

論文・報告

小樽 JCT B ランプ橋の設計と施工

～北海道横断自動車道 塩谷川橋（鋼上部工）工事～

Design and Construction of Otaru JCT B Ramp

名木 文裕 *1
Fumihiko NAKI

広田 茂雄*2
Shigeo HIROTA

大成 隆 *3
Takashi OHNARU

岩井 学 *4
Manabu IWAI

高井 祥成 *5
Yoshinari TAKAI

ハッ橋 侑大*6
Yukihiro YATSUHASHI

小樽 JCT B ランプ橋は、北海道横断自動車道（余市 IC～小樽 JCT）の東端に位置する、北海道横断自動車道と札幌自動車道を連結するランプ橋である。札幌自動車道本線を横過する径間の架設には、道内の新設工事では初となる、多軸台車を用いた大ブロック一括架設工法を採用した。架橋位置が積雪寒冷地で、厳しい腐食環境にも曝されることから、鋼材の防錆仕様や付属物の材料選定など、耐久性向上のための様々な対策を施した。

キーワード：鋼橋、寒冷地、維持管理、一括架設。

1. はじめに

小樽 JCT は北海道横断自動車道黒松内釧路線の一部となる「余市～小樽間」約 23.3km のうち、小樽側の札幌自動車道との JCT である。余市 IC～小樽 JCT 間は 2018 年 12 月に暫定 2 車線の高規格幹線道路として開通している。本稿では、余市側からの交通を札幌側へ連結するランプ橋である小樽 JCT B ランプ橋の設計と施工について報告する。（図 1, 2 位置図参照）

本橋の架橋位置は、海岸線から 700m 以下に位置し、道示¹⁾ III 5.2 の影響地域（対策区分Ⅲ）に該当する。また、積雪量においても 10 年再現確率積雪深が 2.0m 以上であり、これらの降雪の影響と並び札幌自動車道本線からの凍結防止剤を含んで巻き上げられる雪や、除雪時に飛ばされる雪についても配慮が必要となった。



図 1 余市 IC～小樽 JCT 位置図

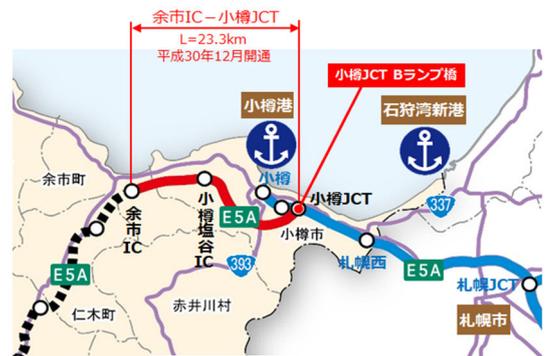


図 2 橋梁位置図

2. 橋梁概要

本工事の工事概要を以下に示す。（図 3, 図 4 参照）
発注者：東日本高速道路(株) 北海道支社 小樽工事事務所
所在地：北海道小樽市新光町

路線名：北海道横断自動車道 黒松内釧路線

工事名：北海道横断自動車道 塩谷川橋（鋼上部工）工事

工期：2014 年 11 月 8 日～2018 年 10 月 17 日

橋梁諸元【小樽 JCT B ランプ橋】

形式：鋼 5 径間連続合成 1 主箱桁 + 2 主 I 桁橋
橋長：231.5m

支間長：83.3 + 38.5 + 40.0 + 35.5 + 31.9m

総幅員：7.700 ～ 7.640m

平面線形：R=320m～∞

縦断線形：2.574% →

鋼重：約 640t

塗装：AlMg 合金溶射 + ふっ素樹脂塗装 (A1～P1)

C5 塗装 (P1～A2)

