

北陸新幹線 細坪架道橋の施工

— 国道を跨ぐ支間長 155 m のエクストラードード橋 —

相馬 良太*1・蓮野 武志*2・村上 欣吾*3・山田 賢史*4

本稿は、北陸新幹線加賀温泉駅～芦原温泉駅間に位置し、石川県加賀市内の国道8号を斜めに跨ぐ中央支間長155mの3径間連続PCエクストラードード橋の工事報告である。支間長155mは新幹線のコンクリート橋としては最長支間であるため、たわみ抑制を考慮して桁剛性を確保し、交差条件の国道に対する桁下空間確保のためエクストラードード橋が採用されている。上部工の施工は移動作業車による張出し施工であるが、国道上での移動作業車解体を避けるため特殊な改造を施した作業車を採用した。本稿ではこれらのほか、工程短縮に向けて実施した取組み、市道に囲まれた場所での側径間施工、斜材の施工で工夫した点について報告する。

キーワード：エクストラードード橋、特殊移動作業車、工程短縮

1. はじめに

細坪架道橋は、北陸新幹線の加賀温泉駅～芦原温泉駅間に位置し、石川県加賀市内の国道8号と上空で交差する橋長339mの3径間連続PCエクストラードード橋である。

本橋と交差する国道8号は軟弱地盤上の盛土構造となっているため、国道の盛土内に基礎を配置した場合、地震時の変形により盛土部に影響を及ぼすことが懸念された。また、本橋は国道以外にも市道と交差していることから、市道との支障を避ける必要もあった。

これらに加えて新幹線の走行安全性を考慮した許容たわみ量を満足するよう径間長および橋梁形式を検討した結果、橋長339m、中央支間長155m、側径間長92mの3径間連続PCエクストラードード橋が採用されている。

基礎形式としては、上部工反力および被圧水の有無により決定され、P1橋脚は大口径深礎、P2～P4橋脚はニューマチックケーソンが採用されている。

新幹線開業に向けて、全体工期を短縮し、橋面の早期引

渡しを実現することが最大の課題であることに加え、当初予定されていた国道を規制した移動作業車の解体ができなくなり、移動作業車の構造および解体方法を大幅に見直した。また、規制ができない市道上での側径間施工など施工上の課題も多い工事であった。

本稿では、これらの課題や工期短縮に向けて本工事で実施した取組みのなかから代表的な事例について報告する。

2. 細坪架道橋の概要

2.1 工事概要

本橋の工事概要を以下に示す。

工事名：北陸新幹線、細坪橋りょうほか

発注者：鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸新幹線建設局

工事場所：石川県加賀市大聖寺菅生・幸町・細坪町

工期：2017年2月22日～2021年7月21日

構造形式：(上部工)3径間連続PCエクストラードード橋

(下部工)RC橋脚

(基礎工)大口径深礎 1基

ニューマチックケーソン 3基

橋長：339.0m

支間長：92.0m + 155.0m + 92.0m

ブロック割：19ブロック (斜材配置：6～16ブロック)

桁高：7.0m～4.3m

主塔高：17.5m

斜材：11段 (27S15.2B)

総幅員：13.760m (標準部)、14.560m (主塔部)

平面線形：緩和曲線～R=6000m

縦断勾配：下り3%

2.2 構造概要

本橋の全体一般図を図-2に示す。本橋は、最大支間



図-1 橋梁位置図

*1 Ryota SOMA：鹿島・オリエンタル白石・本間・北都JV (鹿島建設株)

*2 Takeshi HASUNO：鹿島・オリエンタル白石・本間・北都JV (鹿島建設株)

