

超大断面トンネルにおける部分パイプクーリングの解析的検討

安藤ハザマ ○正会員 倉重至, 赤池考起, 西正己, 村上義和
国土交通省九州地方整備局 田口敬二

1. はじめに

「大分 212 号三光第 1 号トンネル新設工事」の起点側は、内空断面積が 139m^2 の超大断面トンネルとなっている。当該部にはインバートが設けられ、覆工コンクリートの厚さが 60cm であることから、温度ひび割れの発生が懸念されたため、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) を採用した。

本報告では、施工開始前の三次元 FEM 温度応力解析による事前解析結果と打設時のデータを反映させた事後解析の結果より LP クーリングの有効性を確認した。

2. 事前解析結果

解析モデルは、図-1 に示すように、覆工 1 ブロックを中央で縦断方向と横断方向に 2 分割した $1/4$ モデルとした。クーリングパイプは、覆工長 6.0m の中央部 4.0m の区間で、 50cm ピッチで上下 3 段に設置した。解析の諸条件を表-1~4 に示す。外気温は中津市の過去 5 年の月毎平均気温、打設時のコンクリート温度は外気温 $+5$ に設定した。

無対策および LP クーリング実施時の解析結果を図-2 に示す。無対策において、ブロック中央部の側壁下部において、材齢 8 日付近で、最小ひび割れ指数が 0.91 と

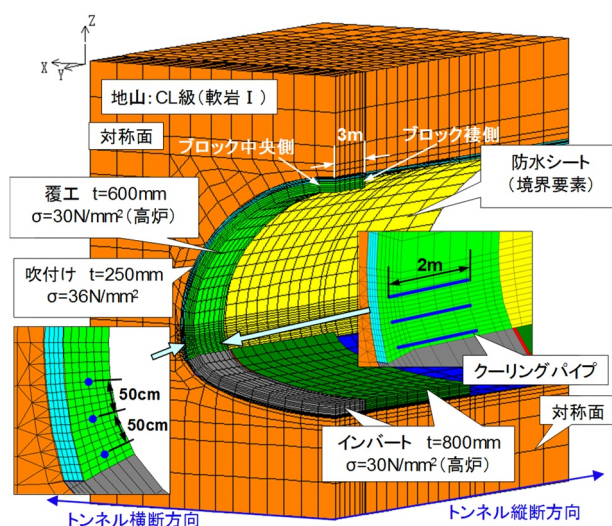


図-1 解析モデル (1/4 モデル)

表-1 コンクリート配合

項目	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
アーチ部 (30-18-20BB)	46.3	48.8	175	378	819	911	3.024
インバート部 (30-8-40BB)	47.0	37.7	148	315	694	1183	3.150

表-2 解析で使した熱伝達率

項目	養生期間 (日)	養生中熱伝達率 (W/m^2)	撤去後熱伝達率 (W/m^2)
メタルフォーム	1	14(鋼製型枠)	14
複板	1	8(木製型枠)	14

表-3 打設スケジュール・外気温の設定

打設箇所	打設予定日	外気温 (°C)	打設温度 (°C)
インバート	2017/9/20	22.7	27.7
覆工	2017/11/1	15.0	20.0

表-4 パイプクーリング仕様

材料	水温 (°C)	水の流量 (L/min)	熱伝達率 ¹⁾ (W/m^2)	通水期間 (h)
SGP管 外径 34.0mm , $L=4.0\text{m}$	15	15	322	48

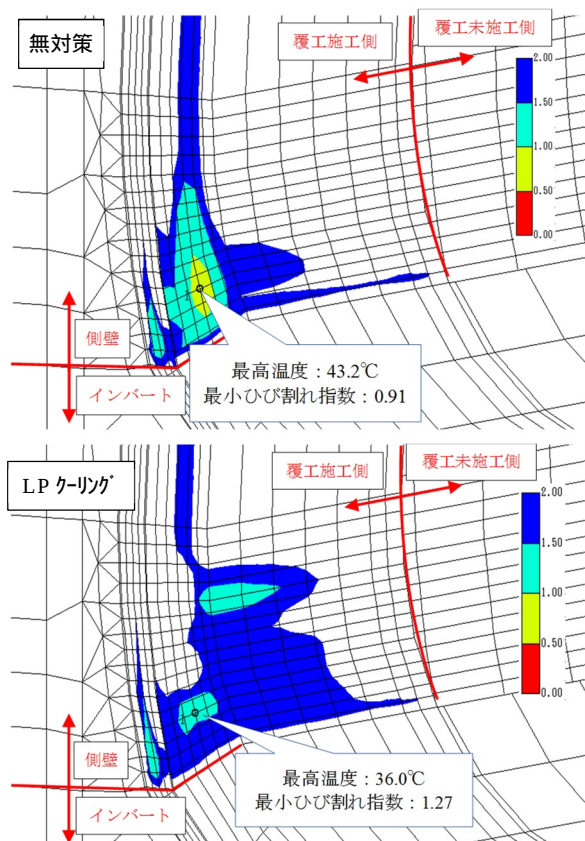


図-2 事前解析時の最小ひび割れ指数分布図

キーワード 部分パイプクーリング, 温度ひび割れ, 三次元 FEM 温度応力解析

連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 安藤ハザマ 建設本部 土木技術統括部 TEL03-6234-3670

