

# ICTとモバイルコンストラクションクレーンを 使用した橋梁上部工事の生産性向上

小野 稔和<sup>1</sup>・米原 大吾<sup>2</sup>

<sup>1</sup>前田建設工業(株)関西支店 出庭高架橋作業所長 (〒541-8529大阪市中央区久太郎町2-5-30)

<sup>2</sup>前田建設工業(株)関西支店 土木部 ユニットディレクター (〒541-8529大阪市中央区久太郎町2-5-30)

野洲栗東バイパス出庭高架橋(A1ーP2)PC上部工事は、国道8号の野洲市から栗東市間の交通混雑の緩和、交通安全の確保等を目的として整備が進められている延長約4.7kmのバイパス事業のうち、出庭(でば)地区にPC2径間連続箱桁橋(L=95.7m)を構築する工事である。

本稿は、生産性向上を目的としてICT構造物工(橋梁上部)とBIM/CIMを活用し、土木工事では稀有なモバイルコンストラクションクレーン(以下、モコクレーン)を使用したPC上部工事の施工実績について、その内容を詳細に報告するものである。

キーワード ICT構造物工(橋梁上部)、BIM/CIM、モバイルコンストラクションクレーン

## 1. 工事概要

本工事は野洲川の西側(左岸側)で野洲栗東バイパスのほぼ中央付近に位置し、滋賀県守山市と栗東市に跨る。市境には普通河川吉身川が流れ、起点側(A1側)が守山市、終点側(P2側)が栗東市である(図-1、図-3)。

施工ステップは、終点側の第1施工区間を先に施工し、続いて起点側の第2施工区間を施工する(図-2)。

本橋はICランプ部にあたるため、道路幅員が広く、連続的に変化(W=25m~33m)することが特徴である。また、本橋の西側離隔約30mには東海道新幹線が並走している。そのため、施工計画を立案するにあたり、品質確保と安全性、及び施工性(生産性向上)に焦点を置き、ICTの活用と利用頻度が高いクレーンについて入念に検討した。

