

## P C箱桁橋中央閉合部の温度応力解析 —大分自動車道 拓郷橋—

(株)富士ピー・エス 福岡支店 正会員	○下山 強美
日本道路公団 大分工事事務所	田中 克則
日本道路公団 大分工事事務所	畔田 雅裕
(株)富士ピー・エス 福岡支店 正会員	油田 康生

### 1. はじめに

拓郷橋は暫定2車線で供用中の玖珠IC～湯布院IC間を結ぶ大分自動車道の4車線化工事の一環としての橋梁工事である。本橋は外ケーブル方式によるPC6径間連続ラーメン箱桁橋であり、架設工法は張出し架設である。

張出し架設による橋梁の中央閉合部は、両側の既設コンクリート（張出し先端ブロック）に拘束された状態であり、中央閉合部コンクリートの水和発熱による温度変化、および既設コンクリートとの材齢差による乾燥収縮ひずみ差により新設コンクリートに局部的な引張力が発生する可能性がある。このため、乾燥収縮を考慮した温度応力解析、並びに実際の橋梁を供試体とする現場計測を実施している。

本稿は、温度応力解析結果とその妥当性を確認するために行った現場計測結果について報告するものである。

### 2. 工事概要

拓郷橋の工事概要を以下に示す。

構造形式：PC6径間連続ラーメン箱桁橋

橋 長：375.0m

支 間 長：39.75+40.00+57.00+2@90.00+56.75m

有効幅員：8.685m

線形：曲線半径R=2000m、  
縦断勾配i=-4.4～5.0%

架設工法：A1～P2 固定支保工  
P2～A2 張出し施工

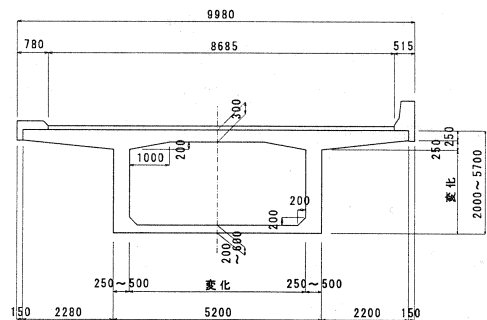


図-1 主桁断面図

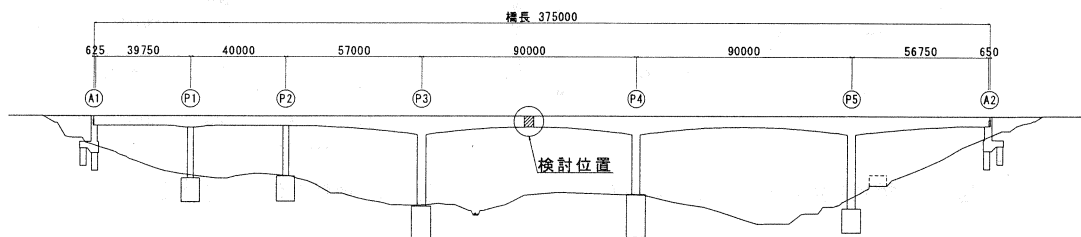


図-2 全体一般図

3. 温度応力解析

3.1 解析モデル

解析モデルは橋軸方向、断面中心位置で切り出した1/4モデルとした。解析モデルを図-3に示す。

解析はコンクリート非線形温度応力解析プログラム (ASTEAMACS) を使用して行った。

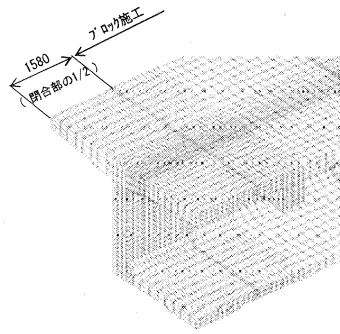


図-3 解析モデル

3.2 解析条件

温度解析に用いる物性データおよび諸条件を表-1に示す。断熱温度上昇特性、熱伝達境界は「コンクリート標準示方書」(施工編, 2002年制定) に準拠した。

