

新東名高速道路 榎山橋（仮称）の設計・施工

— 2 主版桁橋と箱桁橋の連続構造 —

富永 高行*1・永江 祥治*2・大場 誠道*3・中井 章人*4

新東名高速道路 榎山橋は、固定式支保工を用いて施工された橋長約 284 m の PRC 連続桁橋である。本橋梁は 2 径間一括で施工された 2 主版桁部分と、国道を跨る単純箱桁部分が連続的に繋がる断面構成となっており、それぞれの構造特性に配慮して設計段階より長寿命化対策に取組んだ。また、品質向上や工程短縮に向けた工夫など、施工時の取組みと合わせて報告する。

キーワード：2 主版桁橋，箱桁橋，固定式支保工，2 径間一括施工，支保工横移動

1. はじめに

榎山橋は、新東名高速道路の愛知県区間（延長約 55 km）のうち、岡崎市榎山町に位置する橋長約 284 m の PRC 8 径間連続桁橋（上下線とも）である。

国土の大動脈を担う路線における重要構造物の 1 つとして、耐久性向上や維持管理性の確保など、設計段階より長寿命化に向けた対策の実施が必要とされていた。

本橋梁は国道 473 号線のほか、合計 4 本の道路や河川と交差し、住宅地とも近接する施工条件となっており、施工ヤードの制約から効率的な施工が必要とされていた。

また、隣接工区で進められていたトンネルや土工工事の土運搬経路として上り線橋面を活用するため、更なる工程短縮が必要とされていた。

本稿では、橋梁の長寿命化に向けて取り組んだ設計・施工上の配慮や工程短縮に向けた創意工夫について報告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

榎山橋の工事概要を表 - 1 に、完成パースを図 - 1 に示す。

表 - 1 工事概要

工事名称	第二東名高速道路 榎山橋他 1 橋 (PC 上部工) 工事
発注者	中日本高速道路株式会社
施工場所	愛知県岡崎市榎山町
当初工期	2010.9.22 ~ 2013.9.6
工事内容	PRC 8 径間連続桁橋 (7 径間連続 2 主版桁 + 単純箱桁) 橋 長：283.9 m × 上下線 支 間 割：26.2 m + 6 @ 33.3 m + 55.5 m 有効幅員：9.760 m
施工方法	固定式支保工架設（梁支柱式）

2.2 主桁形状

橋梁構造は、A1-P7 間が標準支間長 33.3 m、桁高 1.9 m の 2 主版桁断面、国道 473 号を跨る P7-A2 間は支間長 55.5 m、桁高 3.3 m の箱桁断面となっており、断面構成が変化しながら連続的に繋がる橋長 283.9 m の PRC 8 径間連続桁橋となっている。主桁断面図（上り線）を図 - 2 に、2 主版桁と箱桁の連続部分を写真 - 1 に示す。

橋脚・基礎は直接基礎形式の 1 本柱構造、主桁は免震支承を用いた上下線分離形式で、それぞれ左右非対称の暫定形での道路幅員対応となっており、床版、支点横桁や伸縮装置は将来の路肩側拡幅に対応できる構造となっている。

