

十津川道路 今戸高架橋の施工

友成 弘樹*1・高松 忠夫*2・吉田 真司*3・山下 亮*4

奈良県に位置する一般国道 168 号は、奈良県の五條市から和歌山県の新宮市を結ぶ道路である。この道路は五條市と新宮市の間に位置する十津川村にとって、生活を支える重要な道路である。また、十津川村周辺には多くの温泉や世界遺産である「紀伊山地の霊場と参詣道」があり、外国人観光者も年々増加している。

一般国道 168 号は、急峻な山間部を切り開いた道路であるため、道路幅も狭く急カーブも多い道路であった。そこで、走行性の向上・移動時間の短縮・地域間の活性化を目的に、国道 168 号の改良が行われてきた。

本稿は一般国道 168 号の一部である十津川道路の整備事業に含まれている今戸高架橋上部工事について報告するものである。本工事では橋脚施工において工程短縮を図り、夏季に施工した脚頭部および柱頭部では品質向上のためパイプクーリングを実施した。橋台法面工事においては、急峻な現場状況に対応するため、特殊な施工方法を採用した。上部工施工では、曲線橋に起因するねじりによる回転変位量に留意しながら出来形管理を行った。工程短縮を目的に埋設型枠を用いた壁高欄施工では、施工に先立ち埋設型枠を用いた壁高欄の実物大試験を行うことで、問題点の洗い出しとその対策を行った。

キーワード：張出し施工、箱桁橋、曲線橋、法面工事、埋設型枠

1. はじめに

十津川道路今戸高架橋は、奈良県五條市と和歌山県新宮市を結ぶ国道 168 号(図 - 1)に位置する PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋である。十津川道路は全長 6.0 km で、その内 4.3 km 区間は平成 23 年 9 月から供用されている。本橋は残りの 1.7 km の工区に属し、施工中の豆市トンネルと供用済の高架橋(こちらも今戸高架橋と呼ばれている)を接続するものである(図 - 2)。本工事では、橋脚・上部工とトンネル開通後に施工する予定である A1 橋台法面の掘削・補強工事が施工範囲であった。

本稿では、橋脚部の施工に対して行った工期短縮方法と、脚頭部および柱頭部の品質向上対策、急峻な現場状況に対応した法面工事について述べる。また、75.5 m の長い張出し長と平面曲線 $R=200\text{m}$ を有している上部工の出来形管理(上げ越し管理)を行ううえで懸念された、ねじりによって生じる主桁の変位の挙動を確認するために実施した検討と計測結果、さらに、壁高欄施工の工期短縮に用いた埋設型枠による施工時の問題点とその対応策について報告する。

2. 工事概要

本橋の橋梁諸元および橋梁一般図を表 - 1 および図 - 3 に示す。本橋は河川内における工事であるため、上部工の施工は移動作業車を用いた張出し施工によって行っている。

A1-P1 径間は A1 側へ張出し施工が進むにつれて幅員が減少していくため、移動作業車にはスライド装置を設けて、幅員変化に対応した。



図 - 1 十津川道路 位置図(事業パンフレットより)

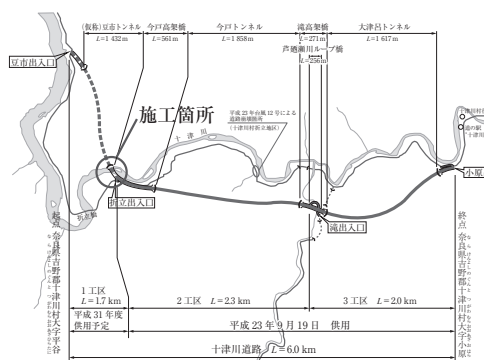


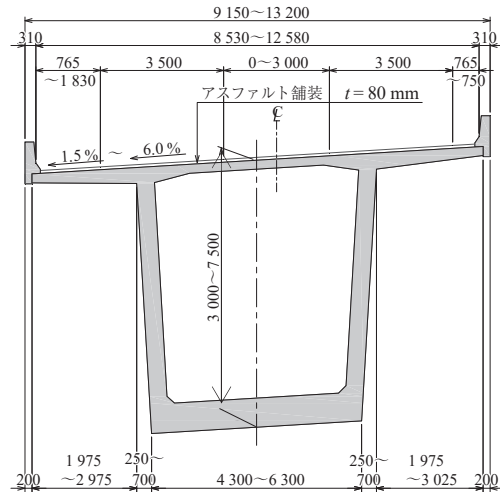
図 - 2 十津川道路 整備事業概略図(事業パンフレットより)

