

# PC4 径間連続ラーメン箱桁橋の上部工施工報告

## Technical Report on Construction of Superstructure of a 4 Span Prestressed Concrete Box Girder Rigid Frame Bridge

岩川 真一\*      西内 宏\*  
 Shinichi Iwakawa      Hiroshi Nishiuchi

### 要 約

本工事は、北近畿豊岡自動車道の延伸工事である八鹿日高道路区間のうち青山川橋(L = 262 m の内、上部工 177 m、下部工 橋脚 2 基、基礎 3 基、橋台 1 基)の橋梁工事である。橋梁形式は、PC4 径間連続ラーメン箱桁橋であり、上部工は片持ち架設工法による張出し施工が採用された。上部工の施工において、P2 ~ P3 間において市道および河川上での施工となることや橋脚の柱頭部がマスコンであり温度ひび割れの発生が懸念される等の課題があったが、提案した対策を実施することにより無事に施工が完了した。また、上部工コンクリートの品質確保のためにいくつかの技術を適用している。本報告は、上部工張出し施工の課題に対する対応および品質確保のための適用技術に関して報告する。

### 目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. 上部工施工概要
- § 3. 上部工コンクリートの品質確保技術
- § 4. 課題と対策及びその効果について
- § 5. まとめ

工 期：平成 26 年 1 月 30 日～平成 29 年 3 月 31 日

工事内容：PC4 径間連続ラーメン箱桁橋  
 (L = 262 m のうち工事延長 L = 177 m)  
 上 部 工：PC 片持架設箱桁橋工事 (ワーゲン施工)  
 下 部 工：橋脚 2 基  
 大口径深礎 3 基  
 橋台 1 基

### § 1. 工事概要

工 事 名：八鹿日高道路青山川橋上下部工事  
 工事場所：兵庫県養父市八鹿町青山地先  
 発 注 者：国土交通省 近畿地方整備局

### § 2. 上部工施工概要

上部工の施工ステップを図-3 に示す。

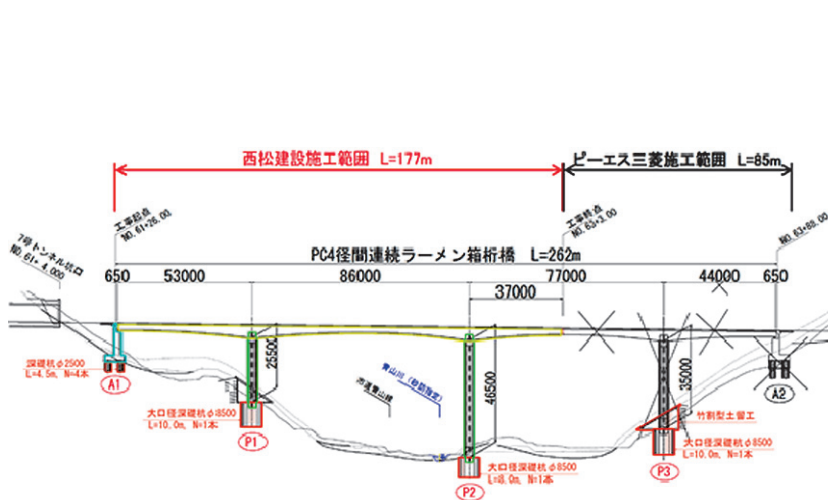
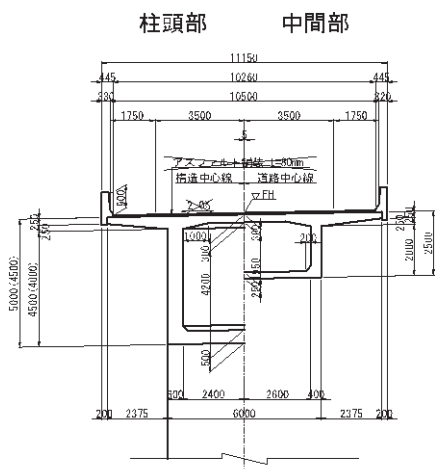


図-1 青山川橋側面図



※( )内はP3橋脚上の数値を示す。

図-2 青山川橋上部工標準断面図

\* 西日本(支)八鹿青山(出)

P2 橋脚の施工完了後、150 tクローラクレーンを組立て、P2 橋脚部の柱頭部の支保工組立作業から開始する。P2 橋脚からの張出し施工後、ワーゲンを P1 橋脚へ移動し、P1 橋脚からの張出し施工後、A1 ~ P1 径間、P1 ~ P2 径間で各々閉合を行う。

