

## 論文・報告

## 呉羽丘陵フットパス連絡橋の建設

## ～補剛桁を有する耐風索のない歩道吊橋～

## Construction of Stiffened Suspension Pedestrian Bridge without Storm Cable

岩田 龍也 \*1  
IWATA Ryoya

大野 克紀 \*2  
OHNO Katsunori

杉本 浩士 \*3  
SUGIMOTO Hiroshi

杉田 俊介 \*4  
SUGITA Syunsuke

鴛田 拓実 \*5  
OSHIDA Takumi

山田 忠志 \*6  
YAMADA Tadashi

本橋は、富山市内において交通量の非常に多い県道 44 号線富山高岡線上に架かる、主塔間隔 124m の単径間補剛吊橋である。歩行者専用吊橋ではあるが、補剛桁を有し耐風索のない構造である。補剛桁は開断面箱桁とし床版には S C デッキが採用された。現地の地形上、複雑な風環境が予想され、計画段階から風洞試験による耐風性の検証が行われた。さらに、受注後には詳細な風洞試験による耐風性検証を実施した。現場施工に関しては、交通量の多い県道上の架設となることから、県道の夜間通行止めの回数が最小となるような補剛桁の架設順序を検討し、防護工設備を充実させて施工を行った。

キーワード：吊橋、歩道橋、S C デッキ、風洞試験

## 1. はじめに

富山市西部に位置し、南北に延びる丘陵地帯が呉羽丘陵と呼ばれ、その尾根沿いに呉羽丘陵フットパスが整備されている。フットパスとは、イギリスを発祥とする「歩くことを楽しむための道」のことで、この呉羽丘陵フットパスも、立山連峰や富山市街を眺望できる景観に優れた散策路として市民に親しまれている。呉羽丘陵は東西を横切る交通量の多い県道 44 号線富山高岡線により、呉羽山側と城山側で分断されている。この分断された散策路を南北に結ぶことを目的に、新たなランドマークとして吊橋が採用された。図 1 に呉羽丘陵フットパス連絡橋の橋梁位置図を示す。

写真 1 に本橋の全景を示す。主塔間隔は 124m におよぶが、この規模の歩道吊橋としては例の少ない、補剛桁形式で耐風索のない構造となっている。補剛桁は、開断面箱桁形式で、床版は当社製品の S C デッキという構成である。架橋地点の地形から複雑な風環境が予想され、計画段階から風洞試験による耐風性の検証が行われている。

本報告では、解体計算の実施による架設時の検討、詳細な風洞試験による耐風安定性の検証および架設の概要について報告する。



図 1 橋梁位置図



写真 1 呉羽丘陵フットパス連絡橋の全景

\*1 川田工業(株)橋梁事業部技術統括部東京技術部富山技術課  
\*2 川田工業(株)橋梁事業部技術統括部東京技術部 富山担当部長  
\*3 川田工業(株)橋梁事業部工事統括部東京工事部富山工事課 係長

\*4 川田工業(株)橋梁事業部工事統括部大阪工事部大阪工事課 課長  
\*5 川田工業(株)橋梁事業部工事統括部大阪工事部大阪工事課  
\*6 川田工業(株)橋梁事業部営業統括部企画室 主幹

