

# 横浜横須賀道路佐原第二高架橋の施工 — 温度応力解析を用いたひび割れ抑制対策 —

長岡 寛\*1・辻 健次\*2・佐藤 正和\*3・松原 和也\*4

## 1. はじめに

横浜横須賀道路佐原第二高架橋の構造形式は、PRC連続ラーメン2主版桁橋およびPRC連続2主版桁橋である。図-1に橋梁位置図を示す。施工方法は、固定支保工を用いて段階的にコンクリートを打設する工法を採用した。PRC構造の特性からコンクリートの引張応力度、ひび割れ幅の制御が必要であるため、通常的设计手法に加え温度応力解析を実施した。温度応力解析結果より、コンクリート水和熱および乾燥収縮による応力性状の把握とひび割れ指数によるひび割れ発生の有無、ひび割れ発生時期およびひび割れが残留する可能性等を把握し、補強方法の検討を行い、構造物のひび割れ発生を制御する施工を行った。

また、施工時にコンクリートの温度を計測し解析結果と比較することで、解析結果およびひび割れ抑制対策の妥当性を確認した。さらに、フレッシュコンクリートの単位水量を連続的に測定し、圧縮強度を推定することで硬化コンクリートの性能を確認した。

本報告では、温度応力解析結果より得られたひび割れ抑制対策について、実構造物により検証した結果を報告する。

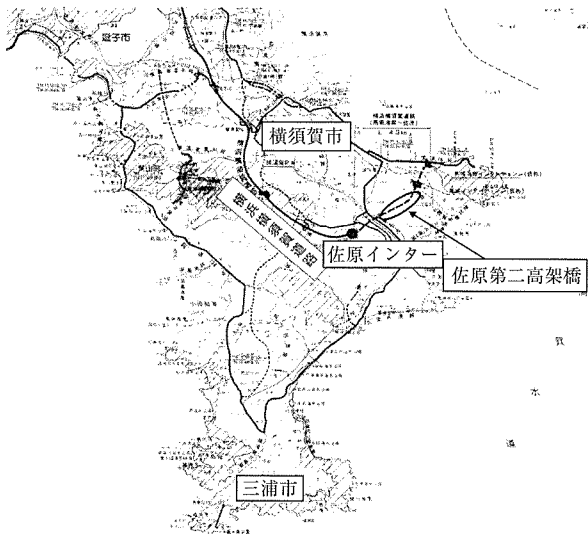


図-1 橋梁位置図

## 2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：横浜横須賀道路佐原第二高架橋  
(PC上部工) 工事

工事延長：856.9 m

工事内容

橋名：佐原第一高架橋

橋長：122.4 m

構造形式：PRC 4 径間連続 2 主版桁

橋名：佐原第二高架橋

橋長：191.8 m, 34.5 m, 158.5 m, 153.5 m

構造形式：PRC 7 径間連続ラーメン 2 主版桁, PRC 単  
純合成桁, PRC 5 径間連続ラーメン 2 主版  
桁, PRC 5 径間連続ラーメン 2 主版桁