*1 川田工業(株)鋼構造事業部工事事務所東京工事課 総括工事長

*2 川田工業(株)鋼構造事業部工事事務所東京工事課 工事長

*3 川田工業(株)鋼構造事業部四国工場橋梁技術課 係長

*4 川田工業(株)鋼構造事業部技術部東京技術課 主幹

*5 川田工業(株)鋼構造事業部工事事務所東京工事課 総括工事長

*6 川田工業(株)鋼構造事業部工事事務所東京工事課

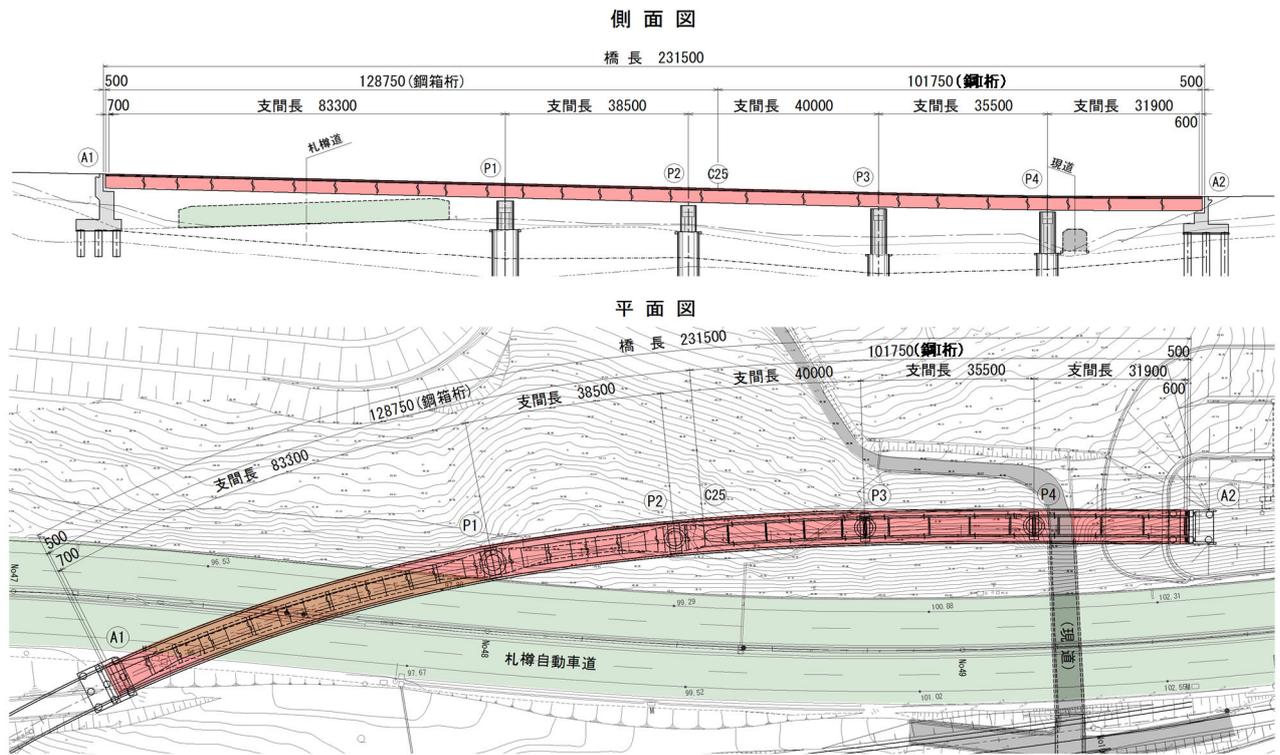


図3 橋梁一般図(側面図・平面図)

3. 構造検討

(1) 床版形式

本橋の床版形式は、以下の制約から橋梁全長にわたり鋼・コンクリート合成床版 (SC デッキ) を採用した。

- ① A1～P1 間が供用中の札幌自動車道本線と交差し、床版施工に伴う交通規制を最小限とすることが求められる
- ② P1～P3 間の L 側は壁高欄外縁と用地境界が近接し、外側に張り出す足場の設置が不可能である
- ③ P3～A2 間では、場所打ち PC 床版の採用も考えられたが、その範囲は橋梁全長の 30%程度であり経済性にも優位な差が生じない
- ④ 維持管理の面からは 1 橋あたり 1 床版形式が望ましい

