

さがみ縦貫城山橋（相模川橋）上部工の施工

佐久間 博之*1・大賀 猛*2・古賀 裕史*3・平原 毅*4

城山橋は、さがみ縦貫道路のうち一級河川の相模川を跨ぐ橋長 301 m、中央径間 150 m の PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋である。P1 上り線における拡幅・非対称張出し、A2 側径間におけるカウンターウェイトといった構造的な複雑さに加え、19.5 ヶ月という短工期施工がこの工事の大きな特徴である。本稿では、城山橋上下線の上部工事の施工概要とともに、CIM (Construction Information Modeling) の取組みについて報告する。

キーワード：張出し架設工法、急速施工、上下線同時施工、CIM

1. はじめに

さがみ縦貫道路（国道 468 号）は、都心から半径 40 ～ 60 km の位置に計画されている首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の一部を構成する自動車専用道路である。

城山橋は、さがみ縦貫道路のうち一級河川の相模川を跨ぐ橋長 301 m の PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋である。河川外に橋脚を設置するため中央径間を 150 m とし、主に工期と経済性の観点から上下線分離構造の PC ラーメン箱桁橋が採用された。なお、「相模川橋」の仮称で事業が進められていたが、「城山橋」の正式名称がすでに決定している。

本稿では、城山橋上下線の上部工事の施工概要とともに、施工管理に活用した CIM (Construction Information Modeling) の取組みについて報告する。

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

工事名：さがみ縦貫相模川橋上部工事

発注者：国土交通省 関東地方整備局

詳細設計：(株)片平エンジニアリング

施工者：(株)大林組

工事場所：神奈川県相模原市緑区

工期：2012 年 1 月 17 日～2013 年 9 月 30 日（当初）

2012 年 1 月 17 日～2014 年 2 月 28 日（変更）

2.2 構造概要

本橋の橋梁諸元を以下に示す。また、全体一般図を図 - 1、主桁断面図を図 - 2 に示す。A1 側で約 75 度の斜角を有すること、上り線の支間中央から A1 にかけて拡幅していることが特徴である。

構造形式：PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋

橋長：301.0 m

支間長：89.5 m + 150.0 m + 59.5 m

有効幅員：10.530 ～ 16.251 m（上り線）

10.530 m（下り線）

平面線形：R = 4 000 m ～ A = 800 m ～ A = 700 m

縦断勾配：0.4 ～ 3.0 %

横断勾配：2.5 ～ -2.0 %

3. 本橋における施工上の特徴

3.1 急速施工

本橋の発注条件は、橋長 301 m の PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋の上下線を契約から引渡しまで 19.5 ヶ月という短工期で施工するものであった。相模川と橋脚の位置関係から左右の側径間長が大きく異なっており、P1 張出し部のブロック数が P2 張出し部のブロック数と比べて 10 ブロックも多く、工程上クリティカルとなっている。とくに、もともと厳しい工程であった。

3.2 P1 上り線の拡幅・非対称張出し施工

城山橋は相模原 IC の近くに位置するため、P1 上り線の有効幅員は P1 右張出し 12 ブロックから A1 橋台に向けて 10.530 m ～ 16.251 m に拡幅している。それに伴い、主桁断面は P1 右張出し 9 ブロックにおいて標準の 1 室箱桁から 2 室箱桁に変化する設計であった（図 - 2）。

そのため、張出し施工中には幅員変化による左右アンバランスに加え、ウェブ数減少による変化点における局部応力に留意する必要があるであった。

3.3 アンバランスな A2 側径間

河川と橋脚位置の関係から、P2 - A2 側径間は 59.5 m と中央支間 150 m の約 40 % と非常にアンバランスな支間割となっている。上り線 P1 橋脚以外の 3 橋脚からの張出し施工において、張出し長が非対称になっていることに加え、完成後の応力調整のため、A2 側径間側は箱桁内部にカウンターウェイトコンクリートを打設する設計である。さらに下り線側は側径間閉合後、中央閉合側に 2 BL の 2