また、桁下空間は公園として整備される予定であることから、主桁および壁高欄にアラミド繊維シートを用いたは



*1 Takayuki TOMINAGA

(株)大林組 生産技術本部
橋梁技術部



*2 Yoshiharu NAGAE

(株)大林組 新東名中島
高架橋工事事務所



*3 Narimichi OBA

(株)大林組 生産技術本部
橋梁技術部



*4 Akihito NAKAI

(株)大林組 関越荒川橋
工事事務所

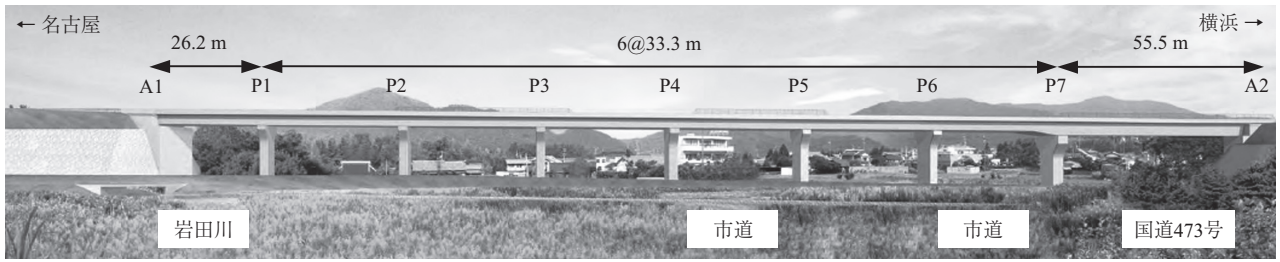
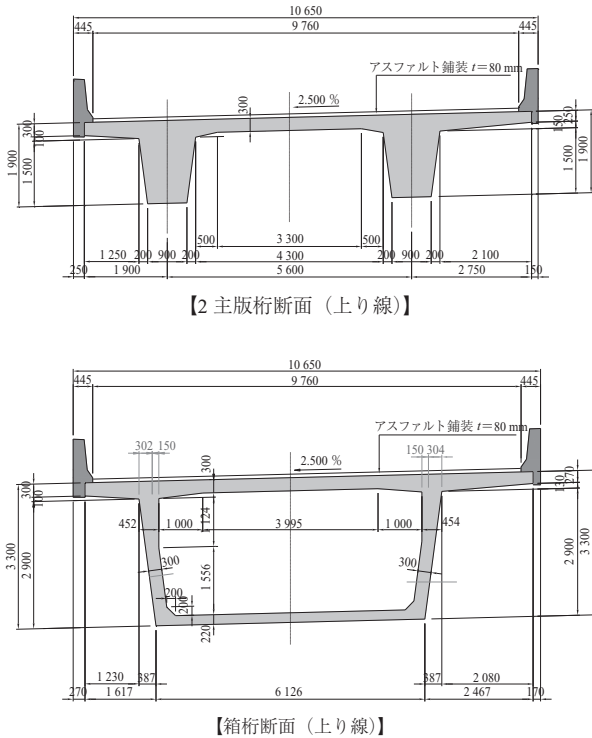


図 - 1 榎山橋完成パース図



【2主版桁断面（上り線）】

【箱桁断面（上り線）】

図 - 2 主桁断面図



写真 - 1 2主版桁と箱桁の連続部分

く落防止対策工が設置されている。

2.3 施工方法

表 - 2 に全体工程表と施工順序を示す。

2主版桁部分のうち、① A1-P2間、② P2-P4間、③ P4-P6間をそれぞれ2径間一括にて施工、④ P7-A2間の箱桁部分を施工の後、⑤ P6-P7間にて閉合する施工順序

表 - 2 榎山橋実施工程

	H23					H24							H25							
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
準備工・後片づけ	■																			
上り線	■					■							■							
下り線						■							■			■				

とした。

施工方法には、橋脚高が16mと高く、支持層がGL-10mと深いことから、支持杭を用いた梁支柱式の固定支保工を採用した。2主版桁部分については、1径間を3分割したベント支柱配置としており、狭隘な作業ヤードの効率的な使用と部材の大型化・ユニット化による組立・解体作業の低減を図った(図-3)。また、国道上の箱桁部分については、トラス梁形式(L=22m)の固定支保工を採用し、上下2分割にてコンクリート打設を行った。

土運搬経路の確保のために上り線の施工を先行させ、上り線の施工で使用した支保工を、後述する支保工の一括横移動により転用し、引続き下り線の施工を行った。

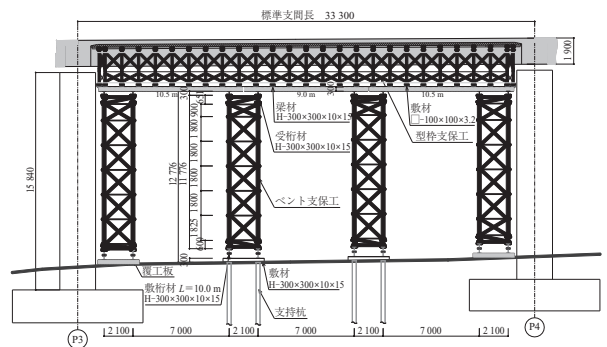


図 - 3 固定式支保工側面図 (2主版桁部)

