

北海道のトンネル覆工における複合劣化（中性化・塩分濃度）の地域性について

岩田地崎建設(株) ○河村 巧

東北工業大学 須藤 敦史

(株)構研エンジニアリング 五十嵐 隆浩

1. はじめに

北海道では、昭和30年代後半からの高度経済成長に伴い山岳トンネルの建設が進められてきたが、現在では建設から数十年以上を経過したトンネルが多くなってきており、今後は、予防保全を基本とした維持管理手法の構築とその運用が求められている¹⁾。

そこで北海道土木技術会トンネル研究委員会では、北海道開発局が管理する主に矢板工法により建設された山岳トンネルを対象として、覆工コンクリートの圧縮強度・中性化・含有塩分濃度等の調査・試験を実施している。本研究は、山岳トンネルの維持管理に対する基本情報の蓄積のため、中性化深度と含有塩分濃度の複合劣化における地域性の検討を行っている。

2. 覆工コンクリートにおける中性化深度と塩分濃度

(1) 中性化深度

コンクリートの中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し酸化反応を起こすことによって細孔溶液のpHが低下する現象である。中性化は水和物の変質と細孔構造の変化を伴うため、鋼材の腐食だけではなくコンクリートの強度変化を引き起こす可能性もある²⁾。

中性化は炭酸ガスのコンクリート中への拡散によって生じ、式(1)に示すように中性化深度 $C(\text{mm})$ は中性化速度係数 A と経過時間 t (年) の平方根に比例する。

$$C = A\sqrt{t} \quad (1)$$

ここで、海岸沿いと内陸に位置するトンネル覆工における中性化速度係数とトンネルの経過（供用）年数との関係を図-1に示す。図-1より、経過年数に伴って中性化深度は大きくなる傾向があり、ばらつきも大きい。

(2) 塩分濃度

塩分濃度は、コンクリートの劣化を促進する塩化物イオンが、飛来塩分（主に冬期の季節風など）や凍結防止剤散布など外部環境から供給される場合とコンクリート製造時に材料から供給される場合がある³⁾。深さ x (cm)、経過時間 t (年) における塩化物イオン濃度 $C(x,t)$ 、表面における塩化物イオン濃度 C_0 および塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{ap} 、予測の精度に関する安全係数（一般的に 1.0） γ_{cl} 、および初期含有塩化物イオン濃度 C_i 、誤差関数 erf を用いた式(2)となる。

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \times \left[C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{0.1}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right] + C_i \quad (2)$$

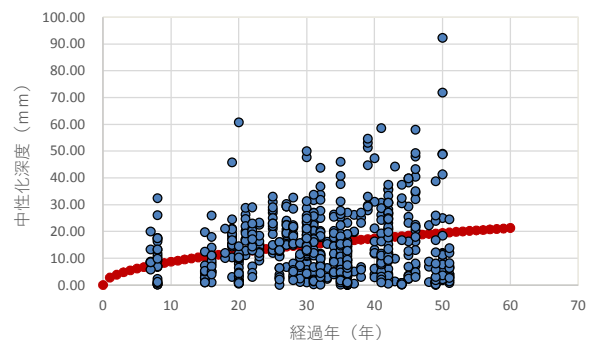


図-1 中性化深度と経過年数

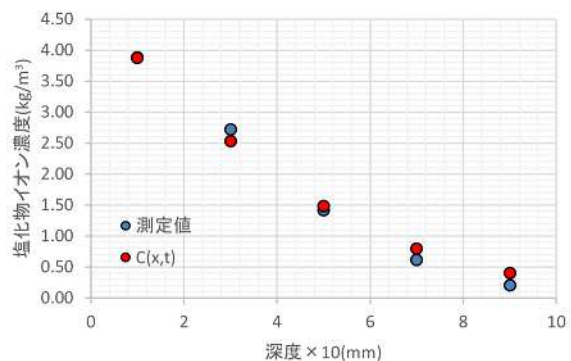


図-2 内陸部の塩化物イオン濃度（平均値）

平均経過年数 35.0 年 平均中性化深度 12.3

キーワード：覆工コンクリート、塩分含有量、中性化深度、複合劣化

連絡先 〒060-8630 札幌市中央区北 2 条東 17 丁目 2 番地 Tel:011-221-2201 E-mail: t.kawamura@iwatachizki.jp

3. 塩分含有量の実測値と予測値について

調査・試験値より得られたトンネルの覆工コンクリートにおける深度別の塩化物イオン濃度と式(2)より求めた推定値との比較を行う。ここで覆工コンクリート表面の塩化物イオン濃度 C_0 (飛来塩分と凍結防止剤), 拡散係数 Dap , コンクリート中の塩化物イオン濃度 C_i を未知数として摂動法により同定している (図中赤印)。

(1) 内陸・沿岸部における比較

まず, 内陸部と沿岸部に位置するトンネルの覆工コンクリートにおける深度別の塩化物イオン濃度の同定値と実測値を図-2, 3 に示す。図-2, 3 より, 沿岸・内陸部ともに覆工コンクリート表面における塩化物イオン濃度は変わらないが, 深度 30mm 付近において沿岸部のトンネルでは塩化物イオンの濃縮現象が見られ, 中性化と塩害の複合劣化の進行が伺える。

