

# 東九州道（清武～北郷）広渡川橋上部工の施工 — 品質確保・向上にむけた対策 —

東海林 瞬\*1・松川 安美\*2・元水 昭太\*3・栢川 康久\*4

広渡川橋は、東九州道の宮崎県内（清武 JCT～北郷 IC 間）に架橋される橋長 175.3m、最大支間 63.6m の PC3 径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋の施工方法は、P1 ラーメン橋脚からの張出し架設、A1 橋台～A1-P1 間および P1-P2 間～A2 橋台の区間は固定支保工架設が採用されている。構造的な特徴としては、P2 支承は架設中と完成時で支持条件を変更可能な構造としている。P2 支承は地震時の水平力の分散化を図るため固定構造とするが、架設中に生じる不静定力を低減するため、架設中は一時的に解放して可動構造としている。

本稿では、張出し架設時および固定支保工架設時における主桁コンクリートのひび割れ防止対策、光ファイバーを用いた PC グラウト充填検知センサーによるグラウト充填確認など、PC 上部工の品質管理における実施例を報告する。

キーワード：張出し架設、固定支保工架設、ひび割れ防止対策、PC グラウト施工

## 1. はじめに

東九州自動車道（略称：東九州道）は、福岡県北九州市を起点とし、大分県、宮崎県を経由して鹿児島県鹿児島市に至る高速自動車国道であり、すでに多数の区間が開通している。広渡川橋は、宮崎県内の清武 JCT（宮崎市清武町）から北郷 IC（県南部の日南市北郷町）を結ぶ約 19km の区間に架橋され（図 - 1）、当区間は国土交通省九州地方整備局の直轄工事として、宮崎河川国道事務所が早期の開通を目指して整備を進めている。

本稿では、張出し架設時および固定支保工架設時における主桁コンクリートのひび割れ防止対策、光ファイバーを用いた PC グラウト充填検知センサーによる充填確認など、PC 上部工の品質管理における実施例を報告する。

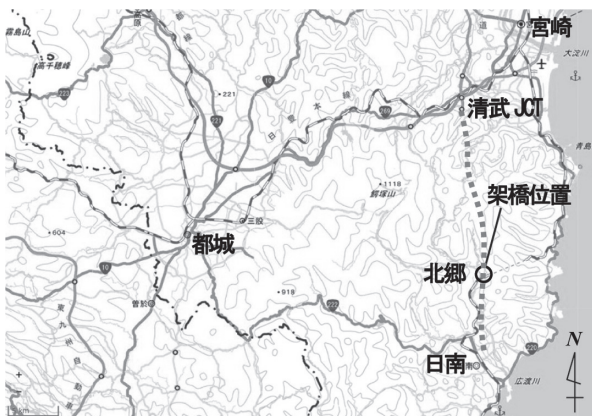
## 2. 工事概要

本橋は、前述の日南市北郷町において 2 級河川広渡川に架かる橋長 175.3m、最大支間 63.6m のプレストレストコンクリート道路橋である。

施工方法は、P1 ラーメン橋脚からの張出し架設、A1 橋台～A1-P1 間および P1-P2 間～A2 橋台の区間は固定支保工架設が採用されている。また、構造的には架設中に生じる不静定力を低減するために固定支保工架設部の P2 支承を可動構造とし、橋梁完成時には P2 支承の橋軸方向を完全拘束として地震時の水平力の分散化を図っている。本橋の橋梁諸元を表 - 1 に、橋梁一般図と主桁断面構造図を図 - 2、図 - 3 に示す。

表 - 1 橋梁諸元

路線名	東九州自動車道（清武～北郷）
道路規格	第 1 種第 2 級
架橋場所	宮崎県日南市北郷町大字郷之原地内
構造形式	PC3 径間連続ラーメン箱桁橋
橋長（桁長）	175 300 m（174 900 m）
支間長	63 600 m + 63 600 m + 46 100 m
有効幅員	12 010 m
桁高	2 700 m ～ 5 500 m
縦締め PC 鋼材	SWPR7BL 12S15.2（内ケーブル）
床版横締め鋼材	SWPR19L 1S28.6（プレグラウト）
斜角	A1：72°11′，A2：69°42′
平面線形線形	A=1 000 m ～ R=3 000 m ～ R=∞
縦断勾配	i=2.000 ～ -2.000 %



出典：国土地理院ホームページ（<http://maps.gsi.go.jp>）

図 - 1 橋梁位置図

\*1 Syun SYOJI：(株) 銭高組 土木事業本部 技術部

\*2 Yasumi MATSUKAWA：(株) 銭高組 九州支店土木部 広渡川橋上部工工事 監理技術者

\*3 Syota MOTOMIZU：国土交通省 九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 建設監督官