2.4 PC鋼材配置

図 - 4 に PC 鋼材配置概要図を示す。

主方向の PC 鋼材は、2主版桁部に SWPR19L 1S28.6 (プレグラウト) を採用して定着突起を用いたたすき掛け配置

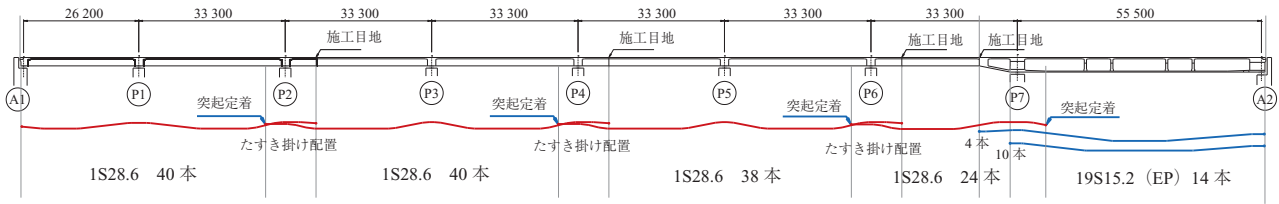


図 - 4 PC 鋼材配置概要図

とし、箱桁部はSWPR7N 19S15.2（内部充填型エポキシ樹脂被覆）を用いた外ケーブル方式を採用している。P6-P7閉合部においては、2主版桁側の内ケーブルを箱桁内部で突起定着とし、箱桁側の外ケーブルを打継部に設けた横桁定着とするたすき掛け配置として、2主版桁と箱桁の連続化を図っている（写真 - 2）。



写真 - 2 外ケーブル配置状況 (P7 支点)

3. 長寿命化に向けた設計における留意点

3.1 2主版桁のひび割れ防止対策

本橋梁のA1～P6部分は、2径間一括で施工する2主版桁断面であり、過去の事例から施工中における主版側面部のひび割れ発生が懸念された。ひび割れは、図 - 5に示すように中間支点部近傍において側面から底面に連続する形状で、とくに側面においては中央部の幅が広く、上下縁で幅の狭い凸レンズ状という特徴を有していた。ひび割れ発生の主要因は、温度（とくに床版温度差）とプレストレス2次力であることが判明しており、本橋梁においてもFEM解析に基づく補強鉄筋の配置と緊張作業時の細かな施工順序を設計段階で定めることでひび割れ対策とした。

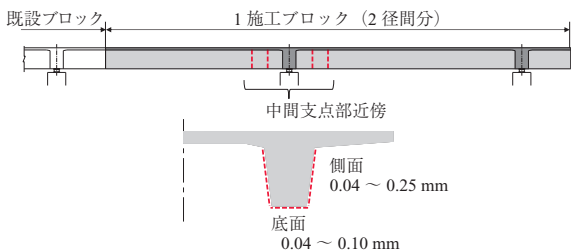


図 - 5 2主版桁に発生したひび割れ事例

2主版桁橋を2径間一括で施工する場合、施工時の床版

温度差による2次力の影響で、中間支点部近傍には完成時よりも大きな正の曲げモーメントが発生することがある。この時、断面内の応力度分布は、梁モデルでは表現されない図心付近で引張が卓越する分布形状となり、主桁側面に特徴的なひび割れが発生すると考えられた。そこで、3次元FEM解析により床版温度差で発生する引張応力度を把握して、主桁腹部の軸方向鉄筋をD16からD19へランクアップさせてひび割れ補強を行った（図 - 6）。

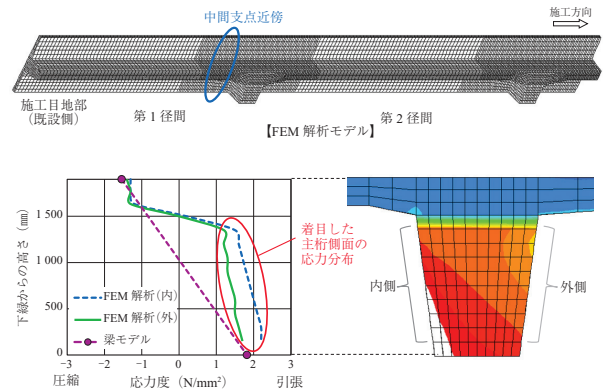


図 - 6 床版温度差による発生応力度

また、緊張に伴うプレストレス2次力の影響で中間支点部近傍では正の曲げモーメントが卓越し、主桁下縁に非常に大きな引張応力度が発生する。通常、プレストレスによる正曲げと自重による負曲げがバランスすることで断面設計を成立させているが、支保工の存在により自重の作用するタイミングが遅れて、ひび割れが発生する。そこで実施工では、プレストレス導入と支保工解体を段階的に行って、施工時に発生する引張応力度を1.5 N/mm²程度に抑え、有害なひび割れ発生を防止することができた（図 - 7）。

