

クーリング制御システムを用いた鉛直パイプクーリングの効果

(株)奥村組 正会員 ○齋藤隆弘 松島弘樹 松浦秀樹 市南賢人 吉田直樹
(株)アクティオ 栗原賢司 荒地智晴 福嶋 貴

1. はじめに

マスコンクリートのひび割れ制御方法であるパイプクーリングにおいて、クーリング流量をコンクリート温度に応じ制御するシステムが開発されている。本システムでは、解析により算出したひび割れ抑制に有効なコンクリート温度変化に追従するようにクーリング流量を自動で制御し、さらにクーリング水の温度上昇によるコンクリート温度の場所ごとの差異を解消するため、クーリング水の流方向を変更する。本システムによる鉛直パイプクーリングを道路橋下部工事（令和2年度 東海環状岐阜 IC 橋梁西下部工事、国土交通省中部地方整備局発注）の橋脚部に適用し、鉛直パイプクーリングにおいてシステムが想定通りに稼働し、ひび割れ抑制に効果的なコンクリート温度に制御できることを確認した結果を報告する。

2. システムの概要および流量の制御方法

コンクリートのクーリング制御システムの設備を写真-1に示す。クーリング水の温度を25℃程度以下に保つためのクーリングチラー、給水ユニット、流量コントロールバルブセット、クーリング水の流る方向を変える方向制御用バルブセットから構成されている。流量の制御方法を以下に示す。

クーリング流量の制御は、クーリングパイプ近傍においてコンクリート温度を測定し、事前にFEM解析結果から設定したコンクリートの管理目標値に漸近させるように行った。流量の変更はコントロールバルブを制御することにより行った。コンクリート温度の測定は、コンクリート打込み前にクーリングパイプから10cmの位置の打設空間内に熱電対を設置して行った。熱電対は、パイプ1系統の入口側、出口側、中間部の3か所に設置し、流量制御にはその平均値を用いた。流方向の変更には、入口側、出口側の熱電対を用い、両者の温度差が1℃以上となった時点で流方向を変更する制御を行った。

3. 鉛直パイプクーリングの概要

事前検討として、橋脚全体をモデルとし、パイプクーリングを前提としたFEM解析を実施した。FEMによりパイプピッチや流量の検討を行うとともに、制御位置（パイプから10cm）におけるコンクリート温度を算出し、この結果からパイプクーリング時のコンクリートの管理目標値を設定した。解析におけるコンクリート配合は、施工と同様、W/C=54.5%、単位セメント量、297kg/m³、高炉B種セメント使用とした。

パイプクーリングは、解析の結果、ひび割れ発生リスクが比較的大きくなった橋脚最下部リフト（5.3m）において実施した。クーリングパイプとしてシース管（φ60mm）を使用し、これを75cmピッチに鉛直に配置した。シース管の下部および上部を写真-2のように連結し、12本のシース管を1系統として連結した。

4. 現場適用結果

鉛直パイプクーリングにおけるシステム適用に際し、クーリングパイプの連結による、連結部上部におけるエアだまりの発生や、流方向変更時のパイ

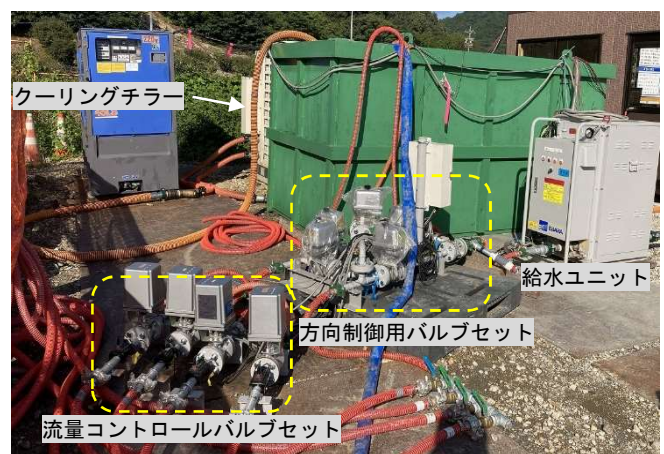


写真-1 クーリング制御システムの設備

キーワード マスコンクリート、鉛直パイプクーリング、流量制御、流方向制御

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組技術研究所 TEL 029-865-1521

プ内の圧力増加が懸念された。エアだまりについてはエア抜きの設置，圧力増加については切替え時の一時的な流速低下により解消され，パイプクーリングにおいて大きな問題は発生しなかった。

