

循環式の鉛直パイプクーリングによるコンクリートの温度ひび割れ対策

(株)奥村組 正会員 ○安田幸司 近畿地方整備局和歌山河川国道事務所 小丸博司
(株)奥村組 正会員 森田修二 (株)奥村組 正会員 小河篤史 瀧富工業(株) 山田泰之

1. まえがき

コンクリート打設時の初期ひび割れ対策の1つとして、パイプクーリングによってコンクリートの温度上昇を抑制し、温度ひび割れの低減を図ることができる。パイプクーリングを行う場合はパイプの配置やパイプ径の選定、クーリング水の流量や温度設定等について適切な計画が必要となる。今回、和歌山県の紀北東道路粉河那賀 IC 改良工事における RC 橋台のコンクリート打設工事においてパイプクーリングを実施したが、クーリング水温の管理には水温コントロールユニットを適用した。クーリング水を回収・循環させており、戻り水を冷却しながら水温を一定に維持した。循環させることでクーリングに使用する水量を低減できるメリットがある。コンクリートの温度やクーリング水の水温を計測し、解析的にも検証を行ったので、その成果について報告する。なお、数値解析には有限要素法による3次元・汎用構造・非構造解析コード“FEAST”を用いた。

2. パイプクーリングの概要

紀北東道路は京都・奈良・和歌山を結ぶ延長約120kmの高規格幹線道路である京奈和自動車道の1区間となっている。粉河那賀 IC 改良工事は工期が平成25年6月から平成26年3月の工事で道路土工が主であり、本道路の跨線橋の RC 橋台2基の工事が含まれている。この橋台のコンクリート打設にパイプクーリングを適用した。図-1には水温コントロールユニットを用いた循環式パイプクーリングの概略のフローを示した。鉛直パイプクーリングの戻り水を水温コントロールユニットに回収して水温を調整した後に再びクーリング水として利用している。仕様の詳細を表-1に示した。

図-2にはパイプクーリングの配置と温度計測位置を示した。[平面図]
たて壁は2回で打設しておりパイプは継ぎ足しながら各ブロックで温度計測を行っている。

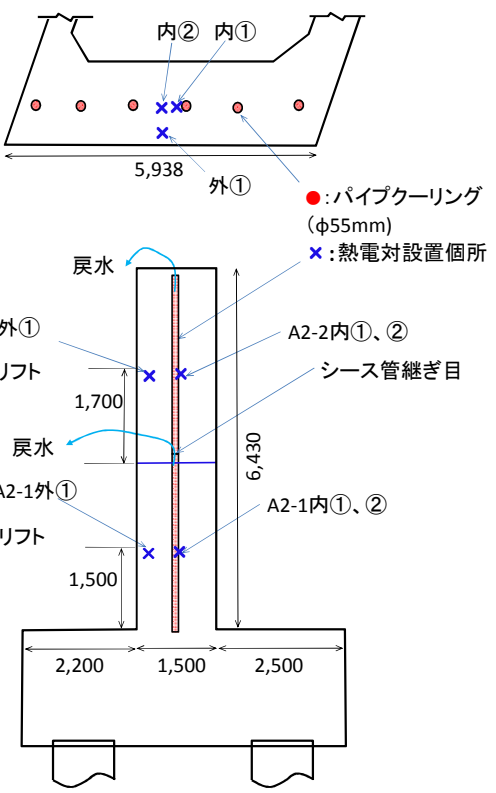


表-1 パイプクーリングの仕様

径 (mm)	1本の長さ (m)	配置間隔 (m)	流速 (m/min)	水温 (℃)
55	3.5	1	1~2	15

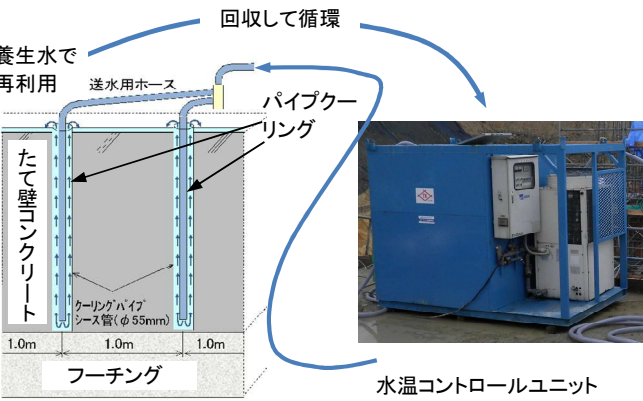


図-1 循環式パイプクーリングの概要

図-2 パイプクーリングと温度計測の配置

キーワード：鉛直パイプクーリング、水温コントロールユニット、温度計測
連絡先：〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2 (株)奥村組 安田幸司 (TEL) 06-6625-3982 (FAX) 06-6621-9315

3. 温度計測の結果

図-3にはA2橋台のたて壁コンクリートの第1ブロックを打設(AM9:00)して7日後までのコンクリート温度の変化を示した。外①は表面から10cm, 内①はパイプ近傍10cm, 内②はパイプ中間の温度を示している。打設時には外気温から約5℃上昇し約22℃となり, その後は内②は約57℃まで上昇, 外①は約47℃まで上昇し, その温度差は10℃程度であった。内①はクーリングの影響をよく表しており, クーリングを開始(打設後6時間)して4日後に終了するまでに施工の段取りで停止・再開するのに応じて変動している。終了するまではほぼ表面近傍の温度と同じであり, 適度に冷却されている。外①は型枠撤去時にやや変動しているが, 概ねなだらかに温度低下している。