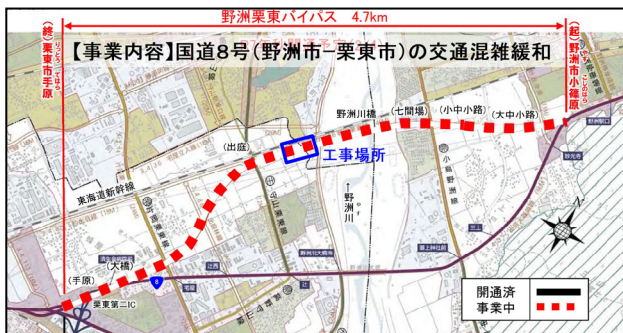


図-1 野洲栗東バイパス事業内容と工事場所位置図

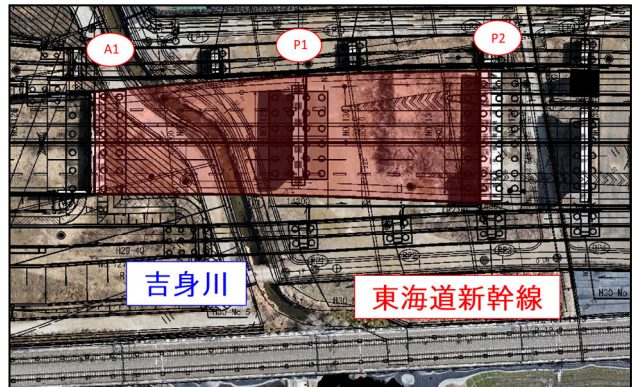


図-3 平面図

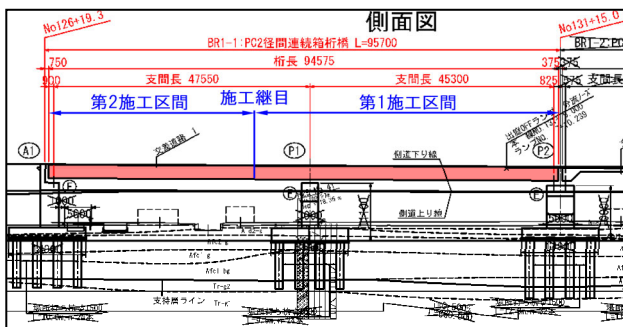


図-2 側面図

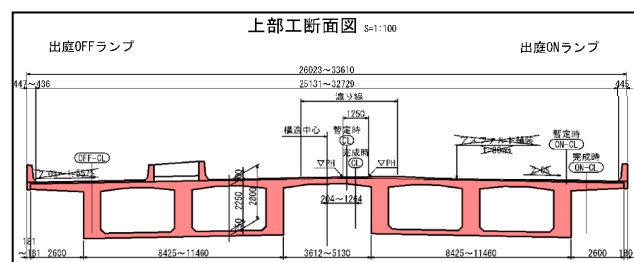


図-4 断面図

## 2. ICT構造物工(橋梁上部)

施工計画に先立ち、現地状況把握と設計図書の照査を目的にICT構造物工(橋梁上部)の適用を提案・協議した。具体的には、既設下部工の出来形や架設支保工の地盤高、及び吉身川の現況等を3次元起工測量で確認した。また、貸与された2Dの平面図、縦断図、横断図等の設計図書をもとに3次元設計データを作成し、設計照査を行った。

### (1) 3次元起工測量

3次元起工測量は地上型レーザースキャナーを用いた起工測量(以下、TLS測量)と空中写真測量(無人航空機)を用いた起工測量(以下、UAV測量)を併用した。

施工前で足場等が無いため、地上は主にTLS測量で、下部工天端や高低差のある周辺構造物等はUAV測量で、点群データを取得・補填し、現況3Dモデルを作成した。

#### a) TLS測量

TLS測量には、FARO社製 Focus Premium LaserScannerを使用した。当該器械(写真-1)の計測範囲は鉛直角 $300^{\circ}$ 、水平角 $360^{\circ}$ 、計測時間は15分/器械点かつGPS受信機の搭載と広範囲(最大330m)で高精度なスキャニングにより、計測及び後処理にかかる労力を削減した。

各スキャンデータの合成には基準点(X, Y, Z)が必要となるため、基準球(写真-2)を設置して観測を行った。(基準球はどの方向から計測しても中心が同じとなり、各器械点の計測結果を容易かつ高精度に合成できる。)

点群データ編集には、以下のソフトウェアを使用した。

【TREND-POINT(福井コンピュータ株式会社)】

#### b) UAV測量

UAV測量には、DJI社製 MATRICE 300 RTKを使用した。

運用にあたり、航空法に則り適正に運用するとともに、作業場所の飛行カテゴリーに応じた許可承認申請を行い、飛行高度の確認等を現地確認した後に飛行計画を行った。なお、飛行計画は「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」に準じた(図-5)。

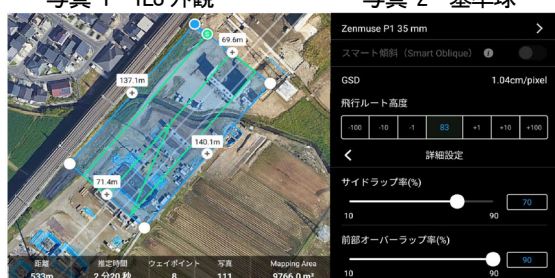


図-5 UAV 測量の飛行計画

### (2) 3次元設計データ作成

3次元設計データ作成の趣旨は3次元起工測量の結果を用い、3次元出来形管理対象箇所の3次元座標の入力を行い、工事目的物となる躯体を3D化することである。これにより、平面図、縦断図、横断図等と線形計算書等の不整合、あるいは現地状況との不整合が顕在化する。

当該3Dデータを活用することで、設計照査において、視覚的な理解が深まり、受発注者双方の意思疎通が迅速かつ円滑に進められた。

そして今回3次元設計データを作成した最大の目的は、次章で詳述するBIM/CIM適用とともに、施工計画の詳細策定にあった。コンセプトは「誰もが分かる施工計画」。

管理する元請や実際に施工する専門業者はもとより、例えば学生にでも理解できる説明をしたいと考えた時、視覚に訴えかける3次元の図面は必要不可欠だった。

データ作成には、以下のソフトウェアを使用した。

【TREND-CORE(福井コンピュータ株式会社)】

また、作成した大容量の3次元モデルを(統合して)、施工検討や設計データ検証等の分析に活用するために、以下のソフトウェアを使用した。

【Navisworks(Autodesk)】

図-6、図-7に作成した躯体3Dモデルを示す。

余談だが、UAV測量のオルソ画像は、工事進捗管理やクレーン等の作業計画にも利用している(図-8)。



図-6 躯体3Dモデル(起点から終点を臨む)



