

断熱材設計におけるトンネル延長方向の気温推定

○(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	岡田 正之
(株)エーテック	正会員	角谷 俊次

1. はじめに

北海道における道路トンネルの約半数において凍害による変状が認められるため¹⁾, 新設トンネルでは凍上防止の目的で坑口部に断熱材を施工しているが, 寒冷地では坑内・坑外の気温変動を正確に設定することは難しく信頼性の高い断熱材設計には至っていないのが現状である²⁾. そこで坑口気温ではアメダスの観測気温を利用した設定手法を提案し³⁾, 同時に従来法に比べて精度が高いことを確認しているが, 延長方向の気温推定は坑内・坑外の風向・風速, 通過車両の排気熱や坑内換気の影響などが複雑に絡み合う現象であるため非常に難しい. そこで本研究では断熱材設計の最適化・合理化のために7箇所のトンネル(図-1)で得られた坑内環境と気温変動を整理して, 延長方向における設計気温の推定を行ったものである.

2. 延長方向の気温変動

距離 $Z(m)$ において風速 $v(m/h)$ の空気が受ける熱量と周辺地山の供給熱量 Θ が等しいとすると気流の温度 U は式(1)となり, 厳密解は式(2)となる⁴⁾.

$$\frac{dU}{dz} = COF \left(\frac{\partial \Theta}{\partial r} \right)_{r=r_0} \quad (1) \quad , \quad U = U_z + A_z \sin(\beta z - \omega t) \quad (2)$$

$$COF = 2 \cdot \lambda / \gamma \cdot r_0 \cdot v \cdot C_p$$

ここで, トンネル半径 $r_0(m)$, γ = 空気比重 $1.251(kg/m^3)$, λ = 地山熱伝導率 $(kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C)$, C_p = 空気定圧比熱 $0.240(kcal/kg \cdot ^\circ C)$ であり, さらに式(2)の年平均気温 U_m , 振幅 A_z は式(3), (4)に示すように延長距離に伴って指数関数的に上昇もしくは減衰⁵⁾する.

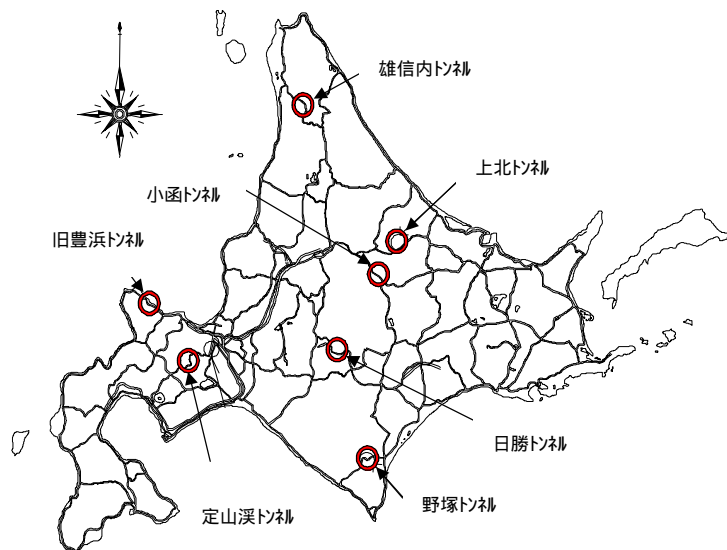


図-1 延長方向温度観測トンネル位置図

3. 観測値(逆解析)による気温変動

7箇所のトンネルでそれぞれ観測された延長距離に伴う年平均気温 U_z の上昇と年振幅 A_z の減衰は表-1に示すようになり, 式(3), (4)のように坑口からの延長距離に伴って指数関数的に平均気温 U_z は上昇し, 平均振幅 A_z は減衰する傾向が見られる.

また表-1より年平均気温 U_z ・年振幅 A_z の上昇・減衰の傾向は, 坑内風が強い野塚・豊浜トンネルおよびトンネル延長が比較的短い雄信内・日勝トンネル(グループ)と坑内風が弱い上北トンネルおよび小函・定山溪トンネル(グループ)の二つに分けることができる.

そこで, トンネル坑内において風向・風速の状況が異なる二つのグループの観測値より誘導された年平均気温 U_z と年振幅 A_z を係数 a_1, a_2 および b_1, b_2 と

定義して, その各係数を実際の観測気温から逆解析的に求める.

