

箱桁橋の中間支点部における温度ひび割れ抑制対策の検討

(株)富士ピー・エス・極東興和(株)JV 正会員 ○村上 力也
 (株)富士ピー・エス・極東興和(株)JV 岩淵 政勝
 西日本高速道路(株)関西支社 橋 豊
 西日本高速道路(株)関西支社 田中 貴弘

1. はじめに

本工事は新名神高速道路の神戸JCT～高槻JCT間に3橋の箱桁橋を張出架設する工事である。本橋の中間支点部はマスコンクリート部材であるため、水和熱による温度ひび割れの発生を防ぐことが課題であった。本稿では、施工前に実施した温度解析によるひび割れ抑制対策の最適化検討、およびそれらの対策を踏まえた実橋での施工や計測結果について報告する。

2. 橋梁概要

ひび割れ抑制対策の最適化検討は、3橋のうち下音羽川橋（上り線）に着目して実施し、その結果を他の2橋にも適用した。下音羽川橋（上り線）の橋梁概要を表-1に、中間支点部の断面図および側面図を図-1に示す。

表-1 橋梁概要

工 事 名	下音羽川橋(上り線) 新名神高速道路 下音羽川橋(PC上部工)工事
工 事 場 所	大阪府茨木市大字下音羽 ～大阪府茨木市大字車作
発 注 者	西日本高速道路株式会社 関西支社
構 造 形 式	PRC4径間連続 波形鋼板ウェブ箱桁橋
橋 長	347.000 m
支 間	62.300m + 2@110.000m + 62.300m
桁高(中間支点部)	7.500 m
横桁厚(中間支点部)	4.500 m
コンクリート	設計基準強度 40N/mm ²

3. 温度ひび割れ抑制対策

3.1 セメント種別の変更

中間支点横桁は、当初早強ポルトランドセメントを使用する計画であったが、夏期を想定した条件で温度解析を実施したところ、部材中心の最高温度が100℃を超える結果となった。この水和熱を抑制するため、1・2リフトに使用するセメントは、低熱ポルトランドセメント（以下、低熱セメント）に、3リフトは普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）に変更することを試みた。

3.2 クーリングの実施

セメント種別の変更に加え、部材内部への冷却水通水による「パイプクーリング」と、外ケーブル偏向管を利用して管内部に外気を送風する「エアクーリング」を併用して行った。

クーリングパイプを配置する際、図-2・写真-1に示すように直管のクーリングパイプを用いて部材外部で隣接するパイプ同士をブレードホースで接続し、セパレーターをパイプ内に通すことで、型枠固定時の型枠セパレーターとしても兼用できる構造とした。これにより、過密配筋部においても配置の自由度を確保すること

