

寒冷地トンネル内の気温変動について

Periodic Change of Atmospheric Temperature at Tunnel in Cold Region

須藤 敦史¹⁾・三上 隆²⁾・岡田 正之³⁾・河村 巧⁴⁾

Atsushi SUTOH, Takashi MIKAMI, Masayuki OKADA and Takumi KAWAMURA

In cold region, a newly constructed road tunnel lining, in which a heat insulator was sandwiched between an outer lining and an inner one. It was developed for prevention work against frost heave in ground. This paper proposes an approximate estimation of yearly periodic changes of atmospheric temperature in road tunnel. In this study, periodic changes of atmospheric temperature can be transformed to a moving mean value and narrowing amplitude due to distance from the entrance. Finally, numerical examples using some observational data are worked out to demonstrate the reasonableness of this approximate estimation, which is determined the input temperature for heat insulator design at load tunnel lining.

Key words: Tunnel Insulator Design, Temperatures estimation, Observation Data

1. はじめに

寒冷地に新設されるトンネルは冬期の地山凍結防止の目的で、一次覆工と二次覆工の間に断熱材を施工しており、その設計厚さや施工延長はトンネル内の気温が周期変動するものとして一次・二次覆工、断熱材、周辺地山モデルで構成される一次元非定常熱伝導解析より求められる¹⁾。

しかし、断熱材の設計厚さや施工延長は設定するトンネル内の気温変動に左右され²⁾、加えて正確に求めることは難しい。そこで著者らは設計気温の簡便な設定法として確率・統計論の考え方とアメダス観測気温を利用した推定手法を提案している³⁾。この手法は気温変動の統計的性質を把握して坑口気温を推定するものであるが、断熱材の施工延長を決める際には坑内の気温変動を把握しなければならない。しかし坑内の気温変動は強制換気や通過車両の排気の影響などが複雑に絡み合う現象であるため、正確な推定はさらに難しい問題となる。

そこで、トンネル坑内の気温変動を把握するため上北トンネル(4,098m)上川坑口において延長方向の気温変動を連続観測している。本研究では、連続観測で得られた坑口気温・坑内風と延長方向の気温変動を整理し、同時に実用的なトンネル延長方向の推定式の提案を行ったものである。

2. 坑口の気象観測

(1) 坑口の気温

冬期(1998年9月～1999年3月)における月別平均気温をTable.1に示す。

Table.1 坑口部の月別平均気温(1998年9月～1999年3月)

	1998 年				1999 年		
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温 (°C)	12.96	6.27	-3.37	-8.54	-10.25	-10.49	-7.66