橋名：池田高架橋

橋長：196.2 m

構造形式：PRC 7 径間連続 2 主版桁

幅員：10.360 m

施工方法：場所打ち固定支保工（段階施工）

使用材料

(1) コンクリート

セメント種別：早強ポルトランドセメント

設計基準強度： $\sigma_{ck} = 36.0 \text{ N/mm}^2$

単位セメント量： $C = 335 \text{ kg/m}^3$

単位水量： $W = 159 \text{ kg/m}^3$

(2) PC 鋼材

主方向ケーブル：プレグラウト PC 鋼材  
1S28.6 mm

横方向ケーブル：プレグラウト PC 鋼材  
1S21.8 mm

(3) 鉄筋

種別：SD 345

\*1 Satoru NAGAOKA：(株)富士ピー・エス 中央ピーエス (株)JV

\*2 Kenji TSUJII：(株)富士ピー・エス 中央ピーエス (株)JV

\*3 Masakazu SATO：東日本高速道路 (株) 関東支社

\*4 Kazuya MATSUBARA：東日本高速道路 (株) 関東支社

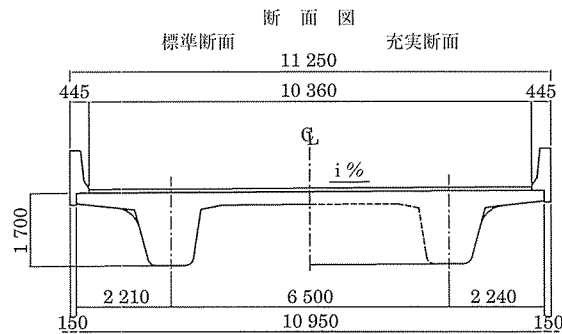
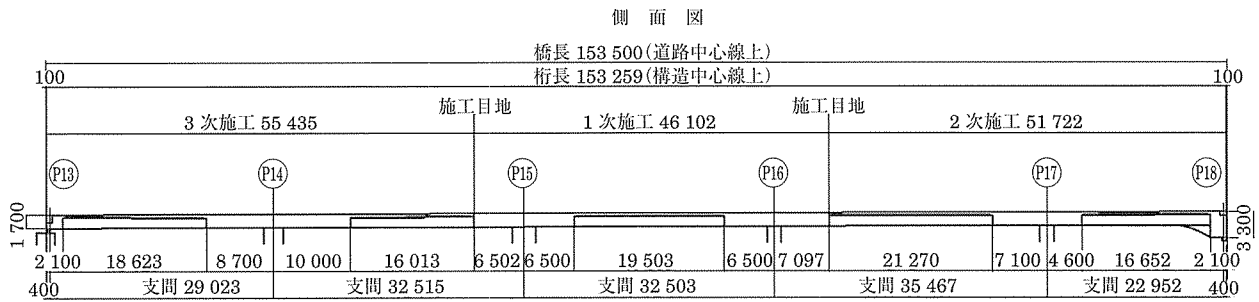


図 - 2 構造一般図

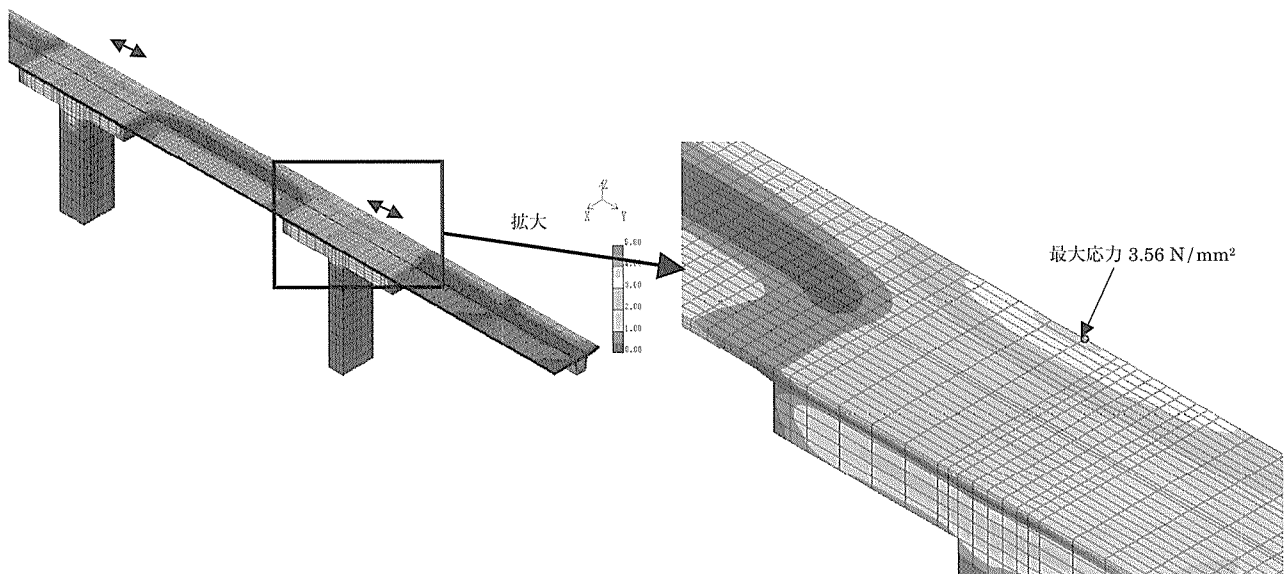


図 - 3 橋軸方向応力コンター図 (経験値最大)

