

和歌山JCT Dランプ橋の施工

— 高橋脚を有する曲線橋の張出し施工 —

黒崎 一人*1・小林 正樹*2・藤原 敏晃*3・大久保 孝*4

和歌山JCTは、京奈和自動車道の最西端に位置し、阪和自動車道との合流地点に位置する。和歌山JCTが完成することで、高規格幹線道路ネットワークが形成され、地域間的高速移動、交通渋滞の緩和、さらに関西国際空港との距離関係から観光・物流・産業の活性化も期待されている。そのなかでDランプ橋（以下、本橋と記す）は、阪和自動車道の大阪方面から京奈和自動車道の和歌山、奈良、京都へ導く接続橋梁となる。

本橋の構造形式は、PC 6 径間連続ラーメン箱桁橋であり、本橋を構成するPD 1, PD 2 橋脚は、高さ約 60 m の高橋脚である。また、主桁は平面曲率半径 $R=150\text{ m}$ を有する曲線橋で、柱頭部から移動作業車により張出し施工される。本稿では、高橋脚、曲線橋という本橋の特徴に際して、実施工において行った品質確保への取組みおよび CIM の活用について報告する。

キーワード：高橋脚、曲線橋、張出し施工、EM センサー、パイプクーリング、CIM

1. はじめに

紀北西道路和歌山JCTは、京奈和自動車道の最西端に位置する（図 - 1）。京奈和自動車道と阪和自動車道が接続する要所になり、和歌山JCTが完成することで、高規格幹線道路ネットワークが形成され、地域間的高速移動、交通渋滞の緩和、さらに関西国際空港との距離関係から観光・物流・産業の活性化が期待されている。その中でDランプ橋（以下、本橋と記す）は、阪和自動車道の大阪方面から京奈和自動車道の和歌山、奈良、京都へ導く橋梁となる。

本橋は、高さ約 60 m の高橋脚と平面曲率半径 $R=150\text{ m}$ の曲線橋という特徴を有している。本稿ではこれらの特徴を踏まえた実施工での品質確保の取組みと CIM 試行工事としての活用事例について報告する¹⁾。

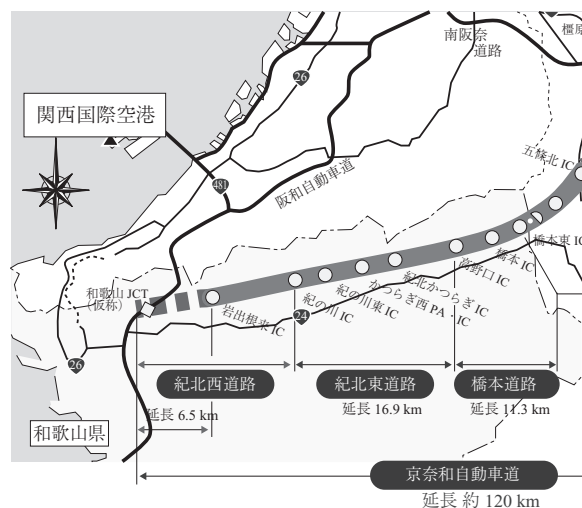


図 - 1 紀北西道路和歌山JCT 概要図

2. 工事概要および工事の特徴

工事概要を表 - 1 に、橋梁概要を表 - 2 に示す。

表 - 1 工事概要

工事名称	紀北西道路 和歌山JCT Dランプ橋上下部工事
発注者	国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所
工事場所	自) 和歌山県岩出市山地先 至) 和歌山県和歌山市湯屋谷地先
工事内容及び構造形式	(上部工) PC 6 径間連続ラーメン箱桁橋 (下部工) AD 2 : 逆 T 式橋台 PD 3 ~ PD 5 : 円形充実断面張出し式橋脚 PD 1 ~ PD 2 : 円形中空断面柱式橋脚 (基礎工) AD 2 : 組杭深礎基礎 PD 1 ~ PD 5 : 柱状体深礎基礎
施工方法	張出し架設工法および固定支保工の併用
施工者	川田・佐藤異工種建設工事共同企業体

