

国道 254 号富岡バイパス 新富岡大橋の施工

佐藤 孝*1・井上 大輔*2・時田 清一*3・高橋 学*4

本稿は、国道 254 号富岡バイパスのうち、一級河川鎗川を渡河する新富岡大橋（上り線）の工事報告である。対面通行にて供用中の既設橋に並走するように架設され、本橋完成後は上下線分離構造となる。

本橋は V 脚構造を有する橋長 189 m の 3 径間連続 PC 箱桁橋であり、P1 橋脚からの張出し架設部分が分割 1 号、P2 橋脚からの張出し架設部分および中央閉合が分割 2 号、側径間施工が分割 3 号として発注された。IHI インフラ建設・岩井建設 JV ではそのうち分割 1 号および分割 3 号を担当した。

本橋の視覚的特徴である V 脚は、RC 構造であるため鉄筋量が多く、斜角 85° を有するその形状特性から主桁との接続部では両者の鉄筋が複雑かつ過密に配置されている。本工事では 3 次元モデリングを活用し鉄筋やシース配置の可否、あきなどを確認し、事前シミュレーションで配置順序などを検討して、作業員への周知を行うことで現場作業の円滑化に取り組んだ。

ここでは、施工計画の段階での 3 次元モデリングの取組みと、品質向上を目指した施工について報告する。

キーワード：V 脚構造、3 次元モデリング、配置順序

1. はじめに

群馬県では、「群馬に活力・魅力を生み出す道路」の整備事業として図 - 1 に示す「群馬がはばたくための 7 つの交通軸構想」¹⁾を展開している。「群馬がはばたくための 7 つの交通軸構想」とは、各地域の自立促進と活性化を支援し、持続的にはばたける地域づくりを図るために、高速交通網の効果を県内すべての地域や産業の発展に活かせるよう高速交通網を補完する 7 つの交通軸の整備・強化を促進するものである。

本工事は、県央軸と群馬県西部地域を結ぶ西毛軸の主軸である国道 254 号バイパスの 4 車線化事業の一環として実施した橋梁工事である。

新富岡大橋（上り線）は、高崎市の南西に位置する富岡市内を流れる鎗川を渡河する既設橋に隣接して架設される



図 - 1 群馬がはばたくための 7 つの交通軸構想¹⁾

橋長 189 m の 3 径間連続 PC 箱桁橋で、特徴的な V 脚構造を有している。

本工事では、複雑な形状・配筋となっている RC 構造の V 脚と PC 箱桁の接続部において、群馬県が進める品質確保への取組み指導のもと、品質向上、現場作業の円滑化を目指して、3 次元モデリングを導入した。本稿では、施工計画の段階での 3 次元モデリングの取組みと施工時の活用、また V 脚部施工時を中心に、コンクリートの品質向上のために実施した対策について報告する。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。また、橋梁一般図を図 - 2 に、主桁断面図を図 - 3 に示す。

工 事 名：新富岡大橋（上り線）上部工工事（分割 1 号 2 号および 3 号）

工 期：平成 26 年 10 月～平成 28 年 4 月

発 注 者：群馬県

施 工 者：IHI インフラ建設・岩井建設 JV（分割 1 号および 3 号）

ピーエス三菱・廣木工業 JV（分割 2 号）

橋 長：189 000 m

支 間 長：64 750 m + 69 000 m + 53 750 m

幅 員：車道部 7 250 m 歩道部 3 000 m

構造形式：3 径間連続 PC 箱桁（V 脚構造）

斜 角：右 87° 30' ～ 85° 00'

