

12. 特殊機械設備を駆使した長大アーチ橋の合理化施工

新東名高速道路 河内川橋（仮称）

鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社

石松 大輔
横山 由宏
○金丸 拓樹

1. はじめに

河内川（こうちがわ）橋工事は、新東名高速道路の未開通区間である新秦野 IC～新御殿場 IC 間に位置する大規模橋梁工事である。本工事では作業安全性や生産性の向上を目的として、数々の機械設備を活用した合理化施工を進めている。

本稿では、過去に前例のない規模かつ難度の高いアーチリブ構築において、超大型可変式アーチリブ移動作業車と斜吊材緊張ジャッキ運搬台車による張出し施工の合理化を図ったので、その計画と実績を報告する。

2. 工事概要

本工事は、河内川及び県道 76 号線の上空を横断する急峻地形に計画した橋梁を上下部一体詳細設計付きで施工する工事である。橋梁構造は、鋼・コンクリート複合バランスドアーチ橋であり、最大支間長 220m、河内川水位からの最大高低差 120m を誇る新東名のなかでも最もシンボリックかつ大規模なものである。

主要工事数量を表-1、橋梁一般図を図-1 に示す。

3. 機械設備概要

本橋は P1～P4 間がアーチ部となっており、最大傾斜は P2 上り線で 38° である。P2、P3 上下線の橋脚を起点として計 8 基の超大型可変式アーチリブ移動作業車（以下、作業車）を新規製作し、アー



写真-1 河内川橋工事状況（下流側から望む）

表-1 主要工事数量

橋梁 上部工	鋼・コンクリート 複合バランスドアーチ橋 (上り線 771m, 下り線692m)
	PRCポータルラーメン橋 (橋長22.5m)
橋脚	13基 (H=13.0～88.1m)
橋台	6基 (H=7.0～13.0m)
基礎工	大口径深礎13本他
工事用 道路	インクライン1基 (90t), 工事用トンネル他
付帯工	調整池、管理用道路、町道拡幅
詳細設計	橋梁上下部の本体工の詳細設計一式