圧縮強度の発現特性は試験練りの強度試験結果を採用し、クリープひずみ、乾燥収縮ひずみは「コンクリート標準示方書」(構造性能照査編, 2002年制定) に準拠した。

表-1 解析条件

	単位	上部工コンクリート (早強コンクリート)
単位セメント量	kg/m <sup>3</sup>	402
初期打込み温度	°C	25
熱伝達率	外気	W/m <sup>2</sup> °C
	木製型枠	W/m <sup>2</sup> °C
散水+養生マット	木製型枠	W/m <sup>2</sup> °C
	散水+養生マット	W/m <sup>2</sup> °C
設計基準強度	N/m <sup>2</sup>	40
ポアソン比	-	0.2
線膨張係数	/°C	10 × 10 <sup>-6</sup>

3.3 解析結果

コンクリート温度は材齢1日で上床版部ウェブ直上において最高温度61°Cまで達し、材齢6日で外気温とほぼ等しくなる。

図-4, 5に上床版部の橋軸直角方向応力を示す。新コンクリートの上床版部上面は温度が低下するに伴い、圧縮応力が小さくなり、材齢3日以降は橋軸直角方向に引張応力が生じる。材齢6日以降も乾燥収縮が進行し、引張応力はさらに増加し、継目付近の床版上面において材齢86日で最大2.0N/mm<sup>2</sup>の引張応力が発生する。上床版部はPRC構造であり、死荷重時にフルプレストレス、活荷重作用時にひび割れが生じないように横締め鋼材を追加してコンクリートの応力度を制御する必要がある。

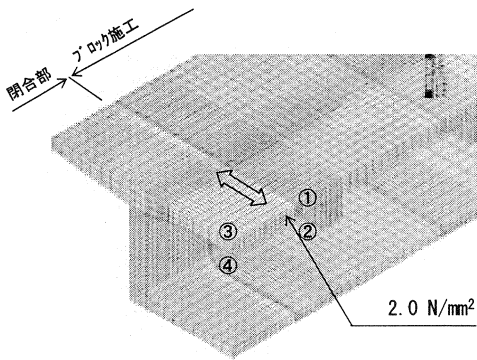


図-4 橋軸直角方向応力コンター図

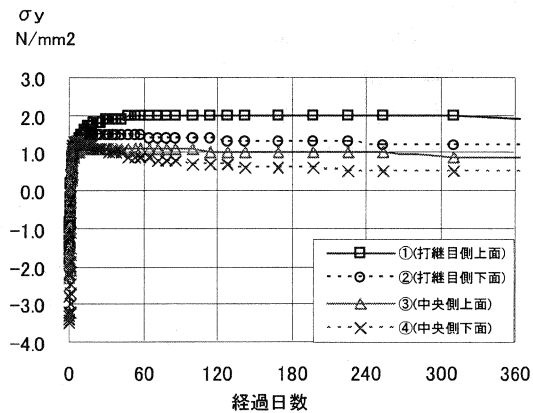


図-5 橋軸直角方向応力履歴図

図-6に下床版部の橋軸直角方向応力、図-7にウェブ部の鉛直方向応力を示す。下床版の最大主応力は継目部下縁部において橋軸直角方向に1.9N/mm<sup>2</sup>(材齢100日)発生する。ウェブの最大主応力は継目部外面部で鉛直方向に1.5N/mm<sup>2</sup>(材齢53日)発生する。主応力はいずれも打継目に平行に発生する。下床版部、ウェブ部についてはRC構造であり、許容ひび割れ幅以下となるように鉄筋を追加して鉄筋の応力度を制御する必要がある。

