

供用中の道路トンネルにおける気温計測結果に基づくつらら発生予測

山口大学大学院 学生会員 ○近藤 禎信, 正会員 林 久資
フェロー会員 進士 正人
松江工業高等専門学校 正会員 岡崎 泰幸

1. はじめに

我が国では、冬季のトンネル坑内において覆工コンクリート（以下「覆工」と称する）につららが発生することがある。覆工に発生するつららは、通行する車や鉄道の車体・窓ガラス等の破損、電気設備に損傷を与える要因となるため、道路管理者は毎日早朝にパトロールや手作業での除去作業によりつらら関連被害を未然に防いでいる。これらの作業は安全のため交通規制を伴うなど、道路管理者への負担が大きいことが問題となっている。しかし、トンネル坑内におけるつららの発生メカニズムには、気温や坑内風などの気象条件の要因、地下水による覆工のひび割れ・打継ぎ目からの漏水の状況や覆工の健全度が複雑に関係していると考えられるため、トンネル坑内に発生するつららの予測は困難である。

そこで、本研究では冬季のトンネル維持管理におけるつらら対策の省力化に寄与するため、トンネル坑内環境の計測結果の分析によるトンネル坑内のつらら発生日の予測を試みた。トンネル坑内環境がつらら発生に与える影響を調べるため、島根県が管理するトンネルのうち、冬季パトロール時につらら発生の報告があったトンネルを選定し、計測結果から重回帰分析によるつらら発生予測式を構築した。

2. 坑内環境計測の概要

覆工の打継ぎ目や導水工の劣化部、メッシュシート等から漏水によるつららの発生(図-1 参照)が報告された島根県が管理するトンネル 2 本において坑内気温の計測を行った。各トンネルの詳細について表-1 に示す。気温の計測方法はトンネル中央地点と坑口から 10m 地点に路面から高さ 1m の覆工に計測機器を設置(図-2 参照)し、10 分ごとの平均気温を計測した。気温計測機器には T&D 社の TR-42 を用い、2020 年 12 月から 2022 年 3 月にかけて計測を行った。対象期間中のつらら発生日は各トンネル合わせて 27



図-1 つらら発生の様子

表-1 測定対象トンネルの詳細

トンネル名	全長(m)	スパン数	建設年(年)	工法	点検年(年)
Aトンネル	110	13	1985	在来工法	2018
Bトンネル	194	22	1977		2016

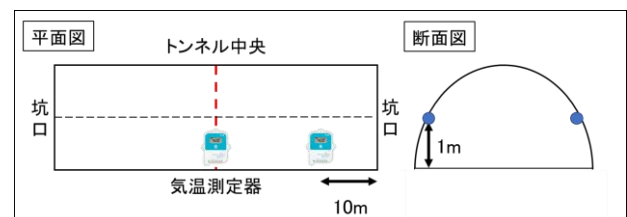


図-2 測定機器と配置機略図

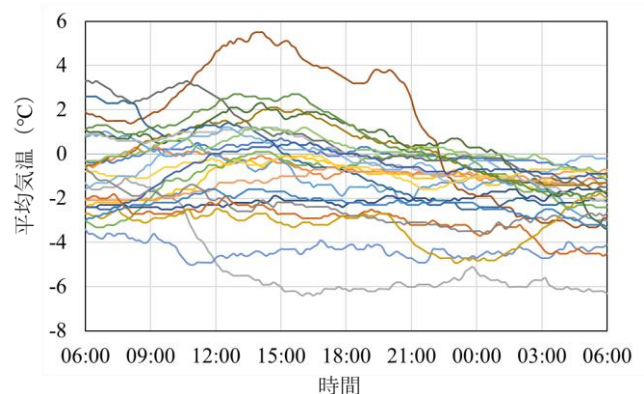


図-3 つらら発生日における気温の推移

日である。対象の 2 本のトンネルにおいては、12 月から 2 月にかけてトンネル坑口付近でつらら発生が報告されていたため、トンネル坑内環境の分析では 12 月、1 月、2 月のトンネル坑口から 10m 地点における気温計測結果を用いた。