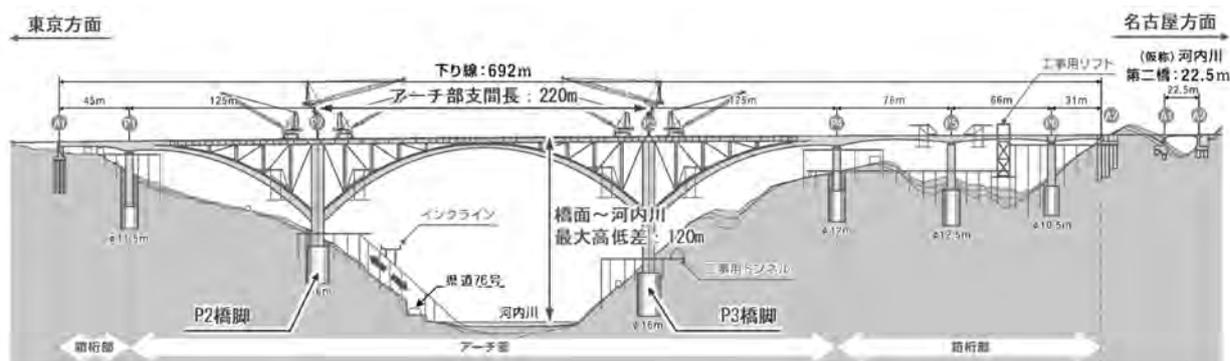


図-1 橋梁一般図（下り線）

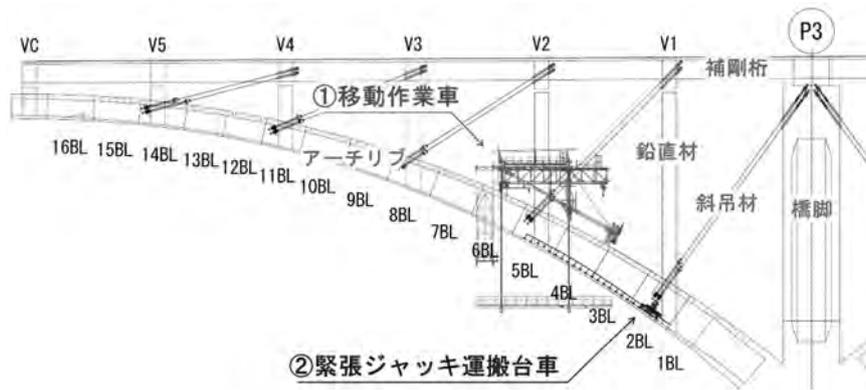


図-2 張出し部拡大，機械設備配置図（下り線 P3 中央径間）



図-3 斜吊材緊張位置

チリブを構築する。

P3 下り線中央径間側の拡大図を図-2 に示す。作業車でアーチリブを先行して施工したのち、鉛直材と補剛桁を架設、斜吊材を設置し、トラスを形成しながら張出し施工を行う。斜吊材はアーチリブの箱桁内からセンターホールジャッキ（3,000kN）を使用して緊張する（図-3）。クレーンが使用できない狭かつ急傾斜の箱桁内で質量約 800kg の緊張ジャッキを運搬し、上向きにセットするため、緊張ジャッキ運搬台車を新たに開発、製作した。

4. アーチリブ移動作業車

アーチリブ構築の工程短縮を図るためには、張出し施工 1 ブロックあたりの施工長の延長（大ブロック化）により、施工ブロック数を削減することが最も効果的である。基本設計では、最大ブロック長は 4.5m、ブロック数は 23 ブロックであったが、詳細設計において最大ブロック長 6.5m、ブロック数 16 ブロックに変更することを提案し、採用された¹⁾。当社の一般型移動作業車との比較図（図-4）に示す通り、アーチリブの急傾斜に対応した特殊な形状の上、躯体の大ブロック化に伴い超大型の構造となった。

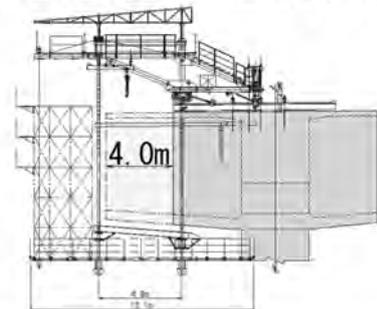
4.1 構造概要

図-5 に作業車の全体図、表-2 に主仕様をそれぞれ示す。主構トラスから作業足場を設置する下段ステージ、型枠を保持する底

表-2 作業車主仕様

種別	超大型特殊可変式
フレーム容量	12,000kN・m
全装備重量	340t
主部材材質	SM490
最大ブロック長	6.5m
最大ブロック重量	250t
最大登坂角度	40°
メインジャッキ	4,000kN × 250st × 2台
アンカージャッキ	2,500kN × 250st × 2台
引張ジャッキ	2,300kN × 2,300st × 2台
後方車輪ジャッキ	1,000kN × 250st × 2台
推進ジャッキ	800kN × 500st × 4台