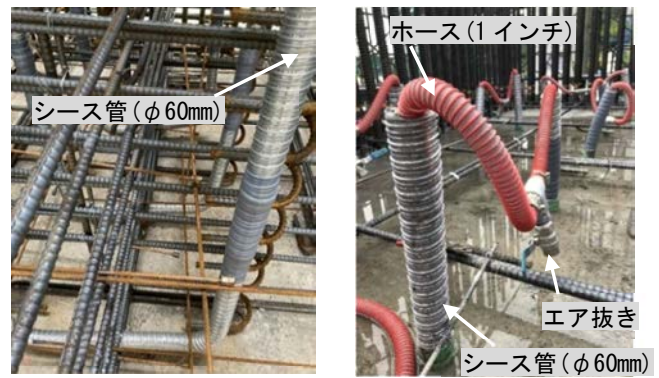
制御に使用したコンクリート温度の管理目標値と制御に用いた3点のコンクリート温度の平均値を図-1に示す。コンクリート打設翌日にクーリングを開始し，流量の最大値を30L/min，流量の最小値を10/minに設定してクーリングを行った。流量を管理目標値と実測値の差分により制御することにより，概ね管理目標値に沿うようにコンクリート温度を制御できた。

入口側，出口側のコンクリート温度と正送，逆送の切替えのタイミングを図-2に示す。クーリング水の温度は，コンクリート温度との差により流下に伴い上昇する。この結果，出口側のクーリング水の温度が入口側より高くなることで入口側と出口側の冷却効果に差が生じ，出口側のコンクリート温度が入口側に比べ徐々に高くなった。その差が1°Cになった時点で流方向が正送から逆送に切り替わり，その後，入口側のコンクリート温度が出口側に比べ徐々に高くなった。以降，流方向の切替えを繰り返すことでコンクリートの温度差を1°C程度以内に抑えた。これらのことから，流方向変更の制御が正常に機能し，コンクリート温度の場所による違いを低減できることを確認できたといえる。

コンクリート温度の解析値と実測値の比較した結果を図-3に示す。クーリング開始以降，コンクリート温度の実測値は，クーリング有りの解析値と一致するとともに，クーリング無しの解析値からクーリング開始後1日で20°C程度低い温度となった。このことから，本システムを用いた鉛直パイプクーリングにより，コンクリート温度の大幅な低下が可能であるとともに，クーリングによる温度低減効果を解析により精度良く把握できることを確認できた。

5. まとめ

クーリング制御システムを鉛直パイプクーリングに現場適用した結果，クーリング水の流量，流方向が適切に制御され，コンクリート温度を計画通りに低下できることを確認した。また，施工後の目視点検の結果，温度ひび割れの発生は確認されず，本システムによるクーリングによりひび割れ発生を予防できたと考える。



下部 上部
写真-2 クーリングパイプの連結部

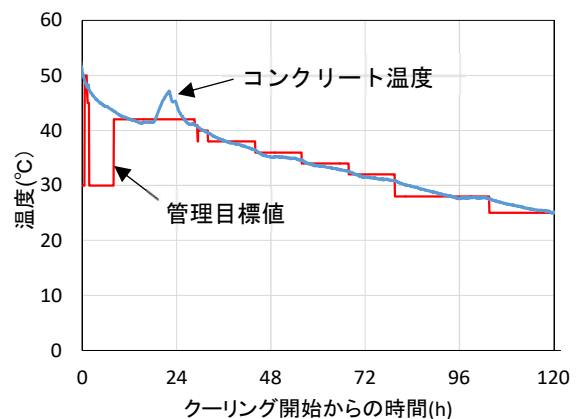


図-1 管理目標値・コンクリート温度

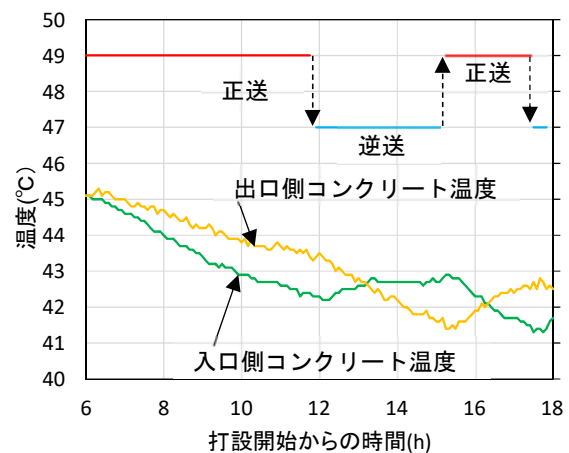


図-2 コンクリート温度と流方向切替えのタイミング

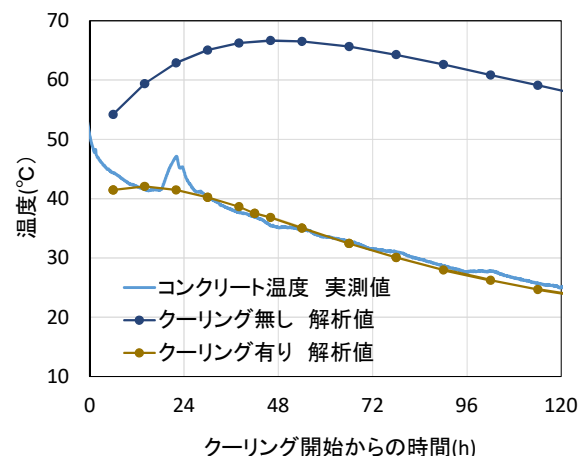


図-3 コンクリート温度の実測値と解析値