

寒冷地における覆工コンクリートの養生管理手法に関する提案

A Proposal of a Method for Managing the Curing of Tunnel Lining Concrete in Cold Areas

水越 裕一^{※1} 佐々木 和人^{※1} 高岡 伸光^{※1}
Hirokazu Mizukoshi Kazuhito Sasaki Nobumitsu Takaoka
松田 浩朗^{※2} 森脇 丈滋^{※3}
Hiroaki Matsuda Takeshi Moriwaki

【キーワード】 積算養生 セントル養生 脱枠強度 寒冷地

1. はじめに

型枠の取り外しを若材齢で行う覆工コンクリートでは、構造解析によってコンクリート自重で発生する応力を算出し、これに安全率を乗じて脱枠に必要な強度を決定する。その値は断面形状や周辺地盤条件等によって異なるが、概ね $1.0\sim 3.0\text{N/mm}^2$ となる。

小矢戸トンネル（国土交通省近畿地方整備局）は、特別豪雪地帯に指定されている寒冷地（福井県勝山市遅羽町～大野町小矢戸地先）にあるため、冬期の覆工コンクリート施工においてコンクリート練り上がり温度の低下や養生温度の低下に伴うコンクリート強度発現の遅れによる不具合が予想された。そこでコンクリート打設直後のセントル養生の適用と、養生管理システムの導入によって、覆工コンクリートの品質向上を図った。

本報は小矢戸トンネルにおいて採用したこれらの養生管理についての概要と結果を報告するものである。

2. 坑内環境および脱枠強度管理基準

一般に貫通前の坑内は温度が安定しているとされ、特別な養生対策を行わない。しかし、寒冷地におけるトンネルでは換気設備の大型化に伴い、坑内温度も低下する傾向にある。小矢戸トンネルの覆工コンクリート打設は平成22年7月～平成23年12月にかけて施工したが、12月～3月のコンクリート打設箇所における坑内温度は、貫通はしていないものの $14^{\circ}\text{C}\sim 17^{\circ}\text{C}$ であった。また、コンクリート打ち込み温度は $7^{\circ}\text{C}\sim 9^{\circ}\text{C}$ であった。

脱枠に必要な強度を算出した結果ではDIパターンで 1.4N/mm^2 、DIIIパターンで 2.0N/mm^2 となったが、脱枠管理強度は安全側を考慮して全て 2.0N/mm^2 以上とした。

配合（18-15-25BB）試験練り時の若材齢強度試験を行った結果、 2.0N/mm^2 に達するまでの時間は平均養生温度約 17°C で21時間程度（積算養生温度 $370\text{hr}\cdot^{\circ}\text{C}$ ）となった。

寒冷地における覆工コンクリートの留意点には脱枠時の強度不足によるひび割れや剥離、スチールフォームへの付着現象があげられ、また、コンクリートの強度発現

は、養生環境の変化により供試体による一定養生温度で求めた強度発現とは相違すること等があげられる。

3. セントル養生

3.1 セントル養生方法の選定

一般的な脱枠前のセントル養生方法には、セントルシートで覆い養生空間を確保し、打設完了後から脱枠までの間、ジェットヒーターでセントル内の空間を温める方法がある。しかし、スポット的に高温になりすぎることや、セントル全体への均一な養生温度の確保が難しいことにより生じるコンクリートの品質低下、酸欠等の作業環境の悪化、燃料費の負担増などの課題があげられる。また、セントルを完全密閉に近い設備を設けた場合、コストが増大する。そこで、安価な保温材をセントルに直接設置してコンクリートの保温を行い、養生温度を確保する対策を採用した。

3.2 具体的な養生方法

採用した保温材は、厚さ8mmのアルミロールマットとし、セントルの内側全面に貼り付けた（写真-1）。

設置時間は5人で約10時間、材料費は約60,000円であった。取付方法はセントル型枠に接着剤を塗って貼り付けており、夏期には撤去可能である。



写真-1 アルミマットを用いたセントル養生

3.3 養生効果の検証

養生効果を検証するため、アルミロールマットで養生したマット内側と、同時に一部養生しない箇所を設けてセントル表面温度を打設終了から脱枠（打設後20時間）まで計測した（図-1）。なお、図中の覆工コンクリート

1. 大阪支店 小矢戸トンネル作業所 2. 建設事業本部 技術研究所 第一研究室 3. 建設事業本部 土木事業統括部 トンネルT

温度は天端のエア抜き兼用検測孔部で計測した。

当日の外気温は1℃、平均坑内温度は16℃、打ち込み時のコンクリート温度は7℃であった。

計測の結果、養生しない場合の型枠表面温度は20時間後で17℃であり、坑内温度の影響を受けて打設終了時点からほとんど変化がなかった。アルミロールマットで養生した場合は、コンクリートの水和熱に伴い型枠の温度が上昇し、坑内気温に影響されることなく24℃まで温度が上昇した。