\*4 Yasuhisa HASHIKAWA：(株) 銭高組 九州支店土木部 広渡川橋上部工工事 現場代理人

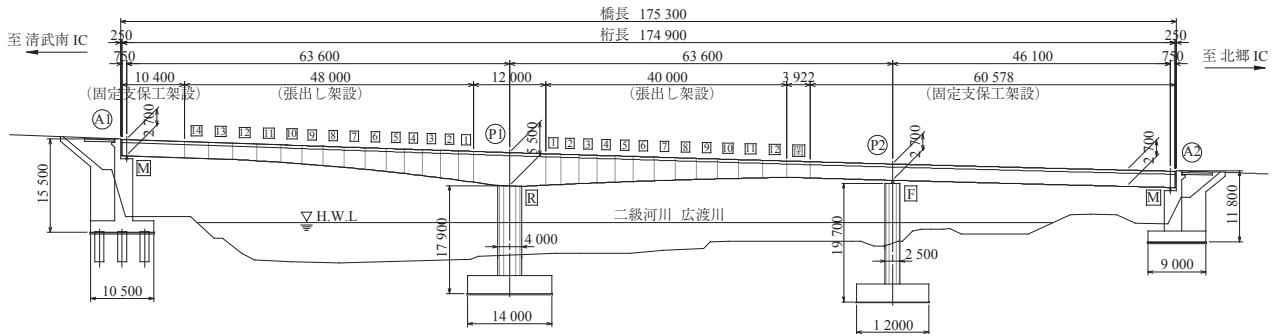


図 - 2 橋梁一般図

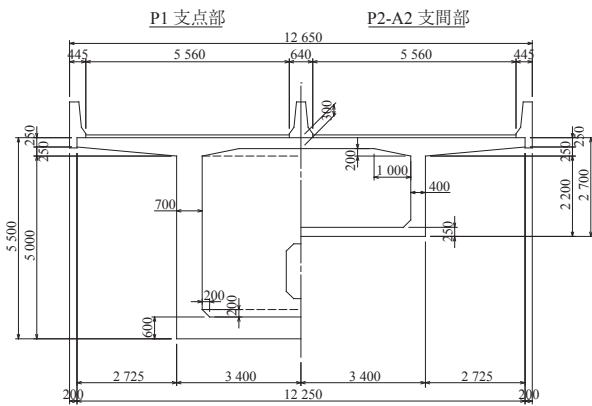


図 - 3 主桁断面構造図

### 3. 施工計画

本橋の工期は、2014年10月10日～2016年11月30日であり、この間の出水期（5月1日～10月31日）は河川内での作業（P1橋脚からの張出し架設、固定支保工架設）ができないため、主桁架設の実質的な工期は約1年と短く、効率的な作業と品質管理が要求された。表-2に本橋の工事工程を示す。

表 - 2 工事工程表

年	2014			2015			2016		
	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12
準備工	■								
工事進入路	設置	撤去			設置	撤去			
P1柱頭部									
P1張出し架設									
固定支保工架設									
P1-P2中央閉合									
A1側径間									
橋面工									
片付け工									

本橋梁の特徴のひとつとして、P2支点の上部工支持条件があげられる。P2橋脚は、ゴム支承を介して上部工反

力を支持するが、完成系（供用時）では支承側面に設置した鋼製サイドブロックで橋軸方向、橋軸直角方向ともに水平方向を固定し（写真-1）、桁完成後の不静定力や地震時の水平反力をP2橋脚に分散させる構造としている。なお、上部工の架設中にはP2支点は水平方向に可動として、架設中に生じる不静定力をできるだけ低減させるようにしている。P2支承のサイドブロックによる変位拘束の方法を図-4に示す。また、上部工の施工ステップを図-5に示し、各架設段階でのP2支承の水平方向支持状態（固定・解放）も図中に記す。

