

トンネル覆工コンクリートの温度ひび割れ照査の簡易評価式の検討

清水建設(株) 正会員 ○伊藤健一, 松本政治
 清水建設(株) 正会員 江渡正満, 野村朋宏
 清水建設(株) 正会員 根本浩史

1. 概要

トンネルの覆工コンクリートの初期ひび割れは劣化の起点となるため、有害なひび割れを防ぐことが重要である。コンクリートの温度ひび割れを評価する場合は、事前に温度応力解析を行い、ひび割れ指数を用いてひび割れ発生の有無を評価することが一般的である。しかしながら、長期にわたって施工する覆工コンクリートにおいて、解析および評価をブロック毎に行うことは膨大な作業量であり、現実的ではない。そこで、覆工コンクリートにおいて継続して温度ひび割れ照査を実施し、有害なひび割れ発生を抑制する方法を立案した。

平成19年度紀勢線紀伊長島トンネル工事において、覆工コンクリートの実施工時に計測を行い、温度応力解析の妥当性を検証した。そして、その検証結果を基に温度ひび割れ照査の簡易評価式を作成し、その後の施工において、簡易評価式を用いて温度ひび割れ照査を繰り返し実施した。以下にその概要について述べる。



写真-1 紀勢線紀伊長島トンネル工事

2. 試験体における温度応力解析の検証

実施工での計測に先立ち、コンクリートのひび割れ照査で重要な断熱温度上昇特性や線膨張係数の把握と、温度応力解析の妥当性を確認するために、試験体による計測と解析を行った。

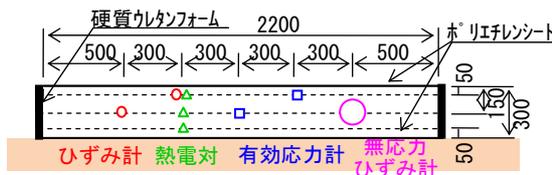


図-1 計測器配置断面図



写真-2 コンクリート打込み前の状況

図-1の試験体の断面図に示すように、有効応力計、ひずみ計、無応力計および熱電対を設置した。試験体の上下表面はポリエチレンシートを用いて乾燥を防ぎ、下面が拘束されない状態とした。熱伝導の様な境界条件とするために試験体の下は砂20cmを敷設し、周囲は硬質ウレタンフォーム(厚さ100mm)で断熱状態とした。コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリート配合表

配合名	セメント	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AE減水剤
21-15-40BB	高炉セメントB種	15±2.5	4.5±1.5	54.0	41.1	156	289	740	702	C×1.0%

内部拘束が卓越する部材断面中央部における温度、有効応力の計測結果と解析結果の比較を図-2に示す。断熱温度上昇速度を25%小さくして同定し、線膨張係数は無応力計の計測結果より温度上昇時 $16.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、温度下降時 $11.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と設定した。温度のピーク材齢が若干異なるものの、最高温度や有効応力は良く一致しており、今回の物性値を用いる解析の妥当性を確認した。

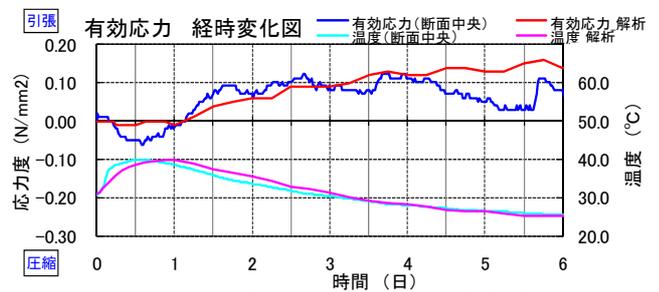


図-2 断面中央における温度、有効応力

3. 実構造物における温度応力解析の検証

覆工コンクリートにおいても計測を行い、温度応力解析の妥当性を評価した。計測の概要を図-3および図-4に示す。覆工の天端およびSL部に有効応力計等を配置し、計測を行った。計測結果と解析結果の比較を図-5に示す。温度についてはピーク材齢や最高温度は良く一致している。有効応力については温度上昇時に発

キーワード トンネル覆工, 温度ひび割れ, 温度応力解析, 簡易評価式, 有効応力

連絡先 〒460-8580 愛知県名古屋市中区錦1-3-7 清水建設株式会社名古屋支店土木技術部 TEL 052-201-7623

生ずる圧縮応力は計測結果よりも解析結果の方が小さい。また、その後の温度降下時の引張応力の増分は計測結果(0.25N/mm²程度)よりも解析結果(0.4N/mm²程度)の方が大きい。すなわち、当該条件を用いた温度応力解析は引張応力が実構造物より大きく算定される傾向にあり、解析によるひび割れ照査は安全側の評価であることが確認され、ひび割れ対策において有効と判断した。

4. 温度ひび割れ照査の簡易評価式

温度応力解析の結果をもとに、トンネルの覆工コンクリートの温度ひび割れ指数を算定できる簡易評価式を作成した。簡易式を式(1)、式(2)、説明変数を図-6に示す。

■ 天端における内部拘束によるひび割れ指数

$$I_{cr} = (T_{max} - 12.6) / \Delta T$$

ここに、 T_{max} ： 内部最高温度
 ΔT ： 内外温度差
 $\Delta T = \text{内部温度} - \text{表面温度}$
 …式(1)

■ SL下における外部拘束によるひび割れ指数

$$I_{cr} = 19.5 / \Delta T'$$

ここに、 $\Delta T'$ ： 温度降下量
 $\Delta T' = \text{最高温度} - \text{降下後温度}$
 …式(2)