<一般型移動作業車>
フレーム容量：3,000kN・m（2フレーム）



<超大型特殊可変式移動作業車>
フレーム容量：12,000kN・m（2フレーム）

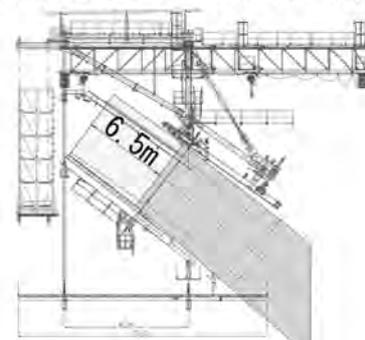


図-4 当社一般型移動作業車と本橋の作業車の比較

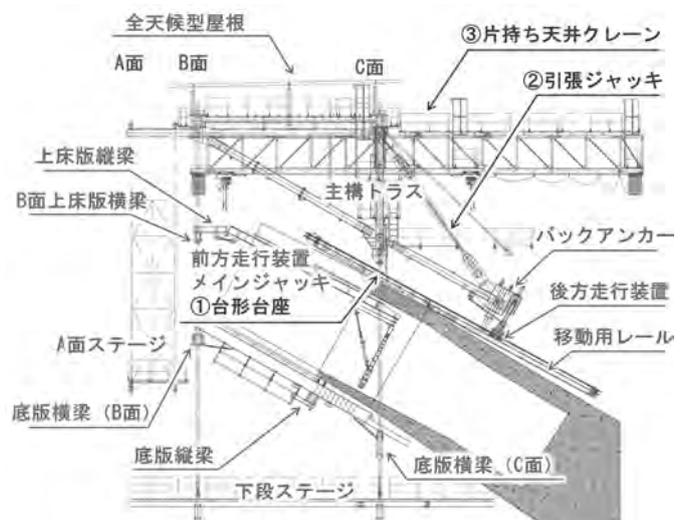


図-5 作業車の全体図



図-6 台形台座



写真-2 载荷試験状況

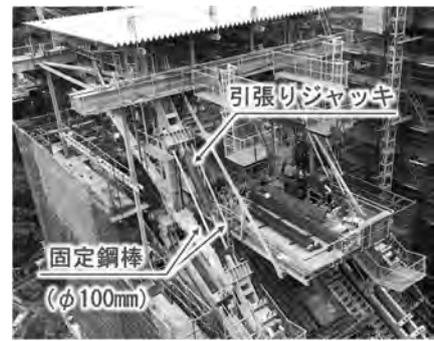


写真-3 引張りジャッキと固定鋼棒

版・上床版梁を吊り下げる基本構造は従来と同様である。作業車の前後支点は、メインジャッキ及びバックアンカーで既設躯体と緊結される。メインジャッキ容量は4,000kNであるが、打設荷重を受けるロックナット耐力は不均等荷重等を考慮し5,000kNとした。アーチリブ特有の施工条件に対応するため、今回の作業車は当社初の試みとなる、(1) 台形台座、(2) 主構トラス引張りジャッキ、(3) 片持ち天井クレーンといった特徴的な設備を有している。以下に、各設備の詳細を述べる。

(1) 台形台座

作業車の全荷重は、前方支点となるメインジャッキを介して鉛直下向きに作用する。このため、躯体角度に応じて数パターンの台形台座とテーパプレートを組み合わせることで、ジャッキの下面に水平な面を形成した。台形台座は箱抜きした躯体にシアーピンを挿入することで固定する(図-6)。メインジャッキにかかる荷重の角度分力をシアーピンのせん断で受けるため、最大傾斜角度を再現した実物大モックアップによる载荷試験(写真-2)にて、シアーピン及びコンクリートの健全性を確認した。

(2) 主構トラス引張りジャッキ

本橋のアーチリブは、1ブロックごとに約2度の角折れをすることで、近似的にアーチを形成する。そのため、作業車が施工ブロックの躯体角度に追従できるよう、主構トラスの後方斜材に引張りジ

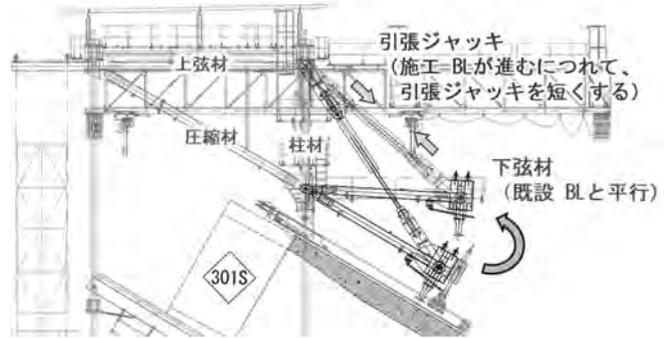


図-7 作業車の姿勢調整機構

ヤッキ(2,300kN)を組み込み、次ブロックへの移動時に容易に姿勢調整できる機構とした(図-7)。引張りジャッキは移動後の角度調整のみに使用し、それ以降は引張りジャッキ両脇に配置した固定鋼棒(写真-3)で荷重を負担する。

(3) 片持ち天井クレーン

通常の桁橋では作業車後方の既設橋面を資材ヤードとして利用でき、栈橋上のクレーンで直接資材を施工ブロックへ投入できるケースが多い。一方、アーチリブでは躯体が傾斜しているため、作業車と一体にした後方ステージを設け、図-8に示すルートで鉄筋等の資材を供給する計画とした。施工の進捗により、後方ステージにトラベラークレーン(能力650t・m)が届かないタイミングが発生するため、作業車のさらに後方に設けた仮設ステージからも資材を取り込めるよう、張出し長13.8mの片持ちとした(写真-4)。写真-5に移動作

