

早期復旧に向けた施工技術

阿蘇大橋工事の工期短縮に向けた取組み

鷓 林 保 彦・藤 川 真 一・園 部 文 明

新阿蘇大橋は、平成 28 年 4 月の熊本地震で被災した旧橋の約 600 m 下流側に新しく架け替えられた全長 525 m の道路橋である。本橋を含む国道 325 号阿蘇大橋ルートは、熊本県と大分県を結ぶ国道 57 号から分岐し宮崎県高千穂町に通じる主要ルートであり、物流や観光などの拠点として重要な役割を担っている。本稿では、新阿蘇大橋のうち、黒川を渡河する PC3 径間連続ラーメン箱桁橋 (PR1 ~ A2 間: 橋長 345 m) 最大橋脚高 97 m, 中央支間長 165 m を有する橋梁上下部工事における早期復旧の観点から高度な施工技術の導入により工期短縮に資する施工技術について報告する。

キーワード: 大型インクライン, 大口径深礎, ACS セルフクライミングシステム工法, 超大型移動作業車

1. はじめに

熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区では、2016 年 4 月に発生した熊本地震により、多くのインフラが甚大な被害を受けた。同地区では、国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所を事業主体として、①長陽大橋ルート (2017 年 8 月開通)、②国道 57 号 (2020 年 10 月開通)、③国道 325 号阿蘇大橋ルート (2021 年 3 月開通) と大きく分けて 3 つのエリアで復旧工事を推進してきた (図-1)。

新阿蘇大橋ルートは、旧橋架設地点より約 600 m 下流側に架橋した。新阿蘇大橋は、鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋と鋼単純非合成箱桁橋とで構成されるアプローチ部 (A1 ~ PR1 間: 橋長 180 m) と PC3 径間連続ラーメン箱桁橋の渡河部 (PR1 ~ A2 間: 橋長 345 m) からなる。ルートや構造については、行政と専門家から

なる有識者で構成された技術検討会における審議を経て、将来の地震に対する安全性や自然環境の保全等を考慮した上で決定された¹⁾。

災害復旧という位置付けから、全体工期を短縮し早期開通を実現することが最大の課題であった。そのため、躯体工事は基本的に 24 時間体制で行うとともに、阿蘇地域特有の地形・気象条件に適応しながら、安全・品質への配慮も必要な、高い技術力が求められる工事であった。

本稿では、当 JV の施工範囲である PC ラーメン橋上下部工事で実施した様々な対策や工夫について報告する。

2. 阿蘇大橋の構造概要

新阿蘇大橋 (PR1 ~ A2 間) は、黒川を跨ぐ急峻な斜面上に計画されており、アプローチ橋の P3 橋脚と本橋の PR1 橋脚との間には活断層の存在が想定された。また、支持地盤の一部に柱状節理と呼ばれる火山岩質の亀裂が発達した岩盤層が形成されている点が特徴的であり、橋脚基礎の施工では地山の変状に対して特別な配慮が必要であった。

PR1 ~ PR3 の基礎は、直径ならびに全長ともに国内最大規模の大口径深礎であり、中でも PR2 深礎は全長の約半分に当たる 15 m 区間が黒川の現況水位以下となるため、湧水に対する対策が必要となった。また、急勾配斜面上での施工となるため、土留め構造として竹割型構造物掘削工法が採用されているが、河川に近接する PR2 は約 80 度の急崖地に設けられてお



図-1 熊本市街地と南阿蘇村を結ぶ道路ネットワーク

り、地形上リングビームの閉合が不可能であったため、掘削により生じる変形をロックボルト補強材および吹付けコンクリートで抑制する半円型の土留め構造が採用された。

橋脚はいずれも RC 中空断面の高橋脚であり、PR2 が脚高 97.0 m で最大となる。一方、PC 上部工の中央支間長は 165 m であり、コンクリートウェブを有する 1 室箱桁断面としては国内有数の PC ラーメン橋である (図-2)。

