

論文・報告

東海北陸自動車道 旅川橋他 2 橋の施工

～架設機によるプレキャスト PC 床版架設と

鋼殻セルの高流動コンクリート施工～

Construction of Tabikawa Bridge and Yamadagawa Bridge

遠野 利之 *1
TONO Toshiyuki

寺田 聡 *2
TERADA Satoshi

北村 浩行 *3
KITAMURA Hiroyuki

佐藤 勇治 *4
SATO Yuji

菊池 正知 *5
KIKUCHI Masanori

村上 賢二 *6
MURAKAMI Kenji

東海北陸自動車道 旅川橋他 2 橋（旅川橋、山田川橋、清水高架橋）は、富山県南砺市の旧福野町にあたる地区と小矢部市に跨る福光 IC～小矢部砺波 JCT 間に位置する橋梁である。このうち、旅川橋と山田川橋は PRC・鋼混合連続桁橋であり、鋼桁上の PC 床版には工期短縮を目的としてプレキャスト PC 床版を採用した。また、混合桁の特徴である PRC 桁と鋼桁の接合部（鋼殻セル）は、自己充填性を有する粉体系の高流動コンクリートにより施工した。本稿は、200 t 吊クレーンと併用した新型の床版架設機によるプレキャスト PC 床版の架設と、PRC・鋼混合桁の鋼殻セルにおける高流動コンクリートの打設に至るまでの検討について報告するものである。

キーワード：混合桁、鋼殻セル、プレキャスト PC 床版、床版架設機、高流動コンクリート

1. はじめに

旅川橋他 2 橋は、東海北陸自動車道の渋滞緩和や対向車線への飛び出し防止、災害時の緊急車両の車道確保などを目的として 4 車線化を進めている白川郷 IC～小矢部砺波 JCT のうち、福光 IC～小矢部 JCT 間に位置する。南砺スマート IC を挟んで南に山田川橋、北に旅川橋、そのさらに北の小矢部砺波 JCT 付近に清水高架橋が位置し（図 1）、施工総延長は 1 226.0 m である。このうち、旅川橋と山田川橋は PRC 桁と鋼桁を接合した混合桁橋であり、いずれも河川を跨ぐ径間を中心に A1 側が PRC 区間、A2 側が鋼桁区間で構成される（図 2）。

旅川橋・山田川橋ともに、鋼桁区間は活荷重合成桁である。床版と鋼桁の合成は PRC 桁と鋼桁の接合後に行った方が応力的に有利で経済的であるが、接合後の場所打ち床版施工がクリティカルパスとなっていた。また、アスファルト舗装の施工を厳冬期に行うことを避ける必要があったため、舗装業者への早期引渡ししが求められた。そこで、発注時に予定されていた場所打ち床版から、工期を短縮できる工場製作のプレキャスト PC 床版に変更し、200 t 吊りクレーンによる架設が不可能な渡河部は床版架設機により架設することとした。

工期短縮のため、PRC 桁区間と鋼桁区間は同時施工を行い、PRC 桁と鋼桁の接合前に鋼桁上のプレキャスト PC 床版架設をすべて完了する計画とし、それぞれの施工区間完了後に接合部を施工し、鋼桁と床版の合成を行う施工ステップとした（図 3）。接合部は、単純で施工性に優れた接合構造である「中詰めコンクリート後面プレート方式」を採用した。また、鋼殻セル内はセル構造に分割された閉塞空間であるため、鋼殻セル内のコンクリートには自己充填性に優れた高流動コンクリートを採用した。



