

論文・報告

下塩原第一橋梁の施工

～狭小な施工空間での上路式 RC 固定アーチ橋の施工～

Construction of RC fixed-Arch bridge in narrow space

安田 孝弘 *1
YASUDA Takahiro蛸山 祐介 *2
ROYAMA Yusuke甲斐 達也 *3
KAI Tatsuya狩野 兼義 *4
KANOU Kaneyoshi蓑田 俊介 *5
MINODA Shunsuke

下塩原第一橋梁は、栃木県北部～福島県会津地域を結び、塩原温泉郷へのアクセス道路でもある国道 400 号の渋滞緩和や通行止め対策を目的に計画されたバイパスの一部である。架橋位置には自然のままの渓谷が多く現存し、優れた渓谷美を守るため上路式 RC 固定アーチ橋が採用された。本橋のアーチリブは、鋼メラン材を支保工として移動作業車でブロックごとにコンクリートを巻き立てる特殊な施工方法が採用され、鋼メランの架設精度がアーチリブコンクリートの出来形を左右するため、全工程においてきめ細やかな品質・出来形管理が求められた。また、自然公園内に架橋されること、ならびに自然豊かであるゆえの現道条件の厳しい制約から、限られた施工空間で安全かつ効率的に工事を進めるための施工検討を重ねて施工の合理化を図った。本稿は、狭小な施工空間での大口径深礎～上部工補剛桁の施工における出来形・品質・安全確保対策ならびに施工性向上について報告するものである。

キーワード：3D-CAD、鋼メラン斜吊り張出架設工法、巻立て作業車、コンクリート充填、分割施工

1. はじめに

国道 400 号は、栃木県北部の那須塩原市・大田原市等を横断し、福島県会津地域へ至る一大幹線道路であるとともに、栃木県有数の観光地である塩原温泉郷へアクセスする道路として重要な路線である。しかし、本橋の架橋位置周辺は、急峻な地形で台風や豪雨時には土砂流出や斜面崩落が発生しやすいため、連続雨量が 200 mm に達した場合には全面通行止めとなる異常気象時通行規制区間に指定されている。さらに、現道は幅員が狭く急カーブが連続しているため大型車のすれ違いが困難であり、行楽期等には渋滞による交通支障が発生する。この問題を解消し、安全・安心で円滑な交通を確保するとともに、栃木県の主要産業である観光の振興を図るため、トンネルを主体としたバイパスの整備事業が日光国立公園内（第 1 種特別地域）に計画された。

下塩原第一橋梁は、このバイパスの一部として自然のままの渓谷が多く現存している箇所に架橋された橋梁であり、優れた渓谷美を守ることができる上路式の RC 固定アーチ橋である。現存する自然環境への影響を最小限に抑えるためには狭小な施工空間で構造物を構築する技術と施工性の向上が求められ、また、現道の厳しい制約

条件に適した対策を講じる必要があった。本稿では、その中でも特に 3D-CAD を活用した施工検討・施工管理と、出来形・品質・安全確保対策ならびに施工性向上について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁諸元を表 1、橋梁一般図を図 1 に示す。

表 1 橋梁諸元

橋梁名	一般国道400号 下塩原バイパス 第1橋梁（仮称）
橋梁種別	道路橋（B種の橋）
道路規格	第3種第3級（V=60km/hr）
舗装	アスファルト舗装t=80mm（車道部）， 30mm（歩道部）
活荷重	B活荷重，群集荷重
橋長	167.000m
支間長	17.3m+2@21.0m+22.0m+ 2@21.0m+21.5m+20.9m
有効幅員	0.5m+2@3.0m+0.5m+2.5m=9.5m
上部工形式	上路式コンクリート アーチ橋（補剛桁形式PC2主版桁橋）
下部工形式	逆T式橋台，壁式橋脚， ラーメン式橋脚（鉛直材）
基礎工形式	場所打ち杭φ1200，φ1500 深礎杭基礎φ2500，φ8000