*3 Kingo MURAKAMI：独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸新幹線建設局

*4 Satoshi YAMADA：独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸新幹線建設局

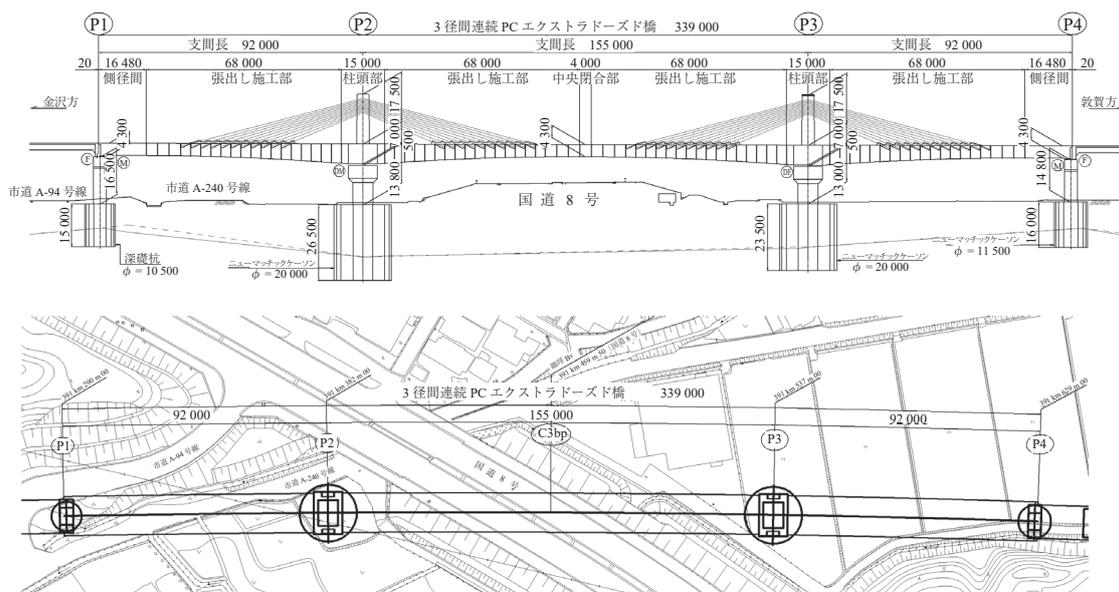


図 - 2 全体一般図

長 155 m を有するため、温度変化やクリープによる長期的なたわみ量の抑制が求められる。また本橋では、列車の良好な乗り心地を確保するため、新幹線の軌道整備目標値である 40 m 弦のたわみ量 ± 7 mm を目標に設計が行われている。その結果、主塔高は過去の新幹線におけるエクストラロード橋の設計事例を参考に中央径間の 1/8 ~ 1/9 である 17.5 m とし、主桁構造は 2 室箱桁としている。桁高および斜材段数については、たわみ量を抑えるためには剛性を高めることが必要である一方、桁高を大きくすると桁自重の影響でたわみ量が大きくなるため、斜材によるたわみ抑制が必要となる。これらのバランスを比較した結果、桁高は柱頭部で 7.0 m、桁端および支間中央部で 4.3 m、斜材段数は 11 段となっている。

長期的な変位を抑制するため、中間橋脚である P2、P3 橋脚は 2 線支承構造とし、中間橋脚上での桁の回転を抑制する構造形式となっている。また、常時可動である P1、P2、P4 橋脚の支承はすべり支承とし、固定側である P3 橋脚はパッド型ゴム支承が採用されている。

斜材は再緊張を行わない計画としており、定着位置は桁外定着としている。主塔部は貫通固定方式（サドル定着）を採用している。定着用の斜材突起に関しては 3 次元 FEM 解析により局部応力を検討した結果、線路方向引張力が最大となる最小斜材角度の場合においても許容引張応力度を満足する構造となっている。

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)、斜材として 27S15.2 が 11 段配置されている (図 - 3)。斜材の温度変化による桁の上下動を抑制するため、保護管は白色塗装されており、管径は一般的なサイズである φ140 mm に対し、φ200 mm と大きくすることにより管内に充填するグラウトの被り厚を大きくし、温度差の影響を低減している。

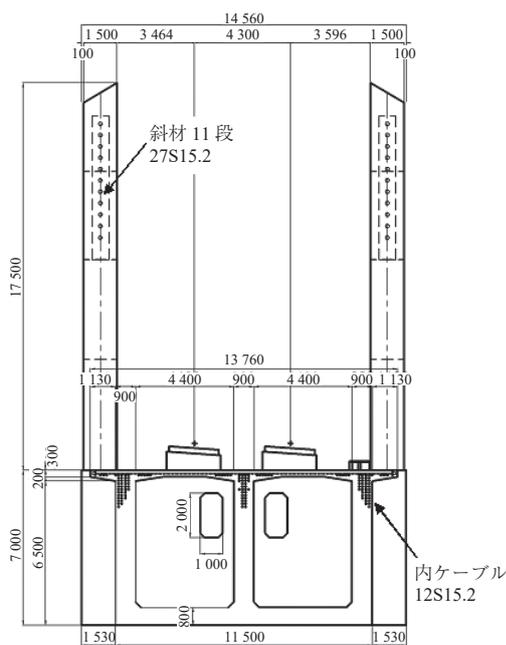


図 - 3 主桁断面図 (柱頭部)

