

山岳トンネル覆工コンクリートのひび割れ抑制対策の取組み

青木あすなろ建設(株) 上山 公正 木村 憲一 築 真一
 青木あすなろ建設(株) 正会員 ○駒田 憲司

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートは一般的なコンクリート構造物とは違い、打設した次の日に脱型する 2 日に 1 回のペースで施工を行う。一般に脱型必要強度は $2\sim 3\text{N/mm}^2$ とされており、脱型までの時間は 12~20 時間と非常に短い。また、覆工コンクリートは薄い部材形状であるため、若材齢時における脱型は強度不足や急激な乾燥による影響を受けやすくひび割れが生じやすい。ここでは、冬期に氷点下となる極寒地域における一般国道 281 号 (仮称) 下川井トンネル築造工事の覆工コンクリート施工において、ひび割れ発生ゼロを目指した取組みについて報告する。

2. 工事概要

当該工事場所は岩手県沿岸北部の久慈市内より西へ約 19.0km に位置し、一般国道 281 号の幅員狭小で連続する急カーブ区間の整備のために全長 $L=510\text{m}$ の NATM トンネルを新設する工事である。この場所は冬期に氷点下 ($-5^{\circ}\text{C}\sim -15^{\circ}\text{C}$) となる厳しい環境下であり、施工時期が冬期から夏期となる覆工コンクリートの品質管理には留意する必要がある。特に外気の影響を受けやすい坑口部の施工が冬期となるため、コンクリートの強度発現の鈍化とともに脱型後には急激な乾燥の影響が懸念される。また、両坑口部にはインバート区間があり、覆工コンクリートの温度変化や乾燥による収縮作用が拘束され、ひび割れ発生要因となる恐れがある。

3. ひび割れ抑制対策の取組み

当該トンネル工事の覆工コンクリート施工においては、施工初期が冬期となることもあり、脱型時までのコンクリート強度の発現を確保することがひび割れ抑制には特に重要であると考えられた。そのため、セントルには加温機能を有する型枠を装備し、強度発現の促進を図ることとした。また、脱型後の急激な乾燥を防ぐため長期的な湿潤養生を行い、インバート区間の覆工コンクリートには膨張コンクリートを採用することとした。それぞれの取組みについて以下に述べる。

(1) 脱型時必要強度の確保対策

セントルには型枠表面を 30°C 前後まで加温可能な加温機能付きセントル「テクヒーター」(写真-1)を使用した。テクヒーターはセラミックの特性を利用した自己制御型ヒータリングケーブルで、環境温度の変化に合わせて常に一定の温度になるようにヒーター自らが調整でき、必要以上の発熱量がない省エネルギー性のヒーターである。型枠には周方向に 30cm 程度の間隔でヒータリングケーブルを水平に設置し、保温性を確保するために保温材(発泡スチロール)で被覆し、その背面に合板をあて固定した(図-1、写真-2)。さらに積算温度システムを取り入れ、覆工コンクリートの SL 部、肩部、天端部の 3 箇所における推定強度を電光掲示板に表示させて覆工コンクリートの強度発現をリアルタイムで管理できるようにした。



写真-1 テクヒーター

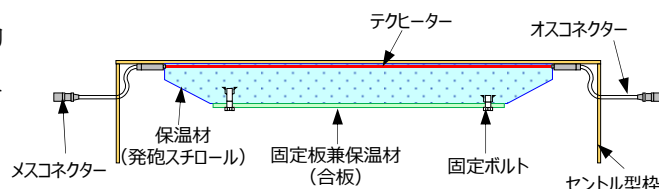


図-1 テクヒーターの取付要領図

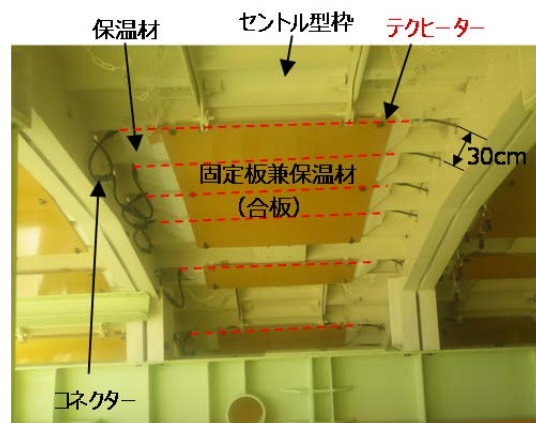


写真-2 テクヒーターの型枠への設置状況

NETIS : KK-200047-A

キーワード 覆工コンクリート, ひび割れ抑制, テクヒーター, 浸水養生システム, 膨張コンクリート
 連絡先 〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町1 TEL 03-5439-8513