*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

*4 川田建設㈱東京支店工事事務課 部長

*5 川田建設㈱九州支店技術部技術課 主幹

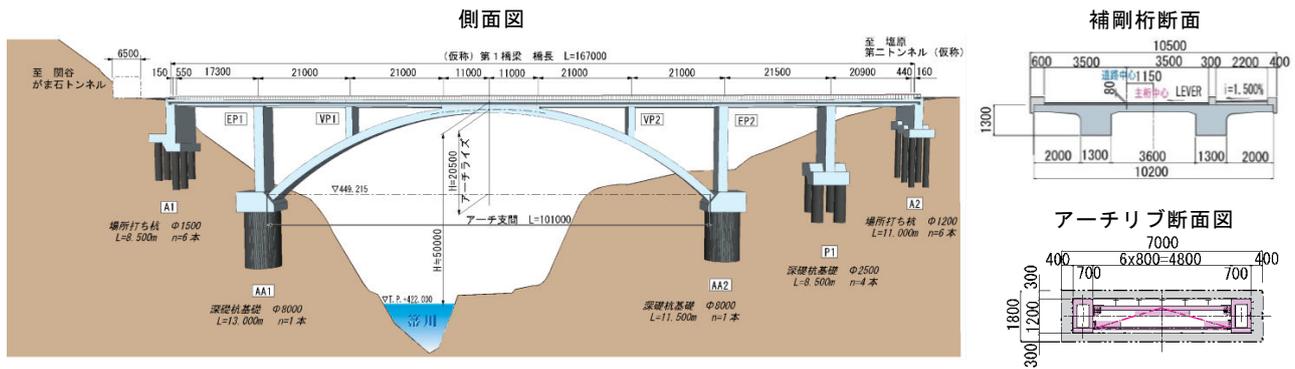


図1 橋梁一般図

3. CIM (3D-CAD) を活用したアーチアバットの施工¹⁾

アーチアバットは、大口径深礎杭基礎を採用することでコンパクトな形状となっているが、アーチアバットの鉄筋に加えてアーチリブ、エンドポスト、大口径深礎杭の部材接合鉄筋や PC 鋼棒が密に配置されており、それぞれが交差している状態であった。そこで、3D-CAD により鉄筋や PC 鋼材の干渉箇所の把握と配筋の見直しを行うとともに組立順序を検討し、最小限の土留め掘削による狭小な施工空間での施工を可能にした。

(1) 仮設構台

アーチアバットとアーチリブ施工用の仮設構台は、自然環境への干渉抑制のため、補剛桁を施工するアーチアバット背面に構築する必要があった。また、この仮設構台にはアーチリブ施工時の大型クローラクレーンの反力が作用することから、地表面から比較的深い位置に存在する岩盤に確実に定着させる必要があったため、H 鋼杭基礎をダウンザホールハンマにより施工した (写真 1)。

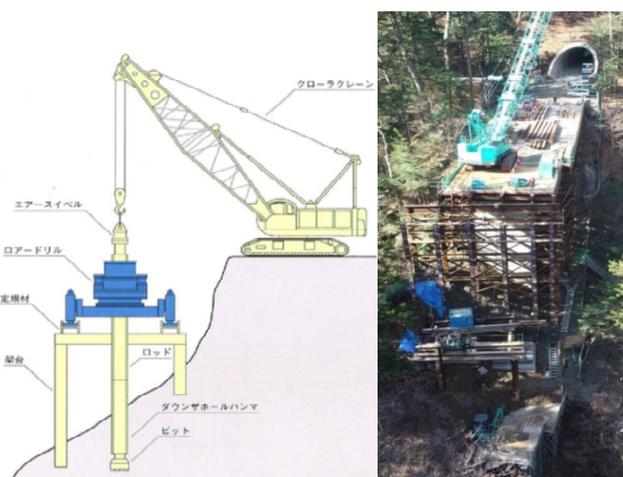


写真1 ダウンザホールハンマによる施工状況

(2) アーチアバット

アーチアバットの配筋 (図 2) は、アーチアバットの鉛直鉄筋 D51 と水平鉄筋 D38 に、円形状に配置された

深礎杭の主鉄筋 D51 と帯鉄筋 D29 が交差する。さらに、斜めに配置されるアーチリブの主筋 D35 に PC 鋼棒 φ38 とエンドポストの鉛直方向の主鉄筋 D41 が交差していたため、3D-CAD を用いて配筋形状と組立順序の検討を行った。