(2) 地域における比較

日本海側北部・南部および太平洋側の覆工コンクリートにおける深度別の塩化物イオン濃度における同定値と実測値を図-4~6 に示す。図-4, 5 より, 日本海側北部では表面部の塩化物イオン濃度が大きく, また北部・南部ともに深度 30mm において複合劣化現象が見られた。次に図-6 より, 太平洋側では, 表面部の塩化物イオン濃度は大きくないが, 深度 30mm において複合劣化現象が見られた。

4. 結 果

北海道開発局が管理する国道トンネル (主に矢板工法) の覆工コンクリートでは, 中性化と塩化物イオン濃度の複合劣化の進行, および地域差もあるとの結果が得られた。したがって, 寒冷地における道路トンネルの予防保全を前提とした維持管理には, 覆工コンクリートの中性化・含有塩分濃度などの情報も必要不可欠であり, 今後も多くの調査・試験値の蓄積と整理・分析は重要である。

参考文献

- 1) 須藤敦史, 佐藤京, 西弘明: 積雪寒冷地トンネルにおけるTMS構築に関する研究, 土木学会 第21回トンネル工学研究発表会論文集, pp.203-208, 2011.12.
- 2) 岸谷孝一, 西澤紀昭他編: コンクリート構造物の耐久性シリーズ(中性化), 技報堂出版, 1986.
- 3) 酒井秀昭: 凍結防止剤散布地域の橋梁高欄の塩化物イオン濃度の予測手法に関する研究, 土木学会論文集 E Vol/66, No.3, pp.268-275, 2010.7.

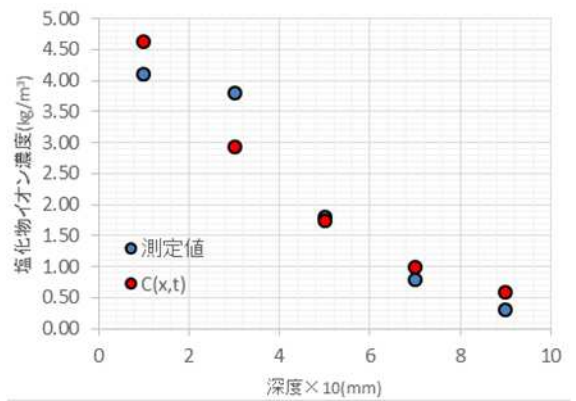


図-3 沿岸部の塩化物イオン濃度 (平均値)

平均経過年数 32.5 年 平均中性化深度 17.5

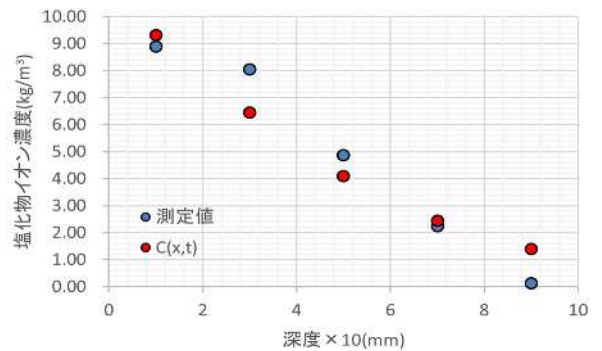


図-4 日本海北部の塩化物イオン濃度 (平均値)

平均経過年数 37.4 年 平均中性化深度 23.5

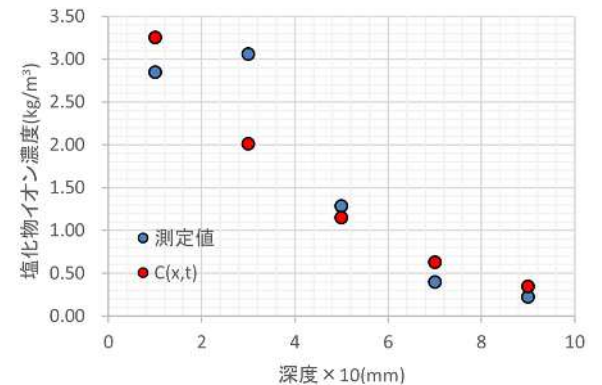


図-5 日本海南部の塩化物イオン濃度 (平均値)

平均経過年数 30.0 年 平均中性化深度 15.1

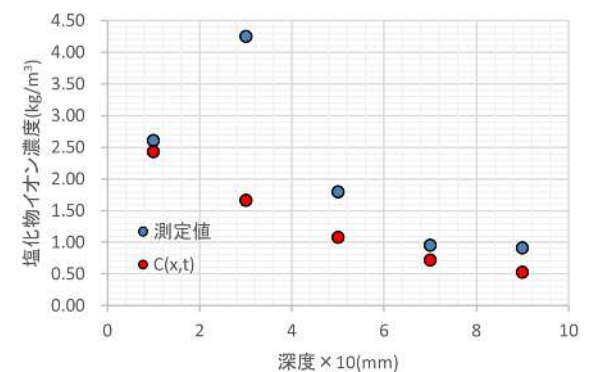


図-6 太平洋側の塩化物イオン濃度 (平均値)

平均経過年数 32.9 年 平均中性化深度 18.9