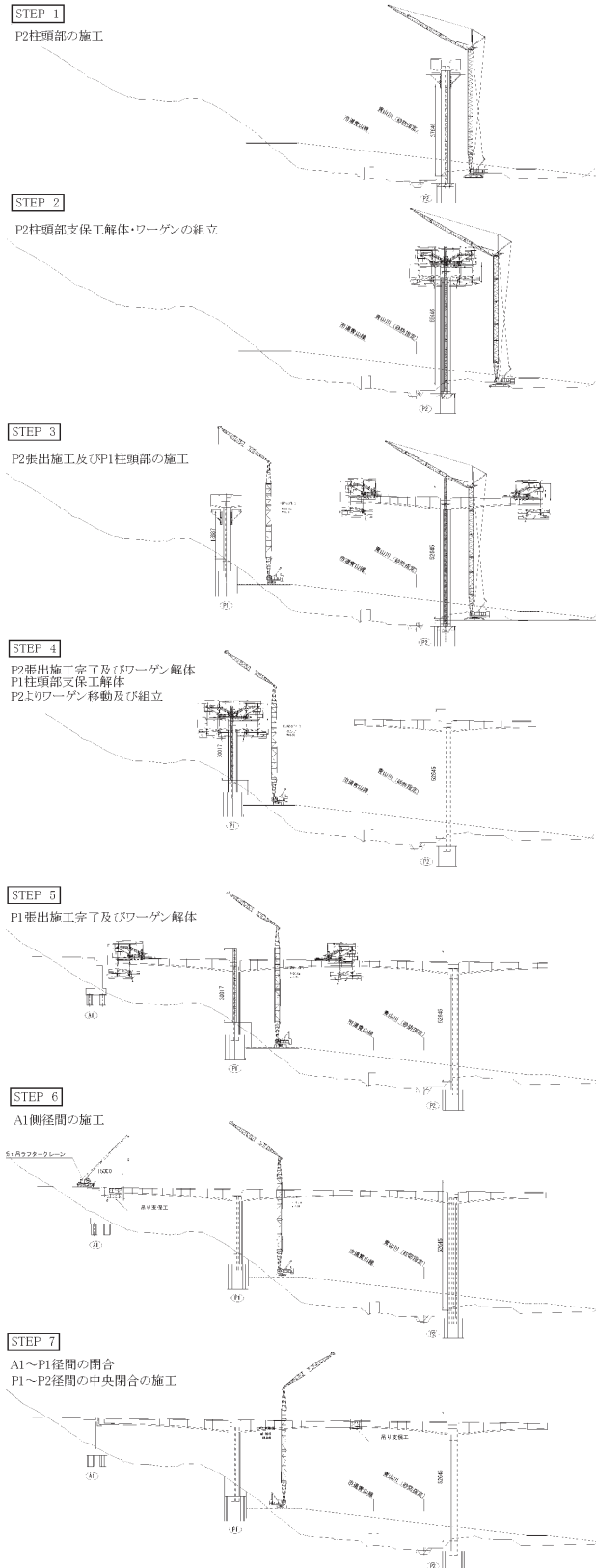


図-3 上部工施工ステップ図

### §3. 上部工コンクリートの品質確保技術

本工事では、上部工の張出し施工において、品質向上を目的とし、いくつかの対策を行っており、各項目を以下に示す。

#### 3-1 上 PC 箱桁施工継目部の防水対策

新旧コンクリートの打継処理において、内部は凸凹処理できるが、橋面上まで処理できないため、この部分から雨水などの表面水が浸入し、部材の劣化が懸念される。

この対策として、施工打継目に切り欠きを設け、コンクリートモルタル用のエポキシ樹脂系接着剤を塗布している。



図-4 上部工エポキシ樹脂系接着剤塗布状況

#### 3-2 橋面仕上げ時の塗膜養生剤の使用

上部工の橋面は、直射日光の影響を受けやすく、風も強い箇所であることから乾燥しやすいため、表面仕上げがしにくく、かつ表面ひび割れが生じやすい箇所である。

この対策として、コンクリート用養生剤（水性タイプ）を使用し、橋面上における表面仕上げの品質向上を行った。



図-5 上部工橋面仕上げ状況

### 3-3 橋面上のひび割れ抑制ネットの使用

PC片持ち箱桁橋のワーゲン施工では、PC鋼より線により緊張しながら張出を行っていくが、橋面上に引張応力が発生するため、複数の細かいひび割れが発生する可能性があり、これまでもそのような事例が報告されている。