図 1 架橋位置

*1 川田建設㈱東京支店工事事務課 担当工事長

*2 川田建設㈱東京支店工事事務課 担当工事長

*3 川田建設㈱東京支店工事事務課 担当工事長

*4 川田建設㈱東京支店工事事務課 担当工事長

*5 川田建設㈱東京支店工事事務課 担当工事長

*6 川田建設㈱東京支店技術部技術課 課長

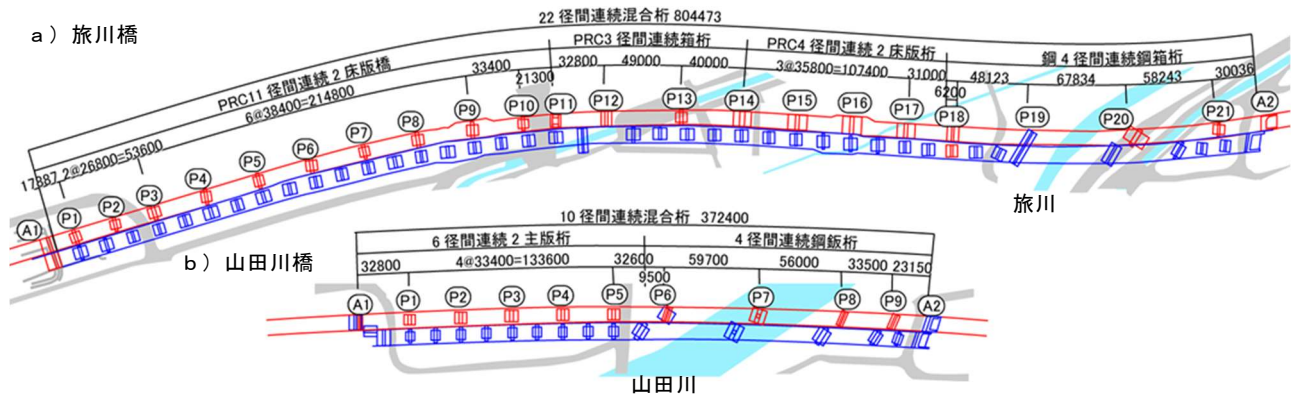


図 2 平面図

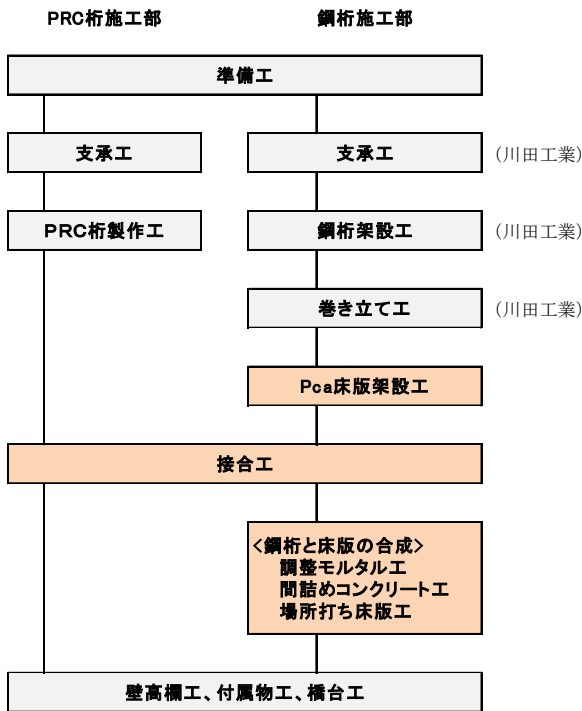


図 3 施工フロー

2. 工事概要

工事名：東海北陸自動車道 旅川橋他 2 橋（上部工）
工事

路線名：東海北陸自動車道

施工場所：（自）富山県南砺市晩田
（至）富山県小矢部市清水

発注者：中日本高速道路株式会社 金沢支社

構造形式：

- ・旅川橋：22 径間連続混合桁橋
（PRC11 径間連続 2 主版桁 + PRC3 径間連続箱桁 + PRC4 径間連続 2 主版桁 + 鋼 4 径間連続細幅箱桁）
- ・山田川橋：10 径間連続混合桁橋
（PRC6 径間連続 2 主版桁 + 鋼 4 径間連続少数 I 桁）
- ・清水高架橋：鋼単純合成 I 桁橋