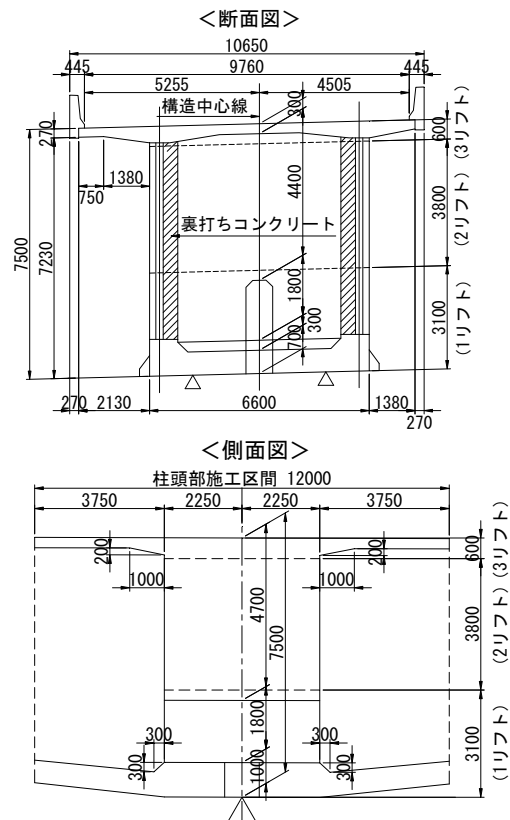


図-1 中間支点部

ができ、施工性の向上に繋がった。また、施工後のグラウトによる後埋めも一本ごとに注入・排出を確認することができるため、施工の確実性を確保できた。

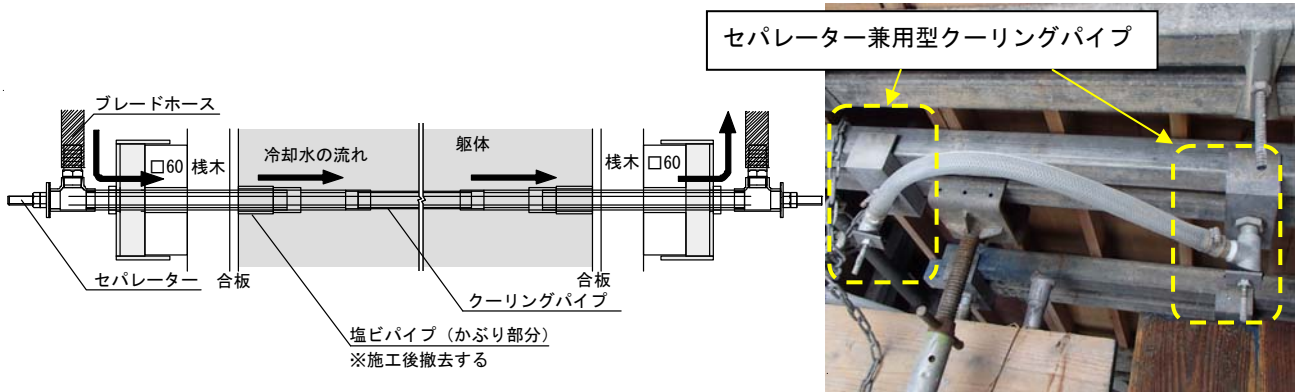


図-2 セパレーター兼用型クリーニングパイプ構造

写真-1 パイプクリーニング施工状況

4. セメント種別の検討

4.1 概要

低熱セメントを使用すると、プレストレス導入強度発現には長期の養生期間が必要であるが、工期の制約から十分な養生期間の確保は困難であった。一方、とくに冬期において所定のプレストレス導入強度を早期に確保するために水セメント比を小さくすると、セメント量の増大に伴い水和発熱量も増加して低熱セメントの使用目的と矛盾する。そこで、施工時の外気温に着目して低熱セメントと普通セメントを用いた場合の優位性を温度解析により検討して、施工時期に応じた使用セメント種別の最適化を図った。

4.2 検討方法

まず、低熱セメントと普通セメントを用いる場合において、施工時の外気温を考慮したコンクリート圧縮強度を推定し、プレストレス導入強度 (材齢21日で 27N/mm^2) を得られる水セメント比を決定した。圧縮強度推定は、日本コンクリート工学会「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008」に準拠し、外気温は架設地点近隣である枚方市の1981年～2010年の月平均気温である、冬季 4.4°C (1月)、夏季 27.8°C (8月)、さらにその間を 5°C 毎 (10°C , 15°C , 20°C , 25°C) に設定して検討した。なお、施工に用いる生コンプラントの実績より、水セメント比の上限は48%、単位水量は 170kg/m^3 とした。

上記の配合で温度解析を行い、ひび割れ指数から外気温ごとの各セメントの優位性を検討した。

4.3 検討結果

配合推定の結果、検討に用いた水セメント比は、低熱セメントの外気温 4.4°C , 10°C , 15°C の場合それぞれ、37%, 42%, 46%であり、それ以外はすべて上限の48%であった。

経験最高温度分布と経験最小ひび割れ指数分布の一例として、外気温 4.4°C , 20°C , 27.8°C の結果を図-3に示す。同一水セメント比の外気温 20°C のケースにおいて、低熱セメントを用いた場合の最高温度は普通セメントを用いた場合に対して 18°C 低下するが、最小ひび割れ指数はほぼ同等であった。これは低熱セメントを用いると温度応力は小さくなるが、引張強度発現が遅くなるためである。一方、外気温が 20°C より大きい場合は、外気温 27.8°C のケースでみられるように、横桁中央部でセメント種別の影響が顕著になり、低熱セメントを用いた場合の方がひび割れ指数は大きく、ひび割れ指数1.0以下の範囲も小さくなった。それに対し、外気温が 20°C より小さいと、外気温 4.4°C のケースのように、普通セメントを用いた方が優位となった。

