

道路トンネルの路面温度分布特性把握と路面温度推定手法の基礎検討

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○高橋 尚人

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 徳永ロベルト

(財) 日本気象協会北海道支社 西山 直樹

1. はじめに

道路トンネルの坑口近傍では、冬期に事故が多発する場合がある。坑口近傍での路面温度及び路面状態の急変が一因と考えられ、対策としてロードヒーティングを設置しているトンネルがある¹⁾。本研究では、トンネル区間における適切な冬期道路管理に資するため、トンネル区間での路面温度特性の把握と路面温度推定のための基礎的な検討を実施した。

2. トンネル区間の路面温度分布特性の把握

トンネル区間の路面温度分布特性を把握するため、赤外放射温度計等を装備した観測車を走行させ、路面温度分布等を観測するサーマルマッピングを実施した(図1、表1)。データサンプリング間隔は200msec(時速40kmで走行する場合には約2.2mに1個のデータを収録)で、実際の観測では、加減速や信号などでの停止が発生するため、距離10m間隔ごとの区間平均値を求めて解析に用いた。

本研究の対象トンネルは、一般国道230号札幌市の定山溪トンネル(L=1,124m)で、サーマルマッピングは、平成21年1月17日13時から1月18日12時まで、平成21年3月17日6時から15時までの計2回実施した。トンネル内路面温度の時間変化を把握するため、各観測期間中は1時間間隔でサーマルマッピングを行った。



図1 移動観測車

表1 観測項目と搭載機器

観測項目	搭載機器	仕様
路面温度	非接触式放射温度計	-18~25℃
気温	白金抵抗温度計 気温変換器	-50~50℃
風向風速	風車型風向風速計	0~60m/s
日射	ネオ日射計	感度 7mV/kWm2
位置情報	GPSセンサ ジャイロセンサ	多衛星同時測位
路面状態(動画)	高感度ビデオカメラ	VHS

図2にサーマルマッピング結果例を、図3に1月17日13時~18日12時までの路面温度分布の時間変化を示す。サーマルマッピングの結果、トンネル区間の路面及び気象要素について以下の点を確認することができた。

- ・トンネル外の区間では、日中の時間帯に路面温度と気温の差が大きく、路面温度への日射の影響が大きいと考えられる。
- ・トンネル外に比べるとトンネル内の路面温度は高く、路面温度の変化も小さい。
- ・トンネル坑口から5m程度で日射量は0になる。
- ・トンネル内では風速は安定しているが、坑口前後区間で局所的な風速の変化が見られる。

また、トンネル坑口前後での路面温度変化を図4の箱ひげ図で示す。トンネル内では路面温度変化が小さくなり、坑口から25m地点以降は、外気温の変化にかかわらず路面温度の変動はほぼ一定となる。トンネル坑口前後での路面温度変化は、前後の橋梁区間の路面温度変化と比べて小さいが、トンネル内外での照度の変化¹⁾なども含めた運転環境の急変がドライバーの運転負荷を増加させると考えられる。

なお、坑口から約300m地点、400~500m地点で局所的に路面温度が高いのは、トンネル内の附属施設の影響か、トンネル下の水脈の影響と推察される。

キーワード トンネル、路面温度、サーマルマッピング

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 Tel: 011-841-1738

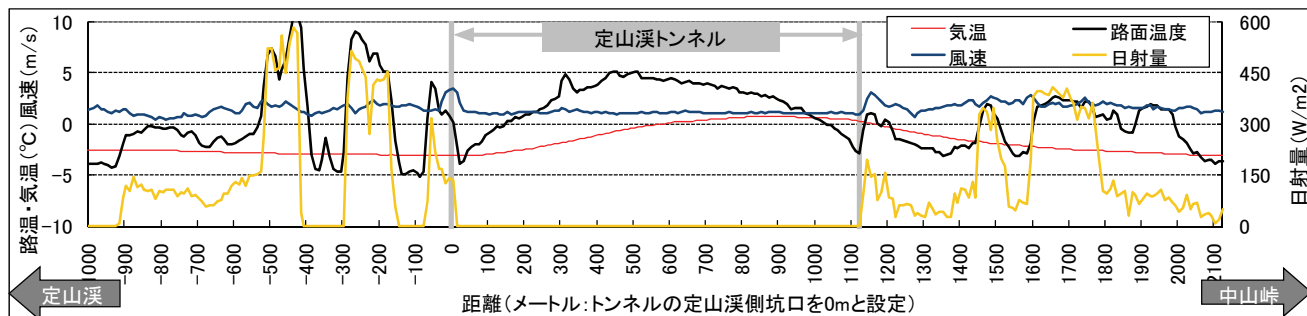


図2 サーマルマッピング結果例 (実施日時: 平成21年1月18日12時)