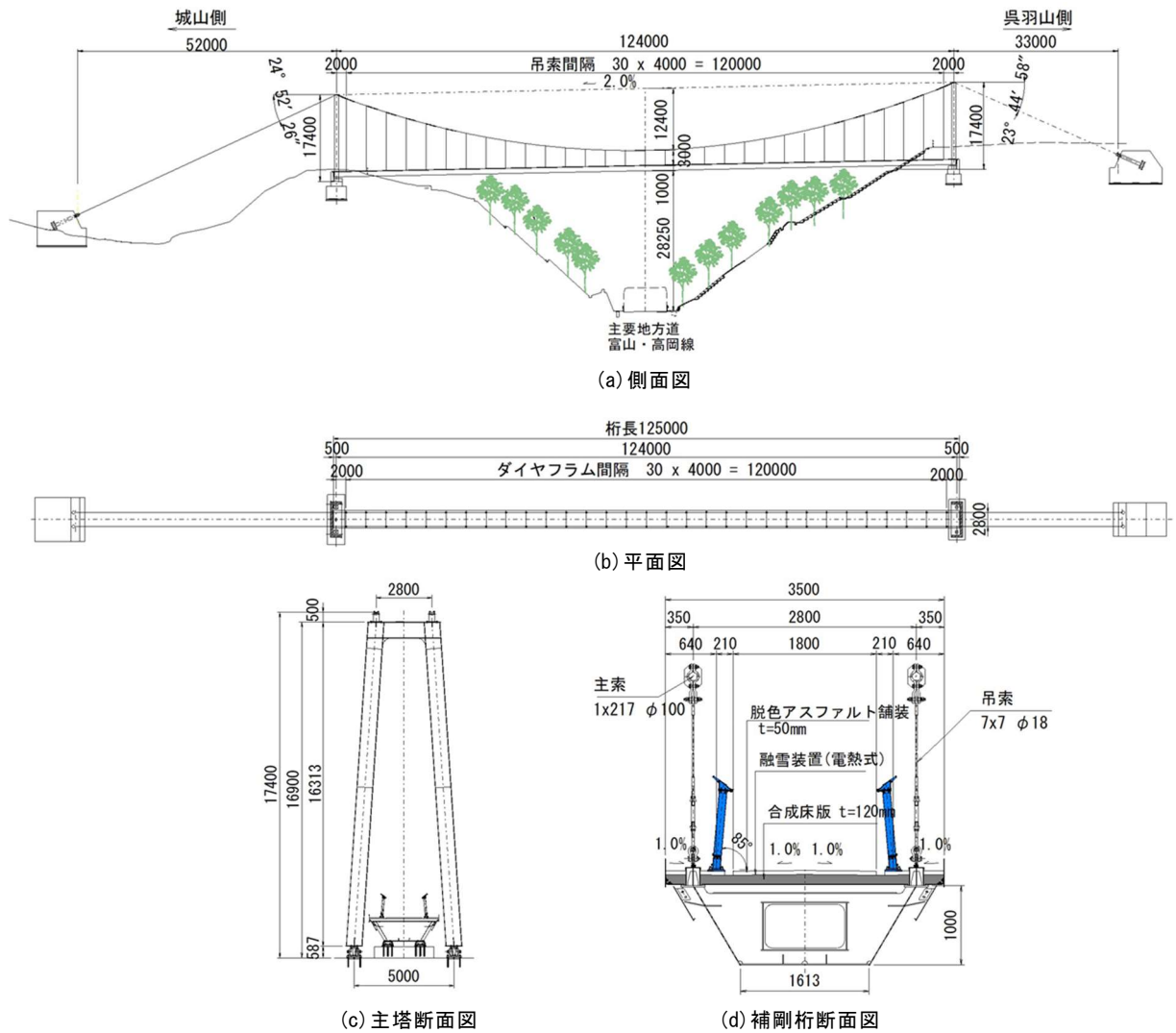


図2 橋梁一般図

## 2. 工事概要

### (1) 工事概要

工事名：呉羽丘陵フットパス連絡橋整備工事  
 工事場所：富山県富山市茶屋町外 地内  
 発注者：富山市  
 施工会社：佐藤工業・川田工業・松原建設呉羽丘陵  
 フットパス連絡整備工事共同企業体  
 工期：2020年12月23日～2023年8月31日

### (2) 構造諸元

図2に橋梁一般図、表1に本橋の構造諸元を示す。

表1 構造諸元

橋格	歩道橋
吊橋形式	単径間補剛吊橋
主塔間隔	124 m
主索サグ比	1/10
幅員	3.5 m (歩道 1.8 m)
床版	合成床版 (以下、SGデッキ)
主索間隔	2.8 m
吊索間隔	4.0 m
主索	φ100 (1×217) /片側
吊索	φ18 (7×7)
高欄	アルミ合金製

## 3. 解体計算による架設時の検討

吊橋は柔軟な構造物であるため、架設段階での変形が大きくなることが知られている。本橋においても、完成系モデルから架設ステップを遡って部材を撤去していく解体計算を行い、架設ステップ毎の全体形状を確認した。解析プログラムには、三次元有限変位解析システムLADANを使用した。変形後の形状を用いてつり合い式を立てる有限変位理論に基づいた解析により、変位量を算出した。主索サグ値を満足させるため、ケーブル形状と張力を算出し、各節点座標と主索、吊索の無応力長を決定した。主索と吊索の製作にも、ここで得られた無応力長を反映した。