架設工法：張出し架設工法（径間部）

吊支保工架設（中央径間閉合部）

固定支保工架設（側径間閉合部）

*1 Takashi SATOH：(株) IHI インフラ建設 PC 事業部 PC 工事業部

*2 Daisuke INOUE：岩井建設 (株) 土木部

*3 Seiichi TOKITA：群馬県甘楽富岡振興局 富岡土木事務所

*4 Manabu TAKAHASHI：群馬県甘楽富岡振興局 富岡土木事務所

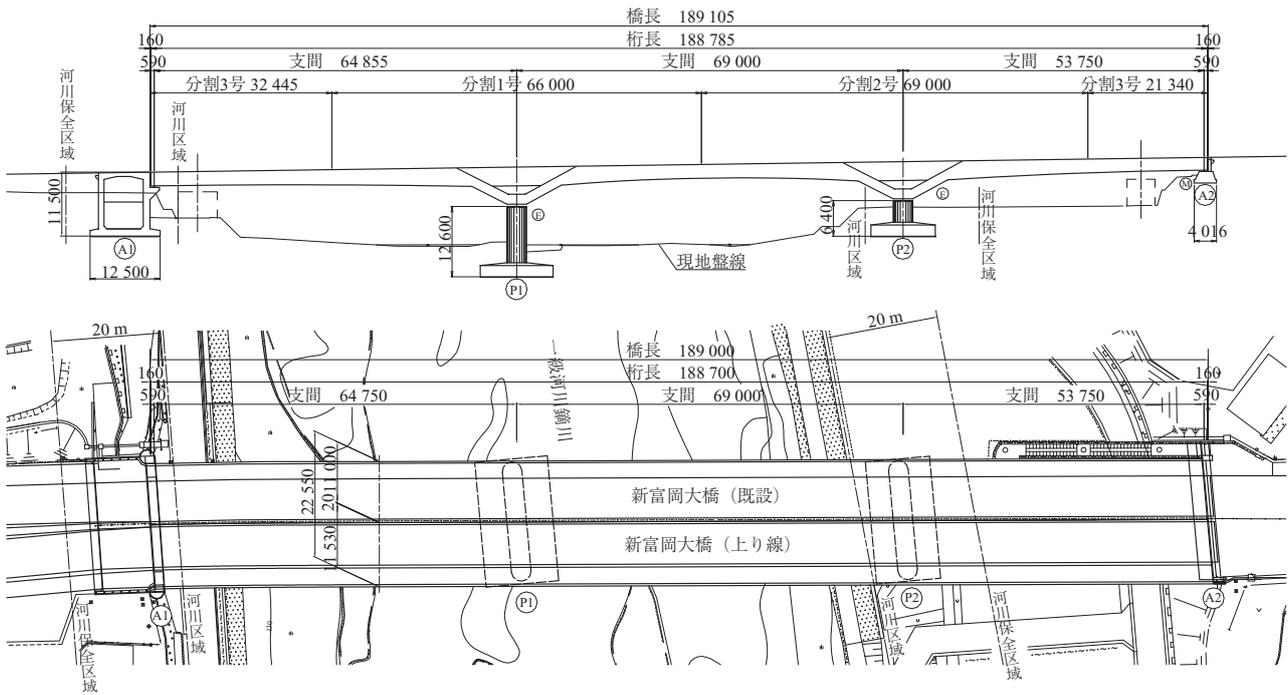


図 - 2 橋梁一般図

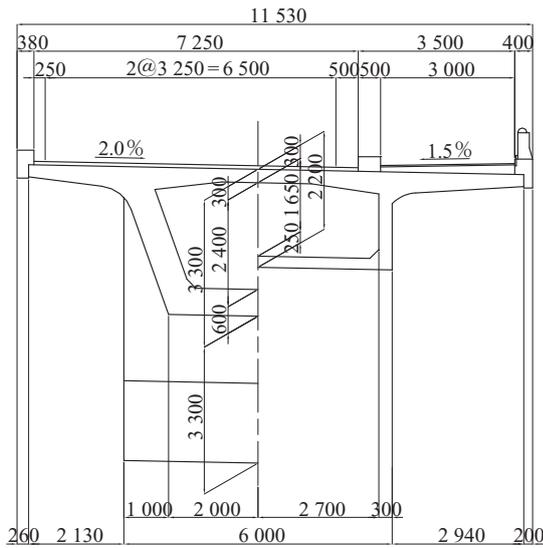


図 - 3 主桁断面図

P1からの張出し架設(柱頭部+7ブロック)が分割1号、P2からの張出し架設(柱頭部+7ブロック)と中央閉合が分割2号、側径間の固定支保工架設と連続ケーブルによるプレストレス導入が分割3号の施工範囲として発注された。支承工、伸縮装置工、排水装置工を除く橋梁付属物工と、橋面工は別途発注されている。IHI インフラ建設・岩井建設JVは、それらのうち、分割1号および3号を施工した。

