

21 品質管理

寒冷地における 坑口部超大断面覆工コンクリートの高品質化

岡山県土木施工管理技士会

アイサワ工業株式会社

庄 司 万 寿[○] 原 田 隆 太 安 達 明

1. はじめに

本工事は、中部縦貫自動車道「大野油坂道路」の和泉・油坂区間にある和泉トンネルの新設工事であり、トンネル延長2388.1mのうち、終点側から1275.1mをNATM工法により施工するものである。施工箇所となる奥越地域は、気温の日較差および年較差が大きい盆地で、冬期には凍結防止剤を使用するほどの豪雪・寒冷地であることから、凍害および塩害劣化に対して高い耐久性を持ったコンクリート構造物が求められる（図-1）。

工事概要

- (1) 工 事 名：大野油坂道路和泉トンネル
（貝皿地区）工事
- (2) 発 注 者：国土交通省 近畿地方整備局
福井河川国道事務所
- (3) 工事場所：福井県大野市下山地先～貝皿地先
- (4) 工 期：平成31年1月12日～
令和5年3月31日

2. 現場における問題点

本トンネルは終点側坑口部直近に九頭竜ICが計画されており、ランプ線との接続により坑口部を拡幅（図-2）する必要があるため、最大内空幅16mの超大断面区間L=23mを有している。超大断面区間は、覆工厚が60cmと通常断面より厚いこと、覆工スパン当たりの締固め範囲が広いこと、二重補強鉄筋により人力締固めが困難であること

から、インバート打継部周辺での温度ひび割れ発生、締固め漏れや加振不足等の締固め不良、打込み不良やブリーディング水の残留による背面空洞の発生が懸念された。また、坑外環境からの影響が大きい坑口部で施工するため、発現強度不足による脱型時の表層剥離や急激な乾燥によるひび割れの発生が懸念された。



図-1 坑口部全景（竣工時）

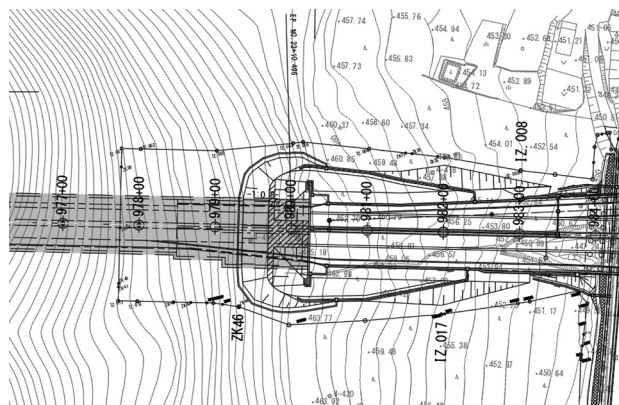


図-2 終点側坑口部平面図

3. 工夫・改善点と適用結果

覆工コンクリートの施工を行うにあたり、上記問題点に対し、(1)コンクリート温度制御による覆工側壁部のひび割れ対策、(2)コンクリート充填・締固めシステム、(3)長期間湿潤保温養生を実施し、問題解決を試みた。以下に実施した工夫とその結果を示す。

(1) コンクリート温度制御による覆工側壁部のひび割れ抑制対策

(1)-1. 工夫・改善点

コンクリート構造物の打継部では、下部リフトからの拘束が卓越すると上部リフトに過大な引張が発生し、スパン中央に有害なひび割れが発生する。トンネル構造においても同様で、インバートの下部拘束により覆工に引張力が作用し、温度・乾燥収縮ひび割れが発生する事例¹⁾が散見されている。本トンネルの超大断面区間では、覆工厚が60cm、打継位置では87cmと通常より大きく、温度ひび割れの発生が予想されたため、スパン中央に通水パイプを設けて水和熱を低減させる部分パイプクーリング工法を実施した。同時に、表層部の引張抵抗性能向上のため、セントルのインバートフォームに透水性シートを設置した。部分パイプクーリングは、温度応力解析により事前に仕様を検討し、スパン長に応じて効果的な通水量及び通水時間を決定した。-表-に部分パイプクーリング工法の仕様を示す。