設計荷重：B 活荷重

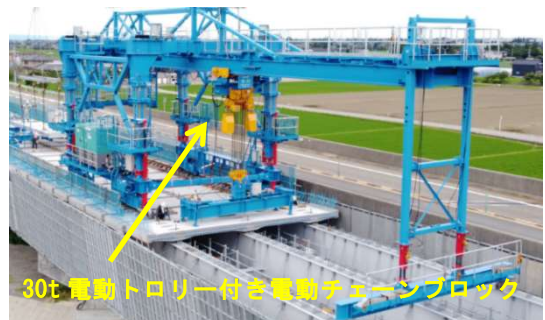
有効幅員：9.25 m

3. 床版架設機によるプレキャスト PC 床版架設

鋼桁上の場所打ち PC 床版は、鋼桁と床版へのクリープ・乾燥収縮の影響が最小となるように施工の最後に鋼桁と合成するため、工程上のクリティカルパスとなっていた。また、床版施工後の延長床版施工の追加と厳冬期のアスファルト施工の回避が求められたため、PC 床版の急速施工を行う必要があった。そこで、プレキャスト PC 床版を採用することで床版架設を先行し、鋼桁との合成は接合部施工後に施工したが、クレーンで直接架設することができない渡河部の径間は床版架設機により架設する必要があった。本工事で使用した新型の床版架設機は、従来の手動チェーンブロックによる床版の揚重に変えて、30 t 電動トロリー付き電動チェーンブロックを使用することで、1 日の床版架設効率を 2 倍程度に向上させた。

(1) 床版架設機の構造

床版架設機（写真 1）の本体重量は約 60 t で、支持脚 4 点と前方の先端サポートにより支持される。旅川橋の 2 主細幅箱桁と山田川橋の 3 主 I 桁に合わせての運搬を可能とするため、レール幅を変更できる構造（5.2 m～7.0 m）とした（写真 2）。



a) 前方

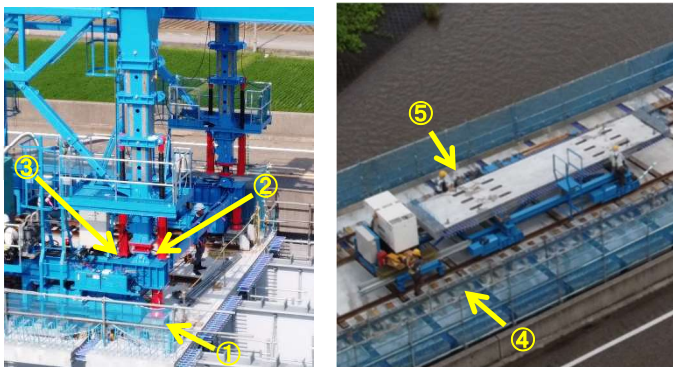


b) 側面

写真 1 床版架設機



写真2 門型の伸縮によるレール幅の変更



a) 各部ジャッキ b) 床版運搬部

写真3 床版架設機細部構造

床版架設機の各部詳細は以下のとおりである(写真3)。

- ① 架台固定ジャッキ (架設時に全体を支えるジャッキ)
- ② 走行レールのレベル調整ジャッキ (桁勾配の調整)
- ③ 支持脚伸縮ジャッキ (幅員変化に対応)
- ④ 37k 走行レール
- ⑤ 運搬台車 (速度変更可能)

(2) 架設手順

旅川橋では、P19側の200tクレーンにより架設したプレキャストPC床版(全39枚)上で床版架設機を組み立て、P19側からA2へ向かって50枚のプレキャストPC床版を架設した。山田川橋では河川を挟んでP6側に23枚、P8からA2に16枚をクレーン架設し、A2に架設したプレキャストPC床版上で床版架設機を組み立て、渡河部をP6側へ向かって40枚の架設を行った。両橋とも、プレキャストPC床版上に床版架設機移動用とプレキャストPC床版の運搬台車用、合計4条のレールを敷いた。

床版架設機による架設は、架設機後方まで運搬されたPC床版18.4t(プレキャストPC床版16.4t+床版吊り梁2.0t)を30t電動トロリー付き電動チェーンブロックで吊り上げて前方の架設位置へ移動させ、吊り金具により90°回転させて架設した(写真4)。

(3) 1日あたりの施工実績と総作業日数

プレキャストPC床版の架設は、1日あたり12名の作業員で10枚を架設した(移動距離22m)。旅川橋・山

田川橋を合わせて全9日間で床版架設機によるプレキャストPC床版の架設を完了し、床版工全体では、当初予定されていた場所打ちPC床版の現場作業日数から約90日間の工程短縮を達成した。なお、1日あたりの作業内容において、4条のレール移動に3時間程度を要し、床版架設に充てることができる時間は2時間程度であったことから、レールの移動時間の短縮が今後の施工における課題である。



a) 吊上げ状況



b) 架設状況



c) 架設状況

写真4 床版吊上げ・架設

4. 鋼殻セルの高流動コンクリート施工

(1) 鋼殻セル

連続桁橋において隣接する径間のバランスが良くない場合、支間長の大きい径間は軽い鋼桁、支間長の小さい径間は自重の大きいコンクリート桁とし、両者を鋼殻セルで接合して混合桁とすることで、経済性や構造特性に優れた構造を実現させることができる。旅川橋・山田川

