

断熱材設計におけるトンネル坑口および坑内の気温推定法の検証

○(株)地崎工業	正会員	河村	巧
(株)地崎工業	正会員	須藤	敦史
北海道大学大学院	正会員	三上	隆
(株)ドーコン	正会員	重清	浩司
(株)ドーコン	正会員	鷹田	雅宏

1. はじめに

北海道における新設道路トンネルでは地山凍結防止の目的で坑口の一定区間に断熱材を施工しているが、寒冷地のトンネルでは坑内・坑外の気温変動を正確に推定することは難しく信頼性の高い設計には至っていないのが現状である。そこでトンネル坑口の気温推定はアメダスの観測気温を利用した確率・統計的手法を提案し、従来法に比べて精度が高いことを確認している^{1),2)}。また坑内延長方向の気温は、実際の観測記録より冬期のトンネル坑内の環境に即した延長方向の気温推定³⁾を行った。

本論文は別のトンネルで観測された坑内の気温と提案手法により推定した気温の比較を行うことで、提案手法の断熱材設計への信頼性の検討を行ったものである。

2. トンネル坑口気温の推定

(1) 気温の年周期変動

一般に気温の年周期は式(1)に示す年平均気温 U_m と年振幅 A_Y を有する正弦関数で表されている。

$$U = U_m - A_Y \sin\{2\pi(t - t_0)/365\} \quad (1)$$

U_m : 年平均気温, A_Y : 年振幅, t, t_0 : 経過日数

(2) トンネル坑口の気温推定

坑口部の気温推定には Semi-Variogram⁴⁾を採用し、年平均気温 U_m と年振幅 A_Y それぞれの推定値 $z^*(x_r)$ は式(2)の示す重み係数 $\lambda_i(x_r)$ を用いた線形式とする。

$$z^*(x_r) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(x_r) z(x_i) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i(x_r) = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i(x_r) \gamma(d_{ik}) + \mu(x_r) = \gamma(d_{kr}), \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\mu(x_r) = E[\{z(x_r) - m_z\}^2]: \text{場の分散}$$

ここで Semi-Variogram $\gamma(d_{ij})$ は式(5)に示す気温と距離の相関式で表され、表-1 に示す相関パラメータは 226 箇所のアメダスの観測気温から求められている。

$$\gamma(d) = \sigma_z^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{d^2}{L_v^2}\right) \right] \quad (5)$$

σ_z : 分散, L_v : 相関距離, d : 二点間距離

表-1 アメダス観測点位置の相関

地 域	σ_z	L_v
道内平均	0.78	2999

3. アメダス観測値を用いたトンネル坑口の気温推定

一般国道229号茂岩トンネルにおける坑口部の推定気温は、図-1に示す坑口部周辺の神恵内・岩内アメダス観測値（表-2）から以下のように得られる。

- 1) 既知2点および坑口との距離を求める。（坑口～神恵内4km, 坑口～岩内16km, 神恵内～岩内20km）
- 2) 既知2点と補間点の距離関係および式(5)から、既知点におけるSemi-Variogram係数を求め、連立方程式を解くと各重み係数 $\lambda_1(x_r)$, $\lambda_2(x_r)$ と $\mu(x_r)$ が求められる。
- 3) 得られた重み係数と神恵内・岩内アメダスの年平均と年振幅を式(2)に代入すると茂岩トンネル坑口における推定気温が求められる。

$$\begin{aligned} \text{年平均気温: } z_1^*(x_r) &= \sum_{i=1}^2 \lambda_i(x_r) z_1(x_i) \\ &= 0.80424 \times 8.7 + 0.19576 \times 8.2 = 8.602 \quad (6.a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{年平均振幅: } z_2^*(x_r) &= \sum_{i=1}^2 \lambda_i(x_r) z_2(x_i) \\ &= 0.80424 \times 12.5 + 0.19576 \times 12.7 = 12.54 \quad (6.b) \end{aligned}$$

キーワード: 寒冷地トンネル, 断熱材設計, 最適設計, 坑内環境, 温度観測

連絡先 (〒105-8488 東京都港区西新橋 2-23-1 TEL 03-3592-6955 FAX 03-3502-2646 E-mail 1714@chizaki.co.jp)