3. 大型インクラインの採用

急峻な地形での橋梁工事では、工事用仮栈橋を設けて施工を行うのが一般的である。本工事の当初の仮設計画は、急斜面の上下に設けた段差栈橋上に揚重用のクレーンを配備し、資機材の搬入出を行う計画 (図-3) であったが、阿蘇外輪山で唯一の切れ目となる立野地区は風の通り道であり、年間を通じて強風となることが多いため、クレーンを介する当初計画では、資機材の供給や深礎工で発生する大量の土砂搬出を安定的に行えない懸念があった。こうした懸念事項を解消する手段として、本工事では兩岸に最大 60 t まで積載可能なインクラインを採用した (図-4)。インクラインは、巻上機により軌道上の台車を上下に移動させることができる設備であり、台車 (短辺寸法: 9.0 m × 長辺寸法: 14.0 m) にはダンプトラックやトレーラー等がいずれも 2 台積載可能である (写真-1)。巻上機は上部施工ヤードの専用ハウス内に配置し (写真-2)、最大牽引力と巻上速度の関係から出力を 250 kW に定め、ワイヤーロープは破断荷重に対して安全率を見込んで、直径 $\phi 50$ mm を採用した。軌道は勾配約

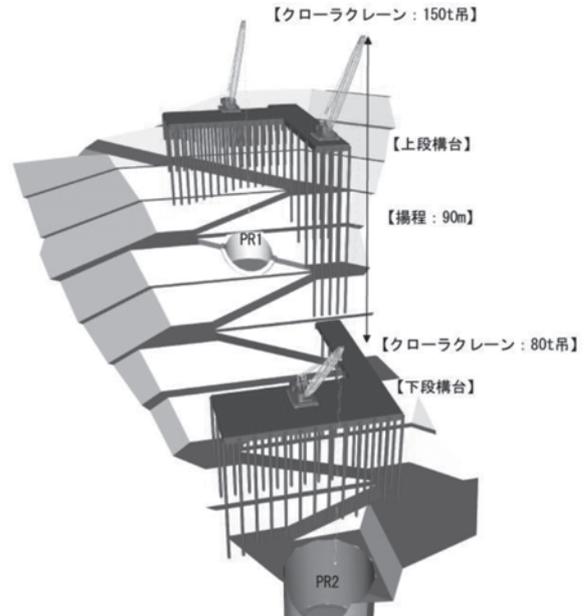


図-3 仮設計画図 (右岸側当初計画)

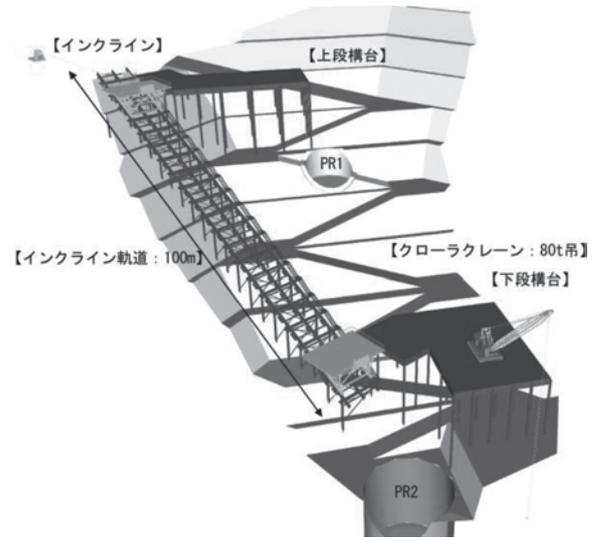


図-4 仮設計画図 (インクライン採用)