*1 Hiroki TOMONARI : (株) IHI インフラ建設 橋梁事業部 技術部 PC 橋グループ
 *2 Tadao TAKAMATSU : (株) IHI インフラ建設 橋梁事業部 橋梁工事 2 部 PC 工事グループ
 *3 Shinji YOSHIDA : (株) IHI インフラ建設 橋梁事業部 橋梁工事 2 部 PC 工事グループ
 *4 Ryo YAMASHITA : (株) IHI インフラ建設 橋梁事業部 技術部 PC 橋グループ 課長

表 - 1 今戸高架橋の諸元

工事名	十津川道路今戸高架橋上下部工事
構造形式	PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋
橋長	172.300 m
支間長	91.200 m + 79.200 m
桁高	3.000 m ~ 7.500 m
有効幅員	8.530 m ~ 12.580 m
平面曲線	$R = \infty \sim A = +100 \sim R = 200$
縦断勾配	1.400 %
横断勾配	1.500 % (拌み勾配) ~ 6.000 % (片勾配)
架設工法	張出し架設

【断面図】



【平面図】

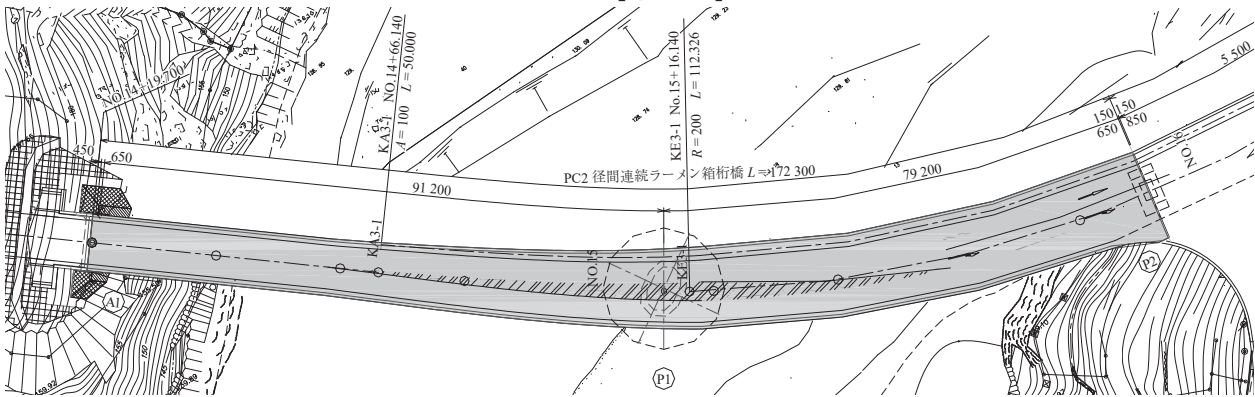


図 - 3 橋梁一般図

3. 下部工施工の概要

3.1 橋脚施工における課題と対策

本橋の施工は2017年2月に開始され、張出し架設を2017年8月より開始する計画であった。そのため、橋脚部および柱頭部の施工を河川の渇水期中の6月までに完了させる必要があったが、各リフトごとに足場を組んで進める従来の施工方法では渇水期中の施工完了が困難であった。そこで、対応策として橋脚部の型枠と鉄筋組立てにおいて採用した工程短縮方法を以下に示す。

(1) 型枠組立てにおける工程短縮

橋脚の施工には型枠と作業足場を一体化したシステムを用いた。作業足場および型枠をリフトアップして使用できるため、次施工への移行期間を短縮して橋脚を施工することが可能となった(写真-1, 図-4)。本施工方法により、従来工法と比較して約20日間短縮することができた。

(2) 鉄筋組立てにおける工程短縮

本橋の橋脚は小判形の中空断面であり、組立てに用いる鉄筋を橋脚上に仮置きすることができないため、鉄筋組立てには時間を要することが懸念された。そこで橋脚鉄筋を地上で組み立て、橋脚内に吊り入れる施工方法を採用した(写真-2)。