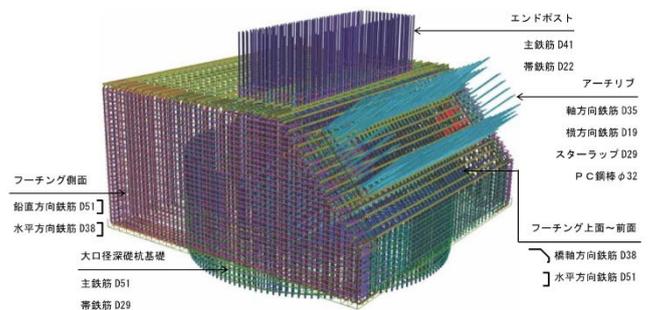


図2 アーチアバット接合部の 3 次元モデル

a) 配筋の検討

アーチアバット側面側において、大口径深礎杭の主鉄筋は定着長を確保するために橋軸方向もしくは直角方向に折り曲げて配置することとし、帯鉄筋の組立て後に配置方向を調整して接続するためにグラウト充填タイプのねじふし鉄筋による機械式継手を採用した。アーチリブの鉄筋や PC 鋼棒は傾斜した状態でエンドポストやフーチング前面の鉄筋と交差する配置であるため、鉄筋組立て用架台を使用することで組立て精度を確保した (写真 2)。また、アーチリブのウェブ軸方向鉄筋は、円状に配置した大口径深礎杭基礎の主鉄筋との干渉を避けるため、



写真2 鉄筋組立て用架台

深礎杭の主鉄筋とフーチング側面鉄筋の間のスペースへS字形に折り曲げて定着長を確保した（写真3）。



写真3 ウェブ軸方向鉄筋の埋込み定着部

b) 鉄筋組立順序の検討

上述の検討のとおり鉄筋を配置するためのステップ図を3D-CADで作成し（図3）、手戻り作業が発生しないか・人の出入りスペースを確保できるか等、施工時に考えられる問題点と照らし合わせて組立順序を決定した。

- ① 深礎杭主筋に機械式継手を用いてフーチングの下筋を組み立てる。
- ② 機械式継手部の鉄筋の組立後、エンドポスト主筋と帯鉄筋、アーチリブ主筋と帯鉄筋の順に組み立てる。
- ③ フーチング側面の組立後、最後にフーチング上縁の鉄筋を組み立てる。

また、組立順序に沿って加工筋の搬入順序を決定し搬入ルートを確認することで、狭小なヤード内でも効率良く鉄筋組立作業を行うことができた。

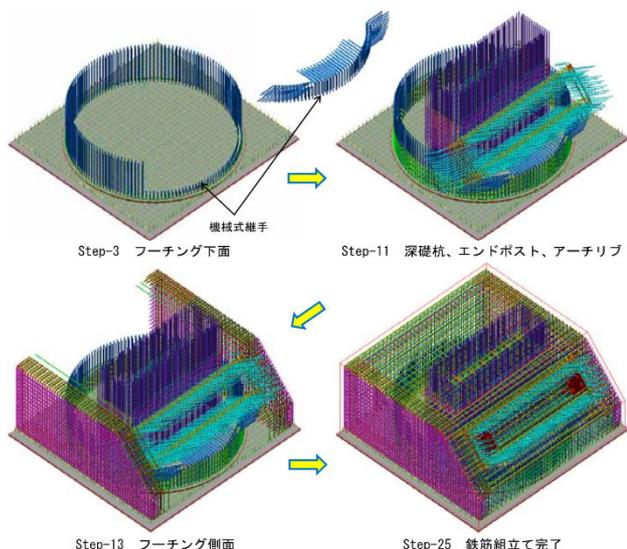


図3 鉄筋組立てステップ図

4. 鉄筋組立て用架台と先行組立て治具を使用したエンドポストの施工

最大高さ約20mのエンドポストは、アーチリブの鋼メラン架設時に使用するため、工程上のクリティカルパ

スであることに加え、鋼メラン架設以降の作業日数を確保するためには少しでも工程を短縮する必要があった。そこで、先行組立て用架台を製作して中間帯鉄筋を組み立て（写真4）、一括架設することとした。

コンクリートは、構台上に配置したポンプ車からホースを吊した状態で打設することになるため、コンクリートの自由落下の衝撃による材料分離を防止する必要があった。そこで、材料分離を抑制するライトウェイトホースを使用して打設することにより、コンクリートの品質を確保した。