表-5 打設状況およびクーリング管理

打設日	外気温 ()	クーリング管理		
		水温 ()	流量 (L/min)	期間 (h)
2017/12/16	AM : 2.7	10	24	48
	PM : 9.5			

表-6 事後解析で使用する解析条件

打設温度 ()	線膨張係数 ($\times 10^{-6}/$)	熱伝達率(W/m^2)		
		メタルフォーム (セトル用バルーン)	シート吸引方式給水養生工法	外気
8.0	12	4	6	14

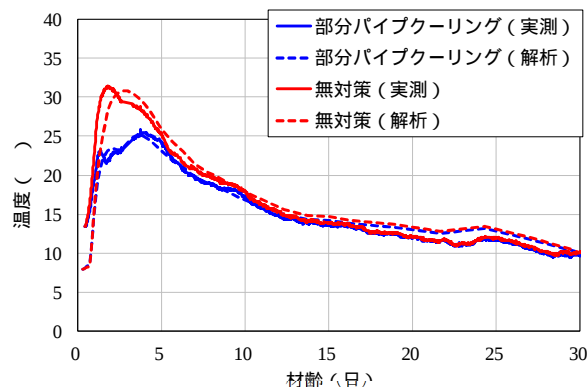


図-3 内部温度の実測値と解析値の比較

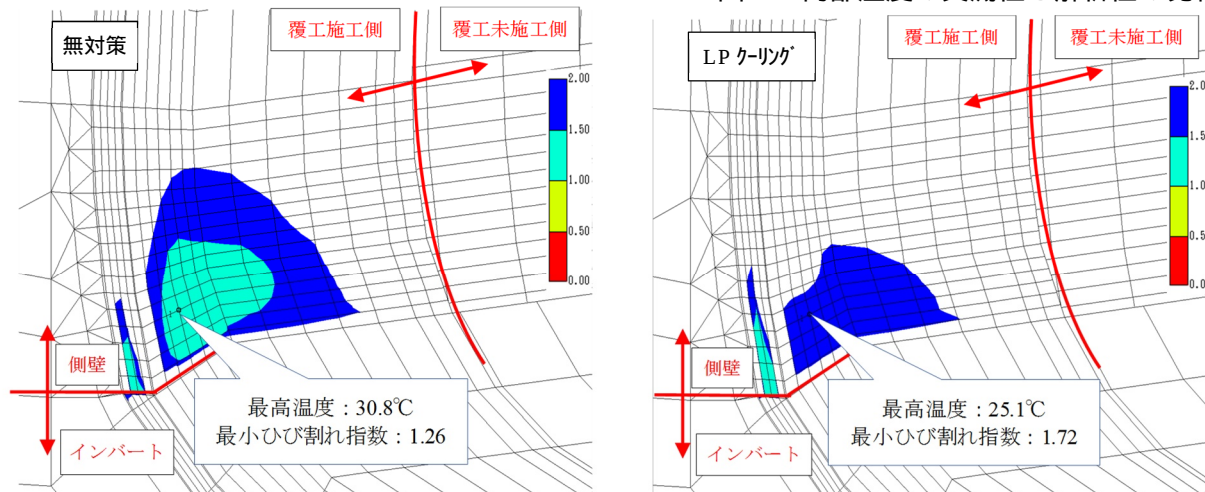


図-4 事後解析時の最小ひび割れ指数分布図

なり、ひび割れの発生確率が高いことが推察された。LP クーリングを実施した場合は、最小ひび割れ指数が 1.27 となり、無対策と比べて 0.36 改善したことが確認できた。

3. 事後解析結果

打設時に計測された外気温、コンクリートの打設温度および LP クーリングにおける流量と水温を解析に反映させた事後解析を実施した(表-5 参照)。また、事後解析の条件を表-6 に示す。本現場では、打設日から 4 日間は、セトル用バルーンを用いて、セトル内を保温した。バルーン移動後の覆工コンクリートの養生には、シート吸引方式給水養生工法²⁾を適用し、材齢 28 日まで養生した。以後の覆工コンクリートは、外気にさらされている。これらのことから、熱伝達率は表-6 のとおりとした。

覆工コンクリートの内部温度の実測値と事後解析による解析値の結果を図-3 に示す。実測値と解析値の温度は概ね近似しており、事後解析は、実際の状況をよく表していると考えられる。図-4 に無対策および LP クーリング実施時の事後解析におけるひび割れ指数分布図を示す。最小ひび割れ指数が無対策で 1.26(ひび割れ発生確率 23%)、LP クーリング実施時で 1.72(発生確率 7%)となり、0.46 改善できたことが確認できた。

4. まとめ

LP クーリングを実施することにより、事前解析では 無対策時より最小ひび割れ指数が 0.36 改善すること、事後解析においても、バルーンと給水養生工法の効果も加わり、最小ひび割れ指数が 1.26 から 1.72 と 0.46 改善した。これより、LP クーリングはひび割れ対策として有効であることが確認できた。また、打設日より 3 か月経過時点で、ひび割れの発生は確認されなかった。

参考文献

- 1) 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, 第 34 号, 1984
- 2) 古川幸則, 白井孝昌: アクアカーテンを用いた覆工コンクリート養生について, トンネル技術研究発表会, 2011