

積雪寒冷地での幅員変化を有する PC 橋の施工

— 東北中央自動車道 長老沢 3 号橋 —

土田 優*1・吉田 朋広*2・大平 成泰*3・長尾 賢二*4

長老沢 3 号橋は、東北中央自動車道のうち、平成 29 年度の開通に向けて新直轄方式により整備が進められている福島 JCT～米沢北 IC 間に位置する 3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋である。架橋地点は、標高 350 m の狭隘な渓谷に位置し、東北地方内陸部特有の厳しい気候下での施工となった。また、構造的には 11.200 m～16.122 m の幅員変化を有しており、中央閉合部付近で 1 室箱桁断面から 2 室箱桁断面に切り替わるアンバランスな構造であることが特徴である。本稿は、冬季に実施した張出し架設における品質および出来形確保に向けた取組みを中心に、施工段階で試行的に導入した CIM (Construction Information Modeling) の効果について報告するものである。

キーワード：新直轄方式、幅員変化、寒中コンクリート、CIM

1. はじめに

東北中央自動車道は、福島県相馬市を起点とし、福島市、米沢市、山形市、新庄市などを經由して、秋田県横手市に至る延長約 268 km の高規格幹線道路であり、常磐自動車道、東北縦貫自動車道、山形自動車道、秋田自動車道と接続することから、高規格道路網を形成し、緊急時における代替・迂回等のネットワーク機能の強化を担う路線である。このうち、福島 JCT～米沢北 IC 間の 37 km 区間は国と地方が費用を負担する「新直轄方式」による整備区間として、国土交通省が平成 29 年度の開通に向けて整備を進めている。

長老沢 3 号橋は、福島市飯坂町中野に位置し、国道 13 号に隣接する山沿いの狭隘な渓谷上に架かる 3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋である (図 - 1)。東北地方内陸部特有の厳しい気候下での施工となるため、冬季の張出し架設では寒中コンクリート対策が、夏季の壁高欄施工では暑中コンクリートに対する配慮が必要となった。本稿では、本橋の施工概要について報告するとともに、施工段階で試行的に導入した CIM (Construction Information Modeling) の概要ならびにその効果について紹介する。

2. 橋梁概要

本橋の全体一般図を図 - 2 に示す。本橋の構造上の特徴として、A 2 橋台背面側のチェーンベースに向かって $R = 800 \text{ m}$ の平面線形を有しており、P 1～P 2 径間の支間中央部付近で 1 室箱桁から 2 室箱桁に変化する点が挙げられる。これにより、P 2 橋脚側の張出し施工部は、全幅員が 11.722 m～15.897 m に変化するアンバランスな構造となっている。本橋の工事概要を以下に示す。

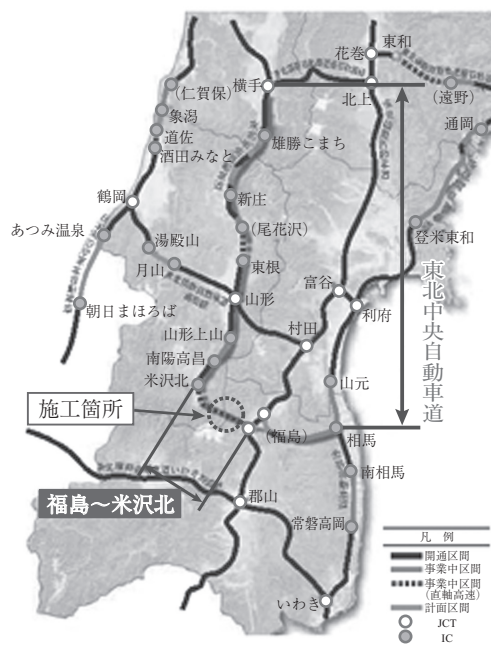


図 - 1 位置図

工事名：東北中央自動車道長老沢 3 号橋上部工事
 発注者：国土交通省東北地方整備局
 工事場所：福島県福島市飯坂町中野地内
 工期：平成 24 年 2 月 8 日～平成 25 年 10 月 28 日
 構造形式：3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋
 橋長：201.0 m
 支間長：53.9 m + 97.0 m + 47.9 m
 有効幅員：10.540 m (本線)，6.040 m (A ランプ)
 (全幅員変化：11.200 m～16.122 m)