以上の結果より、施工月が外気温 20°C 未満となる10月～5月では普通セメント、外気温 20°C 以上となる6月～9月では低熱セメントを使用することとした。なお、試験練りを行い決定した実配合 (水セメント比46%) においても同様の結果が得られることを確認した。

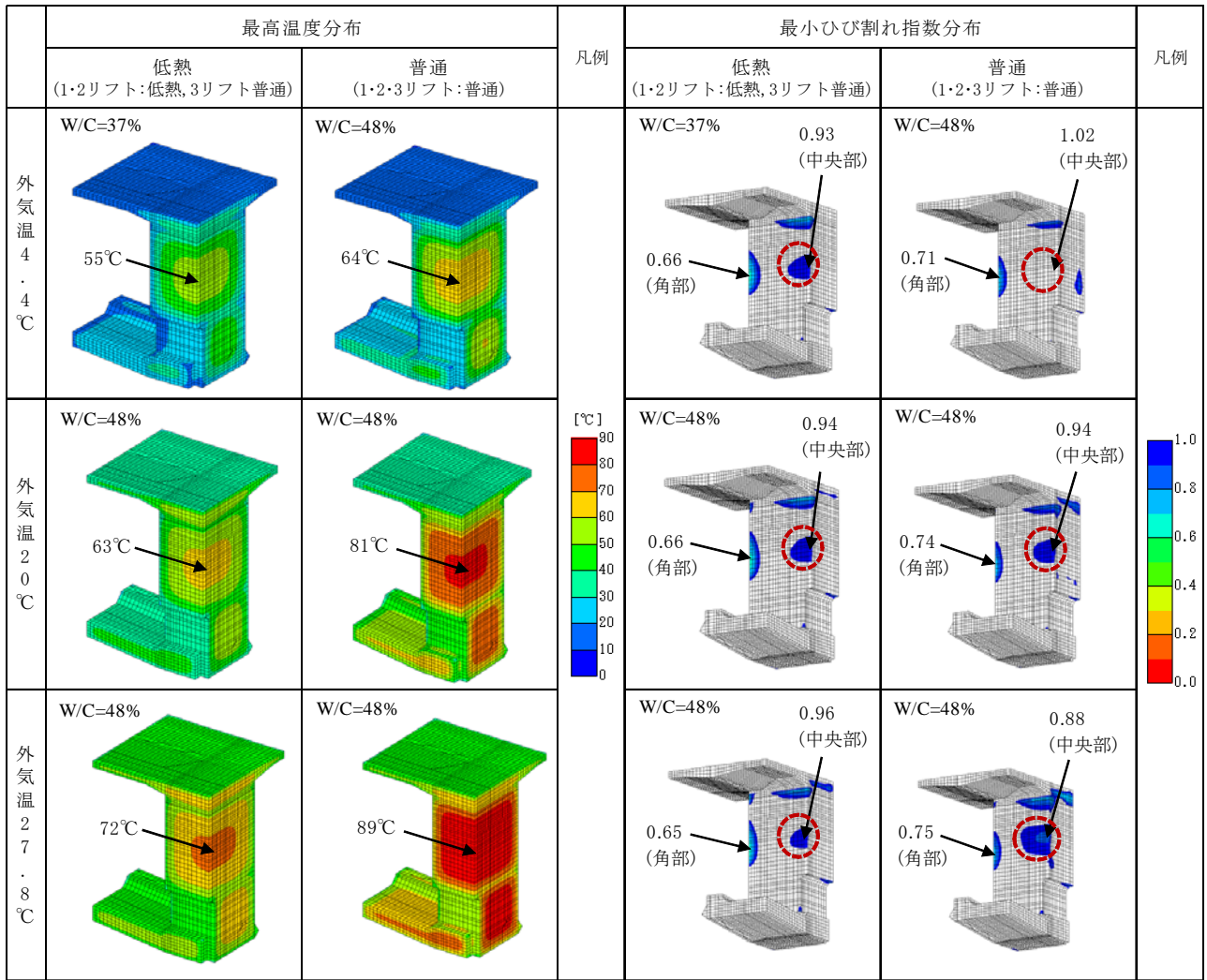


図-3 セメント種別の検討結果 (クーリングなしのケース)

