

矢部川橋梁における簡易パイプクーリングによるマスコンクリート温度抑制対策

三井住友・ピーエス三菱特定建設工事共同企業体 正会員 ○村上 直義
 " 正会員 瓜生 正樹
 " 正会員 岡部 成行
 " 山上 利昭

1. はじめに

コンクリート構造物の大型化、高強度化および大量急速施工の増加により、セメントの水和熱によるコンクリート温度上昇に起因する温度ひび割れの事例が増加し、構造物の耐久性に影響を及ぼしている。温度ひび割れ対策の内、コンクリートの水和熱を抑える手段としては、薄肉鋼管を用いて生コン硬化中に水や空気を通して冷却する方法、コンクリート材料のセメントや骨材を予め冷却しておく方法、専用のアイスプラントにより練り混ぜ水に氷を加えて冷却する方法、およびセメント材料に低発熱性材料を使用する方法などがある。しかし、いずれの方法もコンクリート打設量とコストの関係から最適な方法が選定される為、少量のコンクリートを打設する場合の対策には、十分な対策を施すことが出来ない場合がある。

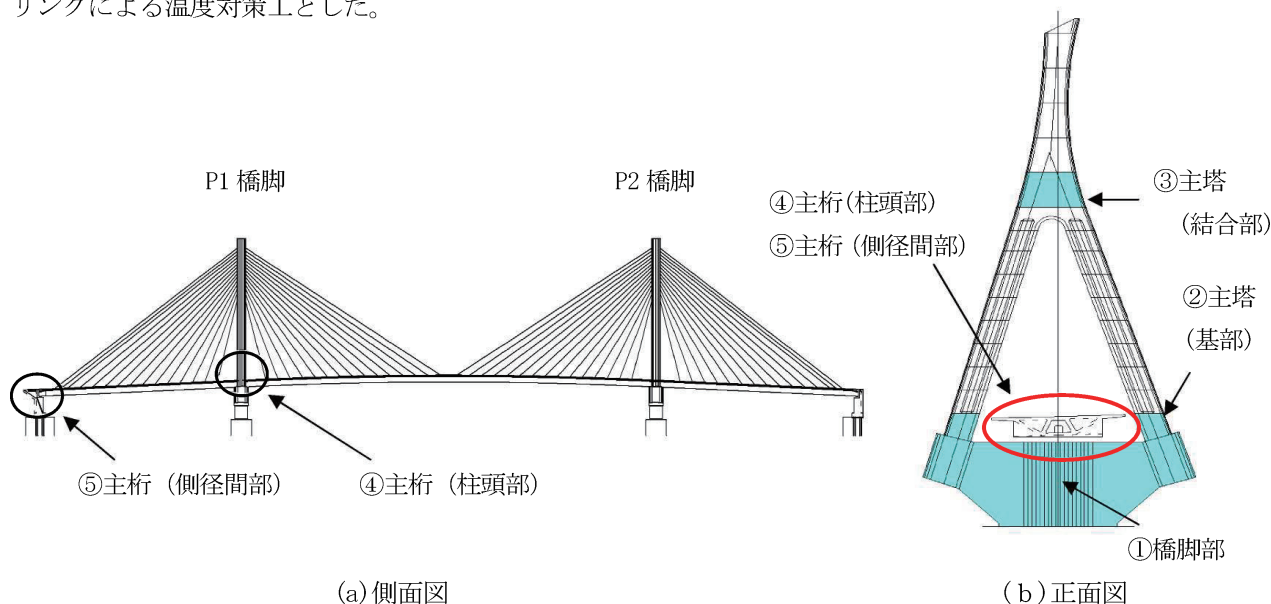
現在施工中の矢部川橋梁は橋長 517.0m の 3 径間連続 PC 斜張橋で、橋脚部、主塔部、また主桁の柱頭部・側径間部の一部にマスコンクリートとなる部位がある。当工事では打設量が多大となる場合については、コンクリート材料を低発熱型の材料を用いた対策とし、少量の場合には簡易的なパイプクーリングを実施し、温度抑制対策とした。

本稿では、経済的かつ容易に施工できる簡易パイプクーリングによる温度抑制対策の効果について、報告するものである。

2. 簡易パイプクーリング

2.1 マスコンクリート対策部位と対策工

当橋梁におけるマスコンクリートとなる対策部位を図—1 に示す。①橋脚部については、コンクリート量が 3,800m³ と多大な量となるため、低熱ポルトランドセメントを採用し、②主塔(基部)、③主塔(結合部)、④主桁(柱頭部)、⑤主桁(側径間部)の打設数量が 190m³~245m³ となる部位については、簡易パイプクーリングによる温度対策工とした。