(2) 主桁形式

本橋は、A1～P1 間で札幌自動車道本線と交差するため側径間の支間長が長く、アンバランスな支間割となっている。また、A1～P2 間にかけて R=320m と曲率が大きいことから、1 主箱桁形式を採用して曲げ剛性、ねじり剛性を高め、P2～A2 間は、支間長から経済性に配慮して 2 主 I 桁形式を採用した。

A1～P1 間は桁下余裕が小さいことから、札幌自動車道本線を走行する車両に与える圧迫感を低減するために、箱桁形状を逆台形断面とした。また、札幌自動車道本線上に、下フランジに堆雪した雪の落下を避けるため下フランジとウェブの板組におけるフランジの張出し量を最小とした。(図 4 参照)

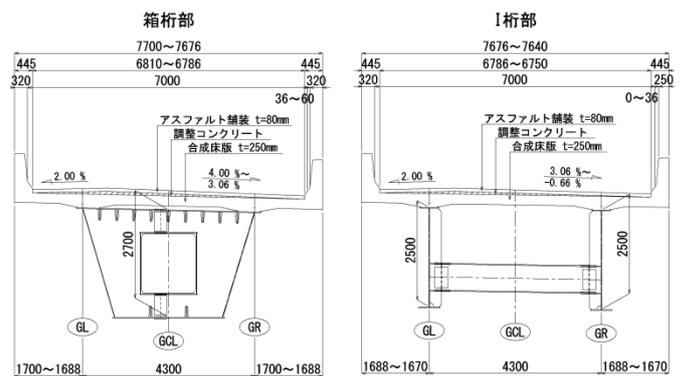


図4 橋梁一般図(断面図)

(3) P1 支点上の床版コンクリート引張応力度低減策

A1～P1 間の支間長が長いことから P1 中間支点上の発生断面力が多い。加えて、P1 支点上の桁形式が断面剛性が高い単一箱桁であるため、一般的な 2 主 I 桁橋に比べて合成断面の中立軸位置が低く、主桁作用により床版に発生する応力度が大きくなる傾向があった。

このため、死荷重時のコンクリート引張応力度を制限値以下とするための対策が必要となり、以下の対策を実施した。

- ① 床版厚さを増して床版の剛性を高めて床版に発生する応力度の低減を図った
- ② P1 支点部を合成後にジャッキダウンすることにより P1 支点部の後死荷重曲げモーメントを低減する方法を採用した

ジャッキダウンによる曲げモーメントの低減効果を図 5 に示す。

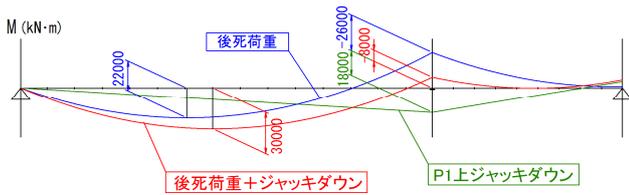


図5 ジャッキダウンによるP1支点上曲げモーメントの低減

(4) 箱桁区間の支点部構造

逆台形断面を採用した箱桁区間では、主桁下フランジ側のウェブ中心間隔が2.7mと狭い。そのため、ウェブ直下に支承を配置すると平面曲率による左右の反力差が大きくなり、地震時水平力により支承に負反力が生じる。

このため、支承中心間隔を広げて負反力の発生を抑える対策が必要となったが、一般的に採用されるアウトリガー構造(図6)とした場合、アウトリガー上面への積雪により支点部近傍の鋼材の腐食が懸念された。また、箱桁内部にはアウトリガーの控えフランジ、ウェブが配置されて狭隘な空間が多くなり点検・維持管理性が悪くなる。

このため、本橋の支点部では逆台形の主桁断面を矩形に変化させ、ウェブ中心間隔を拡げることにより支承の負反力対策とする構造を採用した(図7)。本構造の採用により、札幌自動車道に近接するP1橋脚、P2橋脚ではアウトリガーからの落雪対策にもなる。

