

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り組み —

長尾 賢二*1・藤本 大輔*2・中田 清博*3・梁 俊*4

2016年4月に発生した熊本地震により落橋し、通行不能となった国道325号阿蘇大橋は熊本県からの要請による国の直轄権限代行事業として、旧橋架設地点より約600m下流側で2020年度の開通を目標に架替え工事を進めている。本橋は、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、早期の復旧と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うえでルートや構造が決定された。本稿では、同種構造としては国内最大規模の橋脚高および中央支間長を有するPC3径間連続ラーメン橋の上下部工事に関して、早期復旧の実現に向けた施工上の取り組みを中心に報告する。

キーワード：災害復旧工事、工期短縮、大型インクライン、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すでに応急復旧が完了している長陽大橋ルート（2017年8月開通）、②大規模な斜面崩落が発生した国道57号の砂防事業、③国道325号阿蘇大橋ルートと大きく分けて3つのエリアで復旧工事を推進してきた（図-1）。

阿蘇大橋ルート（工事延長：約1km）は、旧橋架設地点より約600m下流側において、2020年度の開通を目標に施工を進めている。本ルートは両側の土工部を除く525mが橋梁区間であり、鋼3径間連続非合成鈹桁橋と鋼単純非合成箱桁橋とで構成されるアプローチ橋（A1～PR1間：橋長180m）、黒川を渡河するPC3径間連続ラーメン箱桁橋（PR1～A2間：橋長345m）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うえで決定された。

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り、躯体工事は基本的に24時間体制での施工が必要となった。その一方で、阿蘇地域特有の地質・気候条件のもと、最大橋脚高97.0m、中央支間長165.0mを有する国内最大規模のPCラーメン橋の構築を行う難度の高い工事であった。

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工期短縮ならびに品質確保に対する取り組みのなかから代表的な事例について報告する。

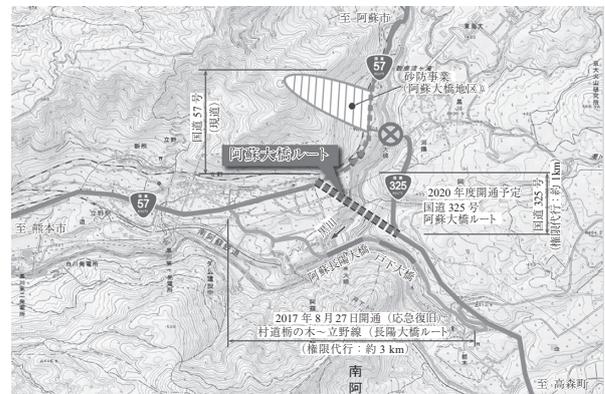


図-1 立野地区における復旧工事の概要
(提供：熊本復興事務所)