上川坑口における冬期(12月～3月)の平均気温は、約-9.24°Cを示し、観測期間中の最低気温は1999年2月29日4:00に-26.6°Cを記録している。

1)正会員 博士(工学) ㈱地崎工業 土木部技術課 主任研究員

2)正会員 工博 北海道大学大学院教授工学研究科社会基盤専攻

3)正会員 北海道開発コンサルタント(株)、4)正会員 ㈱地崎工業 北海道本店土木部

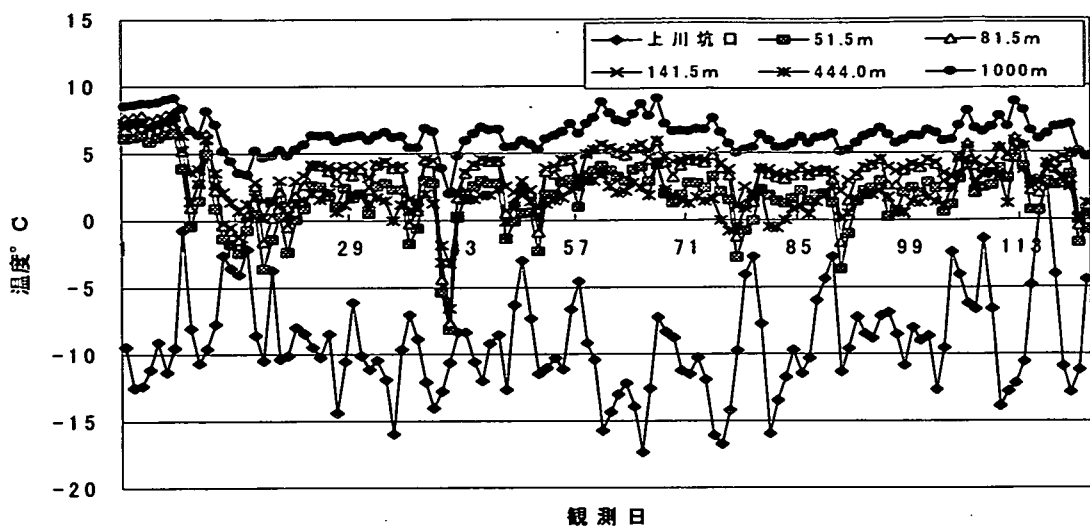


Fig. 1(a) 延長方向の気温変動（上部）

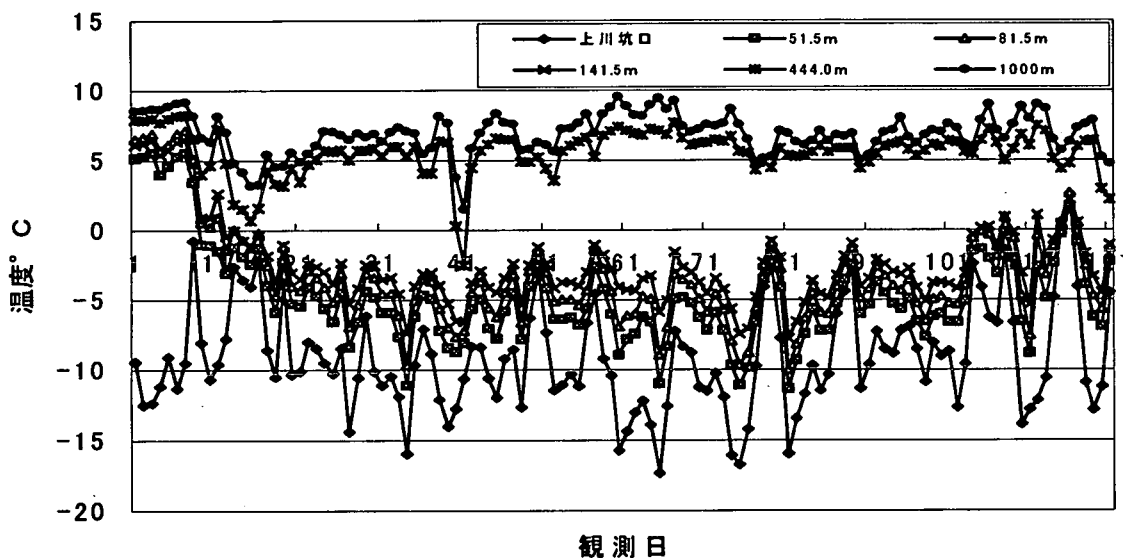


Fig. 1(b) 延長方向の気温変動（下部）

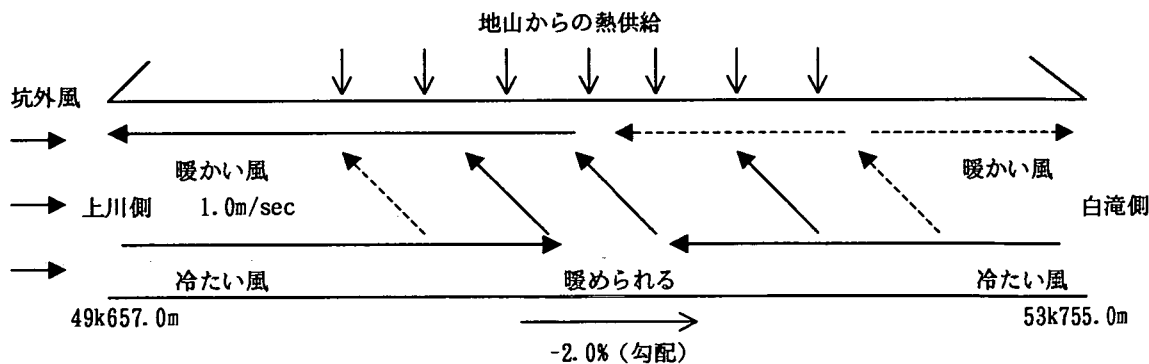


Fig. 2 坑内自然風

(2)風速・風向

冬期の平均風速は約6.0m/sec以下が観測日の約80%を占め、風向は地形効果と季節風の影響が明瞭に現れてWN系が全体の約75%と卓越している。白滝側は上川側に比べて弱い傾向を示し、W系もしくはWSW系が卓越している。