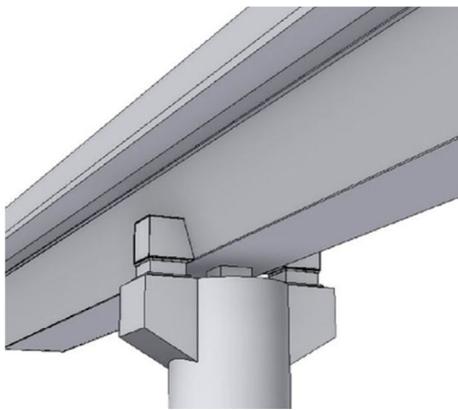


図6 一般的なアウトリガー構造

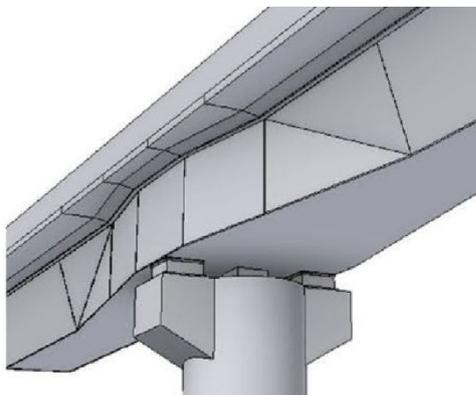


図7 本橋のアウトリガー構造

ウェブの傾きをすり付ける区間では、3次元CADで原寸展開を行い、折れ線の設置数や曲げ加工の施工性、その他製作上の課題については1/2模型を作製して事前確認を行った。(写真1参照)

ウェブの折れ線には、箱桁内面にT形断面の補強リブを設置している。(写真2参照)



写真1 1/2模型による製作性確認



写真2 折れ線の補強リブ

(5) 防錆仕様

A1~P1間は、札幌自動車道本線に散布された凍結防止剤が本線を走行する車両に巻き上げられて厳しい腐食環境に曝されることに加え、将来の塗り替え塗装に伴う本線の交通規制回数の低減も求められる。このため、A1~P1間の外面塗装には、アルミニウム・マグネシウム合金溶射+ふっ素樹脂塗装の仕様を採用した。

また、桁端部は伸縮装置からの漏水などにより鋼部材の腐食損傷が懸念されることから、支承の鋼板の防錆仕様を溶融亜鉛メッキに替えて金属溶射仕様とし、腐食耐久性の向上を図った。

(6) 主桁の現場継手形式と継手部防錆仕様

1) 現地工程上の制約

本橋の架橋位置は積雪地域であり冬季(11月15日~4月15日)の現場作業に制約を受けた。また、A1~P1間の大ブロッケー括架設は、現地の観光シーズン(繁忙期)の本線通行止めを避けるために2017年7月に実施する計画とした。このため、地組から現場継手、継手部の塗装、合成床版底鋼板パネルの架設、多軸台車の組み立て、搭載までを2.5か月間で行う必要があった。(表1)

表1 現場工程

		H28年度												H29年度												H30年度											
		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								
架設工	準備工																																				
	A 1																																				
	現場継手工																																				
	現場塗装工																																				
	P 1																																				
	合成床版パネル架設工																																				
	多軸台車組立・搭載																																				
	大ブロッケー括架設																																				
	準備工																																				
	P 1																																				
	桁架設工																																				
	現場継手工																																				
現場塗装工																																					
P 3																																					
合成床版パネル架設工																																					
床版工・ 付属物工	準備工																																				
	A 1																																				
	壁高欄工																																				
	橋梁付属物工																																				
	A 2																																				
	飛雪防止欄工																																				
後片付け																																					

2)現場継手部の腐食耐久性の確保

継手部の腐食耐久性の面からは、主桁の現場継手は溶接継手とするのが望ましいが、現場工程の短縮を目的に継手形式を高力ボルト摩擦接合とした。一般にボルト継手部は防錆上の弱点になりやすいことに配慮し、高力ボルト継手部の防錆仕様として以下の対策を取ることで腐食耐久性の向上を図ることとした。

- ①金属溶射範囲・・頭溶射トルシア形高力ボルト（写真 3）の使用。表 2 および図 8 に溶射部現場継手部の防錆仕様を示す。
- ②C5 塗装範囲・・高力ボルトのナット部に、カップ塗装工法（写真 4）を採用。