*1 Hiroyuki SAKUMA：国土交通省 関東地方整備局 相武国道事務所 副所長

*2 Takeshi OGA：(株)大林組 東京本店

*3 Hiroshi KOGA：(株)大林組 大阪本店

*4 Tsuyoshi HIRAHARA：(株)大林組 大阪本店

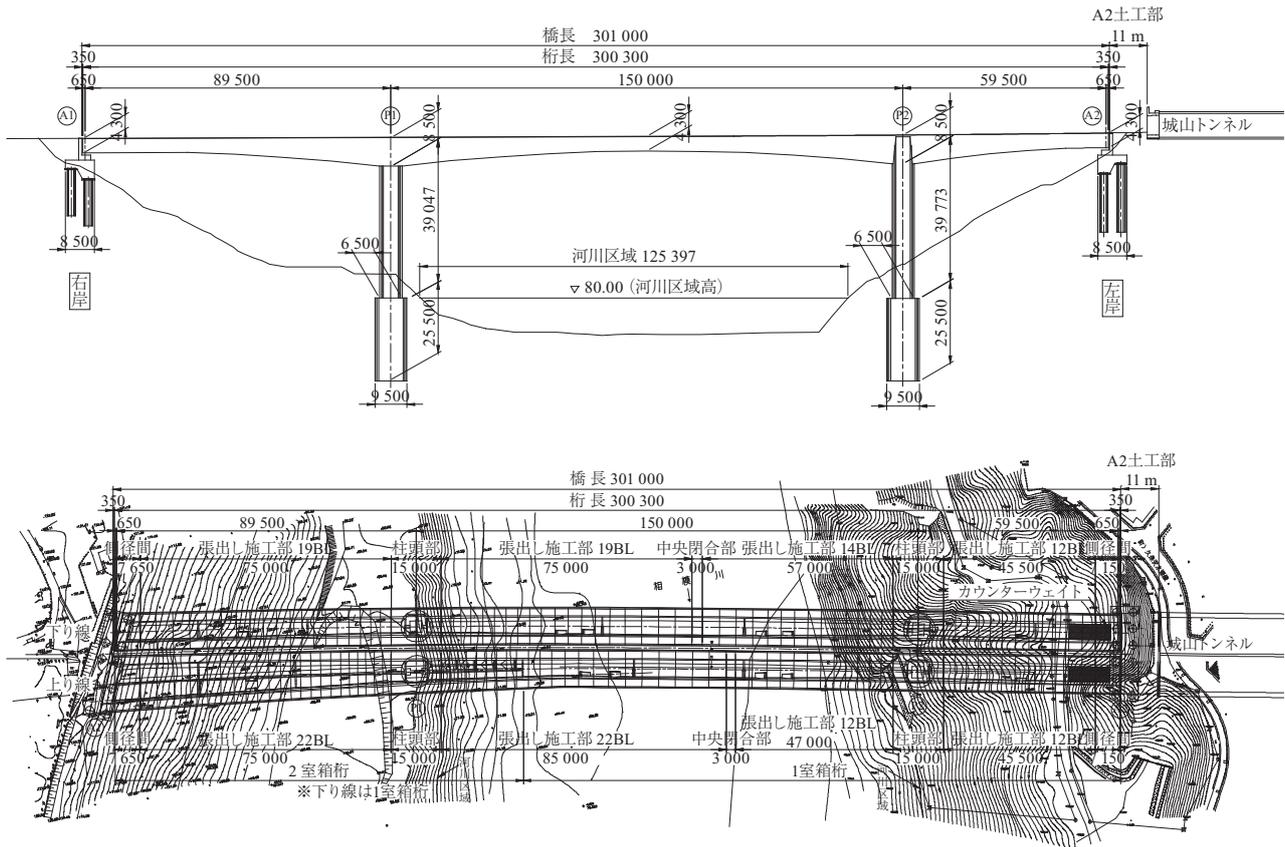


図 - 1 全体一般図

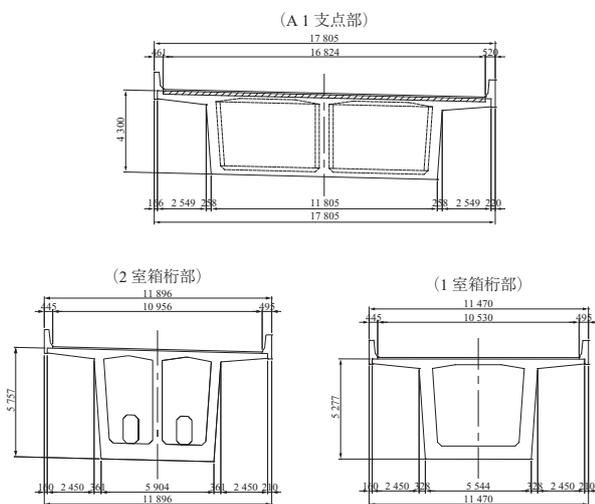


図 - 2 主桁断面図 (上り線)

次張出しを行う設計であり、施工中の橋面高さが大きく変動することが予想された。そのため、精度の高い上げ越し管理が必要であった。

3.4 左岸側の施工条件

P2橋脚は急峻な溪谷に位置し、下部工施工時に設置したP2仮設構台を引き継いで上部工を施工する計画であった。しかし、P2構台への進入路は城山橋の下流に位置する神奈川県津久井発電所の管理用道路にかぎられ、幅員

は約3.5mと狭隘で大型トラックが通行できない。そのため、移動作業車を含む重量仮設材と移動作業車を組み立てるためのクローラークレーンの搬入が課題となった。写真-1にP2側の施工状況を示す。A2仮設構台は城山トンネル工事で設置し、当工事で引き継いだ(写真-2)。なお、資材搬入などA2橋台へのアクセスとして利用可能な城山トンネルは、柱頭部着手から約2.5ヵ月後までは利用できない条件であった。