その対策として、引張応力の発生する範囲にひび割れ抑制ネットを設置した(図-6参照)。実施工においては、橋面上におけるひび割れは発生していない。

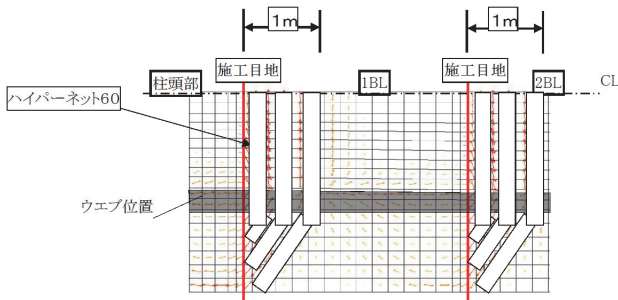


図-6 上床版引張応力ベクトル図

### 3-4 長期湿潤養生の実施

上部工コンクリートの乾燥収縮ひび割れを抑制するため、標準養生期間(3~5日)+7日以上長期湿潤養生の実施を提案している。

養生は、上床版天端面は、養生マットによる標準養生終了後、箱桁外側側面および底面は、型枠取外し後、コンクリート表面へコンクリート保水養生テープを貼り付けることで実施した。箱桁内部は、端部に遮蔽シートを設置し、進捗に応じて随時移設している。

施工後、ひび割れ調査を実施しているが、有害となるひび割れは認められていない。



図-7 上部工長期養生

### 3-5 真空工法の実施

全ての上・下床版において、コンクリート打設直後に真空マットを敷設し、真空ポンプにより余剰水やエントラップトエアを強制吸引する真空工法を適用した。

真空工法を適用するに当たり、事前試験を実施し、適切な吸引時間を設定している。事前試験は、図-8に示す3パターンについて実施した。

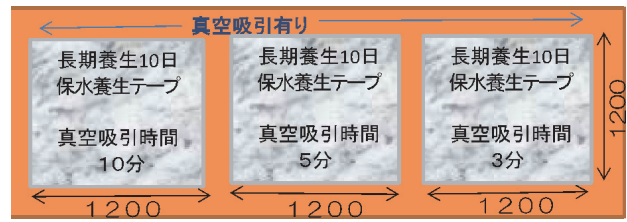


図-8 真空工法事前試験試験体

真空工法は、表層コンクリートの品質向上を目的として適用しているため、結果の評価は表面吸水試験により行うものとした。

表面吸水試験は、10分間の測定により吸水抵抗性に関する複数の指標が得られ、深さ方向の影響も含んだ表層品質を評価できる。

図-9に各試験体の表面吸水試験結果を示す。今回の試験範囲内では、真空工法の吸引時間が長くなるほど、10分時点の吸水速度P600が小さくなった。特に吸引時間10分の結果は、P600がゼロとなり、極めて高い吸水抵抗性を示すことがわかっている。

この結果より、実施工における真空工法の吸引時間は5~10分と設定した。

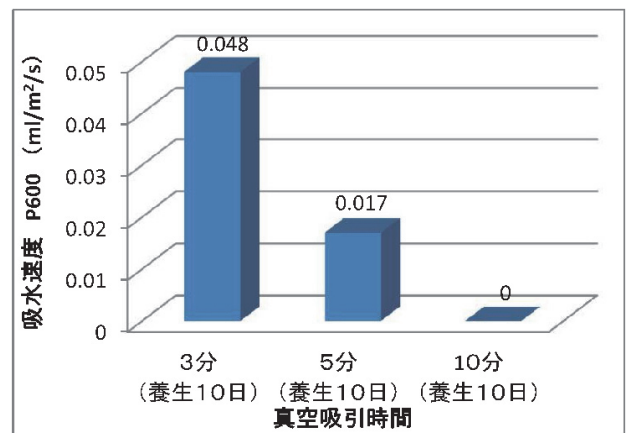


図-9 真空工法事前試験結果

### 3-6 EM センサによる緊張管理の実施

内、横締めケーブルのうち最初に緊張する5箇所および緊張距離の長い主ケーブル3箇所にEMセンサを設置し、緊張力を直接計測した。実際の緊張管理における導入緊張力をEMセンサの計測結果にて検証することで、確実な緊張管理を行うことができる。