また上川坑口の気圧は白滝坑口より約7.8～8.0hPa程度低いことより、Fig. 1. 2に示すようにトンネル上部では白滝側から上川側に向かい、下部では上川側から白滝側に向かう流れが定常風である。

3. 坑内の気温変動

一般的に坑内の気温変動は坑外気温の変動に起因し、トンネル外気温が正弦波で変化するものと仮定^{4), 5)}しており、寒冷地トンネルでは外気温の変動が式(1)のように与えられると、トンネル坑内の延長方向の気温変動は式(2)となる⁶⁾。

$$U = U_m - A_y \sin\{2\pi(t - 120)/365\} \tag{1}$$

$$U_T = U_m - A_z \sin\{2\pi(t - 120)/365 - B_z\} \tag{2}$$

U_m : 年平均気温, A_y : 年振幅, A_z : 振幅 (延長距離 z m), B_z : 位相遅れ

ここで1998年2月5日～2月7日において観測されたトンネル壁面下部の温度経時変化をFig. 3に示す。

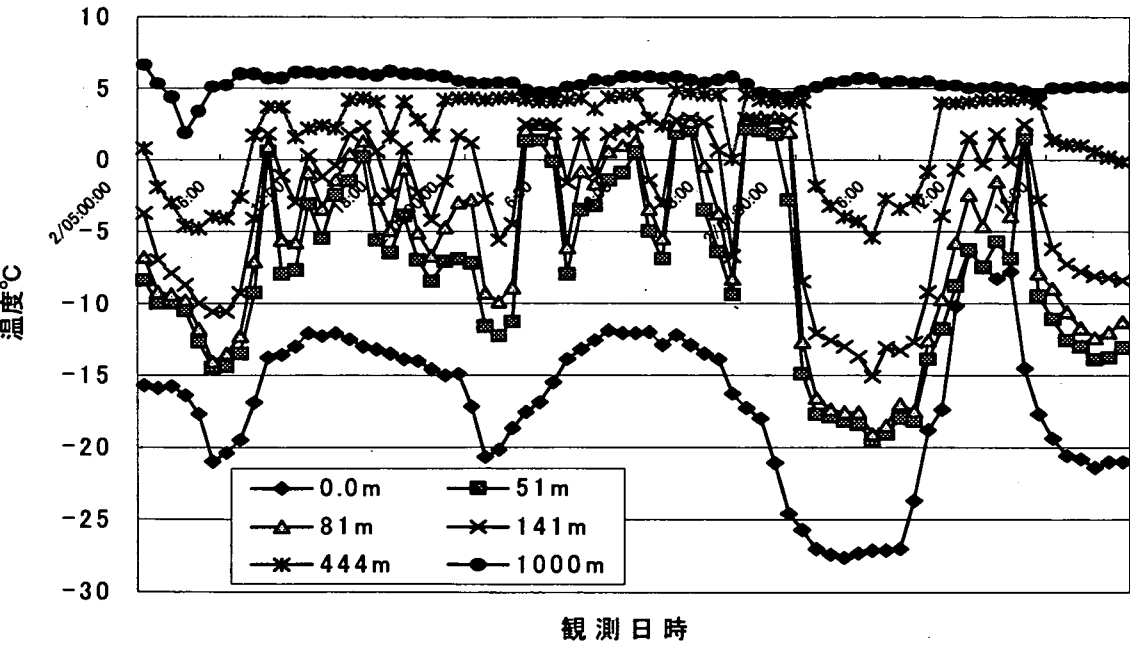


Fig. 3 気温経時変化図 (1998年2月5日～2月7日)

