

エアクーリングによるコンクリート温度低減効果の検証

国土交通省 中国地方整備局 高橋 渉

(株)大林組 湯木川工事事務所 正会員 平野 優

(株)大林組 生産技術本部 正会員 ○森上 慎也

(株)大林組 生産技術本部 正会員 富井 孝喜

1. はじめに

マスコンクリートのひび割れを抑制する対策として、あらかじめ設置したパイプなどを利用し、打ちこんだコンクリートを冷却するパイプクーリング工法がある。近年、橋梁上部工では、PC ケーブルを通すシース管や偏向管などを利用して外気を送る工法の採用が、比較的安価かつ容易に実施できるため多くなっている。しかし、その発熱低減効果については、実測による検証事例が少なく、温度応力解析での検証では空気を利用したパイプクーリング(以下エアクーリングという)の効果を確認する手法は確立されていない。

本報告は、エアクーリングによる温度低減効果について、実構造物での温度計測による検証を実施し、FEM 温度解析によるパイプの熱伝達率を考慮した解析手法について検証を行うものである。

2. エアクーリング効果の確認計測

2.1 工事概要およびコンクリート配合

PC 箱桁橋上部工の柱頭部においてエアクーリングを実施し、パイプ周囲のコンクリート温度を測定した。柱頭部の概要を図-1 に示す。コンクリートの打設は2 リフトに分けて行い、温度計測はクーリングを実施する第2 リフトにおいて実施した。クーリングは、第2 リフトのコンクリート打設後(11 月 22 日実施) にケーブル用偏向管(φ150)

に6 日間実施した。温度計測は、クーリングパイプ表面からの離れが 25mm、225mm、425mm、600mm (部材中心) の4 点についてパイプの入口側(入口から 0.5m)、中心

(入口から 2.0m)、出口側 (入口から 3.5m) の3 箇所の合計 12 測点について実施した。また、パイプ入口側と出口側 2 点については送風する空気温度の計測を実施した。工事に使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。

2.2 温度計測結果

部材中心におけるコンクリート温度計測の結果を図-2 に示す。計測結果は、パイプから近いほど温度上昇量が抑えられていることが確認できる。また、パイプ出口側から排出された空気温度は送気された空気温度に比べて最大 19℃上昇しており、セメントの水和により生じた熱がコンクリートからパイプ内を通過する空气に伝達されていることが確認できた。

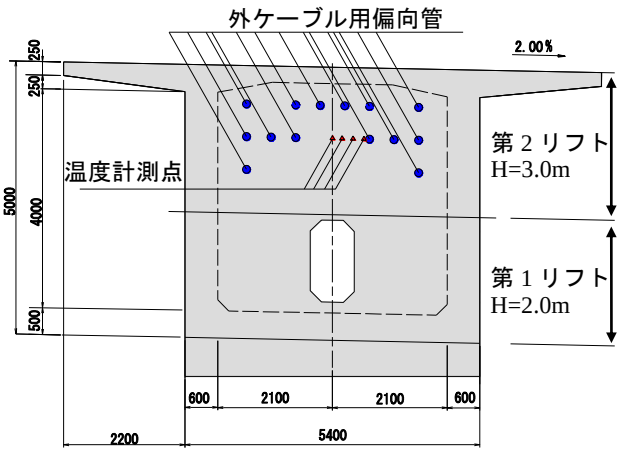


図-1 柱頭部断面図

表-1 コンクリート配合

部位	配合	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	膨張材	高性能 AE 減水剤
橋脚部	27-12-20BB	52.6	175	333	-	-
柱頭部	40-12-20N	42.5	168	395	20	3.22

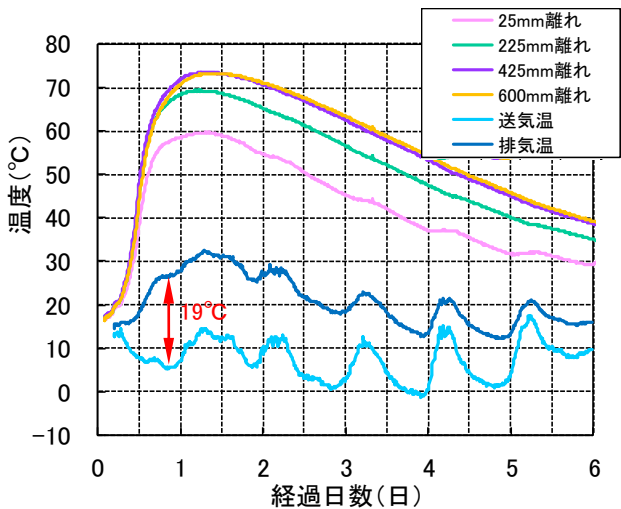


図-2 温度上昇量の経時変化

3. FEM 温度応力解析によるエアクーリング効果の検討

3.1 温度解析

現地計測結果をもとに FEM 温度解析を実施し、エアクーリングによる熱低減効果についての検証を行った。解析には 3 次元 FEM 解析(ASTEА-MACS:計算力学研究センター)を使用した。パイプ表面の熱伝達率 $h(\text{W}/\text{m}^2\text{C})$ は、RC 示方書から式 1 を用い、実測の平均風速 5.0m/s から 22.4(W/m²C)を算出した。

$$h=12.0+3.45(u-2) \cdots \cdots \text{式 1}$$

ここに、 u : 風速 (m/s)

