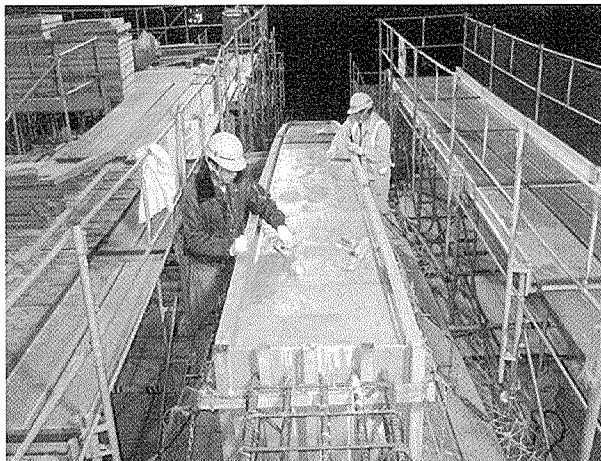


写真 - 9 アーチリブ上面仕上げ作業状況

4.4 PC 鋼材の緊張

PC 鋼材の緊張作業は, アーチリブコンクリートの強度を確認後に実施した。緊張の順序は, 全体的な応力バランスを考慮し, ① 横桁横締め鋼棒 (全数), ② 底版横締め鋼棒 (1/3), ③ 補剛桁主ケーブル (全数), ④ 底版横締め鋼棒 (2/3) の順序で実施した。

5. おわりに

本橋は, PC ランガー橋として北海道内では初めての事例であり, また, スパン 65 m は同種橋梁で国内第 2 位の規模である。本橋の施工に際し, 本稿で述べた検討課題のほか, 角鋼管構造の鉛直材とコンクリートとの定着方法, 寒冷地での鋼材仕様, 加工方法および品質の確認方法などについて多くの解析・実験等により安全性の確認を行った。

本橋の建設にあたり, 北海道大学上田教授を委員長とする施工検討委員会を開催し, 多くの課題に対してご指導, ご協力をいただき, 委員の方々には深く感謝いたします。

なお, 本橋はすでに本体工事は完了し (写真 - 10), 今年の秋頃には供用が開始される予定である。

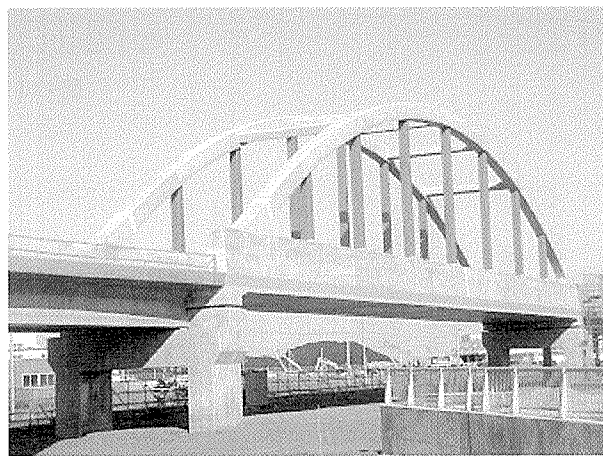


写真 - 10 完成写真

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説, コンクリート構造物, 平成 16 年 4 月
- 2) 土木学会: 高流動コンクリート施工指針, 平成 10 年 7 月

【2008 年 5 月 19 日受付】