図3に解体計算の主な流れを示す。全ての部材が設置された図3(a)の完成時から部材を撤去していき、図3(e)は主索の設置完了に該当する。図中の数値は主塔頂部の変位量を示しており、主塔は側径間側に傾斜している状態となる。そのため、完成時の形状とするために、主塔架設時にこれをセットバック量として反映した。

また、補剛桁架設時には完成時に比べて死荷重が小さ

いことから、塔頂サドル部およびケーブルバンドにおいてすべりが発生する可能性が懸念された。そこで、全ての架設ステップにおいて塔頂サドル部およびケーブルバンドのすべり安全率を算出し、安全率が2以上確保されていることを確認した。

#### 4. 風洞試験の概要

本橋の架橋位置は、谷底に道路が通るV字谷を跨ぐため複雑な風環境が予測された。よって、計画段階から風洞試験による耐風性の検証が行われ、耐風安定性に問題のないことが確認されている。さらに、受注後には詳細な風洞試験を行い、耐風性の検証を行った。

##### (1) 試験方法

風洞試験は、計画段階での試験と同様に、横浜国立大学の水平回流ゲッチング型風洞施設にて実施した。試験模型は縮尺1/30、模型長1.25mの部分模型で、鉛直たわみとねじれの2自由度ばね支持にて試験を実施した。表2に風洞試験諸元を示す。

計画段階の検討において、架橋地点の地形を考慮し、周辺地形をモデル化した流れ解析により気流の傾斜角が

平均的に $+5^\circ$ と推定された。この結果をもとに、風洞試験での迎角は $+5^\circ$ を中心に風速変動による迎角変動を $\pm 3^\circ$ 考慮とすると $+2^\circ \sim +8^\circ$ となるが、試験では安全を見て、 $-3^\circ \sim +9^\circ$ の範囲で評価を行うこととした。また、複雑な地形に架設されることから一定の風の乱れが予想されるが、一般に風の乱れは渦励振振幅、ギャロッピングの発現を低減させることから、一様流で耐風安定性を満足しないケースについては乱流の影響も確認した。乱流の乱れ強さは安全側の評価を行うため、規定16%よりも小さめの乱れ強さである11%とした。

照査風速については、道路橋耐風設計便覧りに基づき、ギャロッピング照査風速を42.5m/s、フラッター照査風速を48.9m/sとした。ここで、ギャロッピングはたわみの発散振動、フラッターはねじれの発散振動であり、発現により致命的な振動となる現象である。図4に高欄詳細図を示す。耐風対策として、路面から500mm範囲は開口とし、残り的高欄上部範囲には開口率約35%のパンチングメタルを取り付け、高欄頂部には長さ300mmのフラップを $30^\circ$ の角度で設置した構造としている。

##### (2) 試験の総括

表3に風洞試験結果を示す。一様流の条件下では、迎角 $-3^\circ \sim +7^\circ$ の範囲においてたわみ、ねじれ共に照査風速までの発散振動は認められなかった。迎角 $+9^\circ$ で