図-10にジャッキ位置での導入緊張力とEMセンサの測定結果の関係の一例を示す。両者の相関性は高く、緊張管理時の緊張力が確実に構造物に導入されていることが確認でき、以降の緊張管理も同様の方法によって管理できることが検証された。

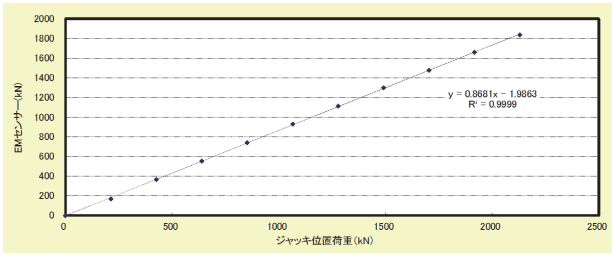


図-10 導入緊張力と EM センサ測定結果の関係

3-7 シース内残留空気防止対策の実施

全ての主ケーブルにおいて、グラウト注入前にシース内を真空ポンプにて減圧した後に注入する真空グラウト工法を採用した。

効果の確認として、シース内の真空度を圧力計で確認し、残留空気が残しやすいシースの曲げ下げ部全て（72箇所）にグラウト充填センサを設置した。その結果、シース内の未充填部を解消することができた。

§4. 課題と対策及びその効果について

本工事の施工に当たり、以下に示す2点が課題となり、検討の上各々の対策を実施した。

- ・市道および河川横断部のさらなる安全対策
- ・柱頭部のひび割れ対策

4-1 市道および河川横断部の安全対策

本工事において、P1～P2 径間の上部施工で一部市道および河川上での作業となる範囲がある。この範囲においては、第三者災害も想定され、発注者からもさらなる安全性確保を要望されたことから、標準施工よりもさらに安全性を向上させる対策を講じた。

(1) PC 箱桁施工継目型枠箇所の KK シート設置

ひとつは、PC 箱桁の施工打継目に KK シートを適用したことである。

上部工の施工は、PC 片持ち箱桁橋のワーゲン施工であり、1 回当たり 3 m～4 m ごとにコンクリートを打設し、やじろべえのように張出しを行っていく工法である。そのため、新旧コンクリートの打継目が形成され、通常、高圧洗浄による目嵐やチッピングなどで凸凹つけて打継処理を行っている。本工事の場合、50 m 以上もある高所であり、市道および河川の直上での作業時にチッピングによるハツリ殻が落下することやアルカリ分を含む高圧洗浄水が落下することにより、第三者災害や河川の汚濁等が懸念された。

この対策として、KK シートを使用し（図-11 参照）、これらの危険性を回避することとした。

KK シートは、円錐台形の突起を有する樹脂製品シートであり、型枠に取り付けてコンクリートを打設することで、脱型と同時に凸凹の打継目が形成されるものである。KK シートの採用により、チッピング作業が省略で

