

面状発熱体による覆工コンクリートの加温養生

(株) 鴻池組 東北支店 ○正会員 木佐一伸 増田丑太郎
 (株) 鴻池組 技術部 正会員 福井正規 正会員 富澤直樹

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートは、打設完了後 12~20 時間の若材齢で型枠を取り外している例が多いため、トンネル貫通後で外気の影響を受けやすい場合や冬期には、坑内やセントル内の温度低下を抑制する目的で、坑内通風の遮断や、シートとジェットヒーターによるセントル養生等が行われている。このようなセントル養生では、養生下端からの冷気の浸入や暖気の上昇によりセントル内部の温度分布に大きな偏りが生じることや、特にクラウン付近が局部的に高温になることによる急激な乾燥が課題となっている。そこで、相馬福島道路庄司淵トンネル(表-1)において、面状発熱体をセントル内面に貼り付け、型枠面の温度調節効果を確認した。

表-1 現場概要

工事名称	相馬福島道路 庄司淵トンネル工事
発注者	国土交通省東北地方整備局
工事場所	福島県伊達市霊山町石田地内
工事内容	延長=929m, 幅員=13.5m, 内空断面積=87.9m ²

2. 面状発熱体

面状発熱体は通電により発熱する、幅 150mm、長さ 300~1,400mm、厚さ約 5mm の面状のヒーターである。曲面にも密着して設置することができ、サーモスタットにより容易に設置面の温度調整ができる。当現場では、図-1 に示すように、面状発熱体を型枠背面に貼り付け、その上から気泡緩衝材で覆った。また、図-2 に示すように、打設窓や補鋼材を除くセントル内側のほぼ全面に一樣に配置した。面状発熱体の温度制御は、図-3 に示す 6 つのブロックに分けて実施し、本確認試験においては、①~③ブロックを加温(設定温度: 30℃)、④~⑥ブロックを無加温とした。



図-1 面状発熱体設置断面図

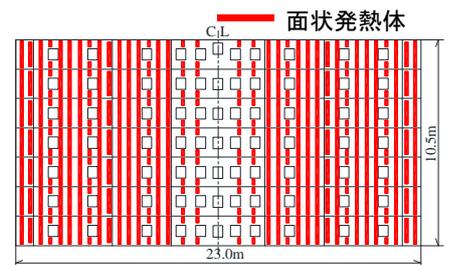


図-2 面状発熱体の配置

3. 測定項目

表-2 に測定項目及び測定位置等を示す。

4. 試験条件

効果確認試験は 1 月末に実施した。既に貫通していたため、貫通側坑口には通風遮断壁を設置し、セントルをバルーン養生している。坑外の平均気温は-2℃、坑内の平均気温は 5℃、バルーン内の打設前の気温は 7℃であった。実施断面の支保パターンは CI で設計巻厚 400mm である。使用したコンクリートの配合を表-3 に示す。なお、図-2 で配置した面状発熱体の能力を確認するため、通常よりも型枠存置時間を延長して温度履歴を記録した。

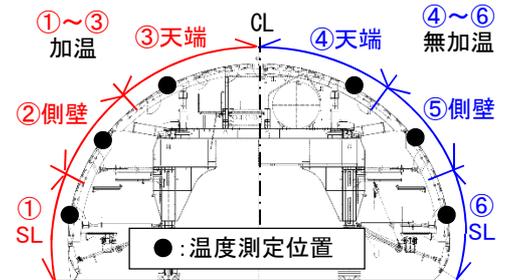


図-3 温度制御ブロックと測定位置

表-2 測定項目一覧

測定項目	測定位置・材齢・方法等
型枠温度	天端, 側壁, SL
コンクリート温度	天端, 側壁, SL(深度 50mm, 200mm, 350mm)
気温	セントルバルーン内, 坑内, 坑外
表面温度分布	天端, 側壁, SL/サーモグラフィー
コンクリート表面強度	天端, 側壁, SL/材齢 3.7 日/リバウンドハンマ
透気係数	天端, 側壁, SL/材齢 28 日/トレント法

5. 温度測定結果

5.1 温度履歴

図-4 に、坑内、型枠面、及び深度 50mm 位置のコンクリートの温度の履歴を示す。加温した型枠面の温度は、打設中のコンクリート(コンクリート温度 7℃)と接触した際に一旦低下するが、それ以外の期間は、ほぼ設定値である 30℃を維持している。

表-3 コンクリート配合

基準強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	Gmax (mm)	W/C (%)	C (kg/m ³)
24	15	20	51.5	340

キーワード 山岳トンネル 覆工コンクリート 面状発熱体 加温養生 サーモグラフィー 透気係数
 連絡先 〒136-8800 東京都江東区南砂 2-7-5 (株)鴻池組 土木事業本部技術部 TEL03-5617-7790

コンクリート温度は打設直後から無加温に比較して加温が高くなり、通常の脱型時期に相当する打設完了後から 12~20 時間後では約 5℃高い。脱型時点における無加温の場合、天端は 26.3℃で SL よりも 2.1℃高い。加温の場合、天端は 30.4℃で SL よりも 1.6℃高い。これらより、加温の場合が無加温よりも全体的に約 5℃高いことと、天端と SL の温度差が小さいことがわかる。