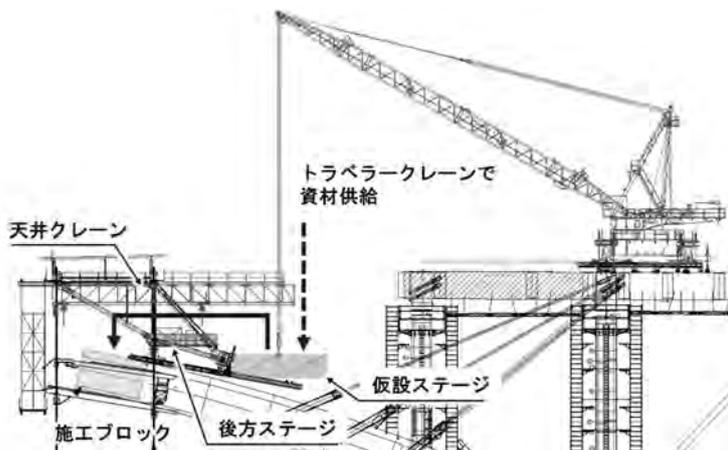


図-8 資材供給ルートと天井クレーンの関係



写真-4 片持ち天井クレーン



写真-5 移動作業車とトラベラークレーンの位置関係

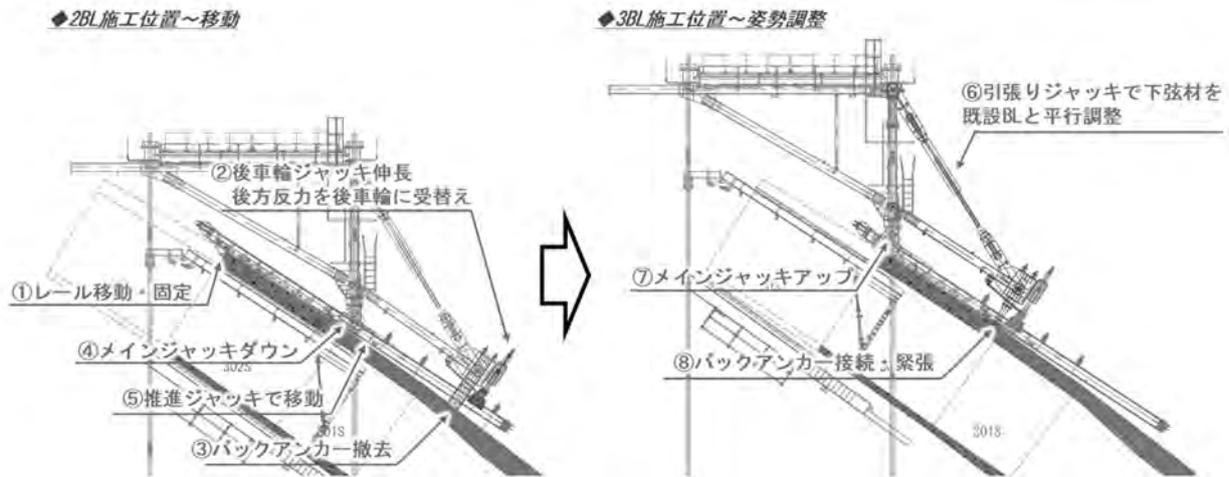


図-9 作業車移動手順

業車とトラベラークレーンの位置関係を示す。

4.2 移動作業車前進移動

(1) 移動手順

移動作業車は施工の進捗に合わせ、次ブロック施工位置へ前進移動する。図-9 に作業車の移動手順を示す。コンクリート打設後、前進移動の準備が完了した後（①～④）、容量 800kN、ストローク 500mm の推進ジャッキ 4 台で反力ナットを盛り替えながら最大 6.5m を移動する（⑤）。

走行装置は、図-10 に示す略図のとおり、移動機構に滑り板（ルーロン板）を採用し、レール上面にステンレスを貼った上、界面活性剤（液体洗剤）を塗布して摩擦係数低減を図った。

次ブロックへの移動後、前述の引張りジャッキで、下弦材が既設ブロックと平行になるように姿勢調整する（⑥～⑦）。バックアンカーの緊張時（⑧）は、最も厳しい荷重条件での最大反力に対し 1.1 倍以上の緊張力（片側 2,160kN（220tf））を導入することで、打設荷重によるアンカーの伸びを抑える。

(2) 移動実績

実績工程を表-3、移動状況を写真-6 に示す。推進ジャッキの伸縮を繰り返し、1 ブロック(6.5m)の前進移動と、作業車の姿勢調整までを約 8 時間(490

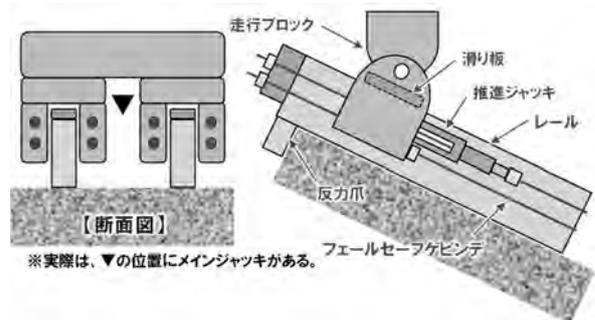


図-10 走行装置略図

表-3 作業車移動実績工程

移動手順	実績(min)
①レール移動・固定	120
②後方反力を後車輪に盛り替え	10
③バックアンカー撤去	10
④メインジャッキダウン	50
⑤推進ジャッキで前進	190
⑥下弦材平行調整	50
⑦メインジャッキアップ	50
⑧バックアンカー接続・緊張	10
合計(約8hr)	490