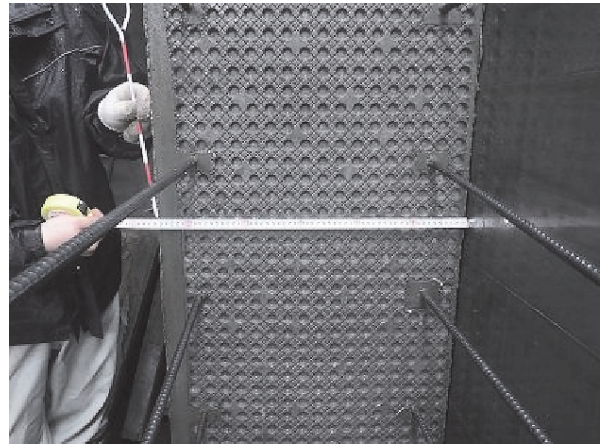


図-11 上部施工打継目 KK シート使用状況

きることで、高圧洗浄が必要なくなることにより、第三者災害や河川汚濁のリスクを回避でき、安全な施工が実施できた。

(2) ワーゲン落下防止措置の強化

もうひとつは、ワーゲン移動時の落下防止措置の強化として、ワーゲンを支持するアンカー本数を追加したことである。

本工事における各施工ステップにおけるワーゲンの固定状況を図-12～15に示す。

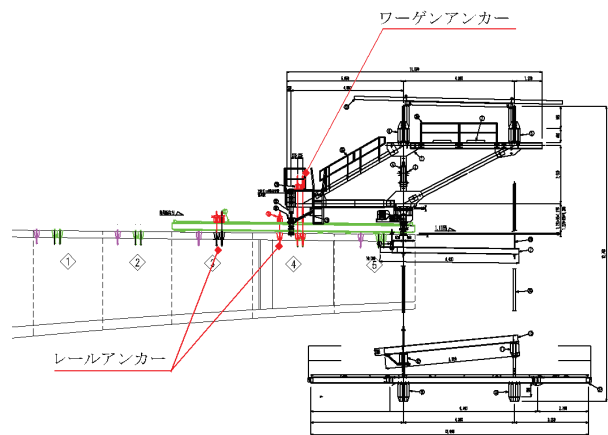


図-12 コンクリート打設時、主ケーブル緊張時

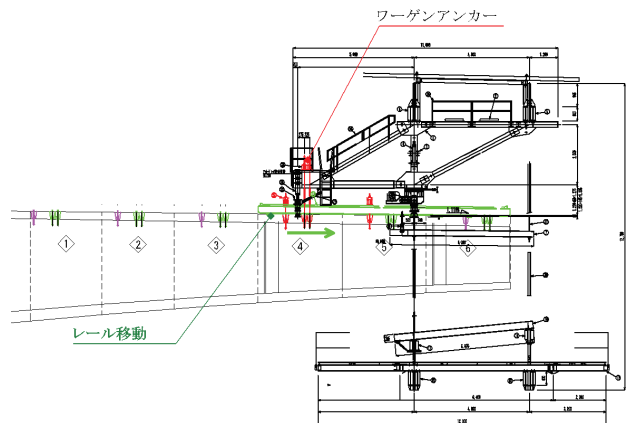


図-13 レール移動時

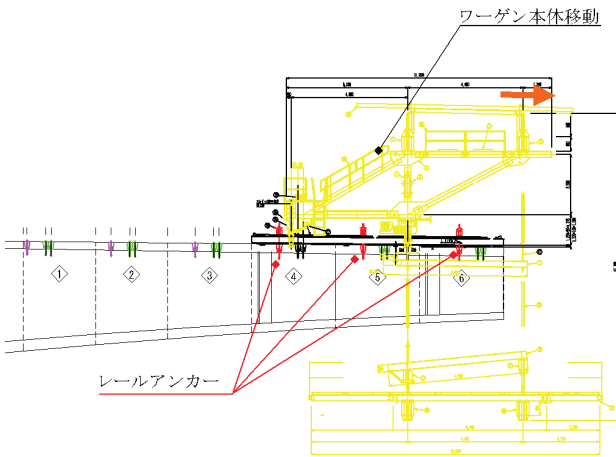


図-14 ワーゲン移動時

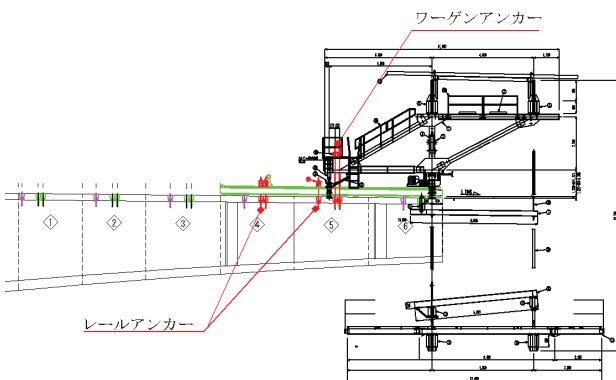


図-15 ワーゲン移動完了時

コンクリート打設時および主ケーブル緊張完了時までワーゲンの固定は、ワーゲンアンカー2本およびレールアンカー2本にて固定される(図-12参照)。その後、ワーゲンの移動作業に移行するが、その際にもこれら2本にて固定を行うのが標準である。まずレール移動時には、レールアンカーをフリーとし、ワーゲンアンカー2本のみで固定する(図-13参照)。ワーゲン移動時にはワーゲンアンカーをフリーとし、レールアンカー2本にて固定する。

本工事では、市道直上部におけるワーゲン移動時の落下防止措置の強化として、通常2本のレールアンカーで固定するところを3本のレールアンカーで固定する方法を採用している(図-14参照)。