2. 新阿蘇大橋の概要

2.1 工事概要

本橋の工事概要を以下に示す。

工事名：熊本325号災害復旧 阿蘇大橋上下部工事

発注者：国土交通省 九州地方整備局

工事場所：熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽

工期：2017年3月17日～2021年3月31日

構造形式：(上部工) PC3径間連続ラーメン箱桁橋

(下部工) RC中空橋脚, 逆T式橋台

(基礎工) 大口径深礎, 深礎杭

橋長：345.0m

支間長：80.0m + 165.0m + 100.0m

桁高：10.0m～3.2m

有効幅員：車道部7.0m, 歩道部2.5m

縦断勾配：→ 3.694%

2.2 構造概要

本橋（PR1～A2間）の全体一般図を図-2に示す。本橋は黒川を跨ぐ急峻な斜面上に位置しており、支持地盤の

*1 Kenji NAGAO：大成・IHI インフラ建設・八方JV（大成建設(株)九州支店）

*2 Daisuke FUJIMOTO：大成・IHI インフラ建設・八方JV（大成建設(株)九州支店）

*3 Kiyohiro NAKADA：大成建設(株) 土木技術部 橋梁設計・技術室

*4 Jun LIANG：大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室

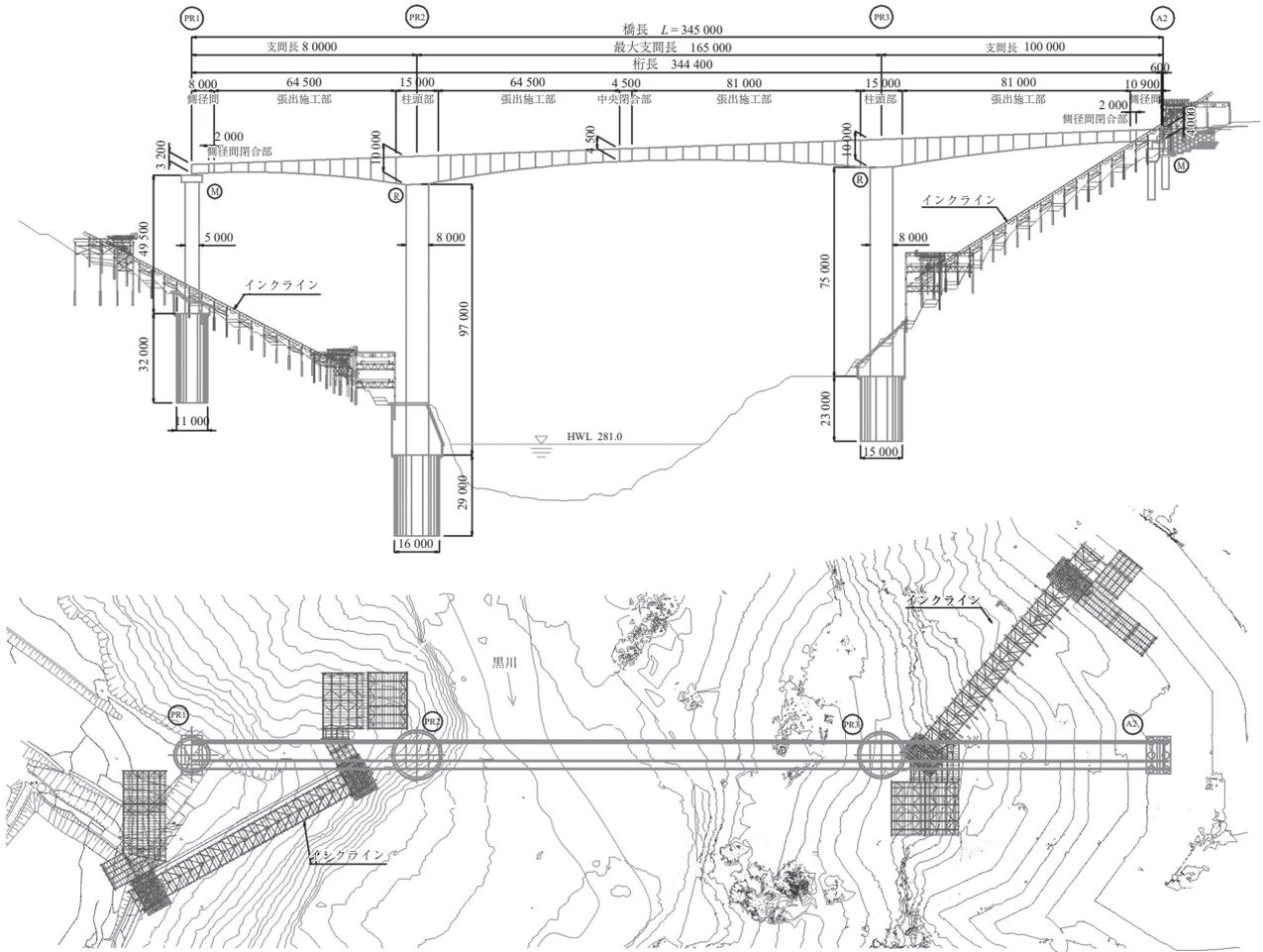


図 - 2 全体一般図

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としてあげられる。そのため、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、なかでもPR2深礎は全長の約半分にあたる15m区間が黒川の現況水位以下となるため、掘削中に多量の湧水の発生が懸念され、これに対する対策が必要と考えられた。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り型土留め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97.0mで最大となる。上部工は中央支間長165mのコンクリートウェブを有する1室箱桁であり、同種構造としては国内最大規模となる。主方向PC鋼材は架設用および閉合用として内ケーブル(12S15.2)、連続ケーブルとして外ケーブル(19S15.2)が配置された併用方式である(図-3)。