分)で完了した。主構トラス引張りジャッキの採用で姿勢調整が容易になったことに加え、繰り返しの作業の中で作業手順を最適化したことで当初工程では2日を想定していた移動作業を1日で完了でき、サイクル工程短縮に大きく寄与した。

5. 緊張ジャッキ運搬台車

斜吊材の緊張作業では、緊張ジャッキを斜吊材の引込み反力をとる定着突起に、精度よくセットする必要がある。通常はチェンブロック等による人力でジャッキセットを行うが、本工事では質量約800kgの緊張ジャッキ(付属品含む)を急勾配かつ狭隘な箱桁内で安全、効率的に運搬・セットするため、3次元的にハンドリングが可能な新型機械を開発した。

5.1 構造概要

緊張ジャッキ運搬台車は、図-11に示すとおり、①スライド台車及び固定架台、②モノレール台車で構成される。スライド台車に固定された緊張ジャッキは、モノレール台車に搭載され、桁内橋軸方向を電動モノレールで運搬する。緊張箇所到達すると、予め設置した固定架台に、スライド台車を横引きして乗り移らせ、スライド台車の油圧操作

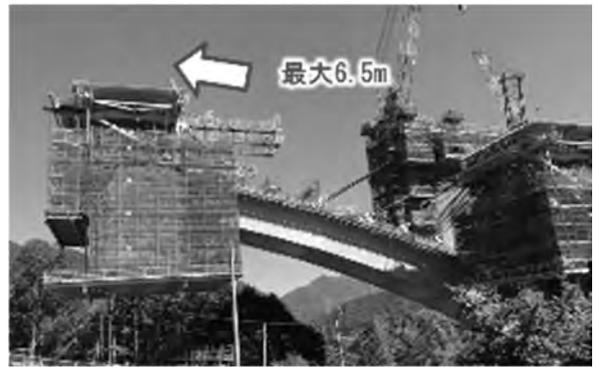


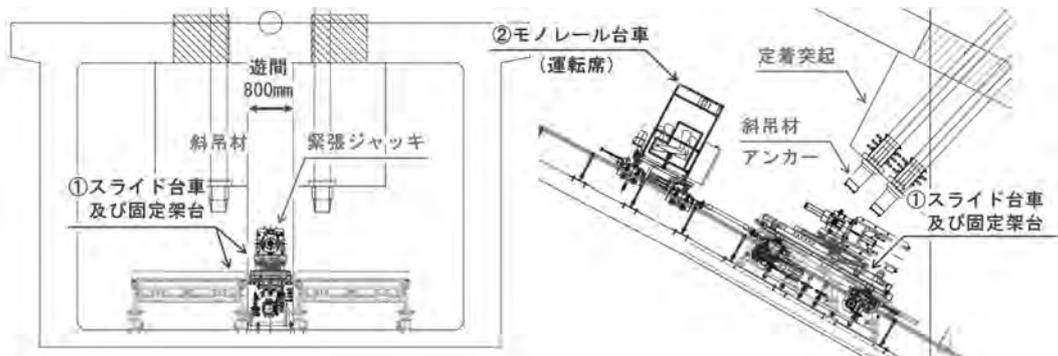
写真-6 移動作業車の移動状況

で定着突起にセットする。

モノレール動線の最狭部である横桁の遊間は、わずか800mmしかないため、モノレール及び台車の設計に苦慮した。以下に、各設備の詳細を示す。

(1) スライド台車及び固定架台

スライド台車及び固定架台は、動作ごとにモジュール化された5階建てのフレームで構成される(図-12)。各モジュールは、横引き→前後スライド→ピッチ回転→上下スライドの動作を担い、斜吊材の角度に容易に追従させることができる。横引きは人力で無理なく動作し、ピッチ回転と前後・上