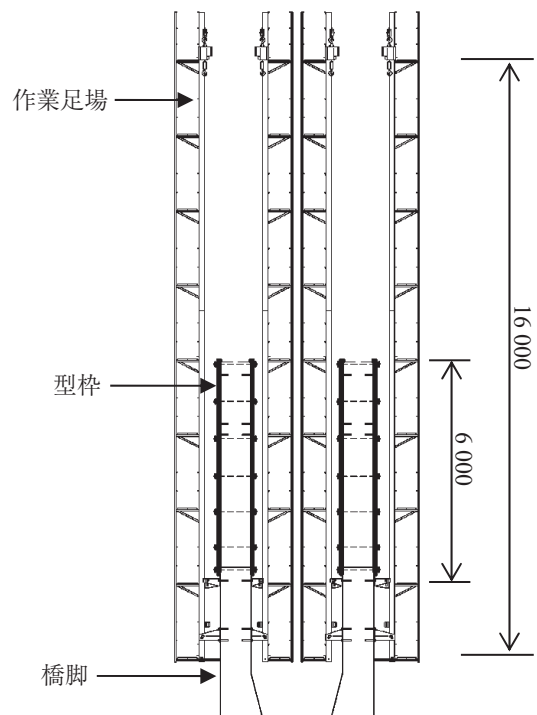
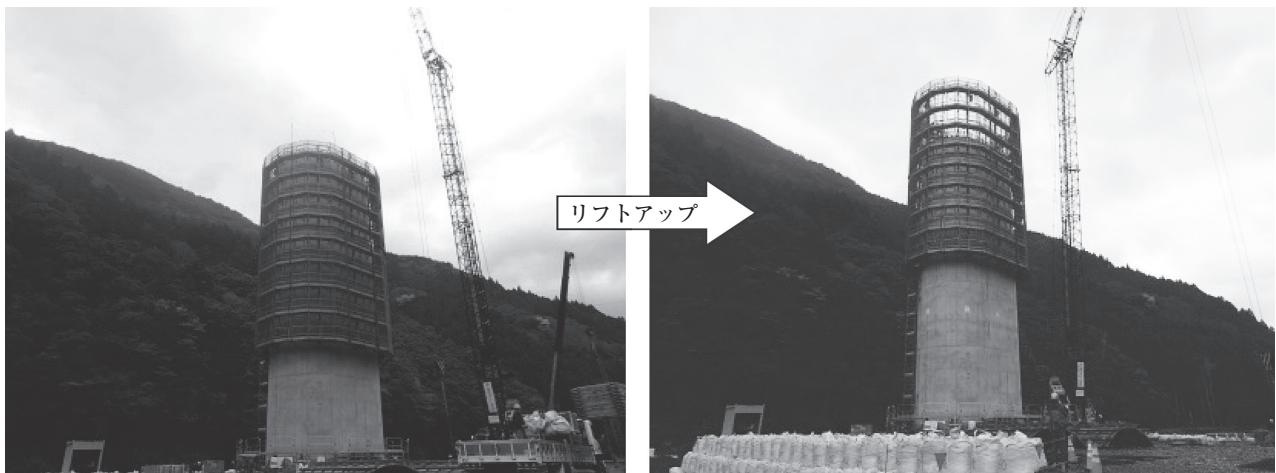


図 - 4 橋脚施工システム概念図



(a) 型枠リフトアップ前

(b) 型枠リフトアップ後

写真 - 1 型枠リフトアップ状況

鉄筋組立てにおいて、橋脚主鉄筋の配置間隔を模した器具（配置間隔定規，図 - 5）を用いて、帯鉄筋に主鉄筋位置の印を付けた。これにより、帯鉄筋のフックと橋脚主鉄筋の干渉が生じないように組み立てることが可能となり、吊入れ時の作業性が向上した。地上での組立てにより、鉄筋組立てを先行して実施することが可能となり工程短縮に繋がった。本施工方法により約 10 日間短縮することができた。

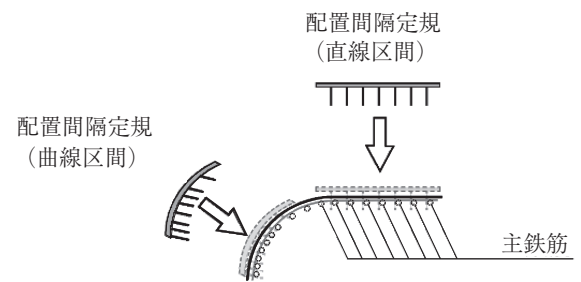
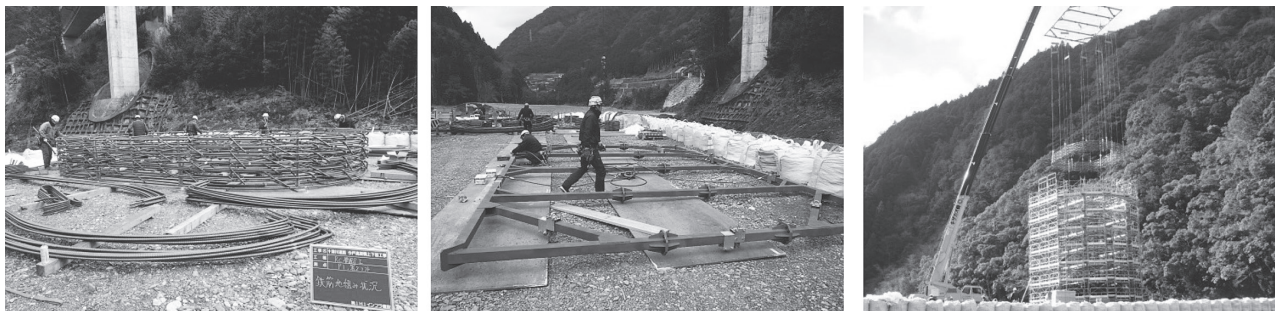