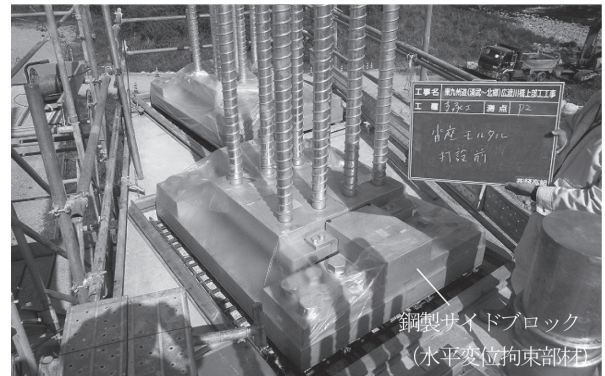


写真 - 1 P2 支承の据付け状況

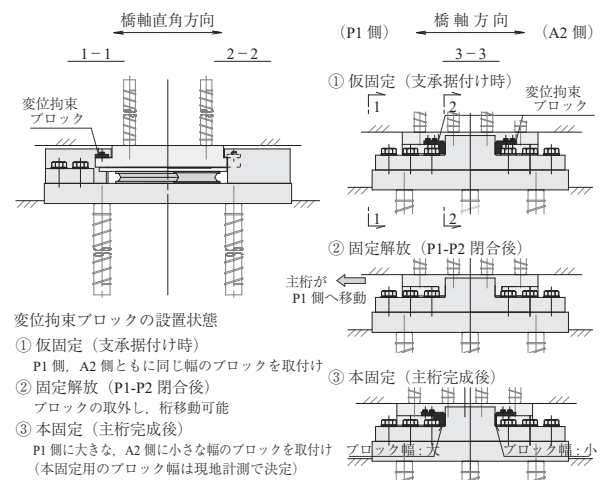


図 - 4 サイドブロックによるP2支承の変位拘束の方法

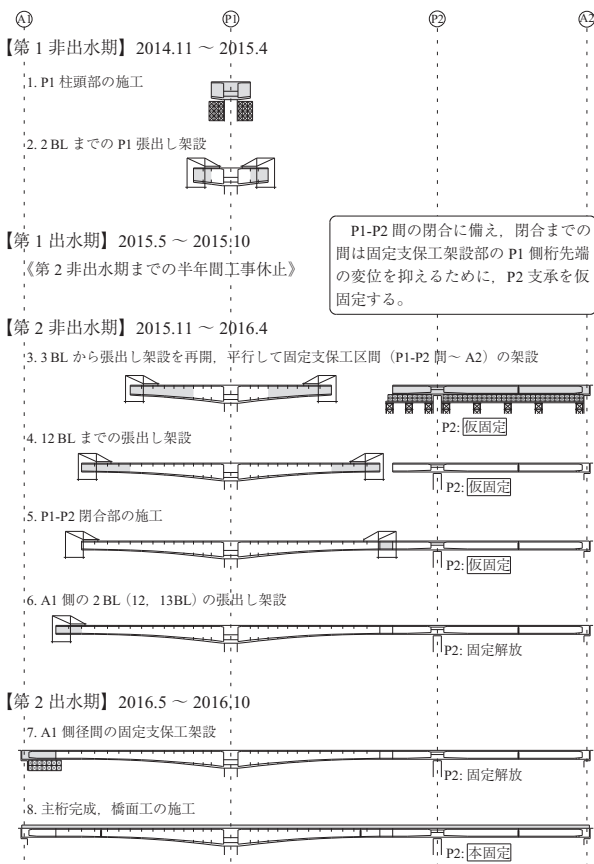


図 - 5 施工ステップ

#### 4. 張出し架設における品質管理

本橋の詳細設計では、張出し架設時の主桁（コンクリートの設計基準強度  $40 \text{ N/mm}^2$ ）の斜引張応力度の許容値は  $-2.0 \text{ N/mm}^2$  と設定されていた（せん断力のみを考慮する場合の死荷重時は  $-1.0 \text{ N/mm}^2$ 、設計荷重時は  $-2.0 \text{ N/mm}^2$ ）。

過去に、本橋と同様の許容値を採用したほかの橋梁で、ウェブ定着される主方向 PC 鋼材が配置されていないブロックで張出し架設時に斜引張応力によるものと考えられる幅  $0.1 \text{ mm}$  を超えるひび割れが発生したという報告例があった（図 - 6）。その橋梁では、張出し架設時より大きな斜引張応力が作用しており、張出し架設時の設計計算上の斜引張応力度は  $-1.5 \text{ N/mm}^2$  以上となっていた（主桁が閉合された完成時には、そのひび割れは閉塞している）。

本橋でも、上記のようなひび割れの発生を懸念した。もし、一旦ひび割れが発生すると、そののちに閉塞しても主桁の断面剛性の低下や外気、水分の侵入経路となる可能性があるため、長期耐久性の確保のためには、架設中に初期ひび割れが発生する可能性をできるだけ小さくしたいと考えた。そこで、張出し架設時の各施工ステップの斜引張応力を照査し、下記の条件①②の両方に該当する断面に対して用心鉄筋を配置することとした。

① 斜引張応力度が  $-1.0 \text{ N/mm}^2$  以上となる張出しブロック断面（道路橋示方書・同解説Ⅲ<sup>1)</sup>、以降、道示Ⅲと

記す、3.2(3)PC 構造に対するコンクリートの許容斜引張応力度、活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合の許容値を適用)