また、PR1、A2の両端部の支承にはともに可動支承が

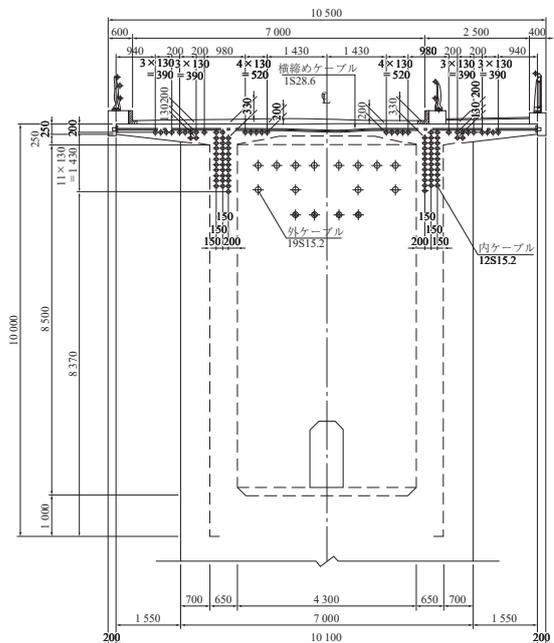


図 - 3 主桁断面図(柱頭部)

採用されており、このうち背面側(P3～PR1間)に推定活断層が存在するPR1においては、断層変位発生時に速やかに損傷し、断層変位による力を上下部構造に伝達しな

いよう、あらかじめ損傷制御部材を設けた特殊構造が採用されている。

3. 仮設計画における工夫

急峻な地形での橋梁工事では、工事中用仮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 - 4）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、本工事では両岸に最大 60 t まで積載可能なインクラインを採用することとした。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（写真 - 1）、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などがいずれも 2 台積載可能である。巻上機は上部施工ヤードの専用ハウス内に配置し、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 10 を見込んで、直径 ϕ 50 mm を採用した。軌道は勾配約 30 度、延長約 100 m 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

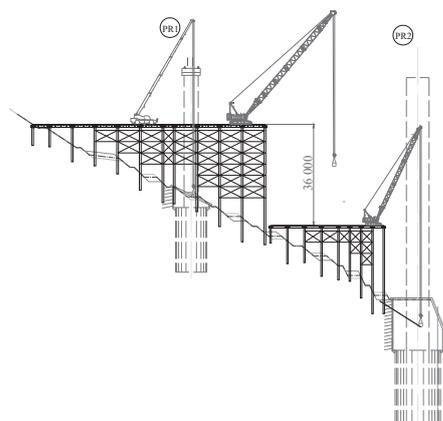


図 - 4 発注当初の仮設計画図

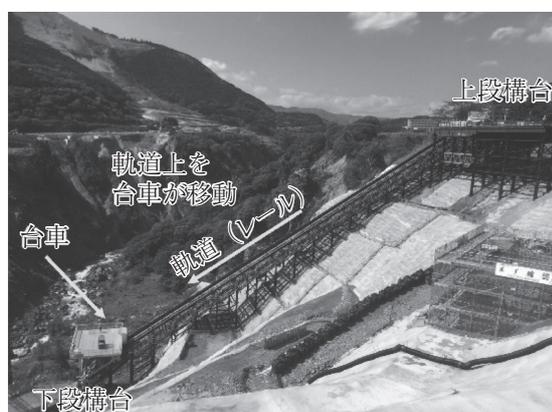


写真 - 1 大型インクラインの概要

置については、外側 2 本の車輪走行用とはべつに中央にも 1 本配置した第三軌条方式とし、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。

4. 下部工の施工

4.1 大口径深礎の施工

本橋の大口径深礎は直径 ϕ 11.0 m ~ ϕ 16.0 m、全長が最大 32.0 m と大規模である。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、竹割り型掘削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、節理が卓越した PR2 の施工では掘削に伴う振動や応力開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 6 m 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改良を並行して実施し、施工時の安全確保に努めた（図 - 5）。

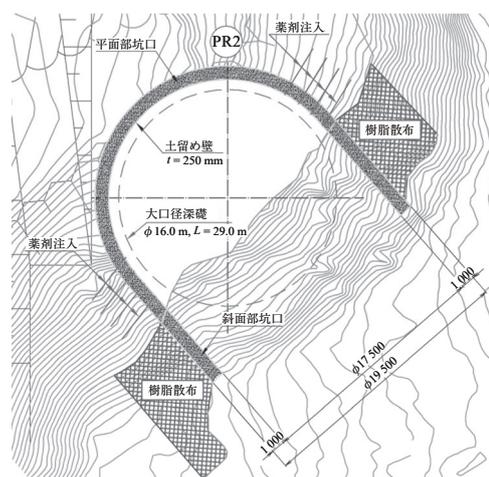


図 - 5 PR2 基礎構造および対策工

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、すべて大型重機による機械掘削とした。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）発生が危惧された PR2 では、掘削に先立ち、杭の外周全面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注入し、孔内への湧水量を抑制した。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通常よりも厳密な動態観測として、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などを計測した¹⁾。