ワーゲン移動完了後には、標準的なワーゲンアンカー2本、レールアンカー2本に戻して再度コンクリート打設作業に移行している(図-15参照)。

#### 4-2 柱頭部ひび割れ対策

本工事の柱頭部は、図-16に示す通り、非常にマッシュなコンクリートとなっており、内部拘束に伴う温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、施工前に3次元FEMによる温度応力解析を実施し、ひび割れ発生の可能性の確認および対策工の提案を行った。

事前に実施いた解析結果を図-17, 18に示す。

解析結果では、柱頭部の内部で最高100℃を超える温度上昇が確認され、それに伴い内部拘束により表面のひび割れ指数が最低0.35(ひび割れ確率ほぼ100%)といった結果が得られた。

この解析結果を基に発注者と協議の上、対策方法を決定している。

温度ひび割れ対策としては、ひび割れを防止する対策とひび割れを制御する対策に分類される。今回の解析結果ではひび割れ指数がかなり低いため、ひび割れを防止する対策は難しいと考え、ひび割れを制御する対策を提案した。ひび割れ制御対策としては、ひび割れ制御鉄筋を提案し、設計変更につながっている。

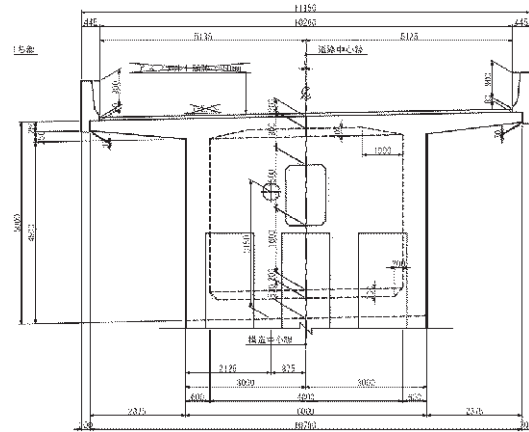


図-16 P2 橋脚柱頭部構造図

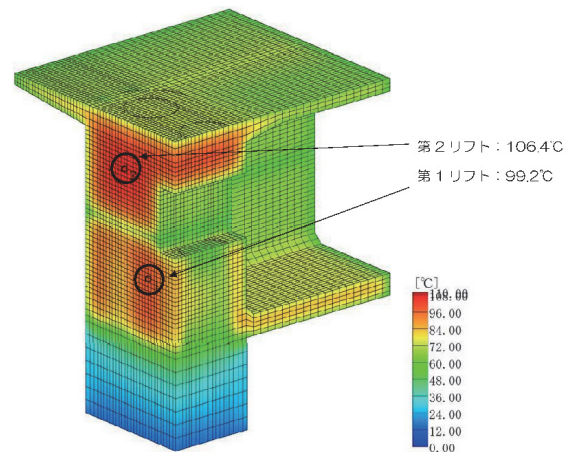


図-17 温度応力解析結果(最高温度)

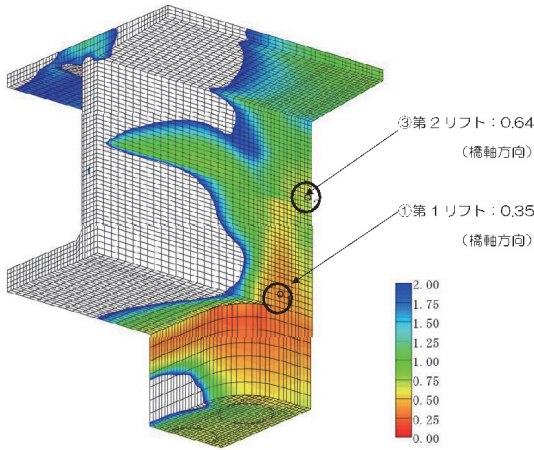


図-18 温度応力解析結果 (ひび割れ指数)

