

断熱材の設計における気温推定式の検証

○(株)地崎工業 北海道本店 正会員 河村 巧
 (株)地崎工業 土木部技術課 正会員 須藤 敦史
 北海道大学大学院工学研究科社会基盤専攻 正会員 三上 隆
 北海道開発コンサルタント(株)交通施設部 正会員 岡田 正之

1. はじめに

北海道における新設の道路トンネルでは、冬期間の凍害防止のために防水シートと二次覆工コンクリートの間に断熱材が施工されている。しかし、断熱材の設計厚さや施工延長は坑内の気温変動や一次・二次覆工コンクリート、断熱材、地山の熱伝導率・熱容量などによって決定され、特に施工延長は延長方向の最低気温の状況によって大きく左右する¹⁾。

このような状況下、断熱材の施工延長を合理的に決定するためには、トンネル延長方向の気温変動を把握しなければならないが、実際は通過車両の排気による温度上昇や坑内風による熱の対流などが複雑に影響し合う現象であるため、気温変動の推定は非常に難しいのが現状である。

そこで、旭川紋別自動車道上北トンネル(Fig. 1)上川側坑口において観測された延長方向(坑口, 51.5m, 81.5m, 141.5m, 444.0m, 1000m: 計6点)の温度変動を解析することにより、坑口部の気温変動²⁾および坑内延長方向の気温変動式を提案している³⁾。

本報告は、提案した推定式の一般性を、一般国道236号浦河町野塚トンネル(Fig. 1)の浦河側坑口で観測された延長方向(100m, 300m, 600m, 900m, 1200m, 1500m, 1800m, 2100m: 計8点)の温度変動で検証したものである。

2. 坑外・坑内の気象状況

2.1 坑口部の気温

1995年12月～1996年3月、1996年12月～1997年3月における浦河側坑口部の月別平均気温をTable. 1に示す。

ここで浦川側坑口部における冬期間(1月～3月)の平均気温は約 -6.2°C を示しており、観測期間中の最低気温は199

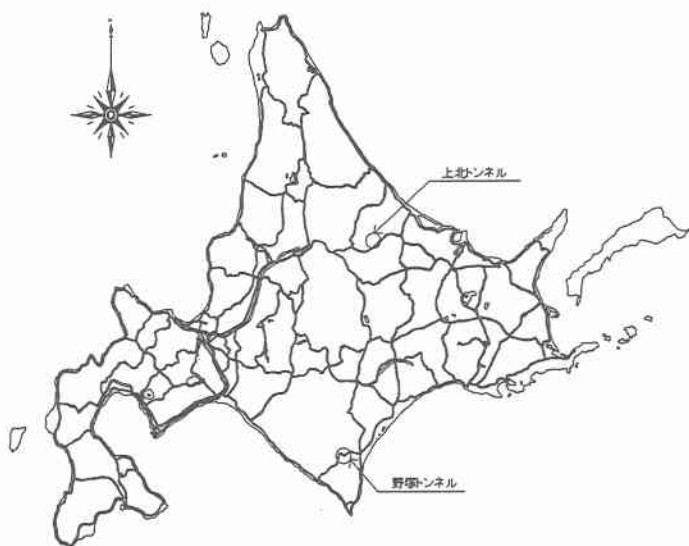


Fig. 1 旭川紋別自動車道上北トンネルおよび一般国道 236 号浦河町野塚トンネル位置

Table. 1 坑口部の冬期月別平均気温

	1995 年	1996 年				1997 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温($^{\circ}\text{C}$)	-0.45	-7.31	-7.03	-3.10	-3.40	-5.19	-5.26	-3.25

Table. 2 坑内の最多風向 (S:浦河 ⇒ 広尾, N:広尾 ⇒ 浦河)

観測点	1995/12	1996/1	1996/2	1996/3	1996/12	1997/1	1997/2	1996/3
10m	S	S	S	S	S	S	S	S
100m	S	S	S	S	S	S	S	S