橋とも渡河部が最大の径間長（旅川橋：67.8 m，山田川橋：59.7 m）であり，隣接する径間とは 17.0～27.0 m の差があることから，渡河部に鋼桁が採用された混合桁構造となっている。

接合する鋼殻セルの 1 室の最小寸法は，旅川橋：高さ 600 mm×幅 750 mm×橋軸方向 2 000 mm，山田川橋：高さ 700 mm×幅 600 mm×橋軸方向 2 000 mm で，それぞれ 28 室，30 室に分割されている（写真 5）。

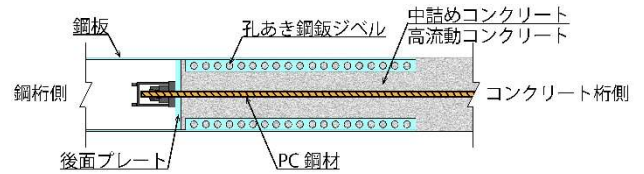


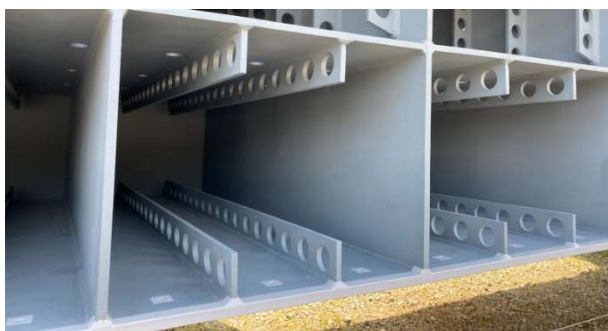
図 4 中詰めコンクリート後面プレート方式



a) 旅川橋



b) 山田川橋



c) 孔あき鋼板ジベル

写真 5 鋼殻セル

接合部の配置位置は，設計上，曲げモーメントの正負が交番する範囲を外し，曲げモーメントが最小となる位置に設定した。このとき，負曲げ域を接合部とした場合には桁作用による床版の引張応力が発生することから，それを避けるため正曲げ域を接合部の配置位置とした。

鋼桁とコンクリート桁の接合には，採用実績も多く，力の伝達性に優れ，接合面での応力集中が比較的小さい「中詰めコンクリート後面プレート方式」（図 4）を採用し，PC 鋼材を配置してプレストレスを導入した。

(2) 高流動コンクリート

(a) 選定

接合部がセル構造に分割された閉塞空間であるため，コンクリート打設時に不可視部分が存在する。そこで，鋼殻セルに打設するコンクリートには，自己充填性を有する高流動コンクリートを採用した。本工事での高流動コンクリートの種類は，生コン工場で配合実績のある粉体系とした。

(b) 配合設計

「高流動コンクリートの配合設計・施工指針¹⁾」に従い，配合設計を行った。フローは図 5 のとおりである。

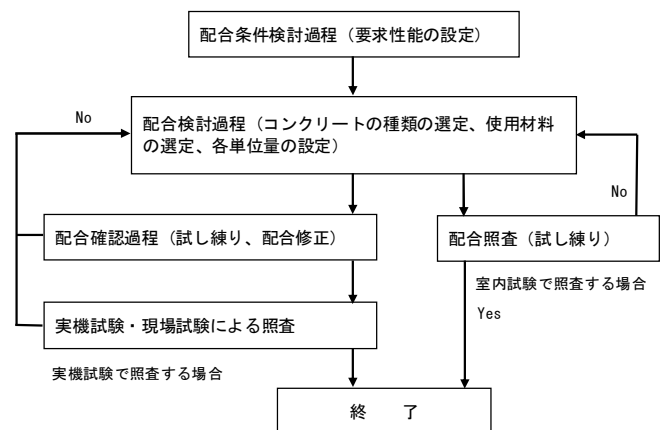


図 5 配合設計フロー

高流動コンクリート特有の要求性能としては「フレッシュ時の自己充填性」であり，それ以外の性能については基本的に従来のコンクリートと同様として考えた。自己充填性による分類¹⁾は，対象構造物の構造条件を考慮してランク 2 と設定した（表 1）。