次に、図-5 に SL、図-6 に天端の深度方向の温度履歴を加温と無加温を合わせて示す。図-5 より、SL 無加温の場合、期間を通じて深度 50mm の温度が内部よりも低く、深度 200mm と 350mm は脱型時点までは温度差がないまま推移する。脱型時点での 50mm と 350mm の差は 5.7℃である。また、SL 加温の場合、打設直後は深度 50mm の温度が内部よりも高く、350mm に対してその差は最大 2.8℃である。同様に、深度 200mm も 350mm より約 1℃高く、この深度まで加温の効果が及んでいることがわかる。20 時間経過後に深度方向の温度の高低の傾向が逆転し、50mm が低温となり、脱型時点での 50mm と 350mm の差は 6.6℃である。

図-6 より、天端加温の場合、SL と同様に打設直後より深度 50mm の温度が内部よりも高く、350mm に対してその差は最大 5.1℃である。同様に、深度 200mm も 350mm より約 2℃高く、この深度まで加温の効果が及んでいることがわかる。30 時間経過後に深度方向の温度の高低の傾向が逆転し、50mm が低温となる。脱型時点での 50mm と 350mm の差は 2.7℃であり、SL よりもその差は小さい。

5.2 脱型時の温度分布

図-7 に、サーモグラフィーによる脱型 1 時間後の覆工表面温度分布を示す。天端部は 26℃である。無加温は、側壁が 18.9℃、SL が 16.7℃である。加温は、側壁が 23.2℃、SL が 20.1℃であり、SL 以下を含めて全面的に無加温よりも高い。また、無加温は天端と側壁で 7.1℃、側壁と SL で 2.2℃の差があるのに対して、加温はそれぞれ 2.8℃、2.1℃であり、温度むらが小さい。

6. その他の結果

各種試験結果を表-4 にまとめて示す。これより、加温することにより表面強度が向上し、透気係数が低減することがわかる。

7. まとめ

今回の試験条件下で得られた結果と考察をまとめて示す。

- ①面状発熱体による加温養生により、打設完了後 12~40 時間の表層付近のコンクリート温度を無加温と比較して約 5℃高く維持できた。その結果、表面強度と透気係数などの表層品質が向上した。
- ②加温効果は表面のみならず内部にも及び、コンクリート全体の初期強度の発現に寄与すると考えられる。
- ③従来の冬期セントル養生方法に対して、温度むらが少なく、表面温度を管理できることが確認できた。

以上、面状発熱体は冬期のセントル加温養生として有効であり、覆工品質向上に寄与することを確認できた。今後は、現場条件や目的に応じて発熱体設置範囲を工夫することで、より合理的な養生を行ってきたい。

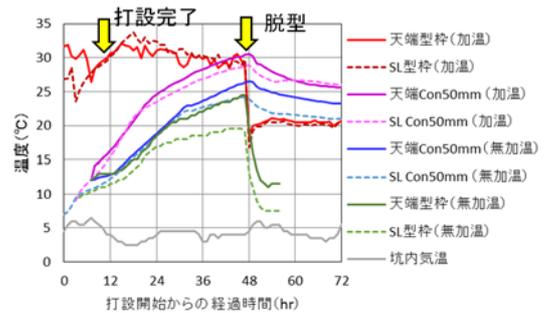


図-4 型枠とコンクリート(50mm)の温度

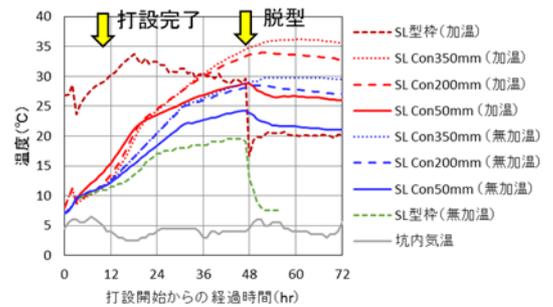


図-5 SL コンクリートの温度(加温・無加温)

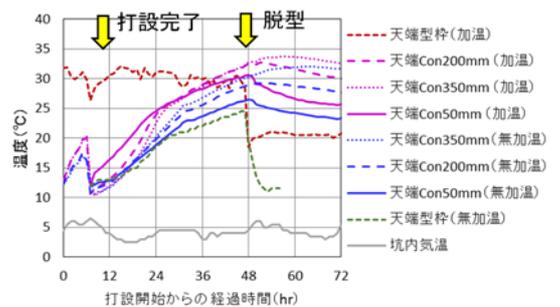


図-6 天端コンクリートの温度(加温・無加温)

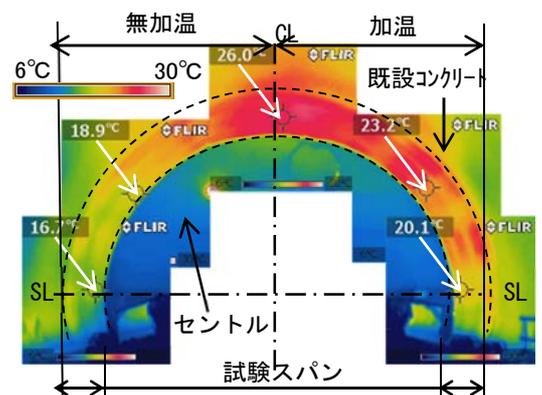


図-7 脱型 1 時間後の表面温度

表-4 各種試験結果

測定項目	平均表面強度(N/mm ²)		平均透気係数 (×10 ⁻¹⁶ m ²)
	σ ₃	σ ₇	
加温	11.9	17.0	0.65
無加温	9.2	15.7	1.33