表 - 2 橋梁概要

道路規格	A 規格 (ランプ種別)
構造形式	PC 6 径間連続ラーメン箱桁橋
橋長	480.400 m (CL 上)
支間長	77.325 m + 115.000 m + 83.500 m + 75.000 m + 68.000 m + 58.700 m
全幅員	7.650 m ~ 8.080 m
平面線形	$A=120\text{ m} \sim R=150\text{ m} \sim A=120\text{ m} \sim R=\infty \sim R=4\,000\text{ m}$
縦断勾配	$i=0.764\% \sim 0.424\% \sim 4.091\%$ (DP5 → AD2 上り勾配)
横断勾配	9.000% ~ 1.500% (片勾配)
斜角	90°
活荷重	B 活荷重
主要材料	(コンクリート) $\sigma_{ck}=40\text{ N/mm}^2$ (主桁), $\sigma_{ck}=30\text{ N/mm}^2$ (橋脚) (鉄筋) SD 345, SD 490 (PC 鋼材) SWPR7BL 12S15.2B

*1 Kazuto KUROSAKI : 川田建設 (株) 大阪支店 事業推進部 工事課 総括工事長

*2 Masaki KOBAYASHI : 川田建設 (株) 大阪支店 事業推進部 工事課 工事長

*3 Toshiaki FUJIWARA : 川田建設 (株) 大阪支店 事業推進部 技術課 係長

*4 Takashi OKUBO : 川田建設 (株) 大阪支店 事業推進部 技術課 課長

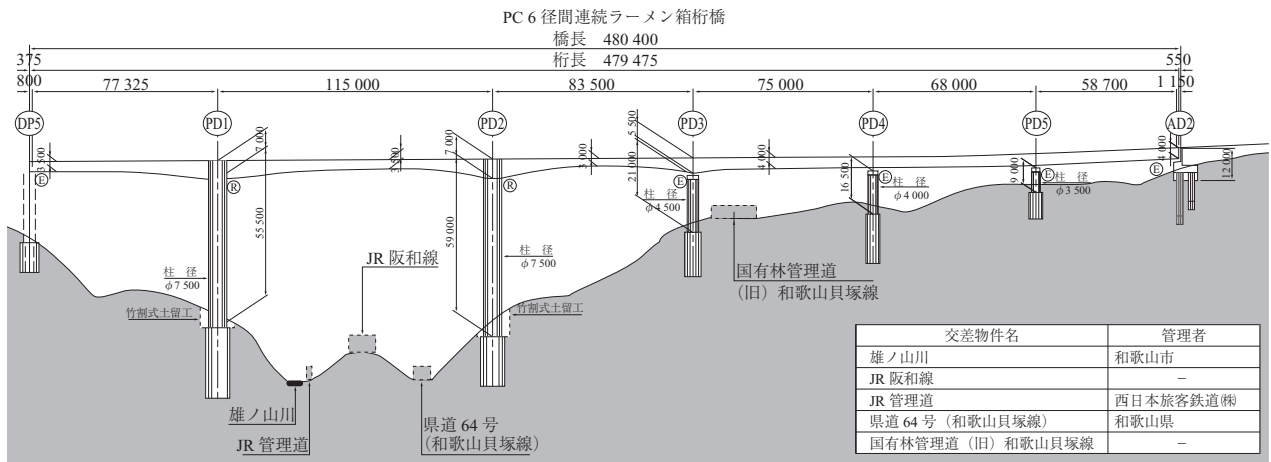


図 - 2 和歌山 JCT D ランプ橋 一般図

本工事の特徴を以下に示す。

- ① 阪和自動車道（下り線）から京奈和自動車道（上り線）に接続する平面曲率半径 $R = 150\text{ m}$ を有するランプ橋である。
- ② 起伏の大きな地形内に計画された橋梁であり、最大橋脚高は 59 m 、最小橋脚高は 9 m である。
- ③ JR 阪和線、県道 64 号線など多くの交差条件を有する重要構造物であり、第三者災害の防止策が重要である。
- ④ CIM 試行工事である。

