

## 地中送電用シールドトンネルにおける塩化物イオンの拡散係数の検討

東京電力ホールディングス(株) 正会員 岡 滋晃 正会員 斉藤 仁  
 東電設計(株) 土木本部 技術開発部 正会員 中川 貴之 正会員 志岐 仁成

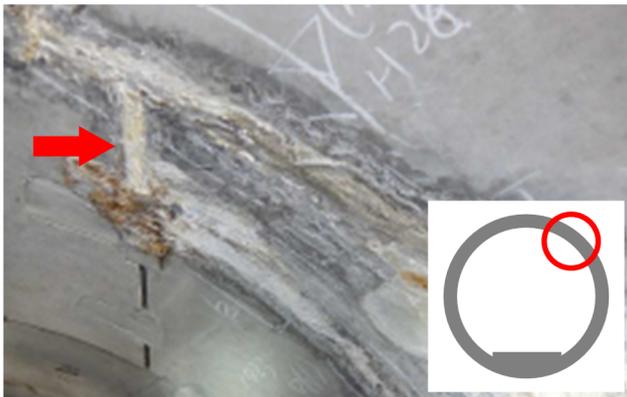
### 1. はじめに

東京電力パワーグリッド(株)が供用する地中送電用トンネルのうち、シールドトンネルは約 220 km である。そのうち約 4 割は 1980 年以前に建設され、建設後 40 年を経過している。近年、これらのトンネルのうち湾岸部のものでは、海水由来の塩化物イオンを含有する地下水が、写真-1(a)に示すようにトンネル内に漏水している事例が確認されている。このような漏水はトンネル内に滞留し、写真-1(b)に示すように電力ケーブルの発熱による水の蒸散で塩化物イオンが濃縮、結晶化する。この結果、塩化物イオンがコンクリート内に浸透して塩害腐食を発生するおそれがある。したがって、塩害腐食が発生しないよう適切な時期に予防保全を実施する必要があり、精度良く鉄筋の塩害腐食の発生時期を予測することが重要である。そこで今回、予防保全で重要となるセグメントにおける塩化物イオンの拡散係数について調査し、統計的な考察を加えた。

### 2. 塩害腐食の発生時期の予測方法における現状の問題点と本検討の課題

一般に、コンクリート中の塩化物イオンの塩害腐食の発生時期の予測方法として、以下に示す Fick の第 2 法則の解が使用される。

$$C = C_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_C \cdot t}} \right) \right) \quad (1)$$

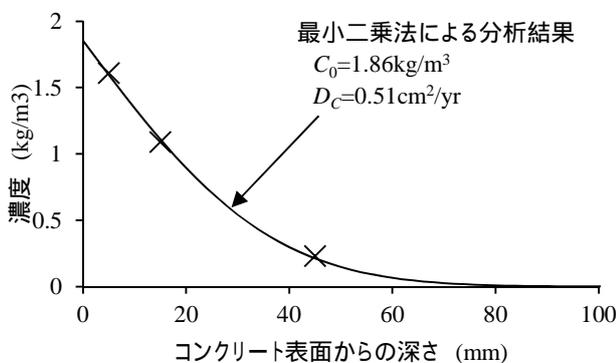


(a) 漏水に伴って「ツララ」状となった塩化物イオン

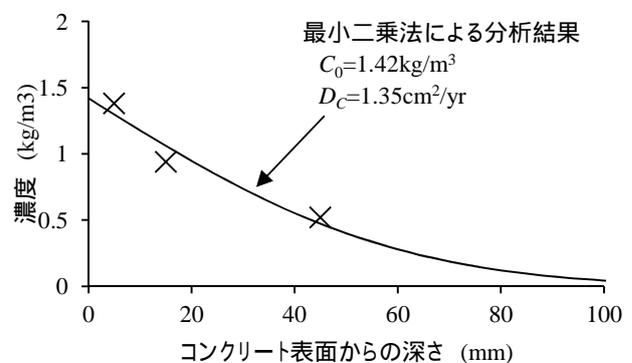


(b) 歩床付近で凝縮した塩化物イオン

写真-1 地中送電用トンネルにおける漏水に伴う塩化物イオンの凝縮状況



(a) No.1 109 リング右下



(b) No.1 140 リング右下

図-1 トンネル C (後述の図-2) における塩化物イオン濃度分布

キーワード シールドトンネル, 維持管理, 塩害, 拡散係数

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3 東京電力ホールディングス TEL090-6720-3449(直)