図-7 躯体3Dモデル(終点から起点を臨む)

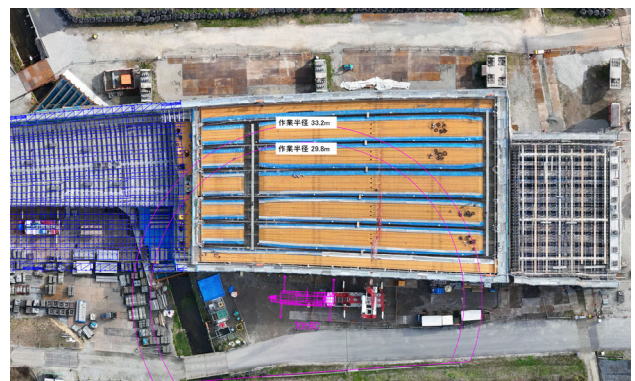


図-8 クレーン作業計画



### 3. BIM/CIM

本工事はBIM/CIM適用工事(発注者指定型)ではあるが、以下の活用内容を目的に、その適用を提案・協議した。

- (1)重ね合わせによる確認
- (2)現場条件の確認
- (3)施工ステップの確認

#### (1) 重ね合わせによる確認

前述の通り、本橋は道路幅員が連続的に変化するため、断面図(断面変化点)に表れていない区間において、鉄筋、PCケーブル、支承アンカーボルト等が干渉する恐れがある。3D図面で重ね合わせによる確認を行った結果、実に50%以上の鉄筋の干渉が判明した(図-9、図-10)。

なお、本件は設計照査及び設計変更協議を発議したが、設計照査の回答で、鉄筋の現地合わせでの曲げ直し及び配筋をずらして組み直す手間は「承諾の対象」となった。ただ、事前に干渉する鉄筋が分かっていたため、配筋後に例えば、PCケーブル(のシース管)を設置する際に、該当する鉄筋を一時的に外しやすくする対策ができた。(手順として、まず設計図通り鉄筋を組み、シース管を所定の位置に配置しながら干渉する鉄筋を一度外して、干渉しないよう曲げて組み直すというものである。)

#### (2) 現場条件の確認

本工事着手前にTLS測量とUAV測量を行い、現場条件の確認を行った。当該測量結果にBIM/CIMで作成した3Dモデルを反映させたところ、以下の不整合が判明した。ここでは、当該不整合とその対策について記載する。

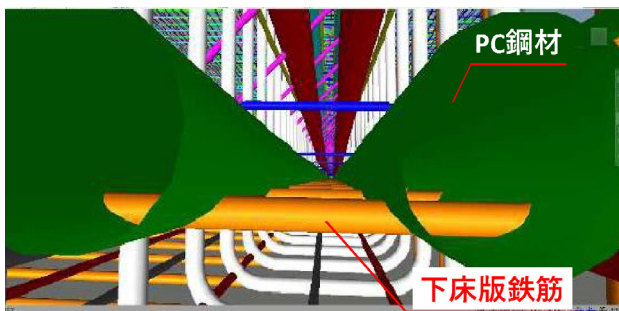


図-9 下床版上面鉄筋とPC鋼材の干渉

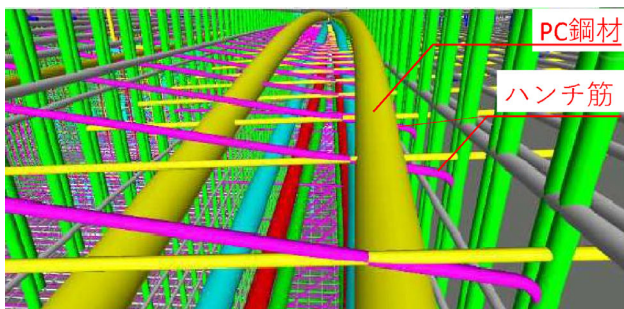


図-10 ハンチ鉄筋とPC鋼材の干渉

#### a) 支承アンカーボルトと躯体の干渉

下部工の支承箱抜き精度が悪く、設計通り支承を製作すると、支承のアンカーボルトが箱抜き内に収まらないことが判明した(図-11、図-12)。

設計照査にて、支承製作時にアンカーボルトの位置をずらすことで対応した(A1橋台：4か所、P2橋脚：6か所)。

#### b) 吉身川の形状変更

当該箱桁橋の支承形式は架設支承工により、施工中の荷重を地面から支える設計である。第2施工区間の下方には吉身川が流れており、当該河川を跨ぐようにH鋼材を用いた構台とその基礎コンクリートが計画されていた。

