

覆工コンクリートにおける部分パイプクーリングのひび割れ抑制効果の確認

(株) 安藤・間 正会員 ○山西浩介、赤池考起、栗原浩彦、高橋真一、大橋幹也

1. はじめに

本トンネルは、全長 632m、内空幅 11.3m、内空高さ 6.8m の長野県東筑摩郡生坂村に新設された山岳トンネルである。トンネル覆工コンクリートは下端がインバートに拘束されることで、覆工側壁部のブロック中央に水和熱に起因する鉛直方向の温度ひび割れの発生が懸念された。そのためひび割れ対策として、“部分パイプクーリング (Localized Pipe Cooling, 以下 LP クーリング)” を適用した。LP クーリングは、引張応力の集中する部分のみを短期間クーリングする工法である¹⁾。

本報告では、施工開始前に実施した三次元 FEM 温度応力解析による事前検討の結果および LP クーリングの現場適用時のコンクリート温度計測結果について報告する。

2. 三次元 FEM 温度応力解析

三次元 FEM 温度応力解析に使用するモデル図を図-1、クーリングパイプ (SGP 管、外径 34mm) の配置図とコンクリート温度の計測位置を図-2 に示す。解析条件は2017年制定コンクリート標準示方書設計編に準じ、配合を表-1、クーリング条件を表-2 に示す。無対策の場合の

表-1 コンクリート配合

部位	配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
インバート	21-8-25BB	59.0	40.2	236	139	779	1165	0.31
覆工	24-15-25BB	53.5	41.5	271	145	781	1110	2.71

表-2 打込み及びクーリング条件

部位	打設日	温度条件 ^{※1}		クーリング条件 (パイプ外径34mm)		
		打込み (°C)	外気温 (°C)	期間 ^{※2} (h)	流量 (L/min.)	熱伝達率 ^{※3} (W/m ² °C)
インバート	3/17	5.0	2.0	-	-	-
覆工	6/16	19.5	16.5	28	15	322.7

※1:外気温は現地付近の気象庁 30 年間の平均値から算出
※2:打設開始からの通水期間
※3:熱伝達率は、参考文献 2) の図-12 を参考に算出

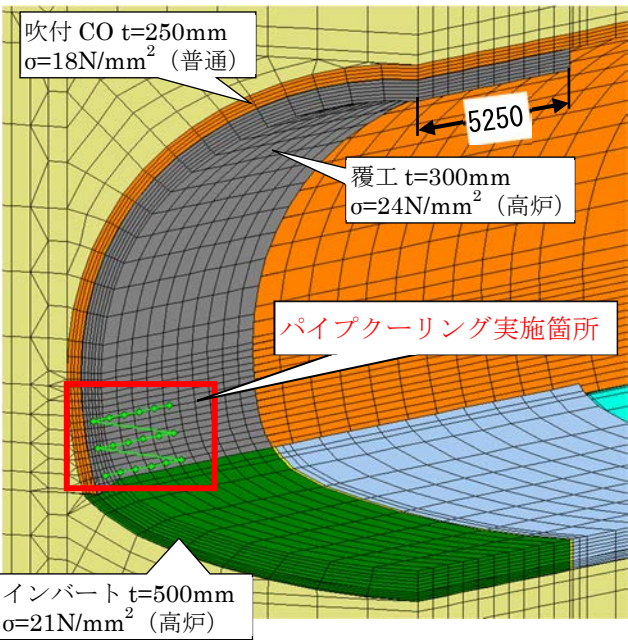


図-1 解析モデル図(1/2 モデル)