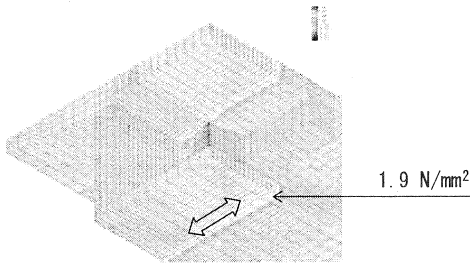


図-6 直角方向コンター図

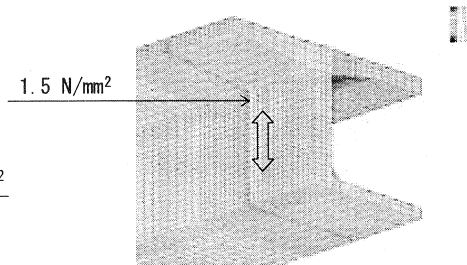


図-7 鉛直方向コンター図

#### 4. 現場計測

##### 4.1 計測方法

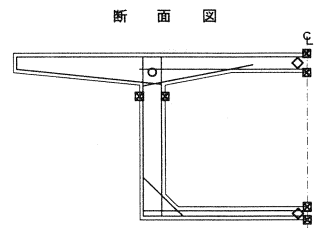
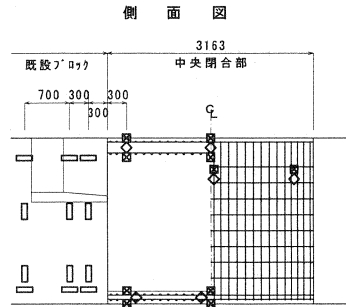
実施工時には、解析の妥当性を確認することを目的に材齢初期におけるコンクリート温度、コンクリート、鉄筋のひずみを計測した。現場計測位置を図-8に示す。測定箇所は、閉合部コンクリートの打継ぎ目付近と中央部とした。また、コンクリートの応力履歴から旧コンクリートによる拘束力が新コンクリートに大きく影響するため、旧コンクリートの表面ひずみも測定した。

##### 4.2 コンクリート温度計測結果

コンクリート温度履歴は上床版ウェブ上にて材齢10時間で73.4℃まで達し、材齢5日ではほぼ外気温と等しくなった。解析値との比較を図-9に示す。

実測値のピーク温度は解析値(61.3℃)と約12℃の差が生じている。応力解析にあたり、温度解析値と実測値との整合を図る必要があることから解析条件を表-2のとおり修正した。修正1では外気温、コンクリート打込み温度を実温度に変更して温度解析を行ったが実測値と約6℃の差が生じたため、更に修正2では型枠、養生の熱伝達率を変更している。熱伝達率の変更については、当初の熱伝達率の設定はコンクリート標準示方書に記載される参考値をそのまま採用していたため、実施工では中央閉合部を移動作業車にて施工しており、外型枠は鋼製型枠であるが移動作業車を全面シートで覆い外気を遮断していること、内型枠は箱桁内部で熱がこもり易いことなどの現場条件を考慮して修正したものである。

その結果、修正2の条件において実測値73.4℃に対して解析値71.5℃とほぼ等しい結果が得られ、図-10に示すとおり実温度をほぼ再現している。



- : 鉄筋ひずみゲージ+熱電対
- : 熱電対
- ◇ : コンクリートひずみ計(埋込み型)
- : コンクリート表面ひずみゲージ

図-8 現場計測位置図

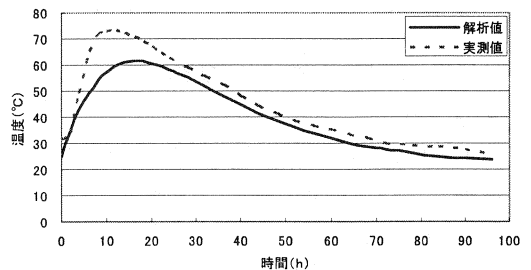


図-9 コンクリート温度の解析値と実測値との比較

表-2 解析条件の修正

	当初	修正1	修正2
外気温	22℃	24℃	24℃
コンクリート初期温度	25℃	31℃	31℃
熱伝達率(W/m <sup>2</sup> ℃)	外型発	14	8
	内型発	8	5
	上床版養生	14	5(0~72h)→14(72h~)
	下床版養生	14	5
解析値最高温度	61.3℃	67.3℃	71.5℃

