

膨張材を使用したトンネル覆工コンクリートの部位別拘束度の評価

太平洋マテリアル（株） ○正会員 竹下 永造
 （株）大林組 正会員 永久 和正
 （株）大林組 正会員 橋爪 正博
 （株）大林組 正会員 平川 泰之

1. はじめに

コンクリートに発生するひび割れの要因として、使用材料、配合、構造、施工、環境など多種・多様な原因が挙げられる。この中で、マスコンクリートでは水和熱による温度応力、高強度コンクリートについては自己収縮応力、外気に接する面積が大きいコンクリートでは乾燥収縮応力が発生することによって、ひび割れが発生する。ひび割れがすぐに耐久性低下につながるとはいえないが、これを抑制することは耐久性を向上させる方策の一つである。これらのひび割れ発生やひび割れ幅を抑制する手段の一つとして膨張材の使用が挙げられるが、混和材料として膨張材は、膨張材を使用した場合のひび割れ抑制効果もしくはケミカルプレストレス効果などは定量的に把握されていない。そこで、本論文では、膨張材を使用したトンネル覆工コンクリートの部位毎の拘束度を定量的に評価することを目的として行った計測及び試験結果について報告する。

2. 現場計測概要と室内試験概要

(1) コンクリートの配合と施工条件

コンクリートの配合を表-1に示す。配合は膨張材をセメントに対し内割りで 20kg/m^3 の混入する配合とした。なお、セメントは高炉セメント B 種を使用した。また、脱型後、超音波加湿養生システムにより養生し

表-1 コンクリートの配合

種別	水結合 材比	細骨 材率	単位数 (kg/m^3)						混和剤 P*wt%
			水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	繊維	
24-15-40BB	47.2%	42.5%	151	300	20	787	1089	0.91	1.5

た。打設時期は、2月から3月にかけてであり、インバートを有する箇所にて計測を行った。

(2) 現場計測概要（計測ポイント）

トンネル断面図における計測概要を図-1に示す。計測機器は、測温機能付きの埋込み型ひずみ計を用いた。断面内の計測部位は3箇所とし、①インバート打継部（トンネル軸方向）、②SL付近（トンネル軸方向）、③肩（ 45° ）部（トンネル周方向）とした。

(3) 室内試験概要（有効自由膨張ひずみ）

現場環境にて測定されたコンクリート温度履歴を用いた1軸拘束膨張試験と、 $\phi 10 \times 20(\text{cm})$ の試験体による静弾性係数測定試験を行った。1軸拘束膨張試験は、JIS A 6202 コンクリート用膨張材拘束膨張試験 B 法に準拠して行った。拘束鋼材比は、0.2, 1.0, 3.0(%)の3種類とし、測温機能付ひずみゲージを鉄筋に貼り付け膨張ひずみを測定した。静弾性係数測定は、JIS A 1149 に準拠して行い、材齢1, 2, 3日で行った。

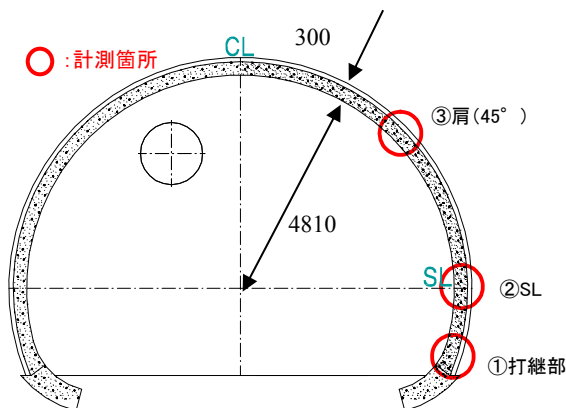


図-2 トンネル断面図における計測ポイント

キーワード 膨張材、拘束度、覆工コンクリート、ひずみ

〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋マテリアル（株） 開発研究所

3. 現場計測結果と室内試験結果

(1) 温度計測結果と実ひずみ計測結果

図-2に温度計測結果, 図-3に実ひずみ計測結果を示す. 図より, 肩部分の温度が一番大きく上昇しており, SL部, 打継部と小さくなっていることが分かる. その影響もあり, 実ひずみの結果も同様の傾向であった.

(2) 室内試験結果

表-2に拘束膨張試験結果を示す. ここで, 室内試験で用いた温度履歴は, 図-2の肩部の温度履歴を用いた. これは, 肩部の温度履歴が他の部位に比べ大きいことから, 他の部位の温度履歴を包括できるからである.

4. 拘束度の評価方法

(1) 有効自由膨張ひずみの算出方法

有効自由膨張ひずみは, 式(1)を用いて拘束鋼材比と膨張ひずみの推定式を求め, その推定式とY軸との交点を求めることで算出した.

$$\epsilon_s = \epsilon_f / (1 + p \cdot E_s / E_c) \tag{1}$$

ϵ_s : 膨張ひずみ(鉄筋ひずみ), ϵ_f : 有効自由膨張ひずみ, E_s : 鋼材のヤング係数,

E_c : コンクリートのヤング係数, p : 拘束鋼材比

この結果を図-4に示す. 図より, 有効自由膨張ひずみは材齢1日目で110 μ , 材齢2日目で140 μ であることが分かった.