図 - 2 に一般図を示す。

3. 高橋脚の施工に対する取組み

3.1 高強度材料の使用

本橋は、平面曲率半径 $R = 150\text{ m}$ を有する曲線橋であるため、耐震設計時における全方向の剛性が一定となる円形断面を採用している。また、高さ約 60 m となる PD1、PD2 橋脚は、地震時慣性力を減らすため中空断面を採用し、従来の材料 ($\sigma_{ck} = 24\text{ N/mm}^2$, SD 345) では橋脚断面が大きくなるため、高強度材料 ($\sigma_{ck} = 30\text{ N/mm}^2$, SD 490) を用いることで断面寸法縮小と重量軽減を図っている。

3.2 高橋脚のコンクリート打設時の品質確保

PD1、PD2 橋脚のコンクリート打設は、ポンプによる圧送を計画したが、鉛直配管長さが約 60 m となる高所圧送となるため、圧送時の材料分離抵抗性が向上する SEC コンクリート工法 (NETIS KT-1000 97-VE) を採用した。なお、事前にコンクリートの実機練りを行い、性能を確認したうえで施工を行った。

この結果、橋脚へのポンプ圧送時の材料分離による閉塞などの不具合は生じなかった。また、写真 - 1 に示すような円形断面に配置したループ配管により、打込み断面に対し均等に安定した生コン打設を行うことで、品質を確保しながら施工を行った。

4. 曲線橋の張出し施工に対する取組み

4.1 曲線対応型移動作業車

片持ち張出し架設工法では、橋脚上の柱頭部から移動作業車を用いて主桁を 1 BL あたり $3 \sim 5\text{ m}$ ずつ左右に張り

出しながら施工していく。移動作業車の移動方法には、スライド方式と車輪方式の 2 つに分類される。スライド方式は、移動用レールの滑り面をステンレス板とし、滑り板を用いて PC 鋼棒とジャッキにより移動作業車を引き出ししながら移動させる。車輪方式は、鉄道と同じようにレールと車輪で構成され、自走モーターで移動させる。本橋は、平面曲率半径 $R = 150\text{ m}$ を有する曲線橋であるため、横断勾配の変化および平面曲率の変化を考慮し、移動時の横滑り逸走防止に優れるという観点から、車輪方式の移動作業車を用いた。また、移動用レールは曲線レール ($R = 150\text{ m}$) を製作し、平面曲率に対応した (写真 - 2)。

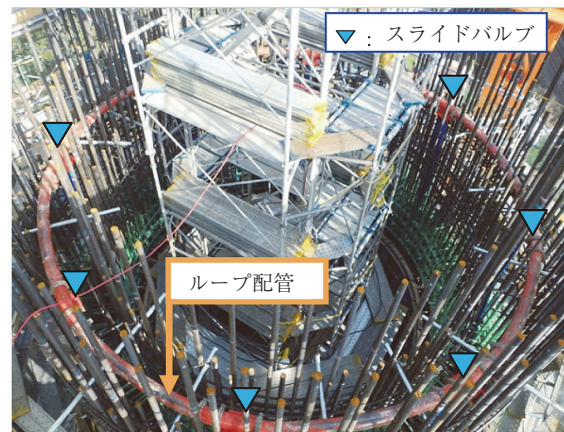


写真 - 1 円形断面に配置したループ管

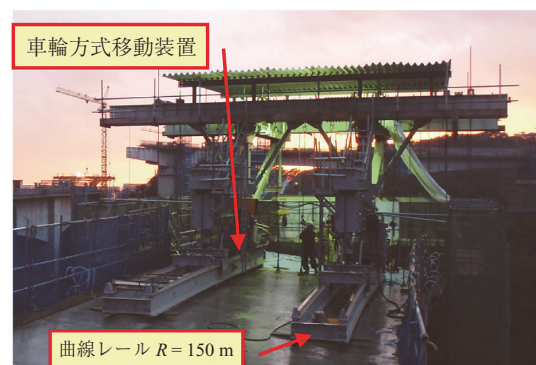


写真 - 2 曲線対応型移動作業車

4.2 曲線橋の張出し施工でのたわみ管理

片持ち張出し施工におけるたわみ管理は、出来形品質を確保するうえで重要である。張出し長が長くなればなるほど、たわみは大きくなり、橋脚高さが高くなればなるほど、橋脚の傾きの影響は大きくなる。また、曲線橋の円弧に対する交角が大きくなればなるほど、ねじり変形は大きくなる。このように張出し施工中の主桁の挙動は施工ステップとともに変化していく。曲線橋の張出し施工では、曲率の影響で橋脚が曲率中心方向に傾き、さらに主桁のねじり変形により、左右の張出し床版先端も回転の影響を受けることになる(図-3)。