5. パイプクーリングを考慮した温度解析結果

5.1 パイプクーリングの経路

クーリングパイプを部材の外でブレードホースにより接続する構造としたため、冷却水の通水経路を自由に決定することができた。このため、クーリングを実施しない場合の予備解析を実施し、図-4のとおり解析上コンクリート温度の高い部分へ最初に冷却水が通水されるように、クーリング経路を決定した。

5.2 温度解析結果

表-2に温度解析条件を示す。クーリング期間はコンクリート温度が最高温度に達した後1.5日後 (クーリング終了後に、再度温度上昇しても最高温度を超えない期間) とした。クーリングの解析方法にはクーリングの効果をコンクリート温度と冷却水 (もしくはエア) 温度との熱の移流を考慮できる移流拡散モデルを用いた。温度解析結果の一例として、外気温27.8℃で低熱セメントを使用した場合の経験最高温度分布を図-5に、経験最小ひび割れ指数分布 (1.0以下の範囲) を図-6に示す。

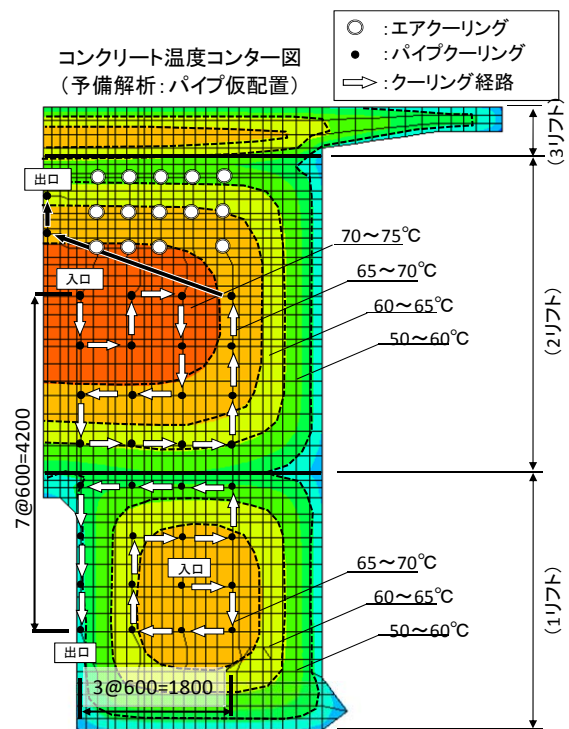


図-4 パイプクーリング経路

図-3の外気温27.8℃のケースとの比較から、クーリングを実施することにより、コンクリートの最高温度が10℃程度低減することがわかる。さらに、横桁中央部に発生していたひび割れ指数1.0以下の範囲が改善されており、クーリングの効果を確認できた。

6. 施工時の温度計測結果

表-3と図-7に施工時の代表的な温度計測結果を示す。なお、クーリング中は、内外温度差（部材中心と表面から100mm内側の点の温度差）と平均水温（クーリング入り口と出口の平均）を管理した。その管理上限は、解析上で補強鉄筋量に影響を及ぼさない値とし、管理値に近づいた場合は、クーリング水の流速を調整することとした。

表-3には、施工時の外気温とクーリング入り口の水温を考慮した解析値も示しているが、実測値との差は概ね5℃以内であった。また、図-7の一例に示すように、すべての横桁において、管理項目として設定した内外温度差および平均水温について上限値を上回ることなくクーリングを行うことができた。