簡易評価式のパラメータとしてコンクリート温度のみを与えることで指数を評価できるように考えた。内部拘束が卓越すると考えられる覆工天端はコンクリート内部の最高温度 T_{max} 、および内部と表面の温度差 ΔT を、外部拘束が卓越すると考えられるSL下はコンクリートの温度降下量 $\Delta T'$ を説明変数とした。

温度応力解析は図-7に示す解析モデルを用い、線膨張係数は試験体の計測結果を、その他の物性値はマスコンクリートのひび割れ制御指針2008に準拠した。解析結果と式(2)による指数の算定結果を表-2および図-8に示す。全体的に一致しておりかつ算定値は解析値より小さな値で安全側の評価が得られる。

表-2 SL下における外部拘束の解析結果

時期	温度(°C)			$\Delta T' = T_{max} - T_{収束}$	ひび割れ指数 I_{cr}	
	表面温度	内部最高温度 T_{max}	収束温度		算定値	解析値
冬	23.5	25.4	18.8	6.6	2.95	3.48
春	27.6	30.4	20.6	9.9	1.98	1.98
夏	33.3	37.4	21.6	15.8	1.24	1.25
秋	27.6	30.5	19.4	11.1	1.76	1.96

5. 実施工への簡易評価式の適用

実施工において10BL毎に温度計測を行い、簡易評価式を用いて算定するひび割れ指数より、ひび割れ発生確率を把握するとともに、合わせて目視調査も実施した。夏期にひび割れ指数は最低となるが、実際にひび割れ発生は確認されず、特に対策を講ずる必要性は無いと判断した。全体を通してひび割れの発生は2/105ブロックであり、ひび割れの発生を抑制できており、簡易評価式によるひび割れ照査は実用上、十分に有効である。

参考文献

- (1) マスコンクリートのひび割れ制御指針2008 (社) 日本コンクリート工学協会
- (2) コンクリート標準示方書 [設計編] 2007年制定 土木学会

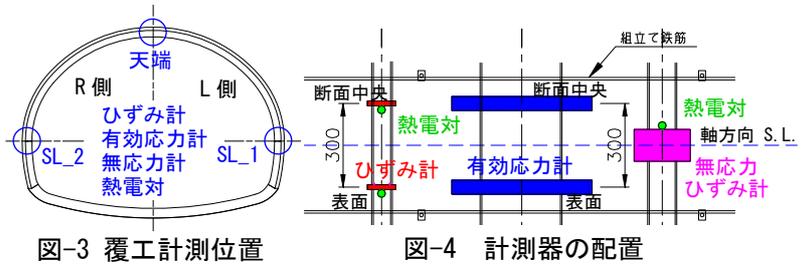


図-3 覆工計測位置

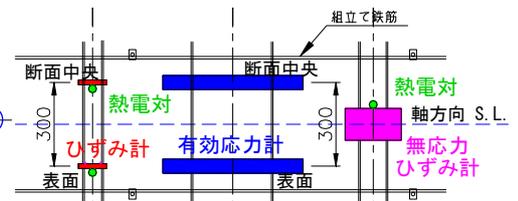


図-4 計測器の配置

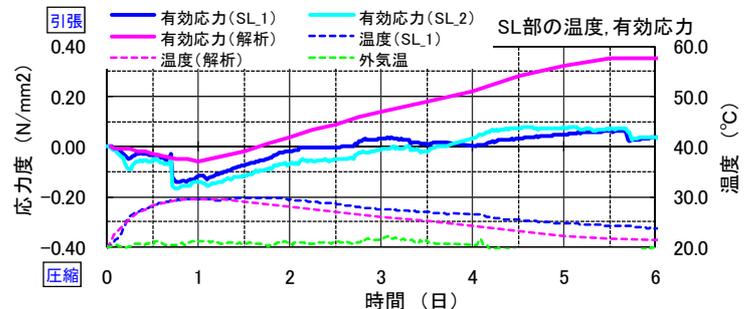


図-5 SLにおける温度, 有効応力

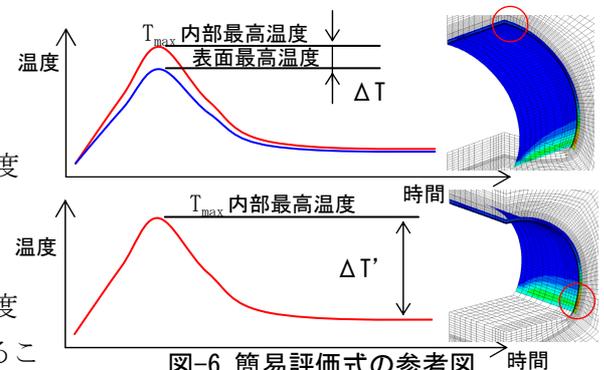


図-6 簡易評価式の参考図

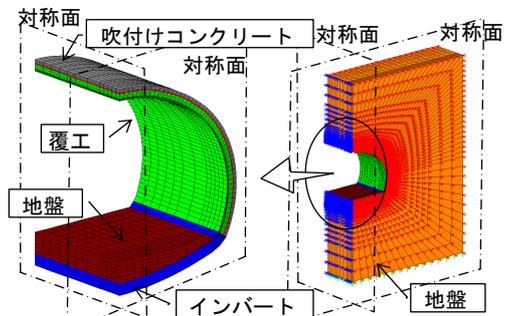


図-7 覆工解析モデル (1/4モデル)

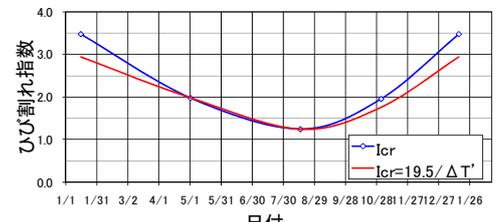


図-8 (式2)の算定値と解析値の比較