写真4 中間帯鉄筋先行組立て状況

5. 350 t クローラクレーンを使用した鋼メランの斜吊り張出架設

本橋の架橋位置は、自然環境の維持のためケーブルクレーンの設置が不可能であった。そこで、仮設構台上に設置した350tクローラクレーンにより鋼メラン材を地組・架設することとした。架設には、エンドポスト上に立てた支柱（ピロン柱）から斜吊りしてバランスを取りながら閉合する斜吊り張出架設工法を採用し（写真5）、350tクローラクレーンの反力による仮設構台の部材応力をH鋼杭に設置したひずみ計で監視した（写真6）。



写真5 鋼メラン斜吊り張出架設状況

本橋の施工では、アーチアバット部における鋼メラン材の基部となるピン支承の据付け精度が重要であること

から、入念な測量により設置位置に問題ないことが確認されてから、無収縮モルタルを支承アンカー孔に充填して定着した(写真7)。斜吊りケーブルの吊り角度が小さいと鉛直方向に働く力が小さくなり、メラン材を吊り上げるために大きなケーブル張力が必要になることに加え、わずかな張力管理誤差や変動が大きな水平力として働くため、ピロン柱を設けてできるだけ高い位置からメラン材を吊り上げることにした。なお、ピロン柱はタワー脊を用いたピン構造とし、エンドポスト施工時に埋め込んでおいたPC鋼棒(φ32mm)により橋脚と一体化し、転倒防止の控索を取った。



写真6 ひずみ計設置状況 写真7 ピン支承接付け状況

鋼メランの架設精度はアーチリブコンクリートの出来形に直結するため、高精度の管理が必要である。そこで、鋼メラン材の現場搬入前の仮組立検査で部材接合部や完成形状・寸法の確認を行った。仮組検査後1ブロック毎に現場に搬入し、仮設構台上で主構・横構・対傾構の地組を行い先行吊り足場を設置して架設した(写真8)。架設中はピロン柱の水平変位とメラン材鉛直変位を監視し、ピロン柱に発生する応力が設計値以下となるよう管理した。また、バックステイケーブルの張力を常時確認できるよう、ロードセルを設置した(写真9)。



写真8 鋼メラン材架設状況



写真9 ロードセルによる張力確認

これらの事前の検討ならびに入念な監視と管理により、不具合なく架設を完了することができた(写真10)。さらに、大口径深礎杭施工時に構築した仮設構台上にクローラクレーンを設置してメラン材を地組することで、新たに自然環境を破壊しない施工を可能にした。



写真10 鋼メラン材片側架設完了状況

6. 巻立て移動作業車を使用した新メラン工法によるアーチリブの施工

(1) スプリングの施工

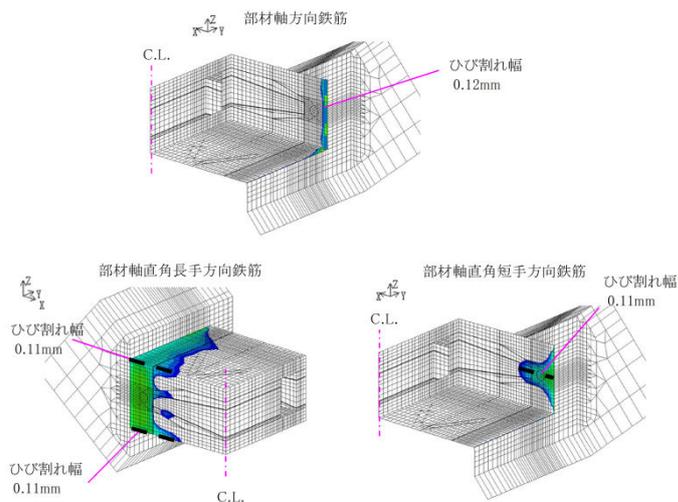


図4 3次元FEM温度応力解析結果

鋼メラン架設完了後は、アーチリブの基部となるスプリング部を固定支保工で施工した。スプリング部は充実断面でありマスコンクリートとなること、さらにアーチアバットによる外部拘束の影響を受けることから、3次元FEM温度応力解析により水冷式パイプクーリングの配置とクーリング実施期間の検討を行い、解析のとおりを実施することで有害な温度ひび割れを防止した(図4)。

(2) 移動作業車組立・アーチリブ巻立て計画

スプリング完成後、巻立てコンクリート施工用移動作業車を組み立て、アーチリブの巻立てコンクリート施工を順次行った。

各施工ステップにおける移動作業車の実荷重から鋼メラン材の発生応力を照査して工場製作時に補強したことに加え、架設時に必要な固定ボルト等を製作段階で取り付けたことで、アーチリブ巻立て施工時には問題無く作業を進めることができた。また、移動作業車組立解体用設備を使用することで、狭小な施工ヤードでの安全な移動作業車組立解体作業を可能にした(写真11)。