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ての作業効率を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ブ 18 cm の配合を用いて、材料分離抵抗性を確保した。

4.2 橋脚の施工

PR1 ~ PR3 の 3 基の橋脚はいずれも高橋脚であり、在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、ACS）を採用した（写真 - 2）。ACS 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、プレファブ化した帯鉄筋および中間帯鉄筋の一括架設や ACS の採用にあわせて、主鉄筋の継手位置をリフト継目からつねに一定の高さになるよう鉄筋長を調整するなどの工夫を行ったことで作業効率が向上した²⁾。



写真 - 2 ACS による橋脚の施工状況

5. 上部工の施工

5.1 主桁ブロック割の変更

上部工は移動作業車による片持ち張出し架設にて施工を行うが、架設機械の大型化（超大型移動作業車：容量 600 tf・m）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、実施工における架設計画および手順に沿った骨組み解析を行い、ブロック割を PR2 側：12BL（5BL 減少）、PR3 側：15BL（6BL 減少）に決定した（図 - 6）。なお、側径間部は工程短縮を図るため、吊支保工による施工からブラケット支保工による先行施工に変更し、張出しブロックとの間には 2.0 m の閉合部を設けることとした。

5.2 柱頭部の施工

全長 15.0 m、桁高 10.0 m でマスコンクリートに該当す

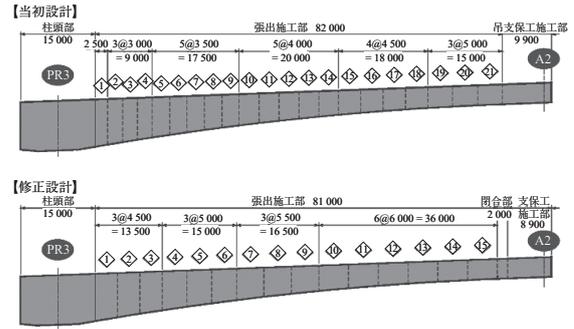
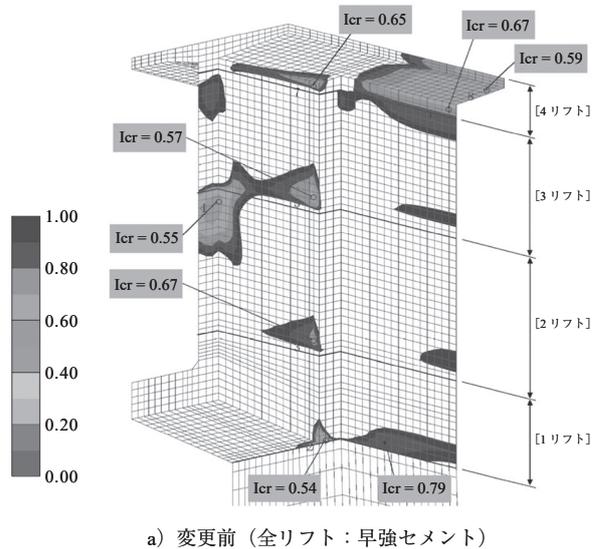
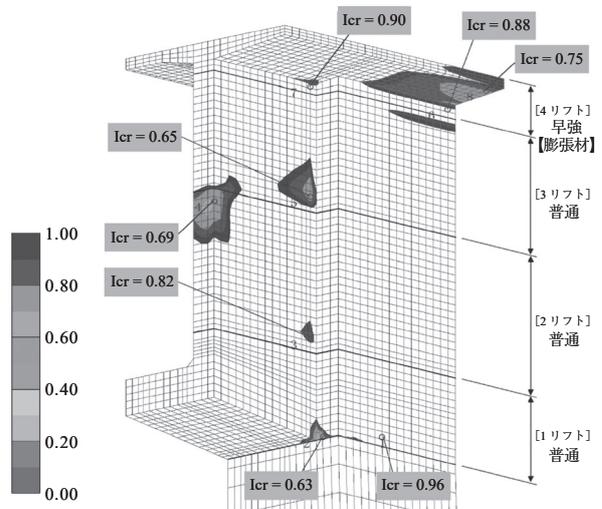