3. 主桁の施工

3.1 柱頭部の施工

本橋の柱頭部は 2 線支承構造となっていることから支承が 6 基、ダンバーストッパーが 4 基配置されるため、これらの補強筋が過密に配置される構造となっている。加えて主塔の主筋である D51 も配置されるため、鉄筋同士の干渉、鉄筋と内ケーブル用シースの干渉が懸念された。そこで、施工に先立ち 3 次元 CAD モデルを作製し、干渉チェックを行い (図 - 4)、事前に対策を行うことでスムーズに施工を行うことができた。

柱頭部の施工は 1 回あたりの打込み量を考慮し、3 リフトに分割して施工を行ったが、最初に施工した P3 柱頭部施工では、1 リフト目の鉄筋組立の際、鉄筋組立用架台の作製、鉄筋組立用足場の組立て ~ 盛替えに時間を要し、

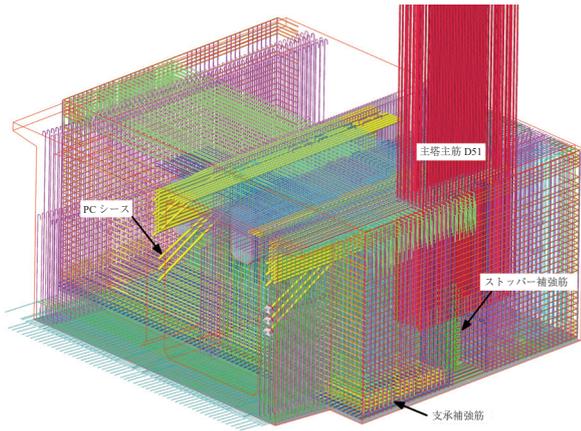


図 - 4 3次元CADモデルによる鉄筋照査

作業効率が低下した。そこで、同じ構造であるP2柱頭部施工の際は1リフト目を低くするようリフト割および鉄筋形状を変更し、鉄筋組立用足場を省略することで鉄筋組立に要する工程短縮を図った。その結果、P3柱頭部に対しP2柱頭部では1カ月の工程短縮を達成した。

柱頭部施工では、通常ブラケット支保工による施工となるが、本橋では移動作業車の下部作業台を柱頭部型枠支保工の作業台として先行して組立てた(写真-1)。これにより柱頭部施工後の移動作業車組立て完了までの工程を短縮できることに加え、施工時の作業スペース確保、市道際の柱頭部施工に対する落下物防止対策としての役割などさまざまなメリットが生じた。



写真 - 1 移動作業車部材を使用した柱頭部支保工

3.2 張出し施工部の施工

(1) 施工ステップ

本橋の施工ステップを図-5に示す。張出し部は移動作業車を4基使用し、P3側を先行して架設する。P2側は中央閉合付近で移動作業車同士が干渉しない3ブロック差で施工を進めた。張出し施工完了後は側径間を閉合し、最後に中央閉合を行う手順で施工した。