② ウェブに定着される主方向 PC 鋼材が配置されていない張出しブロック断面（上床版に定着される主方向 PC 鋼材のみしか配置されていない張出しブロック断面）

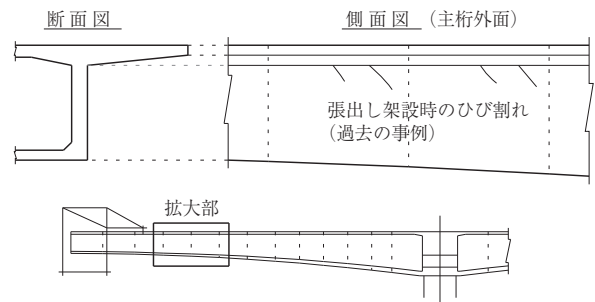


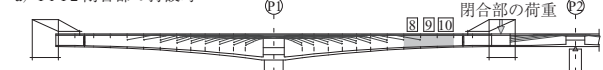
図 - 6 張出し架設時のひび割れイメージ図 (過去の事例)

上記の条件①②に対する張出し架設時の斜引張応力に関する照査結果を図 - 7 に示す。必要な用心鉄筋量を算出するための鉄筋の許容応力度は、死荷重時の  $100 \text{ N/mm}^2$  に施工時の割増し係数  $1.25$  を乗じて  $125 \text{ N/mm}^2$  とした。また、用心鉄筋の高さ方向の配置範囲は、斜引張応力度が最大となるウェブ上端つけ根から、おおむね  $-1.0 \text{ N/mm}^2$  以下となる主桁上縁から  $1.5 \text{ m}$  の高さまでとした。また、用心鉄筋を配置する方向は、図 - 8 に示すように斜引張応力の作用する方向とほぼ同じとなるようにし、ウェブのスターラップの内側両面に配置した。用心鉄筋の効果を検証することは難しいが、結果的には、張出し架設時のひび割れは観測されなかった。

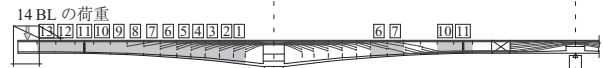
【条件①に該当するブロック断面】

斜引張応力が  $-1.0 \text{ N/mm}^2$  以上となるブロック断面

a) P1-P2 閉合部の打設時



b) 14 BL の打設時



a, b のいずれかに該当するブロック



【条件②に該当するブロック断面】

ウェブに定着される主 PC 鋼材が配置されていないブロック断面



【条件①, ②の両方に該当するブロック断面】

用心鉄筋の配置を検討するブロック断面



図 - 7 張出し架設時の斜引張応力に対する照査結果

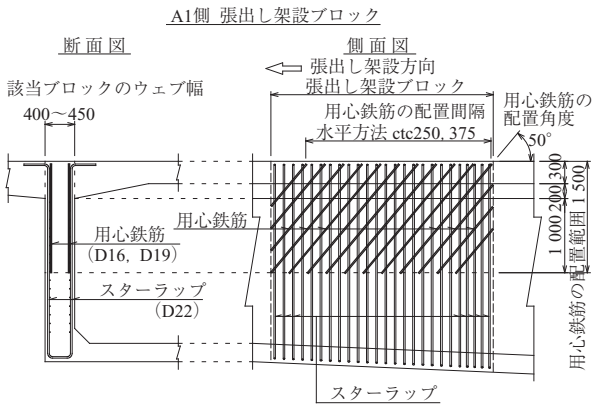


図 - 8 斜引張応力に対する用心鉄筋の配置イメージ

## 5. 固定支保工架設における品質管理

### 5.1 支保工の沈下量計測管理

#### (1) 実荷重載荷試験

広渡川右岸側の河川堤防内における固定支保工架設部は、河川通水量を確保するために、堤防内は6箇所の支柱（最大支間長 12.5 m）で主桁を支保する計画としており、集中荷重が作用する各支柱部での沈下量が大きくなった場合、不等沈下に起因する主桁コンクリートのひび割れや、支保工の傾斜・転倒などが懸念された（写真 - 2）。

そこで、構造物の品質確保および施工の安全性確保のための対策として、支保工架設前に平板載荷試験を実施して支柱設置部の地盤耐力を確認するとともに、支保工組立て後に土のうの積み重ねによる実荷重載荷試験を行った。実荷重載荷試験においては、実際のコンクリート打設時の荷重の1.0倍（荷重A）、1.2倍の荷重（荷重B）に対する沈下量の確認を行った（写真 - 3）。荷重Aは実際のコンクリート打設時の支保工沈下量の把握のため、荷重Bは不測の事態（不等沈下が生じた場合などの支保工への荷重偏載荷時）の挙動の把握のためであり、この載荷試験による沈下量は、コンクリート打設時の支保工沈下量の管理値として以下のように利用した。載荷試験時の沈下量については、コンクリート打設時の沈下量計測結果とともに後述する。

- ・荷重Aの沈下量の90%に達した場合（レベル1）：点検、変状原因の究明・検討を行い、現場・本社での監視体制を強化
- ・荷重A値の沈下量を超えた場合（レベル2）：打設作業の継続可否判断、支保工の補強などの対策検討

