

北海道のトンネル覆工コンクリートにおける中性化と塩分濃度について

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国道トンネルにおける覆工コンクリートの圧縮強度・中性化・塩分濃度等の個別調査を集約している。本研究ではトンネルの維持管理に対する情報の蓄積のため、中性化と塩害による複合劣化の検討を行っている。

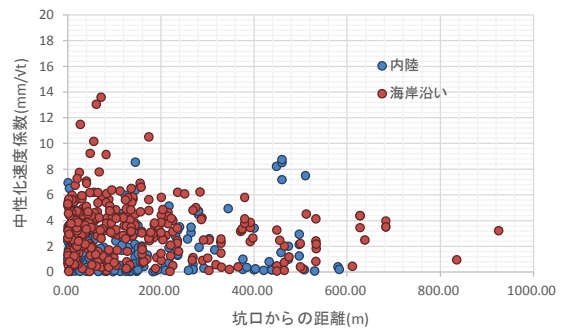


図-1 中性化速度係数と坑口からの距離

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炭酸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坑口距離との関係を図-1 に示す。また、中性化深度とトンネルの経過（供用）年数との関係を図-2 に示す。図-1 より、坑口からの距離に伴い中性化速度係数は小さくなり、かつ沿岸部のほうが大きい値である傾向がみられる。また、図-2 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。

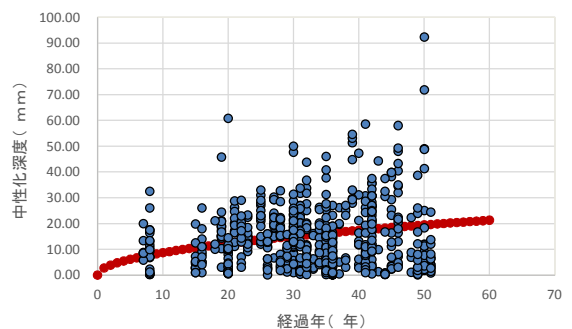


図-2 中性化深度と経過年数

(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²⁾。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

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

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@iwata-gr.co.jp

(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.

ここで, 覆工表面部(0~20mm)における塩分含有量と坑口からの距離との関係を図-3に示す. また, 覆工表面部(0~20mm)における塩分含有量と経過年数との関係を図-4に示す. 図-3より, 坑口からの距離に伴い覆工表面部の塩分含有量は急速に小さい値(べき乗的)になる傾向がみられ, また, 図-4より, 経過年に伴って覆工表面部の塩分含有量は経過年に伴って大きくなる傾向がみられる.

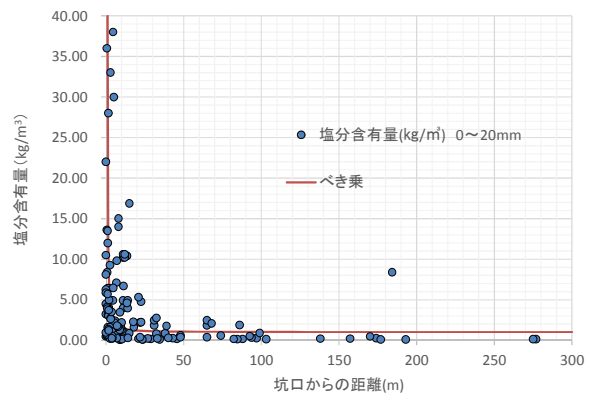


図-3 塩分含有量と延長距離 (深度:0~20mm)

3. 塩分含有量の実測値と予測値について

次に, 調査試験より得られたトンネル覆工における深度別の含有塩分濃度と式(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.

まず S トンネル (中性化深度:9mm, 経過年数:50年) における覆工の塩化物イオン濃度における深度別の同定値と実測値を図-5(a)に示す. 図-5(a)より, 実測値では深度30mmおよび50mmにおいて濃縮現象が見られ, 中性化と塩害の複合劣化が伺える. 次に全調査トンネル覆工における平均塩化物イオン濃度の同定値と実測値を図-5(b)に示す. 図-5(b)より, 平均値においても実測値では深度30mmおよび50mmにおいて濃縮現象が見られ, 中性化と塩害の複合劣化現象が見られる.

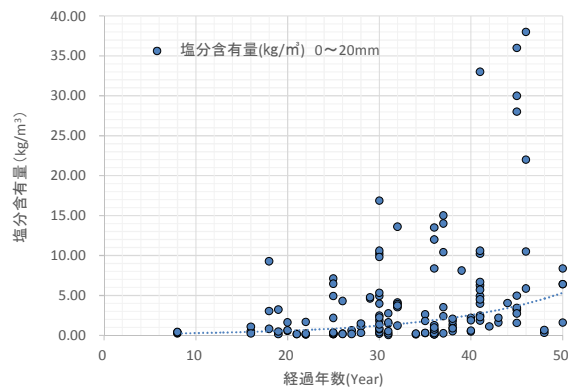


図-4 塩分含有量と経過年数 (深度:0~20mm)

4. 結果

北海道のトンネル (主に矢板工法) 覆工において中性化深度と含有塩分濃度は坑口からの延長距離および経過年数との関連が見られ, 中性化と塩害の複合劣化の進行が見られた. 寒冷地トンネルの予防保全を前提とした維持管理には, 覆工の中性化深度・含有塩分濃度など多くの情報が必要不可欠であり, 今後も多くの調査・試験や点検データの蓄積と分析が必要である. 最後に調査結果を提供頂いた北海道土木技術会トンネル研究委員会に謝意を表します.

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.

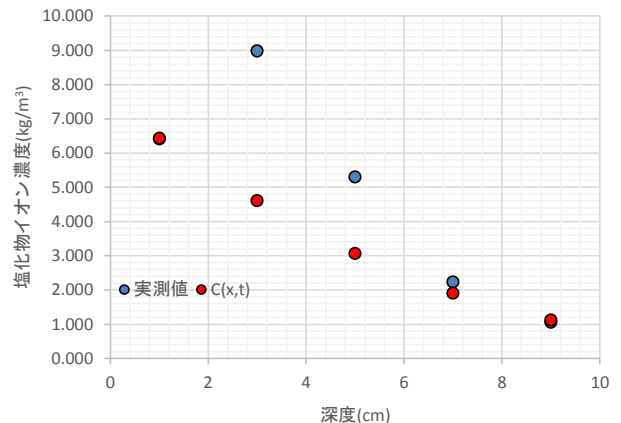


図-5 (a) 深度別の塩化物イオン濃度 (S トンネル)

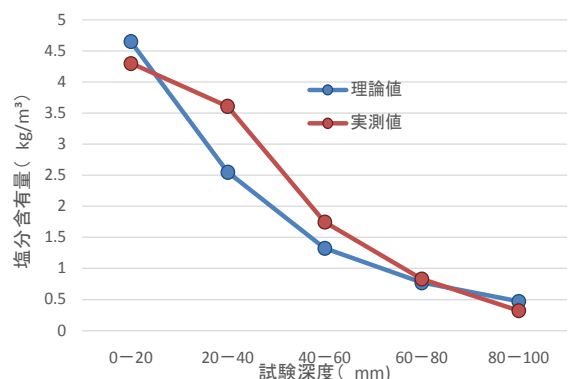


図-5 (b) 深度別の塩化物イオン濃度 (平均値)