3. 3次元モデリング

本橋の特徴であるV脚部の構造図を図-4に示す。柱頭部のV脚に挟まれた支点部では斜ウェブ断面、張出し

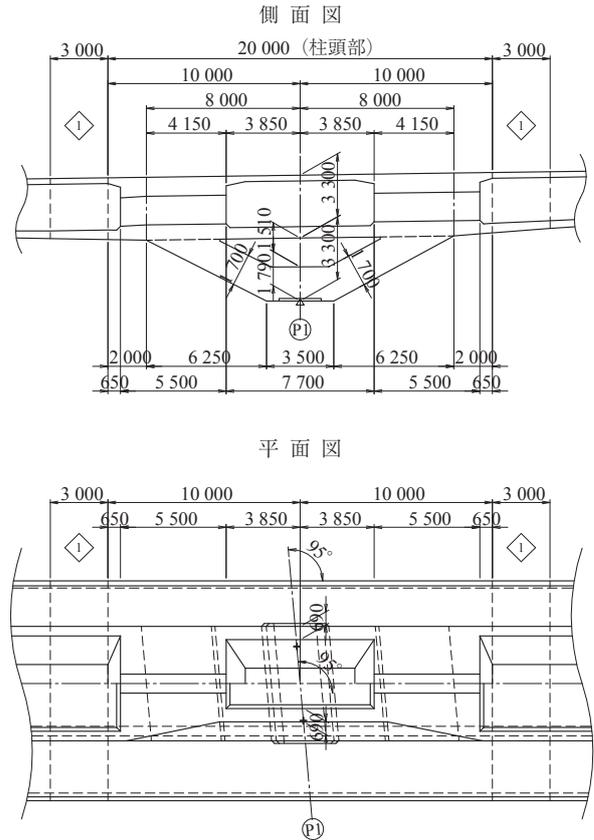


図 - 4 V脚部構造図

架設部では鉛直ウェブ、V脚と主桁の接合部間でウェブ角度の擦付けを行っている複雑な形状である(写真-1)。

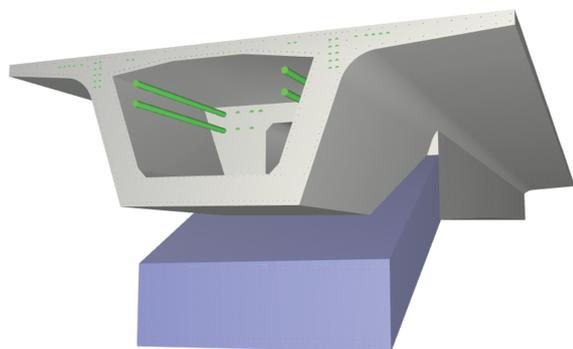
V脚部では、2段配置のD32主鉄筋、D22のスターラップに加え、基部の横締めPC鋼材、仮固定用鉛直PC鋼棒、



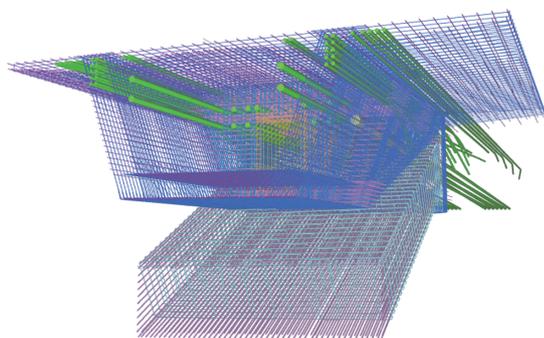
写真 - 1 既設橋 P1 部

支承アンカーバーなどが錯綜して配置されている。V脚と主桁が接合される柱頭部横桁はRC構造であり、鉄筋量が多いことに加え、斜ウェブから鉛直ウェブへの擦付け区間であるとともにV脚の主鉄筋が定着されている。さらには主方向内・外ケーブルが配置されている。いずれの部位も、配置される材料の種類、数量が多く、相互の干渉やあきの不足が懸念される。また、配筋図、PC鋼材配置図、付属物図面は別途作成され、相互の干渉に留意されていない場合には、実際の配置が不可能となることもある。これらの問題をクリアし、必要な材料を、適切なあきを確保しつつ、さらには配置順序に起因する作業手戻りを生じさせず施工を行うことが課題であった。

本工事では、照査完了後のV脚および柱頭部の図面を



(a) 全体モデル (柱頭部検討用)