Fig. 3より、観測間隔1時間程度では位相遅れ B_z は明確に現れず、坑内の気温変動は式(3)となる。

$$U_{T1} = U_m - A_z \sin\{2\pi(t - 120)/365\} \tag{3}$$

U_m : 年平均気温 (=2.899)

ここで、年平均気温 U_m を一定として、各点の観測気温より式(3)における振幅 A_z を求めるとTable. 2となる。

Table. 2 各観測点の振幅 A_z

延 長	0. 0m	51. 5m	81. 5m	141. 5m	444. 0m	1000m
振 幅	14. 26	10. 80	9. 90	8. 20	3. 40	—

ここで、式(3)より求めた444. 0m地点における気温変動と観測気温を示すとFig. 4となり、坑口からの距離に従って一定の年平均気温 U_m ではその推定誤差が大きくなっている。

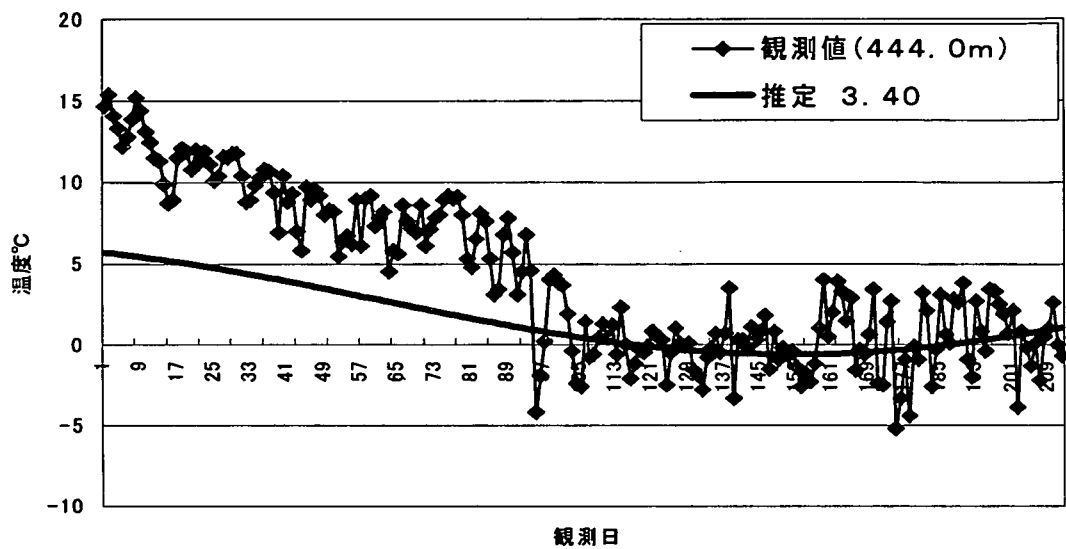


Fig. 4 延長距離444. 0mの温度変動

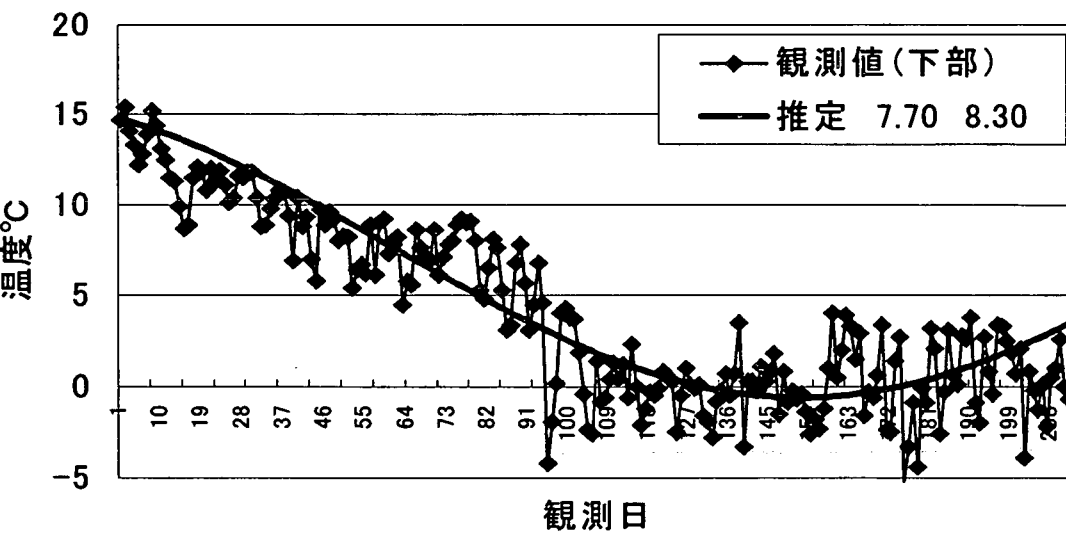


Fig. 5 延長距離444. 0mの気温変動

そこで、式(3)における年平均気温 U_m も延長距離に対して変動させた気温変動は式(4)となる。