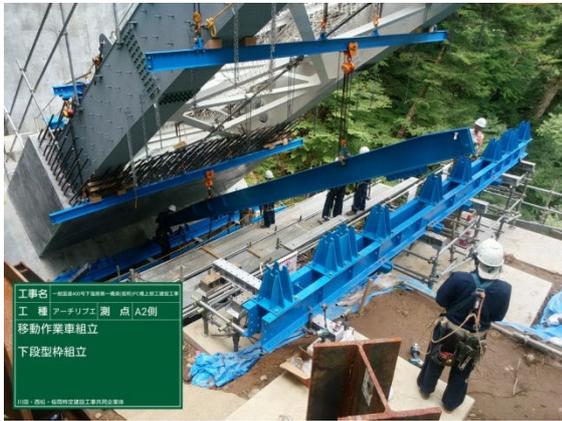


写真11 作業台上での巻立て作業車の組立状況

巻立て作業車を使用したアーチリブの施工においては、型枠用吊り鋼棒と鋼メラン材の干渉、移動用反力台の位置、アーチリブの鉄筋と移動作業車部材との干渉を施工計画時に確認し、機械式継手などの対策を行うことで、工程の遅延なく施工することができた。

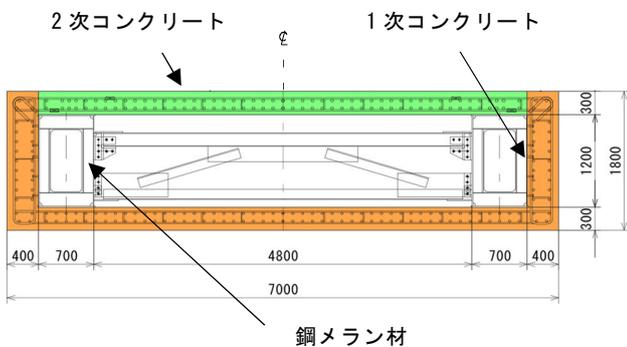


図5 アーチリブ詳細断面図

一般的に箱桁断面鋼メラン材は内部をコンクリートで充填するが、本橋のアーチリブでは、アーチリブの軽量化と施工の合理化を考えた「新メラン工法」(三井住友建設(株)特許:第4104910)を採用し、アーチリブコンクリートを巻き立てた。新メラン工法は、鋼メラン材内部のコンクリート充填の省略に加えて、鋼メラン材をアーチリブ内の内型枠として兼用することで内型枠の組立解体も省略できる工法である。しかし、本橋のアーチリブは部材高さが低く、アーチリブ内部空間での人力作業を考えると巻立て時に箱断面のアーチリブを一括でコンクリート打設することが困難であったことから2分割打設とした(図5)。巻立て移動作業車によるアーチリブの施工サ

イクルは12日である(表2)。

表2 巻立て移動作業車のサイクル工程

実働日数(日)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1口側	底板セツト												
	下床版・ウェブ鉄筋	■	■	■									
	側枠、伏せ枠			■	■								
	コンクリート					■							
2口側	内支保工						■						
	上床版鉄筋							■	■				
	伏せ枠								■	■			
	コンクリート									■	■		
内支保工・型枠解体											■	■	
仕上げ、移動準備												■	■
移動													■

(3) アーチリブのコンクリート打設

アーチリブコンクリート打設時は、箱桁形状の鋼メラン材直下や傾斜した床版上面への充填が課題であった。そこで、以下の対策を実施することでコンクリートを確実に充填した。

a) メラン材直下のコンクリート充填対策

移動作業車によるコンクリートの巻立てでは、最大施工ブロック長5.5m、鋼メラン材箱桁幅700mmに対して確実にコンクリート充填するために、ワーカビリティの見直しを行った。ワーカビリティは、アーチリブの傾斜・配筋密度・コンクリートの圧送距離と、1次コンクリートをポンプ車打設・2次コンクリートをコンクリートホッパー打設することを考慮し、高性能AE減水剤を用いて流動性を高め、スランプを15cmとした。また、コンクリート打設を以下の手順で行うことにより、充填性の向上を図った(図6)。