6年1月24日2:00に -16.6°C 、1997年1月28日4:00には -13.5°C を記録している。

2.2 坑内の風速・風向

冬期の坑内における最多風向をTable. 2に示す。Table. 2より、野塚トンネルでは浦河側から広尾側へ吹く風が大勢(約75%)を示しており、特に冬期にはこの傾向が顕著に表れている。

A Estimation of Temperatures in Tunnel and Lining for Heat Insulator Design

By Takumi KAWAMURA, Atsushi SUTOH, Takashi MIKAMI and Masauki OKADA

Table. 3 坑内各地点の冬季平均風速 (m/S)

	10m	100m	300m	600m	1200m
1995 年 12 月	1.1	0.8	0.9	1.0	1.0
1996 年 1 月	1.6	1.2	1.4	1.7	1.7
1996 年 2 月	1.4	1.1	1.3	1.5	1.2
1996 年 3 月	1.5	1.1	1.2	1.3	1.1
1996 年 12 月	1.7	1.3	1.6	1.8	1.5
1997 年 1 月	1.5	1.3	1.4	1.6	1.3
1997 年 2 月	1.5	1.1	1.2	1.4	1.1
1997 年 3 月	2.0	1.5	1.6	1.8	1.5
平 均	1.54	1.12	1.33	1.51	1.30

Table. 4 年平均気温・年振幅

	平均気温	年 振 幅
推 定 値	3.68	13.1

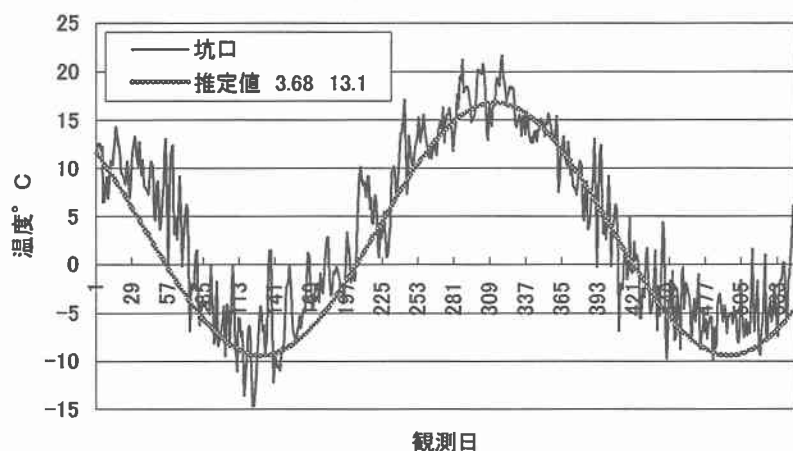


Fig. 3 観測気温と推定値の比較

より得られた坑口部の気温変動をFig. 3に示す。Fig. 3より、推定された気温変動は観測気温と同様な傾向を示している。

4. トンネル延長方向の気温変動

本解析においても上北トンネルでのデータ解析で得られた知見より、坑内延長方向の気温変動に対してa)坑口の気温(外気温)は正弦波で変動する、b) 位相遅れ B_z は考慮しない、c) 年平均気温 U_z も延長距離に対して変動する、とした推定式(2)を用いている。

$$U = U_z - A_z \sin\{2\pi(t - 120)/365\} \quad (2)$$

U_z : 年平均気温, A_z : 振幅 (延長距離 z m)