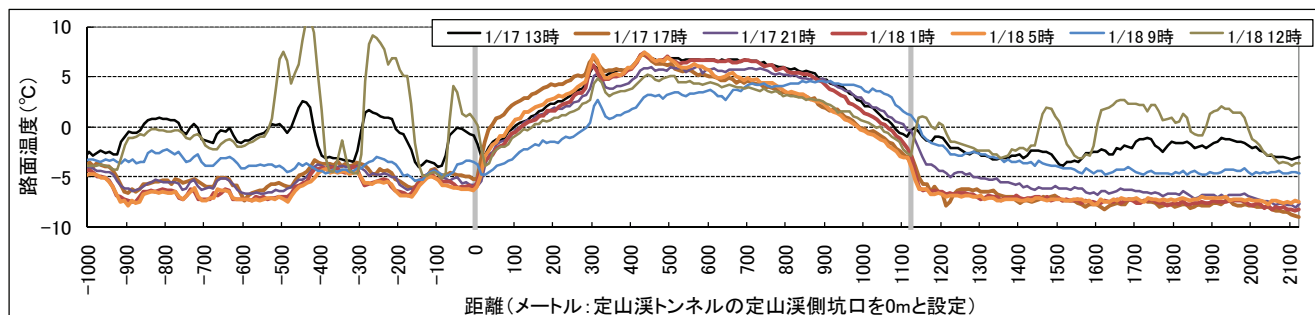


図3 路面温度分布の時間変化 (平成21年1月17日13時~18日12時)

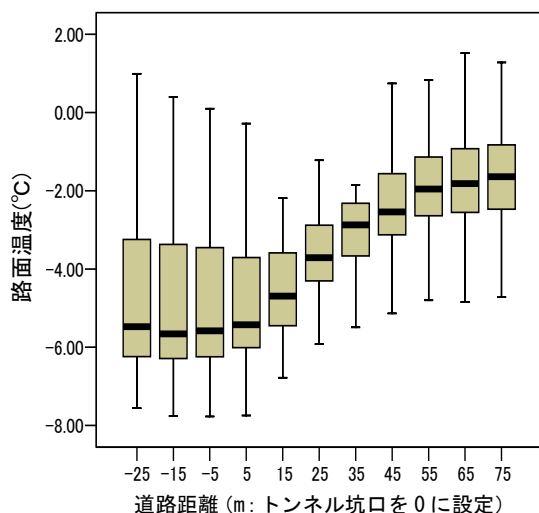


図4 坑口前後での路面温度変化

(平成21年1月17日13時~18日12時)

3. トンネル内路面温度推定モデルの検討

トンネル内では日射が完全に遮蔽されるため、路面に入力する熱量はトンネル壁面からの放射と走行車両の影響(車体による壁面放射の遮蔽と車体底面からの熱放射)で決定される(式(1)、式(2))。

$$R^{\downarrow} = \sigma \varepsilon_r T_s^4 + H + LE + G \quad (1)$$

$$R^{\downarrow} = (1 - t_r) \sigma \varepsilon_t T_t^4 + t_r \varepsilon_v T_v^4 \quad (2)$$

$R^{\downarrow}$ = 路面に入力する熱量

ε = 放射率 (ε_r = 路面放射率, ε_t = トンネル壁面放射率, ε_v = 車体底面の放射率)

σ = ステファン・ボルツマン係数

T = 温度 (T_s = 路面温度, T_t = トンネル壁面温度, T_v = 車体底面温度)

H = 顕熱伝達熱量

LE = 潜熱伝達熱量

G = 地中伝達熱量

上記式を用いて、トンネル内の路面温度分布を推定した結果を図5に示す。平均二乗誤差(RMSE)は、概ね2℃程度だが、最大で8℃近い誤差が生じる場合があった。

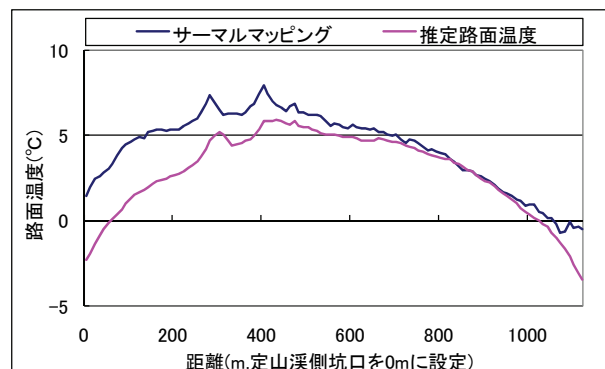


図5 トンネル内の路面温度推定結果

(平成21年1月17日13時)

4. まとめと今後の課題

サーマルマッピングを集中的に実施することによって、トンネル区間での路面温度と気象要素の特性を詳細に把握できた。トンネル内の路面温度推定については、天空が完全に遮蔽されている状態の熱収支モデルを構築することで、トンネル内の路面温度分布の傾向を再現できたが、パラメータ値の精査及び検証によって更に精度向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 永田泰浩、竹内政夫、丹治和博、萩原亨：冬の春志内トンネルにおける照度・路面調査、寒地技術論文・報告集 vol. 16, pp283-290、2000