3.2 箱桁支点横桁部のひび割れ防止対策

本橋梁のP7-A2間は桁高3.3mの箱桁断面であり、A2支点横桁は外ケーブル（SWPR7N 19S15.2）が16本（予備2本含む）定着される構造となっている。支点横桁の形状は、これら外ケーブルの緊張力に必要な厚さ（ $B = 3.45$ m）を確保していることから、マスコンクリートによる温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、外ケーブル配置に使用する偏向管（φ140）に着目し、打設後のエアクーリングにより、温度ひび割れの発生を防止した（写真 - 3）。実施工においては、横桁内部と表面に熱電対を埋設してコンクリート温度を計測するとともに、型枠に断熱材を設置して部材の内外温度差を制御した。事前の温度解

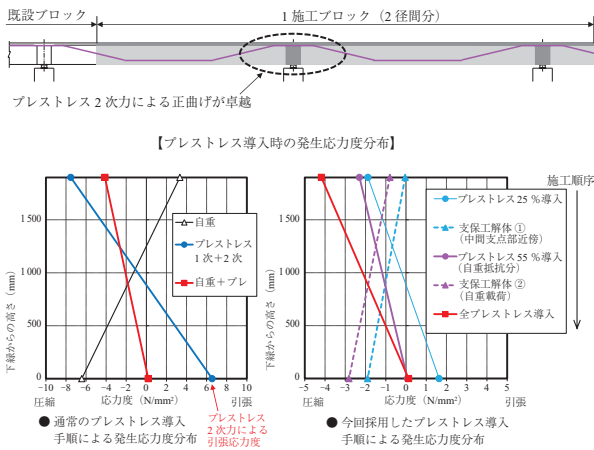


図 - 7 プレストレスの段階的導入

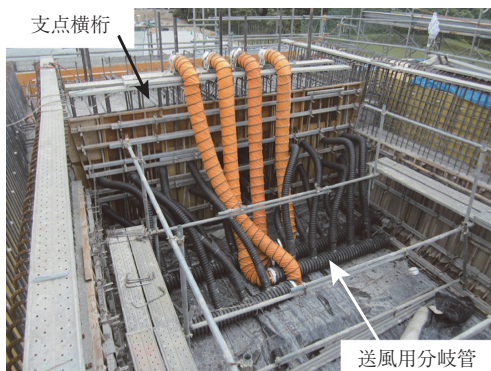


写真 - 3 支点横桁部のエアクーリング実施状況

析結果に基づいて、有害なひび割れ発生を防止できる内外温度差 10℃ 以下となるまで 7～10 日間クーリングを継続した。なお、外ケーブルの緊張力に対しては、別途 3 次元 FEM 解析を用いて補強鉄筋量を設定している (図 - 8)。

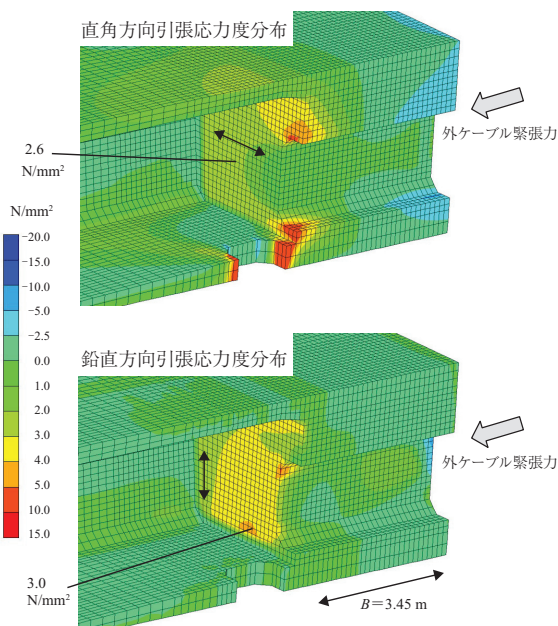


図 - 8 A2 支点横桁部の 3 次元 FEM 解析

また、P7 支点横桁についても同様の対策を行って、有害なひび割れ発生を防止することができた。

3.3 桁端部防水構造の採用

一般に、桁端部は伸縮装置からの漏水による PC 定着具の腐食や橋台部における滞水など、耐久性や維持管理の観点から問題が多い部位である。そのため、水切り (B100 × h 30 mm) の設置とコンクリート表面保護工による桁端部防水構造を採用した (図 - 9, 写真 - 4)。

