

凍結防止剤散布環境下にある道路トンネル坑口部の付着塩分量の調査

松江工業高等専門学校 学生会員 ○森山璃宇, 正会員 岡崎泰幸, 正会員 武邊勝道
 JFE シビル株式会社 非会員 桑山紗綾
 西日本工業大学 正会員 林 久資

1. はじめに

現在の我が国における道路トンネルの多くは高度経済成長期に集中的に整備されたものであることから、それらの今後の維持管理が大きな課題となっている。特に、2012年に発生した笹子トンネル天井板崩落事故を契機として、道路トンネルにおける附属物の維持管理の重要性が高まっている¹⁾。道路トンネル内の附属物である対策工や照明、ジェットファンなどはその多くが金属を使用した製品であり、トンネル坑内が高湿度下などの過酷な腐食環境であることから、腐食劣化による附属物の落下事故が近年でも問題となっている。

一方で、道路トンネルの坑口まで散布された凍結防止剤が車両の走行により坑内まで運ばれ、坑口周辺の覆工コンクリート等に塩分が付着・浸透していることが明らかとなっている²⁾。このような塩分の付着は金属の腐食劣化を促進させる主たる要因の1つであることから、坑口周辺のトンネル内附属物に対して適切な予防保全対策を実施していくためにも、凍結防止剤の散布が道路トンネル坑口部の付着塩分状況に及ぼす影響を事前に把握しておく必要がある。しかしながら、凍結防止剤散布下にある道路トンネル坑口部の付着塩分量を調査した事例は少ないのが現状である。

そこで、本研究では、凍結防止剤の散布が道路トンネル坑口部の付着塩分量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、道路トンネル坑口部に複数枚のステンレス鋼板を設置した。そして、暴露期間後に鋼板表面から付着塩分を採取して付着塩分量を求め、坑口部の各位置における塩分量の比較などを行った。

2. 現場観測と分析方法

(1) 現場観測

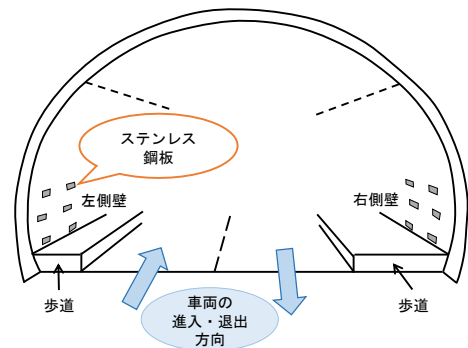
本研究では、道路トンネル坑口部における付着塩分
 キーワード 道路トンネル, 凍結防止剤, 坑口部, 付着塩分量, 附属物
 連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 松江工業高等専門学校

TEL 0852-36-5224

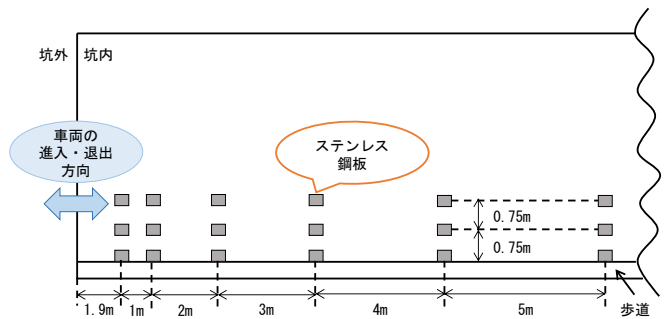
表1 調査対象とした二車線道路トンネルの概要³⁾

| トンネル | 延長 (m) | 幅員 (m) | 竣工 (年) | 凍結防止剤散布量 (kg/km/day) | 平日12時間交通量 (台) |
|------|--------|--------|--------|----------------------|---------------|
| A | 130 | 9.75 | 2003 | 13.8 | 1121 |
| B | 115 | 8.5 | 1993 | 76.7 | 840 |
| C | 110 | 7.0 | 1985 | 76.7 | 840 |

※凍結防止剤散布量については、暴露期間中の凍結防止剤散布総量を散布区間の往復距離と暴露期間で除すことにより求めた。



(a) トンネル断面方向図



(b) トンネル縦断方向図

図1 トンネル坑口部における金属板の設置位置

分量の調査を行うために、50mm×100mm×1mm (厚さ) のステンレス鋼板 (SUS304 JIS G4305 2B) を道路トンネル坑口部に複数枚設置した。表1に、調査対象とした二車線道路トンネルの概要を示す。また、ステンレス鋼板については、図1に示すように道路トンネル坑口部両側壁に設置した。加えて、ステンレス鋼板の暴露期間は冬期 (2020年12月15日~2021年3

月15日)と夏期(2021年6月17日~2021年9月17日)の2種類とし、期間は約3ヶ月間とした。

(2) 付着塩分の採取方法と分析方法

付着塩分の採取は設置したステンレス鋼板の表面をガーゼで拭き取ることにより行った。採取した付着物をイオン交換水に溶解し、その溶液の塩化物イオン濃度をイオンクロマトグラフ法により定量した。定量後は塩化物イオン濃度(mg/l)を付着塩分量(mg/m^2)に換算した。