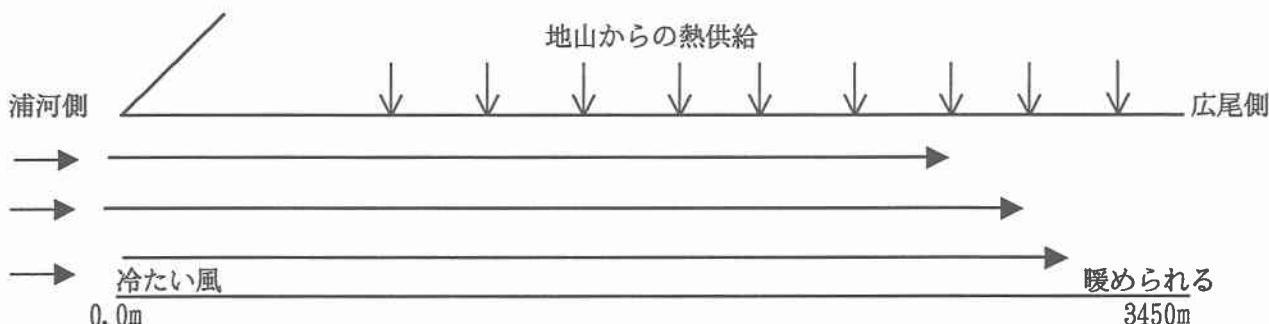


Fig. 2 坑内の定常風

また、坑内における風速の観測結果をTable. 3に示す。Table. 3より、冬期間(12月～3月)は平均風速1.4m/Sを示しており、冬期の野塚トンネルにおける坑内風はFig. 2のような流れを示している。

ここで、野塚トンネルの延長方向における各点(0.0m, 10m, 100m, 300m, 600m, 1200m, 1500m, 1800m, 2100m)で観測された日平均気温(1995年10月～1996年3月, 1996年10月～1997年3月)より、上北トンネル同様に延長距離の増加に伴って坑内気温は上昇している。

3. 坑口部の気温推定

坑口部の気温変動式(1)における年平均

気温 U_m と年振幅 A_y をSemi-

Varogram²⁾により推定するとTable. 4のような。

$$U = U_m -$$

$$A_y \sin\{2\pi(t - 120)/365\} \quad (1)$$

U_m : 年平均気温, A_y : 年振幅

なお、式中の位相遅れ B_z は延長距離2,100mで約2時間程度であるため考慮していない。

また、推定に用いたアメダス観測点は浦河・中杵臼・広尾である。

ここで、実際に観測された浦河坑口部の日平均気温(1996年10月～1997年3月)と推定式(1)

Table. 8 延長距離による平均気温、振幅

	平均気温(°C)	平均振幅
0.0m	3.68	13.10
100m	4.15	10.50
300m	4.45	9.50
600m	4.64	8.80
900m	4.85	8.50
1200m	5.05	8.20
1500m	5.25	8.00
1800m	5.45	7.80
2100m	5.55	7.60

ここで、延長方向(0.0m, 100m, 300m, 600m, 1200m, 1500m, 1800m, 2100m)の各観測気温より平均気温 U_z および振幅 A_z を求めるとTable. 8となる。

Table. 8より、上北トンネルと同様に坑口からの延長距離に比例して平均気温は上昇し、逆に平均振幅は延長距離に伴って減少する傾向が見られる。

また、求めた平均気温 U_z および振幅 A_z より得られる延長方向各観測点の推定気温と観測された気温変動をFig. 4(a), (b)に示す。また、推定式(2)により求められるトンネル坑内の平均最低気温と観測された冬季平均気温(1月・2月)を示すとFig. 5となる。

ここで、気温変動式(2)で求めた平均最低気温は観測より得られた月別平均気温とほぼ同じ気温変動を示していることより、この推定式はトンネル坑内の延長方向における気温変動の推定式として適当であると考えられる。