ところが吉身川は三面水路に改修されており、設計時とは川幅及び水深が変わっていたため、計画通りの構台寸法では河川の建築限界を侵すことが判明した。

そこで設計照査にて、建築限界を満たすよう構台寸法の変更を提案し、設計変更として協議した。

#### (3) 施工ステップの確認

上記(2)同様、測量結果から施工ステップを確認し、施工計画に反映させた項目を以下に示す。

#### a) 道路管理者や河川管理者との占用協議

箱桁橋の施工上、市道の迂回や道路占用、及び河川の法定外公物占用・工作物設置許可が必要となるため、設計図面を確認した。ところが、図面は設計当初のものであり、現況の道路形状や河川形状が反映されていないため、現地測量結果のオルソ画像を貼り合わせて、当該管理者に説明した。これにより、認識の齟齬が発生せず、迅速な合意形成を得ることができた。

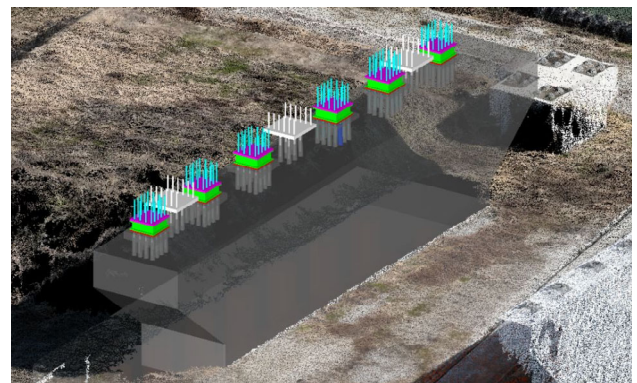


図-11 支承・落橋防止装置と箱抜き出来形の重ね合わせ

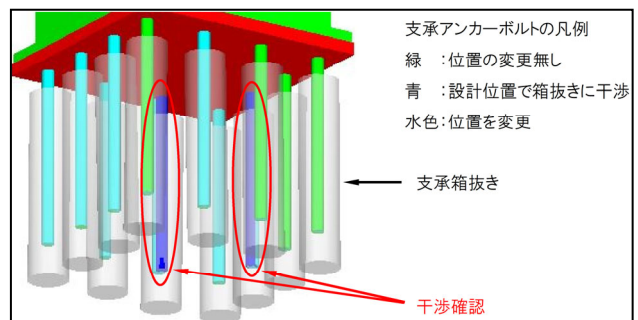


図-12 支承アンカーボルトと箱抜き(躯体)の干渉確認



b) JR東海との東海道新幹線の近接協議

前述の通り、本橋の西側離隔約30mに東海道新幹線が並走しているため、特にクレーン作業については事前にJR東海と近接協議を行う必要があった。

その際に、設計図面とオルソ画像を貼り合わせ実際の東海道新幹線までの離隔の確認や、機種毎のクレーンの詳細な施工計画立案に活用した(図-13, 図-14)。特に、次章で詳述するモコクレーンは、作業半径の大きさから旋回制限を設ける範囲(角度)を算出してコンピューター制御するため及び、作業者への周知のために活用できた。

c) 関西電力(株)との高圧線近接協議

A1橋台起点側に関西電力(株)の高圧線が架空しており、特にラフテレーンクレーン(以下、RC)を使用する作業は事前に関西電力(株)と近接協議を行う必要があった。

b)と同様に設計図面とオルソ画像を貼り合わせ実際の高圧線の位置を確認した。協議にあたり関西電力(株)の現地立会のもと施工基面から高圧線までの高さ(34m)や必要離隔(4m)の位置を図面と現地に反映し相互に理解を深めた(図-15)。また、作業者への周知にも活用できた。

