

## 塩害環境におかれた地下構造物の漏水履歴の推定と鋼材腐食解析

東京大学大学院 学生会員 ○高橋 佑弥  
 東京大学大学院 正会員 石田 哲也  
 東京大学大学院 香川 沙絵

## 1. はじめに

塩分を含んだ地下水環境下におかれた地下構造物では、漏水がジョイント部やひび割れなどから構造物内部に進入し、トンネル壁面を流れることによって表層から塩化物イオンが浸透することがある。

本研究では、熱力学連成解析システム DuCOM（東京大学コンクリート研究室により開発）を用いて構造物内部の塩化物イオン分布から漏水履歴を推定し、その推定結果を用いて鋼材腐食解析を行うことで、塩害による劣化発現時期の予測や適切な補修時期・補修方法の選定を行うことを目的とした。

## 2. 塩化物イオン分布と漏水履歴の関係

解析シミュレーションに際して必要となる漏水履歴は、漏水中の塩化物イオン濃度（漏水濃度）、漏水開始時期、および漏水頻度である。このうち漏水濃度を固定し、漏水開始時期および漏水頻度が内部の塩化物イオン分布に与える影響について、感度解析を行った（図1、図2）。図1は漏水頻度を固定し、漏水開始時期を様々に変化した解析結果、図2は後者を固定し、前者を変化させた解析結果である。これらの結果から、塩化物イオンの浸透深さは主に漏水開始時期によって決まり、表面付近で差が顕著な塩化物イオン浸透量は主に漏水頻度によって決まるといったことがわかった（図3）。この関係を利用することで、塩化物イオン分布から漏水履歴を逆推定することが可能であると言える。

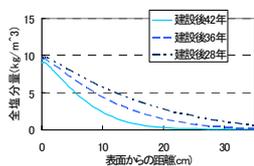


図1 様々な開始時期での解析

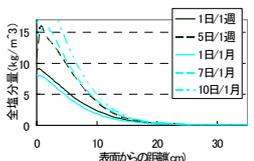


図2 様々な頻度での解析

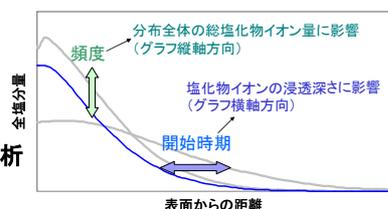


図3 漏水履歴が塩化物イオン分布に与える影響

表1 漏水濃度測定結果

	1期	2期
対象箇所1	0.5464mol/l	0.7110mol/l
対象箇所2	0.0017mol/l	漏水なし

## 3. 漏水履歴推定

実際の地下構造物に対して、漏水履歴推定を行った。漏水濃度については、対象箇所ですべて実際に構造物表面を流れる漏水を採取し、測定することで数値を得ることを試みた。対象箇所において二期間にわたり、採取を行った結果を表1に示す。時間及び場所によって大きく濃度差が生じること、場合によっては海水より高濃度になり得ることがわかった（海水の平均濃度は約0.5mol/l）。また、推定にあたっては構造物内部に建設段階から少量の塩分が存在すると仮定することで、構造物深部に存在する少量塩分を比較的精度良く再現した（図4）。

以上を踏まえ履歴推定を行った結果が図5および図6である。様々な漏水開始時期、漏水頻度において解析を行い、実際の分布を再現する漏水履歴を導き出した。対象箇所2については、測定された漏水濃度があまりに小さかったため、現実性のある漏水

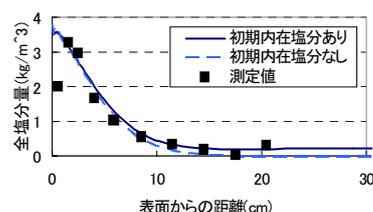


図4 初期内在塩分の検討

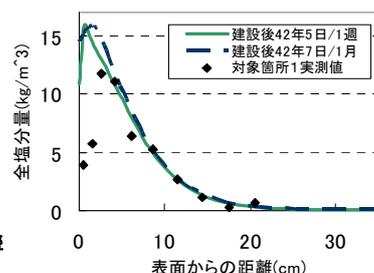


図5 対象箇所1の漏水履歴推定結果

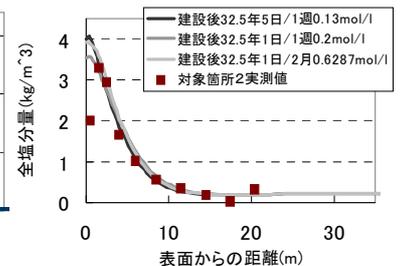


図6 対象箇所2の漏水履歴推定結果

キーワード 塩害 腐食 漏水

連絡先

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部一号館 3階 329号室 コンクリート研究室 TEL03-5841-6146