表-2 温度解析条件

使用セメント		低熱セメント	普通セメント
設計基準強度	N/mm ²	40	40
配合 (実配合)	水セメント比	%	46
	単位セメント量	kg/m ³	363
	単位水量	kg/m ³	167
	密度	kg/m ³	2332
コンクリート温度	℃	外気温+5℃	
パイプクーリング		流入水温: 外気温-5℃	
エアクーリング		風速: 5m/s 流入温度: 外気温と同一	
クーリング期間		コンクリート温度が最大温度に達した時点から1.5日後まで	
クーリング解析方法		移流拡散モデル	

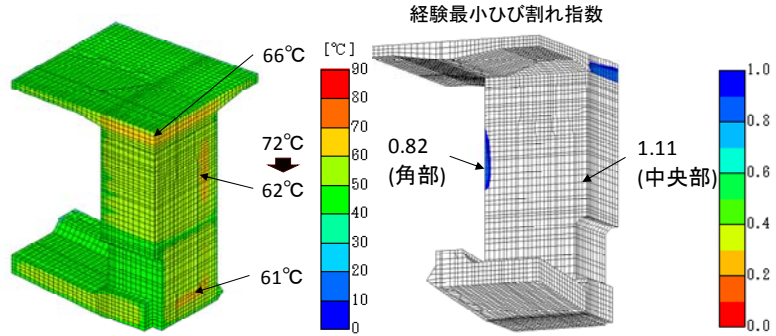


図-5 最高温度分布

図-6 ひび割れ指数

表-3 コンクリート温度計測結果

		打設日	打設時外気温(℃)	コンクリート打込み温度(℃)	セメント種別	部材中心の最高到達温度		部材表面の最高到達温度		
						解析値(℃)	実測値(℃)	解析値(℃)	実測値(℃)	
下音羽川橋(上り線)	P1	1リフト	H25.7.24	23	29	低熱	54	49	45	46
		2リフト	H25.8.7	29	30	低熱	53	53	46	50
	P3	1リフト	H25.4.2	12	18	普通	54	44	41	42
		2リフト	H25.4.16	16	18	普通	53	56	43	43

※解析値は実際の外気温、コンクリート打込み温度を反映した解析結果による値を示す

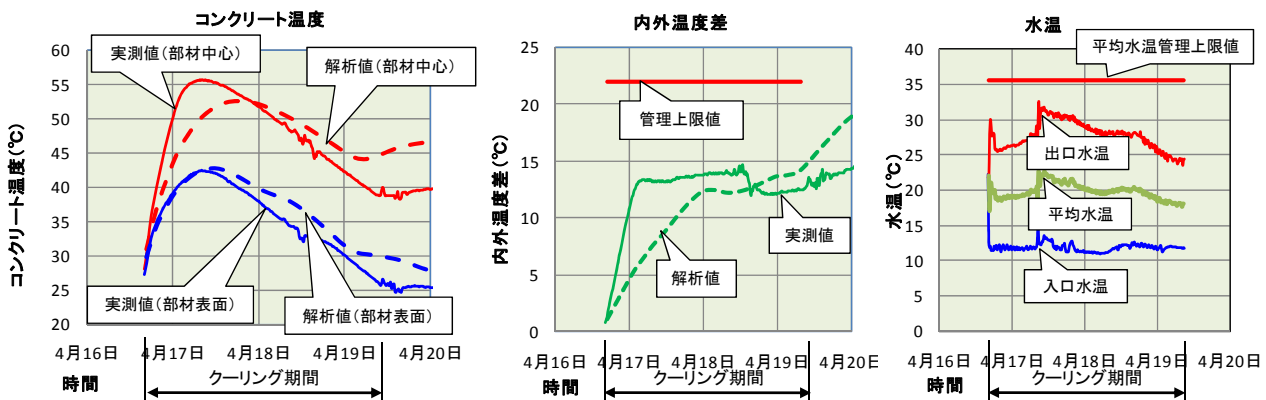


図-7 温度計測グラフ

7. おわりに

本橋では、今回報告した内容以外にも品質向上に向けた取り組みを種々実施している。現在、張出施工中であり、今後も高い品質を保持しつつ無事故・無災害での完工を目指す。