(b) 鉄筋およびPC鋼材

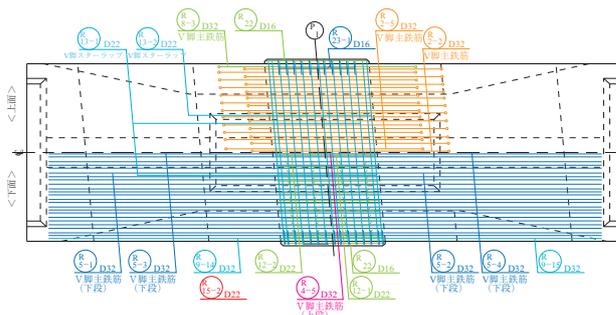
図 - 5 3Dモデル

ベースに3Dモデル(図-5)を作成し、干渉チェックおよび配置順序の検討を行った。

3.1 材料の干渉チェック

干渉チェックの結果、干渉することが判明した材料については、要求性能を満足できることを確認しながら、配置や加工形状を修正した。とくに主桁に定着されるV脚斜材部の主鉄筋は、斜角を有しているために主桁内での位置が連続的に変化する。太径であるうえに密に配置されているため、横桁の主鉄筋との干渉を回避しつつあきを確保することは非常に困難であった。

あきの確認では、コンクリート充填のためのあきを確保



(a) V脚基部配筋図(平面図)

| 順序 | 色 | 材料 | 備考 |
|------|------|----------------------------|----------|
| - | 赤 | 支承アンカー、仮固定鋼棒 | |
| (1) | 青 | R13-1 6本 | 下から1段目のみ |
| (2) | 紫 | R5-1~R5-4 | すべて |
| (3) | 水色 | R8-14, R9-14, R8-15, R9-15 | 1本ずつ |
| (4) | 緑 | R12-1 26本 | すべて |
| (5) | 黄緑 | R13-1 15本 | 下から2段目のみ |
| (6) | 黄 | R4-2, R4-5 | すべて |
| (7) | オレンジ | R11 52本 | すべて |
| (8) | 赤 | R13-1 15本 | 下から3段目のみ |
| (9) | 黄 | R3 46本 | すべて |
| (10) | 緑 | R8-13, R9-13 | 1本ずつ |
| (11) | 黄緑 | R8-12, R9-12 | 1本ずつ |
| (12) | 紫 | R22 4本 | LR側2本ずつ |
| (13) | 水色 | R24-1, R24-2, R25-1, R25-2 | すべて |
| (14) | 黄緑 | R8-11, R9-11 | 1本ずつ |
| (15) | 青 | 横締めPC鋼材 11本 | 下から1段目のみ |

(b) 配置手順表(例)

図 - 6 配置順序検討の結果一例



写真 - 2 V脚部配筋状況

するだけでなく、適切な間隔でパイプレータを挿入できる
よう配慮し、配筋を計画した。

3.2 配置順序の検討

V脚基部は、前述のように主鉄筋、スターラップ、横締めPC鋼材、支承アンカーバーが配置されており、設置順序を誤るとあとからの配置が困難となる。そこで、3Dモデルで鉄筋の配置順序を検討した。鉄筋の結束やPC鋼材の固定といった作業ができるクリアランスを確保できる配置順序を、設計図面とはべつに作成した施工図面および手順表で示した。施工図面と手順表の例を図-6に示す。

また、これらの手順をさまざまな方向から確認できるアニメーションを作成し、設計者および配筋作業にかかわる作業員で作業手順を確認し、作業に入ることとした。写真-2は、配筋作業状況である。作業手順の事前周知を徹底したことで、鉄筋の取違えや困難なあと挿入といった手戻りは生じず、円滑に作業を進めることができた。

4. 柱頭部の初期ひび割れ抑制対策

V脚部は、両脚上の柱頭部と両脚間の主桁部を合せた施工となる。コンクリート数量は約450m³あり、コンクリートの供給条件や支保工の耐荷力などを検討し、V脚部、主桁部2層の3分割にて施工することとした(図-7)。

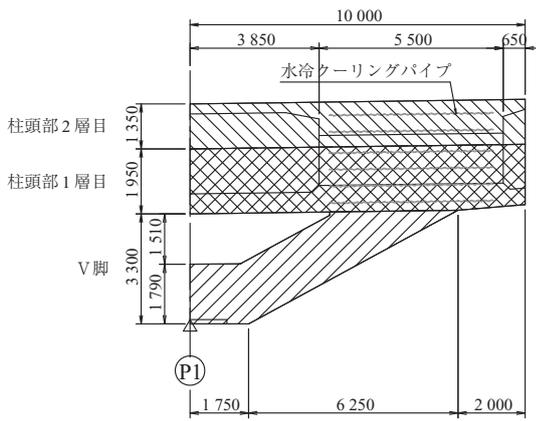


図-7 柱頭部打設分割およびクーリングパイプ配置

柱頭部横桁は厚さが5.5mとマスコンクリートであること、柱頭部の1層目は両V脚上で拘束されている横桁間に部材が相対的に著しく薄くなる箱桁断面部が存在していること、柱頭部の2層目は両横桁に拘束されるうえ薄肉部材である張出し床版があることから、それら影響を把握するため、温度応力解析を実施した。