### 3. 温度応力解析結果

主な温度応力解析結果を以下に示す。

#### 3.1 充実断面部張出し床版橋軸方向応力

図 - 3 に橋軸方向応力コンター図 (経験値最大), 図 - 4 に最大応力位置の応力履歴を示す。張出し床版部に引張応力が発生することが分かる。これは、部材寸法が大きい充実断面部が水和熱により膨張した際に、部材寸法が小さく水和熱の低い張出し床版がその膨張により引っ張られ発生する引張応力である。応力履歴より打設後 2, 3 日で最大応力度を示し, 5 日目には圧縮に転じることが分かる。補強方針は, 一時的な応力であり, 短時間のひび割れは許容す

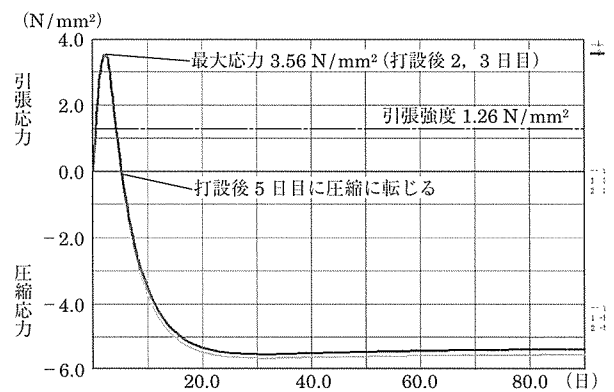


図 - 4 最大応力位置の応力履歴

ることとし、鉄筋による補強を実施した。補強量は配置鉄筋 D 19 ctc 125 mm から D 22 ctc 125 mm とした。

### 3.2 打継目部橋軸直角方向応力

図 - 5 に橋軸直角方向コンター図、図 - 6 に最大応力位置での応力履歴を示す。図 - 5 より、新コンクリート部に引張応力が発生することが分かる。これは、新コンクリート部の水和熱による膨張・収縮を旧コンクリートが拘束する際に、膨張は低ヤング係数時に、収縮は高ヤング係数時に起きるため、引張応力が発生・残留したためである。また、新旧コンクリートの材齢差により乾燥収縮による引張力も発生した。図 - 6 より、応力履歴により打設後 2～5 日で引張応力が新コンクリート部に卓越し、その後徐々に増加することが分かる。よって補強方針は、発生する引張応力が比較的大きく残留するためプレストレスを導入することとした。補強量は、床版の合成応力が引張強度以下となるように PC 鋼材 1S21.8 mm を現行配置 (ctc 500 mm) の間に 1 本配置した。

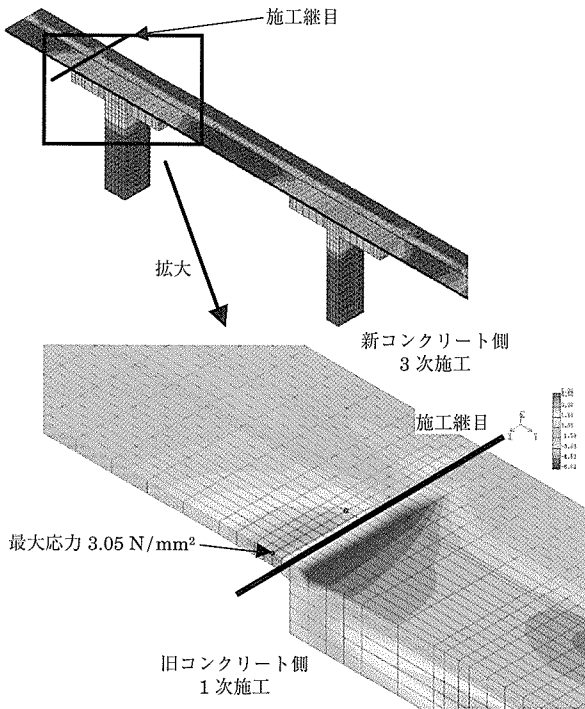


図 - 5 橋軸直角方向応力コンター図 (経験値最大)

