

恒温地熱によるトンネル内融雪施設への利用に関する研究

山口大学大学院

(株)エイトコンサルタント

山口大学

山口大学

山口大学大学院

学生員 ○郡内 康栄

正会員 永井 泉治

正会員 浜田 純夫

正会員 中村 秀明

学生員 吉武 勇

1. はじめに

積雪による交通障害の一つとして、路面の凍結に伴う車輛のスリップ事故の発生が挙げられる。現在、我が国で実施されている冬期路面管理方法としては、機械除雪や散水消雪、凍結防止剤の散布および凍結抑制舗装などが挙げられるが、それぞれ一長一短の特性を有する。

ここで、埋設パイプ式ロードヒーティングシステムの一つに、地下100~150mの地下水を汲み上げ舗装体内のパイプに循環させ、路面上の融雪を行う方法が経済性、融雪効果の高さから注目を集めている。本研究の主目的は、トンネル出口部の冬期路面管理に関し、外気温の影響を受けにくいと予想されるトンネル内の温度、地熱、湧水等を利用した温水パイプ式ロードヒーティングシステムの構築であり（図-1 参照）、本稿はその一環として、トンネル内の温度計測およびそれを用いた数値解析を行ったものである。

2. 積雪時におけるスリップ事故の形態

積雪時における車輛のスリップ事故に及ぼす諸要因の各影響度を把握するため、北海道および青森県の交通年鑑（H10 年度分）よりスリップ事故の調査を行ったところ、冬期間で全車輛事故件数に対するスリップ事故率は約5割を占めていた。また図-2より、山岳道路(国道274号線)では全事故数に対してトンネル出口付近の事故が約2割を占めており、橋梁付近での事故件数とほぼ等しい値を占めていた。このことより、トンネル出口付近はスリップ事故が発生し易い箇所の一つであることが分かる。

3. トンネル内部温度計測

季節変化に伴うトンネル内部の気温や地熱、湧水の温度変化を把握するため、現在供用されている美郷トンネル、および建設中の平成トンネル、大水峠トンネルにおいて各々の温度計測を行った。ここで、表-1に各トンネルの冬期における湧水温度を示すとともに、図-3に大水峠トンネル（トンネル軸直角方向深さ4m）の地熱の温度分布を示す。表-1の結果より、冬期においても湧水は約12℃程度と比較的高い温度を有していることが分かる。図-3の結果より、トンネル内の地熱も比較的高い温度を有しており、また深さが増すにつれ温度が徐々に収束していく結果となった。

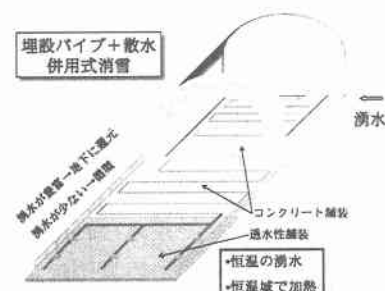


図-1 トンネル内部加熱方法

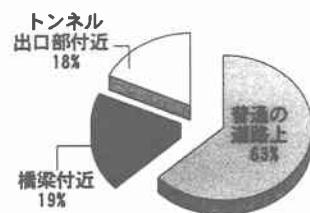


図-2 山岳道路のスリップ事故率

表-1 湧水温度（H10～H11測定）

	湧水温度（℃）
美郷トンネル	11.6
	12.5
平成トンネル	12.3
	11.8
大水峠トンネル	14.6

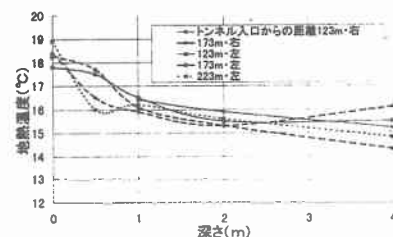


図-3 大水峠トンネルの計測結果

4. トンネル出口部付近を対象とした数値解析

4.1. 解析方法

トンネル内外にわたって配置した融雪パイプ送水用の温水パイプ（以下、基本パイプと表す）に着目し、その熱収支を数値モデルに置き換え、トンネル軸方向における基本パイプの温度変化（式(1)参照）、および基本パイプを中心とした周辺部の温度分布の解析（式(2)参照）を行った。ここで、 $\rho, \lambda, C, A, s, v, t, T, r$ はそれぞれ密度、熱伝導率、比熱、パイプ断面積、位置、流速、時間、温度、半径を示す。