特別な対策を実施しない場合、図-8(a)に示すよう、柱頭部1層目、2層目ともに最小ひび割れ指数が1.0を下回る箇所が多数見られた。とくに横桁部では1層目、2層目ともに表層コンクリートの温度下降時に、内部が高温のままであるため、横桁の前面、背面とマンホール壁面に生じる引張応力が大きいことが確認された。そこで、柱頭部1層目、2層目には水冷パイプクーリングを実施することとした(図-7)。クーリングパイプには1インチ管(内径29.4mm/外径34mm)の鋼管(STK25A)を用い、水平方向・鉛直方向ともに500mmピッチで配置することとした。ポンプから送り出す水の温度を約30℃、流量を15ℓ/分として管理することとした。

図-9は、柱頭部1層目の横桁中心部の温度履歴である。測定値と対策実施後のFEM解析結果は、最高温度(計測値67.1℃、解析値66.7℃)、温度降下時の勾配ともよく一致していることが確認できる。

水冷パイプクーリングを実施した結果、柱頭部1層目、

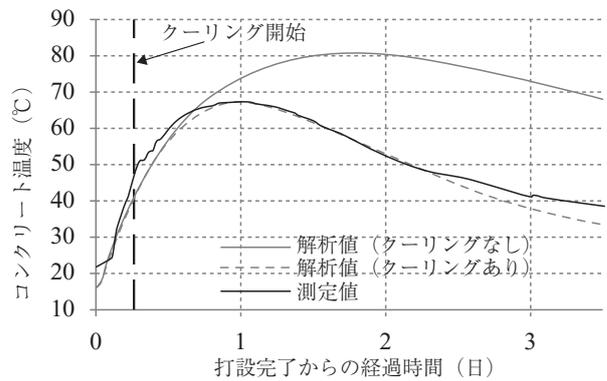


図-9 柱頭部(1層目中心部)の温度履歴

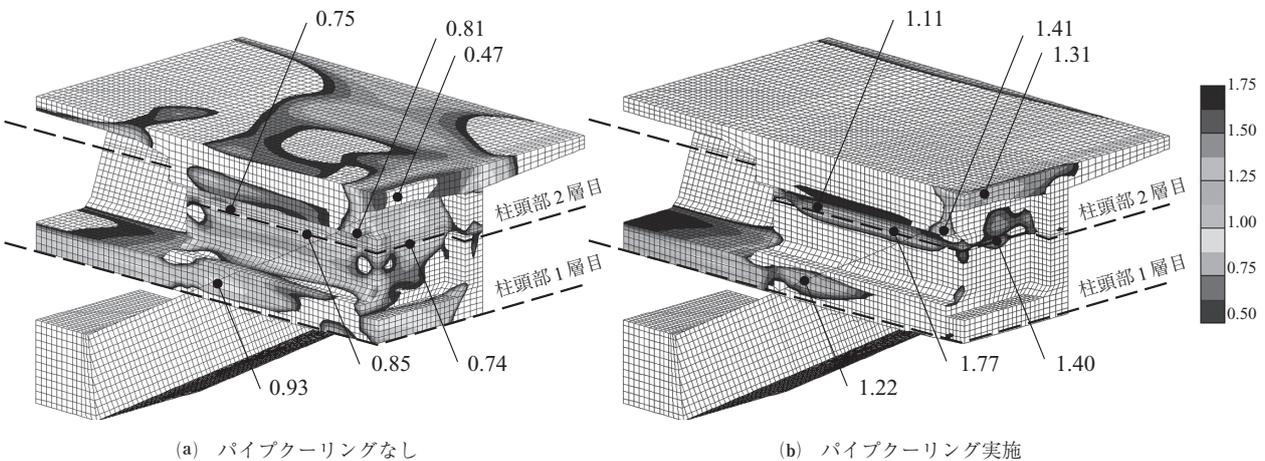


図-8 最小ひび割れ指数分布図

2層目ともにコンクリートの最高温度を約15℃低下させることができた。対策実施後の最小ひび割れ指数は、図-8(b)に示すように広範囲で改善できた。表層にはひび割れ指数が1.0を下回る部位は確認されず、多くの部分で「ひび割れの発生をできる限り制限したい場合」²⁾の目安値である1.4を上回った。1.4を下回った個所については、部位別に補強鉄筋（横桁前面と背面，上床版支間部橋軸直角方向）や耐アルカリ性ガラス繊維ネット（マンホール壁面）を配置することでひび割れ幅の抑制に努めた。

施工後の柱頭部にひび割れは確認されなかったことから、温度と同様に応力の発生部位、大きさなども精度よく評価できており、適切なひび割れ抑制対策を実施できたものとする。

5. 端支点横桁の施工

対面通行で暫定使用されている既設橋は、平成4年に詳細設計がなされた橋梁である。本工事は、富岡大橋のⅡ期工事にあたり、詳細設計は平成26年度に実施されている。下部工は上下線一体構造であり、Ⅰ期線の暫定施工時において橋台および橋脚も施工されている。