(2) 拘束度の算出方法

式(2)により膨張・収縮ひずみが求められる.

$$\epsilon_{ex} = \epsilon_a - (1 - R) \times \epsilon_t \tag{2}$$

ϵ_{ex} : 膨張・収縮ひずみ, ϵ_a : 実ひずみ, R : 拘束度,

ϵ_t : 温度ひずみ

さらに, 式(3)により, 現場計測での有効自由膨張ひずみの推定曲線 (ϵ_f) を算出することによって拘束度 R の推定ができる.

$$\epsilon_f = \epsilon_{ex} / (1 - R) \tag{3}$$

図-5に, $R=0.3$ と仮定した場合の膨張収縮ひずみと有効自由膨張ひずみを示す. このように, 室内試験における有効自由膨張ひずみと有効自由膨張ひずみの推定曲線が合致する R を推定することにより, 拘束度の評価を行った. その結果を表-3に示す. 拘束度は, 打継部が一番大きく, SL部, 肩部と小さくなっていくことが分かる.

5. まとめ

本論文により, 得られた知見を以下に示す.

- (1) 有効自由膨張ひずみの算出によって, 部位別拘束度の推定とその評価を可能にした.
- (2) 拘束度は, インバート打継部が一番大きく 0.8, SL部は 0.4, 肩部は 0.3 となり, 部位別に差はあるが, ケミカルプレストレス効果が期待できることを確認した.

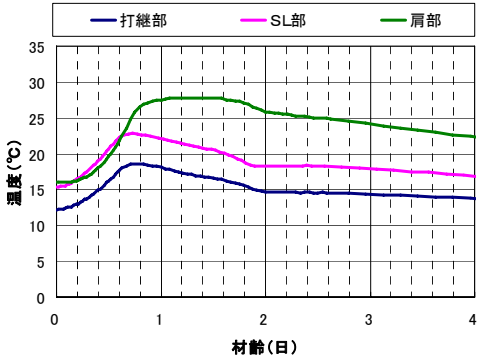


図-2 温度計測結果

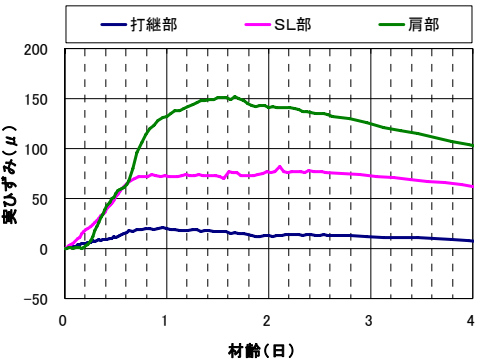


図-3 実ひずみ計測結果

表-2 材齢毎の拘束膨張ひずみ

	1日での 膨張ひずみ	2日での 膨張ひずみ
拘束鋼材比 0.2%	85 μ	115 μ
拘束鋼材比 1.0%	20 μ	30 μ
拘束鋼材比 3.0%	15 μ	25 μ

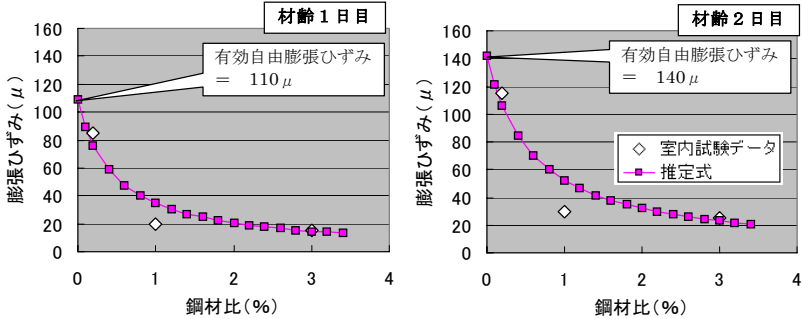


図-4 有効自由膨張ひずみの算出

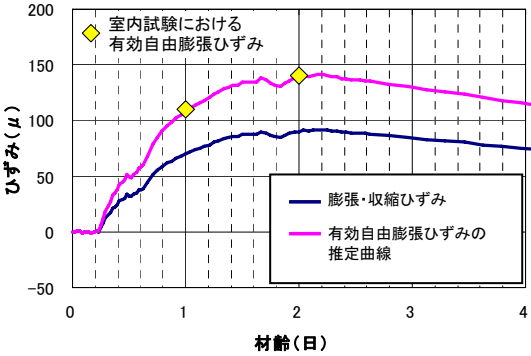


図-5 膨張・収縮ひずみと有効自由膨張ひずみ

表-3 各部位における拘束度

	打継部	S L 部	肩部
拘束度 (R)	0.8	0.4	0.3