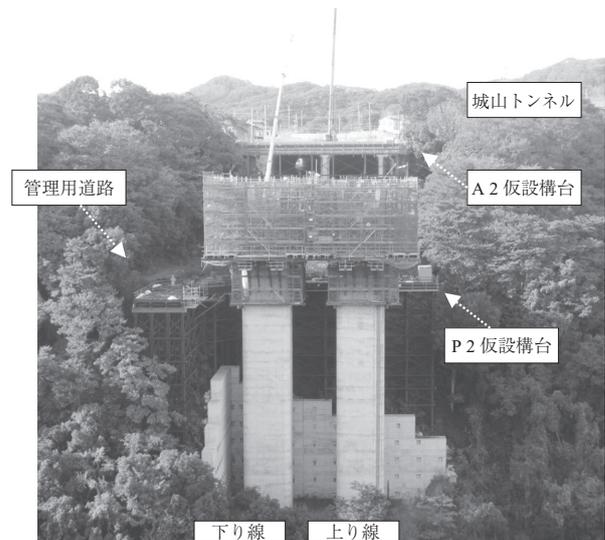


写真 - 1 P2側施工状況

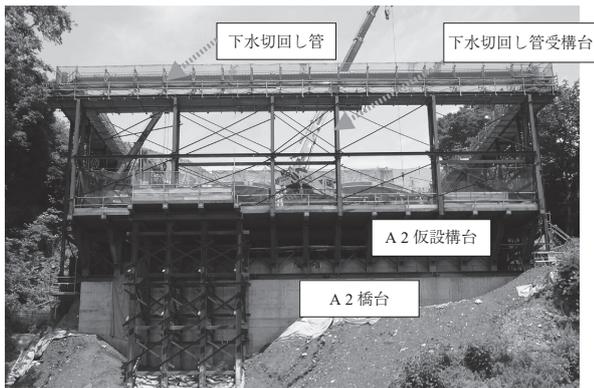


写真 - 2 A2 仮設構台

3.5 A2 土工部における諸工事の施工

城山橋 A2 橋台と城山トンネル抗口の間には、延長 11 m の土工部が存在する (図 - 1)。A2 パラペットの構築および A2 仮設構台の解体は当初契約に含まれていたが、追加でウイング構築、既設の仮設土留撤去、城山トンネル工事で切り回した下水の復旧と切回し管・切回し管受構台の撤去、重力式擁壁や軽量盛土・L 型擁壁の構築、橋台背面裏込・洗浄排水工といった諸工事を当工事で施工することになった。しかも、A2 土工部の引渡しを上部工完成から、わずか半月で行うことが求められたため、上部工の施工と並行して、諸々の工事を順序良く行うことが必要であった。

4. 工程短縮への取組み

4.1 上下線同時施工

最大張出しブロック長 5 m に対応した大型移動作業車 (2 主構は 350 t・m 級, 3 主構は 525 t・m 級) を 8 基使用して、4 橋脚同時に張出し架設を行った (写真 - 3)。

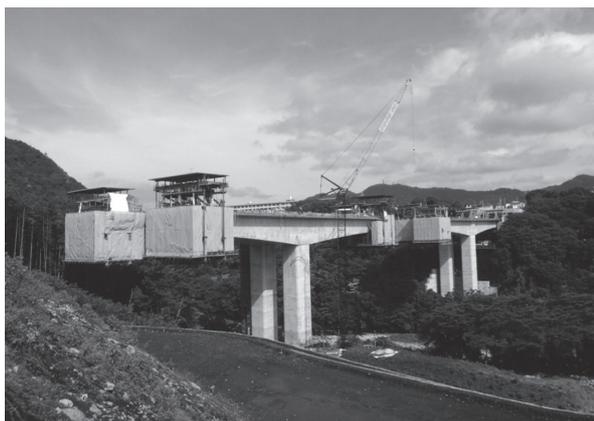


写真 - 3 4 橋脚同時張出し架設状況

表 - 1 に移動作業車の仕様を示す。P1 上り線では、主構と上部横梁の間で横断方向にスライドする機構を有する拡幅対応の移動作業車を使用した。

P1 左張出しは主桁断面が 2 室箱桁なので、移動作業車は 3 主構を採用した。その一方で、P1 右張出しは 9 ブロ

表 - 1 大型移動作業車の仕様

	左張出し	右張出し
P1 上り線	3 主構拡幅対応	2 主構拡幅対応
P1 下り線	2 主構	2 主構
P2 上下線	2 主構	2 主構

ックにおいて 2 室箱桁から 1 室箱桁に変化する。3 主構の移動作業車を途中で 2 主構に変更するのは非常に困難なので、最初から 2 主構の移動作業車で施工できるように上部横梁を 2 段梁にして、剛性を高めることで対応した (図 - 3)。