*1 Masaru TSUCHIDA：国土交通省 東北地方整備局 磐城国道事務所 相馬出張所

*2 Tomohiro YOSHIDA：大成建設 (株) 札幌支店

*3 Shigeyasu OHIRA：大成建設 (株) 東北支店

*4 Kenji NAGAO：大成建設 (株) 本社 土木本部 土木技術部 橋梁設計・技術室

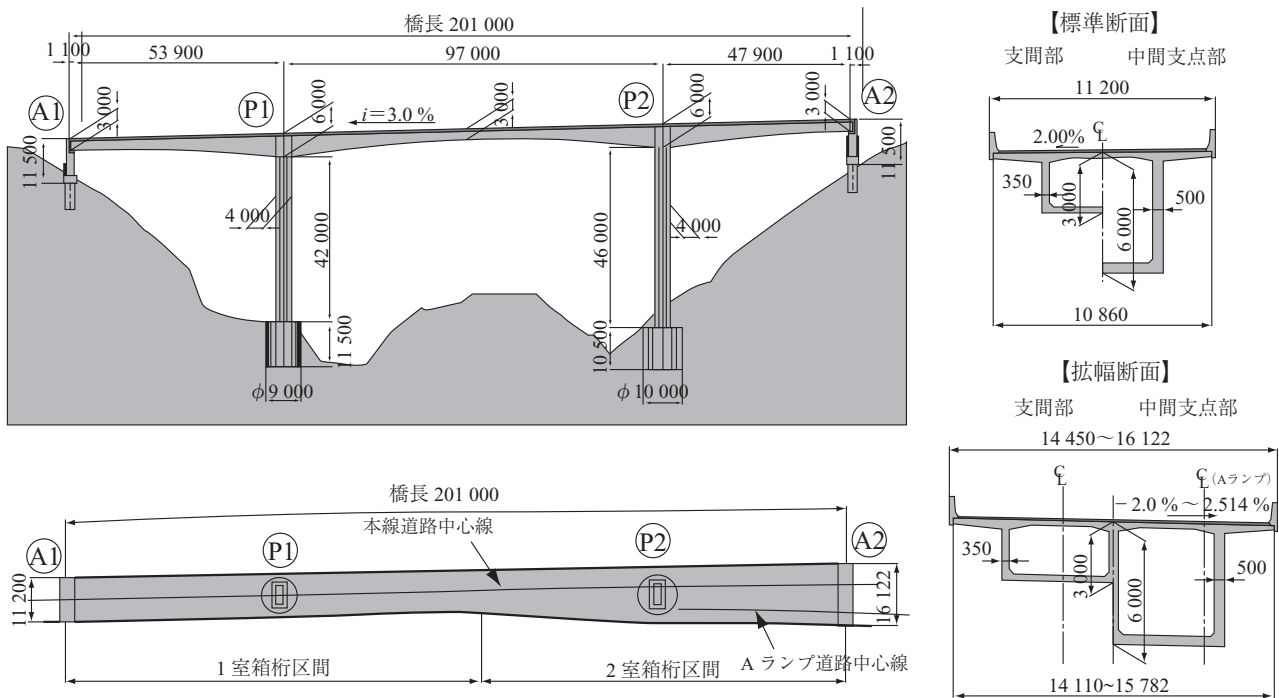


図 - 2 全体一般図

3. 柱頭部の施工

本橋の柱頭部は、桁高 6.0 m、横桁厚 4.0 m であり、コンクリート体積が P1 で 253 m³、P2 では 393 m³ のマスコンクリートである。さらに施工時期が 9 月中旬から 10 月中旬にかけての比較的外気温の高い時期であったとともに、使用するコンクリートが張出し施工部と同じ早強コンクリートであったため、着手前に施工条件を反映した温度応力解析を実施し、リフト割や養生方法を決定した。