(2) 張出し施工

本橋の張出し施工は工程上1日でも早いサイクルが求められていることから、コンクリート打込み後緊張可能となる29N/mm²の強度発現までの時間を短縮することで工程

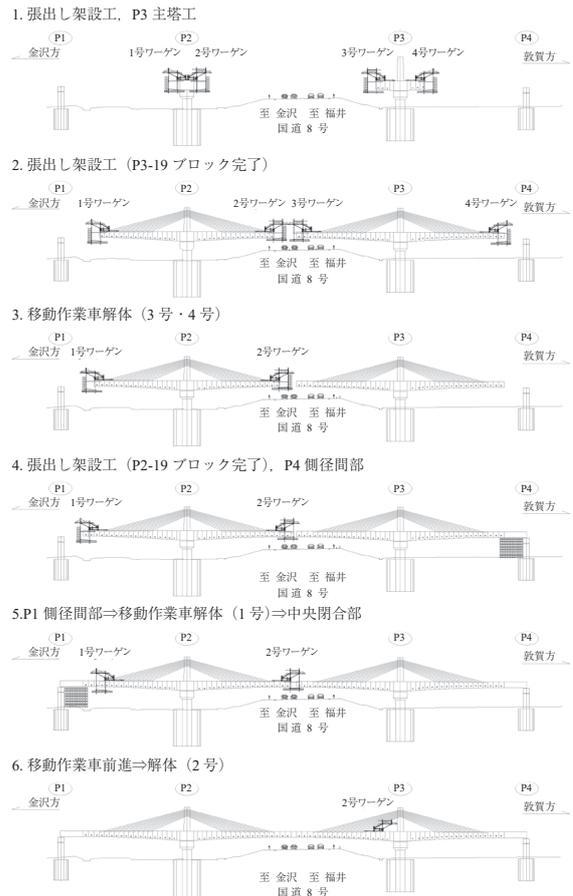


図 - 5 施工ステップ図

短縮が期待できた。そこで、通常の張出し施工ではポンプ車1台で片側を打込み後、反対側を打込むが、本橋ではポンプ車2台を使用し、張出しブロックを左右同時に早朝から打込むこととした。本橋は片側のブロックでも100m³近いコンクリート体積があるため、同時打込みによる短縮効果は大きく、緊張が可能となるコンクリート強度発現までの日数を半日~1日短縮することができた。

基準高の出来形管理に関しては、±20mmの精度が求められるが、本橋は張出し長が長く斜材緊張による変動も大きいため、架設時の上げ越し管理が非常に重要であった。そこで、上げ越し計算に使用するコンクリートのヤング係数は、使用するレディーミクストコンクリート製造プラント3社の試験練り結果を使用して計算するとともに、実施工においては日射の影響を受けない早朝の測量を基本としつつ、型枠セット時など日射の影響が避けられない測量では躯体に埋め込んだ熱電対にて床版温度差を把握し、温度変化による挙動を把握した上で型枠セット高を決定した。

施工においては国道8号上となるため、国道との離隔を確実に確保する必要があった。そこで、移動作業車の下部作業台に国道との離隔を常時観測できる離隔計測システムを設置し(写真-2)、国道との離隔をつねに計測しながら施工を行った。離隔の制限値として設定した5.0m以下となるおそれがある場合は移動前に作業台のリフトアップを行い、確実に5.0m以上を確保した。また作業台から汚

濁水が落下しないよう作業台全面に遮水ゴムシートを貼り、2箇所設けた釜場からポンプ排水することで、国道上への汚濁水防止対策を図った。

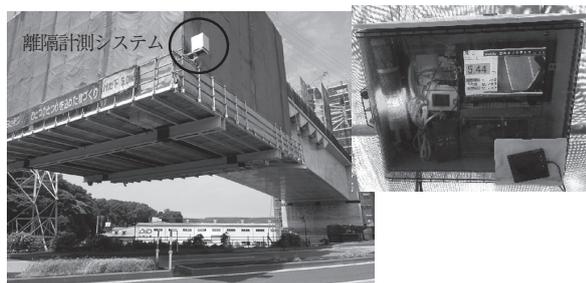


写真 - 2 離隔計測システム

本橋は、6～16ブロックに斜材突起が配置されるため、標準ブロックに対してサイクル工程は長くなる。これを1日でも短縮するために、斜材突起部の型枠は鋼製型枠を用いた。本橋の斜材突起はすべてのブロックで同じ形状をしており、各ブロックに対する突起位置も一定であることから、鋼製型枠を用いることで型枠加工、セット時の手間を省略した。一方、斜材突起部の鉄筋組立ての際には鋼製型枠で囲われていると一部鉄筋組立て作業が困難であると考えられたため、側面部を簡単に取り外せる構造とすることで、鉄筋組立て時の作業性を向上させた（写真 - 3）。