#### (2) 支保工沈下量の計測方法

コンクリート打設時の支保工沈下量を監視するために、差圧式レベル計を用いて計測を実施した。差圧式レベル計とは、液体が入ったタンク内の圧力変化により高さの変化を計測する機器である。各支保工支柱の沈下量は、支柱に設置した差圧式レベル計と基準タンクを水で満たした連通管でつなぎ、支保工の沈下量を差圧式レベル計と基準タンクとの水位差から求まる圧力差によって算出される変位により確認することができる（図 - 9）。

この監視方法により、コンクリート打設の2ヵ月前から継続して支保工沈下量を計測し、荷重変化のない状態での気温昇降による支保工沈下量の程度の把握や機器のキャリブレーションを行った。コンクリート打設時には、10分間隔で支保工沈下量を計測し、インターネット回線を利用した情報共有化により、現場、作業所事務所、東京本社、発注者がリアルタイムで常時閲覧可能な環境を構築し、変状時の対応に備えた（写真 - 4, 5）。



写真 - 2 固定支保工架設部の全景（写真左側）



写真 - 3 支保工への実荷重載荷試験状況

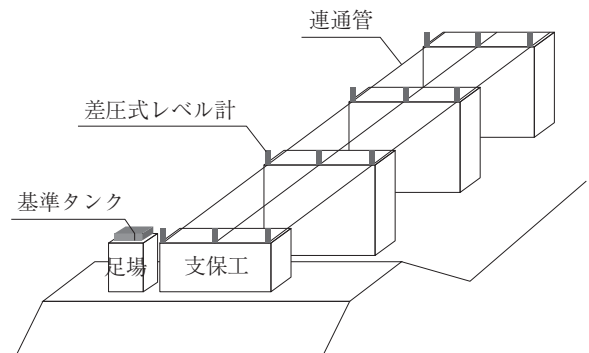


図 - 9 支保工沈下量の計測方法の概要



写真 - 4 支保工沈下量の現地確認状況



写真-4のパソコンと同様、画面には図-11のようなグラフが表示される。

写真 - 5 支保工沈下量の本社確認状況

### (3) 支保工沈下量の計測結果

コンクリートの打設は、下床版からウェブ上縁までを1リフト、床版部を2リフトとして、分割施工にて行った。図-10に支保工支柱の設置位置と沈下量の計測点を示し、図-11に施工前に実施した実荷重載荷試験の結果から設定した管理レベル値と、コンクリート打設時の沈下量の計測結果について、測点①を例として示す。

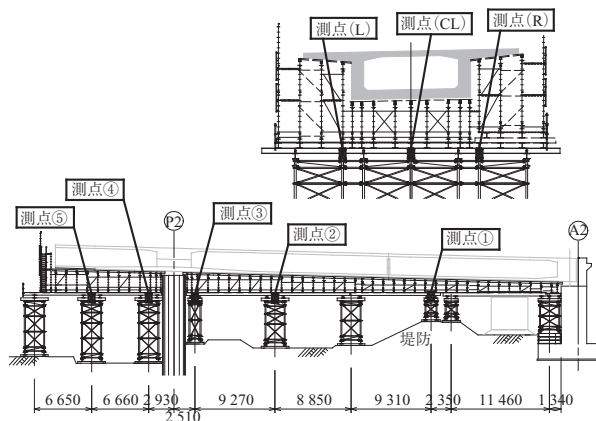


図 - 10 支保工支柱の設置位置および沈下量の計測点

測点①の場合、1リフト打設時の沈下量はレベル1沈下量（載荷試験荷重Aの沈下量の90%：監視強化）の半分程度に留まっており、問題はなかった。2リフト打設時の沈下量は、構造中心（CL）の測点で打設作業が進むにつれレベル1沈下量に近づいたが、これを超過することなく、無事打設作業を終えることができた。そののちも、プレストレスの導入から支保工解体まで継続して支保工沈下量を計測したが、沈下量の増加や異変もなく、固定支保工架設部の施工を完了することができた。なお、計測値が細かな増減を繰り返しているのは、気温の日変動の影響によるものであり、載荷試験の時にその挙動特性については把握しておいた事象である。