主仕様							安全装置	
積載荷重	モノレール自重	総重量	走行モーター	走行速度	走行距離	斜度	非常用電磁ブレーキ	クラッシュセンサー
1,500kg (ジャッキ: 1ton+スライド台車: 500kg)	950kg	2,450kg	3.7kW×1台	0~10m/min	約100m	0° ~ 36°	衝突防止光電センサー	安全ワイヤー

図-11 緊張ジャッキ運搬台車概要

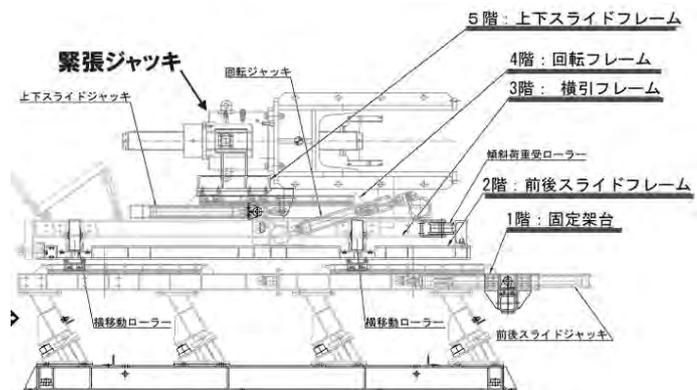
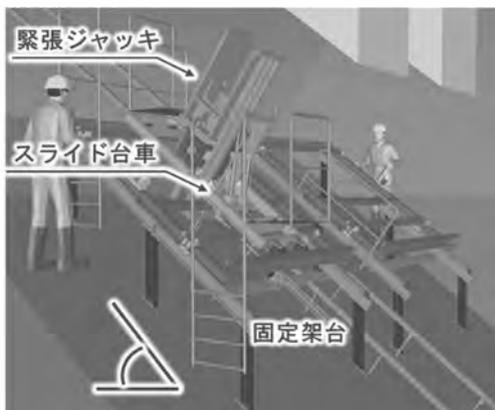


図-12 スライド台車及び固定架台のモジュール構成



写真-7 モノレール台車



写真-8 斜吊材緊張状況

表-4 緊張ジャッキ運搬台車導入による削減効果

項目	人力による従来工法*	緊張ジャッキ運搬台車	削減効果
所要時間	3日	2日	▲30%
必要人工	8人	4人	▲50%

*過去類似条件の緊張作業による実績ベース(チェンブロックによる吊上げセット)

下のスライドには油圧シリンダを用いている。

(2) モノレール台車

モノレール台車(写真-7)は、桁内空間で運行するため、電動モノレールを採用した。レールに沿って配線したトロリー線から給電され、ラックピニオンとモータ駆動により、最大傾斜36°の桁内を走行する。往復運搬できるよう、運転席を回転させてバック走行も可能で、カメラとバックモニタで死角をカバーする。その他、安全面に配慮し、人、モノへの接触防止用光電センサや、駆動モータとは別系統の非常ブレーキを装備した。

5.2 斜吊材緊張実績

(1) 斜吊材緊張手順

斜吊材の緊張状況を写真-8に示す。手順は、①モノレール台車で緊張箇所へ到着、②スライド台車を固定架台位置まで横引き後、前後方向へスライドし、③回転フレームで斜吊材と緊張ジャッキを平行に合わせ、上下スライドで定着突起へ近づけ、緊張作業を行う。

(2) 斜吊材緊張実績

運搬・セット・緊張まで一連の作業における、緊張ジャッキ運搬台車を導入したことによる省力化の効果を表-4に示す。チェンブロック等を使用

して人力でジャッキを操作した過去の類似作業と比較して所要時間を30%、必要人工を50%削減できた。また、人力作業を削減したことにより、作業員が緊張ジャッキ周辺に立ち入る場面を減らすことができ、安全性も向上した。

6. まとめ

本稿では国内最大規模の鋼・コンクリートバランスドアーチ橋である河内川橋において、新規開発した超大型可変式アーチリブ移動作業車と緊張ジャッキ運搬台車の構造及び作業実績を報告した。アーチリブの構築は順調に推移しており、大ブロック化に伴うメリットを最大限に生かした移動作業車により施工の合理化を実現している。また、緊張ジャッキ運搬台車の導入により重量物を扱う人力作業を減らし、省力化と合わせて安全性の向上にも貢献した。本稿が今後の同種工事を行う際の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 山崎啓治ほか：鋼・コンクリート複合バランスドアーチ橋の設計，プレストレストコンクリート，Vol.65，No.1，p.9～16，2023.1