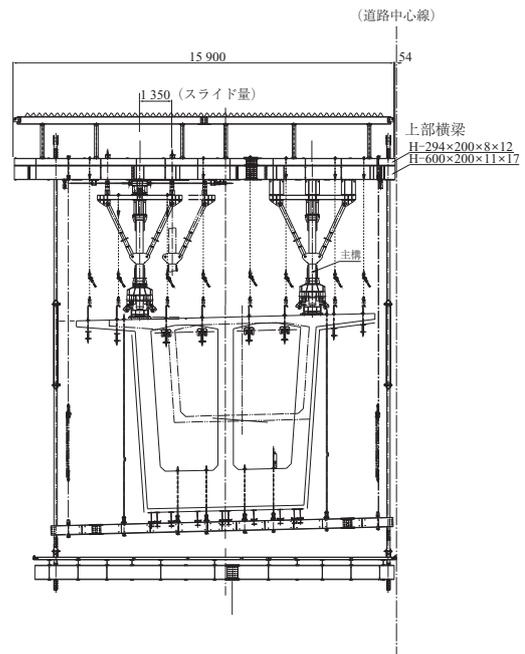


図 - 3 P1 上り線右張出しで採用した移動作業車

上下線の離隔は約 1.3 m しかないが、上下線同時施工のため、上り線と下り線の移動作業車の横梁や吊柱といった部材が互いに干渉しないよう改造して、離合可能な構造・組合せとした。写真 - 4 に P1 右張出しにおける移動作業車離合状況の一例を示す。

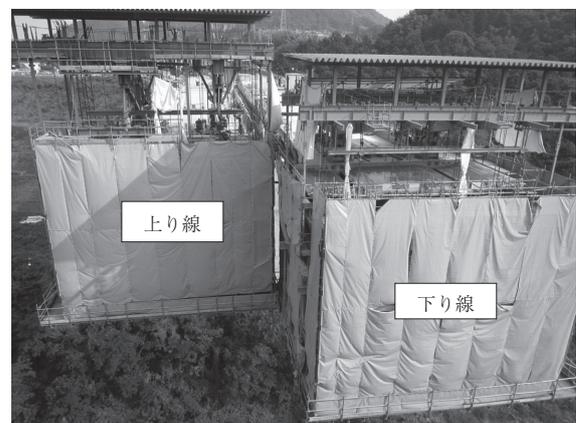


写真 - 4 P1 右張出しの移動作業車離合状況

4.2 柱頭部の足場・支保工計画

現地盤から柱頭部下端まで約30mあるので、省力化と急速施工を念頭に昇降階段と大ブラケット取付用の足場を計画した。高所作業車を利用して鋼製ブラケットを橋脚に後施工アンカーで固定し、さらにブラケットにH鋼受桁を固定したうえで、地組した枠組足場を50tラフタークレーンで設置した。写真-5にP1柱頭部足場を示す。P2橋脚も同様な計画であるが、仮設構台があるため25tラフタークレーンを使用して設置した。

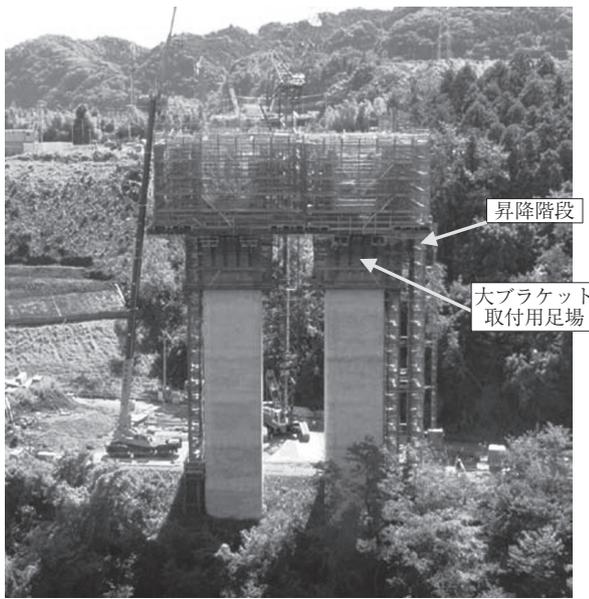


写真-5 P1柱頭部足場

柱頭部は一般的な大ブラケット支保工で施工した。本工事では上下線の隣接する柱頭部を同時施工するため、上下線間における大ブラケット上の敷桁の取合いが問題となる。半月程度先行する上り線の敷桁を長くし、上り線の移動作業車の下部作業床組立て時に下り線の敷桁が干渉しない構造とした。P2での施工状況を写真-6に示す。上り線の中分側張出し足場解体後は、下り線の張出し床版支保工にブラケット足場を設置して床版横締め緊張などの作業を行った。

4.3 側径間の先行施工

工程短縮のため側径間を分割施工し、端横桁を含む側径間の一部を固定支保工にて先行施工を行った。張出し架設終了後に移動作業車の型枠を用いて主桁を閉合した。図-4に施工ステップ図を、写真-7に先行施工状況写真を示す。先行施工にあたっては、後述する3次元モデルを活用してシミュレーションすることで、事前に干渉などの課題を解決し、工程を確保した。側径間の先行施工により、2週間程度の全体工程短縮をすることができた。

4.4 移動作業車による中央閉合

工程短縮のため移動作業車を利用して中央閉合を行った。図-5に施工ステップ図を、写真-8に状況写真を示す。中央閉合は吊支保工で設計されており、主桁のモーメント調整のためにコンクリート打設時には移動作業車を