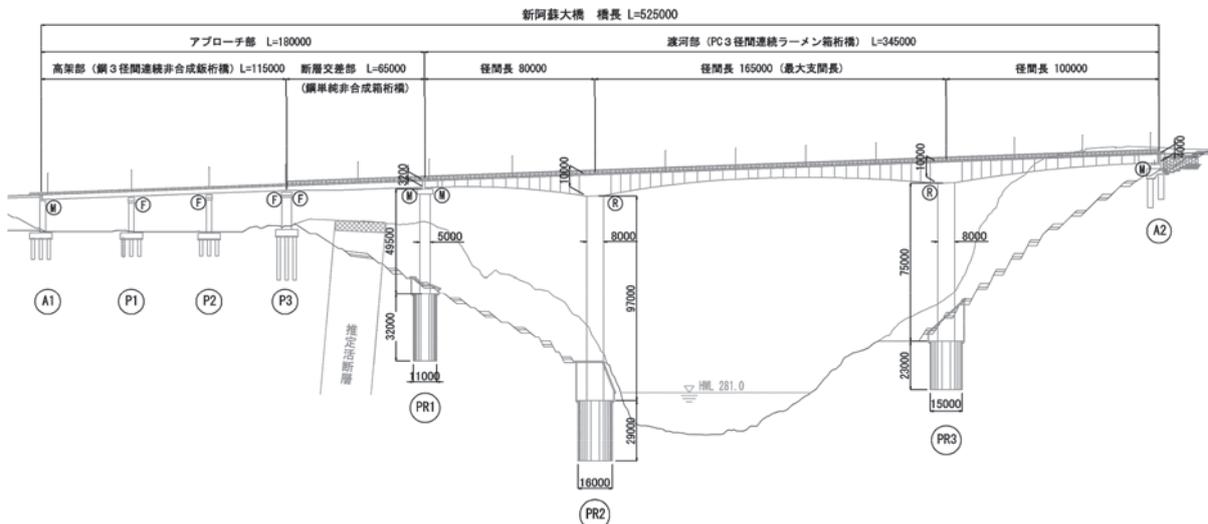
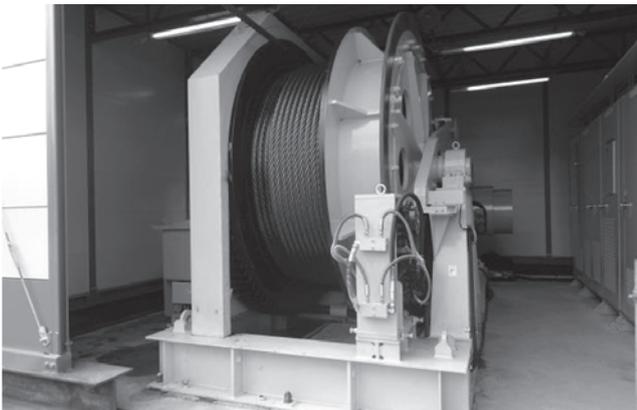


図-2 新阿蘇大橋 全体一般図



写真一 1 インクラインによる施工状況



写真一 2 巻上機 (出力 250 kW)

30度、延長約100mであり、桁材としてH鋼 (H800 × 300 × 14 × 26) を高力ボルトにて接合し、その上にレールを配置した。

なお、軌道の配置については、外側2本の車輪走行用とは別に中央にも1本配置した第三軌条方式とし (写真一 3)、異常時には中央の軌道に専用治具をロックさせることで台車の逸走を防止できるよう安全面に配慮した。

インクラインの組立は、まず乗り込み部となる上段作業構台を構築した後、構台上から軌道の支持杭の削



写真一 3 インクライン第三軌条方式

孔・建込みを行い、ブレース、継ぎ材および上部軌道部材の順に組立を行った。一部区間の組立が完了した時点で軌道上への台車の設置や電気関係の整備を行い、残りは台車上のクレーンにより以上の手順を繰り返して完成させた。なお、インクラインの上下に配置した作業構台には大型のガーダーを使用することで、支持杭の本数を減らし、施工性を向上させた。

インクラインの採用により、先行する斜面切土工事と並行して台車等の部材を製作することが可能になり、引渡しから仮設工事着工までの期間を短縮することができた。また、強風下でのクレーン作業を大幅に低減し、安全かつ安定的な資機材供給や土砂搬出が可能となり、さらに、現場作業の効率化に大きく寄与したものと考えられる。