図 - 5 配置間隔定規概念図



(a) 地上での鉄筋組立て状況

(b) 鉄筋吊呂具

(c) 鉄筋吊入れ状況

写真 - 2 鉄筋組立て状況

3.2 脚頭部および柱頭部における課題と対策

脚頭部および柱頭部はそれぞれ充実断面・2枚壁構造によるマスコンクリート構造であった。そのためセメント水和熱に起因する温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、脚頭部および柱頭部でパイプクーリング養生を行うことで、品質向上を計画した。パイプクーリング養生を計画するにあたり、温度応力解析を実施し、パイプの配置の決定ならびに温度応力の低減効果を推測した。

(1) 解析モデルと解析結果

パイプクーリング養生の解析におけるパイプ配置と解析結果を図 - 6 および図 - 7 に示す。解析結果より、パイプの配置間隔を 500 mm × 500 mm 程度で配置することで、水和発熱量を約 20% 低減することが可能となることを確認した。

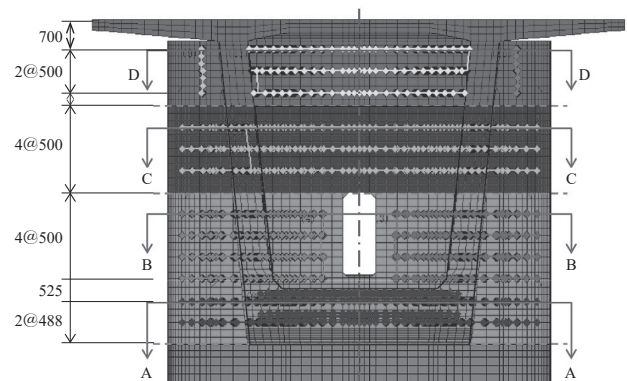


図 - 6 FEM 解析におけるパイプ配置図

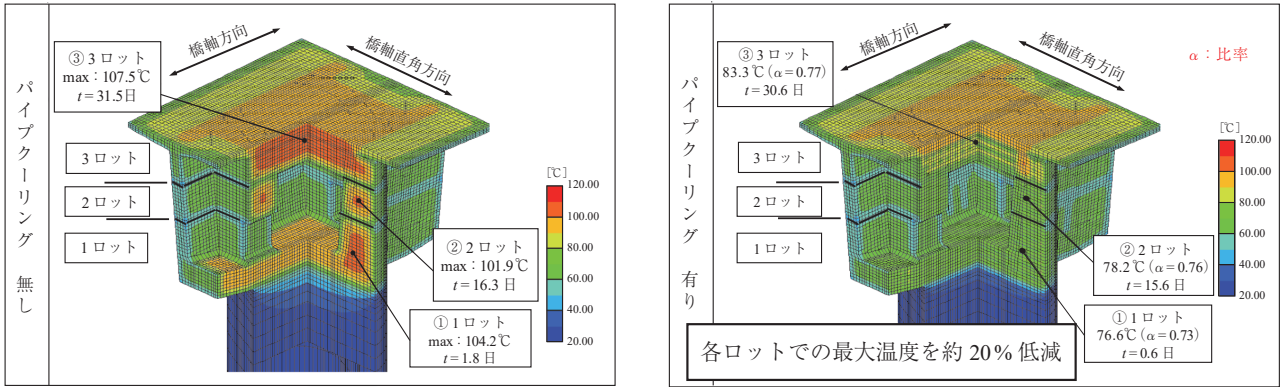


図 - 7 解析結果 (最大温度コンター図)

(2) 解析結果の検証

パイプは鉄筋組立て時の損傷を防ぐため、構造鉄筋と干渉しないように、配筋図上でパイプの配置を計画した。解析結果の妥当性を検証するため、表面と内部に熱電対を設置し(写真-3)、パイプクーリング養生期間の構造物の温度を計測した。図-8に温度計測結果を示す。温度計測は打設後7日間行った。計測結果は解析結果とほぼ同じ挙動が得られた。懸念された温度ひび割れの発生は確認されなかった。したがって、パイプクーリング養生によって、マスコンクリート構造である脚頭部および柱頭部の温度応力の低減ができ、品質向上に繋がったと考えられる。