表 1 自己充填性による分類

ランク	ランク 1	ランク 2	ランク 3
主な対象構造物	高密度配筋部材、複雑・異形型枠を使用した構造物	通常の RC 構造物や複合構造物	配筋量の少ないマスコンクリート構造物や無筋構造物
構造物の条件（最小鋼材あき）	35～60 mm 程度	60～200 mm 程度	200 mm 程度以上
鋼材量の目安	350 kg/m ² 程度以上	100～350 kg/m ² 程度	100 kg/m ² 程度未満

また，ランク 2 の高流動コンクリートにおける各品質規格値は，コンクリート施工管理要領²⁾とコンクリート標準示方書³⁾に準じて以下のとおりとした（表 2）。

表 2 品質規格値

自己充填性のランク	1	2	3
ボックス形またはU形充填高さ (mm)	300以上 (障害R1)	300以上 (障害R2)	300以上 (障害なし)
スランプフロー (mm)	700	650	600
500mmフロー到達時間の範囲 (秒)	5~20	3~15	3~15
V75漏斗または御0漏斗の流下時間の範囲 (秒)	9~20	7~13	4~11

(c) 配合計画

高流動コンクリートの配合は、生コン工場での実績に基づいた材料を使用する計画とした。普通セメントのみの流動化ではセメント量が多くなり、総アルカリ量の超過と硬化熱によるマスコンクリートのひび割れが発生することが懸念された。そのため、普通セメント配合、高炉セメント配合、普通セメント+フライアッシュ配合の3配合の材料特性を比較し(表 3)、総アルカリ量が最も少ない高炉セメント配合を採用した。

(d) 充填確認試験

配合設計により決定したスランプフロー値と配合計画に基づき、模擬供試体を用いた充填確認試験を実施した(写真 6)。実際の鋼殻セルは主桁と横桁の鉄筋に加え、セルの籠鉄筋、接合用の PC 鋼より線が配置されるため、過密な鋼材配置となる。そこで、本試験では鋼殻セルの部分的な実物大モデルを透明型枠で製作し、実際の配置どおりに鉄筋を組み立てた。模擬供試体は上床版と下床版の2種類とした。また、上床版モデルには横桁上面に伏せ型枠を設置し、自重圧を高めるためのかさ上げ投入孔を設けた(図 6)。伏せ型枠には、残留気泡の発生を防ぐために 100 mm ピッチで φ12 mm の空気孔を設け、透水性シート(アバノン)を貼付した。



a) 上床版モデル



b) 下床版モデル

写真 6 充填試験供試体

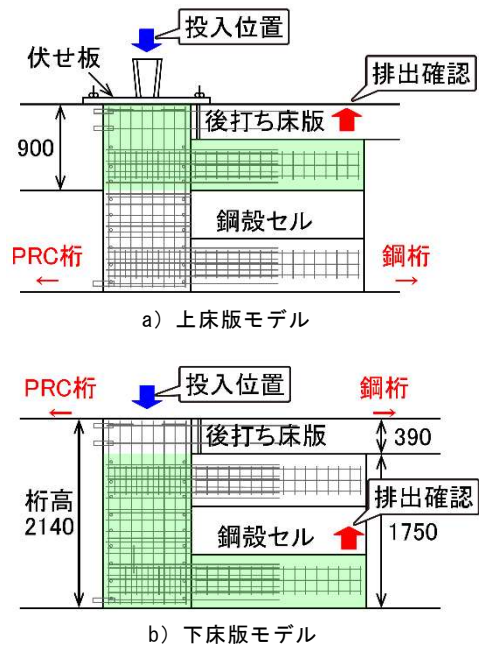


図 6 充填試験モデル図(側面)

充填確認試験は、横断勾配の低い位置からのコンクリート投入と橋面高さからの自由落下(2.1 m < 標準 5.0 m)により、以下の項目について確認を行った。

- ① 配筋内での流動状況
- ② 空気孔と打設孔を兼ねた排出孔からのコンクリート排出状況による鋼殻セルへの充填
- ③ 充填に必要な自重圧を確保するための投入孔高さの妥当性
- ④ 充填確認用機材 (CCD カメラ) の有効性

充填確認試験に際して、打重ね時間間隔を 20 分以内と計画し、アジテーター車の台数を決定した。試験中は最大 17 分程度の時間間隔での打ち重ねとなり、コンクリートの流動性を失うことなく、隅々まで充填されることを確認した。

