注水併用エアクーリング工法のトンネル覆工への適用

株式会社熊谷組　正会員○神﨑 恵三　正会員　尾畑　洋
正会員　山口 哲司　高橋　望

1．はじめに

筆者らは，コンクリート構造物における施工時の水和熱に伴う温度応力によるひび割れ制御対策として，従来のエアクーリング工法に注水を併用した新しいクーリング工法（注水併用エアクーリング工法）を開発し，その適用性について確認した[1)]．本工法は，**図-1** に示すように送風しているクーリング管中に水を少量滴下し，その気化熱を利用して冷媒となる外気の温度を低下させ，送風による冷却効果を高めたものである．

現在，本工法を函渠構造物の側壁や橋脚部に使用し，施工性及びコンクリートの温度履歴を把握してデータを収集している．今回，トンネル覆工に適用した結果について報告する．

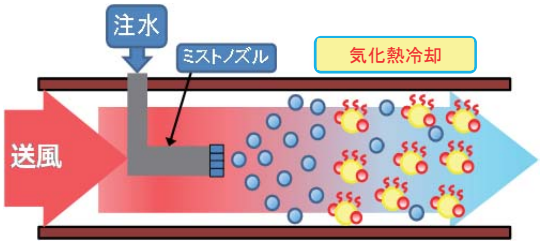

図-1　注水併用エアクーリング概念図

2．覆工への適用

施工は，国土交通省東北地方整備局発注の「国道 45 号山田第 2 トンネル工事」の覆工（呼び強度 18N/mm^2, スランプ 15cm, 高炉セメント使用）で実施した．対象箇所は，インバート区間で覆工厚 400mm の部位において，覆工とインバートとの打継ぎ部において，拘束による温度ひび割れが懸念された．このため，覆工の SL ラインより下部（下半）に対し，本工法を実施することとした．右側をクーリング実施，左側をクーリング未実施とし，温度やひずみ履歴を比較した（**図-2**）．

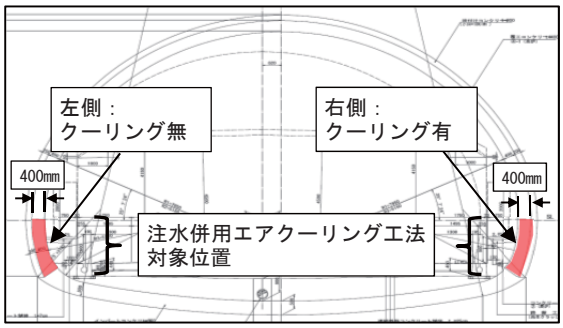

図-2　覆工断面図

クーリング管はφ50mm の鋼管とし，**図-3** のようにインバート部から覆工内部を通し，妻部で折り返してインバート部から出すこととした（**写真-1**）．送風側に送風機をセットし，風速（約 20m/s）でエアーを送るとともに，注水（約 150ml/min）を行った．注水量は，管理装置（圧力計と流量計）で管理し，管の内部に設置したミストノズルで微粒ミスト（粒径 100μm 以下）として噴霧した（**写真-2, 3**）．

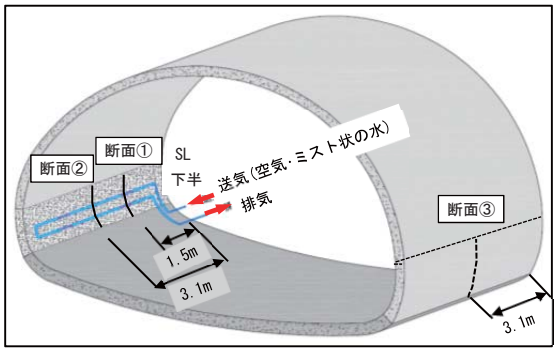

図-3　クーリング管配置図

計測は，クーリング有側に 2 箇所（断面①：流入口から 1.5m，断面②：流入口から 3.1m）とクーリング無側に 1 箇所（断面③：断面②と同じ位置）で実施した．上下管近傍と管の中間，及び SL ライン付近に熱電対を設置し，管中間にひずみ計を設置した（**写真-4**）．

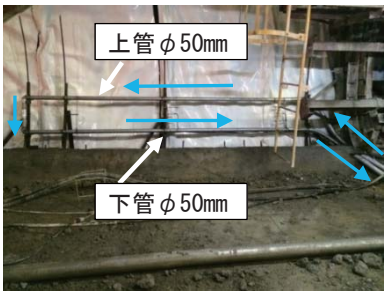

写真-1　クーリング管設置状況

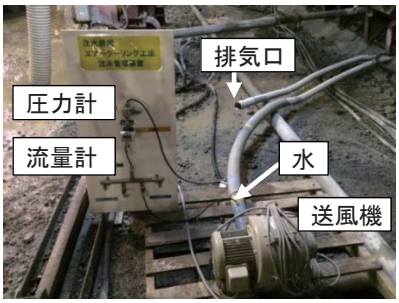

写真-2　クーリング装置

写真-3　ミスト噴出状況確認

キーワード　エアクーリング,注水,覆工,温度ひび割れ
連絡先　〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1(株)熊谷組土木事業本部プロジェクト技術部　TEL 03-3235-8649

3．コンクリート打設

コンクリート打設は，外気温の高い 8 月に実施した．クーリング管が締固め作業に支障とならないか懸念されたが，問題なく施工できた(**写真-5**)．

コンクリート打設後，クーリングを開始，セントル脱枠，移動までの 32 時間計測を実施した．その後，クーリング管内にモルタルを充填し，突出している管を切断，表面処理して完了とした．