(1)-2. 適用結果

部分パイプクーリングを実施するにあたり、内部温度および拘束ひずみ量を計測し、冷却効果を確認した。図-3に内部温度計測結果を、図-4に拘束ひずみの計測結果を示す。計測は、クーリング効果の影響範囲外となるSL-0.1m位置に設置した無応力計とクーリングパイプの中間となるSL-0.8mおよびSL-1.2m位置に設置したひずみ計により行った。また、図-3には、セントルに取り付けた温度センサーによって計測したコンクリートの表面温度を併記している。図-3より、未冷

-表- 部分パイプクーリング工法の仕様

	スパン長 4.25m	スパン長 6.0m
パイプ諸元	薄肉鋼管 φ25mm、L=5.5m、3@0.4m	
打設時期	5月～7月	
流速	4ℓ/min	
通水期間	1.5日	1.0日
通水温度	10℃	10℃

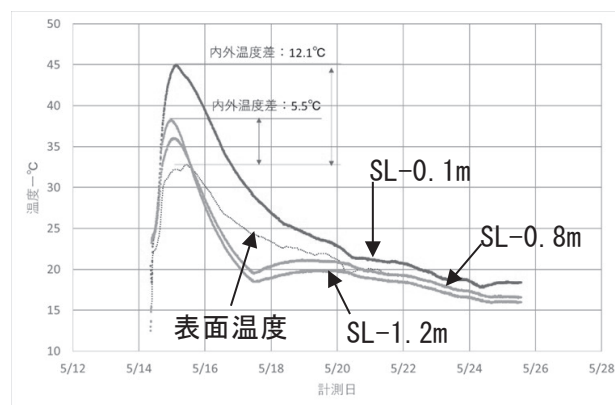


図-3 内部温度計測結果

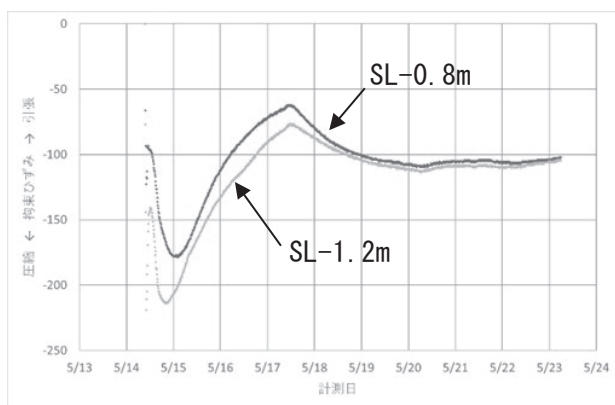


図-4 拘束ひずみ計測結果

却部における内外温度差が12.1℃であったのに対し、冷却部における内外温度差は上側が3.5℃、下側が5.5℃となっており、パイプクーリングによるピーク温度の低下が確認できる。図-4を見ても、材齢4日目以降では計測位置の違いによるひずみ量の差が認められないことから、インバート拘束によるひずみが低減されていることがわかる。竣工前に実施したひび割れ調査では、スパン中央部にひび割れが発生していなかったことから、部分パイプクーリング工法および透水性シートの効果を確認することができた。

(2) コンクリート充填・締固めシステムの導入

(2)-1. 工夫・改善点

覆工コンクリートの締固め作業は、移動式スライドセントル（以下、セントルと略記）に取り付けた検査窓から棒状バイブレーターを投入し、ポンプ圧送されたコンクリートを締固める人力締固めが一般的である。本工事では、通常的人力締固めに加え、セントル各所に取り付けた特殊バイブレーターによる締固めを行った。特殊バイブレターの配置図を図-5に示す。覆工側壁およびアーチ部に対し、型枠バイブレーターを集中制御盤により打ち上りに応じて順次稼働させて、表層締固めを全面的に行った。覆工クラウン部には引抜バイブレーターを4本設置し、覆工天端部を縦断的に締固めた。また、人力締固めには正逆回転切替えにより締固め能力が向上したスパイラル型棒状バイブレーターを使用した。