また、コンクリートの硬化に伴う温度上昇を抑える目的で、写真 - 1 に示すように、外ケーブル偏向管を用いたエアパイプクーリングを実施した。管内への送風は終点側の管口にサクシオンホースを接続し、蓋により密閉させた状態で送風機にて管内空気を吸引、排出する方法により行った。送風期間は、打設直前から打設後 3 日までとした。

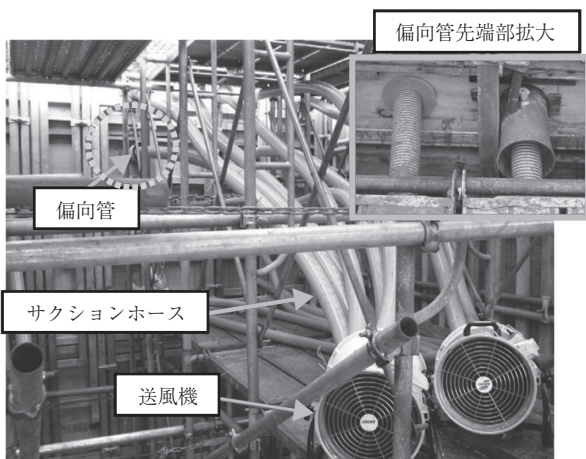


写真 - 1 エアパイプクーリング実施状況

図 - 3 によると、エアパイプクーリングを実施した場合、実施しない条件で行った解析結果に比べて、ピーク温度が 8℃ 程度低減している。施工時に熱電対により横桁中心部の温度を計測したところ、解析結果と同様の傾向が認められ、期待した効果が得られたものと考えられる。以上のように、事前解析に基づく施工計画および施工上の工夫により、有害な温度ひび割れを発生させることなく、柱頭部の施工を完了することができた。

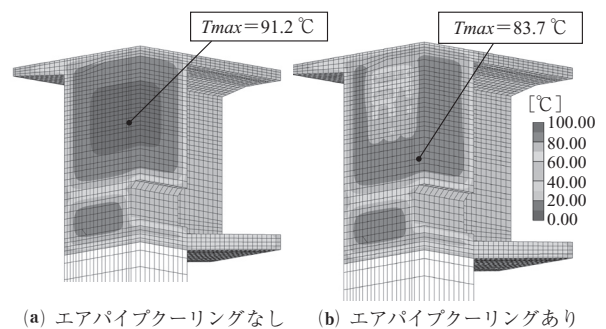


図 - 3 柱頭部の温度応力解析結果

4. 主桁の張出し施工

4.1 幅員変化への対応

標準断面である P1 橋脚張出し区間では、2 主構の一般型移動作業車、拡幅断面である P2 橋脚張出し区間では 3 主構の大型移動作業車により施工を行った。このうち、最終ブロック (12 BL) で 2 室箱桁から 1 室箱桁へ断面が変化する P2 橋脚の中央径間側では、図 - 4 に示すように、幅員変化に追従可能な機構を有する特殊な作業車を採用した。

