

膨張材による覆工コンクリートのひび割れ抑制効果について

株式会社 奥村組 技術研究所 正会員 ○三澤孝史
 株式会社 奥村組 技術研究所 フェロー会員 東 邦和
 株式会社 奥村組 西日本支社 正会員 倉田桂政

1. はじめに

山岳トンネル覆工のインバート区間では、インバートの拘束により覆工コンクリートにひび割れが生じることが懸念される。対策として膨張材を用いたケミカルプレストレス導入によるひび割れ抑制を図った。事前解析からスパン長10.5mの覆工の3m高さまでを膨張コンクリートとすることによって、インバート区間の覆工コンクリートのひび割れは抑制される。その効果を現場の覆工コンクリートの計測と解析により明らかにしたので報告する。

2. 計測概要

現場概要を表-1に示す。覆工コンクリートの使用材料と配合を表-2に示す。トンネルの計測位置を図-1に計測器の配置を図-2に示す。計測は、膨張コンクリートを高さ3mまで使用し、膨張材を添加しない普通コンクリートを打ち重ねたブロックと膨張コンクリートを全断面に使用したブロックの2ブロックで実施した。

3. 計測結果

高さ3mまで膨張コンクリートを用いたブロックの覆工コンクリートの温度変化を図-3に示す。実ひずみを図-4, 5に示す。打設温度は25℃, ピーク温度は43℃である。普通コンクリート部の3方向(軸, 周, 内空方向)のひずみは軸方向および周方向では 160×10^{-6} 程度, 内空方向(厚さ方向)では 37×10^{-6} のひずみが温度ピーク時に生じた。膨張コンクリート部のひずみは軸方向, 周方向では 200×10^{-6} 程度, 内空方向は軸および周方向に比べ拘束が小さいことから 600×10^{-6} のひずみが発生した。覆工コンクリートの有効応力の測定値を図-6, 7に示す。普通コンクリート部の2方向(軸, 周方向)の応力は -0.35 N/mm^2 程度である。膨張コンクリート部の応力は軸方向で -0.96 N/mm^2 , 周方向では -0.70 N/mm^2 である。図中にコンクリートの引張強度(標準示方書準拠)を示す。

インバートの拘束によるひび割れの発生が懸念された覆工下部の膨張コンクリート部(図-7)には、圧縮応力が導入されひび割れ抵

表-1 現場概要

工事名称	平成 19-22 年度大坂谷トンネル工事
工事概要	工事延長 L=1350m, NATM 工法、 幅員 W=10.5m、内空断面積 A=73 m ²

表-2 使用材料と配合

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
細骨材	四万十産海砂, 表乾密度 2.57g/cm ³ 高知産砕砂, 表乾密度 2.58g/cm ³
粗骨材	四万十産砕石, 表乾密度 2.63g/cm ³ 高知産砕石, 表乾密度 2.62g/cm ³ Gmax40mm
混和剤	ポリカルボン酸系化合物
膨張材	石灰系(構造用) 低添加型 密度 3.16g/cm ³ , 粉末度 3450cm ² /g
配合	水結合材比 59%, 単位水量 160kg/m ³ 単位セメント量 251kg/m ³ 単位膨張材 20kg/m ³