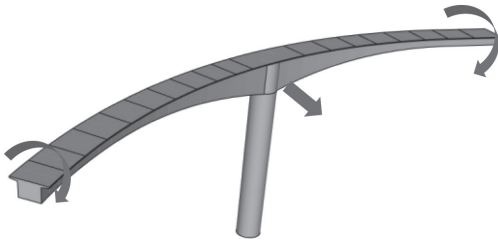


図-3 曲線橋の張出し施工時の挙動

本橋のたわみ管理においては、立体骨組み解析による最大張出し時のねじり変形量を算出し、各施工ブロックのたわみ量にねじり変形分を2次補完して加味することで対応した。

4.3 曲線橋での緊張管理

PC構造物は、プレストレスングにより設計で定められた緊張力を導入することで、目標とする耐荷力を保有することができる。緊張管理では、プレストレスングにおいて、緊張力と伸び量の関係が安定していること(品質の確保)と所定の緊張力が導入されたこと(構造物の安全性の確保)の2点を確認し実現することが必要である。

曲線PC箱桁橋では、部材(床版・ウェブ)内に配置されるPC鋼材は曲率に沿った形状となるため、直線橋に比べ緊張力の摩擦損失が大きくなる。よって、曲線配置されたPCケーブルの緊張力を確実に導入することが重要である。

本工事では緊張力を確実に導入する工夫として、通常の「摩擦係数をパラメータとする管理」に加え、図-4に示す「EMセンサー」を使用した。EMセンサーは、緊張力を直接測定することができるパルス式磁歪測定器である。

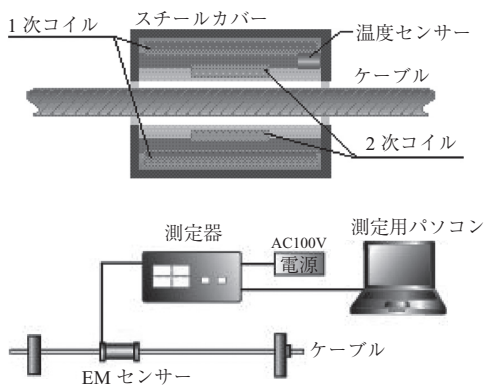


図-4 EMセンサーの構造と測定機器

EMセンサーは、各径間中央閉合時に最初に緊張する主ケーブルの最大正曲げモーメント位置付近(写真-3,4)に取り付け、導入緊張力を直接測定することで、緊張計算結果と比較して所定の緊張力が導入されたことを確認し、構造物の安全性の確保を図った。

各径間で取り付けたEMセンサーの測定値は、摩擦係数をパラメータとした管理で行った緊張管理の緊張力と比較して妥当であり、曲率の小さい曲線を有する本橋に対して所定の緊張力が確実に導入されたことが確認できた。

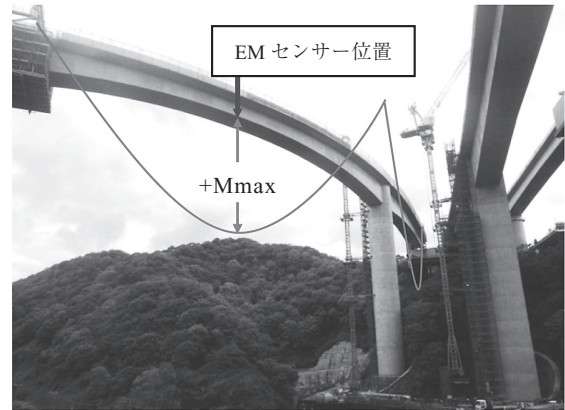


写真-3 EMセンサーの配置位置

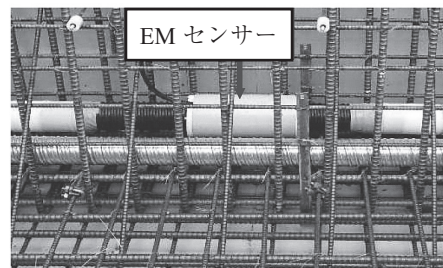


写真-4 EMセンサーの配置状況

5. 初期ひび割れの抑制に対する取組み

施工段階で生じたひび割れが設計耐用期間中に構造物の性能に与える影響は必ずしも十分に把握されていないが、コンクリートの表面に多数発生したひび割れは、構造物の美観を損ない、コンクリート自体の耐久性、構造物内部の鋼材を保護する性能および水密性や気密性を低下させる原因となる場合がある²⁾。