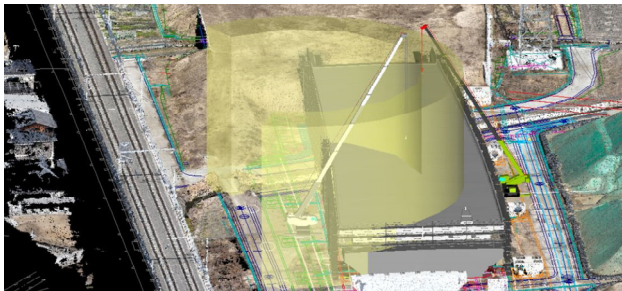


図-13 東海道新幹線と70tRCの旋回制限

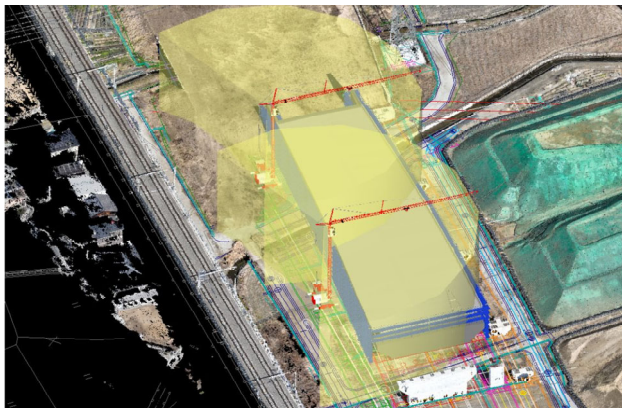


図-14 東海道新幹線とモコクレーンの旋回制限

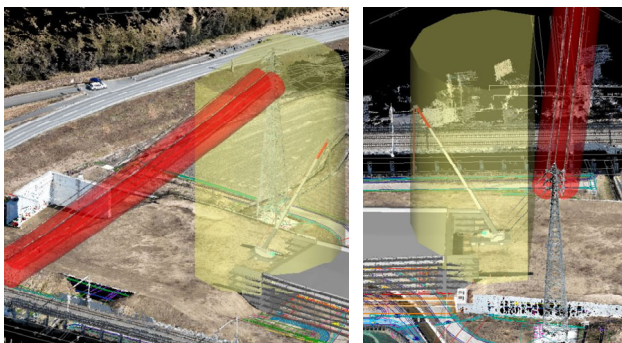


図-15 高圧線(離隔4m)と60tRCの旋回制限

d) 労働基準監督署との建設工事計画届に関する協議

労働安全衛生法第88条第3項には、以下の対象工事を開始する際、14日前までに建設工事計画届を提出する旨の記載がある。

『最大支間30m以上50m未満の橋梁の上部構造の建設、改造、解体又は破壊(人口集中地域で道路・軌道上又は隣接した場所に限る)』

当現場が本記載の『道路に隣接した場所』かどうかを2D図面を持参して説明しても判断できなかったため、労働基準監督署の安全専門官に3Dの施工図で説明し、理解された上で必要と結論づけることができた(図-16)。

(4) 3Dモデル作成

3Dモデルは以下のモデルを各々作成して統合させた。

- a) 線形モデル・構造物モデル
- b) 鉄筋モデル
- c) PCケーブルモデル
- d) 支承・落橋防止装置モデル

統合した最終的な3Dモデルを図-17, 図-18に示す。

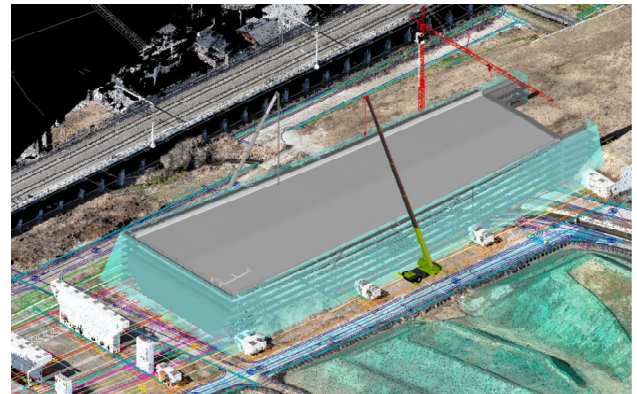


図-16 周辺道路と足場から俯角75°の範囲図

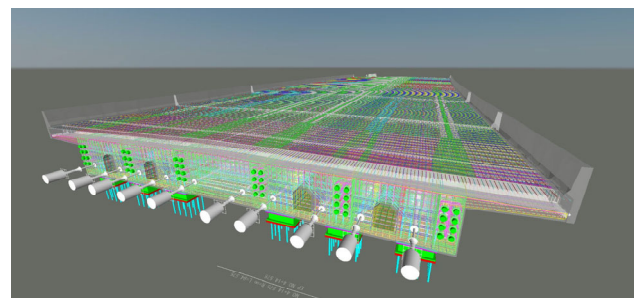


図-17 統合モデル(起点から終点を臨む)

