

二次覆工コンクリートにおける膨張材のひび割れ低減効果に関する現場実験

太平洋マテリアル（株） 正会員 ○佐竹 紳也

新線北大和トンネルJV 正会員 御園 憲治、村上 正一

（株）大林組 正会員 畑 浩二、木梨 秀雄

1. 目 的

トンネルの覆工コンクリートは、水和熱や気温変化による温度収縮及び乾燥収縮などの体積変化がインバートコンクリートや地盤に拘束され、また周方向に打継目地がないことによりひび割れが発生しやすいと報告されている¹⁾。

本報では、京阪奈新線北大和トンネルにおいてひび割れ低減対策としての膨張材の有効性に関して現場計測を実施して検討を行った。

2. 試験概要

コンクリートの品質を表－1、配合を表－2に示す。膨張材は低添加型石灰系膨張材を使用した。

計測対象は、掘削幅が約9.4mの複線鉄道トンネルで、スパン長9mの複鉄筋構造の二次覆工と周囲を断熱材で覆った1m供試体（寸法：幅1m×奥行1m×厚0.4m、鉄筋比：約0.4%）とした。測定箇所は、切羽側から約2mの天端部分とインバート打継ぎ部の約20cm上部の脚部分とした。計測項目は、表－3に示すように内部温度と埋込型ひずみ計、無応力計によるコンクリートの実ひずみ、自由ひずみとした。

3. 計測結果

3.1 内部温度

覆工コンクリートおよび1m供試体の内部温度を図－1、2に示す。覆工コンクリートの天端部の温度が高いのはコンクリートの巻厚が厚いためである。1m供試体は脚部と同様の傾向を示し、膨張コンクリートはプレーンコンクリートよりやや最高温度が高くなった。

3.2 長さ変化

覆工コンクリートおよび1m供試体のひずみを図－3、4に示す。覆工コンクリートにおいては膨張コンクリートはプレーンコ

ンクリートに比べて約20%収縮が小さく、1m供試体においては膨張コンクリートの膨張効果が確認された。

4. 発生応力の推定

計測にて得られた内部温度およびコンクリートのひずみをもとに発生応力を推定した。

キーワード：二次覆工、ひび割れ、膨張材、膨張コンクリート

連絡先：〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋マテリアル(株) TEL 043-498-3921 FAX 043-498-3925

表－1 コンクリートの品質

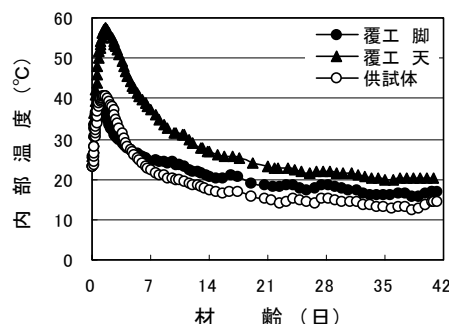
設計基準強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)
21	25	12 ± 2.5	4.5 ± 1.5

表－3 計測項目

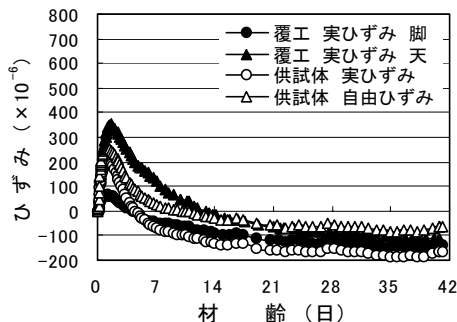
コンクリート 種類	覆工コンクリート		1m供試体	
	箇所	測定項目	箇所	測定項目
プレーン	天端	内部温度	中央	内部温度 実ひずみ 自由ひずみ (無応力計)
	脚			
膨張	天端	実ひずみ	中央	内部温度 実ひずみ 自由ひずみ (無応力計)
	脚			