本橋は、多くの交差条件を有している重要構造物である。そのため、PC箱桁橋の健全性を長期的に維持し長寿命化を図ることが重要であることから、表-3に示す初期ひび割れの抑制に対する取組みを実施した。

表-3 初期ひび割れ抑制の取組み

予想される初期ひび割れ	初期ひび割れ抑制を目的とした品質確保・向上への取組み
水和発熱による温度ひび割れ	・温度応力解析 ・ポストクーリングの実施(水冷・空冷)
収縮ひび割れ・緻密性の低下 (自己収縮・乾燥収縮・プラスチック収縮など)	・養生方法の工夫 (封かん養生、内外温度差管理) ・養生期間の延長

5.1 温度応力解析

マスコンクリート部材であり水和発熱による温度ひび割れの発生が懸念される橋脚・橋台、柱頭部横桁に対し、3次元 FEM 温度応力解析を実施した。

解析結果に基づくポストクーリングの検討を行い、水和発熱量を抑制し、温度応力ひび割れ指数の低減に取り組んだ。ポストクーリングにより、内部温度上昇が抑制され、マスコンクリート部材の内外温度差が低減でき、ひび割れ指数 1.0 以下の領域が縮小していることが確認できた（図 - 5, 6）。

なお、ひび割れ指数 1.0 以下の領域にはひび割れ抑制を目的とした補強筋を追加配置することとした。

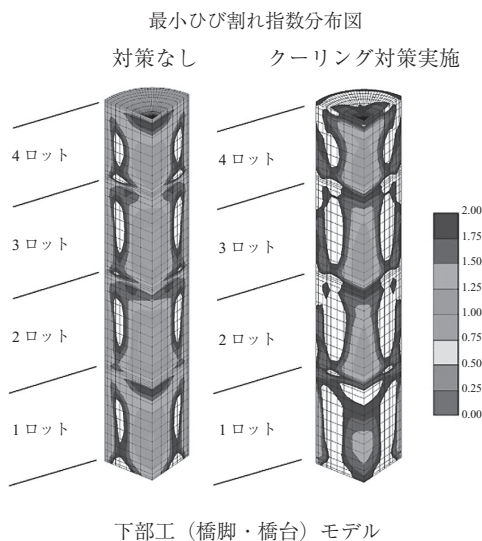


図 - 5 橋脚の温度応力解析結果例

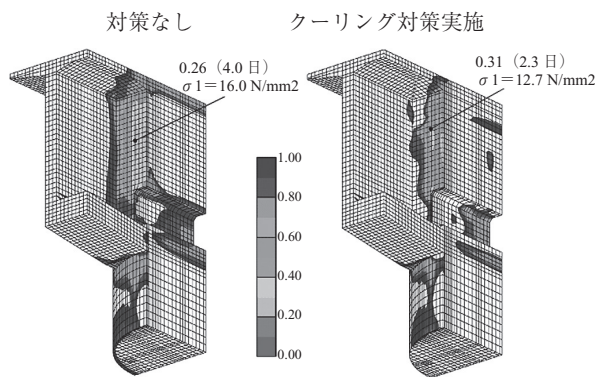


図 - 6 柱頭部の温度応力解析結果例

5.2 下部構造に対するポストクーリング

下部工（橋脚・橋台）では、水を循環させる水冷パイプクーリングを実施した。

水冷パイプクーリングとは、解析結果に基づいて躯体内に直径 60 mm のシース管を鉛直方向に埋設し、コンクリートの硬化に合わせてシース管内に冷却水を循環させるものである（写真 - 5, 6）。冷却水の循環は、埋設した熱電対とデータロガーにより外気温度とコンクリート内部温度