上床版モデルの充填試験では、鋼殻セル天端と上床版天端の約 40 cm の水頭差ではセル先端までの充填には至らず、上部 PBL 下端よりコンクリート面が高くなると、橋軸方向への流入よりも、抵抗の少ない橋軸直角方向への流入が顕著となった。そこで、自重圧を高めるためにそれぞれのかさ上げ投入孔より打設したところ、セル先端まで充填されることを確認した。また、横断勾配の高い範囲には最大 10 mm 程度の残留気泡が発生したものの、横断勾配の低い範囲に残留気泡は発生しなかった。高流動コンクリートは時間の経過とともに流動性の低下が著しくなることから、品質管理値内であっても CCD カメラにより流動状況を確認しながら突き棒でコンクリートを動かす作業が必要であることを確認した。

本充填確認試験により得られた結果をまとめると、次のとおりである。

表 3 コンクリート配合比較表

	水結合材比 W/P (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	粗骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							材料特性				経済性	評価		
				セメント	混和材		水	細骨材	粗骨材	混和剤	水和熱 (マスコンひび割れに対して)		品質の安定性					
					膨張材	フライアッシュ					水	総アルカリ量 (kg/m ³)						
普通セメント	32.0	0.3	51.3	512	20		170	818	738	9.58	ピーク時最高温度 内部90℃ 表面59℃ 打設後1.2時間後	3	2.9	3	標準の材料のみを使用しており安定している	1	1	△
高炉セメント	32.0	0.3	50.9	512	20		170	805	783	9.58	ピーク時最高温度 内部87℃ 表面56℃ 打設後1.5時間後	2	1.5	1	実績の多い材料であり安定している	1	1	○
普通セメント+フライアッシュ	41.7	0.3	49.7	400	20	122	175	767	783	7.14	ピーク時最高温度 内部82℃ 表面54℃ 打設後1.3時間後	1	2.3	2	未燃カーボンにより不安定な面がある	3	1	×

《試験結果まとめ》

- ① 配合設計に基づくスランプフロー値に変更なし
- ② 生コンの供給体制を確立してコンクリートの静止時間を最小限に抑え、打設中も常にコンクリートを流動させることが重要
- ③ 自重圧を高めるために、40 cm のかさ上げ打設孔を設けることが有効
- ④ 残留気泡の抑制には伏せ型枠に 100 mm 間隔で空気孔を設け、透水性シートを貼付することが有効
- ⑤ 空気孔から挿入した CCD カメラにより充填状況を確認することが有効

(e) 実施工

充填試験結果をふまえ、旅川橋・山田川橋の鋼殻セルにおいて高流動コンクリートの打設を行った (写真 7)。CCD カメラにより充填状況を確認しながら突き棒を用いてコンクリートの流動を絶やさないう注意を払い、かさ上げ打設孔、空気孔を設けて透水性シートを貼付した伏せ型枠、円滑な生コン供給体制により、概ね良好なコンクリートを施工することができた。



a) 高流動コンクリート打設状況



b) CCD カメラによる充填確認状況
写真 7 打設状況 (旅川橋)

パイプレーターによる締固めを行わなかったことで、最初に投入したコンクリートのセメントペーストがうまく回らずに、一部箇所では充填不良による豆板が発生した。豆板発生箇所は打音検査で浮き範囲を確認し、該当箇所を 1~2 cm はつり、左官工法による断面修復を行った。さらに、はく落防止塗装を行うことにより品質を確保した。

5. おわりに

旅川橋他 2 橋工事は、2022 年 2 月に無事故・無災害にて竣工を迎え開通した (写真 8)。本工事で行った床版架設機によるプレキャスト PC 床版の架設、高流動コンクリートによる鋼殻セルの施工とそれに関する検討が、今後同様の橋梁施工の一助となれば幸いである。

最後に、本工事の設計・施工にあたり、多大なご協力とご指導を頂いた関係各位に感謝の意を表し結びとする。



a) 旅川橋



b) 山田川橋
写真 8 完成

参考文献

- 1) 土木学会: 高流動コンクリート配合設計・施工指針, pp.11-34, 2012.6.
- 2) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): コンクリート施工管理要領, pp.20-36, 2020.7.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書, pp.231-243, 2017.3.