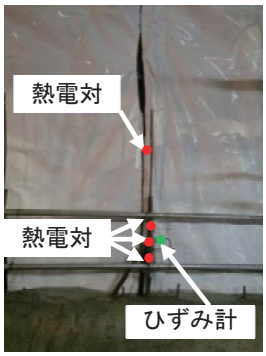

写真-4　計測器設置状況

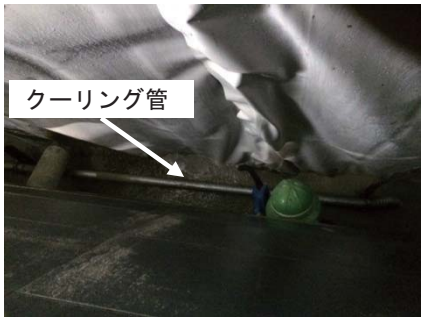

写真-5　締固め状況

4．計測結果

コンクリート内部の温度履歴とひずみ履歴の結果を記す．

- SL 部では，クーリング施工の有無に関係なく最高温度が 42～43℃まで上昇した（**図-4. 5**）．
- クーリング未実施の左側は，最高が 37℃まで上昇したが，クーリングを実施した右側は，下半で 31～35℃まで上昇した（2～6℃の温度抑制）（**図-4. 5**）．
- クーリング管（上管・下管）近傍は，クーリング開始時点から温度が上昇することなく下がり続け，クーリング終了後少しリバウンド（上昇）傾向がみられた後，緩やかに降下した（最高温度:上管 30℃，下管 31℃）（**図-4. 5**）．
- クーリングを実施した断面①・断面②と実施しなかった断面③のひずみ履歴を比較すると，断面①・断面②の方が引張ひずみは小さくなっており，クーリングにより引張応力が低減されていることが確認できた（**図-6**）．
- 断面②と断面③に着目すると，クーリングにより，ひずみ量は 36μ 小さくなっている．コンクリート温度は 2～6℃程度小さくなっていることと， 高炉セメントの線膨張係数は 12μ/℃であることから，この低下量はおおよそ妥当であると考えられる（**図-6**）．
- 温度履歴を元に 3 次元温度応力解析を行った結果，ひび割れ指数が約 24%（1. 47→1. 83）向上する結果となった（**図-7**）．

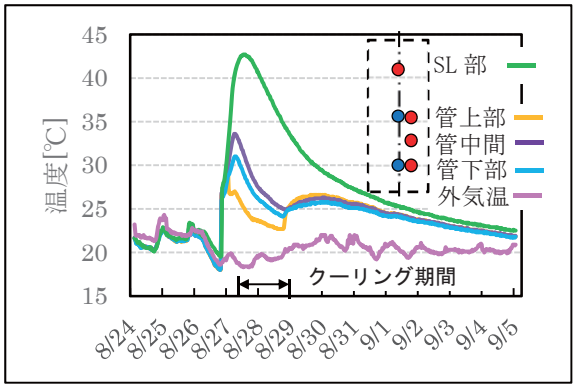

図-4　温度履歴図（断面①）

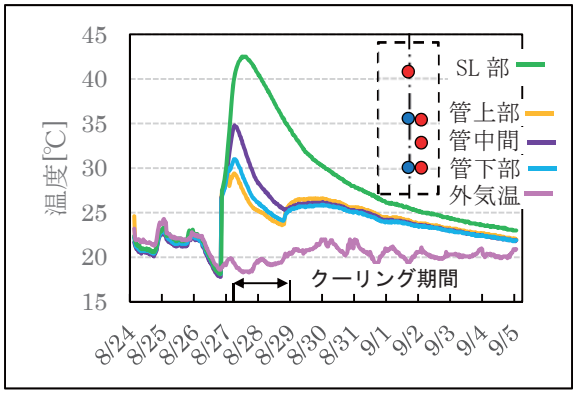

図-5　温度履歴図（断面②）

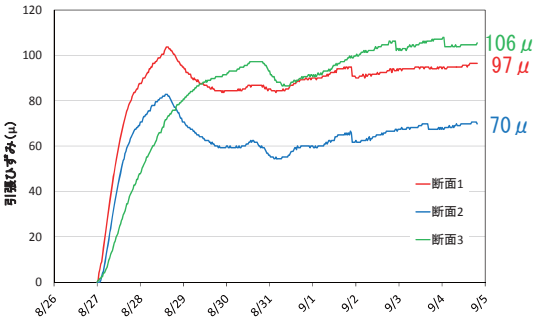

図-6　ひずみ履歴図

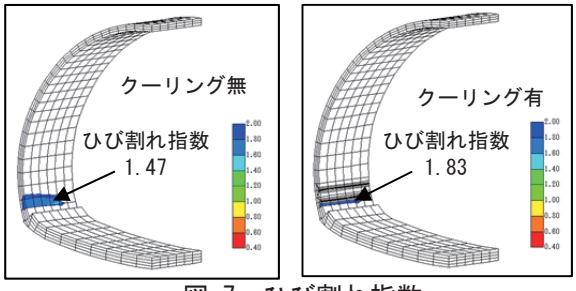

図-7　ひび割れ指数

5．まとめ

- 覆工厚 400mm に対し，クーリング管がφ50mm と断面に対する割合が高く，施工性が懸念されたが，支障なく打設することができ，脱枠後の仕上がり面も良好であった．
- クーリング管の形状が曲がり部が多いため，風量の低下によるクーリング効果の低下が懸念されたが，一定の温度低下を確認できた．
- 計測結果から温度解析を行い，ひび割れ発生確率が低下することが確認できた．

6．謝辞

本施工にあたり，助言，ご指導を賜った国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所の皆様に，お礼を申し上げます．

参考文献

1) 神﨑恵三，中出剛，工藤守，濱慶子，水谷真琴：注水併用エアクーリングの注水形態に関する一考察，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，2016. 9