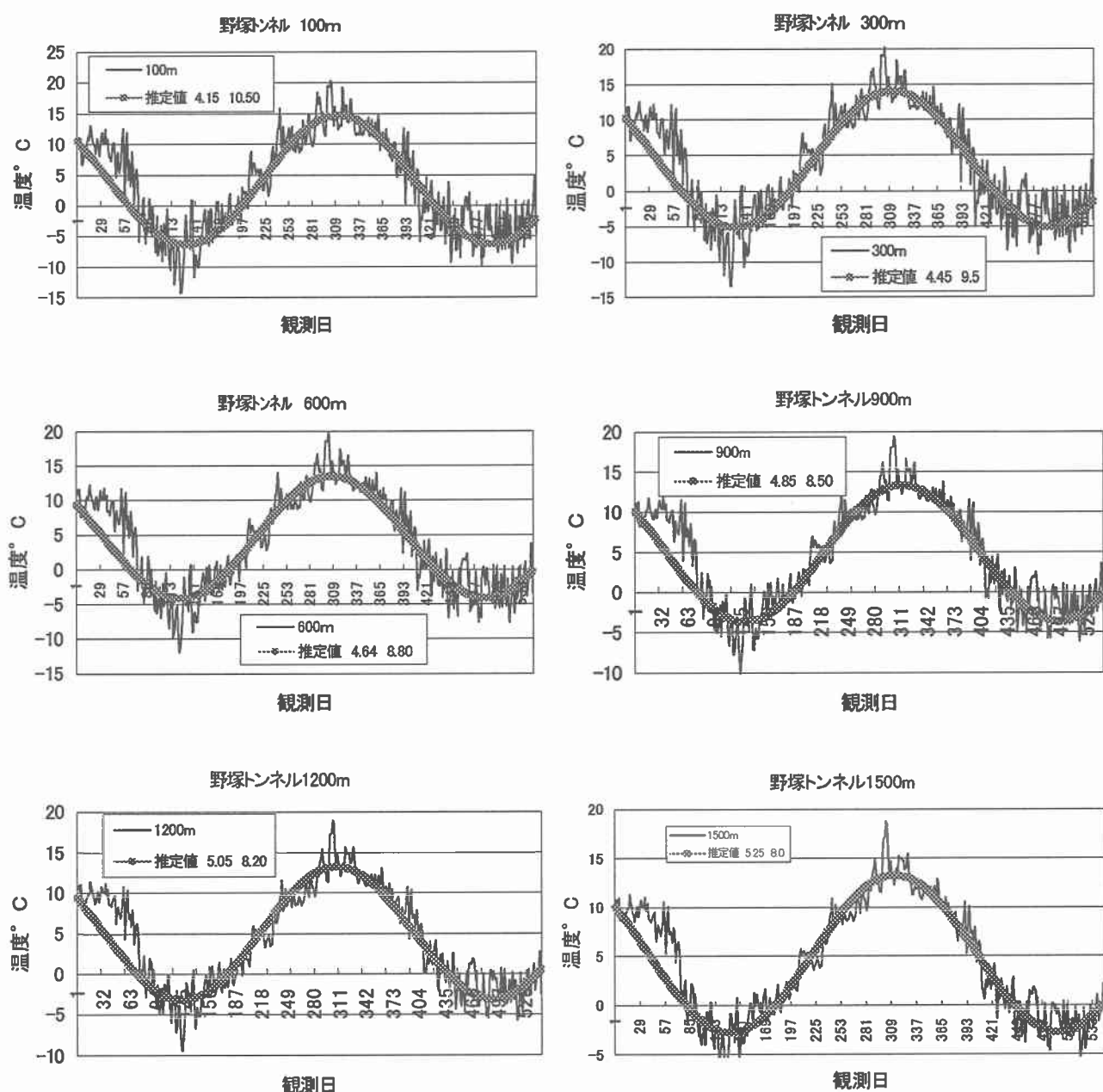


Fig. 4(a) 観測気温と推定値

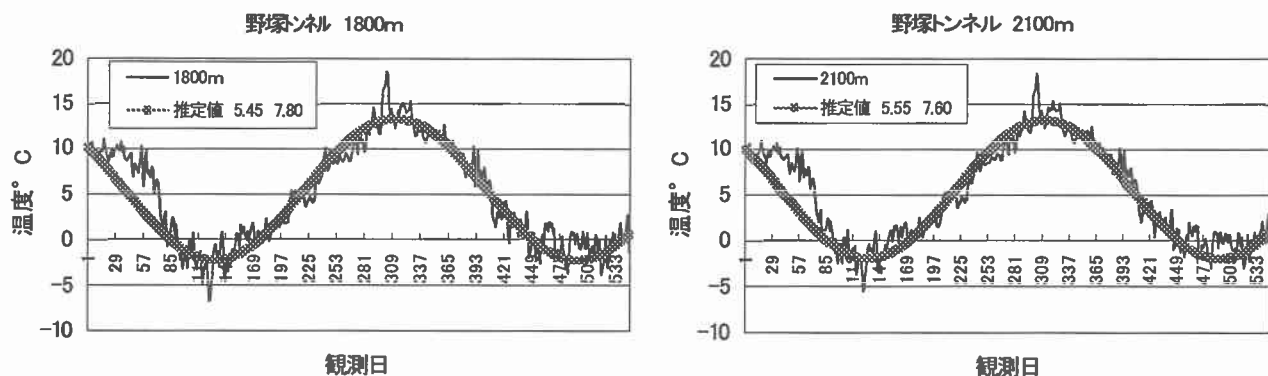


Fig. 4(b) 観測気温と推定値

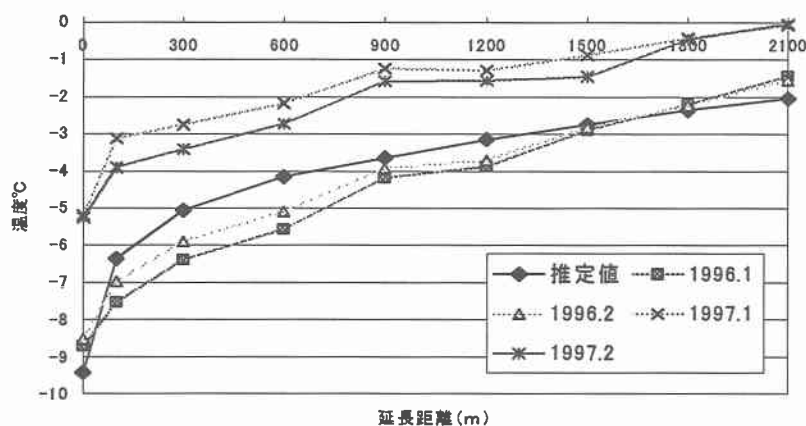


Fig. 5 推定値と月平均気温（1・2月）

5. 結論

野塚トンネル浦河側坑口部における気象観測およびトンネル延長方向の温度観測値を解析した結果、以下に示す結論が得られた。

5.1 坑外・坑内気象

- (1) 浦河側坑口部では、冬期の平均気温は $-5.0 \sim -7.0^{\circ}\text{C}$ 程度である。
- (2) 野塚トンネルでは、浦河側坑口から広尾側に向かって $1.0 \sim 1.5\text{m/s}$ 程度の坑

内風が全断面で吹いており、特に冬季にこの傾向は顕著に表れている。

5.2 延長方向の温度変動

- (1) 浦河側坑口部の気温変動は、Semi-Varogramにより年平均気温 U_m と年振幅 A_y を求めることにより精度よく推定することが出来る。