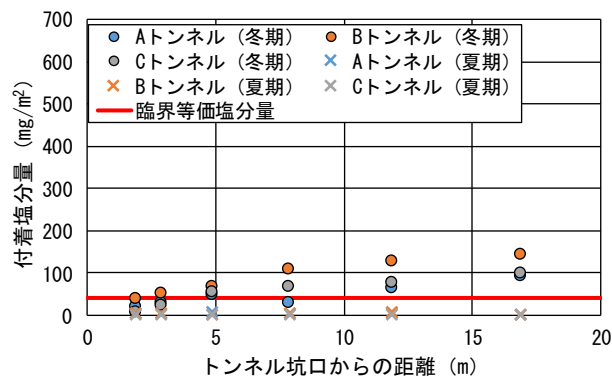
3. 分析結果と考察

(1) トンネル坑口部左側壁における付着塩分量

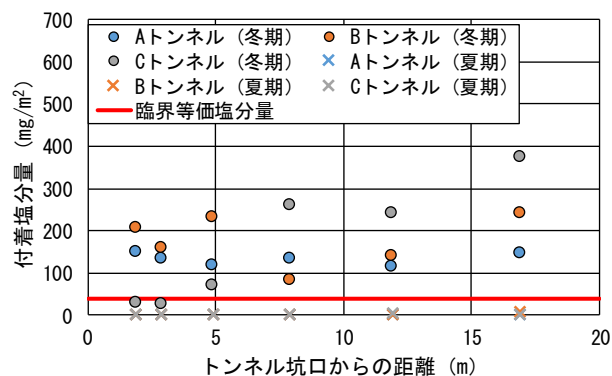
図2に分析により得られたトンネル坑口部左側壁における付着塩分量を示す。ここでは、図を見やすくするために設置高さ別に整理した。また、図中には比較対象の1つとしてSUS304ステンレス鋼の臨界等価塩分量($40\text{mg}/\text{m}^2$)⁴⁾を示した。

図2から、冬期に設置したステンレス鋼板の多くで付着塩分量が臨界等価塩分量を上回っていることがわかる。一方で、夏期に設置した全てのステンレス鋼板の付着塩分量が臨界等価塩分量を下回っており、付着塩分量の値自体が極めて低いことがわかる。これらの結果から、凍結防止剤の散布により道路トンネル坑口部に塩分が付着し、坑内の場所によってはトンネル内附属物の腐食劣化が促進させられる可能性があることがわかった。各図の付着塩分量の比較から、特にトンネル坑口部の路面からの高さ1.0m程度の位置でその可能性が高いといえる。加えて、一冬期の凍結防止剤の散布でトンネル坑口部側壁への付着塩分がある程度観測されたことから、凍結防止剤の散布の繰り返しによりトンネル坑口部上部などでも付着塩分が多量に観測される可能性が示唆された。また、図2の各図から、凍結防止剤の散布量が多い区間のトンネル(B, Cトンネル(冬期))ほど、付着塩分量が多い傾向にあることがわかる。しかしながら、凍結防止剤散布量の比率ほどの違いは多くの位置で確認できなかった。これは、Aトンネルの方がB, Cトンネルと比較して交通量が多く、車両の走行によって凍結防止剤由来の塩分が飛散する回数が多いことが1つの要因として考えられる。

加えて、凍結防止剤由来の塩分は車両の走行によって飛散するため、路面からの距離が離れるほど付着塩分が小さくなると考えられるが、図2(b)から実



(a) 路面からの高さ 0.3m



(b) 路面からの高さ 1.0m



(c) 路面からの高さ 1.8m

図2 トンネル坑口部左側壁における付着塩分量

際には路面からの高さ1.0mに設置したステンレス鋼板の付着塩分量が最も多くなっていることがわかる。さらに、坑口からの距離が離れるほど付着塩分量が小さくなるとも考えられるが、図2(a)(b)から実際には坑口から距離が離れるほど付着塩分量が多くなる傾向にあることがわかる。これらの要因としては、車両の走行によって巻き上げられた路面滞水により、路面および坑口から近い位置のステンレス鋼板に付着した塩分が洗い流された可能性が考えられる。

(2) トンネル坑口部右側壁における付着塩分量

図3に分析により得られたトンネル坑口部右側壁における付着塩分量を示す。ここでは、図2と同様に図を見やすくするために設置高さ別に整理した。

また、図中には比較対象の1つとして SUS304 ステンレス鋼の臨界等価塩分量 ($40\text{mg}/\text{m}^2$)⁴⁾を示した。

図 3 から、冬期に設置したステンレス鋼板の多くで付着塩分量が臨界等価塩分量を上回っていることがわかる。一方で、夏期に設置した全てのステンレス鋼板の付着塩分量が臨界等価塩分量を下回り、付着塩分量の値自体が極めて低いことがわかる。これらの結果から、道路トンネル坑口部の右側壁においても、凍結防止剤の散布により塩分が付着し、トンネル内附属物の腐食劣化が促進させられる可能性があることがわかった。しかし、図 3 (b) (c) からわかるように、A トンネルの冬期に設置したステンレス鋼板の付着塩分量は全て臨界等価塩分量を下回っている。