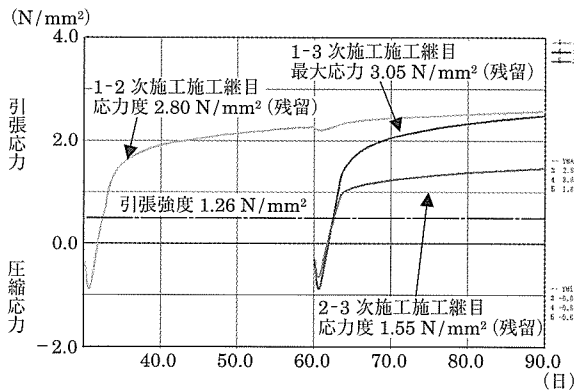


図 - 6 最大応力位置の応力履歴

### 3.3 主桁内部橋軸方向応力

図 - 7 に橋軸方向応力コンター図、図 - 8 に最大応力位置での応力履歴、図 - 9 に最大応力位置でのひび割れ指数履歴を示す。図 - 7 より、主桁内部に引張応力が発生することが分かる。これは、水和熱の部材内外温度差により発生した引張応力である。温度変化の少ない部材外面は、温度の高い内部の温度降下による収縮を拘束するため、内部に引張応力が発生・残留した。図 - 8 より、応力履歴により打設後 5 日目以降に引張応力が発生し、10 日前後はほぼ定常化 (残留) することが分かる。最大応力発生位置が部材図心付近であり、この位置には曲げ応力が発生せずプレストレスの軸力による圧縮応力のみが作用し、その圧縮応力を考慮した場合に、発生応力がコンクリートのひび割れ発生応力より小さいことからこの部位にはひび割れが発生しないと判断し補強は行わないこととした。ただし、実施工においてひび割れ抑制に対する安全性向上のため、送風によるパイプクーリングを実施した。

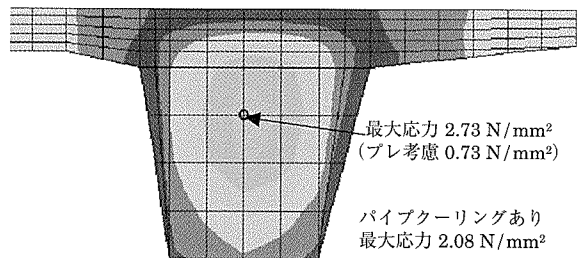


図 - 7 橋軸方向応力コンター図 (経験値最大)