を測定し、内外温度差が 20℃ 以下になるまで継続した。

パイプクーリング完了後は、シース管内余剰水の排出および圧縮空気による清掃を行い、本体コンクリート強度と同等以上の無収縮モルタルで充填を行った。

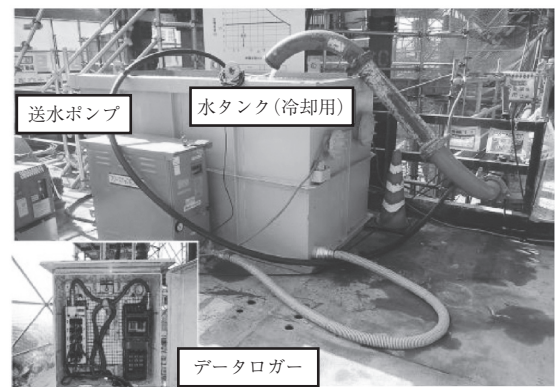


写真 - 5 水冷パイプクーリング装置

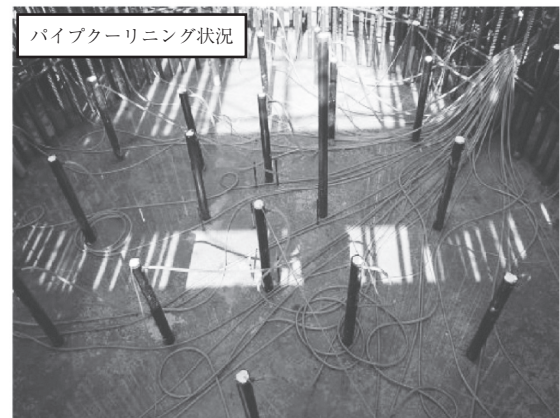


写真 - 6 橋脚のパイプクーリング状況

5.3 上部構造に対するポストクーリング

上部工の中間支点横桁（柱頭部：PD 1, PD 2, PD 3 中間支点部：PD 4, PD 5）では、強制送風によるエアーパープクーリング（空冷）を実施した（写真 - 7）。

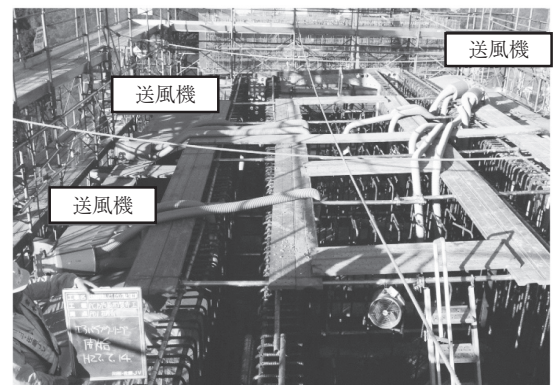
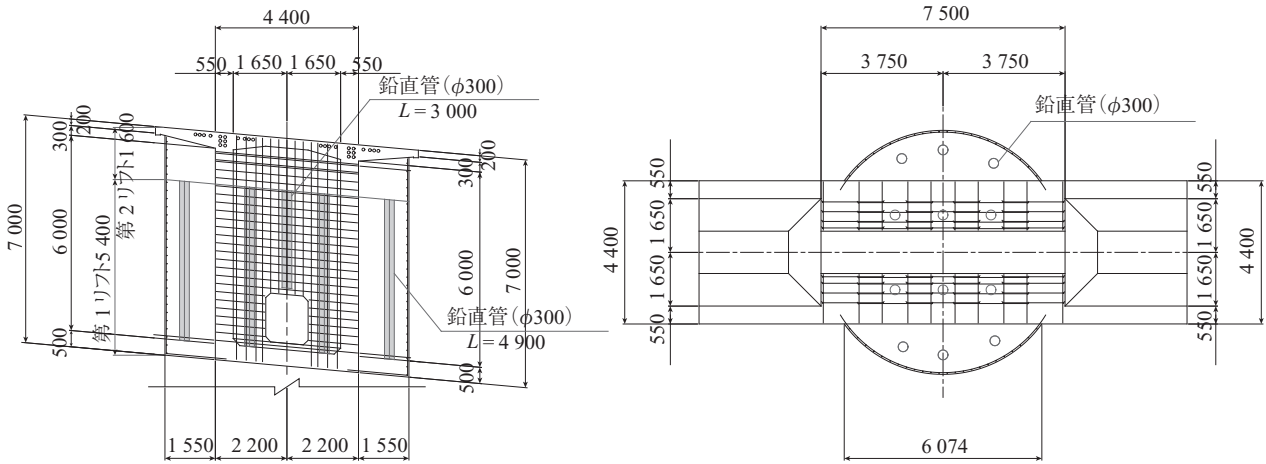