4. 深礎工における対策と工夫

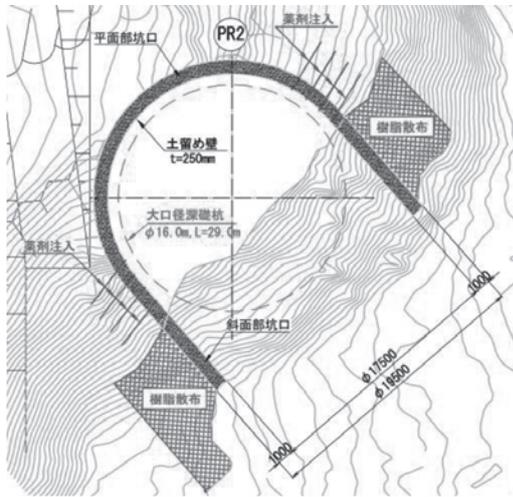
本橋の大口径深礎は杭径 $\phi 11.0\text{ m} \sim \phi 16.0\text{ m}$ 、全長が最大32.0mと大規模である。このため、施工に伴う掘削土量を削減し、自然環境への負荷を低減する目的から、竹割型構造物掘削工法により土留め壁を構築した上で杭本体の施工に着手した。なお、PR2の土留め壁は前述のとおり、地形上の問題からリングビームが閉合できないため、現地サンプリングによる岩石試験や3次元FEM解析に基づく多角的な設計検討を重ねて、吹付け、ロックボルトを主体にした半円形の土留め構造を採用した (写真一 4)。

施工時には掘削に伴う振動や応力解放に起因する地山の肌落ちや崩落を防ぐための対策として、土留め壁施工範囲の両側6m程度の範囲を対象に、事前に柱状節理表面や亀裂部への樹脂散布・注入を行うとともに、掘削時はウレタン系注入材による地山補強を並行して実施し、施工時の安全確保や柱状節理の保全に努めた (図一 5)。



写真一 4 半円形の土留め構造

深礎の掘削は、周辺地盤に亀裂が多い岩盤が介在している状況を鑑みて、地山の緩みが生じないように発破は行わず、すべての杭で大型重機による機械掘削を採用した（写真—5）。



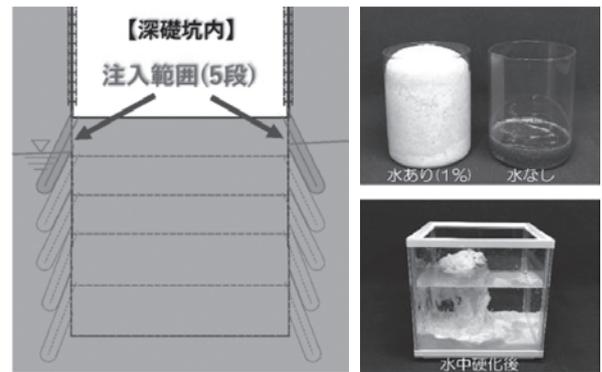
図—5 PR2 基礎構造および対策工



写真—5 大型掘削機（BH1.4 m³/3800 kg 級ブレーカ）

なお、掘削深度—14.0 m 以下で孔内に大量の湧水（最大 2.4 m³/min 程度）発生が想定された PR2 では、掘削に先立ち、杭の外面全周に水との反応性が良く、減水効果に優れるウレタン系湧水抑制材を全 5 段注入し、孔内への湧水量を抑制した（図—6）。また、掘削中は地山や土留め壁の変状を即座に把握できるように動態観測を実施した。測定項目は目視観察や光波測距儀による地表・土留め壁の変位計測に加え、挿入型多段式傾斜計による地中変位や軸力計による補強材軸力等のより厳密な計測も行った。傾斜計にて計測した土留め壁背面における地中の最大変位量は、設計段階の FEM 解析値の 20% 程度に留まり、各段階での対策が有効に機能したものと判断している²⁾。