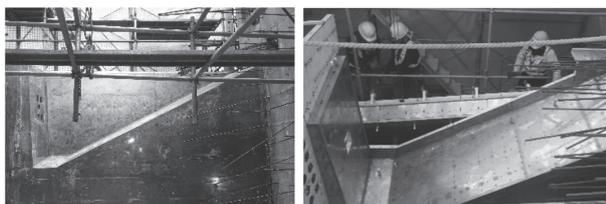


写真 - 3 斜材突起部の鋼製型枠

4. 斜材の施工

4.1 概要

本橋の斜材は主桁外ウェブ外側に定着される2面吊り形式であり、PC鋼材は主塔部サドルを貫通し、起点終点側2箇所定着される。斜材は3重防錆構造とし、エポキシ樹脂被覆PC鋼より線をFRP保護管およびグラウトにて巻き立てた構造である。

4.2 施工フロー

本橋は、中間支点であるP2・P3に各2基、合計4基の主塔を有する。斜材は主塔に11段配置され、主桁の張出し架設に並行して施工する。

当初、斜材架設は主桁Nブロック施工後、Nブロックの斜材を施工し、N+1ブロック施工に移る計画となっていたが、これでは斜材施工があるブロックのサイクル工程が非常に長くなってしまふ。そこで、本橋では斜材の緊張タイミングをあと施工することとした。すなわち、主桁N+1ブロック打込み後、移動作業車をN+2ブロック施工位置に移動した時点で斜材の施工を開始し、N+2ブロッ

ク主桁コンクリート打込み完了までにNブロックの斜材緊張を完了させる。これにより、斜材緊張機器と型枠の干渉を回避でき、かつ斜材の工程によらず張出し施工サイクルを進めることが可能となった。なお、移動作業車をN+2ブロック施工位置に移動した際の施工時応力が問題ないことは事前に確認した。図-6にNブロックの斜材施工フローを示す。

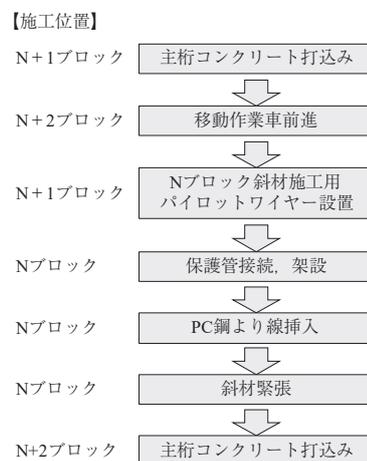


図 - 6 斜材施工フロー（Nブロック）

4.3 保護管接続・架設

本橋の斜材保護管は鋼材の温度変化を小さくするため白色PE管で計画されていたが、PE管塗装メーカーの事業撤退から入手困難となり、過去に実績のあったFRP製の保護管に変更された。施工は1本あたり5.5mの保護管を橋面上で1本づつ接続し、ウインチにて引き上げて架設する方法を採用した。架設用としてまずは保護管吊り下げ用のパイロットワイヤーを架設・緊張し、橋面上に保護管接続用の足場を組み立てる。この接続用足場にて保護管同士を接着後、パイロットワイヤーに保護管を滑車+スリングにて吊り下げ、これを巻上装置（ウインチ）で保護管1本分引き上げ、次の保護管を接着・架設する。これを保護管接続の回数繰り返す。パイロットワイヤーは次ブロックの斜材突起に1S15.2のPC鋼材を設置し、たわみ量に応じて約5～10tfの緊張力を与えた。前述したように斜材の施工を主桁施工に対し、あと施工としたことで本設構造物を活用したパイロットワイヤーの施工が可能となった。また保護管の接続に関しては専用架台を作製し、角が折れないよう工夫した。写真-4～5に保護管施工状況を示す。

4.4 斜材挿入

斜材用PC鋼材（27S15.2B）の挿入は、プッシングマシーンを使用して1本づつ挿入を行った。本橋の斜材はサドルタイプとなっていることから、サドル管内通過時に鋼管とPC鋼より線の摩擦による負荷が大きく、プッシングマシーン1台では押し切れない可能性があった。そこで、プッシングマシーンを2台連結し、1台のリモコンで操作できるように改良したものを使用した。また、ケーブル挿入時、先に挿入したPC鋼材への潜り込みが懸念されたため、PC鋼材先端には通常取り付け先端キャップに比べ、キャッ