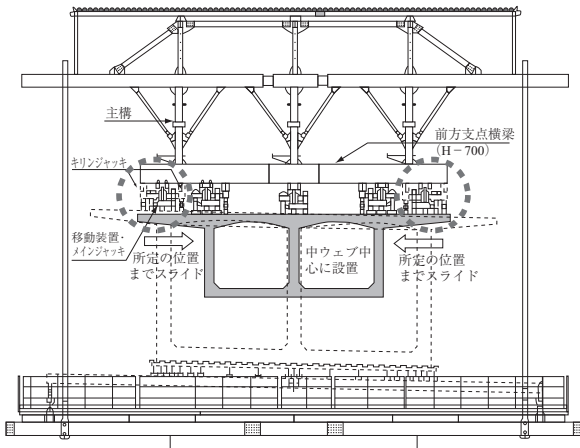


図 - 4 移動作業車のスライド機構の概要

P2 柱頭部から中央閉合部にかけて1ブロックごとにウェブの中心間隔が113 mm ずつ狭くなる。これに対して、移動作業車の主構間隔はつねに一定に保った状態で、前方支点（メインジャッキ）および後方支点、レール等の移動装置の位置を外ウェブ上にスライドできる構造とした。具体的には、作業車移動前の段取り作業として、主構下側の前方および後方の横梁（H=700）の直下に、1主構あたり2台のキリンジャッキを設置し、これらのジャッキにて反力を受けかえ、前方および後方支点位置を所定の位置までスライドさせた。

4.2 寒中コンクリートの施工

本橋の張出し施工状況を写真 - 2 に示す。主桁の張出し施工は、その大部分を日平均気温が4℃以下となる12月上旬から3月中旬にかけて行ったため、寒中コンクリート対策が必要となった。とくに留意した養生面における対策を以下に示す。



写真 - 2 張出し施工状況

- ① 移動作業車の寒中養生設備として、外周足場を後方に延伸し、2ブロック分を連続して養生シートで覆い、風および雪の侵入を防止した。
- ② 養生シートで覆った移動作業車の内部にはブライトヒーターおよびジェットファーンネスを配備し（一般型移動作業車：計4台、大型移動作業車：計6台）、打設前日から打設後3日までの間、内部の温度を5℃以上に保った（写真 - 3）。

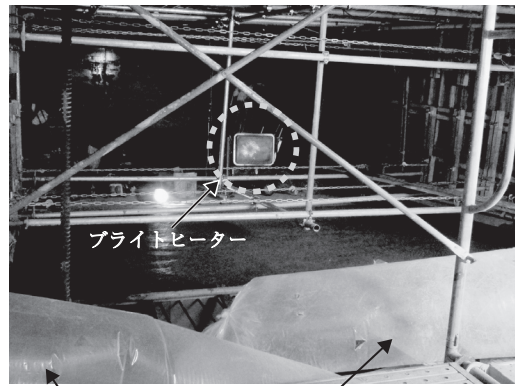


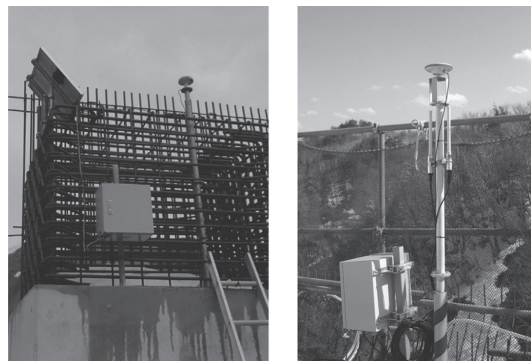
写真 - 3 給熱養生状況

③ 打設後のコンクリートの養生は、上記の給熱養生に加え、熱による急激な乾燥を防ぐため、保水性に優れた特殊養生シートを用いて湿潤状態を確保した。以上の対策により、コンクリートの初期凍害を防止し、所定の品質を確保することができた。

4.3 上げ越し管理の精度向上

先述したように本橋のP2橋脚側張出し施工部は、幅員変化を有するアンバランスな構造である。さらに橋脚高が比較的高いため、橋脚の南北壁面の温度差に伴う曲げ変形が主桁のたわみ管理に大きく影響することが想定された。そこで、より精度の高い上げ越し管理を行うために、GPS自動計測システムを導入した。

本システムは、GPSセンサーにより30秒ごとに24時間連続してデータ計測を行い、各データを解析処理することで得られた3次元座標から誤差分を取り除くことにより、主桁の変形や橋脚の変形量をリアルタイムで把握することができるものである。本工事では、A1橋台部に基準点を設け、P1およびP2橋脚それぞれの柱頭部上および張出しブロックの先端付近に計測用のGPSセンサーを設置した（写真 - 4）。ブロック先端付近のGPSセンサーは架設の進捗に合わせて適宜盛替えを行った。張出し施工の短い施工サイクルの中でセンサーを盛り替える手間や、障害物があると精度良いデータを得られないためにセンサーの設置箇所が制限される点などが難点ではあるが、コンクリ