一方、杭体の構築においては、外周帯鉄筋のプレファブ化や高所作業車の使用により鉄筋組立の作業効率を



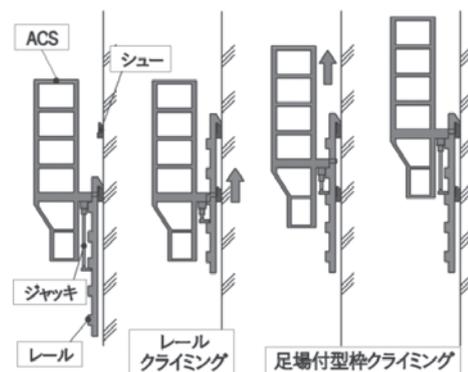
図—6 湧水抑制材および対策範囲

向上させるとともに、コンクリートの打設ロットを可能な限り大きくすることで打継ぎ処理や打設用足場の組立に要する負担を軽減し、工程短縮を図った。なお、コンクリートは 1 回あたりの打設量が多いため、上段の作業構台に据えたポンプ車からインクラインの軌道に併設した配管（2 系統）により打込み箇所まで圧送した。延長約 200 m、高低差約 100 m の長距離下り配管での生コン供給となることから、増粘剤を一体化した高性能 AE 減水剤を用いたスランプ 18 cm の配合を用いて、材料分離抵抗性を確保した。

5. 橋脚工における対策と工夫

PR1～PR3 の 3 基の橋脚はいずれも高橋脚であり、従来工法による施工では足場や型枠の組立作業に時間を要することが予想された。このため、作業用足場と型枠が一体化され、既設躯体から反力を取り、油圧ジャッキによりレールに沿ってクライミングする ACS セルフクライミングシステム（以下、本採用工法）を選択した（図—7、写真—6）。

本採用工法は 6 層の作業用足場で構成されており、下部 2 層で既設躯体の仕上げおよびクライミング作業、中間 2 層で型枠作業、上側 2 層で鉄筋組立およびコンクリート打設作業を行う。なお、型枠材には剛性



図—7 クライミング概要図



写真一六 ACSによる橋脚施工状況

の高い厚さ 18 mm の大型パネル（最大寸法：2.4 m × 5.15 m）を採用しているため、セパレータ間隔を 900 mm 程度まで広げることができ、かつ 1 橋脚を通じての転用が可能となり、施工途中の入れ替え作業を省けたことで、型枠作業における省力化が図れた。

一方、鉄筋組立作業についても、プレファブ化（写真一七）した帯鉄筋および中間帯鉄筋の一括架設や本採用工法にあわせて、主鉄筋の継手位置をリフト継目から常に一定の高さになるよう鉄筋長を調整する等の工夫を行ったことで作業効率が向上した。

PR2 および PR3 橋脚は景観性の配慮から、上部に向かうにつれスレンダーな形状になる設計であったが、本採用工法はレールが躯体に沿って接続されるため、断面が縮小する場合にはシステム自体がこれに沿って内側に傾くことになる。この問題に対しては、外部足場を予め外側に角度をつけて組み立てておき、施工の大半を占める断面変化区間で作業用足場をレールの状態に保つことで作業性を確保した。

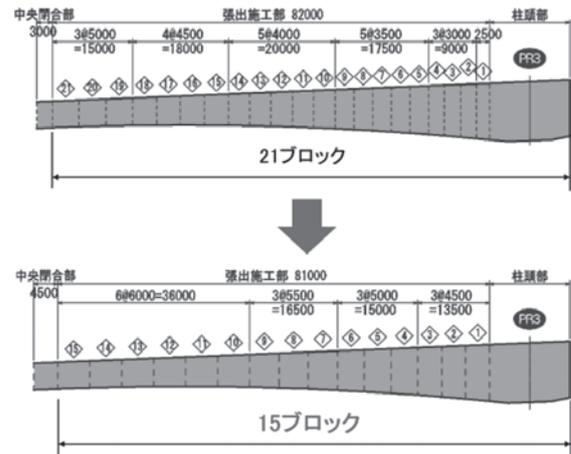
6. 上部工における対策と工夫

上部工は移動作業車による片持ち張出架設にて施工



写真一七 帯鉄筋プレファブ化（ノップキャリアー工法）

を行うが、架設機械の大型化（超大型移動作業車：6000 kN）により主桁ブロック数を減少し、施工日数の短縮を図る方針とした。事前検討として、詳細な施工計画に基づくステップ解析を行い、本解析結果をもとに張出ブロック数を PR2 側で 5BL 削減（17BL → 12BL）、PR3 側で 6BL 削減（21BL → 15BL）し、工期短縮を図った（図一八）。