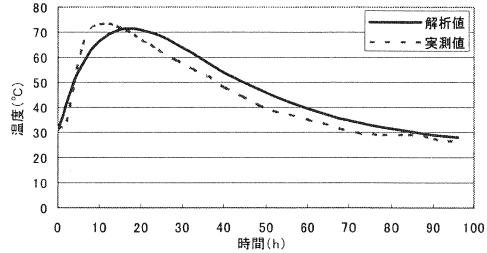


図-10 コンクリート温度解析値の修正

4.3 コンクリート及び鉄筋のひずみ計測結果

上床版部のコンクリート及び鉄筋のひずみ計測結果を図-11, 12, 13に示す。解析値については、温度解析（修正2）による値であり、負の値は圧縮側を示す。

新コンクリート打継目部の弾性ひずみは温度上昇とともに圧縮側に増加し、温度降下とともに減少した。最大膨張量は解析値と実測値が比較的良好であって、増加勾配、減少勾配もほぼ解析値と一致した。

鉄筋ひずみは初期に圧縮で長期においても圧縮が残っている。継目部③④の鉄筋ひずみは外部拘束の影響により、標準部①②よりも引張側にある。

張出施工の既設コンクリート側の表面ひずみについては、初期においては引張側にあり、長期においては圧縮側に移っている。初期の引張ひずみは実測値が解析値よりも小さい結果となった。これはコンクリートが柔らかい時期（旧側のコンクリートと一体として働いていない）を解析上の境界条件に反映されていないためと考えられる。

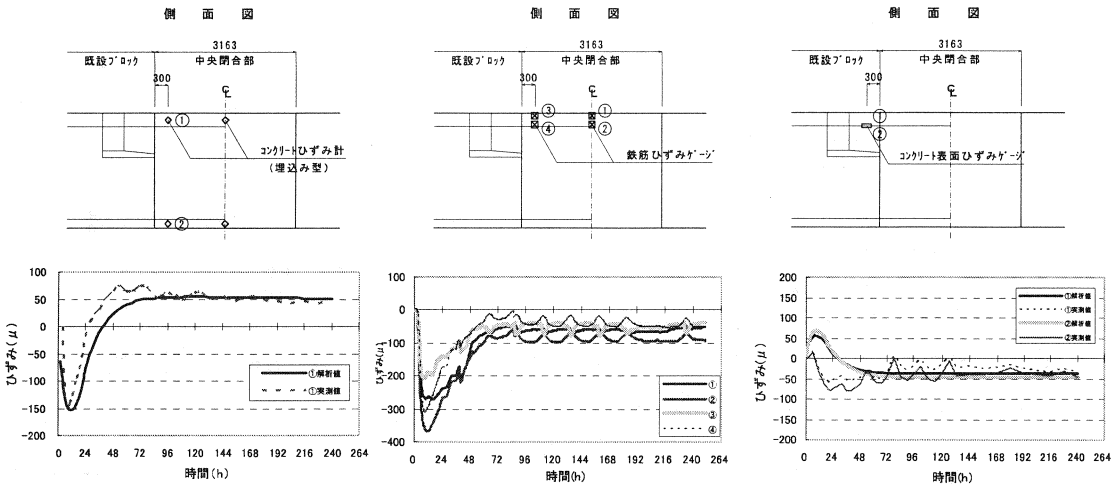


図-11 新コンクリートひずみ

図-12 鉄筋ひずみ

図-13 旧コンクリート表面ひずみ

5. まとめ

実施工における実測値と解析値を比較した結果、温度解析における条件において熱伝達率はより実施工を配慮した設定が重要であることが確認できた。また、中央閉合部に着目した温度応力解析並びに現場計測を行った結果、ひび割れの原因となる引張応力が発生することが確認され、施工段階でのひび割れ照査の必要性を認識した。拓郷橋においては、ひび割れ対策として横締め鋼材、鉄筋の追加より補強を行っているが、セメント種類の変更、膨張コンクリートの使用など材料面での対応がより有効であると考えられる。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 施工編, 土木学会, H14.3
- 2) コンクリート標準示方書 構造性能照査編, 土木学会, H14.3