表-1 P2 橋脚柱頭部ひび割れ幅照査結果

項目	第1リフト		第2リフト	
	①柱頭部側面	②柱頭部横桁内面	③柱頭部側面	④柱頭部横桁内面
最小ひび割れ指数	0.35	0.45	0.64	0.42
最大応力発生方向	水平橋軸方向	水平橋軸直角方向	水平橋軸方向	水平橋軸方向
鉄筋仕様	鉄筋径	D13	D16 (内側) D16 (内側) D16 (外側)	D13 (内側) D13 (外側)
	配筋ピッチ	125	500 (内側) 500 (内側) 250 (外側)	250 (内側) 125 (外側)
断面積	鉄筋 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	1,013.6	1,588.8	1,520.4
	躯体 A (mm <sup>2</sup> )	500,000 (t=500mm)	500,000 (t=500mm)	600,000 (t=600mm)
鉄筋比 (%) ( $\rho = A_s / A \times 100$ )	0.20%	0.32	0.25	0.25
ひび割れ幅 (mm)	0.60	0.35	0.40	0.46
許容ひび割れ幅 (mm)	0.20	0.20	0.20	0.20
判定	NG	NG	NG	NG

原設計の配筋におけるひび割れ幅の照査結果を表-1に示す。表に示す通り、想定されるひび割れ幅は0.35~0.6mmとなり、有害なひび割れの発生が懸念された。なお、目標とするひび割れ幅は0.2mmとしている。

この結果に対し、表-2に示すひび割れ制御鉄筋を配筋することとし、ひび割れ幅を0.2mm以下とした。

実施工後の代表的なひび割れスケッチ図を図-19に、コンクリート温度の測定結果を表-3に示す。想定通りひび割れは発生したものの、ひび割れ制御鉄筋の効果により最大ひび割れ幅0.1mmであり、全てひび割れで幅0.2mm以下となっている。

表-2 P2 橋脚柱頭部ひび割れ幅照査結果

項目	第1リフト		第2リフト	
	①柱頭部側面	②柱頭部横桁内面	③柱頭部側面	④柱頭部横桁内面
最小ひび割れ指数	0.35	0.45	0.64	0.42
最大応力発生方向	水平橋軸方向	水平橋軸直角方向	水平橋軸方向	水平橋軸方向
鉄筋仕様	鉄筋径	D16 (内側) D16 (外側)	D16 (内側) D16 (内側) D16 (外側)	D19 (内側) D16 (外側)
	配筋ピッチ	125 (内側) 125 (外側)	250 (内側) 250 (内側) 125 (外側)	125 (内側) 125 (外側)
断面積	鉄筋 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	3,177.6	3,177.6	3,880.8
	躯体 A (mm <sup>2</sup> )	500,000 (t=500mm)	500,000 (t=500mm)	600,000 (t=600mm)
鉄筋比 (%) ( $\rho = A_s / A \times 100$ )	0.64	0.64	0.53	0.65
ひび割れ幅 (mm)	0.19	0.18	0.19	0.18
許容ひび割れ幅 (mm)	0.20	0.20	0.20	0.20
判定	OK	OK	OK	OK

表-3 P2 橋脚柱頭部温度測定結果

	打設温度	内部温度	最大ひび割れ幅
解析値	32°C	106.4°C	0.19mm (0.60mm)
実測値	32°C	91.0°C	0.10mm

( ) 内は無対策の場合

§5. まとめ

本工事では、いくつかの課題に対して、事前検討、対策案の提案、実施工を実施し、良好な結果が得られている。

また、品質向上のために適用した数種類の技術に関しても効果が確認され、発注者へのいいアピールになっていると考える。

当社では初めての試みも行っており、技術的財産として継承することで、今後の上部工張出し施工に活用できたら幸いである。

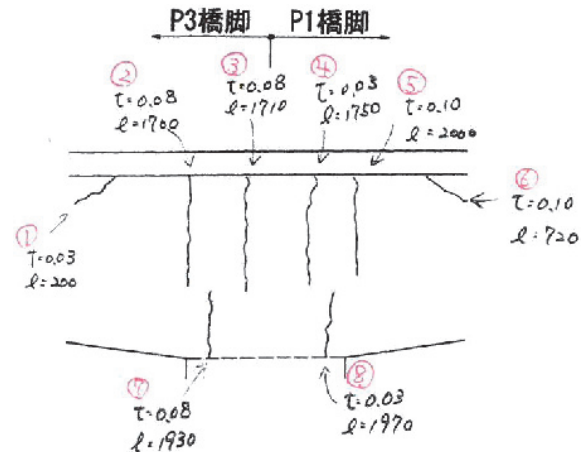


図-19 P2 橋脚柱頭部ひび割れ状況図 (西面)

謝辞. 本工事を施工するに際して、本社をはじめとした関係各位の皆様には、多大なご指導、ご協力をいただき感謝いたします。