図一八 主桁ブロック割の比較（PR3 張出部）

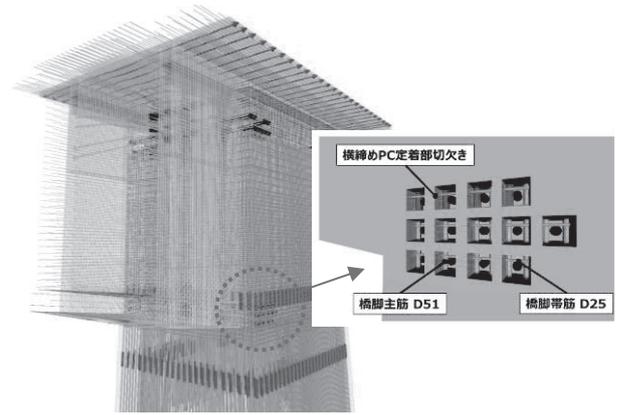
全長 15.0 m、桁高 10.0 m でマスコンクリートに該当する柱頭部では、温度応力解析の結果をもとに 4 リフトに分割し、早期のプレストレス導入が必要となる最終リフトを除き、早強ポルトランドセメントから普通ポルトランドセメントを用いた配合（ともに呼び強度は 50 N/mm²）に変更し、夏期施工時の温度ひび割れの発生リスクを低減した。また、柱頭部の施工に用いるブラケット支保工については、次工程の移動作業車組立に要する日数を削減するため、作業車の下段作業台を支保工受け梁として兼用した。

超大型移動作業車（写真一八、九）による片持ち架設は、一連のサイクルを昼夜体制で行い、1 ブロックあたり概ね 7 日間で完了することができた。主桁基準高の出来形管理では ±20 mm 以内の精度が要求されるが、本橋は高橋脚でかつ張出し長が長い構造であるため、架設時の上げ越し管理が非常に重要となる。このため、橋脚の鉄筋剛性やコンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響を考慮して、厳密に計画値を算出し、温度変化による挙動を把握しながら、各ブロックにおける型枠セット高さを決定した。

側径間部は、当初設計では片持ち架設完了後に吊支保工で施工する計画であったが、工程短縮の観点から、張出部と並行してブラケット支保工により大部分を先行構築し、最終ブロックの施工完了後に移動作業車を用いて閉合した。



写真一八 超大型移動作業車による施工状況



図一九 CIM モデルの一例（柱頭部）



写真一九 張出架設, 終盤施工状況

～打込み・品質管理に至る一連の流れを電子化しクラウド上で共有できるシステムを活用し、打設管理の省力化を図った⁴⁾。本システムでは、生コン工場の出荷システムから電子化された伝票情報が専用サーバーに自動送信されるため、工事担当者は、この送信情報を受入れ箇所や打設箇所ですぐに確認することでタイムリーな情報共有が可能となる。システムは運搬中・荷卸中・荷卸済み・返却の4つのフェーズで構成されており、打設進捗や練り混ぜ開始からの経過時間、打設ピッチや受入れ検査結果もすべて表示されるため、随時生コンの運搬状況や待機台数、生コン性状等の把握が可能となり、従来よりもスムーズな打設管理が行えた（写真一十）。