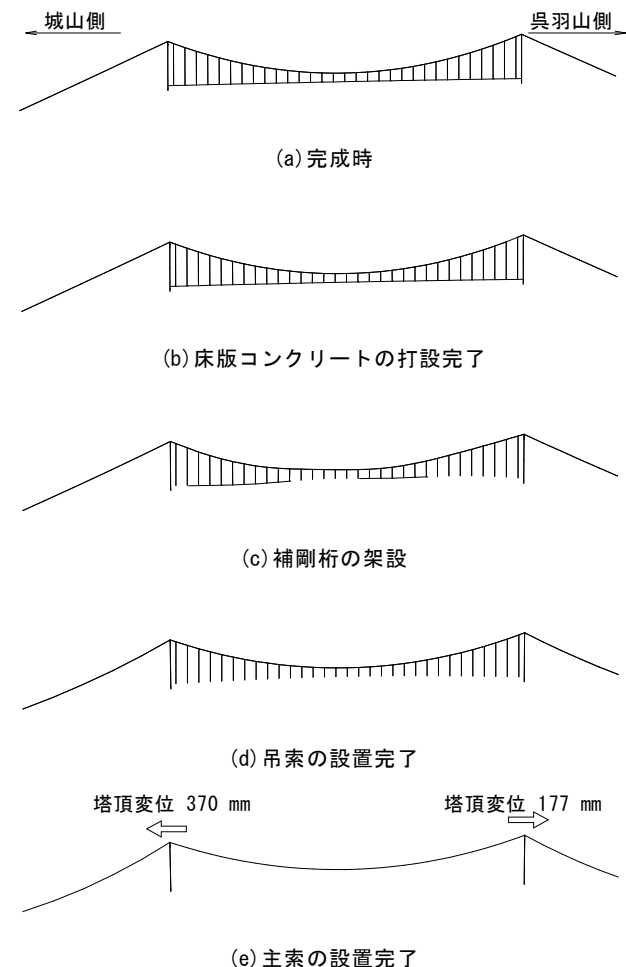


図3 解体計算の主な流れ

表2 風洞試験諸元

	実橋値	模型 (縮尺1/30 模型長1.25 m)	
		模型設計値	実験値
桁幅	3.5 m	0.117 m	0.117 m
桁高	1.0 m	0.033 m	0.033 m
質量	2,325 kg/m	2,594 kg/m	-
		(3.24 kg)	(3.22 kg)
極慣性モーメント	2,210 kg・m <sup>2</sup> /m	0.00273 kg・m <sup>2</sup> /m	-
		(0.00341 kg・m <sup>2</sup> )	(0.00821 kg・m <sup>2</sup> )
固有振動数	たわみ	0.608 Hz	-
	ねじれ	1.765 Hz	-
	振動数比	2.94	2.94
対数減衰比	たわみ	0.02	0.02
	ねじれ	0.02	0.0197~0.0201
			0.0098~0.0108

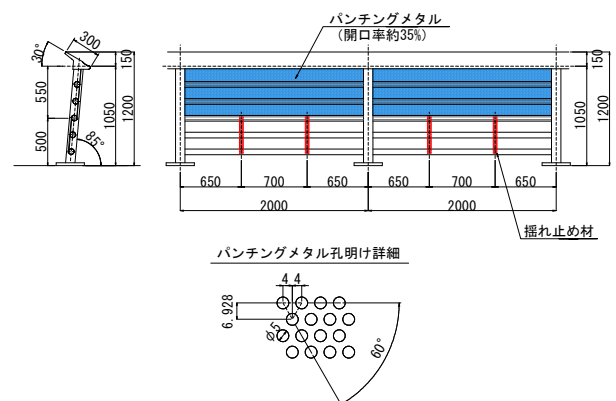


図4 高欄詳細図



は、実橋風速 28m/s 付近からギャロッピングの発現、実橋風速 45m/s 付近からフラッターの発現が認められた。迎角+8°でもフラッターの発現が認められたことから、迎角+8°と+9°において乱流試験を実施した。図5に迎角+8°の乱流試験、図6に迎角+9°の乱流試験の結果を示す。評価はガスト応答振幅の標準偏差で行う。ここでガスト応答とは、自然風の風速変動に起因する不規則性の強い振動現象である。たわみについては、風の乱れによる抑制効果によりギャロッピングの発現が抑えられ、ガスト応答のみとなった。乱流試験のねじれについては、フラッター照査風速がギャロッピング照査風速と同じ42.5m/sとなる。よって、照査風速における振幅が1°より下回るため照査風速を満足したことを確認した。

### 5. 現場施工

地組ヤードが呉羽山側にしか設けられないため、県道上を部材が通過するの必要があった。この県道は日平均14000台程度の交通量があり、両側に歩道を有するため、

表3 風洞試験結果一覧

	一様流試験		乱流試験	
	たわみ ギャロッピング	ねじれ フラッター	たわみ ギャロッピング	ねじれ フラッター
迎角	-3°	○	/	/
	0°	○	/	/
	+3°	○	/	/
	+5°	○	/	/
	+7°	○	/	/
	+8°	×	○	○
	+9°	×	×	○