濃度を仮定した上で履歴推定を行っている。なお、本研究では、同一の塩化物イオン分布から複数の漏水履歴を推定している。限られた情報から現在の塩化物イオン分布に至るシナリオが複数あり得ることを意味しており、後述する鋼材腐食解析では、各々のケースに対して検討を行うこととする。

4. 鋼材腐食予測解析

推定した漏水履歴が今後も続くと仮定して、鋼材腐食解析を行った。結果を図7及び図8に示す。腐食量が限界腐食量（横関らの式により算出）に達した時点でひび割れが発生するとして、ひび割れ発生時期を算定した。◆印の点が現在を表している。現時点における2対象箇所現在の腐食量とひび割れ発生時期は以下ようになった（表2）。

表2 解析による腐食量とひび割れ発生時期

	腐食量(mg/cm <sup>2</sup> )	ひび割れ発生時期(年)
対象箇所1	35.8~55.0	-1.9~-0.3
対象箇所2	0.23~0.62	+5.9~+23.8

同一の塩化物イオン分布から漏水履歴を推定した場合でも、漏水履歴によって異なる腐食解析結果が得られる。漏水に関するモニタリング等や現場の情報を入手することができれば、それらの補足情報と解析による本推定手法を組み合わせることで、より確度の高い漏水履歴を推定することが可能となり、腐食進行解析の精度も向上すると考えている。

また、本研究の手法は、適切な環境条件を設定して解析を行うことで、適切な補修方法を選定することが可能である。図9に現在において止水をした場合の腐食解析を示す。止水によって腐食進行に変化が見られることがわかる。

5. 解析と実際の劣化変状との比較

図10は、解析により計算された腐食量と目視による鉄筋腐食度との関係である。鉄筋腐食度は0→A→B→C→Dの順で後者ほど腐食が進展していることを示している。グラフを見ると解析による腐食量が多い箇所は実際にも鉄筋腐食が進行している。解析は実際の腐食量をよく再現しているといえる。

また、解析により算出されたひび割れ発生時期と

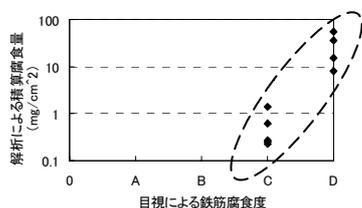


図10 解析結果と実際の腐食状況の比較

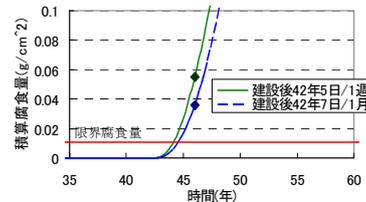


図7 対象箇所1の腐食解析

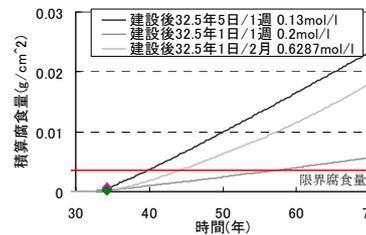


図8 対象箇所2の腐食解析

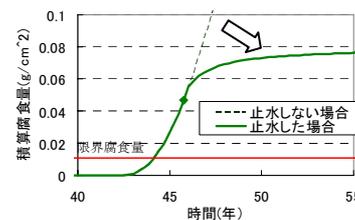


図9 止水をした場合の腐食解析の変化

対象箇所のコンクリート壁の劣化変状との比較を行った。実際の対象箇所の劣化変状について調べると、対象箇所1では2年前にコンクリートの浮きを確認しており、対象箇所2では目立った劣化変状は確認できなかった。この結果は表2に示したひび割れ発生時期とよく整合している。

以上のような検討から、本研究の手法によって導き出されたひび割れ発生時期を用いて補修時期・補修方法を適切に選定することが可能であるといえる。

【謝辞】本研究を行うにあたり、東京メトロRCトンネルの劣化進行と性能評価に関する検討会のメンバー各位の協力を得ました。東京地下鉄(株)の高橋聡氏、河畑充弘氏、山本努氏、石川幸宏氏をはじめ皆様に深謝いたします。

参考文献

1. 石田哲也：微細空隙を有する固体の変形・損傷と物質・エネルギーの生成・移動に関する連成解析システム，1999
2. Maekawa, K., R, Chaube., Kishi, T.: MODELING OF CONCRETE PERFORMANCE, 1999
3. Yokozeki, K., Motohashi, K., Okada, K., and Tsutsumi, T.: A rational model to predict the service life of RC structures in marine environment, Forth CEMENT/ACI International Conference on Durability of Concrete, SP170-40, pp.777-798,1997