

北海道新幹線におけるトンネル凍害対策(断熱材施工延長の検討)について(その2)

鉄道・運輸機構* 正会員 高木 康成 南 邦明
 パシフィックコンサルタンツ** 正会員 O 畠山 幸佑 松長 剛
 北海道大学*** フェロー 三上 隆

1. はじめに

北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)のトンネルでは、積算寒度が高く、トンネル覆工への凍害が懸念された。このため、凍害対策を検討する必要があった。著者らは、これまで既往の研究を参考にトンネル覆工への凍害対策としての断熱工について検討し、必要となる断熱材の施工厚さや施工延長を試算した¹⁾²⁾。本報告では、北海道新幹線において施工済みのBトンネルにて実施した覆工表面温度、外気温、風向風速計に関する計測結果の報告とBトンネルにおける計測結果を活用したAトンネルにおける断熱材の施工延長試算結果について報告する。

2. 断熱材の施工厚さと施工延長の試算方法

北海道新幹線における断熱材の施工厚さと施工延長の算定方法の詳細については文献¹⁾、文献²⁾を参照のこととするが、その概要を示す。トンネル外気温や坑内温度について、延長方向zに変化する年平均温度と年周期温度の片振幅の和と仮定し式(1)とする。次に、年周期温度の坑内減衰については文献³⁾で示される式(2)を用い、トンネル年平均気温の上昇については、坑内距離z=500mの位置でΔT上昇するとして算出した式(5)を用いる。各zで求まる温度条件に対しAldrichによる修正Berrgren⁴⁾の式を用いて、収束計算を実施のうえで断熱材厚が0(ゼロ)となる位置を施工延長とするものである。

$$\theta = T_m(z) + A_y(z) \sin\{(2\pi/364)t\} \tag{1}$$

$$A_y(z) = A_y(0) e^{-\kappa \cdot \cos \xi \cdot z} \tag{2}$$

$$\kappa = \frac{2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\omega Q / 2\lambda_4} \cdot \lambda_4}{\gamma \cdot r_0 \cdot C_p \cdot v \sqrt{1 + 2\left\{\sqrt{\omega Q / 2\lambda_4} / (a_f / \lambda_4)\right\} + 2\left\{\sqrt{\omega Q / 2\lambda_4} / (a_f / \lambda_4)\right\}^2}} \tag{3}$$

$$\xi = \pi/4 - \tan^{-1}\left[\sqrt{\omega Q / 2\lambda} / (a_f / \lambda)\right] / \left\{1 + \sqrt{\omega Q / 2\lambda} / (a_f / \lambda)\right\} \tag{4}$$

$$T_m(z) = \Delta T / \ln(500) \cdot \ln(z) + T_m(0) \tag{5}$$

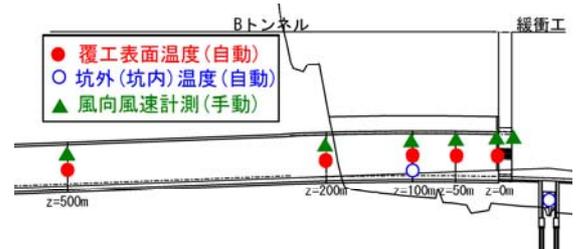


図1 Bトンネル計測概要図

3. 既設Bトンネルの計測概要

Bトンネルでの計測は、外気温からトンネル延長方向にかけて収束が予測される温度や風速の傾向把握を目的として平成26年7月から約1年間実施した。図1に温度計測概要図を示す。温度計測は計測機器設置による1時間毎の自動計測とした。坑外および坑内距離z=100mの位置では外気温(z=100mの場合は坑内気温)を計測し、坑口部(z=0)と坑内距離z=50m, 100m, 200m, 500mの位置では覆工表面温度を計測した。また、風向風速については、手動計測を4回×2/月実施した。

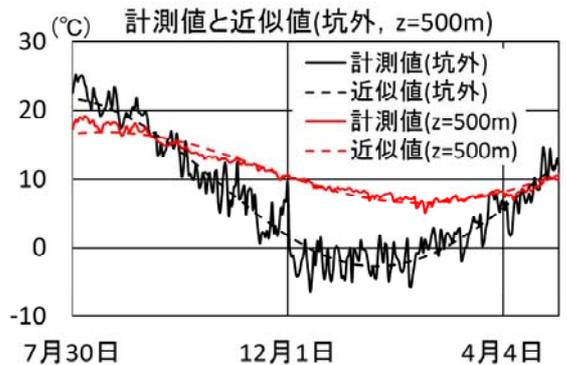


図2 計測結果一例

4. 既設Bトンネルの計測結果

4.1. 結果概要

図2に計測結果の一例として坑外気温と坑内距離z=500m位置における計測結果の日平均気温分布とその正弦波近似結果を示す。また、表1に全計測位置における計測結果の正弦波近似値を示す。図2と表1より、坑外における気温変動は大きいもののトンネル坑内では変動が小さくなる様子が確認できる。

表1 近似計算結果

	外気温	坑口部 (z=0m)	z=50m	z=100m (坑内)	z=100m	z=200m	z=500m
年平均 (°C)	9.50	10.64	11.31	11.49	11.46	11.69	11.72
年振幅 (°C)	12.18	9.87	7.39	7.31	6.87	6.05	5.20

風速については、±0~2.0m/sのほぼ一定値を示した。

キーワード：トンネル 凍害 断熱材

連絡先： * 〒060-0002 北海道札幌市中央区北二条西1-1 TEL 011-231-3491 FAX 011-231-3500
 ** 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3丁目22番地 TEL 03-6777-4739 FAX 03-3296-0515
 *** 〒060-0808 北海道札幌市北区北8条西5丁目 TEL 011-716-2111 FAX 011-706-2432