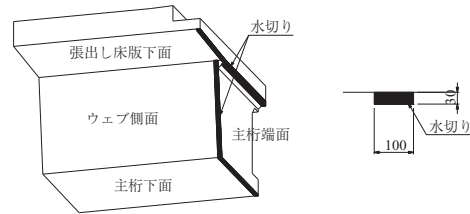


図 - 9 桁端部水切り形状



写真 - 4 コンクリート表面保護工施工状況

4. 品質・出来形向上と工程短縮に向けた創意工夫

4.1 コンクリートの品質向上に向けた諸対策

(1) 透明型枠を用いた充填性確保

本橋梁は、2 主版桁断面から箱桁断面に連続的に主桁形状が変化する。そのため、箱桁のウェブ形状は斜ウェブとなっており、全外ケーブル方式のためにウェブ厚が 300 mm と薄いことから、コンクリートの充填性確保が課題であった。そこで、箱桁のウェブ下床版隅角部においては、内外両側に透明型枠を採用して、打設時の充填状況を目視確認しながら確実な施工を行った (写真 - 5)。



写真 - 5 透明型枠を用いた充填確認状況

(2) 膨張コンクリートと収縮低減剤の採用

P6-P7 間は、施工済みの 2 主版桁と箱桁に挟まれた区間となるために、外部拘束によるひび割れ発生が懸念された。また、箱桁部 2 ロット部の上床版についても 1 ロット部の拘束によるひび割れ発生が懸念された。そこで、これらの部位については膨張コンクリート（膨張材添加量：20 kg/m³）を使用して、ひび割れ発生を防止した。写真 - 6 にコンクリート打設状況を示す。

さらに、上床版については湿潤養生期間を 7 日間に延長するとともに、養生終了後に収縮低減剤を散布して乾燥収縮によるひび割れ発生を防止した（写真 - 7）。

なお、壁高欄についても上床版の拘束によるひび割れ発生を抑制するために、膨張コンクリートを採用している。



写真 - 6 コンクリート打設状況（下り線 P6-P7 間）



写真 - 7 収縮低減剤散布状況

4.2 橋面出来形の精度向上に向けた実物大載荷試験

2 主版桁部分の固定式支保工の梁部材は、H 型鋼（H-300 × 300 × 10 × 15 を標準）を 18 本敷き並べる構造としている。これらの梁には主桁部分と床版部分で異なるコンクリート荷重が作用するため、橋軸直角方向に最大 15 mm 程度のたわみ差が生じ、橋面が大きく W 型に波打つおそれがあった。そこで、事前に実物大の載荷試験を行って、固定支保工全体の変形挙動を確認し、上げ越し計画に反映させた。

載荷試験では、大型水槽を支保工上に設置して、その水

位調整によって 2 主版桁の主桁ならびに床版の 1/2 相当の荷重を再現した（図 - 10、写真 - 8）。コンクリート荷重の分散を目的として、型枠支保工の足元に別途鋼材（□-100 × 100 × 3.2）を H 型鋼と交わる方向に配置した。井桁状に設置した鋼材の荷重分散効果により、H 型鋼のたわみが平均化されることを確認した。実施工においても、主桁部分と床版部分の梁部材で発生が予想されるたわみの平均値を上げ越し計画に反映させ、所定の橋面出来形（平坦性）を確保することができた。