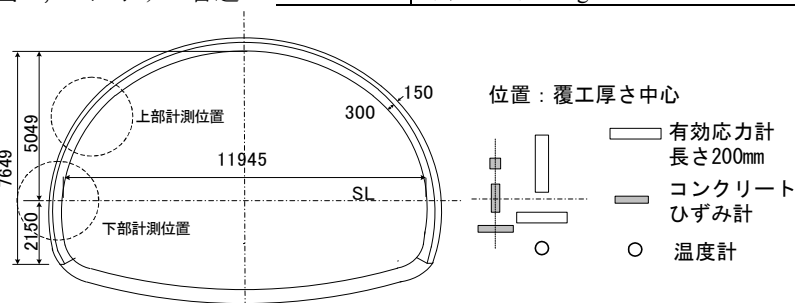


図-1 計測位置

図-2 計測器の配置

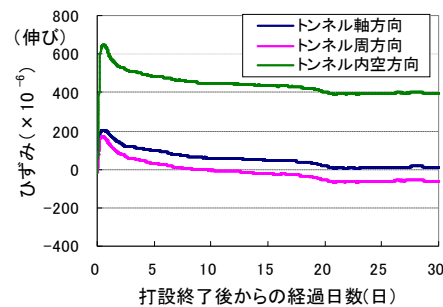
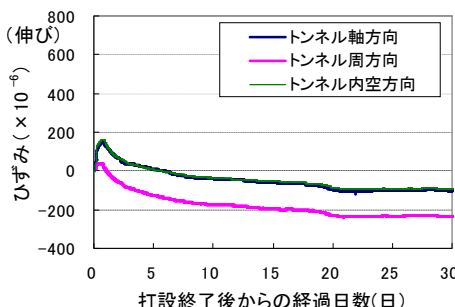
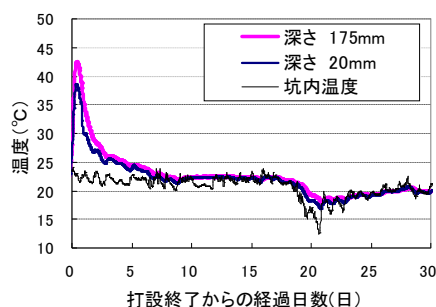


図-3 温度測定値(膨張コンクリート部) 図-4 ひずみ測定値(普通コンクリート部) 図-5 ひずみ測定値(膨張コンクリート部)

キーワード：覆工コンクリート, 膨張コンクリート, 温度応力解析, ひび割れ, 計測

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組 技術研究所 TEL 029-865-1521 FAX 029-865-1522

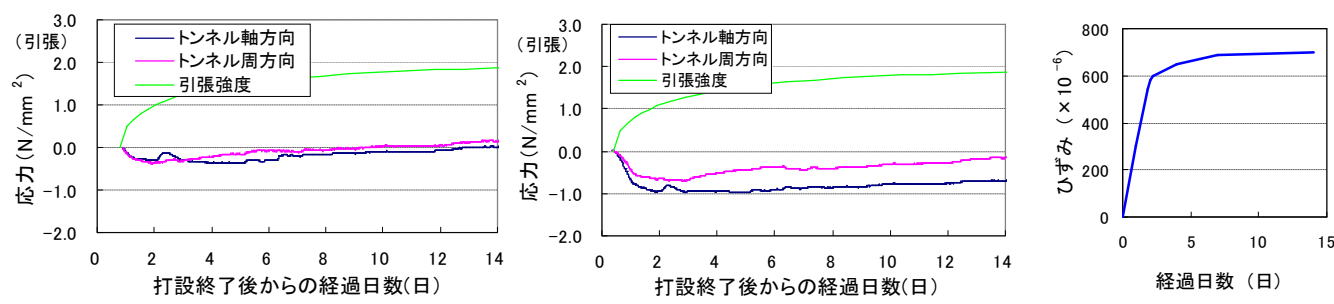


図-6 有効応力測定値(普通コンクリート部) 図-7 有効応力測定値(膨張コンクリート部) 図-8 解析に用いた膨張ひずみ

抗性が向上している。打ち重ねた高さ 3m より上の普通コンクリート部(図-6)も、ひび割れの原因となる大きな引張り応力は発生していない。実際に覆工コンクリートにはひび割れは発生していない。インバートの拘束によるひび割れ発生の可能性が大きい場合には下部 3m までを膨張コンクリートとし、普通コンクリートを打ち重ねることで、覆工コンクリートのひび割れを抑制できるといえる。全断面に膨張コンクリートを打設したブロックでは、上部、下部とも膨張コンクリート部(図-7)と同様な圧縮応力導入が計測された。

4. 温度応力解析と計測結果の比較

3次元トンネル覆工モデルにより解析を行なった。拘束圧依存性を表す双曲線式を用いて、時間軸における膨張ひずみの増分を各軸方向の拘束圧に従って低減して計算した¹⁾。双曲線式を式(1)に示す。

$$\varepsilon_{ci} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_f) / (1 + a\sigma_i) + \varepsilon_f \quad (1)$$