写真 - 3 熱電対設置状況

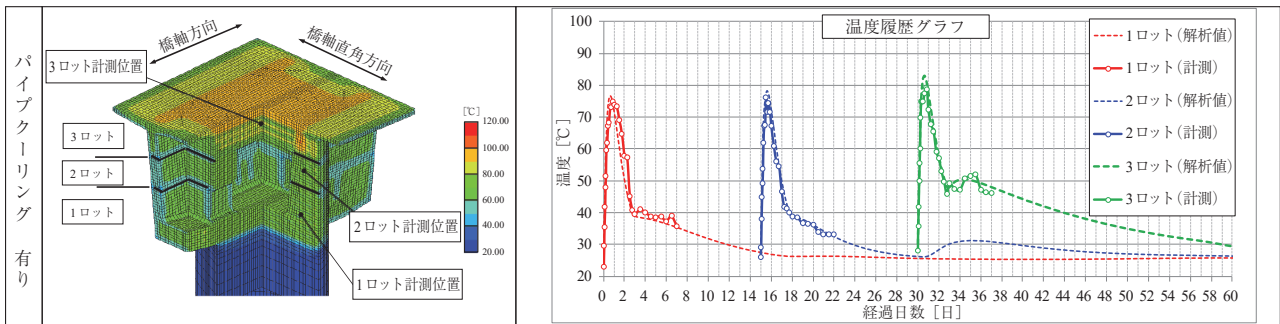


図 - 8 計測結果と解析結果の比較グラフ

3.3 A1 橋台法面工における課題と対策

今戸高架橋のA1橋台は、2017年11月から始まる渇水期に、トンネル施工業者が深礎杭基礎の施工から橋台本体の施工を実施する計画であった。基礎の施工に先立って、A1橋台の法面の掘削および改良が必要であり、本工事において施工することになった。しかし、出水期まで期間が短く、河川内の杭打ち工事ができないことから、当初想定していた、河川内に施工用の構台を設置して法面を掘削する計画を変更する必要がある。そこで、施工工程が河川状況の影響を受けないような工法にて法面掘削を行うことが課題であった。

写真-4に法面工開始前の状況写真を示す。写真に示されるように、施工箇所は急峻な場所であった。渇水期間中に施工箇所の表層の樹木は、河川内から作業して取り除いた。



写真 - 4 法面工開始前状況

(1) A1 橋台法面掘削工

河川内に施工用足場として構台設置が不要で、急峻な掘削工事が可能となる工法として、掘削機械を吊下げて行う工法を採用した。吊下げには掘削箇所上部の2箇所の立木をアンカーとして用いた。立木アンカーの強度試験では掘削機械重量の1.5倍の荷重を載荷し、立木周辺の地盤および根株が健全であることを確認した(写真-5)。また、掘削機械は遠隔操作が可能であるため、安全面の観点も踏まえ、本工事に適用した。掘削状況を写真-6に示す。

(2) A1 橋台改良工

法面の掘削が完了したのち、法面の安定のために鉄筋やPC鋼棒を補強材として法面に挿入し、法面表面に吹き付け工を行った。

法面掘削工において、施工工程が河川状況の影響を受けない工法を選択したことで、A1橋台法面掘削工および改良工を出水期中に完了し、渇水期からのA1橋台施工の開始に間に合うことができた(写真-7)。



写真 - 5 立木アンカー引張強度試験状況



写真 - 6 遠隔操作による掘削状況



写真 - 7 A1 橋台法面工完了状況

4. 上部工施工の概要

4.1 上部工の上げ越し管理

本橋は図-3で示したように、P1-P2間は平面曲線半径が200mである。そのため、曲線区間に生じるねじりによって、主桁断面は構造中心位置を中心に回転し、主桁天端の構造中心位置と張出し床版先端位置で変位差(回転変位量)が生じることが予想された。大きな回転変位量が発

生する場合、橋面高の出来形に影響するので、本橋ではねじりによる回転変位量を算出した。

(1) 検討モデルと荷重ケース

検討には架設時をモデル化した立体格子モデルを用いた。回転変位量算出の荷重ケースは図-9に示す①主桁自重②架設ケーブルによる橋軸方向プレストレス③橋軸方向プレストレスによって生じる腹圧力によるトルクの3ケースを考慮した。③は架設ケーブルによる腹圧力が断面図心から偏心していることで発生する荷重と考え、平面曲線を有するP1-P2径間の部材のみに載荷して回転変位量を算出した。

