

## 寒冷地におけるトンネル延長方向の温度解析

北海道大学大学院工学研究科 学生会員 福本皓一  
 岩田地崎建設株式会社 正会員 河村巧  
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 三上隆

## 1. はじめに

寒冷地トンネルにおいて、冬期間の寒さによる変状を防止するために、断熱材が施工される場合が多い。

本研究では、断熱材の施工範囲を決定するために必要であるトンネル延長方向の温度解析を試み、実測値との比較、検討を行うことで、その有効性の確認を行った。

## 2. 解析手法

解析は、トンネル延長方向には、図 1 に示すように、一定の風速  $v$  で流入するモデルを、トンネルの半径方向には、図 2 に示す中空円筒の断面モデルを採用した。

## 2.1 トンネル延長方向の微分方程式

トンネル延長方向の温度  $\theta$  に関する微分方程式は式(1)のようになる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k(\theta_0 - \theta) - v \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad k = \frac{2\alpha}{C_p r_1 \gamma} \quad (1)$$

$\alpha$ : 空気の熱伝達率,  $v$ : 風速,  $r_1$ : トンネル内径

$\gamma$ : 空気の比重量(密度),  $C_p$ : 空気の定圧比熱

なお、覆工とトンネル内空の境界温度  $\theta_0$  は図 2 のモデルより求めた。

## 2.2 トンネル延長方向の温度算定式

トンネル内の温度を定常の項と年周期で変化する項の和であると仮定し、 $\theta = \bar{\theta}(z) + \Theta(z)e^{i\omega t}$  とおいた。その結果、トンネル内平均気温は式(2)のように、トンネル内温度振幅は式(3)のように表される。トンネル内平均気温とトンネル内温度振幅の変化を見る場合、式(4)と式(5)に示す  $F(z)$  および  $G(z)$  を解析すればよいことが分かる。

$$\bar{\theta}(z) = u_0 - (u_0 - \bar{\theta}_0)F(z) \quad (2)$$

$$\Theta(z)e^{i\omega t} = \Theta_0 \exp\{i\omega t - (k \cdot g(r_1) \sin \eta + \omega)iz/v\}G(z) \quad (3)$$

$$F(z) = \exp\{k(f(r_1) - 1)z/v\} \quad (4)$$

$$G(z) = \exp\{k(g(r_1) \cos \eta - 1)z/v\} \quad (5)$$

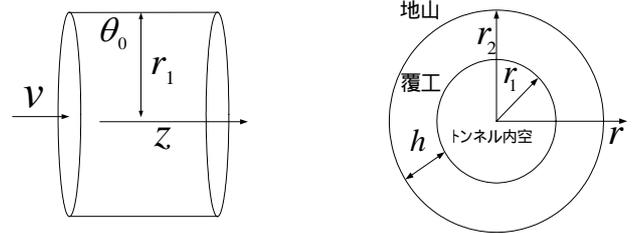


図 1. 延長方向のモデル 図 2. 半径方向の断面モデル

$\bar{\theta}_0$ : トンネル坑口における年平均気温

$\Theta_0$ : トンネル坑口における温度振幅

$u_0$ : 不易層の温度

## 3. 解析結果

3.2  $F(z)$  および  $G(z)$  に影響を及ぼすパラメータ

$F(z)$  および  $G(z)$  に影響を及ぼすパラメータには、風速、不易層の位置、地山熱伝達率、地山熱容量、トンネル内径、覆工厚等があるが、個々のパラメータを式(4)と式(5)において、一定の範囲内で変化させることでその特性の解析を行った。その一例として、風速を変化させた場合の解析結果を図 3 と図 4 に示す。図 3 は  $F(z)$  が風速に依存し、 $z$  が大きくなるに従って、 $F(z)$  が減少していく様子を示している。また、風速が遅いほど  $F(z)$  の減少の程度が大きくなり、風速がもっとも速い場合の減少の程度との差は大きく風速が  $F(z)$  に与える影響は大きいといえる。図 4 は  $G(z)$  と  $z$  の関係を示したものである。図 3 と同じ傾向がみられるが、図 3 と比較すると、 $G(z)$  のほうがより風速の影響を受けやすいと言える。

## 3.3 理論値と実測値の比較

雄信内トンネルと日勝トンネルの解析諸元を表 1 に示す。また、解析諸元以外の解析に必要なその他の

キーワード トンネル, 寒冷地, 温度解析, 断熱材, 実測値

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北十三条西八丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL011-706-6176

パラメータを表2に示す.これらを用いた解析結果と実測値を図5(雄信内トンネル)と図6(日勝トンネル)に示す.図5および図6より,トンネル内の年平均気温はトンネル坑口から延長方向に進むにつれ上がっていくことが分かった.また,トンネル内の温度振幅はトンネル坑口から延長方向に進むにつれ下がっていくことが分かった.図5および図6より明らかなように,トンネル内の年平均気温,トンネル内の温度振幅はともに理論値と実測値はほぼ一致しており,トンネル延長方向の温度算定式の妥当性を確認することができた.