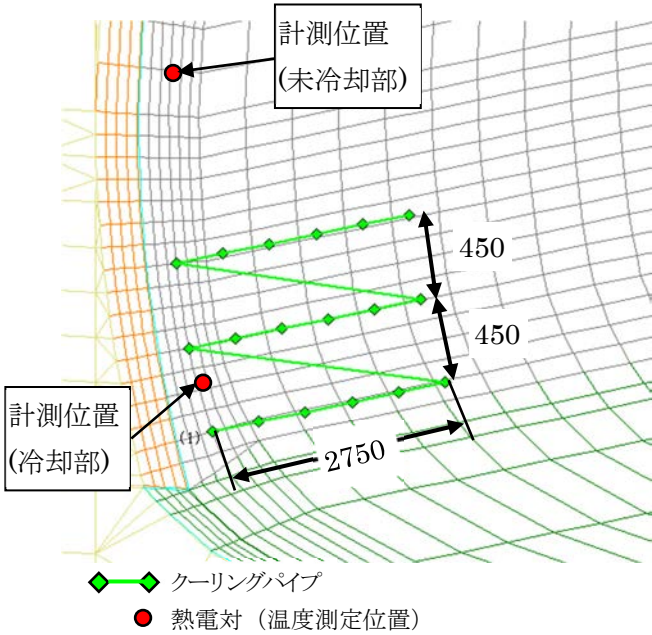


図-2 クーリングパイプ配置図

キーワード 部分パイプクーリング, 温度ひび割れ, 温度応力解析, 温度計測

連絡先 〒105-7360 東京都港区東新橋 1-9-1 安藤ハザマ 建設本部 土木技術統括部 TEL03-3575-6126

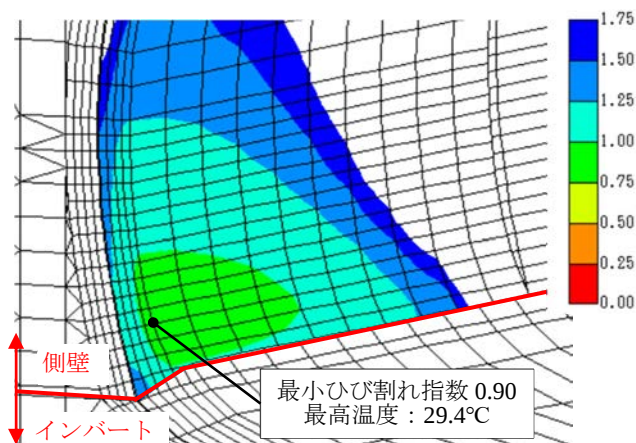


図-3 最小ひび割れ指数分布図（無対策）

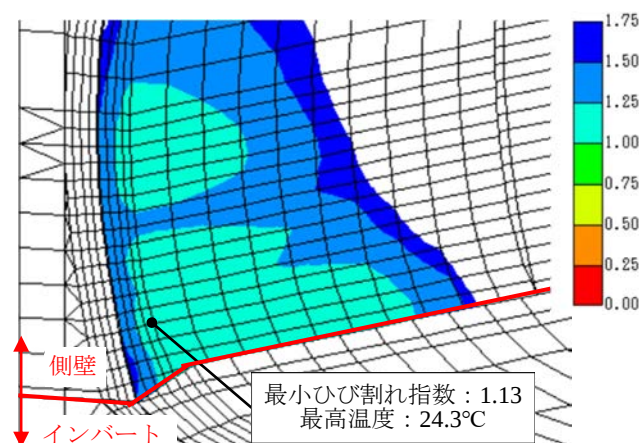


図-4 最小ひび割れ指数分布図（LP クーリング）

三次元FEM温度応力解析の結果を図-3に示す。無対策の場合、最小ひび割れ指数が0.9程度となり、ひび割れが発生する可能性が高いことが確認できた。そのため、図-2に示すように最小ひび割れ指数が1.0を下回る範囲においてクーリングパイプを配置し、表-2に示す条件で三次元FEM温度応力解析を行った。LPクーリング実施時の解析結果を図-4に示す。最小ひび割れ指数が1.13となり、指数1.0以上出ることが確認でき、無対策の場合と比較すると0.23改善したことが確認できた。また、冷却部（図-2参照）においてコンクリートの最大温度はLPクーリングを実施することで、5.1°C低下することが予想できた。

3. LPクーリングの現場適用による効果確認

図-2に示す計測位置で覆工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-5に示す。冷却部、未冷却部いずれも、解析値と実測値の最大温度は同程度となった。このため、解析で想定したひび割れ抑制効果を確保できたと考えられる。冷却部においては最高温度到達後の温度低下が解析時よりも大きい結果となった。これは、実際の温度の計測位置が解析時よりパイプクーリング側だったことによる影響と解析時より実際の水のクーリングの流量が大きかったことが考えられる。また、クーリング終了後の解析時と実測時の温度差については想定していたよりも型枠による保温が大きいことが考えられた。

4. まとめ

三次元FEM解析の結果、LPクーリングを実施することにより最小ひび割れ指数が0.23改善することが確認できた。また、コンクリート温度履歴より、解析値と現場実測値で同様の傾向であることが確認でき、ひび割れ調査の結果からも有害なひび割れが発生していなかったことから、実施工においてLPクーリングのひび割れ抑制に対する有効性が確認できた。

・参考文献

- 1) 赤池考起・稲田匠吾・白岩誠史・田口敬二・古原正人：超大断面部における覆工コンクリートの温度ひび割れ対策効果の検証，トンネル工学報告集，第28巻，I-4，2018.11
- 2) 新居秀一・村上祐治・林俊斉・白岩誠史：鉛直パイプクーリング工法におけるクーリングパイプ表面の熱伝達率の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，2014

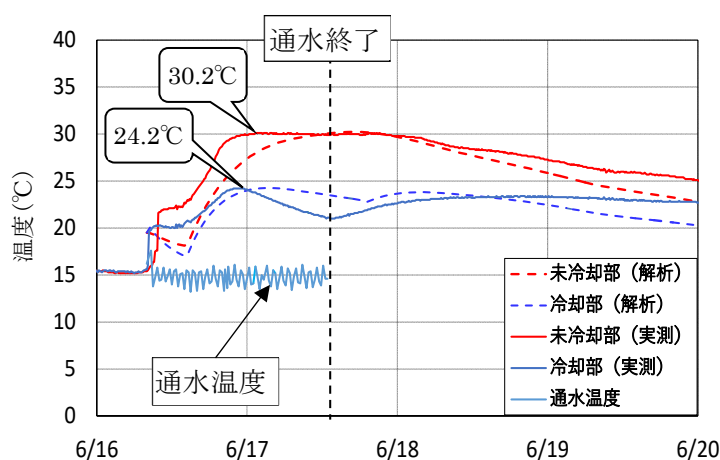


図-5 解析値と実測値の比較