写真 3 頭溶射ボルト

表 2 高力ボルト頭部の塗装仕様（金属溶射範囲）

記号	工程	溶射、塗料又は素地調整程度	
K2"	工場装	2次素地調整	除錆度ISO Sa3 粗面粗さ Rz50 μm以上
		金属溶射	アルミニウム・マグネシウム合金
		封孔処理	封孔処理剤
現場装	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	
	上塗	ふっ素樹脂塗料用上塗	

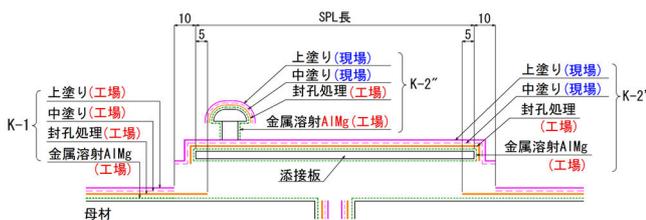


図 8 継手部の塗装仕様（金属溶射範囲）

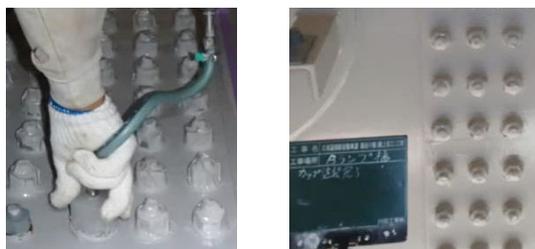


写真 4 カップ塗装工法（C5 塗装範囲）

3)ボルト継手の性能確認（金属溶射範囲）

金属溶射範囲においては工場塗装の合理化を図るために摩擦接合面も金属溶射とした。

摩擦接合面を金属溶射とした場合のすべり係数は、道路橋示方書の無機ジンクリッチペイントを塗付した場合の 0.45 よりも高いとした研究結果²⁾もあるが、リラクセーション特性などが通常のボルト継ぎ手とは異なるため、1 行×2 列の小型試験片を用いたすべり試験、リラクセーション試験を実施して継手性能を確認した。本試験は、接合面の溶射被膜厚やボルト長さによる影響を確認するために、表 3 に示すタイプの試験体で実施した。タイプ A, B は、接合面の目標膜厚がそれぞれ 100 μm, 300 μm で、ボルト長の異なる 3 タイプの試験体とし、

タイプ C, D は、実工事での施工を考慮して、金属溶射から高力ボルト締付までの期間を 4 か月とし、その間、試験体を屋外に暴露する計画とした。

表 3 試験体のタイプ

試験体タイプと試験体数				板厚		ボルト首下長 (mm)	接合面の目標膜厚 (μm)	金属溶射～締付けまでの期間
すべり試験	リラクセーション試験		母材 t1 (mm)	連結板 t2 (mm)				
タイプ	試験体数 (体)	タイプ	試験体数 (体)					
A1	3	AR1	1	22	12	85	100	3週間
A2	3	AR2	1	32	22	115	100	3週間
A3	3	AR3	1	32	32	135	100	3週間
B1	3	BR1	1	22	12	85	300	3週間
B2	3	BR2	1	32	22	115	300	3週間
B3	3	BR3	1	32	32	135	300	3週間
C1	3	-	-	22	12	85	100	4か月
D1	3	-	-	22	12	85	300	4か月

すべり試験の結果、いずれの試験体も 0.45 を上回るすべり係数が得られ（図 9）、リラクセーション試験結果ではボルト締付 30 日後の軸力残存率が、最低でも 97%であった（図 10）ことから、本橋の摩擦接合継手部の設計は、すべり係数 0.45 として行った。