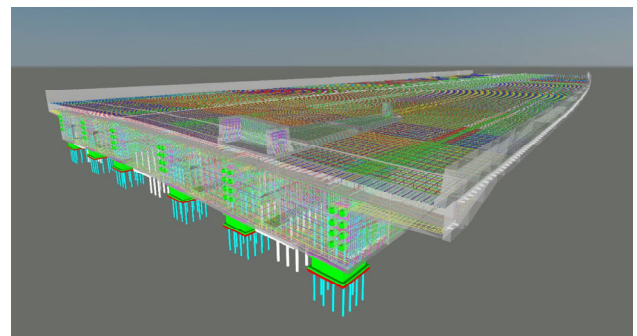


図-18 統合モデル(終点から起点を臨む)

#### 4. モバイルコンストラクションクレーン

本工事におけるPC箱桁橋の施工区分を図-19に示す。前述の通り、本橋は道路幅員が広いため、当初計画では箱桁橋両側に70tRCと25tRCの配置を計画していた(図-20)。しかし、隣工区(P2-P4)PC上部工事の施工時期が重複するため、資機材置場を確保する必要があった。

そこで、1台のクレーンで施工が出来ないか検討した。候補には、①25tRCと同等のアウトリガー張り出し幅でベースマシンが100t級、移動式のモコクレーン、それと②70tクロークレーン(以下、CC)が挙げた。これに、③70tRCと25tRCの併用案を含めた3案について、施工性、安全性、経済性の観点で総合的に判断し①案を採用した。

モコクレーンのクレーン計画図を図-21に示す。

##### (1) 施工性について

モコクレーンは最大作業半径45mで吊上荷重が2.0tであり、幅員が広く延長が長い第1施工区間においても、片側から全作業範囲を網羅できる。さらに反対側の資材も揚重可能であり、狭いヤードを効率的に利用できた。

本工事で2025年9月から2026年3月まで稼働し、鉄筋工、型枠工、PC工、コンクリート工の重複作業において、その機能性の高さを大いに発揮した。

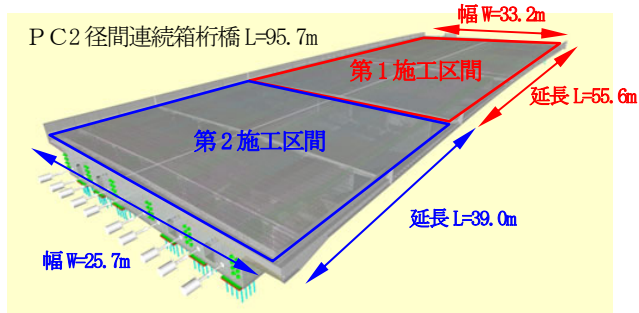


図-19 施工区分図(3D統合モデル)

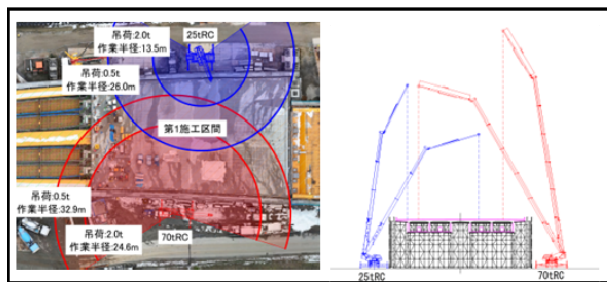


図-20 クレーン計画図(70tRCと25tRCの併用)

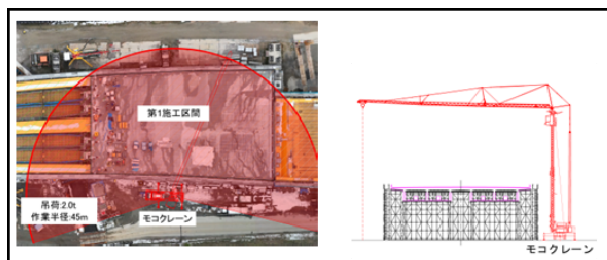


図-21 クレーン計画図(モコクレーン)