4.2. 坑外気温と坑口部温度

文献¹⁾では坑外気象条件を設計上の入力値としてきたが、その妥当性検証を目的としてBトンネルの坑外気温と坑口部(z=0)での計測結果について比較検討を実施した。

図3に外気温と坑口部坑内気温の分布を示す。図3より、坑外気温から坑口部(z=0)にかけて年温度振幅は減少し(13.9%, 1.7°C), 年平均気温は上昇(12%, 1.1°C)することが確認できる。本傾向は、新幹線トンネルの場合には、坑口前に緩衝工(図1参照)が設置されることが主要要因と考えられる。

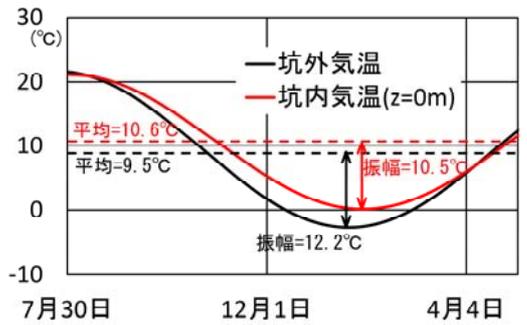


図3 外気温と坑口部坑内気温分布

4.3. トンネル内年平均気温の上昇

図4にBトンネルにおける年平均気温の延長方向分布を示す。文献²⁾では、年平均気温については、坑内距離z=500mの位置で坑口部(z=0m)よりも4°C上昇すると仮定し試算を実施したが、Bトンネルでは1.1°Cの上昇にとどまった。そこで、後述する5.の試算では、式(5)をΔT=1.1°Cとした式(6)を用いることとした。

$$T_m(z)=0.17700\ln(z)+T_m(0) \quad (6)$$

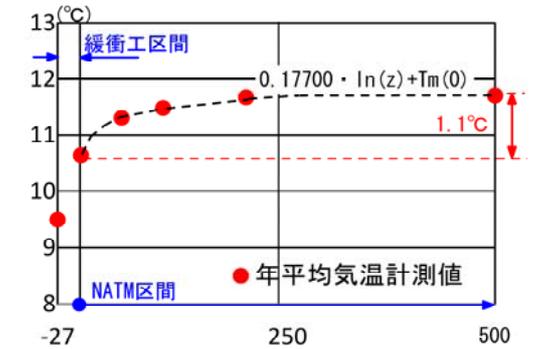


図4 年平均気温の延長方向分布

5. Aトンネル試算結果

図5にAトンネルにおける試算結果を示す。文献²⁾からの変更点は次の通りである。1)年平均気温の坑内上昇幅は計測結果より1.1°Cとした。2)風速は文献⁵⁾より両坑口の気圧差より算定しv=1.28m/sとした。3)入力値として4.2に示した緩衝工設置による効果を考慮する。ただし、トンネル貫通から緩衝工完成までに数年程度要することから、坑口部から緩衝工に相当する約30mの区間は文献²⁾と同値(T_m(0)=8.1°C, A_y(0)=15.63°C)とし、坑内距離30m以降は補正した値(T_m(0)=8.1+1.1=9.2°C, A_y(0)=15.63×86.1%=13.46°C)を入力値とした。

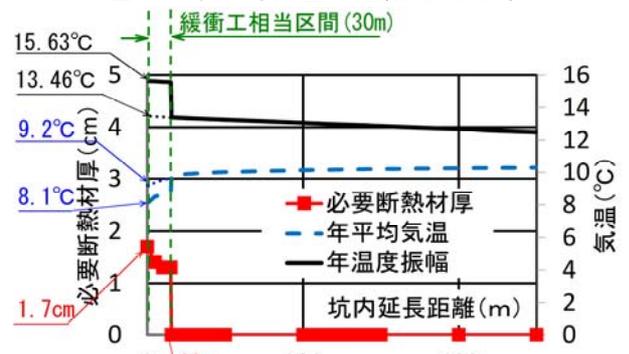


図5 Aトンネル試算結果

図5より、Aトンネルにおける必要断熱材厚は、坑外の気象条件で決定されるため文献²⁾と同じとなるが、施工延長については、トンネル貫通から緩衝工完成までを考慮した坑口部から30mとなることが確認でき、合理化設計が可能となる。

6. まとめ

本研究では、既往研究や文献¹⁾をもとに提案した文献²⁾の断熱材施工延長の算定方法について、Bトンネルの計測結果踏まえて、その妥当性を検証し、新幹線トンネルにおける温度傾向に即した境界条件の設定方法を提案した。

その結果、トンネル貫通後の緩衝工設置に伴う効果やトンネル坑内における年平均気温の上昇を適切に反映のうで設計の合理化を提案することができた。

【参考文献】

- 1) 鳥井宏之, 米澤豊司, 南 邦明, 三上 隆: 北海道新幹線におけるトンネル凍害対策(断熱工厚さの検討)について, 第70回土木学会年次学術講演会概要集, 2015.9
- 2) 前田洸樹, 南邦明, 鳥井宏之, 三上 隆: 北海道新幹線におけるトンネル凍害対策(断熱工施工延長の検討)について, 第70回土木学会年次学術講演会概要集, 2015.9
- 3) 岡田勝也: 鉄道トンネルにおける断熱処理によるつらら防止工法に関する研究, 鉄道技術研究報告, No.1324,1986.9
- 4) Aldrich,H.P.: Frost penetration below highway and airfield pavements,Highway Research Board Bulletin 135, pp.124~149, 1956.
- 5) 石村利明, 森本智, 角湯克典: トンネル内の自然風の把握および予測に関する検討, 第64回土木学会年次学術講演会概要集 2009.9