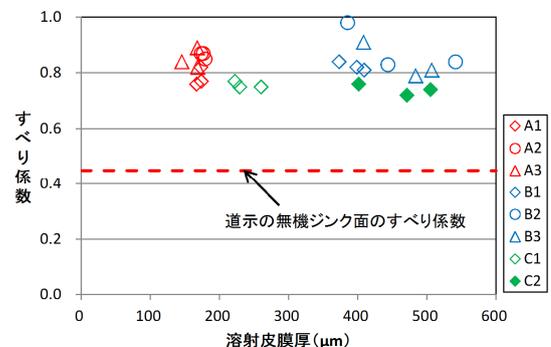


図 9 すべり試験結果

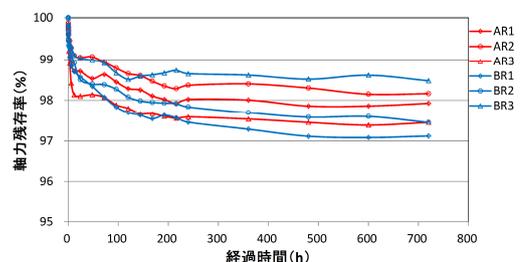


図 10 リラクセーション試験結果 (30 日間)

4. 付属物の設計

(1) 排水装置の設計

寒冷地では、排水管内部での排水の凍結膨張による管の破損を防ぐために、鋼管が用いられるのが一般的であるが、積雪寒冷地に架かる本橋では、凍結防止剤を含む排水の影響による鋼管の腐食損傷が懸念された。このため、排水管には腐食のリスクが無い高密度ポリエチレン管を採用した。

高密度ポリエチレン管は、満水状態における凍結試験により、凍結による管の変状が生じないことが確認された材料で、管同士の接続は電気融着式の接続方法（写真 6 EF 継手接続）であることから、継手部からの漏水の懸念も少ない材料である。



写真5 高密度ポリエチレン管設置状況



写真6 EF継手接続模式図

高密度ポリエチレン管の線膨張係数は 13×10^{-5} で鋼材 (12×10^{-6}) の約 10 倍であるため、温度伸縮量の相対差を吸収するために排水柵 1 間隔毎に伸縮管を設置した。

伸縮管には、凍結試験により高い水密性が確認された新型の高密度ポリエチレン管用伸縮管を採用している (写真7 参照)。



写真7 伸縮管

(2) 検査路配置および仕様の検討

桁端部は、伸縮装置からの漏水による鋼部材の腐食・損傷が生じやすい部位であるため、伸縮装置の近接目視点検をしやすいように橋台パラペットの前面に検査路を設置した。検査路自体の腐食耐久性を確保するため、アルミニウム合金製検査路を採用した。(写真8 参照)



写真8 桁端部のアルミニウム合金製検査路

また、札幌自動車道本線に近接する P1, P2 橋脚部では、本線を除雪した凍結防止剤を含む雪が下部工検査路にかかるなど腐食が懸念された。このため、P1, P2 橋

脚部の下部工検査路には腐食耐久性の高いアルミニウム合金製検査路を採用した。除雪による飛雪範囲の例を図11に示す。

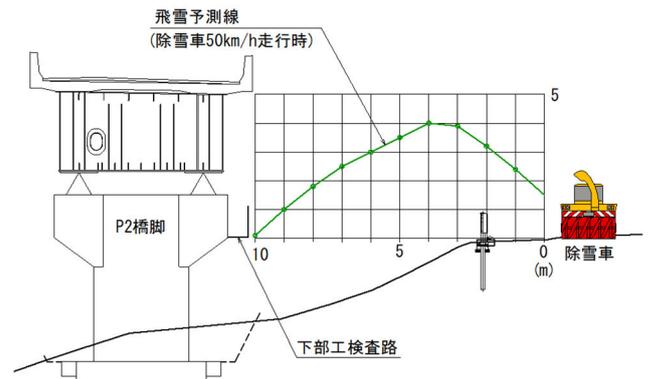


図11 P2橋脚部除雪影響範囲

(3) 壁高欄の塩害対策

壁高欄の鉄筋かぶりは70mmを基本としたが、凍結防止剤の影響を受ける車道側前面は、塩害対策としてかぶり90mmを確保した。ただし、中間支点上の完全目地部および端部の主鉄筋D16の範囲では、壁高欄上部で鉄筋の曲げ加工半径が確保できないため、かぶりを70mmとしてエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。さらに、横断勾配の低い側の床版と壁高欄の打継部には、床版上の水が浸透することに配慮し、立ち上り部を設けることで壁高欄の外側への漏水に配慮した。(図12参照)