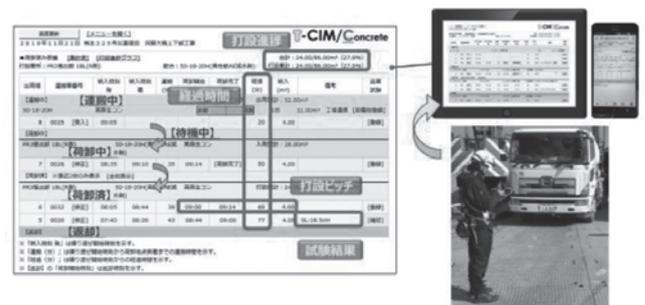
7. ICT の有効活用

(1) CIM モデルの活用

国土交通省が推進する i-Construction の一環として、CIM モデルを作成し、設計照査や施工数量の算出、施工手順の確認・共有などに活用した。設計照査では、主に部材同士の干渉が問題になることが多い基礎や橋脚、主桁の各接合部の3次元モデルを作成し、確認を行った。このうち、橋脚と主桁が接合する柱頭部（図一九）では、太径である橋脚主筋や帯鉄筋が横桁横締めPC鋼材の定着部切欠きを貫通しており、型枠・鉄筋組立が煩雑で、PC緊張用機器の設置も困難と考えられた。よって、この横締めPC鋼材を同等のプレストレスが得られ、かつ切欠きが不要となる中空PC鋼棒に変更し作業性を向上させた³⁾。

(2) 生コン情報の電子化技術の活用

上下部工合わせて約26000 m³の場所打ちコンクリートの打設を行う本工事では、生コンの出荷～運搬



写真一十 生コン情報電子化システムを用いた打設管理

8. おわりに

大型施工機械の導入ならびにプレファブ鉄筋や流動性を高めたコンクリートの積極利用、ICTの有効活用等により（1年4カ月）の工期短縮を図り、震災発生から約5年の節目にあたる2021年3月7日に無事故・無災害で開通を迎えられた事は、「国道325号ルート・構造に関する技術検討会」の委員の皆様や発注者（熊本復興事務所）、国土技術政策総合研究所をはじめ、様々なご支援とご協力を頂いた結果である。本ルート



写真—11 開通した国道325号新阿蘇大橋

の開通は地元の方々から一日も早い復旧という期待を背負い完成した新阿蘇大橋を含む国道325号線の開通により、南阿蘇村をはじめとする阿蘇地域がより多くの観光客でにぎわいを取り戻し地域の活性化につながるとともに、震災復興のシンボルとして本橋の復旧を心待ちにされていた地元の方々から将来にわたり長く愛される橋になることを期待する。

謝 辞

最後に、地震や豪雨等の自然災害が頻発する状況下において、被災したインフラの早期復旧を支える技術の更なる発展に貢献するとともに、新阿蘇大橋工事に関わる関係者からの多大なご支援、ご協力をいただいた各位に深く感謝の意を申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) 鶴林保彦, 西田秀明, 山田浩司, 草道香成, 長尾賢二, 藤本大輔: 国道325号阿蘇大橋の設計と施工, Vol.55, pp.7-13, 2021.4
- 2) 草野瑞季, 長尾賢二, 藤本大輔, 重草通: 節理が発達した急崖地における大口径深礎の施工, 土木学会第75回年次学術講演会講演概要集, 第VI部門, VI-195, 2020.9
- 3) 長尾賢二, 藤本大輔, 中田清博, 梁 俊: 国道325号 新阿蘇大橋(仮称)の施工-熊本地震からの早期復旧に向けた取組み-, プレストレストコンクリート, vol.63, No.1, pp.9-14, 2021.1
- 4) 大友健, 渡邊高也, 上田浩平, 北原剛: 「生コン情報の電子化」の展開-PRISMによる現場打ちコンクリート工の生産性向上と品質管理の高度化の検証-, コンクリート工学 vol.58, No.1, pp.39-44, 2020.1

【筆者紹介】



鶴林 保彦 (うばやし やすひこ)
国土交通省 九州地方整備局
熊本復興事務所 副所長



藤川 真一 (ふじかわ しんいち)
国土交通省 九州地方整備局
熊本復興事務所 工務課長



園部 文明 (そのべ ふみあき)
大成建設㈱
土木本部 土木技術部
橋梁技術室 次長