(2) 脱型後の湿潤養生対策

脱型後は、覆工コンクリート面を浸水して湿潤状態にできる浸水養生工法（アクアカーテン、NETIS：HR-110011-VE）により材齢28日まで湿潤養生を行った（写真-3）。覆工コンクリートの強度管理材齢である材齢28日までコンクリートの乾燥を完全に防ぐとともに強度発現の促進を図った。

(3) インバート区間におけるひび割れ低減対策

インバート区間の覆工コンクリートには膨張材を混入した膨張コンクリートを使用した。膨張材の混入量は 20kg/m^3 とし生コンクリート工場での混入とした。膨張コンクリートは事前に試験練りを行い、フレッシュ性状、硬化性状とともに膨張特性（ $150\mu\sim 250\mu$ 、JIS A 6202 付属書2に準拠）を確認した。



写真-3 浸水養生工法による養生

4. ひび割れ抑制対策取組みの効果

事前に実施した骨組構造解析による脱型時必要強度は 1.7N/mm^2 である。通常、冬期ではコンクリートの強度発現が鈍化するため、打設翌日の脱型時に必要強度を満足することが難しくなってくるが、「テクヒーター」を使用して型枠表面を 30°C で加温することにより、材齢20時間で 3.3N/mm^2 以上が可能となる（土木学会コンクリート標準示方書〔設計偏〕の圧縮強度発現式より推定、図-2）。当該トンネル工事における覆工コンクリート施工時の坑内平均気温とコンクリートの脱型時必要強度の到達時間の関係図を図-3に示す。坑内平均温度が 5°C 程度と低い場合でも脱型必要強度の到達時間は16時間～22時間であり、施工サイクルへの影響もほとんどなく施工を進めることができた。施工初期の坑口部は1月、2月の極寒期であったが、テクヒーターの使用によりコンクリートの強度発現の鈍化もなく脱型時必要強度を確保し、脱型時のひび割れ発生を抑制することができたと考えられる。

セントル脱型後、浸水養生工法による養生を行い、養生完了後の覆工コンクリート面をトンネル点検システム（MIMM、NETIS：KK-130026-VE）により点検した結果、ひび割れ幅 0.2mm 以上のひび割れ発生がないことを確認した。また、インバート区間にはスパン中央付近に周方向に走るインバート拘束特有のひび割れの発生は確認されなかった（写真-4）。なお、本点検システムはカメラと高密度レーザー扫描仪を搭載し、走行しながら漏水やひび割れの計測が可能で、多くの発注機関から評価を得ている点検方法である。

5. まとめ

冬期の環境条件が厳しい当該トンネル覆工コンクリートの施工に適用した今回のひび割れ抑制対策により、ひび割れ幅 0.2mm を超えるひび割れ発生をゼロにすることができた。今回3つの対策を適用したが、それぞれの対策が現地の環境、構造条件にうまくマッチし効果を発揮したものと考えられる。

今回の施工にあたり、貴重なご意見、ご指導を頂いた岩手県県北広域振興局土木部の皆様には深く感謝の意を表します。

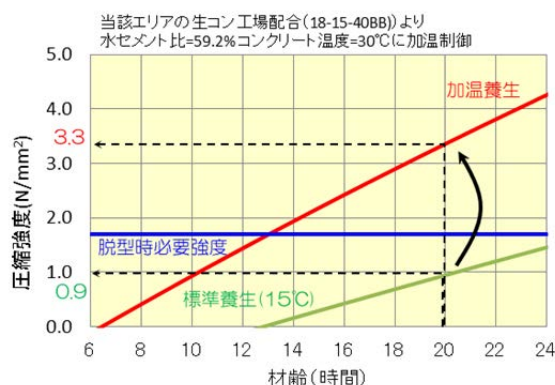


図-2 加温によるコンクリートの強度発現（推定）

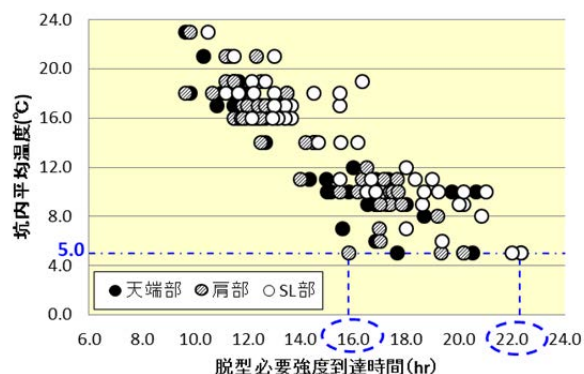


図-3 坑内温度による脱型必要強度到達時間

坑内温度：遮風シートにより外気と遮断した坑内温度



写真-4 覆工コンクリートの外観状況