○：発散振動発生なし  
×：発生振動発生

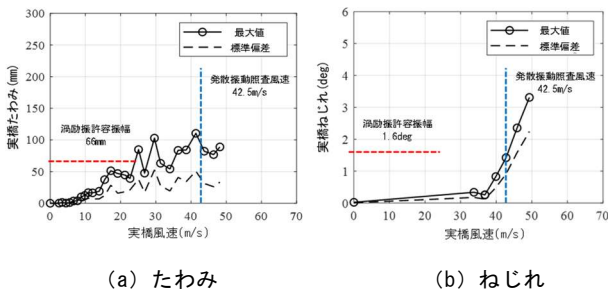


図5 V-a 曲線（乱流試験、迎角+8°）

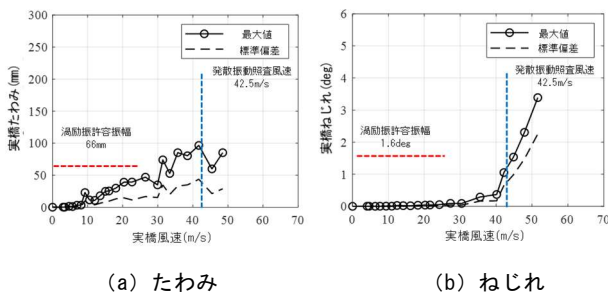


図6 V-a 曲線（乱流試験、迎角+9°）

第3者への安全性確保が課題であった。そこで、県道より俯角75°の範囲に道路防護工を設置し、その範囲を部材が通過する際の第3者防護対策とし、上空で作業を行う際は県道を夜間全面通行止めとした。

補剛桁はケーブルクレーンを設置して架設した。架設順序は、後述のとおり県道の交通規制回数の低減が図れる順序とした。

#### (1) 道路防護工の設置

写真2に道路防護工の設置状況を示す。両側の県道法面にベントを4つ設置し、200t吊オールテレーンクレーンにて工事桁を架設した。工事桁ベントの基礎は、夜間全面通行止め回数が少なく、県道法面の復旧が容易な大口径ボーリングマシンによる先行掘りのH鋼杭とした。

#### (2) 主塔の架設

写真3に主塔の架設状況を示す。主塔は3ブロックに分けて架設した。城山側は地形上の理由から施工ヤードを広く取れないため、200t吊オールテレーンクレーンを使用し、呉羽山側は70t吊ラフタークレーンを使用した。工場製作時に設置した架設用吊金具を用いて仮組立時の形状を再現した後、現場溶接により接合した。



写真2 道路防護工の設置状況



写真3 主塔架設の状況

### (3) キャットウォーク・ケーブルクレーンの設置

写真4にキャットウォーク（以下、CW）の設置後の状況を示す。CW設備は、中央径間と側径間に設置した。CWロープは、呉羽山側アンカレイジから城山側アンカレイジに6本張り渡した。その後、床組をウインチにて引き出し設置した。ケーブルクレーンは、両主塔後方にケーブルクレーン用鉄塔を配置して、ケーブルクレーン用ワイヤーを設置した。CW及びケーブルクレーンの設置、解体時において昼間施工を可能とするため、道路防護工の設計荷重をケーブル及び部材落下に対して支持可能な荷重とし安全に施工した。

### (4) 主索・吊索の設置

写真5に1本目の主索の引出し状況を示す。主索径が100mmであったため、呉羽山側アンカレイジの背後にアンリラーを配置した。CW上に設けた引出しローラーを介して城山側に配置した油圧ウインチ、アンリラー、ケーブルクレーン、移動式クレーンを同調させながら呉羽山側から城山側へ主索を引き出し、塔頂サドルおよび両側アンカレイジにて主索を定着した。その後、油圧ジャッキを使用して所定のサグに調整を行った。ケーブルバンドと吊索は、CW上で所定のマーキング位置に取り付けた。



写真4 キャットウォークの設置後の状況



写真5 1本目の主索の引出し状況

### (5) 補剛桁の架設

図7に補剛桁の架設順序、写真6に補剛桁の架設状況を示す。補剛桁は開断面箱桁に底钢板パネルを組んだ形で、11ブロックに分割して架設を行った。補剛桁の架設順序としては、両主塔から径間中央に向かって行う方法<sup>2)・3)</sup>が多く採用されている。しかし、本橋は県道上に位置しており、夜間通行止め日数をできるだけ少なくするため、城山側と県道上の俯角75°範囲を優先して架設し、最後に規制の少ない呉羽山側を架設する順序とした。補剛桁架設順序については、前述の解体計算を実施することで架設ステップ毎の安全性の確認を行った。