(a) 基準点 (A1 橋台) (b) 計測点

写真 - 4 GPSセンサー設置状況

ート打設、PC 鋼材緊張および作業車の移動といった各イベントごとの変位量をリアルタイムで把握できる点は上げ越し管理を行ううえで有効であった。本橋では一般的な水準測量による管理に加え、本システムの活用により、橋全体としての挙動を把握することで、主桁の基準高さを目標値（規格値± 20 mm の 80 %）以内に抑えることができた。

5. 閉合部の施工

5.1 側径間部の施工

写真 - 5 に示すとおり、本橋の側径間部は急峻な地形上に位置していることに加え、A1 橋台、A2 橋台ともに背面が未施工の橋梁区間であり、橋台側でのクレーン設置や資機材搬入が不可能であった。このため、両側径間部は、移動作業車による閉合を行った。ただし、A1 側径間部は移動作業車で施工するには区間長が長く（施工長：8.1 m）、全区間を吊支保工として施工すると、打設荷重により支保工の変形や橋脚の曲げ変形、基礎の回転変形が計算値と異なる挙動を示し、主桁の出来形精度に影響を及ぼす懸念があった。そこで、6.1 m 区間を固定支保工により先行施工し、移動作業車による閉合区間を 2.0 m に短縮した。これにより、閉合区間の打設に伴う張出しブロック先端の変位を小さくすることが可能となった。



写真 - 5 側径間部施工状況 (A1 橋台側)

5.2 中央閉合部の施工

最終閉合となる中央閉合部では日射の影響に伴う上下床版の温度差により、主桁先端が垂れ下がり、出来形に影響を与える懸念があった。このため、図 - 5 に示すように施工に先立ち、主桁先端部とおしを移動作業車のレール材とレールアンカーにより連結し変位を拘束した。

中央閉合部を境に、P1 側は 1 室箱桁断面、P2 側は 2 室箱桁断面であるため、外ウェブ上のレールのみを前方 (P1 側) へ移動し、位置調整を行った後で張出しブロック先端付近にあらかじめ設けておいたアンカー孔を用いて拘束した。なお、拘束前の各張出しブロック先端における橋面高さの差は±12 mm 程度であった。

6. 壁高欄の施工

本橋は供用中、冬季に凍結防止剤が散布される環境下におかれるため、塩化物イオンの作用を受けやすい部位である壁高欄のひび割れ防止は品質管理上の重要な課題の一つ

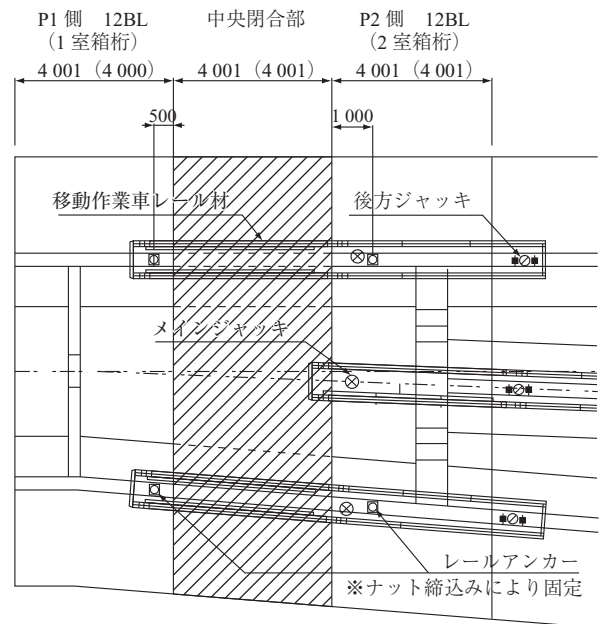


図 - 5 中央閉合部での変位拘束の概要 (平面図)