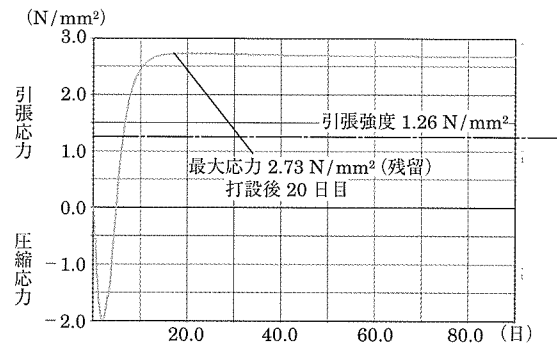


図 - 8 最大応力位置の応力履歴

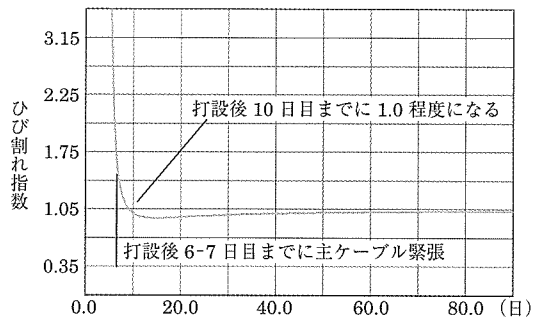


図 - 9 最大応力位置のひび割れ指数履歴

#### 4. ひび割れ抑制対策の妥当性の確認

4.1 温度応力解析結果を踏まえた施工時ひび割れ抑制対策  
 実施工時において、以下に示す施工時ひび割れ抑制対策  
 を実施した。

- ① 内部拘束力対策として、送風によるパイプクーリング  
 を打設後3日目まで実施した（主ケーブル緊張開始前  
 まで）。

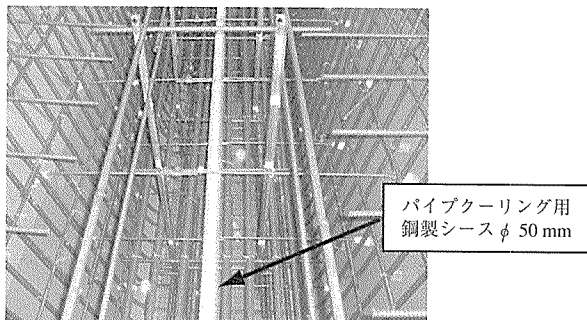


写真-1 パイプクーリング用鋼製シース配置状況

- ② 初期の乾燥収縮ひび割れ対策として、橋面養生（養生  
 マット+散水）を打設後5日目まで実施した。
- ③ 若材齢時の直射日光による床版温度上昇（床版温度差）  
 防止対策として、養生マットを打設後10日目まで存  
 置した。

#### 4.2 温度応力解析結果と施工時実測データ（コンクリート 温度）の比較検討

施工時のひび割れ発生に対する安全性の確認、温度応力  
 解析およびひび割れ抑制対策の妥当性をはかる一資料とする  
 ため、施工時コンクリート温度を計測した。計測位置を図-  
 10に示す。

##### (1) 温度履歴について

図-11に各測点におけるコンクリート温度履歴、図-12  
 に最高温度位置での実測値と解析値の比較を示す。ここで  
 用いた解析値には、外気温に実測値を用いている。最高温  
 度を実測値と解析値で比較した場合、6～8℃程度実測値  
 の方が高く、温度上昇の勾配も急であった。最高温度位置  
 での温度履歴では、温度降下時で実測値と解析値がほぼ一  
 致した。打設後12～16日までの計測点も外気温とほぼ同  
 程度となった。

##### (2) 温度分布について

図-13に鉛直方向温度分布を示す。温度分布は、実測値  
 と解析値（パイプクーリングなし）ではほぼ同様な傾向であ  
 るため、パイプクーリングの効果は得られなかったと思わ  
 れる。材齢15日まで、各計測日の主桁上面側の温度に大き  
 な差（急激な変化）がないため、床版温度差が作用した形  
 跡は見られない。したがって、養生効果が得られ、若材齢  
 時の床版温度差によるひび割れ抑制対策が施された。

#### 4.3 施工時実測データを考慮した温度応力解析結果

計測によって得られたコンクリート温度を温度応力解析  
 にフィードバックし、その応力性状を確認するとともに補  
 強量の照査を実施した。図-14に充実断面部張出し床版橋