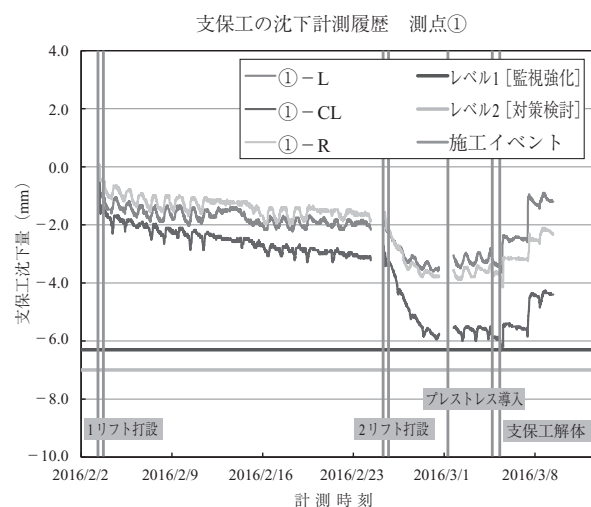


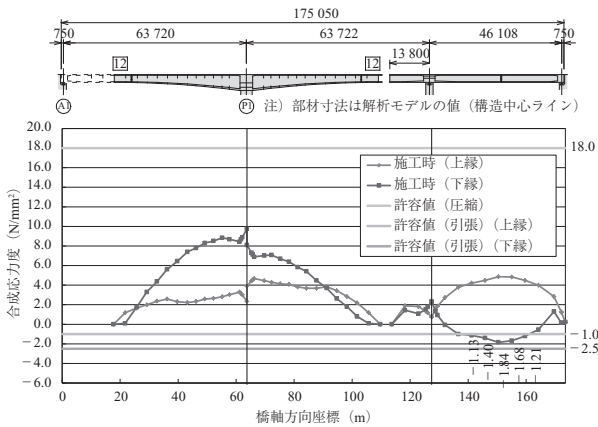
図 - 11 支保工沈下量の計測結果

## 5.2 主桁の曲げひび割れ防止対策

### (1) 架設中の主桁応力

架設中の主桁コンクリートの許容引張応力度は、プレストレッシング直後の値である  $-1.5 \text{ N/mm}^2$ （道示Ⅲ表-3.2.3）が用いられることが多いが、本橋の詳細設計では、施工時荷重に対する値である  $-2.5 \text{ N/mm}^2$ （道示Ⅲ表-3.2.4）が設定されていた。そのため、架設中に  $-2.0 \text{ N/mm}^2$  を超す引張応力が作用する断面があった（図-12）。設計的には、これらの断面に対し、引張鉄筋の許容応力度を  $225 \text{ N/mm}^2$ （供用時の許容値  $180 \text{ N/mm}^2$  に施工時の割増し係数  $1.25$  を乗じた値）と設定した場合には現配筋で必要鉄筋量を満足するとの見解もあった。しかし、鉄筋に  $200 \text{ N/mm}^2$  程度の引張応力（ひび割れを許容するRC部材の設計において設計荷重時に適用するレベルの引張応力）が持続的に作用するような場合には、ひび割れが発生する懸念があった。また、比較的長期（数週間）にわたりこのような状態が継続する場合には、ひび割れ幅の拡大やひび割れの進展も考えられた。そこで、構造物の品質低下の要因となる架設中の初期ひび割れを発生させないために、主桁のひび割れ幅を算定し、制御目標値を超える断面に対策を行うこととした。

STEP-1：固定支保工架設部の緊張後



STEP-2：P1-P2 閉合後 (P1-14 BL 緊張前)

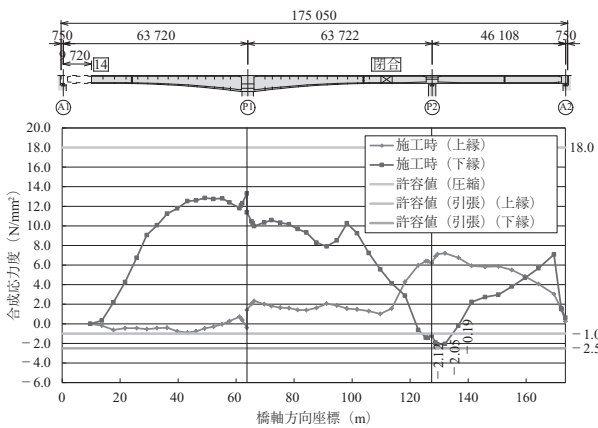


図 - 12 固定支保工架設部の引張応力

(2) 曲げひび割れ幅の算定およびひび割れ防止対策

土木学会の曲げひび割れ幅の設計応答値の算定式<sup>2)</sup>により、架設中の主桁下縁に生じる引張応力に対する現配筋での曲げひび割れ幅を算定した。この結果、主桁の下縁応力度が $-1.5$  (N/mm<sup>2</sup>) を超える断面 No.47, 48, 52, 53 では、曲げひび割れ幅が今回設定した制御目標値 (0.20 mm) を超える結果となった (表 - 3)。STEP-1 (固定支保工架設部の緊張後) の状態は1ヵ月以上継続されるため、この期間は主桁下縁のひび割れ (最大ひび割れ幅 0.2 mm 以上) も持続することが予測された。また、STEP-2 (P1-P2 中央閉合後～P1-14BL 打設後) の状態も約1ヵ月継続されるため、この期間も主桁下縁のひび割れの状態 (最大ひび割れ幅 0.2 mm 以上) が持続することが予測された。