Ⅱ期線の上部工形式は、経済的・社会的な変遷および要求性能を考慮して、他形式も含めた比較検討を行った結果として、Ⅰ期線と同一形式・同デザインである「3径間連続PC箱桁橋（V脚構造）」が選定された。

橋台部の支承はⅠ期線が「可動スライド支承」であった。平成24年道路橋示方書³⁾による支点部の変形量は400mm程度となり、Ⅱ期線の設計において、Ⅰ期線と同じ支承構造とすると、上沓に設置されたスライド部が下沓から突出してしまい有効面積が不足する状態になってしまう。そこで、Ⅱ期線においては、Ⅰ期線のスライド支承（可動）に生じる摩擦水平力を考慮し、橋梁全体の挙動や橋台部と中間橋脚部の水平分担割合をⅠ期線とⅡ期線で大きく変化させないように配慮した「水平力分散ゴム支承」を採用し、設計がなされた。

その結果、Ⅰ期線では237mmであったA1側端支点支承の構造高さが、Ⅱ期線では640mm（+403mm）となった（図-10(a)）。本橋の橋台は、ボックスカルバートに

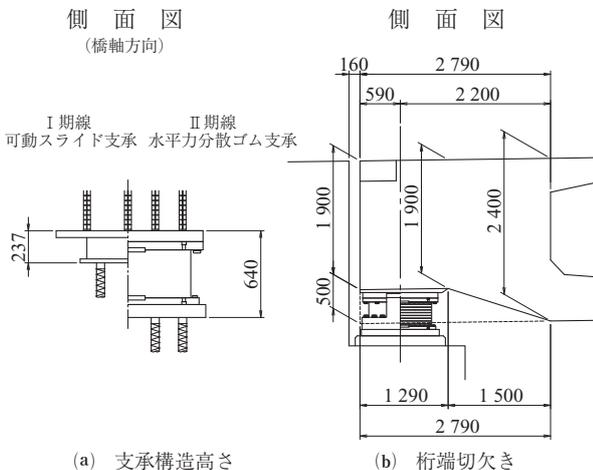


図-10 支承構造高さとⅡ期線桁端

突起を設けたかたちの橋台であるため、橋座面を下げることはできなかった。また、市のシンボルとなる橋であるので、Ⅰ期線とプロポーションを揃えることも要求されていた。そこで、桁端部において主桁下部を切欠く構造を採用した（図-10(b)）。設計、施工の時代が異なると、要求性能や形状も変化するので、構造物の外観を合わせることは非常に困難ということがわかる事例である。

端支点横桁には、連続ケーブルとなる外ケーブル、側径間のみ配置となるウェブケーブルと下床版ケーブルおよび横締めケーブルが配置されている。当初の設計から断面高さが500mm小さくなったため、当初（Ⅰ期線と同じ断面）は問題なく配置できていた支承アンカーバー、外ケーブル定着具、下床版ケーブル（図-11上段）が干渉するため配置できない状態（図-11中段）であることを分割1号の設計照査時に報告した。それを受け、施主主導のもと、設計者と施工者間で対応を協議し、以下により解決を図った。