タワークレーンを展開し作業姿勢に入るまでの組立作業はコントローラーのレバー操作1つ、11分間で完了する。昇降式運転席に着座した運転手は足場の上方まで昇り、スラブ上の作業を目視確認して旋回とトロリーと呼ばれる横行装置の移動、及びフックの上げ下げのみで揚重作業を行うことができる。当該作業は通常の移動式クレーンに多い油圧を駆動源とするのではなく、静粛性の高い電気駆動式であり、スムーズかつスピーディーな動きが特徴的である。

後述する電磁波障害によってメンテナンスと対策を施した際に、当初計画である70tRCと25tRCの2台体制で施工した。表-1に各クレーンの準備・片付けの所要時間と稼働日に占める割合の比較を示し、表-2に当該期間に施工していた鉄筋工の施工歩掛りの比較を示す。表-3は地上から橋面への荷上げに要する平均所要時間を工種毎に比較した結果を示す。

ここで、長尺物の荷上げにおいてはモコクレーンより25tRCの方が早い結果だが、それ以外の材料の荷上げはモコクレーンの方が早い結果となった。これは、単純にモコクレーンの方が作業半径が大きいこと、長尺物ほど安全のため大きく旋回させるため、荷振れ抑制の目的で旋回速度を抑えていることが要因と考えられる。

しかしながら、25tRCは吊荷重と作業半径の関係からクレーンの据替が必要であり、70tRCはジブの準備等に相当の時間を要するため、モコクレーンが有用といえる。

表-1 各クレーンの準備・片付け所要時間

| 使用クレーン     | 所要時間(分)            | 稼働日(147日)に占める時間(日)                 | 延稼働日に占める割合                                     |
|------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
| モコクレーン     | $11 \times 2 = 22$ | $22/60 \times 147/7 \approx 7.7$   | $7.7/147 \approx 5\%$                          |
| 70tRC(ジブ有) | $40 \times 2 = 80$ | $80/60 \times 147/2/7 \approx 14$  | $(14+3.5+8.8+3.5)/(147 \times 2) \approx 10\%$ |
| 70tRC(ジブ無) | $10 \times 2 = 20$ | $20/60 \times 147/2/7 \approx 3.5$ |                                                |
| 25tRC(ジブ有) | $25 \times 2 = 50$ | $50/60 \times 147/2/7 \approx 8.8$ |                                                |
| 25tRC(ジブ無) | $10 \times 2 = 20$ | $20/60 \times 147/2/7 \approx 3.5$ |                                                |

表-2 施工歩掛比較

| 鉄筋組立        | ※各4日間集計 |      | 施工数量    |
|-------------|---------|------|---------|
|             | 作業人員    | 施工数量 |         |
|             | (人)     | (t)  | (t/人・日) |
| モコクレーン      | 29      | 22.7 | 0.78    |
| 70tRC+25tRC | 40      | 22.2 | 0.56    |

表-3 地上から橋面への荷上げに要する平均時間の比較

| 吊荷            | クレーン   | 荷姿         | 吊荷重     | 所要時間 |
|---------------|--------|------------|---------|------|
| 型枠材           | モコクレーン | バラ         | 500kg   | 3分   |
|               | 25tRC  | 〃          | 〃       | 5分   |
| 鉄筋材           | モコクレーン | 長尺物(最大12m) | 1,800kg | 4分   |
|               | 25tRC  | 〃          | 〃       | 3分   |
| PCケーブル(横締め用)  | モコクレーン | 長尺物(最大34m) | 140kg   | 5分   |
|               | 25tRC  | 〃          | 〃       | 4分   |
| PCケーブル(内ケーブル) | モコクレーン | ロール状       | 1,500kg | 3分   |
|               | 25tRC  | 〃          | 〃       | 4分   |



## (2) 電磁波障害について

2025 年 9 月 1 日の稼働から 4 日後、何らかの原因で不具合(故障、電流漏れ等)が発生し、CAN エラーによる制御装置機能停止状態に陥った。安全装置の作動により誤作動を引き起こすことは無いが、作業姿勢のまま停止状態となり、ブームの折りたたみも出来ない状態だった。メーカー(リープヘル・ジャパン(株))による調査の結果、モコクレーンの離隔 25m の位置を走行する東海道新幹線の電磁誘導により、ケーブルやセンサー電気回路に影響を及ぼしたと推定された。