図—1 矢部川橋梁におけるマスコン温度対策位置図

2.2 仕様

簡易パイプクーリングの施工仕様を表-1、配置概念図を図-2に示す。使用したパイプは、内径13mmのポリチレン管で一重仕様、パイプの配置は配管間隔が概ね500mm間隔になるように配置し、なるべく配置初期が躯体内部、配置後期が外部になるように配置し、躯体内外部の温度差を極力小さくするように配慮した。コンクリート1.0m³に対する配置延長は、約1.6m/m³~2.7m/m³である。例えば⑤主桁（側径間部）においては、2系統の配管で送水流量は0.8m/sec、送水時間は打設完了後から6日間、高圧ポンプにて加圧後、連続的に送排水を行った。

表-1 簡易パイプクーリング施工仕様

部 位	コンクリート種別	打設数量 (m ³)	パイプ延長 (m)	打設量当りの配管長 (m/m ³)
②主塔（基部）	40-12-20N	190	300	1.6
③主塔（結合部）	40-15-20N	245	600	2.5
④主桁（柱頭部）	50-18-20N	125	320	2.6
⑤主桁（側径間部）	50-18-20N	148	400	2.7

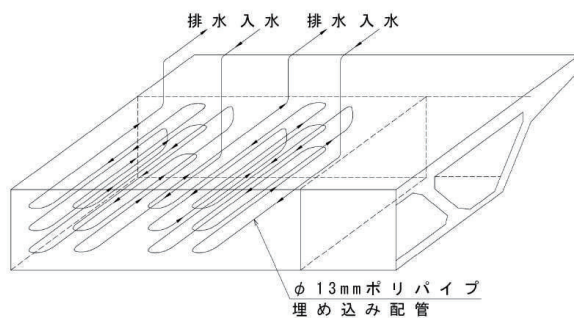


図-2 簡易パイプクーリング配置概念図

2.3 温度応力解析による効果の確認

⑤主桁（側径間部）において温度応力解析を行い、対策の効果について検討した。躯体寸法は幅4.3m、長さ13.2m、高さ3.2mのマスコンクリートであり、主桁コンクリートは設計基準強度が50N/mm²と高強度である。解析条件を表-2に示す。温度応力解析は対策工有りとしの2つのケースについて行い、効果の確認を行った。

2.4 温度応力解析結果

図-3には最高温度の分布、図-4にはひび割れ指数の分布を示す。コンクリート内部の最高温度の分布を見ると、対策工無しの場合、躯体内部の最高温度が90.6℃、対策有りでは80.3℃と約10.3℃の温度低下が見られる。また対策工無しでは温度分布がコンクリート内部から表面へと同心円状に低下する分布状況になっているが、対策有りではパイプ周辺の温度が低下し、ほぼ一様な温度分布となっている。また、ひび割れ指数の分布では対策工無しで0.50、対策工有りで0.80と、0.30程度の改善が見られた。解析では、対策工有りの場合でも、目標としたひび割れ指数1.0以上は満足できなかったが、表面鉄筋をひび割れ補強鉄筋として考慮に入れた。

表-2 温度解析 解析条件一覧表

解析ケース	(a) クーリング無し	(b) クーリング有り
セメントの種類	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント
設計基準強度	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
解析期間	打設開始より6日間	打設開始より6日間
外気温度 (°C)	22.6	22.6
冷却水初期温度 (°C)	-	30.0
クーリング期間 (日)	-	打設完了後6日間
クーリング水温度及び低下条件	-	入水最高温度 63℃ 6時間毎に1℃低下