表1. 二つのトンネルの諸元

	雄信内 トンネル	日勝 トンネル
内空断面積 (m <sup>2</sup> )	44.2	32.2
トンネル内径(m)	3.75	3.25
覆工厚 (m)	0.5 ~ 1.2	0.72
年平均気温 (°C)	6.0	1.5
年温度振幅 (°C)	13.4	14.2
延長距離 (m)	750	580

表2. 二つのトンネルのパラメータ

	雄信内 トンネル	日勝 トンネル
風速 (m/s)	0.9	0.5
地山の熱伝導率(W/mK)	5.0	6.0
地山の熱容量 (J/m <sup>3</sup> K)	4.2×10 <sup>5</sup>	4.2×10 <sup>5</sup>
不易層の温度 ( )	8.0	3.5

ここで,不易層の温度はトンネル坑口の年平均気温よりも2 高いとしている.

4.まとめ

トンネルに関係する個々のパラメータについて解析を行うことで,トンネル内の年平均気温,トンネル温度振幅に与える影響,また,その特徴をつかむことができた.

本研究では,トンネル延長方向の温度算定式を導出し,解析を行ったところ,解析結果は実測値に比較的近いものが得られ,その有効性を確かめることができた.

参考文献

- 1) 川下研介: 熱伝導論, オーム社, 1966
- 2) 関信弘: 伝熱工学, 森北出版株式会社, 1988
- 3) 山田雅士: 建築の断熱, 井上書院, 1981

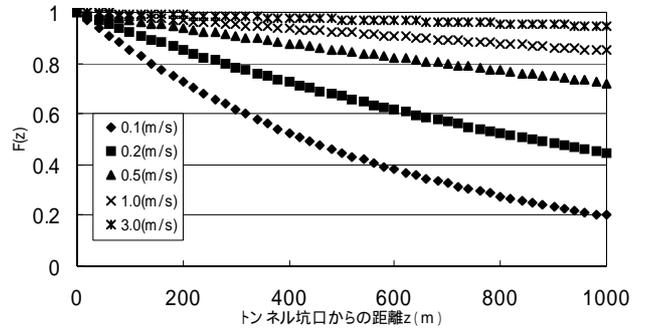


図3. 風速がトンネル内平均気温に及ぼす影響

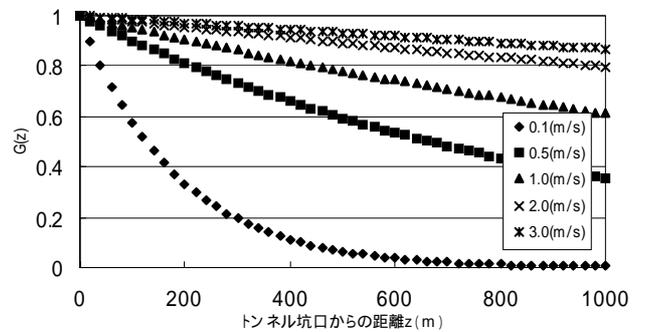


図4. 風速がトンネル内温度振幅に及ぼす影響

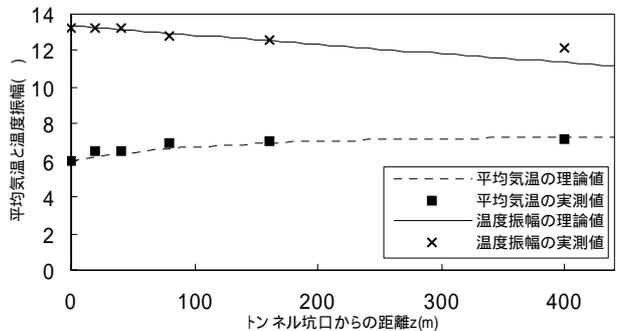


図5. 雄信内トンネルの平均気温と温度振幅

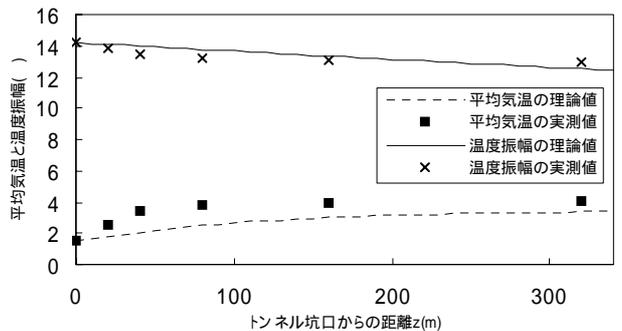


図6. 日勝トンネルの平均気温と温度振幅