であった。とくに、施工時期が日平均気温が 25℃ 以上となる 7 月中旬から 9 月中旬であり、暑中コンクリートとなったため特別な対策が必要であった。また、原設計における伸縮目地間隔が 10 m であるといった構造上の特徴も踏まえ、施工に先立ち温度応力解析を実施した。なお、壁高欄に使用したコンクリートの配合は、表 - 1 に示すとおり、使用セメントを高炉セメント B 種とし、膨張材を 20 kg/m³ 添加した。解析の結果、壁高欄中央部の最高温度は 49℃ となり、ひび割れ指数 ($I_{cr} = 1.25$) から推定されるひび割れ幅は 0.1 mm 程度にとどまった (図 - 6)。このため、配合や目地間隔の変更は特段行わず、施工時に適切な品質管理を行う方針とした。

表 - 1 壁高欄コンクリートの配合

配合名	セメントの種類	水結合材比 W/B (%) (B = C + Ex)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤 Ad	
				水 W	セメント C	膨張材 Ex	細骨材 S		粗骨材 G		
							S1 砕砂	S2 砂	G1 砕石 2015		G2 砕石 1505
24-12-20	BB	50.1	42.8	170	319	20	520	220	661	440	3.19

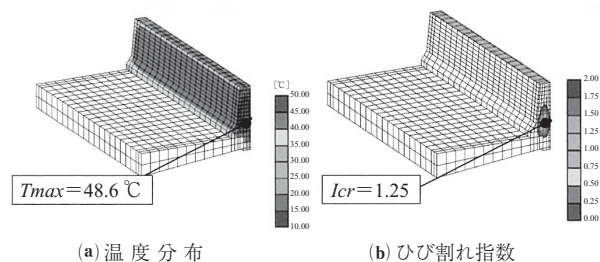


図 - 6 壁高欄の温度応力解析結果 (中央部断面)

コンクリートは、張出し施工同様、下部施工ヤードからポンプ圧送し、橋脚に沿わせて立ち上げた配管により型枠

○ 工事報告 ○

内へ供給したが、橋面上での配管盛替えによるスランプロスなどの品質低下を防ぐため、1回の打設は左右片側ずつとした。また、打設延長は最長でも50mに限定するとともに打設時には配管上を適宜シートで覆い、直射日光の影響を防いだ。

養生に関しては、コンクリートの硬化が確認できた時点でただちに散水を行い、天端に養生マットおよび水分逸散防止用のシートを敷設し湿潤養生を行った。型枠は、転用の都合上、強度発現を確認したうえで脱型したが、打設後7日までは表面に保水性の高い養生テープを貼り付け、保水養生を継続し、日射や風の影響による急激な乾燥を防止した(写真-6)。以上の対策により、壁高欄にひび割れが発生することはなかった。



写真 - 6 脱型後の養生状況

また、一部区間で壁高欄の耐久性の向上を目的とし、排水・湿潤連続養生の試験施工を行った。本養生は、図-7のように、打込み直後にコンクリートから生じる余剰水や気泡を排出する透水型枠の設置と、凝結後の給水による湿潤養生を脱型せずに連続して行う養生手法であり、締め固めにより発生する余剰水を排出してコンクリート表層における水セメント比を低減させたいうで、凝結後の水和反応で発生する隙間に水を供給してコンクリートの表層を緻密化することができる¹⁾。