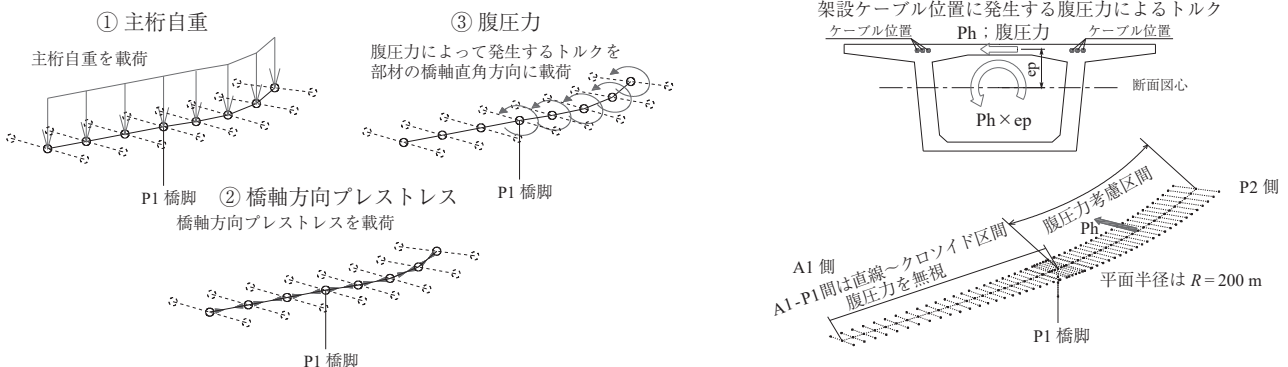


図 - 9 載荷荷重概念図

(2) 検討結果

変形図の一例として腹圧力トルクによる変形図を図 - 10 に示す。また、主桁天端での構造中心位置と右側張出し床版先端位置との変位差(右側回転変位置)を図 - 11 に示す。A1 - P1 径間は直線からクロソイドの平面線形を有しているため、P1 - A2 径間と比較して、ねじりによる回転変位置は小さい結果となった。主桁自重および腹圧力によって P1 橋脚には橋軸直角方向の橋脚の変形が生じることで、橋梁全体に回転変位置が生じている。主桁自重により生じる右側回転変位置は、P1 - P2 径間で最大で 7 mm 発生し、想定した荷重の中で最大となった。腹圧力により生じる右側回転変位置は、同じく P1 - P2 径間で最大で 4 mm 生じており、回転変位置の合計値 12 mm に対して約 30% 占めている。なお、架設時に生じる回転変位は側径間施工後に緊張される連続ケーブルおよび外ケーブルの橋軸方向プレストレスにより緩和される。これは支点部付近を除く主桁断面において、連続・外ケーブルが断面図心より下縁側に配置されるため、架設ケーブルによって生じる腹圧力による回転変位を打消す方向に作用するからである。したがって、本橋の条件では架設時に回転変位が生じるものの、その影響は大きくないと判断した。