$$U_{T2} = U_z - A_z \sin\{2\pi(t-120)/365\} \tag{4}$$

U_z : 年平均気温, A_z : 振幅 (延長距離 z m)

ここで各点の観測気温より式(4)の平均気温 U_z および振幅 A_z を求めるとTable. 3のようになり、式(4)より求めた444.0m地点の気温変動と平均気温をFig. 5に示す。

Table. 3 各観測点の平均気温 U_z と振幅 A_z

延 長	0.0m	51.5m	81.5m	141.5m	444.0m	1000m
平均気温	2.79	4.00	4.50	5.25	7.70	9.25
振 幅	14.26	10.80	9.90	8.20	3.40	6.80

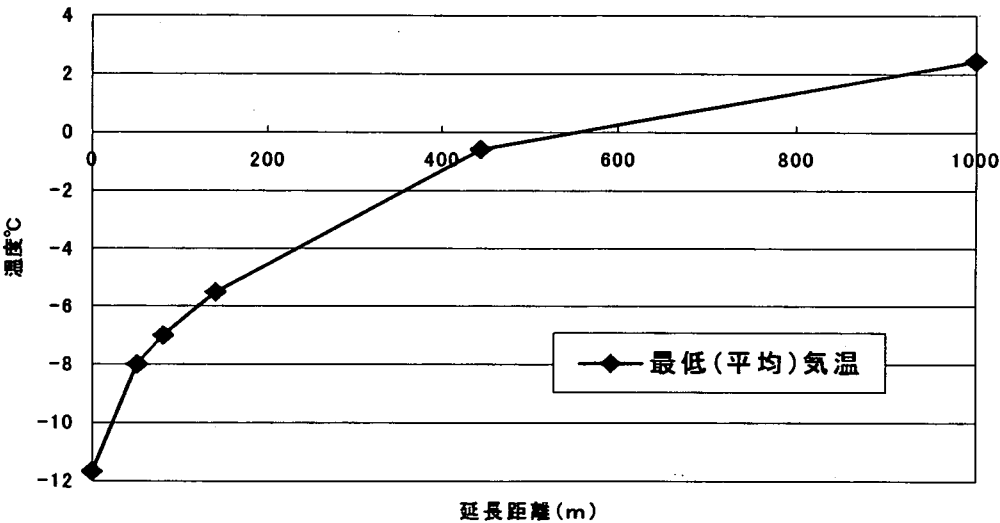


Fig. 6 延長距離による平均最低気温

Table. 3より、坑口からの距離に比例して平均気温は上昇し、平均振幅は伴って減少する傾向が見られる。また式(4)により求められる坑内の平均最低気温を示すとFig. 6となる。ここで式(4)より求めた最低気温はFig. 7に示した1, 2月の平均とほぼ同じ値を示すことより、式(4)は気温変動モデルとして妥当と思われる。