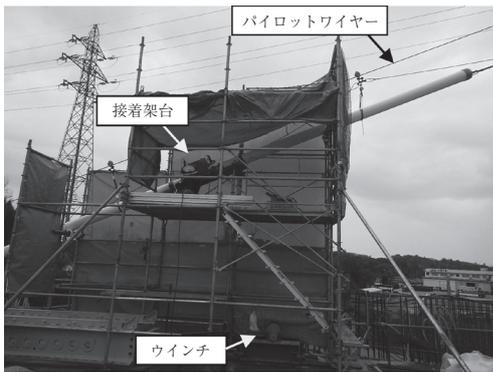


写真 - 4 保護管接続足場

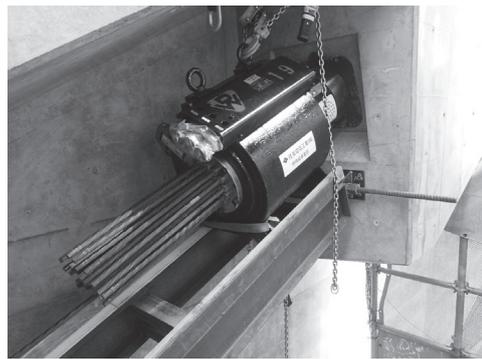


写真 - 6 緊張ジャッキセット状況



写真 - 5 保護管接着用架台



写真 - 7 ポストロック状況

ブ先端部を大きくしたものを作製し、潜り込みを防止した。

4.5 斜材緊張

斜材の緊張は躯体から吊り下げた架台に緊張ジャッキをセットして行った。緊張は主桁のねじりが発生しないよう4台のジャッキを用いて同時緊張するとともに、ポンプ操作による緊張タイミングのずれを少なくするため、1台のポンプで2台の緊張ジャッキを同時緊張できるよう改良したものを使用した。

また、本橋の斜材緊張力は0.4Puと小さいため、斜材緊張時の定着作業のみではウェッジのめり込みが不足する懸念があった。そこで、斜材緊張後速やかにポストロック(定着ウェッジの再圧入)作業を実施した。ポストロック作業は、PC鋼材切断後に反力用架台をセットし、シングルジャッキを用いて鋼線1本ずつウェッジを押し込む作業である。写真 - 6～7に施工状況写真を示す。

5. 閉合部の施工および移動作業車解体

5.1 側径間および中央閉合部の施工

本橋は側径間完了後に隣接桁の施工とする計画であったが、工事全体の工期短縮のため隣接桁の施工を先に行うこととした。本橋の遊間は100mm程度であるため、隣接桁施工後では側径間の閉合ケーブル緊張が困難であった。そこで、側径間端横桁の一部を切り欠いた構造へと変更し、緊張作業スペースを確保した。

工程上クリティカルとなるP1側径間は工期短縮のため、移動作業車を解体せず一旦後退させ、先に側径間を構築後、再度移動作業車を前進させて解体した。また、P1側径間

は市道に囲まれた箇所であったため、側径間支保工用のステージを低く計画しておき、移動作業車解体時の下部構造解体スペースとして活用した(写真 - 8)。



写真 - 8 側径間支保工上での移動作業車解体

中央閉合部はP1側径間閉合後、移動作業車を前進させて施工を行った。張出し施工ブロックの変位を抑制するため、移動作業車のレールおよびPC鋼棒にて両張出しの先端部を剛結させたくて閉合コンクリートを打ち込んだ。

5.2 移動作業車の解体

本橋は前述したとおりP2、P3間が国道8号の直上に位置していることから、張出し施工完了後に国道上で車線減少の規制をして移動作業車を解体する計画となっていた。しかしながら、その後の協議により国道の規制が困難な状況となり、国道を避けた位置での移動作業車解体が必要と

なった。通常の箱桁橋での張出し施工では移動作業車を柱頭部付近まで後退させ解体作業を行うことが可能であるが、本橋はエクストラード橋であることから、柱頭部まで後退する前に斜材と移動作業車の上部梁材が干渉することになる。そこで、国道上を避ける位置まで後退できるように上部梁材を嵩上げする構造とした。また、解体用クレーンとして地上の90tクローラクレーンに加え、橋面上で25tラフテレーンクレーンを使用する計画から、移動作業車の仕様を当初計画より大型の移動作業車に変更し、かつメインフレームを3基から2基に変更することで、橋面上に25tクレーンが走行できる空間を確保した。しかし、メインフレーム数を減らすことでメインフレーム間の距離が長くなるため、上部梁材のたわみが懸念された。そこで、嵩上げする部材をトラス構造とすることでたわみ量も5mm以下に制限することが可能となった。