覆工天端部へのコンクリート打込みは、セントル既設側に設けた吹上口からスパン全長にコンクリートを充填させる吹上げ方式が一般的に用いられる。本工事では、天端部の打込み作業について加圧充填吹上げ方式を導入し、天端部打込み中にセントルに作用する充填圧を管理することで打込み完了時期を決定した。また、吹上口1カ所当りの打設領域を分散させるため、天端吹上口に加えて肩部にも吹上口を6箇所増設した。覆工コンクリートは閉塞した空間にコンクリートを打込むためブリーディング水の排出先がなく、覆工背面に残留する恐れがあるため、コンクリート打込み前に天端部背面側に設置した吸引チューブを用いて、真空ポンプで強制排水を行った。

(2)-2. 適用結果

コンクリート充填・締固めシステムの管理として、薄型シート状センサーによってコンクリートの充填および加振の確認を行った。ラップ側、スパン中央、妻側の3断面についてトンネルセンターを基点として1断面当り11箇所を計測し、締固め完了を示す緑ゲージになるまでコンクリートの打込みおよび加振を行った。加えて、天端部に関しては充填圧センサーによる管理も行い、計

測された充填圧が管理値である40MPaの超過をもって打込み終了とした。覆工コンクリート構築後、電磁波レーダー探査を実施し、トンネル天端部における空洞・空隙の有無を確認した。調査結果を図-6に示す。調査の結果、コンクリートの内部や地山境界付近に空洞・空隙は認められず、密実に充填できていることを確認した。

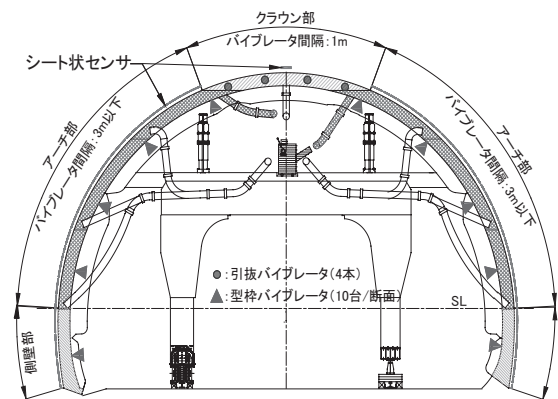


図-5 コンクリート充填・締固めシステム概要

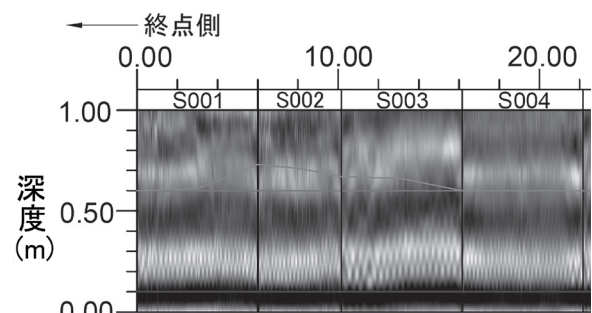


図-6 覆工空洞調査結果（天端部）

(3) 長期間湿潤保温養生

(3)-1. 工夫・改善点

覆工コンクリートは、施工サイクル維持のために打込み作業の翌日に脱型し、以降は坑内環境下での気中養生が標準であるが、本工事では脱型前後の養生方法に着目し、湿潤保温養生により覆工品質の確保を行った。打込み完了から脱型までの型枠内養生として、脱型可能強度が発現するまでセントルに取り付けた面状発熱体にて覆工表層を加温した。加温養生状況を図-7に示す。脱型後は、不織布と気泡緩衝シートで構成される浸水養生シートを負圧により覆工に密着させ、天端部の給水口から温度制御された養生水を随時供給することで、材齢28日まで湿潤保温養生（図-8）を