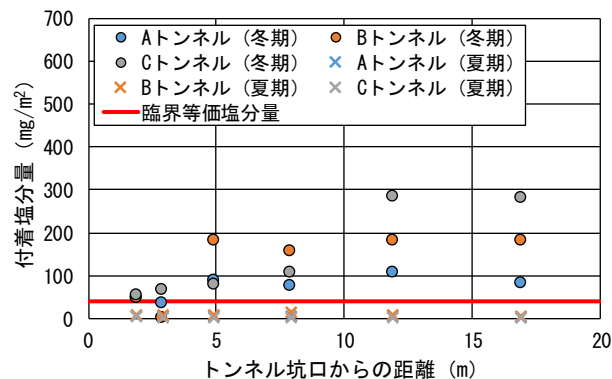
図 2 (b) (c) と比較しても付着塩分量の値が低いことから、A トンネルにおいては凍結防止剤の散布による付着塩分量への影響は右側壁に比べ車両が進入する左側壁の方が高いことが確認された。一方で、B, C トンネルの付着塩分量は左側壁と比べ右側壁に設置したステンレス鋼板の付着塩分量の方が多くなっていることがわかる。このような差が生じた要因として、凍結防止剤の散布量や歩道の幅の差が関係していると考えられるが、正確な要因を解明するにはより詳細な調査が必要である。

4. まとめと今後の課題

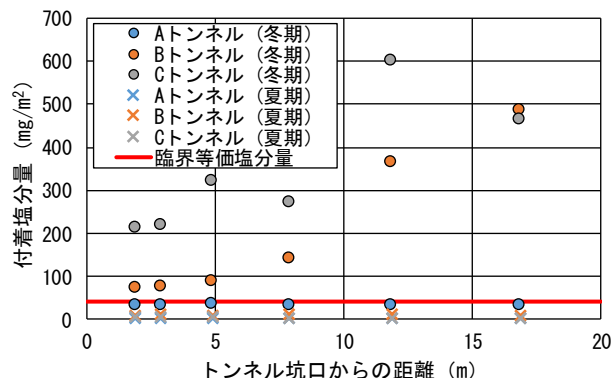
本研究では、道路トンネル坑口部に複数枚のステンレス鋼板を設置し、暴露期間後に鋼板表面から付着塩分を採取した。そして、採取物から付着塩分量を分析し、坑口部の各位置における塩分量の比較などを行った。その結果、凍結防止剤の散布により道路トンネル坑口部に塩分が付着し、坑内の場所によっては、トンネル内附属物の腐食劣化が促進させられる可能性があることがわかった。そして、現状では、トンネル坑口部の路面からの高さ 1.0m 程度の位置で付着塩分量が多い傾向にあり、最も腐食が促進しやすい位置と考えられた。今後は、天端周辺などに付着する塩分量を予測する方法について検討していきたいと考えている。

参考文献

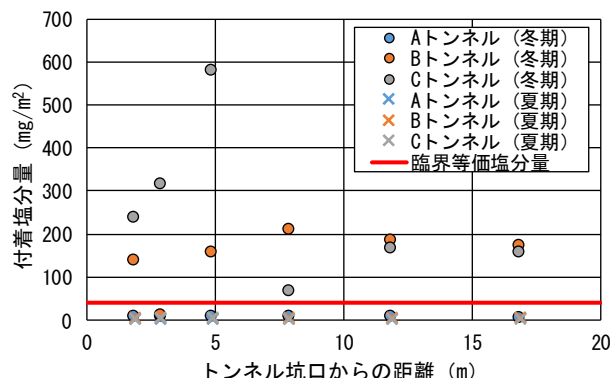
- 1) 国土交通省：トンネル定期点検における付属物の状態把握の留意点（参考資料），2020。
- 2) 青山尚史，岡崎泰幸，武邊勝道，持田新太郎，林久資：凍結防止剤散布環境下にある道路トンネル



(a) 路面からの高さ 0.3m



(b) 路面からの高さ 1.0m



(c) 路面からの高さ 1.8m

図 3 トンネル坑口部右側壁における付着塩分量

坑口部の覆工表層を対象とした塩分量の調査，令和 3 年度土木学会中国支部研究発表会，V-8，pp.350-352，2021。

- 3) 島根県：平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 全国道路・街路交通情勢調査 交通量調査編，2017。
- 4) 元田慎一，篠原正，鈴木揚之助，辻川茂男：海洋性大気に暴露したステンレス鋼の発錆におよぼす付着海塩量と相対湿度の影響，材料と環境，Vol.50，pp.162-169，2001。