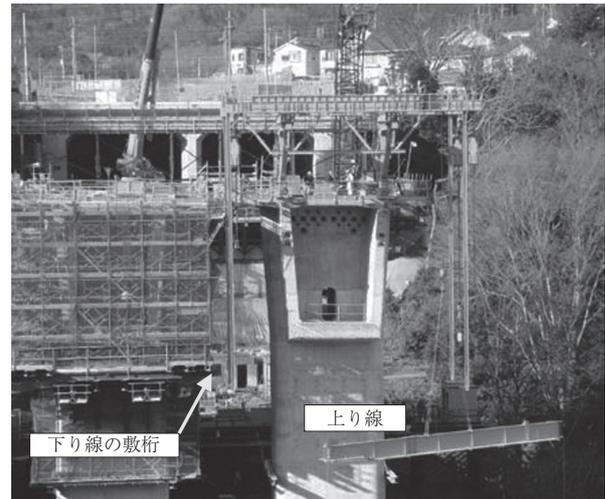
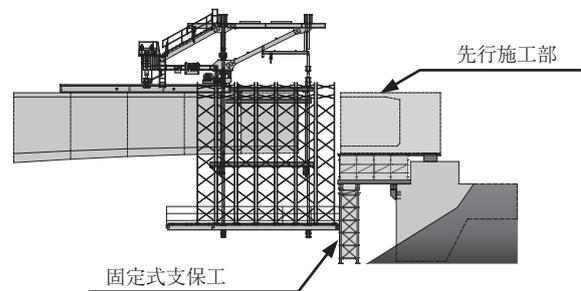
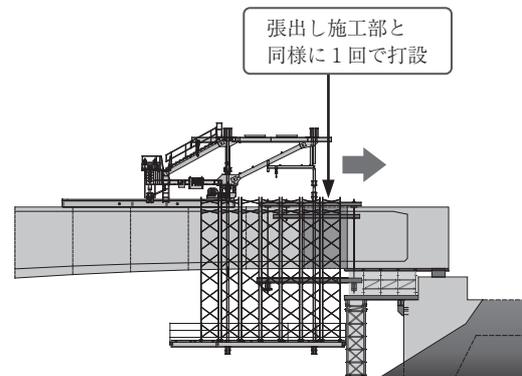


写真-6 P2上り線移動作業車組立て状況



STEP-1 張出し施工と同時に側径間の一部を構築



STEP-2 移動作業車の型枠を用いて側径間閉合

図-4 側径間施工ステップ図

一度後退させ、解体時に再度迎えに行く計画とした。中央閉合に移動作業車を活用することにより全体工程を10日間程度短縮するとともに、高所作業を減らして安全性を向上することができた。

中央閉合終了後、上り線の移動作業車はP1橋脚に後退して解体した。下り線の移動作業車はP2橋脚に後退せずに施工ヤードが広いP1橋脚に前進して解体を行った。



写真 - 7 側径間先行施工状況



写真 - 8 中央閉合施工状況

5. 施工における品質管理

5.1 上げ越し管理

片持ち張出し架設工法においては、施工の進行とともに主桁が変形するため、あらかじめ変形量を予測してそれを補うように主桁の施工時の高さを設定する。本橋は、①最大張出し長 92.5 m、②部分拡幅、③2次張出し、④カウンターウェイトによる調整といった特徴を有しており、橋面高さの管理が非常に重要な品質管理項目であった。

具体的な計算結果を示すと、拡幅アンバランスを有する上り線の上げ越し量の最大値は 167.6 mm であり、最大張出し時のコンクリート自重により左右で 44.8 mm のたわみ差を生じる。また下り線においては、2次張出し時のコンクリート自重によるたわみ量が 44.0 mm となっている。

弾性変形量の大きさと長支間で施工期間が長くなることが施工時クリープに与える影響も無視できず、出来形基準「±20 mm」に収めるためには、それを適切に把握する必要があった。

そのため、施工に先立ち、使用するコンクリート材料による圧縮クリープ試験を実施し、道路橋示方書（以下、道示）による計算値と試験値を比較して上げ越し量への影響を検討した。圧縮クリープ試験は JIS A 1157 に準じて行