対策として、ケーブルのアースラインを強化(2系統でアースを接地)し、ケーブルを導電性の金属フィルムで覆って電磁波を遮断する処置を行った。処置後、稼働を再開したが当該不具合は発生しなくなった(写真-4, 5)。

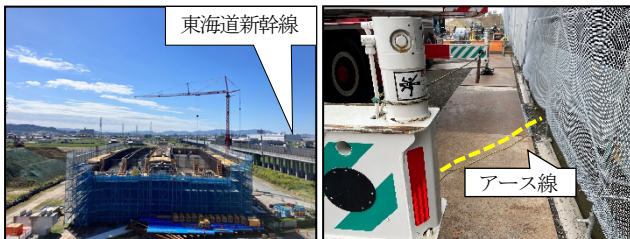


写真-3 モコクレーン稼働状況

写真-4 アース接地状況



写真-5 ケーブルへの電磁波遮断対策

## (3) 安全性について

モコクレーンの採用により以下の安全性が向上した。

- ①運転席を昇降させることで施工箇所を目視確認できるため、吊荷との接触や挟まれ災害の防止に寄与できた。
- ②上部旋回体を分解することなく公道を走行できるため、クレーン組立解体時の災害リスクが発生しない。
- ③タワーやジブの展開に使用されるワイヤーロープは、素線切れがストランドの外側に現れるより方を採用しており、日常点検で不具合等を見落とすリスクが少ない。
- ④タワーやジブの展開収納はコンピュータプログラムによって自動制御されているため、運転手は地上障害物の有無等の安全確認に専念することができる。
- ⑤ジブがオフセット角度にある時、水平維持機能を使用して吊荷の高さを変えずに作業半径を変化させることができるため、ジブの起伏と吊荷の上げ下げを同時に行う必要が無い。つまり、ジブの起伏角度を変えずに水平と同じく吊荷を水平に保った状態で移動することができる(図-22、図-23)。

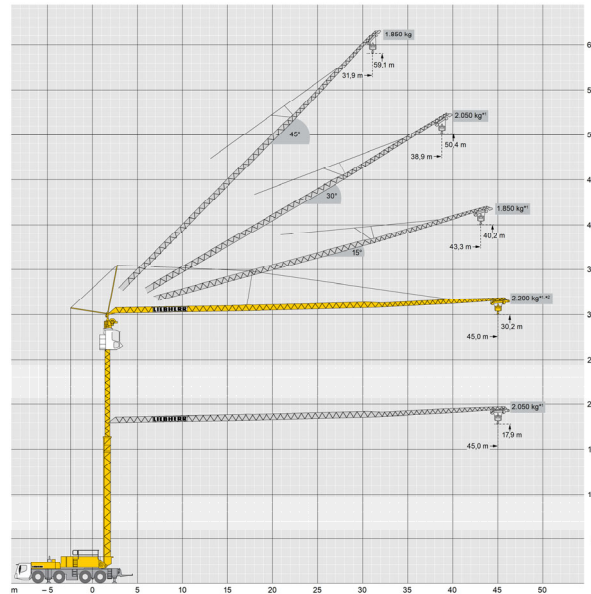


図-22 モコクレーンの揚程図



図-23 水平維持機能の説明図

## (4) 環境への配慮

本工事では、モコクレーン専用の電気系統を増設し、本機に搭載された発電機だけでなく、商用電力 400V を使用してクレーンを稼働させた。従来通り、発電機にてモコクレーンを稼働した場合、1 か月で約 400L の軽油を必要としていた。一方、商用電力により稼働した場合、燃料は不要で、1 か月の消費電力は約 420kWh であった。商用電力を用いて稼働することで静粛性がさらに向上し、排ガスを発生させず環境に配慮した施工が可能となった。

## 5. 結論

ICTで施工前に工事の問題点を洗い出し、事前に対策を講じることで、手戻り手直しを無くすことができた。

周辺環境を含めたクレーン等の仮設計画を詳細に立て、関係機関と事前に調整を行うことができたため、大幅な計画変更等が生じることなく工事を進めることができた。

本工事はモコクレーンの使用が最適な施工環境だったこともあり、生産性が大いに向上し工程短縮に寄与した。

謝辞：末筆ながら、本工事にこれまでご尽力いただいた全ての関係者の皆様へ感謝の意を表す。