

トンネル断熱材における合理的設計に関する諸検証

A Basic Consideration on Design of Heat Isolation for Tunnel

岩田地崎建設㈱	正会員 須藤 敦史 (Atsushi Sutoh)
(独)土木研究所寒地研究所	正会員 佐藤 京 (Takashi Sato)
岩田地崎建設㈱	正会員 河村 巧 (Takumi Kawamura)
エーティック	正会員 角谷 俊次 (Shunji Kadoya)
構研エンジニアリング	正会員 五十嵐隆浩 (Takahiro Igarashi)

1. はじめに

北海道の道路トンネルは坑口部周辺地山における凍結防止の目的で、新設トンネルでは一次覆工と二次覆工の間(内部)に、また既設トンネルでは二次覆工の内側表面(外部)に断熱材が施工される。しかし、冬期に厳しい自然現象に曝されるため、その合理的設計は非常に難しいのが現状である。そこで内部断熱材の設計において、アメダスなど既存の観測値を利用したトンネル坑口における設計気温の設定法(Semi-Variogram)を提案¹⁾などし、同時にトンネル坑内の温度観測値より延長方向の気温変動の推定を行っている²⁾など。

2. アメダス観測値の変動に関する照査

現在、開発局のトンネル設計指針において断熱材を設計するために参考とする各気象管内の平均気温および年振幅は、1992年度版北海道のアメダス統計値((財)日本気象協会北海道本部)が示されているが、これらの統計値(年数)の更新がなされていないのが現状である。

そこで各気象管内における観測点を抜粋して1991年～2007年および2003年～2007年のアメダス温度観測データを基に平均気温および年振幅に対する検討を実施する。

最近のアメダス観測値(宗谷岬)1991年～2007年と設計に用いている平均気温および年振幅に対する検討を実施した結果を図-1に示す。

図より、最近のアメダス観測点における平均気温および年振幅は1991年～2007年のアメダス温度観測データの比較により、1992年以前の値と変化はないと判断される。

3. テレメータ温度観測値の適用性の検討

北海道開発局が保有する温度観測網(テレメータ)を提案手法へ適用できれば、断熱材設計における設計気温の推定精度は向上する。そこでアメダス気温からテレメータの観測値を推定することで温度観測網(テレメータ)の観測値の提案手法への適用の検討を行なっ

ている。

テレメータ観測点近傍のアメダス気温からテレメータの観測値を補間(推定)した結果を図-2に示す。

図-2より、テレメータの冬期気温と近傍のアメダス観測値により補間した冬期気温はほぼ一致するため、テレメータの観測データを用いれば補間点数が多くなるためSemi-Variogramによる最低気温推定の精度向上が図れる。

4. トンネルの断熱材の設計厚さのキャリブレーション

提案したアメダス観測値を利用した Semi-Variogram により推定されたトンネル坑口と延長方向の気温変動により断熱材の施工厚さ・長さを求め、実際に施工した断熱材の厚さ・長さと比較(キャリブレーション)することに

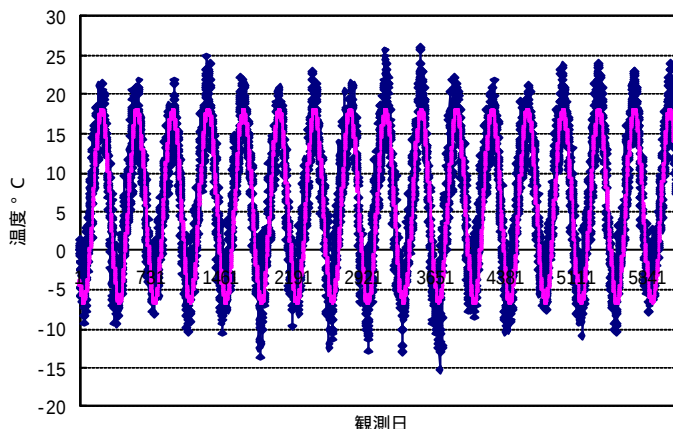


図-1 宗谷岬アメダスの推定気温と観測気温(1991～2007年)