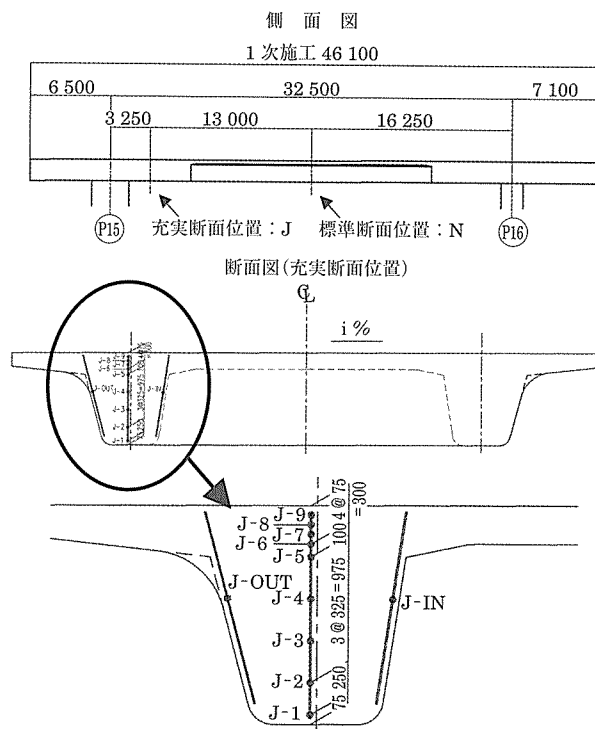


図-10 コンクリート温度計測位置

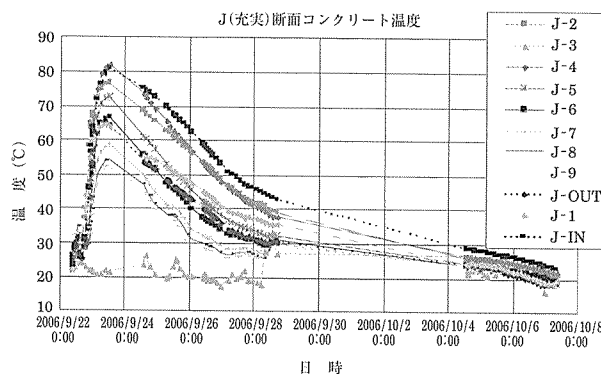


図-11 コンクリート温度履歴

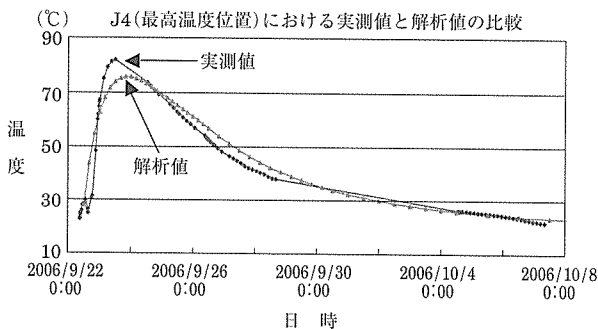


図-12 最高温度位置での実測値と解析値の比較

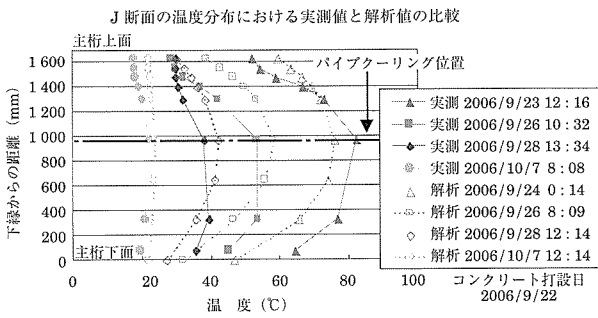


図 - 13 鉛直方向温度分布

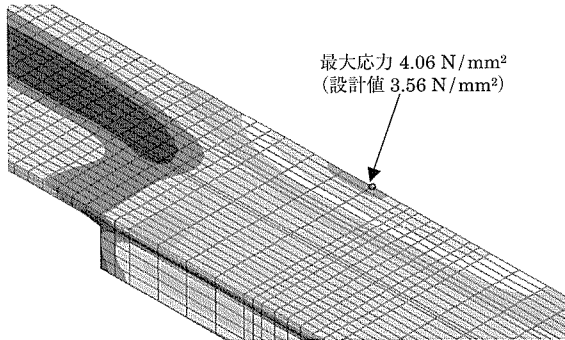


図 - 14 充実断面部張出し床版橋軸方向応力カウンター図 (経験値最大)

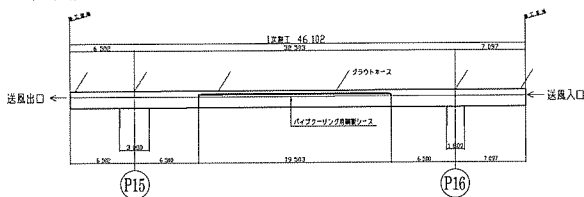
軸方向応力カウンター図を示す。コンクリート温度が増加したことにより発生する引張応力が増加するが、現行の補強量で満足することを確認した。