- (2) 年平均気温 U_z の延長距離に伴う変動を考慮した推定値は観測値とほぼ同じ変動を示す。なお、位相遅れ B_z は考慮しなくても良い。
- (3) 提案した推定式はトンネル坑内の気温変動モデルとして妥当と考えられるが、一般化のためには以下の課題が残る。
 - a) 理論解による年平均気温 U_z の距離依存性の定式化、 b) 平均気温 U_z および振幅 A_z の減衰の関数化

謝 辞：今回の研究報告は北海道土木技術会トンネル研究会(凍結分科会)における断熱材設計に関する研究の観測データの一部であり、協力して頂いた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 芳村仁, 三上隆, 小山田欣裕：寒冷地道路トンネルの地山温解析(非定常熱伝導解析), 土木学会北海道支部論文報告集, 昭和63年度, pp. 109-112, 1988.
- 2) 渋谷卓, 須藤敦史, 三上隆, 岡田正之：断熱材設計における最低気温の簡易推定, 土木学会北海道支部論文報告集, 平成11年度, 第56号(A), pp. 752-757, 2000.
- 3) 須藤敦史, 三上隆, 岡田正之, 河村巧：寒冷地トンネル内の気温変動について, 土木学会トンネル工学論文・報告集第10巻-報告(28)-, pp. 251-256, 2000.