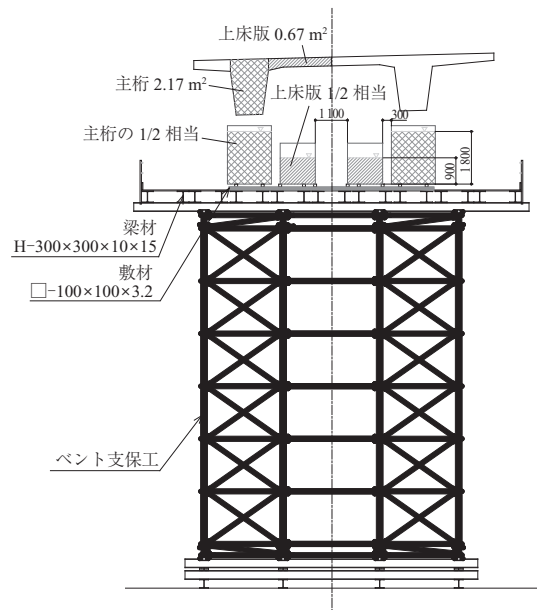


図 - 10 実物大載荷試験概要図



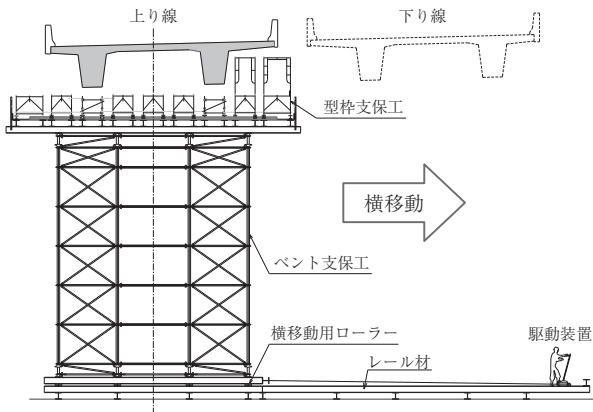
写真 - 8 実物大載荷試験状況

4.3 工程短縮に向けた固定支保工の一括横移動

本工事は 4 本の道路や河川が交差し、施工ヤードに大きな制約があった。作業性と安全性の確保ならびに土運搬経路の使用開始時期を厳守するためには、固定支保工の転用が施工上の大きなポイントであった。

本橋梁は 1 本柱形式の橋脚であるために、下り線の躯体構築には上り線で用いた型枠支保工材料をそのまま転用することが容易となる。そのため、支保工の解体・組立手間を省いて更なる工程短縮を図るために、1 径間分の固定式

支保工全体（概算重量 120 t）を一括して横移動させる方法を採用した（移動量：12.75 m）。図 - 11 に横移動概要図を示す。



● 固定支保工横移動手順

- 1 上り線躯体と干渉する型枠支保工を一部解体
- 2 固定式支保工基部にレール材を組立・延長
- 3 横移動用のローラーおよび駆動装置を設置
- 4 横移動（支間部分を一括横移動）
- 5 一部解体した型枠支保工の再組立

図 - 11 固定支保工横移動概要図

標準的に固定式支保工を組立・解体した場合と比べると、1 径間あたりで約 30 日工程を短縮できた。この結果、2 主版桁部全体においてトータル 3 か月以上の工程短縮を実現した（表 - 3）。

表 - 3 一括横移動による工程短縮効果

	上り線		下り線		合計（日）
	組立	解体	組立	解体	
固定支保工 （標準施工）	20	20	20	20	80
固定支保工 （横移動）	20	10	20		

※ 1 径間あたり

⇒ 30 日短縮

横移動の駆動方法については、精度管理や所要人数の省力化を図るために、手動チルホールを用いた方法から、電動チルホールを用いた方法、PC 鋼棒とセンターホールジャッキを用いた方法と順次改善を加え、より安全・確実な施工を行った（写真 - 9）。

これらの改善成果は、国道 473 号を斜めに跨る箱桁部のトラス式の固定支保工の横移動に大いに活用でき、夜間施工（全面通行止め）における支保工転用を、安全かつ確実に当初工程より約 20 % 短縮して完了させることができた。なお、トラス式の固定支保工については、写真 - 10 に示すように、ベント支柱の上部に横移動用のレールを組立て、トラス桁部分のみ（概算重量 100 t）の横移動とした（移動量：15.0 m）。

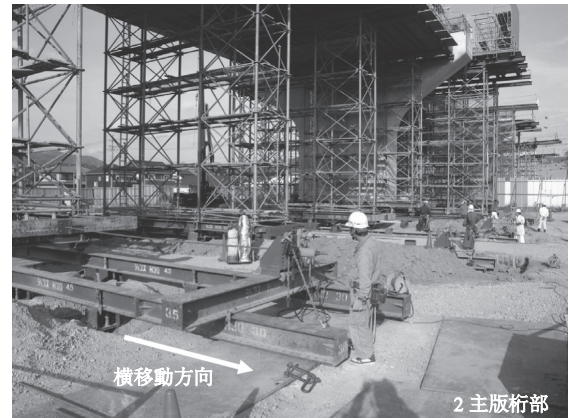


写真 - 9 固定支保工横移動状況



写真 - 10 固定支保工横移動状況（移動完了時）

5. おわりに

檜山橋は平成 24 年 8 月に無事故無災害でしゅん功を迎えることができました（写真 - 11）。本稿での報告事例が今後の類似工事の参考になれば幸いです。本橋梁の設計・施工を実施するにあたり、ご指導・ご協力をいただいた関係者各位に深く感謝の意を表します。



写真 - 11 完成写真

【2015 年 8 月 29 日受付】