そこで、制御目標値を超えるひび割れの発生が予測される断面に対し、主桁下面の組立て筋配置スペースを利用して用心鉄筋を配置することとし (図 - 13)、この場合のひび割れ幅の算定を行った (表 - 3)。鉄筋のあき (道Ⅲ, 40 mm 以上かつ骨材最大寸法の 4/3 以上) を考慮し、主桁の下面に用心鉄筋 D13ctc125 mm, 56 本を配置すると、断面 No.47 以外では曲げひび割れ幅が制御目標値 (0.20 mm 未満) となる結果が得られた。

図 - 13 から分かるように、設計かぶり 35 mm を確保するためには、用心鉄筋の追加位置は主桁の下面の組立て

用鉄筋 D13 (通称、段取り筋) を配置する高さ空間しかないため、上項に記述した以上の鉄筋量を追加配置することは現実的に困難であった。よって、ひび割れ幅の制御目標値を上回る断面 No.47 に対しては、ひび割れの分散化およびひび割れ幅の低減を期待し、補助対策としてガラス繊維ネットの配置を行うこととした (写真 - 6)。

用心鉄筋およびガラス繊維ネットの追加配置を行った結果、固定支保工架設部には、架設中のひび割れは発生しなかった (写真 - 7)。

表 - 3 曲げひび割れ幅の算定結果

断面 No.	47	48	52	53	
桁 高 (mm)	2 700	2 700	2 700	2 700	
下床版厚 (mm)	500	410	250	250	
施工ステップ	STEP-2	STEP-2	STEP-1	STEP-1	
合成応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	主桁上縁	7.11	7.21	4.86	4.83
	下床版上面	-0.41	-0.64	-1.22	-1.08
	主桁下縁	-2.12	-2.05	-1.84	-1.68
下床版の配置鉄筋	上筋 (ctc125)	D16	D16	D13	D13
	下筋 (ctc125)	D22	D22	D19	D19
用心鉄筋	下面 (ctc125)	56-D13	56-D13	56-D13	56-D13
曲げひび割れ幅 (mm)	対策なし	0.26	0.23	0.23	0.21
	用心鉄筋配置後	0.21	0.19	0.18	0.17

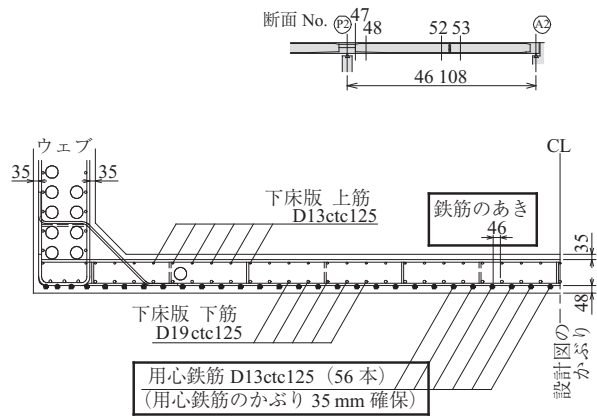


図 - 13 固定支保工架設部のひび割れ防止用心鉄筋



写真 - 6 ガラス繊維ネットの配置状況



写真 - 7 固定支保工解体時の主桁下面状況

## 6. PC グラウト施工

### 6.1 グラウト充填検知センサーの概要

PC グラウトは、鋼材の腐食防止やコンクリートとの一体性を確保するため、シース内に隙間なく充填する必要がある。

本工事では、密実なグラウト充填が実施できるよう光ファイバーによるグラウト充填検知センサー（以降、光ファイバーセンサーと記す）<sup>3)</sup>を導入し、充填確認を行った。

光ファイバーセンサーの概要を写真 - 8 に示す。光ファイバーセンサーは、2 芯の光ファイバーで構成され、ファイバー間の透過光がグラウトの充填により遮られることで充填を検知する装置である。



写真 - 8 光ファイバーセンサーの概要

### 6.2 光ファイバーセンサーの配置および充填計測

現場では、主方向 PC 鋼材の端部およびグラウト充填時に空隙が生じやすい勾配変化点に光ファイバーセンサーを配置し、シースへの取付けにはグラウト排気口を利用した（写真 - 9）。センサー付属の配線長は、5.0 m と 7.0 m のものを用意し、配線は躯体内を通して壁高欄部から橋面に

引き出した。

グラウト充填計測の模式図を図 - 14、計測状況を写真 - 10 に示す。計測には、光計測装置と計測管理用パソコンを使用する。計測管理場所とセンサー設置位置には距離があるため、光計測装置との接続には延長用接続配線を用いた（写真 - 11）。なお、延長用接続配線は現場での作業性を考慮して巻取りドラム式としている。