改良を施した移動作業車を用いた解体フローを図-7に示す。上部梁材の嵩上げにより国道を避けた位置まで後退させることは可能となったが、その位置では重量物である上部構造を解体するクレーン配置が困難であるため、最初の後退位置で下部構造を解体し、その後解体で使用するクレーンの作業半径に入る位置まで上部構造を後退させて解体した。そのため、斜材に干渉する上部梁材の両端をボルト接合とし、下部構造解体後に取り外せる構造とした。図-8～9に移動作業車解体時の3Dイメージ図を示す。

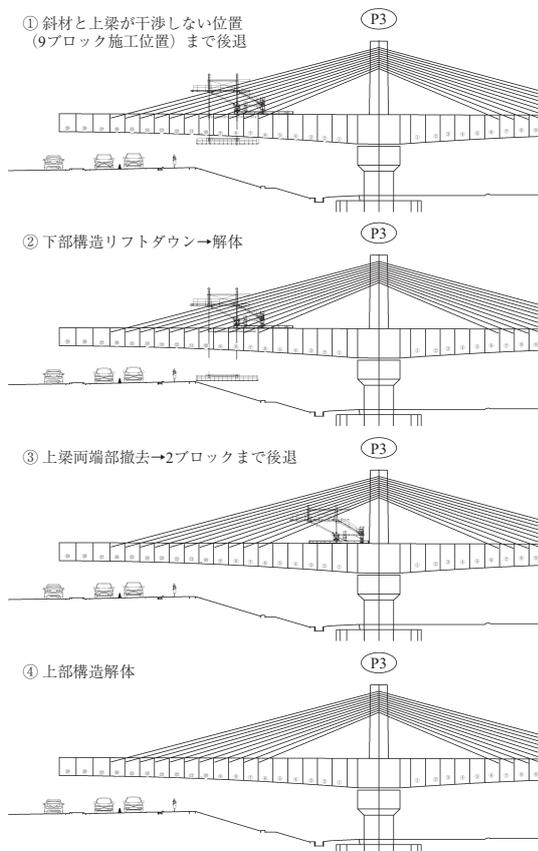


図 - 7 移動作業車解体フロー

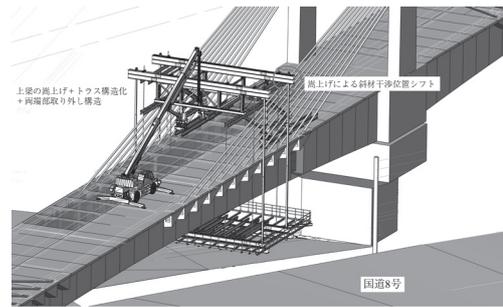


図 - 8 移動作業車の下部構造解体時

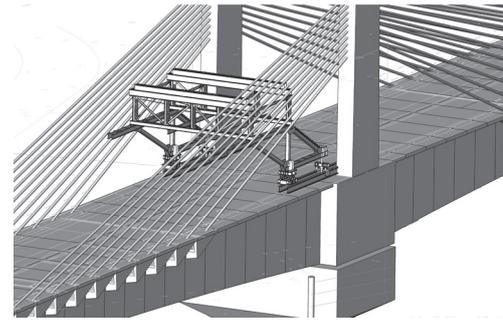


図 - 9 移動作業車の上部構造解体時

6. おわりに

本工事では、最大の課題であった橋面の早期引き渡しを目指し、さまざまな工期短縮を図り2021年1月7日に中央閉合部のコンクリート打込みを終えることができた。2月現在、3月末の軌道工事引渡しに向けて路盤、地覆、防音壁関連の施工が最盛期を迎えている。

新幹線開業に向けて厳しい工期短縮を求められる一方で、張出し施工の最盛期とコロナ禍が重なり、一人でも発症者が出れば間違いなく工期が遅れるという状況において、工程遅延なく閉合までたどり着くことができたのは関係各位のご支援・ご協力の賜物である。この場を借りて感謝を申し上げます。また、本稿が今後の同種工事において参考となれば幸いです。



写真 - 9 全景 (2021年2月撮影)

【2021年3月5日受付】