外ケーブルは、縁端距離と最小間隔から現状より上側に移動させることはできない。また、定着部から支間方向に進むにつれ、鋼材位置は下方に移動するため、支承アンカーバーを短くする必要があった。そこで、支承アンカーバーの径を下げ、埋め込み長を短くするための配置見直し検討を行った。検討の結果、16-D51（L=705mm）のアンカ

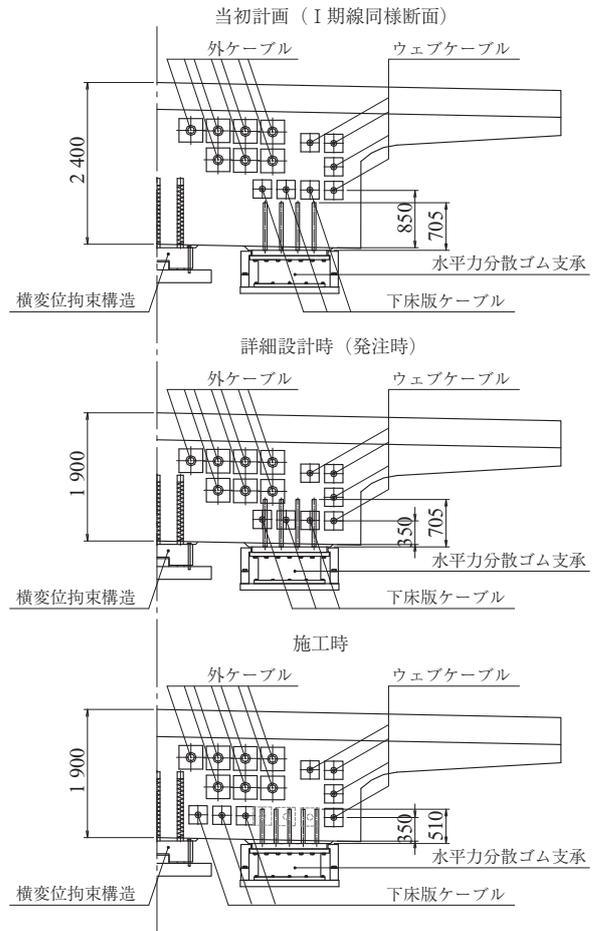


図-11 端支点部におけるPC鋼材配置

○ 工事報告 ○

ーバーを、25-D41 ($L=510\text{ mm}$) とすることができ、外ケーブルは定着位置を変更することなく配置できた。

定着位置が完全に支承アンカーバーと重なっていた下床版ケーブルは、高さを変えることなく支承アンカーと横変位拘束構造のアンカーバーの間に配置した。平面的な曲がりが大きくなる点については、現場での緊張計算で対応した。

横締めケーブルは、主ケーブルやアンカーバーをかわした配置で検討し、数量を増やすことなく対応できた。

6. おわりに

新富岡大橋（上り線）は、平成28年4月に分割3号までの本体工事が無事竣工した（写真-3）。

本体工完成後の3月に、卒業を間近に控えた地元の小学生を招待し現場見学会を開催した。そこでは、舗装がなされる前の床版コンクリートを初めて見て、思い出や未来へのメッセージに加え、自分たちの町に“橋ができる”喜びや、その建設に携わる人たちへの感謝の気持ちも記してくれた（写真-4）。橋梁工事に携わる技術者として、このうえない喜びである。



写真 - 3 全景（A2側側面より）



写真 - 4 小学生現場見学会の様子

平成28年7月には、全線開通に向けた現道切り廻し工事のため、施工中の2車線部の暫定供用が開始された（写真-5）。その際、新富岡大橋の開通を記念して、地元の幼稚園児を招き、橋桁内の見学会が行われた。そこでは、将来の自分に宛てたメッセージをタイムカプセルに封入し、橋桁内への保管を行った（写真-6）。保管したタイムカプセルは園児の成人式に合わせて開封される予定である。



写真 - 5 暫定供用状況（橋面上A2側より）



写真 - 6 新富岡大橋開通記念式典の様子

最後に、本橋の施工にあたり多大なご指導とご協力をいただいた関係各位に感謝の意を表しますとともに、本橋の開通が地域の発展、利便性向上に寄与できることを期待します。

参考文献

- 1) 群馬県県土整備部道路整備課：群馬がはばたくための7つの交通軸構造、2013。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編、2012。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説I～V、2012。

【2016年7月5日受付】