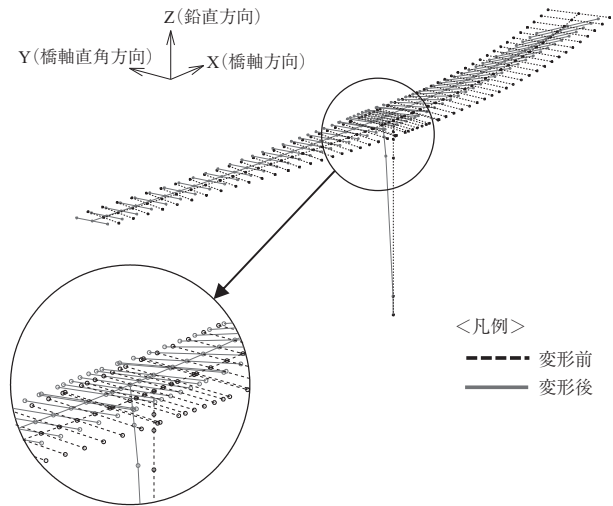


図 - 10 腹圧力トルクによる変形図

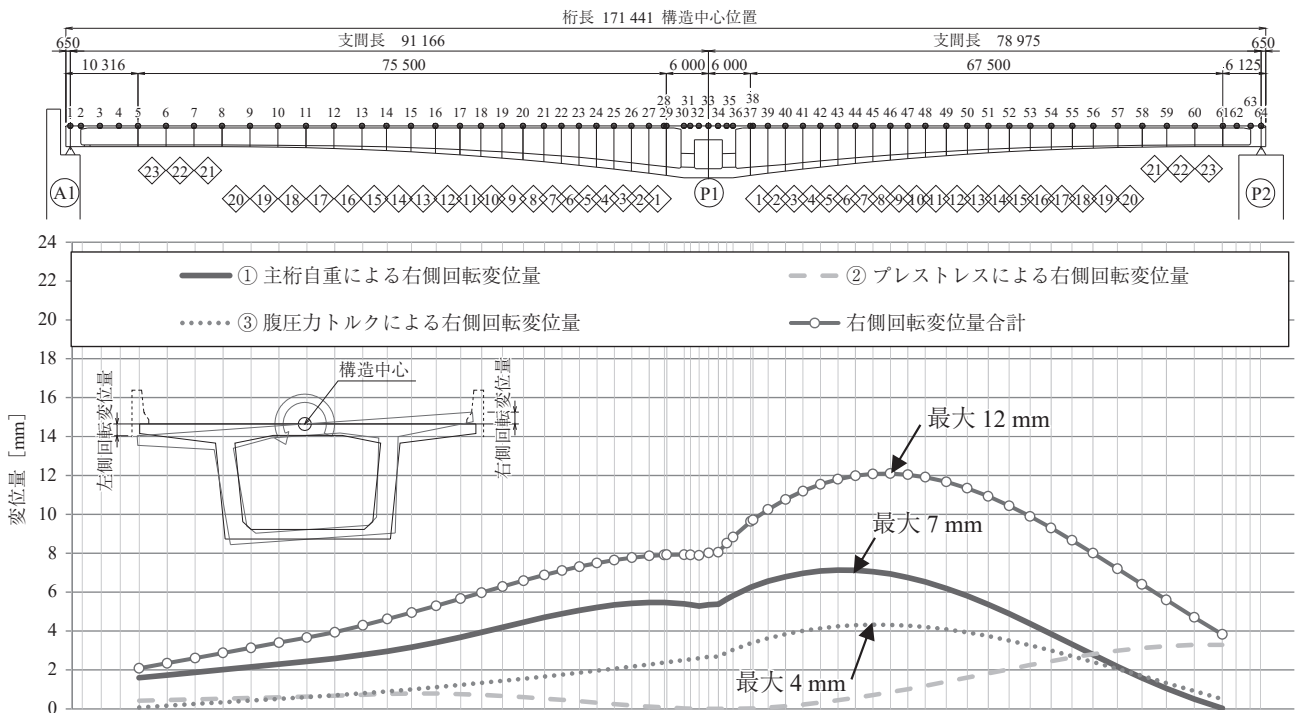


図 - 11 右側回転変位置図

(3) 解析結果の妥当性確認

解析結果の妥当性を確認するため、各張出しブロックの施工完了後に、構造中心位置と左右の壁高欄前面位置の計 3 点の高さ計測を実施した。図 - 12 に張出し施工時の回転変位置の計測結果と計算結果の比較を示す。発生した回転変位置は、計算値よりも全体的に小さな値となった。

予想していた回転変位置が生じなかった理由として、P1 橋脚の直角方向の曲げ変形が小さかったことが考えられる。上部工の高さ計測の際に、橋脚の水平移動量も計測したが、計算された値 15 mm に対して実測値は 10 mm 程度に収まったことから、P1 橋脚の直角方向の曲げ変形が小さかったことが要因の一つであると考えられる。

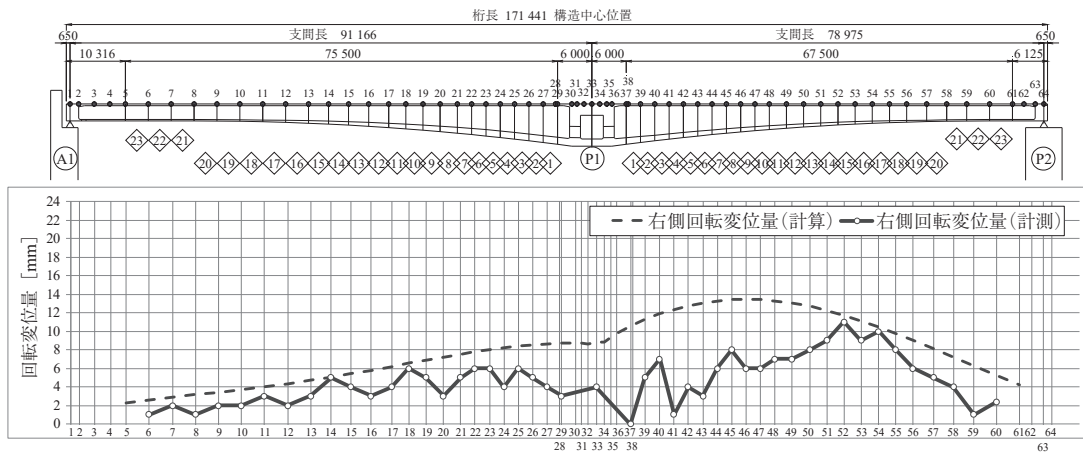


図 - 12 張出し施工完了時の右側回転変位量図 (計測結果)