キーワード トンネル, つらら, 積算気温, 重回帰分析

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL0836-85-9306

3. 計測結果

A トンネル坑内の1月、2月におけるつらら発生日24日における平均気温の経時変化を図-3に示す。本研究では、朝のパトロールによってつららを観測した場合、前日の6時からつらら観測日の6時までの平均気温の記録を「つらら発生日」と定義した。このグラフからつらら発生日の気温は日の入り時刻である17時から深夜にかけて気温がなだらかに低下していることがわかった。

各つらら発生日において平均気温の推移にはばらつきがみられる。そこで、つらら発生条件の解明のため、6時から18時までを日中、18時からつらら観測日の6時までを夜間として、A トンネルの各時間帯における積算気温の関係(図-4 参照)を確認した。ここで、本研究における積算気温とは計測で得られた10分ごとの平均気温を積算したものとする。この結果より、A トンネルにおける日中の積算気温の範囲は-4230 (°C・分)～5860 (°C・分)、夜間の積算気温が-4310～5070 (°C・分)を示す。また、つらら発生日に着目すると日中の積算気温が-2930～2530 (°C・分)、夜間の積算気温が-4310～-68.0 (°C・分)の範囲を示すことがわかる。このことから、夜の積算気温が-68.0°C以下を示すとき、つらら発生の可能性がある。

しかしながら、夜間の積算気温-68.0 (°C・分)以下を示した一方で、つららが発生していない日が44日確認できる。これらは覆工背面の水が存在していない場合と前日のつらら除去作業後覆工背面の水が凍っている場合が考えられる。そのため、つらら発生予測には発生要因の複合的な分析が必要と判断した。

4. 重回帰分析によるつらら発生日の予測

つらら発生要因の複合的な分析のため、統計ソフトウェアJMP Pro 16を利用し、重回帰分析による予測式¹⁾²⁾を構築した。説明変数は「つらら発生日前日の夜間の積算温度」、「つらら発生日前日の日中の積算温度」、「前日のつらら落とし作業の有無」、目的変数を「つらら発生の有無」とした。対象としたトンネル2本における重回帰分析による予測結果を表-2、表-3に示す。ここで正解数を全体数で割ったものを一致率とし、一般的に一致率が75%を超えると有効な予測結果³⁾とされる。これらの表よりAトンネルの一致率は77.2%、Bトンネルの一致率は88.9%を示したため、有効な予測結果と判断できる。また、各トンネル

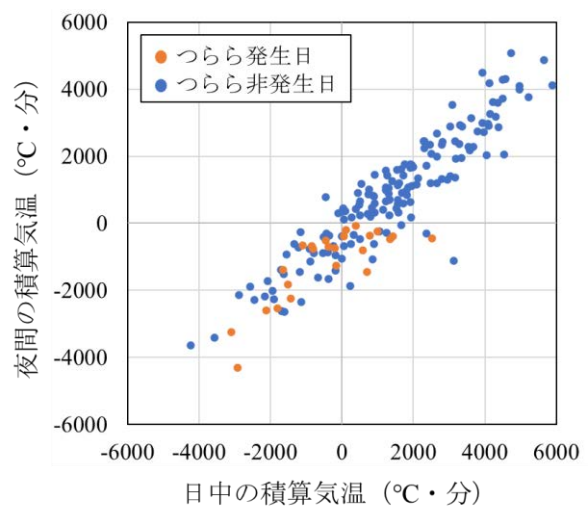


図-4 A トンネルにおける日中積算気温と夜間積算気温の関係

表-2 A トンネルの予測結果

		実際のつららの有無	
		発生	なし
予測	発生	18日	35日
	なし	6日	121日

表-3 B トンネルの予測結果

		実際のつららの有無	
		発生	なし
予測	発生	7日	19日
	なし	1日	153日

の予測のつらら発生なし項目に着目すると、120日以上つらら未発生を予測できているのに対し、Aトンネルでは6日、Bトンネルでは1日つらら発生を予測できていないことがわかる。このような予測結果は、つらら発生時に適切な措置が行えないことが考えられる。今後は予測精度向上のため、有効な説明変数の検討を続けて行う予定である。

参考文献

- 1) 下川敏雄：JMPによる保健・看護研究のための医学統計学入門，第1.1版，pp43-49.
- 2) 廣野元久：JMPによる技術者のための多変量解析，第1版，日本規格協会，pp254-273，2018.
- 3) 内田治，平野綾子：JMPによるデータ分析 第2版，東京図書，pp216-231，2015.