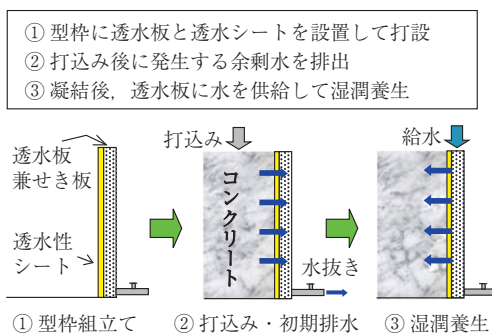
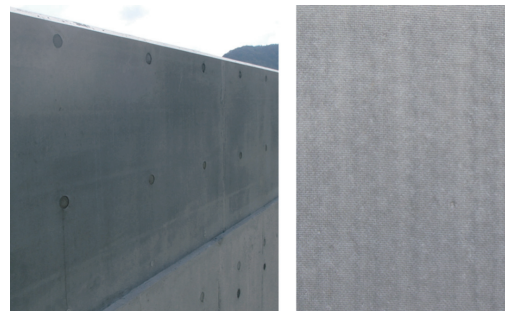


図 - 7 排水・湿潤連続養生工法の概念図

脱型後の表面の状況を写真-7に示す。本養生を適用した部位には透水シートの模様が残るが、空気泡はほとんど残っておらず、既報²⁾と同様に木枠を用いた部位よりも表面が濃い色味を呈しており、表層部が緻密化されたこ



(a)脱型状況 (b)表面近景

写真 - 7 排水・湿潤養生適用箇所状況

とがうかがえる。なお、適用部位について非破壊試験による耐久性に関する調査を行う予定である。

7. 施工段階における CIM の活用

CIM (Construction Information Modeling) とは、コンピュータ上の仮想3次元空間に対象の建設モデルを構築し、このモデルに建設事業の各段階(企画～維持管理)における種々の属性情報を付加し、建設事業の進捗とともに更新・成長する建設情報を一元的に管理・各機関で共有することにより、建設事業全体の生産性向上およびトータルコストの削減を目的としたシステムである。CIM 試行の対象モデルとしては事例の少ない曲線線形で幅員変化を有する PC 橋として本橋を選定し、施工段階における適用性の確認を行った。なお、本稿では CIM を用いた施工検討内容を中心に記述するものとし、モデリングの手法やソフトウェア等に関する詳細は既報³⁾を参照されたい。

7.1 鋼材および付属物等の干渉チェック

今回の試行調査では、外ケーブル偏向管や支承アンカーバー、落橋防止ケーブルといった埋設物が多く、かつ高密度の配筋状態となる端支点横桁をモデル化し、相互の干渉チェックを行った。作成した配筋モデルを図-8に示す。

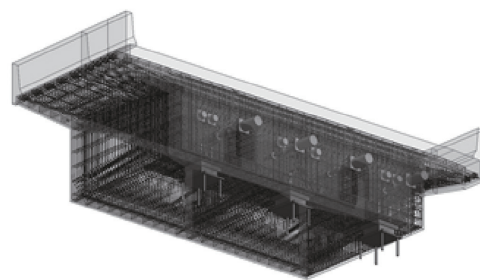


図 - 8 配筋モデル

現在行われている2次元設計では、主桁・横桁構造図と配筋図、PC鋼材配置図、支承・落橋防止装置配置図などが別々に作成されているため、着工前にこれらの図面を重ね合わせ、干渉チェックを行わなければならない。一方、3次元モデルでは上図の配筋モデルを作成すれば、専用のソフトウェアを使用することにより、システムが干渉している箇所をチェックし表示してくれる(図-9)。しかしながら、変断面の配筋の3次元モデリングでは、鉄筋の加

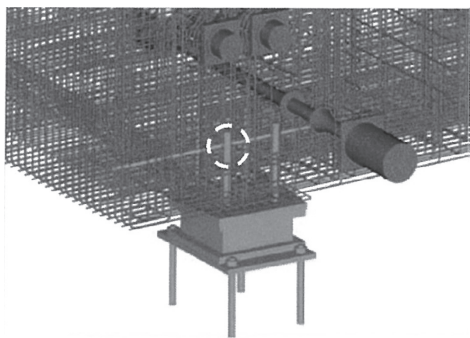


図 - 9 配筋モデルによる干渉チェック

工形状が変化するため、1本1本配筋モデルを作成し、重ね継手のずれなども考慮しながら正確に配置していく必要があり、非常に労力を要する作業となる。また、複数の干渉箇所をすべて満足する改善方法は幾通りもあり、どのように修正するのが最善策かは、技術者の判断に頼らざるを得ないのが現状である。したがって、先に述べた配筋モデルの労力を鑑みると、この干渉チェックのためだけに膨大な時間を要して3次元配筋モデルを作成し、干渉チェックを行う効果は低いといえる。現状では、経験豊富な技術者が干渉しそうな箇所を限定しチェックするのが妥当と考える。