5. 結 論

上北トンネル上川坑口における気象観測およびトンネル延長方向の温度観測の一部を整理した結果、以下に示す結論が得られた。

- (1)従来のトンネル坑内における気温変動の推定式において位相遅れ B_z は考慮しなくてもよく、一定の年平均気温 U_m を用いると推定誤差が大きくなる。

(2)年平均気温 U_z をトンネルの延長距離に伴って変動させた気温変動の推定式(4)は、観測値とほぼ同じ変動を

示しており、加えて延長距離に伴い平均気温は上昇、平均振幅は減少する傾向が見られた。

(3)以上より、坑口気温と延長距離を変数とする関係式に近似が可能と考えられる。

今後、さらにトンネル延長方向における温度変化を観測して延長方向の温度推定式を検討しなければならない。

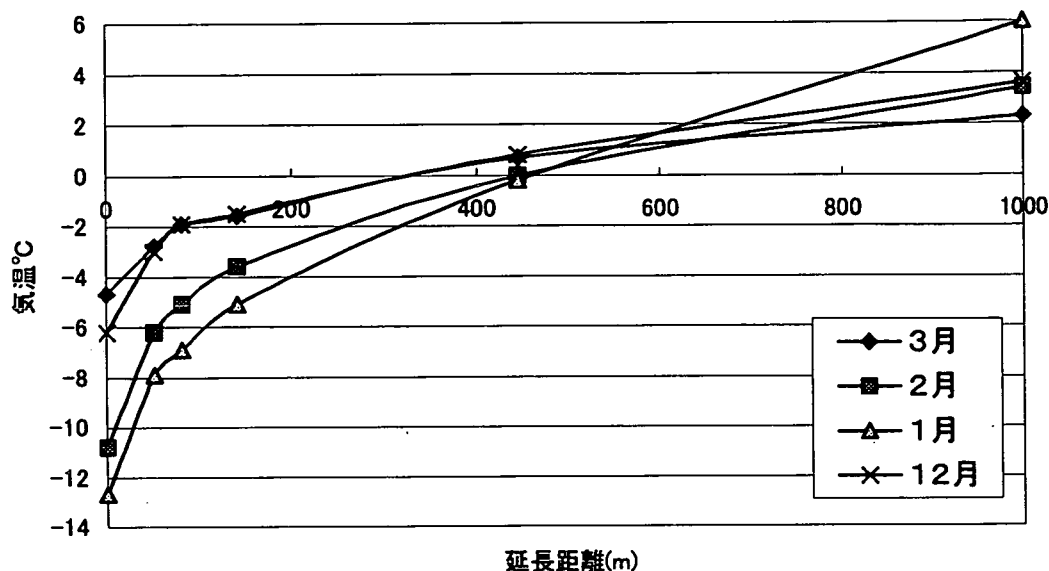


Fig. 7 延長距離による平均気温 (下部)

参考文献

- 1) 三上 隆, 林 憲造, 樫田 静也: 寒冷地道路トンネルの断熱材設計のための実用的な温度算定式の提案, 土木学会論文集, No. 498/VI-24, pp. 872-93, 1994.
- 2) 芳村 仁, 三上 隆, 小山田 欣裕: 寒冷地道路トンネルの地山温度解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 昭和63年度 pp. 109-112, 1988.
- 3) 須藤 敦史, 三上 隆, 岡原 貴司, 岡田 正之, 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/VI-42, pp. 103-110, 1999.
- 4) 天野 薫三: 乾燥した岩盤坑道における気流の温度変化について, 日本鉱業会誌, Vol. 70, No. 787, pp. 23-26, 1954.
- 5) 天野 薫三, 水田 義明: トンネル内気象の予測計算, 土木学会論文集, No. 387/II-8, pp. 219-228, 1987.
- 6) 岡田 勝也, 松本 嘉司: 寒冷地トンネルにおけるつらら発生領域に関する統計的・理論的解析, 土木学会論文集, No. 388/III-8, pp. 77-84, 1987.