- 手順1 小口型枠に設けたパイプブレータ孔よりマルチパイプブレータを挿入し、鋼メラン材下のコンクリートを充填する。
- 手順2 小口型枠付近までコンクリートが充填されたことを確認後、孔を塞ぐ。
- 手順3 底板型枠下に予め設置しておいた高周波振動モータで締固めを行う。

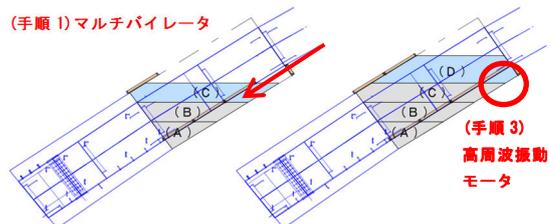
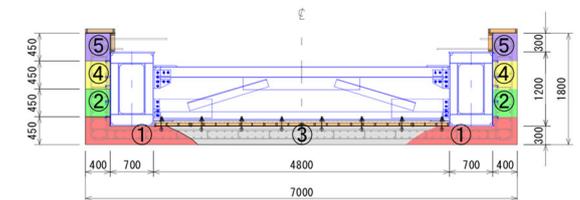


図6 1次コンクリート打設要領

b) 傾斜面の充填対策

スランプを 15 cm としたことにより、10° 以上の傾斜したアーチリブ上面に対しては、コンクリートの流出防止として伏せ型枠を設置した（写真 12）。この伏せ型枠には透水性シート（エアレックスシート）を貼り付け、コンクリートの締固めによって上昇した空気が伏せ型枠面に残留することにより発生する気泡を除去し、気泡痕のない緻密なコンクリートを実現した。



写真 12 2次コンクリート打設状況

c) メラン材直下の充填対策

巻立て作業車は、落下物防止と風による外気温低下の防止のため、メッシュシートで外周を覆った。そのため型枠内部は暗くなり、目視によるコンクリート充填確認が困難な状態であった。そこで、少ない光を有効に利用し目視確認が容易となる透明な型枠を底板に使用した。メラン材直下など通常目視できない部位についても、ライトを併用することにより目視確認が可能となり、確実にコンクリートを充填することができた。

2 分割施工を行ったことでサイクル日数が通常より若干延びたが、供用後の維持修繕が困難となるアーチリブに対して、高耐久なコンクリートとすることができた。

7. 狭小な施工ヤードでの補剛桁の分割施工

アーチリブ施工完了後は鉛直材を施工し、補剛桁の梁式支保工組立と仮設構台解体を並行して行い、全体工程の短縮を図った（写真 13）。

仮設構台解体完了後の補剛桁の施工では、施工ヤードが狭小であることを考慮し、コンクリート打設時の 1 回の打設量をコントロールするために 8 分割（クラウン部含む）して橋台側から施工した。鉄筋や型枠等の材料運搬とコンクリート打設では PC 鋼材の緊張が完了した径間上を有効に使用し、狭小な施工空間でも十分な作業スペースを確保した（写真 14）。

補剛桁の品質確保対策として、PC グラウトを確実に充填するために、PC 定着具は分割施工において 1 径間ごとにグラウト注入が可能なタイプを使用し、グラウト材は PC 鋼材の隅々までグラウトが充填される超低粘性タ

イプを採用した。また、注入時は真空ポンプを併用してダクト内の残留空気を減少させ、PC シース内に設置した MS センサーでダクト内の残留空気が発生しやすい箇所の充填管理を行った。



写真 13 仮設構台解体・補剛桁支保工組立状況



写真 14 補剛桁上からのクラウン部の施工

8. おわりに

2016 年 10 月の工事受注後、約 9 ヶ月の工事中止期間を経て 2017 年 7 月より工事を開始し、2021 年 5 月末に竣工を迎えるまでの 3 年 10 ヶ月という長きにわたる工事において、休業災害・品質出来形不具合もなく完工することができた。本工事で行った 3D-CAD を活用した施工性向上対策や創意工夫事例が、今後の同様な橋梁施工計画の一助となれば幸いである。

最後に本橋の設計・計画・施工にあたり、多大なるご指導・ご尽力いただきました関係各位に本誌面を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藪田, 狩野, 安田, 嶋山: 下塩原第一橋梁（仮称）の施工における 3 次元 CAD の活用, プレストレストコンクリート工学会 第 29 回シンポジウム論文集, pp.469-472, 2020.10.