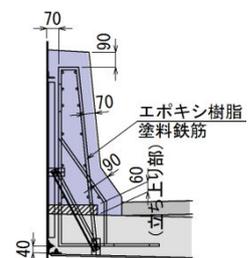


図12 壁高欄筋筋(目地部)

また、コンクリートは、塩化物遮蔽性や化学抵抗性が大きく、水密性の高い高炉セメントコンクリートとした。

5. 架設

本橋の札幌自動車道本線と交差する A1~P1 間の架設には、札幌自動車道本線の規制時間を最小限とすることを目的に、多軸台車を用いた大ブロッケー括架設工法を採用した。

A1~P1 間の架設ステップを、図13、図14に示す。

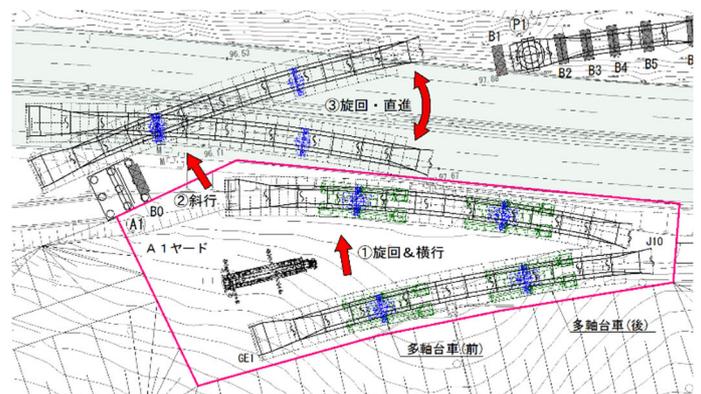


図13 架設計画(ヤードから札幌自動車道へ)

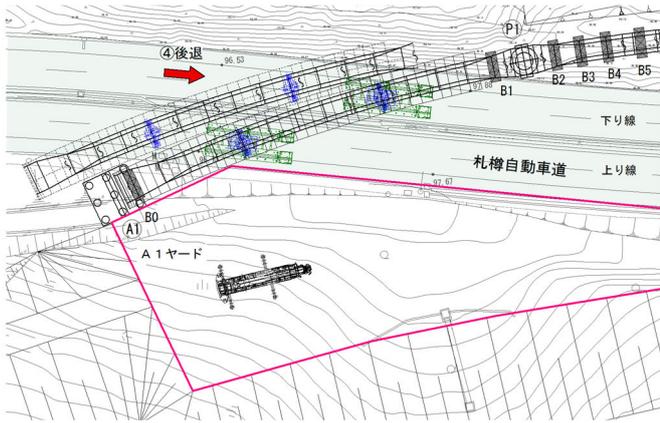


図 14 架設計画（札幌自動車道から架橋位置へ）

架設当日は、NEXCO 関係者や報道陣など総勢 200 名近くが見守る中、予定より 1 時間以上早く、無事に架設を完了した。



写真 9 架設状況（ヤードから札幌自動車道へ）



写真 10 架設状況（札幌自動車道から架橋位置へ）

6. おわりに

本工事は、2018年10月に無事にしゅん功し12月には暫定2車線にて供用を開始している。本橋にて取組んだ鋼橋の維持管理への配慮事項などが同種橋梁の参考となれば幸いである。

最後に、当橋梁の設計・施工にあたり、寒冷地特有の課題を、実例に基づきご助言・ご協力を頂きましたNEXCO 東日本北海道支社の関係各位に対しまして、厚く感謝の意を表し結びとします。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 2012,3
- 2) たとえば、小笠原，岩井，服部：各種金属溶射を用いた摩擦接合面におけるすべり試験，土木学会第 70 回年次学術講演会（I-498）



写真 11 完成写真