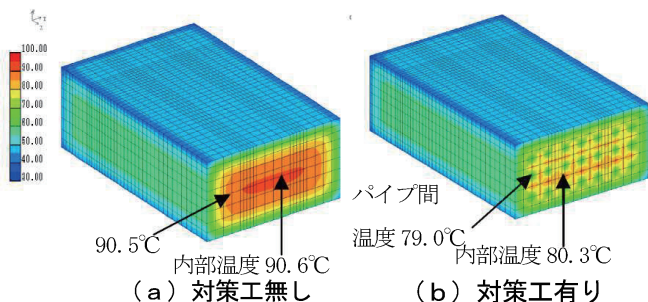


図-3 温度解析結果（最高温度分布）

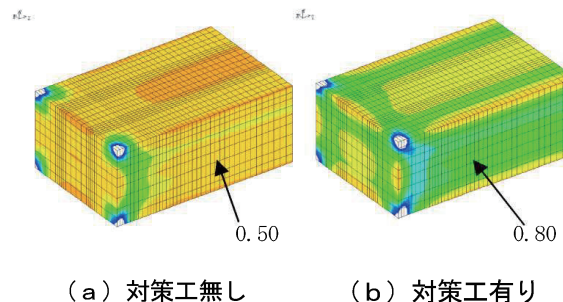
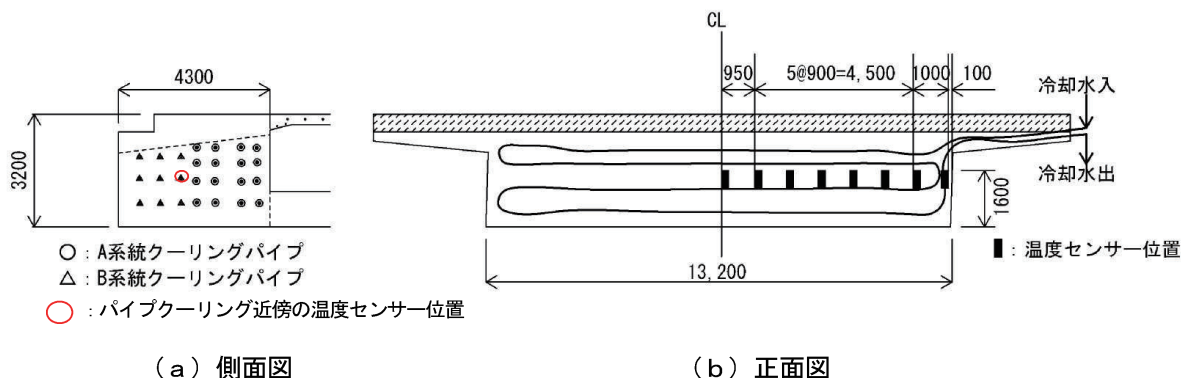


図-4 温度解析結果（最高温度分布）

3. 計測によるクーリング効果の確認

3.1 クーリングパイプの配置

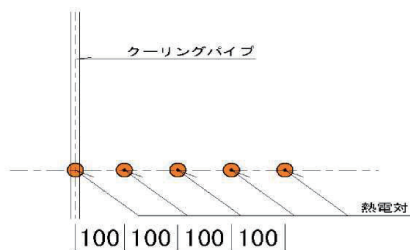
⑤主桁（側径間部）における簡易パイプクーリングの配置例を図—5 に示す。配置はA, Bの2系統とし、それぞれ長辺方向4段、短辺方向に4列（3列）配置した。パイプの配置間隔は500mm程度とし、延長約400mである。



図—5 簡易パイプクーリング配置図

3.2 温度センサー（熱電対）の配置

パイプクーリングによる温度抑制効果を確認する為に温度センサー（熱電対）を、躯体中心から長辺方向に向かって8箇所、短辺方向に2列、A, B系統の合計16箇所配置し、計測を行った。計測位置を図—5 (b) に示す。また、躯体中心部には、パイプ近傍の温度分布を計測する目的で100mm間隔にて温度センサー5箇所配置した。(図—6)



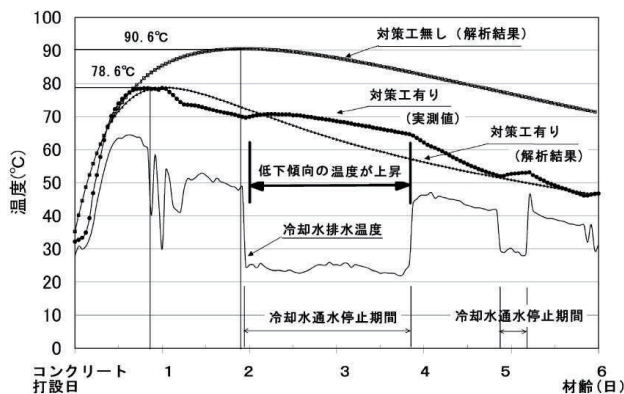
図—6 クーリングパイプ周辺の温度センサー(熱電対)の配置

3.3 クーリング水の通水と温度計測期間

クーリングに使用する水は、水道水を使用し高圧ポンプにて加圧を行い、連続的に供給した。通水を開始した時期は、打設完了後ただちに通水を開始し6日間通水を行った。ただし、パイプクーリングの温度抑制影響範囲を確認する為に材齢2~4日、及び5日目の間は通水を停止した。温度計測は打設開始時より材齢6日までの間、1時間間隔で全ての温度センサー位置での躯体内部温度を測定した。同時にA, B系統のクーリングパイプから排出される冷却水の温度及び外気温度についても、同様に計測を行った。