キ-ワ-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)

$$U_z = a_1 e^{b_1(-z)} \quad (3)$$

$$A_z = a_2 e^{b_2(-z)} \quad (4)$$

ここで観測された気温変動から逆解析的に求めたトンネル延長方向の年平均気温 U_z の上昇と年振幅 A_z の減衰を示すと図-2(a), (b)のようになる。

図-2(a), (b)より、坑内の風速が 1.0 ~ 1.5m/s(比較的強い)では年平均気温 U_z の上昇傾向と年振幅 A_z の減衰傾向はトンネル坑口からの延長距離が 100m 程度で収束(気温上昇:1.6, 振幅減衰:1.6)している。また坑内風が 0.5m/s 程度(比較的弱い)では、坑口からの延長距離が 200m ~ 300m で収束(気温上昇:4.2 上昇, 振幅減衰:4.6)している。

4. まとめ

本研究は寒冷地トンネルの断熱材設計における延長方向気温の合理的な設定を目的として、坑内風と延長方向における気温変動の傾向を整理した結果、延長方向気温は年平均気温 U_z と年振幅 A_z

表-1 延長方向の年平均気温、年振幅

雄信内トンネル	年平均気温	年振幅	定山溪トンネル	年平均気温	年振幅
0m	6.0	13.4	0m	4.2	13.7
20m	6.5	13.2	20m	6.7	13.3
40m	6.7	13.0	40m	7.3	12.6
80m	6.9	12.8	80m	7.6	12.1
160m	7.1	12.6	160m	8.5	11.6
400m	7.2	12.2	300m	9.1	11.2
上北トンネル	年平均気温	年振幅	558m	9.8	10.8
0m	2.8	14.3	日勝トンネル	年平均気温	年振幅
51.5m	4.0	10.8	0m	1.5	14.2
81.5m	4.5	9.9	20m	2.6	13.8
141.5m	5.3	8.5	40m	3.4	13.4
444m	7.7	8.3	80m	3.8	13.2
1,000m	9.3	6.8	160m	4.0	13.1
小函トンネル	年平均気温	年振幅	320m	4.1	13.0
0m	3.2	14.6	野塚トンネル	年平均気温	年振幅
20m	4.8	12.6	0m	3.68	13.1
40m	5.2	12.2	100m	4.15	10.5
80m	5.5	11.8	300m	4.45	9.5
160m	5.9	11.4	600m	4.64	8.8
300m	6.3	11.0	900m	4.85	8.5
560m	6.7	10.6	1,200m	5.05	8.2
733m	7.2	10.4	1,500m	5.25	8.0
(旧)豊浜トンネル	年平均気温	年振幅	1,800m	5.45	7.8
0m	9.2	12.2	2,100m	5.55	7.6
20m	9.4	12.0			
40m	9.6	11.8			
80m	9.8	11.4			
160m	10.2	11.0			
300m	10.5	10.8			
540m	10.8	10.6			

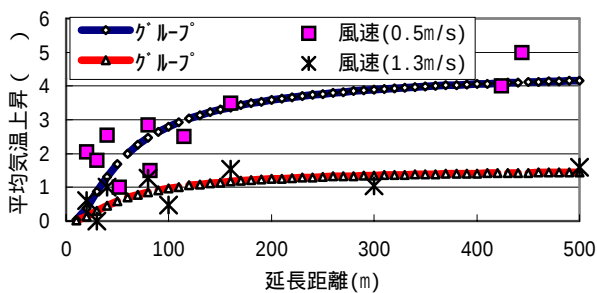


図-2(a) 延長距離における平均気温のタイプ別上昇傾向

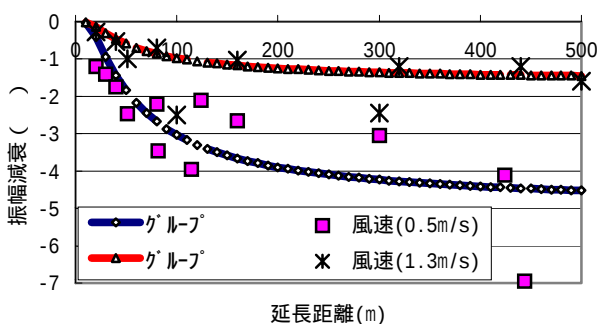


図-2(b) 延長距離における平均振幅のタイプ別減衰傾向

を坑内風の強弱を考慮することで実用的に求められ断熱材設計の最適・合理化が図れる。また今後は供用時の通行車両の排熱や強制換気を考慮したトンネル坑内の風向・風速および気温変動の設定が課題となる。

本研究は北海道土木技術会トンネル研究委員会（凍結防止分科会）における研究事業の一部であり、ここで関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂本稔, 川北稔, 五十嵐敏彦: 道路トンネルの変状実態-北海道の場合-, トンネルと地下, 第20巻5号, pp.31~35, 1989.
- 2) 三上 隆, 林 憲造, 権田静也: 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/ -24, pp.872-93, 1994.
- 3) 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.
- 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) 外尾善治郎: 坑道を流れる通気の温度について, 日本鉱業会誌, Vol.78, No.892, 1962.