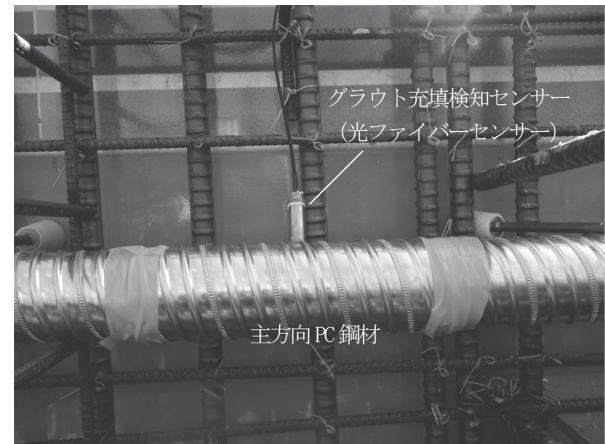


写真 - 9 光ファイバーセンサー設置状況

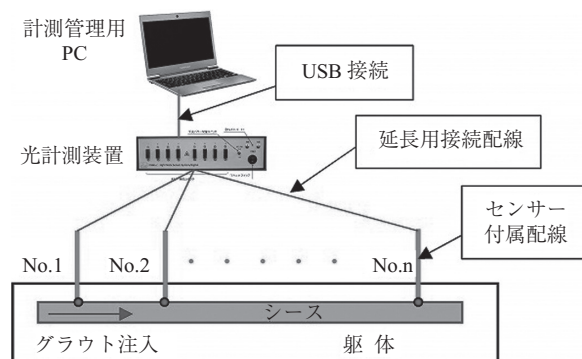


図 - 14 グラウト充填計測の模式図



写真 - 10 グラウト充填計測状況



光ファイバーケーブル  
(接続は簡易な突合せで可能)

写真 - 11 グラウト充填検知センサーの延長用接続配線

### 6.3 充填計測結果

グラウト充填計測結果の一例を図 - 15 に示す。グラウトの充填完了は、検出される光強度値がゼロとなることで判定した。

本例では、グラウト注入口側のセンサーから順に（測点①→④）充填が完了してくる様子が確認できる。

空隙時の光強度値は、各計測点で異なっているが、これは配線長の違いによる照射光の減衰や、結線部における光伝達のロスによるものと思われる。なお、注入終了時にはすべての計測点で光強度値がゼロを示しており、各排気口からのグラウト排出の確認と併せて本グラウト充填検知センサーを使用したことにより、確実なグラウト充填が実施できた。

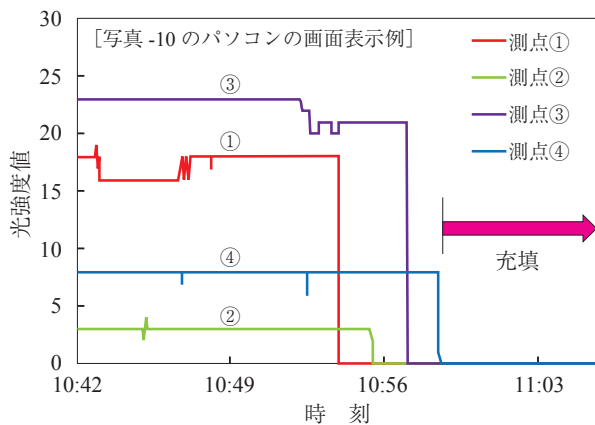


図 - 15 グラウト充填計測結果

## 7. おわりに

本工事は、幸いにも4月の熊本地方を中心とした地震の直接的な被害もなく、工程計画通りに工事を進めることができています。7月初旬現在、主桁が完成して地覆高欄などの橋面工に着手しているが（写真 - 12）、これも、非出水期に限られた主桁の施工を行うなかで、工程遅延の原因となる品質事故を未然に防止する諸対策を講じたことによるところが大きい。支点横桁などのマスコンクリートとなる部分については、温度応力解析を行い、解析に基づいた温度管理によるひび割れ防止対策（パイプクーリング）も実施した。本稿で述べた諸対策により、施工を終えた主桁コンクリートについては、架設中の初期ひび割れは観測されていない。

あとは橋面工、付属物工などを残すだけとなっているが、今後も品質確保・向上に向けた配慮を行い、本橋梁を完成させる所存である。これまでにご指導、ご協力いただいた関係各位に感謝の意を表します。



写真 - 12 主桁完成時全景

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 Ⅲコンクリート橋編，平成24年3月
- 2) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.223-226，2013.3
- 3) 角田普相，細野順平，渡辺淳，芥川真一：光ファイバーによるグラウト充填検知技術の開発，第24回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.361-364，2015.10

【2016年7月14日受付】