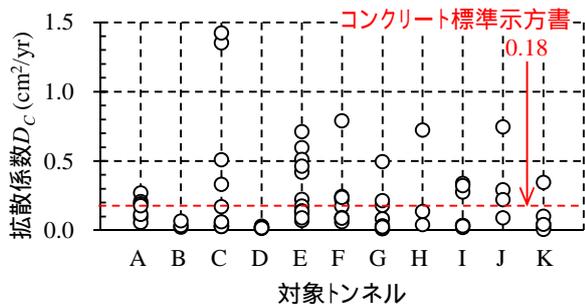


図-2 最小二乗法による対象トンネルの拡散係数の分析結果

ここに、 $C$ ：塩化物イオン濃度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $C_0$ ：表面塩化物イオン濃度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $x$ ：表面からの深さ( $\text{cm}$ )、 $D_c$ ：見かけの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{yr}$ )、 $t$ ：経年( $\text{yr}$ )。

このうち、見かけの拡散係数  $D_c$  は、ドリル削孔やコア採取などによる粉末試料により決定した、深度方向の各位置における塩化物イオン濃度をもとに最小二乗法により決定することが多い。しかし、この方法では、試料採取時の測定誤差を反映した拡散係数が得られる。この結果、例えば、図-1 に示すとおり、図-2 のトンネル C における No.1 109 リングと No.1 140 リングのように、製作条件や試料の採取条件が同一であるにもかかわらず、拡散係数の分析値が異なることがある。この場合、塩害腐食の発生予測が不正確となる問題点があった。

そこで、コンクリート標準示方書<sup>1)</sup> にしたがって、拡散係数は W/C により 1 つに決定されると仮定した場合、計算値による塩化物イオン濃度が測定値とどれほど異なるか、を検討した。

### 3. 対象としたシールドトンネル

対象としたトンネルは、湾岸近郊に位置する内径 3.0 m ~ 4.5 m の 11 シールドトンネルである。図-2 に示すように、最小二乗法による拡散係数の分析結果は、 $0.01 \text{ cm}^2/\text{yr} \sim 1.49 \text{ cm}^2/\text{yr}$  とばらつきが大きい。

### 4. 本検討の分析における方法と結果

分析方法としては、まず、各トンネルで、塩化物イオンの著しい濃縮が発生している個所でコア削孔による粉末試料の採取を行い、最低 3 点以上の粉末試料から、電位差滴定法により各深度の塩化物イオン濃度を測定した。次に、以下の 2 点を仮定して、図-3 に示すように Fick の第 2 法則の解による塩化物イオン濃度の計算値から、試料採取による測定値を引いた差分を、各深度ごとに算出した。

a) 各トンネルは、建設時点から塩害環境にある。

b) 拡散係数は、コンクリート標準示方書に掲載されている計算式により決定される。

この差分データを、図-4 のとおり、 $0.1 \text{ kg}/\text{m}^3$  刻みのヒストグラムに整理し、正規分布曲線をフィッティングさせた。計算値と測定値の差分は平均  $-0.07 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、標準偏差  $\pm 0.15 \text{ kg}/\text{m}^3$  となった。このように、最小二乗法によらなくとも、コンクリート標準示方書の計算式により拡散係数を計算すれば、十分、精度の高い塩害予測が可能であると考えられる。

### 5. まとめ

本検討では、最小二乗法による拡散係数よりもコンクリート標準示方書による拡散係数の方が、精度良く鉄筋の塩害腐食の発生時期を予測できる可能性があることを示した。今後は、得られたデータをもとに、表面塩化物イオン濃度  $C_0$  についても考察を行い、精度の良い予測方法を確立する所存である。

### 参考文献

1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]，p113，2008。

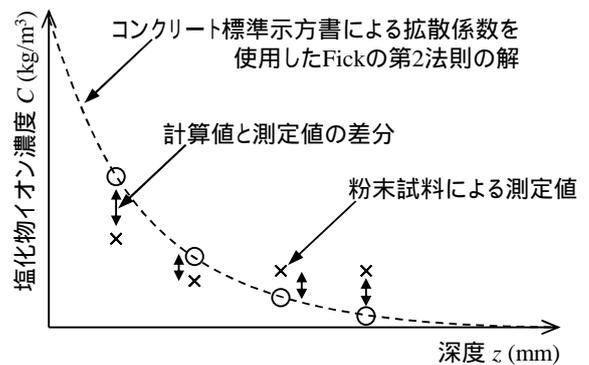


図-3 計算値と測定値の差分の計算

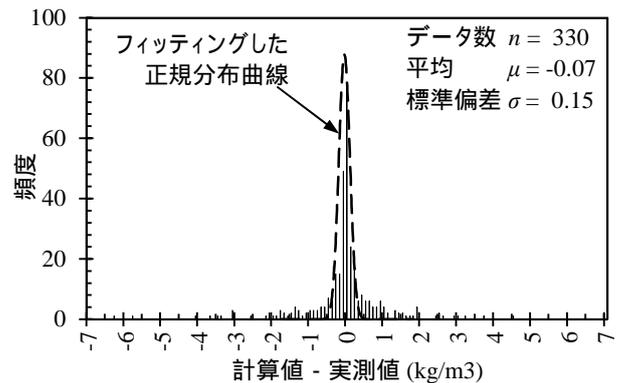


図-4 計算値と測定値の差分のヒストグラム