表－2 コンクリートの配合

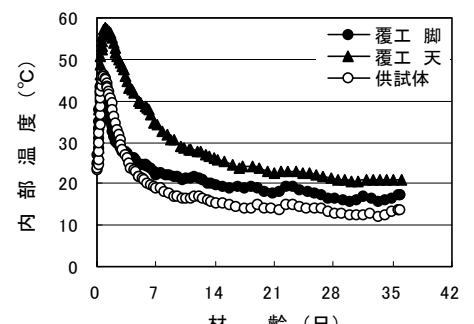
コンクリート 種類	セメント 種類	水結合材 比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				水	セメント	膨張 材	細骨 材	粗骨 材	混和 剤
プレーン	高炉B種	54.0	44.1	159	294	0	785	1017	3.13
膨張	普通	55.0	44.2	161	273	20	790	1017	3.12



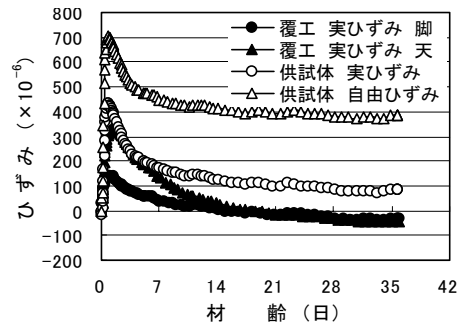
図－1 プレーンコンクリートの計測温度



図－3 プレーンコンクリートの計測ひずみ



図－2 膨張コンクリートの計測温度



図－4 膨張コンクリートの計測ひずみ

4.1 覆工コンクリートの自由歪算出

内部温度差を考慮して覆工コンクリートの各部分の自由ひずみを(1)式より算出した。1 m供試体の実ひずみを用いたのは膨張コンクリートの場合、自由ひずみにはわずかな拘束によって消失するひずみを含んでいること、鉄筋比 0.4%の

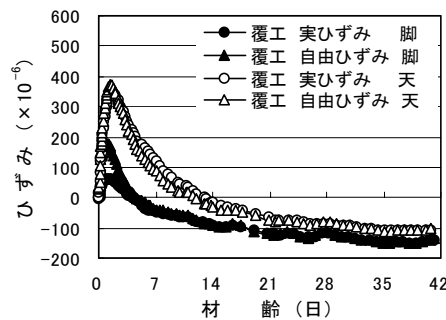


図-5 プレーンコンクリートのひずみ

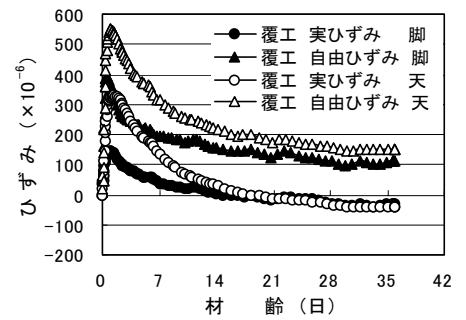


図-6 膨張コンクリートのひずみ

実ひずみを自由ひずみとすることで過大評価とならず安全側での評価となるためである。なお、コンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とした。算出結果を図-5, 6に示す。

覆工コンクリートの自由ひずみ = 1 m供試体の実ひずみ + (覆工コンクリートと 1 m供試体の内部温度差) $\times 10 \times 10^{-6} \dots (1)$

4.2 有効ヤング係数の算出

有効ヤング係数は、(2)式より算出した²⁾。

$$E_e(t) = \Phi(t) \times 4.7 \times 10^3 \sqrt{f_c'(t)} \dots (2)$$

$E_e(t)$: 材齢 t 日の有効ヤング係数 (N/mm^2)