写真 - 7 柱頭部のエアーパープクーリング状況

横桁部に鉛直管（φ 300）を図 - 7 のように配置し、送風機にエアードクトを繋ぎ、風速 7.5 m/s で送風した。横桁の内部温度および表面温度は、埋設した熱電対による計測温度の経時変化をリアルタイムで図化できるコンクリー



※風速 7.5 m/s で送風する『エアパイプクーリング』を実施

図 - 7 エアパイプクーリング鉛直管配置図

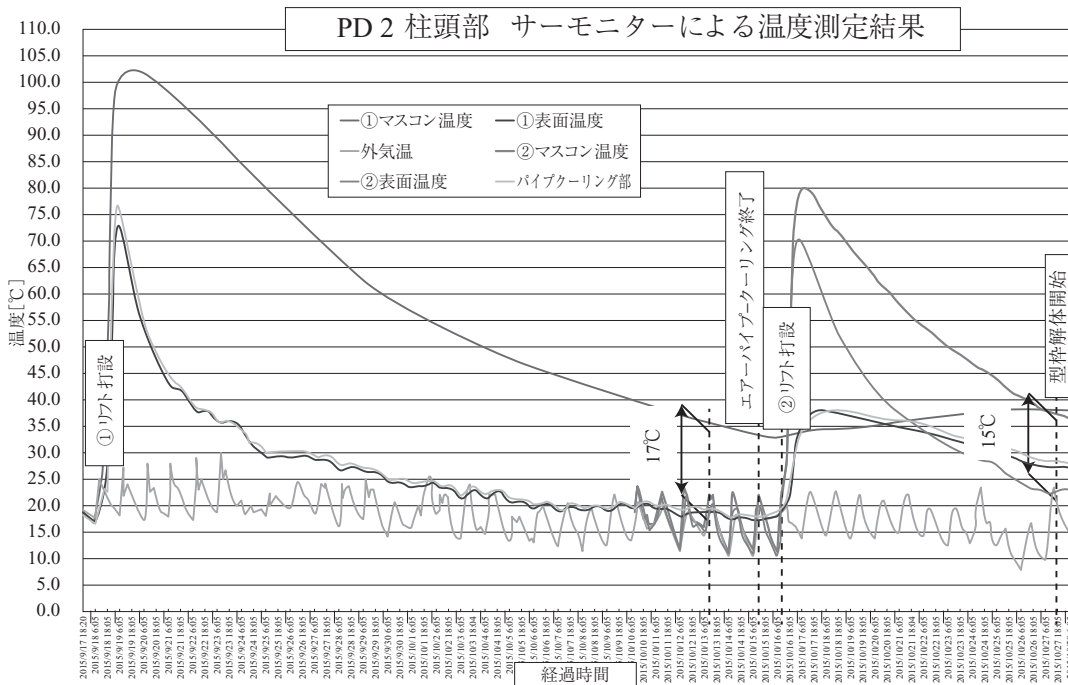


図 - 8 サーモモニターによる温度計測結果

ト養生管理システム（サーモモニター）を用いて測定した（図 - 8）。クーリングは、横桁内部と表面の温度差が 20℃ 以下になるまで継続し、横桁内部と表面の温度差が 15℃ 以下³⁾ となったことをサーモモニターで確認したのち型枠を脱型した。なお、エアパイプクーリング終了後、鉛直管内部は、圧縮強度 40 N/mm² 以上の無収縮モルタルで充填した。

5.4 緻密性の向上を目的とした養生方法

脱型後のコンクリートの温度低下と初期材齢の収縮ひび割れの発生を抑制するため、通常の湿潤養生（3日間）ののちに、水平面（上下床版天端面）に「気泡養生シート（エアキャップシート）+ブルーシート」を敷設し、水分の蒸発を防止する封かん養生をコンクリート材齢 28 日まで