なお、外気温度は現地における実測値を使用した。

パイプから 25mm 離れの 3 測点における、コンクリート温度の実測値と解析値の比較を図-3 に示す。解析結果は、中心では実測と近い値を導いたが、入口と出口側で大きく異なっている。これは、パイプ内空気の温度上昇を評価していないためである。

3.2 クーリング熱伝達率の再検証

使用した解析ソフトでは、空気の温度変化を表現することができないため、かわりにパイプの熱伝達率を部分ごとに変化させることで再現を試みた。熱伝達率を、コンクリートと空気の温度計測結果を反映できる熱収支の式 2¹⁾を用いて導いた。

$$\rho_a C_a u \frac{\partial T_a}{\partial S} + \frac{2}{r} h(T_a - T_c) = 0 \cdots \cdots \text{式 2}$$

ここに、 ρ_a : 空気の密度(g/m³)、 C_a : 空気の比熱(j/gC)、 S :パイプ入り口からの距離(m)、 r :パイプ半径(m)、 T_a 、 T_c : 空気およびパイプ表面温度(C)

なお、パイプ表面温度はコンクリート温度の実測値と表面間距離の相関から曲線近似により導いた。導いた熱伝達率を図-4 に示す。中心の熱伝達率は式 1 と近い値となった。

ここで、図-5 に示すようにパイプを 3 分割し、部分ごとに平均熱伝達率を与えることで再度解析を実施した。結果を図-6 に示す。熱伝達率の再考により、中心および出口側では実測に近い値を導くことができた。入口側では依然として解析より実測値のほうが熱低減効果が大きい、安全側に評価されており問題ないと考える。

4. まとめ

橋梁上部工においてエアクーリングを実施し、周囲の温度計測により熱低減効果を確認することができた。また、温度解析においては、事前検討として熱伝達率を部分ごとに与える方法は難しいが、RC 示方書の値を使用することで中心において十分に評価できることがわかった。また、入り口側の熱低減効果は中心や出口側に比べて特に大きいため、躯体の温度を一様に低下させるためには、全てのパイプの送風方向を一定としないなどの対応が有効と考える。

今後は、異なる風速での温度計測などのデータを蓄積し、厳密な熱低減効果の予測手法確立を目指す所存である。

【参考文献】 1) 佐藤英明,佐谷靖朗「パイプクーリングを施したマスコンクリートの温度応力に関する研究」第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集 1986

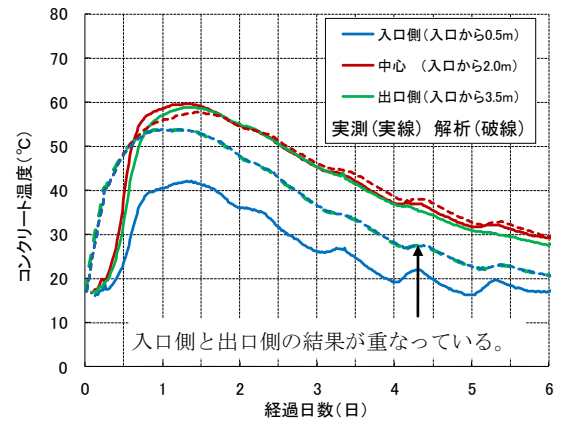


図-3 温度解析結果

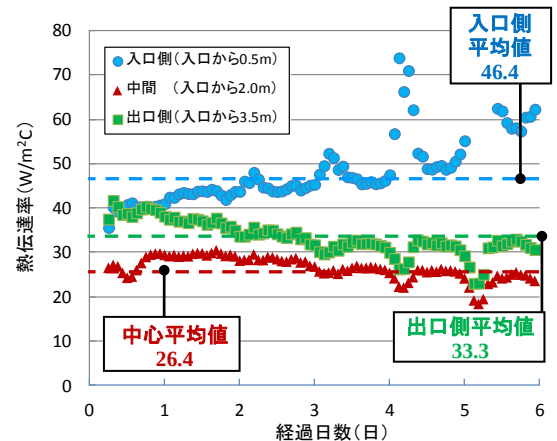


図-4 入口からの距離による熱伝達率の変化

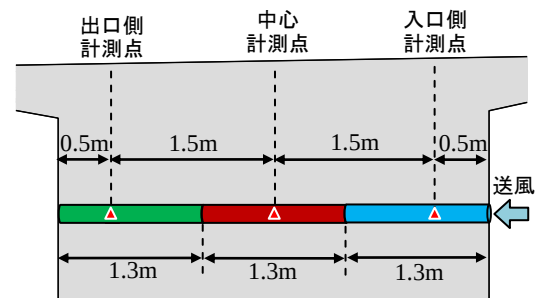


図-5 パイプ分割の概要図

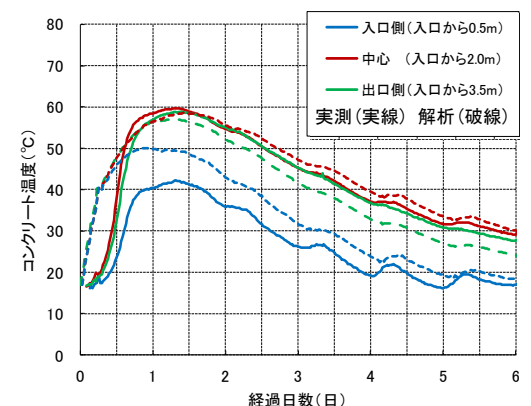


図-6 温度解析結果 (熱伝達率再考後)