#### 4.4 パイプクーリング送風方法の変更

施工時コンクリート温度を計測した結果、パイプクーリングの効果が見られなかったため送風方法を片側からの送風から中央から両端へ送風する方法に変更した。図 - 15 にパイプクーリング送風方法を示す。

図 - 16 に段階施工ごとにおけるコンクリート温度を示す。パイプクーリング送風方法を変更した2次施工以降では解析値に比べコンクリート温度の最高温度が低下している。主な要因としては、コンクリート打設時期が冬季に近

- ① 当初送風方法・・・片側からの送風 (1次施工 080922 コン打設時)



- ② 変更送風方法・・・中央から両端へ送風

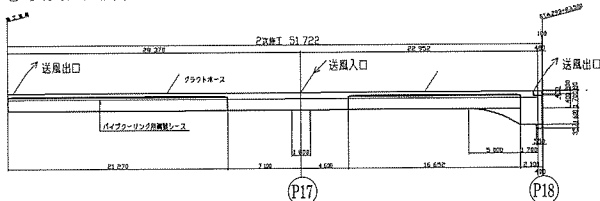


図 - 15 パイプクーリング送風方法

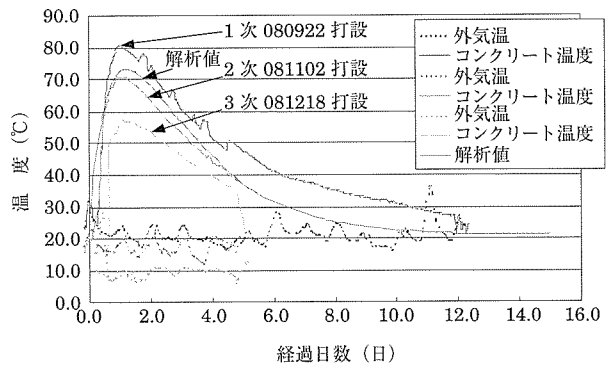


図 - 16 段階施工ごとにおけるコンクリート温度

づいたことによるコンクリート練上がり温度および外気温の低下によるものと考えられる。また、2次施工時の平均外気温は18℃程度であり、温度解析に用いた外気温(15.2℃)よりも若干高い温度であるため、パイプクーリングによる効果もあったものと考えられる。

### 5. コンクリートの単位水量測定および硬化コンクリートの性能確認

主桁のコンクリート打設時に、フレッシュコンクリートの品質管理の向上および硬化コンクリートの品質管理を目的として、コンクリートの単位水量を連続的に測定した。単位水量の測定結果および硬化コンクリートの品質を検討し、主桁コンクリートの性能を確認した。単位水量の測定は、電子レンジ法<sup>a)</sup>と連続RIコンクリート水分測定法<sup>b)</sup>の2種類を併用して行った。図 - 17 に連続RI法の測定状況を示す。

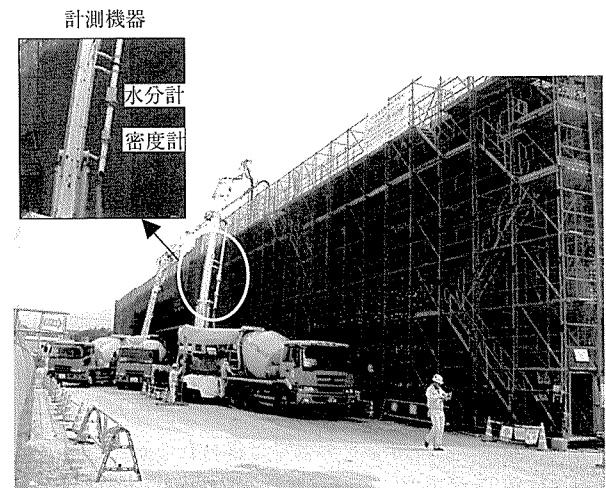


図 - 17 連続 RI 法測定状況

#### 5.1 単位水量測定結果

図 - 18 に単位水量測定結果を示す。単位水量の平均値を比較した場合、電子レンジ法と連続RI法はほぼ同程度の値であり、設計値と比較すると若干多い(+4 kg/m<sup>3</sup>)結果となった。これは、電子レンジ法による測定誤差、連続RI法