図 - 6 主桁ブロック割の比較（PR3 張出し部）

る柱頭部は、1 回あたりの打込み量を考慮して 4 リフトに分割して打設を行った。PR3 柱頭部は夏期の施工となり、温度ひび割れの発生が懸念されたため、施工に先立ち 3 次元モデルを用いた温度応力解析を実施した（図 - 7）。コンクリートの当初配合は呼び強度 50 N/mm² の早強ポルトランドセメントを用いる仕様であったが、解析結果による



a) 変更前（全リフト：早強セメント）



b) 変更後（1～3リフト：普通セメント，4リフト：膨張材添加）

図 - 7 柱頭部のひび割れ指数分布図

と躯体外面でひび割れ指数 1.0 以下となる部位が広範囲におよぶことが確認された。このため、早期のプレストレス導入が必要となる最終リフトを除いて普通ポルトランドセメントに変更し、試験練りにて強度の確認を行いながら、可能なかぎり単位セメント量を低減させた。なお、最終リフトでは既設躯体の拘束の影響により上床版のひび割れ指数が小さくなったことから、膨張材を添加することで改善を図った。

一方、本工事では、国土交通省が推進する i-Construction の一環として、CIM モデルを積極的に施工段階で活用しているが、橋脚と主桁が接合し、密な配筋となる柱頭部を 3 次元モデル (図 - 8) により照査したところ、太径である橋脚主筋や帯鉄筋が横桁横締め PC 鋼材 (1S28.6) の定着部切欠きを貫通し、型枠・鉄筋組立てが煩雑になるだけでなく、PC 緊張用機器の設置が困難と考えられた。したがって、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。

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、張出し施工で使用する移動作業車の下段作業台を支保工受け梁に兼用し、柱頭部施工後に行う移動作業車の組立て日数を削減した。

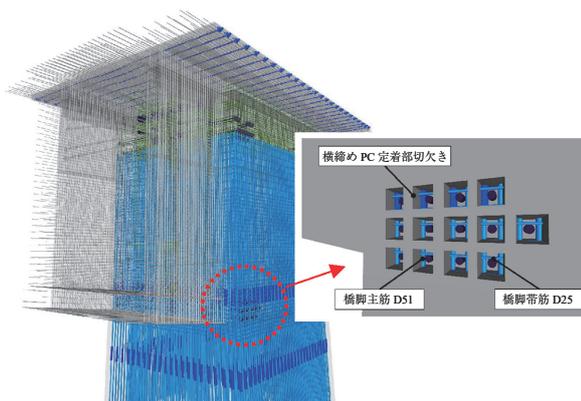


図 - 8 CIM モデルを活用した柱頭部の照査

5.3 張出し施工

本橋の張出し部は橋脚躯体工の進捗に応じて、先に PR3 側を 2 基の移動作業車で架設し、A2 側径間の閉合を完了させたのち、移動作業車を解体・転用し、PR2 側の架設を行う手順で施工した (写真 - 3)。計画工程上 1 サイクルをおおむね 7 日ペースで完了させる必要があり、PC 鋼材の緊張から作業車の移動・据付け、次ブロックの型枠セットまでをいかにスムーズに行うかがポイントであった。このため、主桁コンクリートの設計基準強度は 50 N/mm² であるものの、強度発現の遅い冬期でも打設 2 日後には PC 緊張可能強度が得られるよう、慎重に配合を検討した。また一方で、張出し施工時は生コン車をインクラインにより下段の仮設構台まで運搬し、そこから橋脚に沿わせた鉛直上向き配管と橋面上の水平配管を用いて、コンクリートを圧送するため、場内の運搬時間や圧送距離が長くなる (最



写真 - 3 PR2 側の張出し施工状況 (2020 年 6 月撮影)

長水平換算距離: 約 380 m)。したがって、運搬・圧送ロスを見込んで目標スランプを 18 cm に設定し、強度発現と施工性能の双方を満足できるよう、単位セメント量や高性能 AE 減水剤の添加量を調整しながら、ベース配合 (50-18-20H) を決定した。なお、コンクリートの打込み管理では、生コンの出荷～運搬～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³⁾。本システムは運搬中・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、打設進捗や練混ぜ開始からの経過時間、打設ピッチや受入れ検査結果などの情報がタブレット端末にすべて表示されるため、随時生コン車の運搬状況や待機台数、生コン性状など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。