補剛桁架設後、吊足場を設置し、添接部の高力ボルト締めと現場塗装を行った。その後、橋面足場を設置し、CW設備とケーブルクレーン設備を解体した。

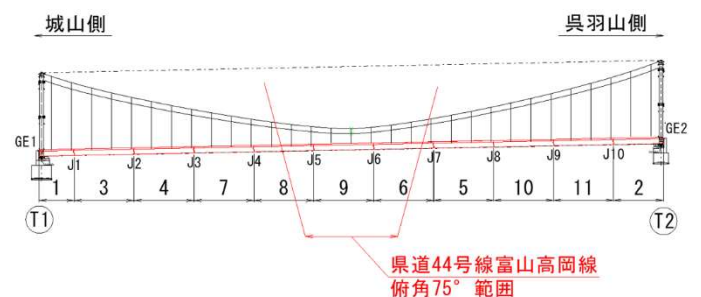
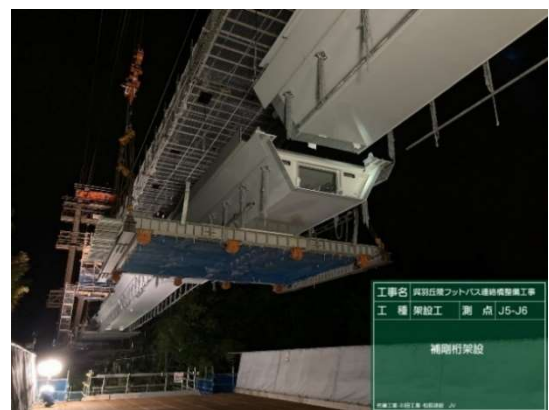


図7 補剛桁の架設順序



(a) J5～J6 架設



(b) J8～J9 架設

写真6 補剛桁の架設状況



### (6) 床版コンクリートの打設

写真7に床版コンクリートの打設状況を示す。打設方法はポンプ車により、呉羽山側より配管圧送した。本橋は吊橋であるため、打設後のひび割れに対して検討を行い、打設中の荷重による挙動を解析しコンクリートを打設した。これにより打設後のひび割れは発生しなかった。

### (7) 橋面工の施工

写真8にロードヒーティングの設置状況を示す。防水材塗布後、床版支間部と張出し部にロードヒーティングを設置した。これにより完成後、冬季積雪期間中に橋面に積もった雪を融雪することができる。その後、舗装敷設、高欄の設置を行い、橋面足場を解体した。写真9に舗装の敷設状況、写真10に高欄設置後の状況を示す。

## 6. おわりに

本稿では、補剛桁を有する耐風索のない歩道吊橋について、解体計算による架設時の検討、受注後に変更となった条件での風洞試験および現場施工の概要について報告した。本報告が同形式の橋梁計画の一助となれば幸いである。また、振動特性把握のため実橋での振動試験を行ったが、試験詳細については今後報告する予定である。

最後に、本橋の風洞試験にあたり多大なるご協力とご助言をいただいた横浜国立大学都市科学部都市基盤学科勝地弘教授に深く感謝いたします。また、本橋の施工にあたり、ご指導を賜りました富山市の皆様方には、誌面を借りて深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧，2008.
- 2) 本摩敦，新谷順也，坂田正二，額谷啓二，畠中真一：九重“夢”大吊橋の建設，川田技報，Vol.27，pp.48-53，2008.
- 3) 長尾悠太郎，田口吉彦，向笠正洋，田中寛泰，杉本浩士，本江総：箱根西麓・三島大吊橋の建設，川田技報，Vol.35，pp.40-46，2016.



写真7 床版コンクリートの打設状況

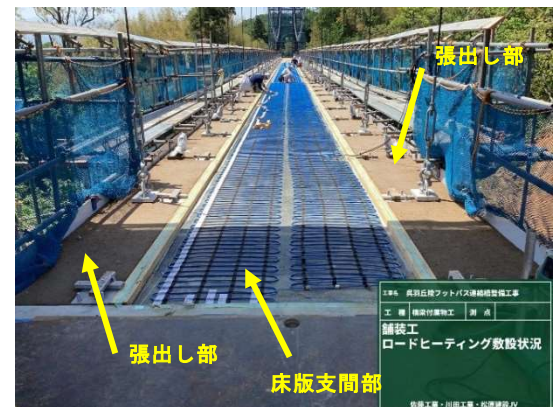


写真8 ロードヒーティングの設置状況



写真9 舗装の敷設状況



写真10 高欄設置後の状況