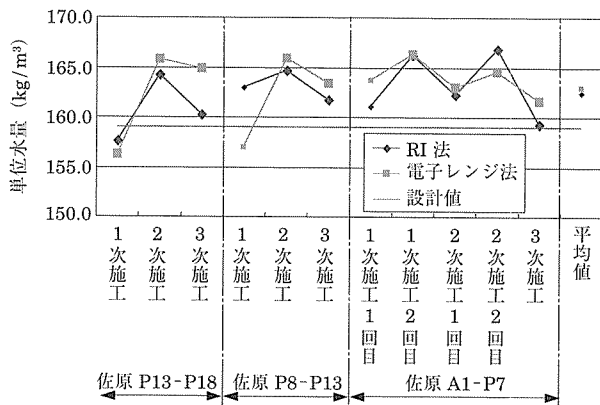


図 - 18 単位水量測定結果

機器の測定誤差が考えられる。また、細骨材の表面水率測定誤差等の練混ぜ時の誤差も考えられる。

### 5.2 硬化コンクリートの性能確認

連続 RI 法より測定したコンクリートの単位水量より硬化コンクリートの圧縮強度を推定した。コンクリートの圧縮強度より引張強度を算出し、設計引張強度と比較検討することで硬化コンクリートの性能を確認した。なお、圧縮強度の推定は、試験練り時に算定した材齢 28 日圧縮強度推定式より算出し、引張強度の推定は、部材の寸法効果および引張軟化の影響を考慮して算出した。

図 - 19 に、各コンクリート打設区間の単位水量、推定圧縮強度および推定引張強度分布を示す。なお、各物性値はそれぞれの打設区間における平均値である。連続 RI 法より測定したコンクリートの単位水量から推定した引張強度は設計値よりも大きいため、ひび割れ発生に対する耐力も大きくなり、硬化コンクリートの安全性が確認できた。

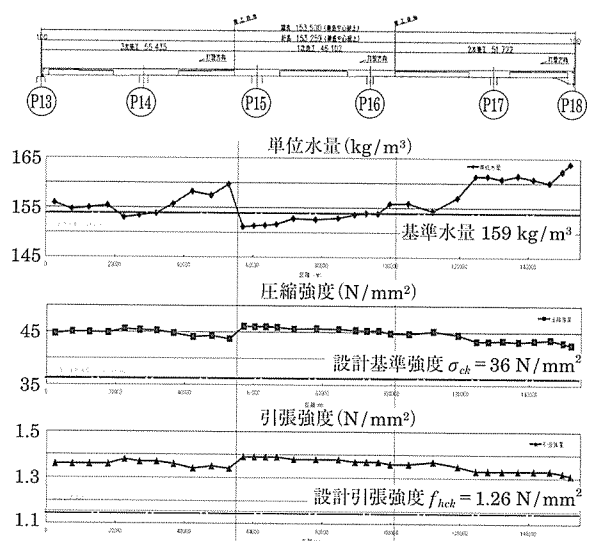


図 - 19 各物性値

## 6. おわりに

温度応力解析結果より得られたひび割れ抑制対策について、実構造物により検証した結果、構造物のひび割れを制御した施工ができ、実構造物の安全性が確認された。

現在工事は、平成 21 年 2 月の完成を目指して施工中である。最後に、本橋の設計・施工にあたり、ご協力いただきました関係各位に深く感謝する次第である。

### 注

- a) 電子レンジ法：コンクリートからモルタルをふるい分け、電子レンジで乾燥させることにより減少した質量を単位水量として算出する方法。
- b) 連続 RI 法：コンクリートポンプ車の配管部に計測機器（水分計および密度計）を取り付け、配管内を通過するコンクリートの水分および密度を計測し単位水量を算出する方法。

【2008 年 10 月 1 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3,500 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版