

覆工型枠の脱型に伴う覆工コンクリートの力学的挙動に関する考察

(国研)土木研究所 正会員 ○吉岡知哉, 砂金伸治, 森本 智, 日下 敦

1. はじめに

近年、覆工の高品質化を目的として様々な養生方法等が各現場で実施されている。しかし、各方法の品質に与える効果に関する知見は限られており、その効果を客観的に評価する手法は確立されていないと考えられる。

本研究では、トンネル覆工の品質に対する影響因子や各方法が品質に与える効果を把握するために、試験施工を実施した。本稿においては、特に脱型に伴う覆工コンクリートの力学的挙動を把握する目的で、2種類の脱型時期を設けた試験施工を行った結果、加えて、脱型時期の違いを覆工のヤング係数の差として考慮した骨組み構造解析を行い、得られた計測結果と解析結果を基に脱型時における覆工の挙動について考察した結果について報告する。

2. 試験施工の概要

一般的な型枠の脱型時期は、早期の脱型に伴う覆工への影響(ひび割れ、妻部のはく落等)に配慮し、打設したコンクリートが自重等に耐え得る強度に達した後に行われており、打設後12~20時間で脱型されている事例が多い¹⁾。本研究では、型枠の脱型時期を18時間(Case1)と42時間(Case2)の2種類設け、1スパン(1Case)に3計測断面を設けた合計2スパンで試験施工を実施した。

本試験施工の対象スパンの岩質は、硬質な花崗閃緑岩が分布し、支保パターンはCII(インバート無し)であった。覆工構造は、対象トンネルが大断面区分(内空幅:約13.4m)に分類されるため、覆工厚が40cmの無筋構造であり、コンクリートの仕様は標準的な配合(21-15-20BB)を採用していた。また、両ケースともに脱型後1週間の養生台車による湿潤養生を実施していた。

図-1に本試験施工における計測機器の配置図を示す。力学挙動の検証に関しては、覆工内部にひずみ計、無応力ひずみ計、有効応力計等を片側半断面における天端部、肩部、側壁部に設置することで、打設完了時点からの覆工内部の応力状態の変化を把握した。

また、脱型時期の検証にあたって、脱型に必要なコンクリート強度を解析等により把握することを考え、本稿では骨組み構造解析により再現した脱型時の覆工挙動と試験施工により得られた計測結果の比較、分析を行った。表-1に解析条件を示す。解析については、受働側を線形弾性、主働側の剛性をゼロとする非線形バネで地山をモデル化した骨組み構造解析とし、荷重としては覆工の自重のみの作用を考えた。脱型時期の覆工剛性については、現地試験により得られた脱型時期の圧縮強度(18h:1.56N/mm², 42h:4.75N/mm²)からヤング係数を算出することで再現した。なお、覆工コンクリートの厚さは、試験施工スパンの覆工巻厚の出来形管理における計測結果を参考に設計値40cmから50cmに変更して解析を行った。

3. 計測結果

図-2にB断面の天端部(内側)における打設完了時から30日間のひずみ値とコンクリート温度の関係を示す。打設完了後、コンクリート温度は両ケースともに水和反応に伴い上昇し、ひずみは引張側(+)に変化し、コンクリート

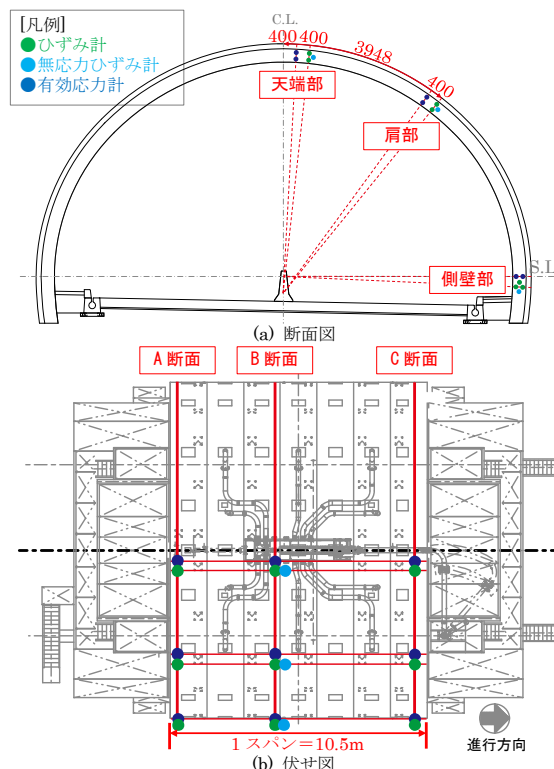


図-1 計測機器配置図

表-1 解析条件

解析モデル		
内空幅	約13.4m	大断面区分
覆工モデル	梁要素	線形弾性材料
脚部モデル	ピン固定	
地山条件		
変形係数	1,582MN/m ²	地質調査による原位置試験結果を参考
地盤反力係数	1,132MN/m ³	変形係数から道路橋示方書・同解説(下部構造編)に準拠して算出
覆工コンクリート		
厚さ	50cm	覆工巻厚の出来形管理における計測結果を参考
ポアソン比	0.2	
ヤング係数	18h:3,232N/mm ² 42h:8,256N/mm ²	圧縮強度からコンクリート標準示方書(設計編)に準拠して算出
解析CASE		
Case1	セントル設置18h(E=3,232N/mm ²)	
Case2	セントル設置42h(E=8,256N/mm ²)	

キーワード 山岳トンネル, 覆工コンクリート, ひずみ計測, 解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 道路技術研究グループ (トンネル) TEL029-879-6791