図-1 茂岩トンネルと各アメダスの位置図

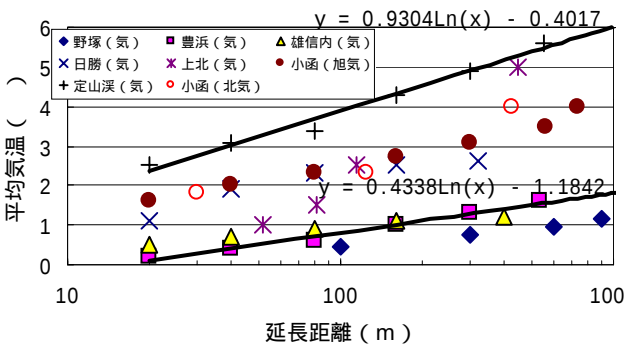


図-2(a) トンネル坑内の年平均 U_m の上昇(北海道)

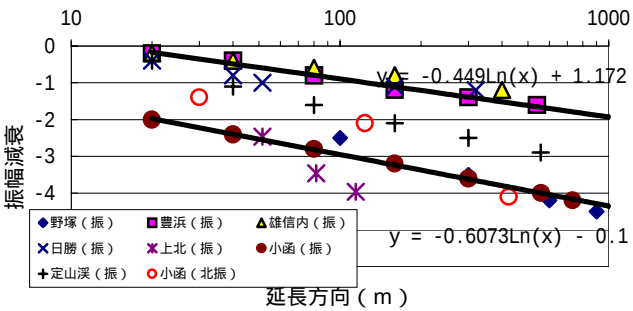


図-2(b) トンネル坑内の年振幅 A_y の減衰(北海道)

4．トンネル坑内延長方向の気温推定

トンネル坑口から延長距離に伴って変動する年平均気温 U_z と年振幅 A_z を、道内7箇所のトンネルにおいて坑内環境（風など）考慮して坑口を基準として整理した結果は図-2となる。

5．トンネル坑内の気温推定と実測値との比較

一般国道229号茂岩トンネルでは坑内（坑口から317m地点）において気温変動の観測を行っている。

そこで図-2より、年平均気温 U_m と年振幅 A_y の回帰曲線に茂岩トンネルの温度観測点の距離（坑口からの延長距離）317.0mを代入すると温度上昇1.314、振幅の減衰-1.414が求められる。

ここで求められた茂岩トンネル坑口から延長距離317mの地点の気温変動の推定値（年平均気温 U_z 、年振幅 A_y ）は表-2に示すようになり、実際に観測された気温変動を示すと図-3となる。

図-3より、トンネル坑内延長方向の年平均気温 U_z および年振幅 A_z の減衰は、図-2に示すトンネル坑内風の強さを考慮する回帰式で合理的に求められ、信頼性も高い結果が得られた。

表-2 茂岩トンネル坑内気温（317m）

トンネル	U_m	A_y
茂岩トンネル（317m）	9.916	11.126

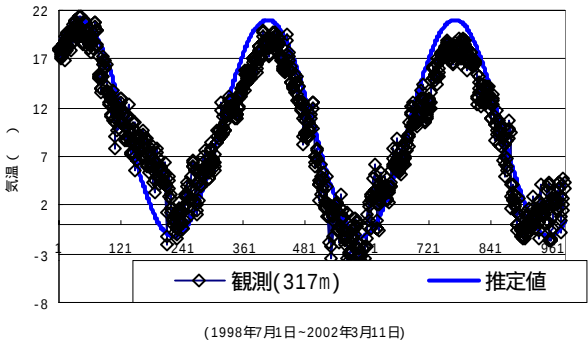


図-3 茂岩トンネル坑内（317m）の推定気温

参考文献

- 1) 須藤敦史,三上 隆,岡原貴司,岡田正之:寒冷地トンネルの温度変動について,トンネル工学研究論文・報告集第10巻,報告-28, pp.251-256,2000.
- 2) 須藤敦史,三上 隆,岡原貴司,岡田雅之,荏澤憲吉:寒冷地道路トンネルの断熱材設計における気温変動の推定,土木学会論文集, No.616/ -42, pp.103~110,1999.
- 3) 須藤敦史,三上隆,岡田正之,飯塚哲善:トンネル内(延長方向)の気温変動について,寒地技術論文・報告集, Vol.17, pp.66-73,2001.
- 4) Delhomme, J.P.: Kriging in the Hydrosocience: Advance in Water Resources, Vol.1, No.5, pp.251-266,1978.