ここに、 ε_{ci} : i 方向の膨張ひずみ

ε_0 : 無拘束の膨張ひずみ, ε_f : 拘束無限大の膨張ひずみ

a : 拘束圧依存パラメータ, σ_i : i 方向の拘束圧 (N/mm²)

双曲線式のパラメータは $\varepsilon_f / \varepsilon_0 = 0.05$, $a = 1$ とした。圧縮強度、ヤング係数と材齢の関係は標準示方書に準拠した。解析に用いた膨張ひずみを図-8に示す。解析条件を表-3に示す。解析モデルを図-9に示す。

表-3 解析条件

設定定数	
コンクリート	断熱温度上昇特性 $Q_{\infty} 42.3$, $\gamma 1.207$
	打設温度 25°C, 圧縮強度 $f'_c(28) 21 \text{ N/mm}^2$
	有効ヤング係数補正係数 ϕ : 材齢 1.2 日まで 0.34, 材齢 5 日以降 1.0, その間を線形補間
	熱伝導率 2.7 W/m°C, 比熱 1.1 kJ/kg°C, 単位体積質量 2400 kg/m ³ , 線膨張係数 $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, 熱伝達率: 14 W/m ² °C
地盤	ヤング係数 $2.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, 線膨張係数 $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

高さ 3m までを膨張コンクリートとした解析モデルを用いた解析から求められたひずみを図-10に示す。コンクリートひずみの解析値は軸方向で 80×10^{-6} , 周方向では 200×10^{-6} 程度、内空方向では 650×10^{-6} となった。解析から求められたひずみは測定値と比べて緩やかに低下している。コンクリート応力の解析結果を図-11に示す。解析による圧縮応力のピークは軸方向で -1.08 N/mm^2 , 周方向では -0.75 N/mm^2 であり、軸方向に圧縮力が導入され、測定値と比較して良好な解析結果を示した。トンネル覆工ではインバート拘束の他に背面の拘束や隣接ブロックの拘束が作用して複雑であり、解析結果の精度には向上の余地が残されているが、本手法によりひずみと応力の挙動を表すことができた。

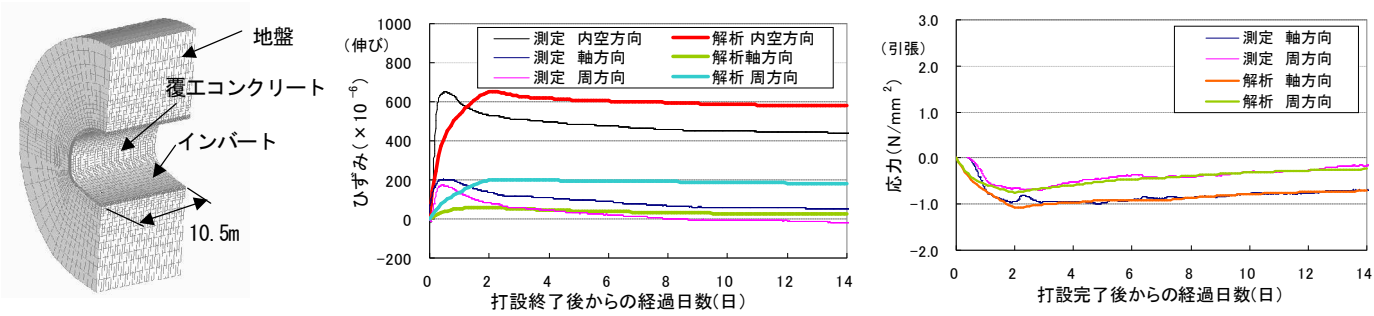


図-9 解析モデル 図-10 コンクリートひずみ(下部膨張コンクリート部) 図-11 コンクリート応力(下部膨張コンクリート部)

5. おわりに

インバートから高さ 3m まで膨張コンクリートを打設し、膨張材を添加しないコンクリートを打ち重ねることにより、ひび割れの発生を防止できた。また、膨張コンクリートを打設したトンネル覆工の挙動を、解析によって表すことができた。本検討を進めるに当たり国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所のご指導を賜ったことに深く感謝致します。

参考文献 1) 東 邦和, 中村敏晴, 梅原秀哲: 膨張材を用いた打重ね実験による膨張収縮挙動と解析手法の適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1537-1542, 2009.7