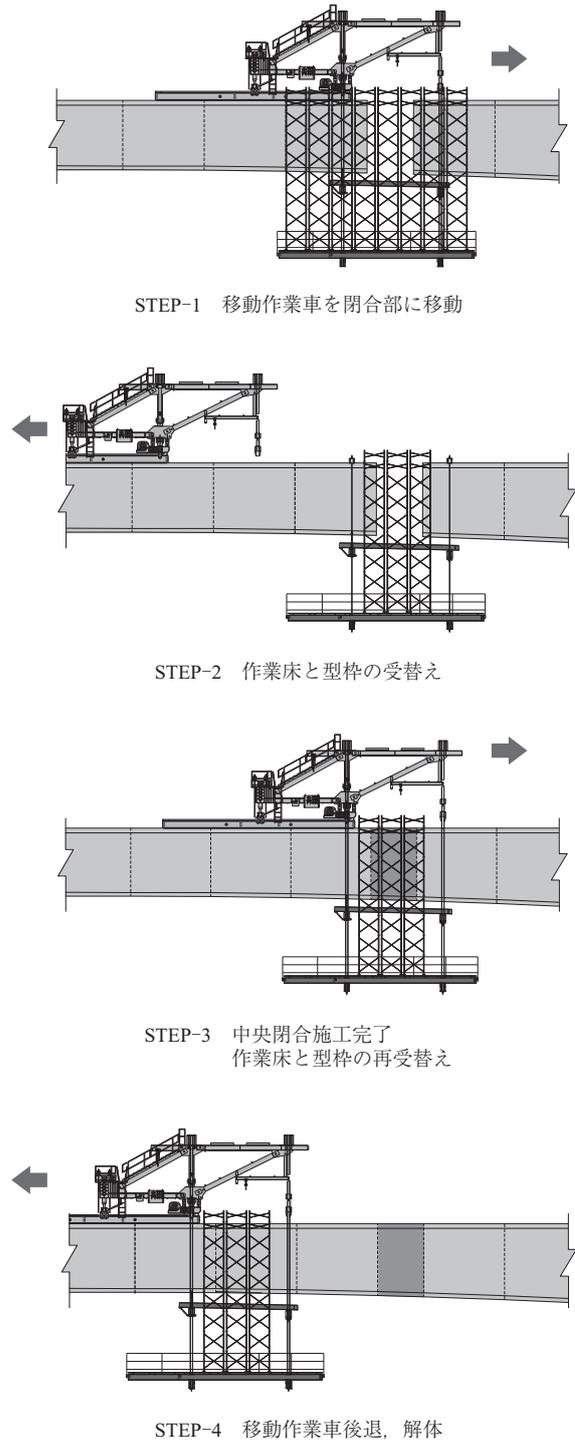


図 - 5 中央閉合施工ステップ図

い、試験期間は施工開始までの期間を考慮して6カ月とした。詳細は割愛するが、6カ月時点における試験から求めたクリープ係数は道示式の約55%と小さいものであった。この試験結果から、施工時の上げ越し量を求めたのが図-6である。上記検討結果を踏まえ、計算値の-10mmを目標に施工を進めることとした。さらに、移動作業車の変形や日射の影響を適宜補正し計算にフィードバックすることで、橋面工完成時の橋面高さは出来形基準の計画値内に収まっている。

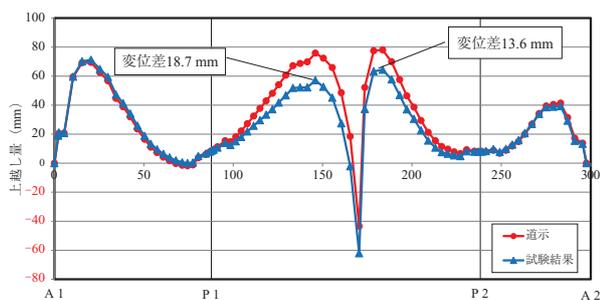


図 - 6 上げ越し量 (試験値と道示の比較)

5.2 断面形状変化位置における施工時構造検討

上り線 P1 の右張出しでは、2 室箱桁から 1 室箱桁に断面形状が変化するため、9 BL において中間ウェブがなくなる。この部分は完成形では横桁が配置されるが、移動作業車の桁内支保工と干渉するため、主桁と横桁を同時に打設することができない。そのため、中間ウェブ縁端部での応力集中による床版のひび割れが懸念された。

そこで、右張出しは 2 主構の移動作業車 (表 - 1) を使用し、外側ウェブで主体的に荷重を負担させ、桁内支保工が干渉しない段階で早期に横桁を施工するとともに、それまでの構造安全性を確保するために FEM 解析による補強方法の検討を行った。

解析結果を図 - 7 に示す。PC 部材である上床版は主ケーブルおよび横締めケーブルによるプレストレスにより、応力が相殺されるため、用心鉄筋の配置のみとした。RC 部材のウェブおよび下床版は、発生する引張応力に対して補強鉄筋を配置した。

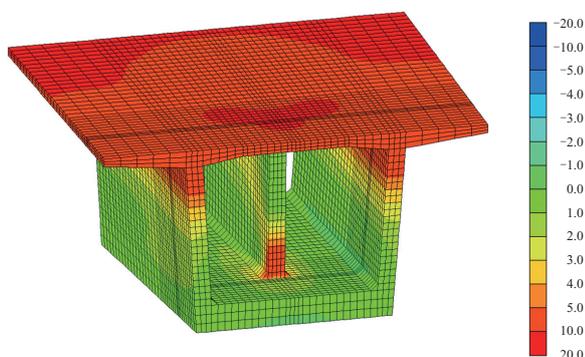


図 - 7 P1-9 BL の FEM 解析結果

5.3 側径間先行施工部の施工

側径間先行施工部は、厚さ 2.85 m の端支点横桁を含むマスコンクリートとなっている。内部拘束型の温度ひび割れを防止するため、当初設計仕様の早強セメントから普通セメントに膨張材 (20 kg/m³) を添加した配合に変更した。さらに偏向管と落橋防止装置用のダクトを利用してエアクーリングを打設後 3 日間行い、水和熱による横桁内部の温度上昇を抑制した。その結果、有害なひび割れのない躯体を構築することができた。