7.2 施工計画におけるシステムの活用

CIMを用いた施工時検討としては、以下の2項目の検討を行った。

(1) 移動作業車の組立て・解体時の検討

2次元の図面（正面図、側面図、平面図）でクレーン計画を行う場合、対象に対し斜めに配置されたクレーンを正確に計画することは難しいため、3次元空間の橋梁モデルに対し、クレーンのブームの起伏・旋回などパラメトリック動作を定義し、シミュレーションすることにより移動作業車の組立て・解体時の作業半径でクレーンと橋体に干渉がないことを確認した（図 - 10）。

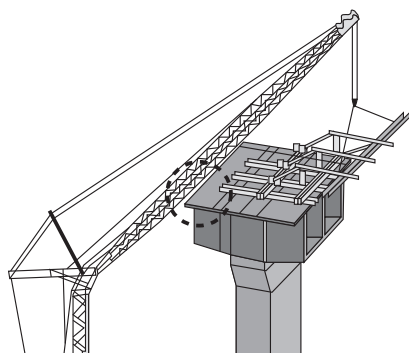


図 - 10 移動作業車組立て時のクレーン計画

(2) 移動作業車と地山の干渉検討

本橋の橋台付近は急峻な斜面を有することから、移動作業車の下段作業床と地山との干渉が懸念された。そこで3次元モデルにより干渉範囲の特定を行い、下段作業床のリフトアップ量を決定するとともに干渉する地山の掘削量を

最小限にした（図 - 11）。

3次元モデルにより施工上の問題点が可視化され、作業におけるミスロスを防止できる点で効果が認められた。

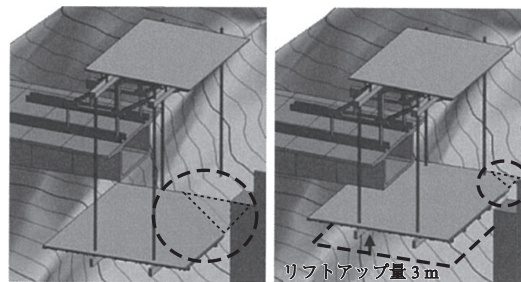


図 - 11 移動作業車のリフトアップ計画

8. おわりに

長老沢3号橋は、平成25年10月30日に無事竣工した（写真 - 8）。施工中は、計26回の見学会を実施し、小・中学生をはじめ数多くの地元の方々に橋梁工事の魅力に触れていただき、工事完成に向けて温かい励ましの言葉を頂戴した。



写真 - 8 完成写真

また、CIMをはじめ新技術を積極的に導入し、品質および出来形精度の向上に関する工夫を重ねながら完成に至ることができた。本橋における取組みが、今後同様の特性を有する橋梁の施工において参考になれば幸いである。

最後に多大なご協力とご指導をいただいた関係各位の皆様にご感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岸 利治:コンクリートの耐久性を定める『水』の制御, コンクリート工学, vol.51, No.12, 2013.12
- 2) 久壽米木義昭, 中田慎一, 宮原茂禎, 丸屋 剛:橋梁壁高欄への排水・水中養生の適用と硬化後の非破壊品質調査, 土木学会第67回年次学術講演概要集, pp.267-268, 2012.9
- 3) 中 隆司, 太田 誠, 北原 剛, 吉田朋広:PC橋梁の施工段階におけるCIMの適用～長老沢3号橋～, 第22回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2013.10

【2014年2月13日受付】