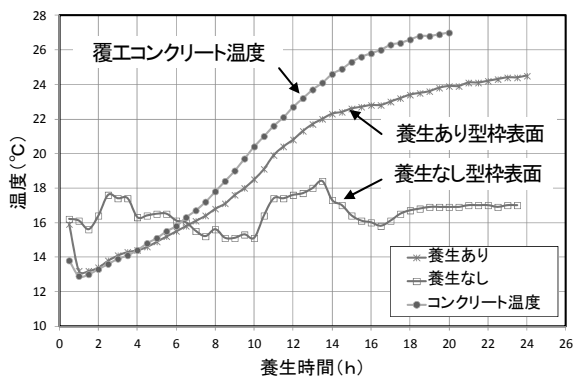


図-1 温度計測結果

4. 覆工コンクリート養生管理システム

4.1 覆工コンクリート養生管理システムの概要と特徴

覆工コンクリート養生管理システムは、打設後の養生温度を連続的に計測し、養生温度の適切性確認と、積算温度から脱型の可否の判定を行うものである。また、セントル養生に加え、脱枠後の湿度の計測も同時に行い、覆工コンクリートの養生環境をトータル的に管理できるシステムとしている。本システムの構成を図-2、本システムによる養生管理状況を写真-2、モニタリング画面表示例を図-3に示す。

覆工コンクリート養生管理システムの特徴を次に示す。

- ① 汎用PCにソフトをインストールするだけで安価に導入できる。
- ② 複数台の無線センサを使用して任意の箇所温度および湿度の計測が可能である。
- ③ 積算養生温度から強度を算出するとともに、脱枠可能となる予定時刻を履歴から推定できる。
- ④ 養生環境の管理値を超えた場合や、脱枠可能または不可を電光表示や警告灯、警告メール機能でリアルタイムに周知徹底できる。
- ⑤ 各計測データの履歴がPCに保存されトレーサビリティを確保できる。また、必要に応じて履歴をグラフ表示できる。

4.2 覆工コンクリート養生管理システムの適用結果

小矢戸トンネルではセントル天端2箇所の養生マット内側にセンサを設置し、養生温度を10分間隔で計測して管理した。冬期にて2.0 N/mm²に達するまでの時間は、

養生効果により平均17.5時間程度であった。

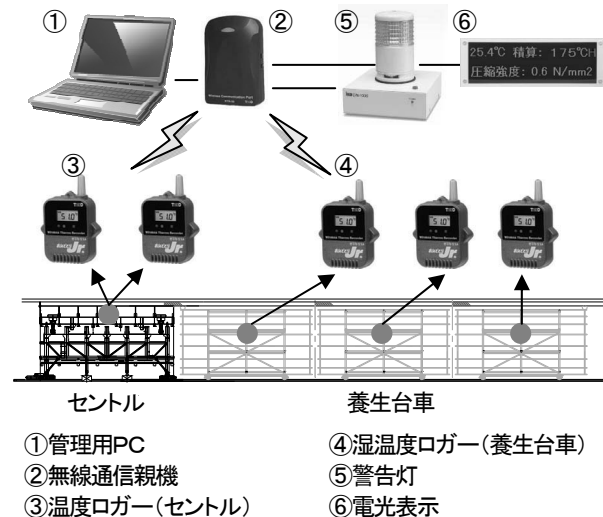
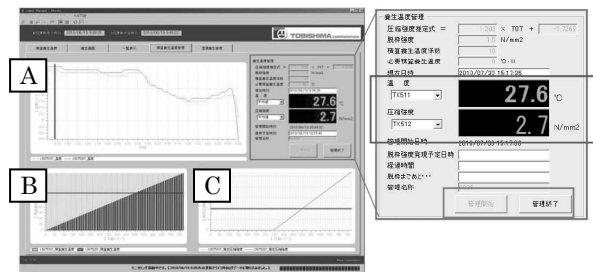


図-2 システム構成概要図



写真-2 養生管理状況



[A]温度計測グラフ [B]積算養生温度グラフ [C]推定圧縮強度グラフ
図-3 モニタリング画面表示例

5. まとめ

冬期となる12月～3月に打設した覆工コンクリートのスパン数は計22スパンであったが、アルミロールマットを用いたセントル養生、および、養生温度を自動的にモニタリングして養生温度を適性に保ち、積算養生温度から強度を推定して脱枠時期を管理する覆工コンクリート養生管理システムを採用することにより、脱枠時の強度を十分に確保することができた。その結果、材齢初期ひび割れ、および、脱枠時の剥離・付着は発生しなかった。

寒冷地では特に打設直後の養生環境を確保していくことが品質向上を図るうえで重要である。今後も脱枠直後の覆工コンクリート養生管理と組み合わせた覆工コンクリートのさらなる品質向上を図る必要がある。