5.4 閉合部の施工

中央閉合部および側径間閉合部は両端を拘束され、ひび

割れが懸念されたため、早強コンクリートに膨張材 (20 kg/m³) を添加した配合を使用した。これによりひび割れのない閉合部を施工することができた。

6. 左岸側 (A2 側) の課題に対する取組み

6.1 柱頭部支保工

先に述べたように、柱頭部の施工開始から約 2.5 カ月は城山トンネルを使用できず、狭い発電所管理用道路しか進入路はない。大ブラケット支保工に使用する敷桁の H 鋼は 15 m の長さが必要となるが、7.5 m の桁を中型車で搬入し、P2 構台上でボルト接合する計画とした。

また、接合した 15 m の H 鋼は約 2.6 t の重量があり、進入可能な 25 t ラフタークレーンでは川側に配置する計画の H 鋼 5 本が作業半径の関係で架設することができない。そこで H 鋼を 25 t ラフタークレーンで大ブラケット上の橋脚近くに載せて、横取り装置を用いて所定の位置に設置した。



写真 - 9 H 鋼横取り状況

6.2 柱頭部の打設

津久井発電所の管理用道路はポンプ車も生コン車も進入可能であるが、隣接する城山高校の通学時間に配慮し、通行可能時間帯を 9 時以降と設定した。第 1 ロットで約 250 m³ と打設数量の多い柱頭部は、9 時以降の開始では打設終了が遅くなり近隣住人に多大な迷惑をかける懸念があった。そのため、城山トンネルからコンクリートを搬入し、A2 仮設構台上に配置した別のポンプ車から P2 構台上のポンプ車にコンクリートを圧送中継し、P2 構台上のポンプ車はブーム操作のみとした。その結果、朝 7 時過ぎからコンクリート打設を開始することが可能となり、無事に施工を終えることができた。図 - 8 に P2 柱頭部のコンクリート圧送計画図を示す。

6.3 移動作業車の組立用クレーンの搬入

P2 橋脚での大型移動作業車の組立てには、最低でも 65 t クローラークレーンが必要であった。発電所の管理用道路から搬入はできないので、城山トンネルから搬入し、A2 仮設構台上に配置した 250 t 油圧クレーンで P2 仮設構台上に降ろす計画とした。既設の A2 仮設構台は当初計

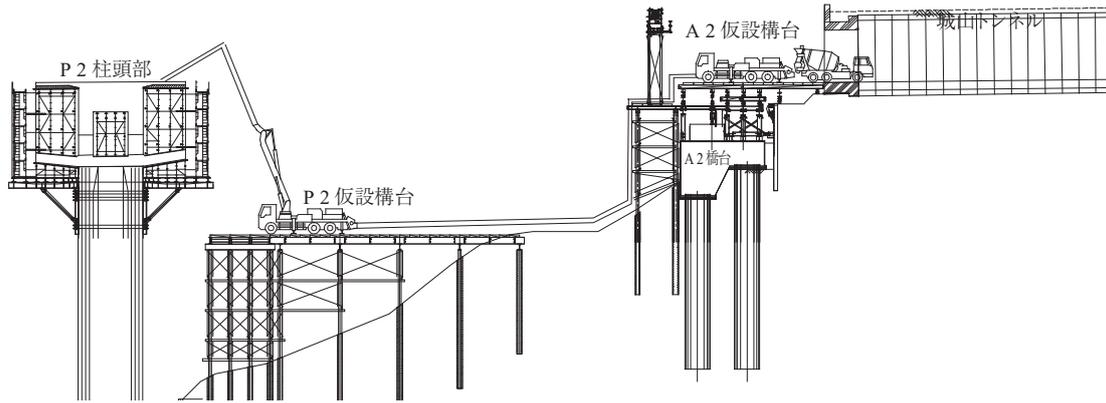


図 - 8 P2 柱頭部コンクリート圧送計画図

画では 250 t 油圧クレーンの使用を想定していなかったため、構台の補強を行ったのち、65 t クローラークレーンをベースマシン、カウンターウェイト、ブームに分割して揚重し、P2 仮設構台上で組立てを行った。写真 - 10 に 65 t クローラークレーンの揚重作業状況を示す。なお、A2 仮設構台の補強の際、のちのウイング施工時に干渉する部分を先行して解体できるように部材の組替えを行っていた。



写真 - 10 65 t クローラークレーン揚重作業状況

移動作業車組立て後は、250 t 油圧クレーンで 65 t クローラークレーンを A2 仮設構台上に荷揚げし、城山トンネルから搬出した。その後の資材の揚重は、25 t ラフタークレーンで行った。