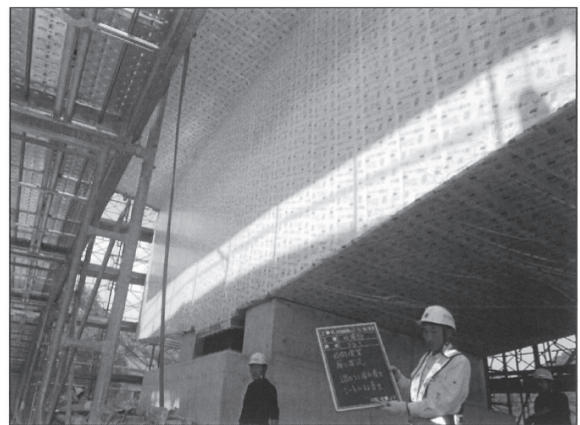


写真 - 8 保水養生テープの使用状況

延長して行った。

また、箱桁の脱型直後の側枠面、底枠面、上床版下面に、非透水性で水分の蒸発を防ぎ、水分減少率を改善できる「コンクリート保水養生テープ」を貼り付け、コンクリート材齢 28 日まで延長して行った（写真 - 8）。

封かん養生の効果により、水分の逸散に起因する初期材齢の収縮ひび割れを抑制することで、コンクリートの緻密性を高めることができ、本橋の品質および耐久性向上に寄与できたと考えている。

6. CIM の活用に対する取組み

本工事は、CIM 試行工事に位置づけられたため、維持管理に引継ぐデータベースを構築した。

データベースには、地形、構造物の形状、交差条件を 3 次元モデルに作成後、本橋の上・下部工に関する品質、施工管理記録、新設構造物に対する初期点検記録などを取り込んでいる。（図 - 8：たとえば、赤色の着色部には、各管理記録がリンクしている）

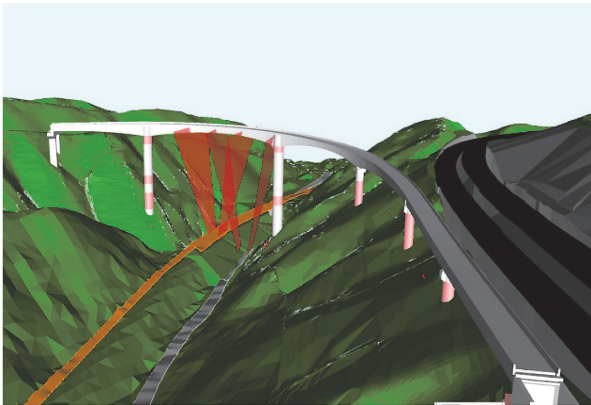


図 - 9 D ランプ橋の CIM モデル

さらに、埋設物や存置した仮設物（本工事では支保工杭が該当）の位置や数量を取り込むことで、施工段階から維持管理段階へ、情報の引継ぎが視覚的に行える。

このように、3 次元モデル上に施工時の情報を格納、またはリンクさせたデータベースの構築により、維持管理段階に引継ぐ情報の「見える化」の有効性が確認できた。

今後の展望としては、維持管理段階においてタブレット型端末などを利用することで、完成時の記録と現況比較が現場で行えるようにするなど、点検業務の効率化が期待される。

本工事での経験を基に、CIM 導入とデータベースの活用により、施工管理の効率化、生産性の向上につながる現場のツールの一つとしたい。

7. おわりに

本工事は、円柱の高橋脚および平面曲率半径 $R = 150 \text{ m}$ を有する曲線橋の張出し施工であり、JR 阪和線や県道を跨ぐなど交差条件の制約も多く、非常に難易度の高いものであったが、平成 28 年 8 月に無事に竣工を迎えることができた（写真 - 9, 10）。



写真 - 9 完成写真 (1)



写真 - 10 完成写真 (2)

本稿で報告した事例が今後の類似工事の参考になれば幸いである。

最後に本工事の完成にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各所の方々に深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 黒崎一人：魅せる！現場 高橋脚曲線橋の張出し施工, 土木施工, 2016, Nov, VOL.57, No.11
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, pp.84-85, 2008.

【2017 年 3 月 2 日受付】