図-4には外気温と戻り水温の変化を示した。気温は10/26までは日平均でおよそ20℃で推移し, その後は日変動が大きく気温の低下傾向が見られる。クーリング水は送水温度15℃に対し戻り水温は20℃であり, 約5℃の温度上昇が見られた。

4. 解析による検証

図-5にはコンクリート温度の解析結果との比較を示した。解析に用いたコンクリートの発熱関数, 熱伝導率等の物性値は土木学会のコンクリート標準示方書に準じた。パイプクーリングは埋込線材要素¹⁾でモデル化し, 熱伝達係数はメタルフォーム(14W/m²℃)の係数から設定した。丸印実線が解析結果である。内②では解析の発熱速度にやや遅れが見られるが, 大きな違いはなく現象をよく表している。クーリング停止後の内①の温度変化は解析結果の方が高くなっているが, 施工ではクーリング水が貯留している影響もあると推測される。なお, パイプクーリングの熱伝達係数を田辺の式²⁾で算定すると4~5倍の数値となり, クーリングによる温度低下が10℃以上大きくなった。今回のような流速で適用するには注意が必要である。

図-6にひび割れ指数の解析結果を示した。凡例の「外」は表面近傍, 「内」は中心部で, 高さがaは下部, bは中位, cは上部の3か所のひび割れ指数を示した。パイプクーリング無(実線), 有(丸印線)の結果を示している。温度低下とともに内部のひび割れ指数が低下する。第2ブロックの打設(11/5)で一時的に低下するが, クーリング有では約0.3増加し最小値は1.5程度である。解析的にひび割れの可能性は低く現地でもひび割れは見られなかった。

5. あとがき

今回, 低流速での循環式鉛直パイプクーリングの効果が検証できた。クーリング水の確保が難しい現場では有効な手法である。なお, 低流速のパイプクーリングではメタルフォーム程度の熱伝達係数が妥当と言える。

[参考文献]

- 1) 外木場康将, 清水智明, 森田修二, 「埋込クーリング要素を用いたコンクリートの温度応力解析」, 第68回土木学会年次学術講演会, 第5部門, pp. 439-440, 2013. 9
- 2) 田辺忠顕, 山川秀次, 渡辺朗, 「パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析」, 土木学会論文報告集 No. 343, pp. 171-179, 1984. 3

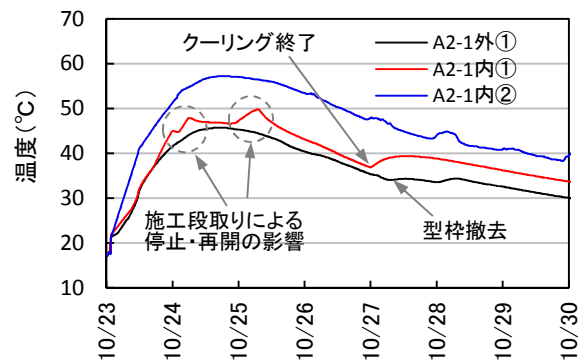


図-3 コンクリートの温度

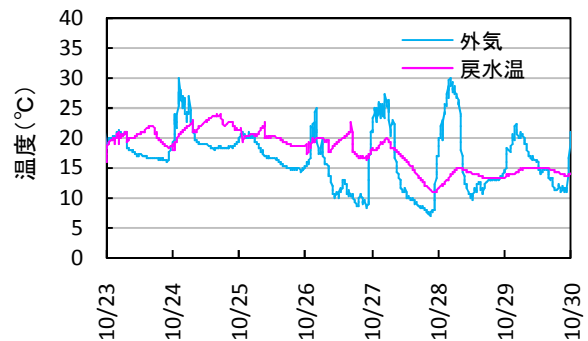


図-4 外気温と戻り水温

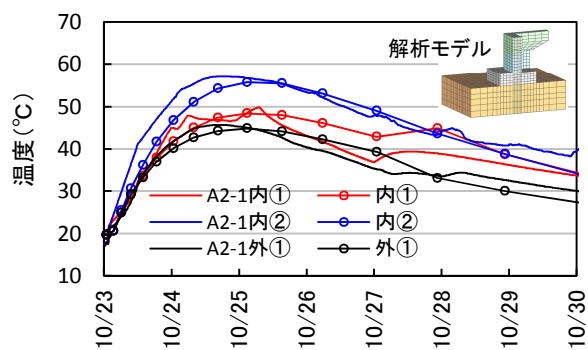


図-5 コンクリート温度の解析との比較

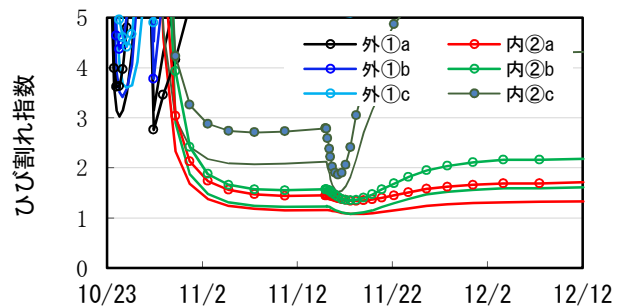


図-6 コンクリートのひび割れ指数