架設時に緊張が必要な内ケーブルには、① ウェブ配置と② 上床版配置の 2 種類があり、最長で約 177 m におよんだ。よって、グラウト材には注入圧力の低減を図るため、超低粘性型グラウトを採用した。これにより、注入側のグラウトホースの圧力、注入時の最大圧力ともに制限値以内となり、一度で注入可能と判断できたため、本工事ではグラウトホースのあと処理箇所を極力少なくすることを優先し、勾配の低い側に注入口および排気口を、反対側の端部に排出口をそれぞれ 1 箇所配置することを基本とした。なお、ケーブル形状が山型となるウェブ配置ケーブルについては、マニュアル⁴⁾に沿って、残留空気を確実に排出できるように曲げ下げ開始位置およびその 0.5 m 先に別途中間排気口を設けた。また、グラウト注入は PC 鋼材を挿入・緊張したのちできるだけ速やかに行うのが原則であるが、12 月中旬～2 月中旬までは日平均気温が 4℃ を下回る寒冷な気候であるため、冬期の注入は行わず、これ以外の期間は全体工程や日平均気温を勘案して注入時期を調整した。

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一方で、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であった。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。

5.4 側径間および閉合部の施工

PR1 および A2 側径間はそれぞれ張出し施工と並行してブラケット支保工により施工した。最終ブロックとの間に設けた 2 m の閉合部は移動作業車の型枠設備を併用して施工するため、ブラケットと作業車の下段作業台の梁材とが干渉しないよう部材の配置を慎重に検討した。

4.5 m の中央閉合部は PR2 側の最終ブロック施工後に移動作業車を所定の位置まで前進させて、作業車の足場・型枠設備を使用して施工を行った。なお、ブロック先端では日射や温度変化の影響に伴う桁の伸縮やたわみの変動が生じるため、時間ごとの測量データに基づいて挙動を把握したうえで、ブロック先端を H 鋼（作業車レール材）および PC 鋼棒により連結させてからコンクリートを打設した（写真 - 4）。



写真 - 4 移動作業車による中央閉合部の施工

外ケーブルは、ウィンチを用いて上床版の施工用開口部から桁内部に組み立てた架台上に引き込み、所定の位置まで牽引したのち順次緊張を行った。なお、本橋の外ケーブルにはグラウト工程の削減による省力化や品質向上などを目的として、工場製作型多重防錆 PC ケーブルであるアンボンドマルチケーブルを採用した（写真 - 5）。

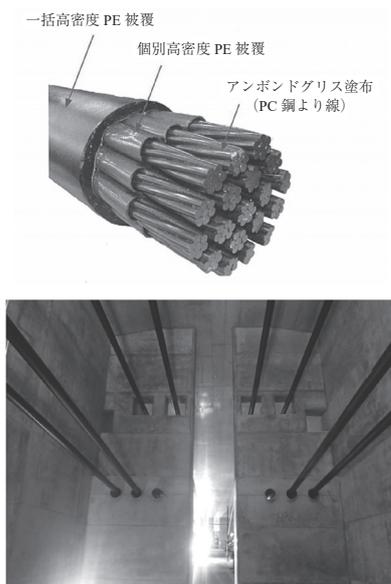


写真 - 5 外ケーブルの仕様と配置状況

6. おわりに

本工事では、以上で述べた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 の有効活用などにより、大幅な工期短縮を図り、2020 年 9 月 14 日に閉合を迎えた。当日は地元の小学生も参加して、閉合コンクリートの打設を無事完了した（写真 - 6）。現在は 2021 年 3 月頃の開通を目指して、地覆・鋼製高欄および付属物関係の施工を進めている。

躯体構築の大半を 24 時間体制で進めなければならないという非常に厳しい工程ではあったが、早期復旧を望む発注者ならびに地元の方々からの多くのご支援・ご協力を賜り、遅延なく閉合までたどり着くことができた。関係各位にはこの場を借りて深謝申し上げる次第である。

最後に、熊本地震からの復興のシンボルとして期待される本橋の開通を無事故・無災害で迎えられるよう、残工事も緊張感を維持しながら取り組んでいきたい。また、近年頻発している地震や豪雨等の自然災害により被災したインフラの復旧にあたり、本工事における取組みがわずかでも参考になれば幸いである。



写真 - 6 閉合式の様子（2020 年 9 月撮影）

参考文献

- 1) 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
- 2) 金本龍之介, 藤本大輔, 長尾賢二, 重草 通: 断面変化を有する鉄筋コンクリート高橋脚の急速施工, 土木学会第 75 回年次学術講演会講演概要集, 第 VI 部門, VI -202, 2020.9
- 3) 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
- 4) 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会: PC グラウト & プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル 2013 改訂版, 2013.8

【2020 年 10 月 15 日受付】