$$C_w \rho_w A v \left\{ \left(T_w + \frac{\partial T_w}{\partial s} \frac{ds}{2} \right) - \left(T_w - \frac{\partial T_w}{\partial s} \frac{ds}{2} \right) \right\} + Q + C_w \rho_w A ds \frac{\partial T_w}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T_c}{\partial r} \right) \quad (2)$$

なお本研究では運転開始からの経時変化にともなう基本パイプの水温変化およびトンネル中央部に埋設したタンク（常時一定の温度を保持する）の有無が及ぼす影響について検討を試みた。

4.2. 解析結果

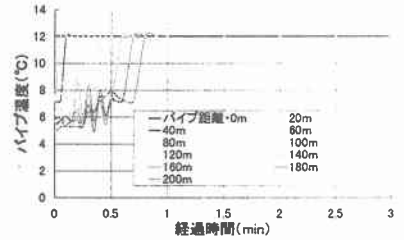
本研究では美郷トンネルの温度計測結果をもとに、タンクを埋設した場合およびタンクなしの場合について基本パイプの温度解析を行った。トンネル軸方向における基本パイプの温度解析結果を図-4に示す。この結果より、タンクを埋設した場合の基本パイプの温度は運転開始 1 分後には湧水温度に収束し温度変化が生じないため、基本パイプ長 200m の範囲内では短時間で融雪用パイプに一定の熱供給が行えるものと思われる。なお、タンクなしの場合では地熱に応じた温度変動がみられたため、地熱等が低温である場合は、ヒーター等で十分に暖める必要があるものと考えられる。また、本研究の解析では基本パイプ内の水の混合は考慮していないため、タンクなしの場合において基本パイプの大きな温度変動が生じた。しかし、実際にはパイプ内の水は混合されているため、今後その影響も考慮した解析モデルの構築を図る必要があると考えられる。

次に、トンネル軸直角方向における周辺部の温度分布の解析結果を図-5に示す。これより、タンクの有無に関わらず、パイプ表面から 2m 以上離れている箇所において、パイプ周辺部の温度に変化はみられないことがわかる。

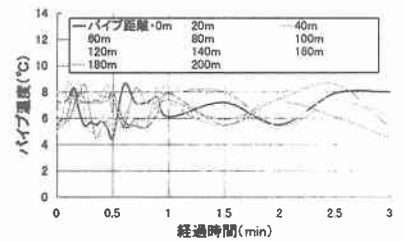
5. 結論

本研究で得られた結論を以下に要約する。

- ① 積雪時の山岳道路におけるスリップ事故では、トンネル出口部付近での事故件数が高い割合を示している。
- ② 冬期においても、湧水・地熱は比較的高い温度を有している。
- ③ 恒温域のタンクが埋設されている場合には、短時間で融雪用パイプに一定の熱供給を行うことが可能である。
- ④ タンクの有無に関わらず、パイプ表面から 2m 以上離れている箇所において、パイプ周辺温度に変化はみられない。

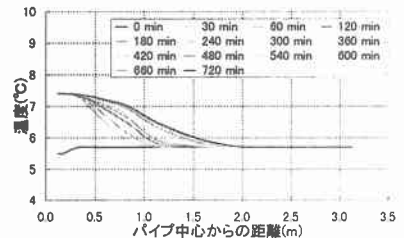


タンク有り（往路：トンネル→出口）

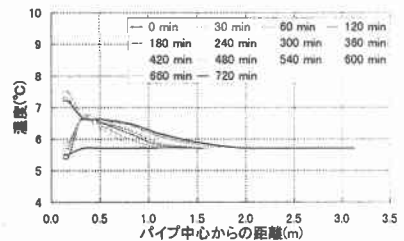


タンクなし（往路）

図-4 トンネル軸方向のパイプ温度



タンク有り（道路中央部）



タンクなし（道路中央部）

図-5 トンネル軸垂直方向の温度分布