3.4 計測結果

温度解析結果とコンクリート温度実測値を図—7 に示す。温度解析結果では、対策工無しでは、コンクリート内部における最高温度は90.6°Cであったが、実測値は78.6°Cと約12°C最高温度を抑制することが出来た。事前の温度解析結果でとほぼ同様の結果であり、パイプクーリングの効果が確認できた。また、材齢2日目より約2日間B系統の冷却水の通水を一旦停止し、クーリングの効果について確認した。冷却水の通水を一旦停止す



図—7 温度解析と実測値の比較（躯体中央部）

るまで、低下傾向を示していたコンクリート温度が上昇に転じ、ここでもコンクリート内部の温度抑制効果が確認できた。

次に図-8は、クーリングパイプ周りのコンクリート温度の履歴を示したものである。冷却水の通水を停止するとパイプ位置の温度は急激に上昇し、通水を再開すると温度が低下する。この温度変化に対してパイプから20cmまでは影響を受けコンクリート温度も同様に変化することが認められるが、30cm以上離れると温度変化に対し鈍感な反応となる。これより、パイプクーリングが影響を十分に及ぼす範囲としては、パイプ中心から半径20cm程度であることを確認した。

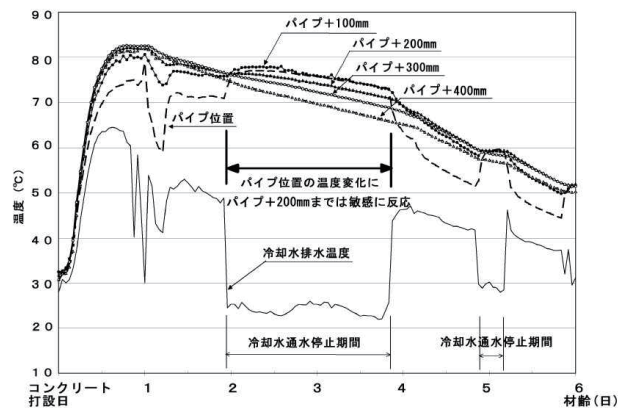


図-8 簡易パイプクーリングの影響範囲

4. まとめと今後の課題

今回の簡易パイプクーリングを用いたマスコンクリートの温度抑制対策工の解析及び実施結果について以下にまとめる。

- (1) 温度解析結果から、躯体内部の最高温度は、対策工無しで90.6℃、有りで80.3℃と温度抑制効果があることが確認できた。
- (2) 温度解析結果から、躯体内部の温度分布は、対策工無しの場合、最高温度を示す中央部から端部へと温度降下し、対策工有りの場合、各パイプ中心で温度低下し躯体内部で一様な温度分布となることが確認できた。
- (3) 温度解析結果から、ひび割れ指数の分布は対策工無しで0.50、対策工有り0.80と0.30程度改善した。
- (4) 施工結果における実測値から、対策工を行った場合の躯体内部の最高温度は、温度応力解析結果80.3℃、実測値78.6℃と約2℃程度の差異が確認された。しかし、解析値と実測値がほぼ同値であり、解析の妥当性が確認できた。
- (5) 冷却水を一次通水停止し、コンクリートの温度変化を確認したところ、躯体内部温度が通水時には低下傾向にあったものが、通水停止により上昇に転じたことが確認でき、内径13mm程度のポリパイプでも十分に温度抑制の効果があることが確認できた。
- (6) 冷却水を一次通水停止し、クーリングパイプ近傍の温度分布を確認した結果、クーリングの影響範囲がパイプから20cm程度までは十分に温度抑制効果があることがわかった。

以上より、本施工ではクーリングパイプをコンクリート1m³当り1.6mから2.7m程度を配置しクーリングを実施したところ、温度ひび割れ抑制対策として効果があることがわかった。また、完成後における躯体のひび割れの状況を見ても、顕著なひび割れは確認されていない。よって、部分的にもマスコンクリートとなる部位に対して、簡易なパイプクーリングでも効果があることがわかった。

今後の課題としては、パイプの配置延長が温度ひび割れ抑制効果とコストの面で最適な延長を検証すること、またパイプの配置方法としてできるだけ躯体内部と表面との温度差が小さくなるように配する方法を検証することである。

参考文献

- 1) 土木学会：2002年コンクリート標準示方書（施工編）
- 2) 伊藤，杉田，荒巻，中村：頭島大橋（仮称）の施工，橋梁と基礎，Vol.36，No.9(2002)
- 3) 小口，久野，荒巻，大場，中村，小林：矢部川橋梁の施工，橋梁と基礎，Vol.42，No.3(2008)