4.2 埋設型枠を用いた壁高欄の施工

本橋では、壁高欄の工程短縮を目的に、埋設型枠を用いた壁高欄構造を採用した。施工に先立ち、現場にて主桁張出し床版を模した実物大模型を作成し、埋設型枠を用いた壁高欄の鉄筋組立て、コンクリート打設を行った (写真 - 8)。

実物大試験において、壁高欄のコンクリート打込み時に埋設型枠の橋軸直角方向外側への移動が確認された。また、埋設型枠の底面と張出し床版上面には、埋設型枠天端の高さ調整用に隙間を設けており、その隙間は養生テープを用いて塞いでいたが、実物大試験の結果からノロの流出抑制効果が期待できないことが判明した (写真 - 9)。埋設型枠の側面移動には、埋設型枠に付属しているずれ止め鉄筋の改良と、型枠支持構造を改良することで対応した。底面からのノロの流出には、セグメント桁の接合で用いられるエポキシ系の接着剤を塗布し、無収縮モルタルを充填して対応した (図 - 13)。

これらの対応により、埋設型枠を用いた壁高欄の施工を無事に完了することができた (写真 - 10)。

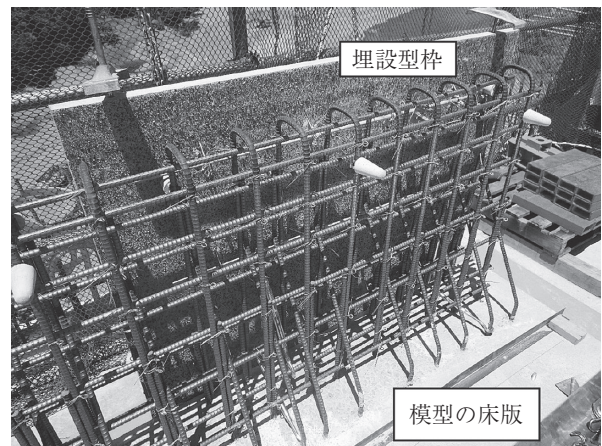


写真 - 8 実物大模型組立て状況



写真 - 9 実物大模型の打設後接続部状況

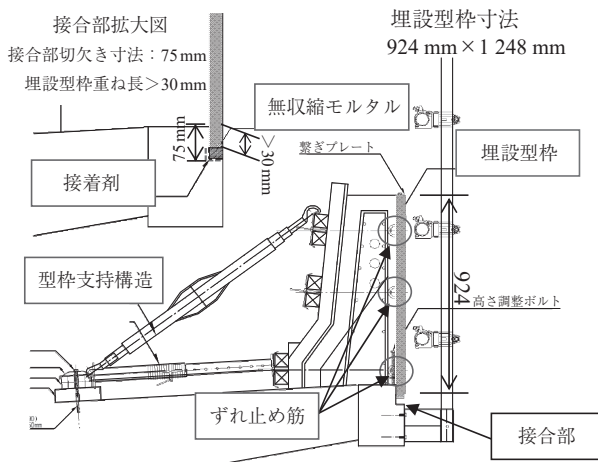


図 - 13 埋設型枠を用いた壁高欄構造図



写真 - 10 壁高欄施工完了後状況

5. おわりに

本工事は2017年2月に開始し、2019年1月に無事に工事を完了することができた(写真-11)。脚頭部の施工に始まり、壁高欄の施工まで、さまざまな工程短縮方法を用いることで、施工を進めてきた。とくに、もっとも工程に影響を与えると考えられた法面工において、想定どおりの工程で施工を完了できたことは、全体工程の短縮に大きく寄与したものとする。

また、本橋の特徴である曲線橋の影響を検討したねじりによる回転変位量の推定と現地計測の結果は、今後の同様

な張出し施工の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を無事に終えることができたことは、ご指導・ご協力いただいた皆様と関係各位の多大なる尽力の賜物であり、紙面をお借りして深く御礼を申し上げます。



写真 - 11 完成状況(平成31年1月撮影)

参考文献

- 1) 友成, 高松, 吉田: 十津川道路 今戸高架橋の施工, プレストレストコンクリート工学会 第27回シンポジウム論文集, p.157, 2018.11

【2019年2月28日受付】



新刊図書案内

PC 技術規準シリーズ

コンクリート橋・複合橋 保全マニュアル

2018年7月

定 価 7,344 円/送料 500 円

会員特価 6,200 円/送料 500 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会 編
技報堂出版