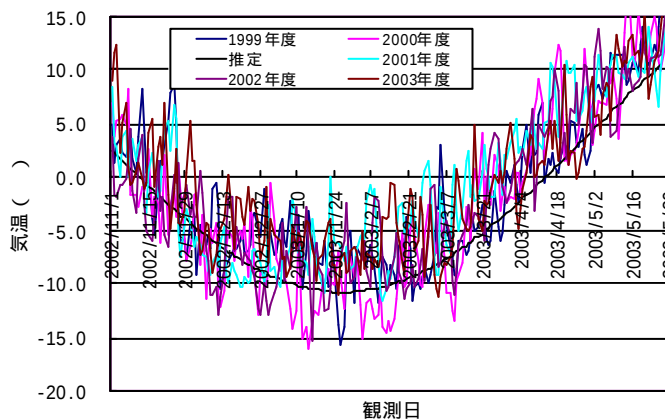


図-2 日高峠テレメータの推定気温と観測気温

より,提案手法の妥当性の考察を行っている。

検証したトンネルは図-3に示す道内12箇所の延長が1,000m程度の比較的長いトンネルを選定して,断熱材(延長方向)の必要厚さをキャリブレーションした。

断熱材の必要厚さは,通常の断熱材設計と同様に式(1)に示す非定常熱伝導解析法に基づく温度略算式によって算出している。この準定常熱伝導解析法は,非定常熱伝導による温度解析(時刻歴応答)の厳密解を概算化したもので,算出する箇所における坑口部の気温変動は式(1)における年平均気温 U_m と年振幅 A_y を Semi-Variogram を基本とした提案手法 (Semi-Variogram) により求め,ている。

$$U_4 = U_m - A_y \cdot \text{Max}(U_4^y) \geq -0.5 \quad (1)$$

U_4 :吹付けコンクリート背面温度,

$\text{Max}(U_4^y)$: U_4 の最大値

$$\text{Max}(U_4^y) = \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$A = 1 + a, B = a + b,$$

$$P = 2p / (365 \times 24)$$

$$a = \left(\frac{L_1 + L_3}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} \right) \sqrt{(rc)_4 K_4 P / 2},$$

$$b = \left((L_1 + L_3)^2 / 2K_1 + L_1 L_3 / K_2 \right) P (rc)_1$$

L_1, L_2, L_3 : 覆工,断熱材,吹付け厚さ,

K_1, K_2, K_4 : コンクリート,断熱材,地山熱伝導率

$(rc)_1, (rc)_4$: コンクリート,地山熱容量

提案したアメダス観測値を利用した Semi-Variogram により補間(推定)されたトンネル坑口の最低気温より求めた断熱材の必要厚さと実際に施工されたトンネル坑口部の断熱材厚さを示すと表-1となる。

表-1より, Semi-Variogram で補間した気温変動より求めたトンネル坑口における断熱材の施工厚さと実際に施工された断熱材の厚さはほぼ一致している

次に,トンネル軸の方位および両坑口の標高差・周辺地形などの諸状況を参考して,各トンネルにおける坑内延長方向の気温を推定し,断熱材の必要な施工延長と各トンネルにおいて実際に施工された延長を示すと表-2となる。

表-2より,提案手法で推定された坑内の気温変動より求

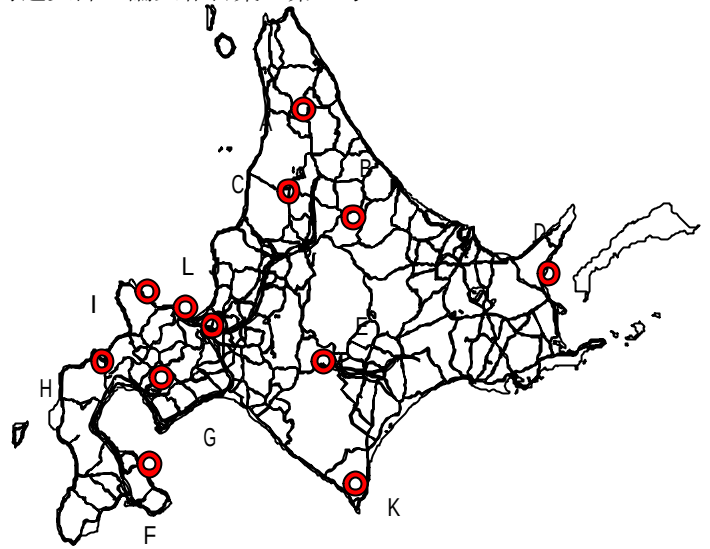


図-3. 施工断熱材検証トンネルの位置

表-1 断熱材の提案厚さと実施工厚さ

トンネル名	提案値 (cm)	実施工 (cm)
A トンネル	6.0	6.0
B トンネル	8.0	6.0
C トンネル	6.0	5.0
D トンネル	7.0	3.0
E トンネル	7.0	7.0
F トンネル	2.0	1.5

表-2 断熱材の提案延長と実施工値

トンネル名	提案値 (m)		実施工 (m)	
A トンネル	80.0	80.0	136.5	136.5
B トンネル	410.0	410.0	169.0	105.0
C トンネル	110.0	110.0	136.5	126
D トンネル	130.0	130.0	147.0	-
E トンネル	615.0	615.0	121.5	84.0
F トンネル	150.0	150.0	219.0	288.5

めた各トンネルにおける断熱材の施工延長は実際に施工された断熱材の施工延長よりも,山間部トンネルと沿岸部の一部トンネルを除いて若干短くなっている。

【参考文献】

- 1) 須藤敦史,三上 隆,岡原貴司,岡田正之,葦澤憲吉: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.
- 2) 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.