6.4 資材の 2 次運搬

P2 仮設構台は非常に狭いため、資材を置くスペースが十分ではない。そこで鉄筋等の資材は城山トンネル上部のヤードに搬入仮置き、必要ときに 4 t ユニックで 2 次運搬して対応した。

6.5 A2 土工部の施工

写真 - 2、図 - 8 に示すように、A2 仮設構台の橋台前面側と下水切回し管受構台を解体しないと移動作業車が干渉して 11 BL 以降の張出し架設ができない。そこで城山トンネル工事が竣工してまもなく、下水管を復旧するために必要な抗口の軽量盛土・L 型擁壁→下水の本復旧→下水切

回し管と受構台の解体の順に施工を行った。次に移動作業車と干渉する A2 仮設構台の前面側と一緒にウイング干渉部分も解体して、ウイングの構築に着手した。残置した中央部の構台はその後も作業ヤードとして活用した。

その後、重力式擁壁の構築、仮設土留め撤去、法枠工・パラベット構築、橋台背面裏込・洗浄排水工事を順次施工し、無事に上部工完成の半月後に A2 土工部を中日本高速道路(株)に引渡しすることができた。写真 - 11、12 に A2 土工部の施工状況を示す。

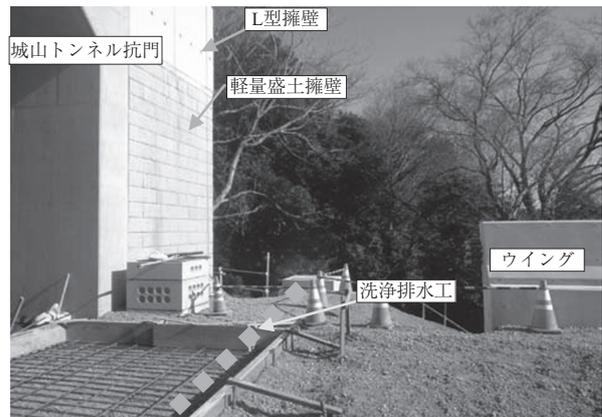


写真 - 11 上り線 A2 土工部の施工状況



写真 - 12 下り線 A2 土工部の施工状況

7. CIM の取組みについて

本工事において、CIM（Construction Information Modeling）を施工管理に活用し、その効果を確認した。ここでは紙面の制約上、側径間の事例を中心に紹介する。

側径間の端横桁部は、鉄筋やPC鋼材・偏向管、支承や落橋防止装置などが輻輳する複雑な部位である。図-9に端横桁部の3次元モデル出力例を示す。事前に干渉している部材がないかどうか確認することにより作業効率を向上することができる。また作業員に対しても2次元の平面図（一般に、鉄筋とPC鋼材と付属物は、それぞれ別の図面である）で説明するのに対して、3次元モデル（鉄筋、PC、付属物をすべて含む）を活用してビジュアルに説明することができるため、理解が早く正確になる効果があった。作成した3次元モデルをタブレット型端末に取り込めば、事務所だけでなく現場でも作業員と細かな取合いを画面上で確認できるのは非常に有効であった（写真-13）。

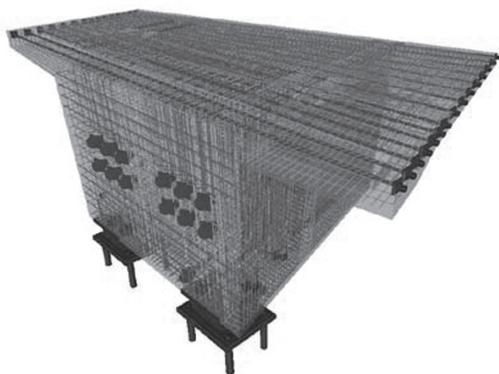


図 - 9 側径間の3次元出力例



写真 - 13 タブレット型端末を使用して現場で打合せ

本工事では、施工段階においてゼロから3次元モデルを作成したため時間と費用を要したが、設計段階で3次元モデルが作成されるようになれば、そこに施工関連データを追加していくことで、CIMがより身近な存在となり、活

用の幅が広がるのではないかと思う。

8. おわりに

城山橋上部工事は本稿執筆時点ですでに完成しており（写真-14, 15）、国土交通省から引渡しを受けた中日本高速道路(株)が開通に向けて舗装や遮音壁等の工事を進め



写真 - 14 完成写真



写真 - 15 完成写真

ている。

本稿で報告した長大支間を有するPC箱桁橋の施工例とCIMの活用事例が今後の類似の工事の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の施工を実施するに当たり、ご指導およびご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐久間博之, 大賀 猛: 張出し架設工法による急速施工とCIMの活用 - さがみ縦貫道路城山橋(相模川橋)上部工事 -, 土木施工, Vol.54, No.12 (2013.12)
- 2) 佐久間博之, 大賀 猛, 古賀裕史, 平原毅: さがみ縦貫城山橋(仮称相模川橋)上部工事の施工 - 橋梁と基礎, Vol.48, No.3 (2014.3)

【2014年6月20日受付】