$\Phi(t)$: ヤング係数の補正係数

材齢 3 日まで 0.73、材齢 3 ~ 5 日 直線補間、材齢 5 日以降 1.0

$f_c'(t)$: 材齢 t 日のコンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

BB コンクリート : $f_c'(t) = \{ t / (6.2 + 0.93 t) \} \times 1.15 \times 27.5$

NPC+Ex コンクリート : $f_c'(t) = \{ t / (4.5 + 0.95 t) \} \times 1.11 \times 25.3$

4.3 覆工コンクリートの発生応力算出

図-5, 6 に示した自由ひずみと実ひずみの差が拘束ひずみとなり、拘束ひずみはコンクリートが押し込まれたひずみを表している。拘束ひずみとコンクリートの有効ヤング係数を用いて(3)式より発生応力を算出した²⁾。

$$\sigma(t) = \Sigma (E_e(t) \times \Delta \varepsilon(t)) \dots (3)$$

$\sigma(t)$: 材齢 t 日のコンクリートの応力
 $E_e(t)$: 材齢 t 日の有効ヤング係数
 $\Delta \varepsilon(t)$: 材齢 t 日のひずみ増分

発生応力を図-7, 8に示す。既往の研究からひび割れ発生限界点は引張強度の 45~90%と示されている³⁾。引張強度を(4)式より算出し²⁾、図中にはその範囲を斜線で示した。

$$F_{t'}(t) = 0.44 \sqrt{f_c'(t)} \dots (4)$$

$F_{t'}(t)$: 材齢 t 日における引張強度
 $f_c'(t)$: 材齢 t 日における圧縮強度

プレーンコンクリート、膨張コンクリートとも脚部では引張応力が材齢の経過に伴い増加する傾向がみられた。これはインバートの拘束によるものと考えられる。特にプレーンコンクリートでは材齢 3~8 日に引張応力が引張強度の 45~90%の範囲に入り、ひび割れの発生が示唆される。これに対して膨張コンクリートは、材齢初期において約 $1 \text{ N}/\text{mm}^2$ の圧縮応力が導入され、プレーンコンクリートに比べて引張応力が大幅に低減され、ひび割れ抑制効果が確認できた。

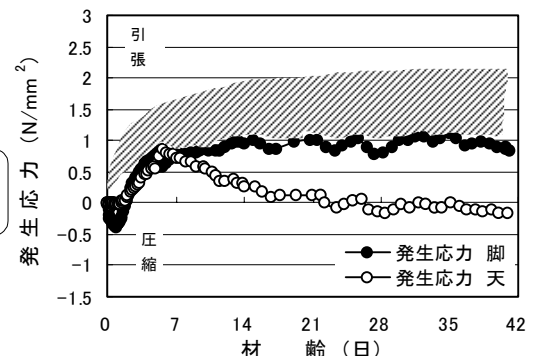


図-7 プレーンコンクリートの発生応力

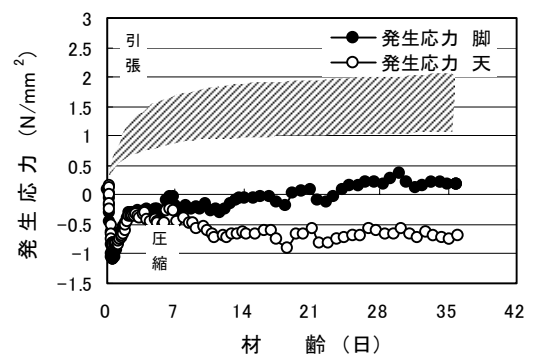


図-8 膨張コンクリートの発生応力

5. まとめ

覆工コンクリートの内部温度およびコンクリートのひずみの計測により以下の結果が得られた。

- ① プレーンコンクリートでは材齢 3~8 日に引張応力が増加するため、ひび割れの発生が懸念される。特にインバートの拘束を受けやすい脚部ではひび割れ発生の可能性があるものと考えられる。
- ② 膨張材を使用した膨張コンクリートでは材齢初期に圧縮応力が導入されることから、ひび割れ発生の可能性が大きく低減されることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針（案）
- 2) 土木学会：【2002 年制定】コンクリート標準示方書〔施工編〕
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のクリープおよび収縮による時間依存変形に関するシンポジウム, pp164, 2001.