行った。また、坑内への外気流入を防止するため、坑門位置に通風遮断装置を設置し、坑内養生環境の安定化を図った。

(3)-2. 適用結果

コンクリートの打込み完了から脱型までの養生管理として、セメント表面に取り付けたスマートセンサーで計測した温度履歴から強度推定式により発現強度を算出し、脱型可能強度の到達を確認した。センサーは1断面につきSL、肩および天端の5点を対象とし、ラップ側、スパン中央および妻側の3断面全15箇所について計測を実施した。超大断面区間の脱型は材齢7日以降に行ったが、計測の結果では打込み作業終了から16時間程度で脱型可能強度 $10\text{N}/\text{mm}^2$ に到達しており、脱型に対して十分な日数の型枠内養生を実施できたため、どのスパンにおいても発現強度不足による表層剥離は発生しなかった。また、養生完了後に実施した表層透気試験では、図-9に示すように透気係数 kT が $0.048\sim 0.100\times 10^{-16}\text{m}^2$ となっており、全4スパンでグレーディングの目安における「良」判定が得られた。

4. おわりに

本工事で施工した超大断面覆工は23mとわずかな延長であったが、寒冷地の坑口部であること、土石流堆積物で構成される未固結地山区間であることから、トンネルを長期間安全に供用するためには高品質な覆工コンクリートの構築が重要と考え、想定される問題に対し様々な対策を実施した。また、事後調査の結果により、各種対策の有効性を確認できた。本報告が同種工事の一助となれば幸いである。

最後に、本工事を施工するにあたり、ご指導・ご協力いただきました皆様に御礼申し上げます。

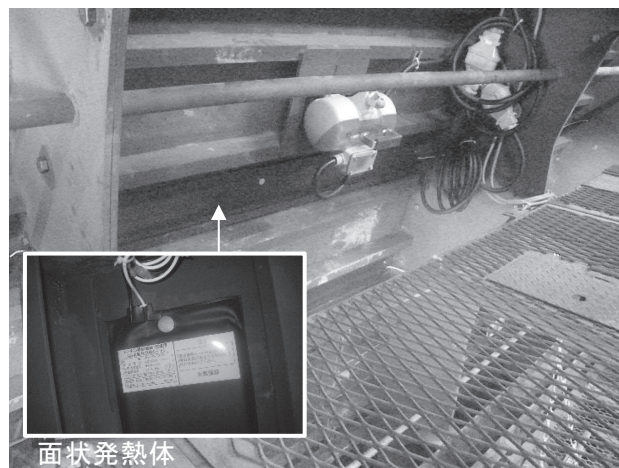


図-7 面状発熱体による加温養生

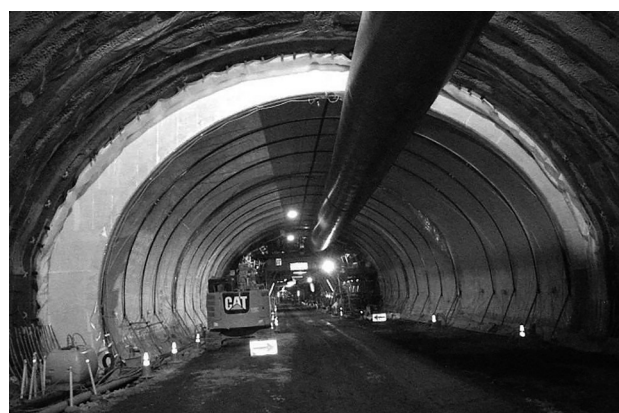


図-8 浸水養生シートによる給水保温養生

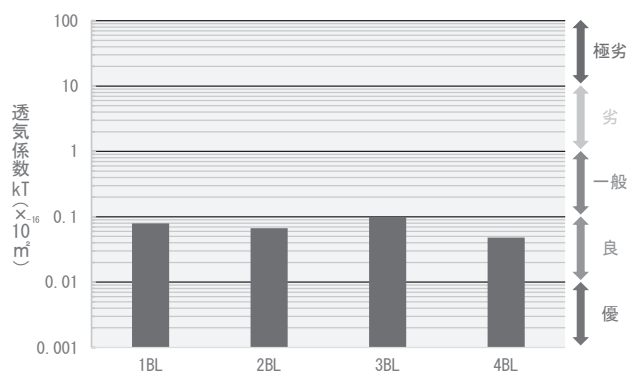


図-9 表層透気試験結果

参考文献

- 1) 国土交通省四国地方整備局四国技術事務所：令和元年度トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）、令和2年3月