温度が低下に転じると、ひずみは圧縮側(-)に移行した。この挙動は、その他の断面、部位においても同様であった。ここで、最高温度に達する前に脱型した Case1 は、脱型後も約 23 時間にわたりコンクリート温度の上昇が見られ、引張側(+)のひずみが発生し続けている(図-2 における※1)。これは一般的な脱型時間 18h の場合、コンクリート温度が最高温度に到達する前に脱型する可能性が高いことを示しており、初期材齢時の脱型に伴う覆工への影響は、今後の計測結果や変状発生状況等を踏まえ、分析が必要である。また 脱型時の覆工挙動については、脱型を開始した直後に、圧縮側(-)のひずみが発生する傾向を両ケースで確認した(図-2)。

図-3 に各部位の脱型時に発生した圧縮側(-)のひずみ量を示す。一部を除けば、覆工全周に圧縮側(-)のひずみが発生していることが分かり、Case1 の C 断面を除けば、脱型時に天端部にひずみが卓越する傾向にある。その際のひずみの変化量は、最大で Case1 が 26.2μ (B 断面の天端)、Case2 が 20.6μ (C 断面天端)であった。また、一部の部位を除けば、Case1 と比較して Case2 のひずみ量が小さくなる傾向となった。

4. 解析結果との比較

図-4 に有効応力計により得られた B 断面における脱型時の計測結果(応力変化量)と解析における計測位置の発生応力の関係を示す。解析結果では、天端部の圧縮応力は、曲げモーメントの影響により内側が小さく、外側が大きい傾向にあり、鉛直方向の作用荷重(覆工の自重)を脚部で支持するため、脚部に応力が集中する挙動となる。一方、計測値では天端部の内側に圧縮側の応力が卓越し、脚部においては全断面で $\pm 0.05\text{N/mm}^2$ 以下の計測値となり、殆ど応力が発生しておらず、解析値の傾向と一致しない結果となった。この挙動は、図-3 に示すひずみも同様の傾向である。さらに、打設中にセントル型枠の沈下(10mm 以上)も計測されており、脱型時に覆工自体が自重により沈下し、応力状態に影響を与えた可能性が考えられる。脱型時期の違いに伴う発生応力においても、計測結果では Case1 と比較して Case2 の応力値が小さくなる傾向にあるが、解析結果においては両 Case において顕著な差が表れておらず、解析における脚部の支持条件や実現象を考慮することも含めて、今後詳細な検討が必要である。

5. おわりに

本稿では、2 種類の脱型時期を設けた試験施工と、試験施工における脱型時期の違いを覆工のヤング係数の差として考慮した簡易な骨組み構造解析を基に、脱型に伴う覆工の力学的挙動について考察した。その結果、脱型時に天端部で圧縮側のひずみおよび応力が卓越する傾向にあるが、脚部と肩部での計測値は小さく、脱型に伴う覆工自体の沈下により応力状態に影響を与えた可能性が考えられた。また、計測値では脱型時間によって、ひずみおよび応力に差が生じることが確認された。今後は、継続して得られた計測結果と変状発生状況との関連性について分析するとともに、コンクリートが水和反応により収縮する際に生じるひずみの影響や、別途実施した透気係数試験や反発硬度試験等も踏まえ、養生方法等が覆工品質に与える影響について検証する必要がある。

謝辞： 検討を行うにあたり、対象トンネルの設計、施工条件、計測データ等をご提供頂いた東北地方整備局の関係各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針(案) コンクリートライブラリー

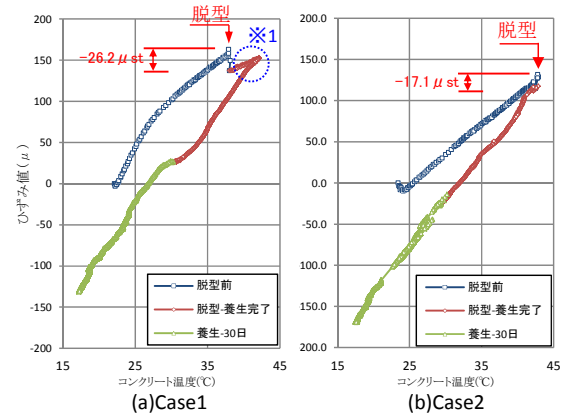


図-2 ひずみ-コンクリート温度 (B 断面)

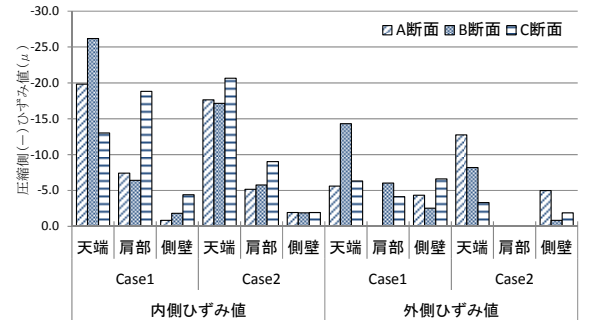


図-3 各部位の脱型時ひずみ量(圧縮)

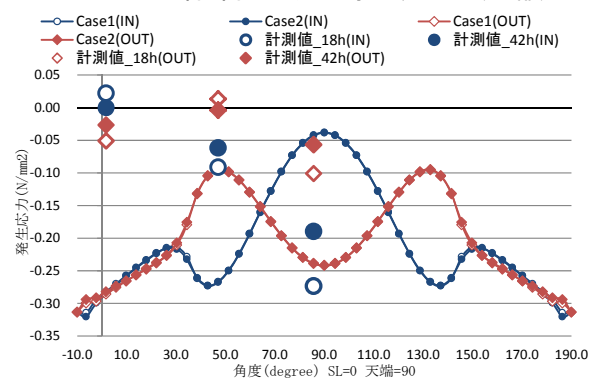


図-4 発生応力値と計測結果(変化量)の関係