

## 鉄道開削トンネルにおける漏水と変状に関する事例分析

鉄道総合技術研究所 正 ○牛田 貴士 正 仲山 貴司  
東京地下鉄 正 小西 真治

### 1. はじめに

地下構造物に作用する外力は一般に土水圧等が占める割合が高く、完成後に大きな作用の変化が生じることは稀であり、近接影響等を除いて外力に起因する変状事例は多くない。一方、鉄筋腐食に起因するひび割れの進行等で生じるコンクリート片等の剥落は、地下構造物の維持管理において重要視されており、鉄道トンネルの維持管理に関する基準<sup>1)</sup>では、剥落の健全度を全体系の健全度に加えて判定することとしている。

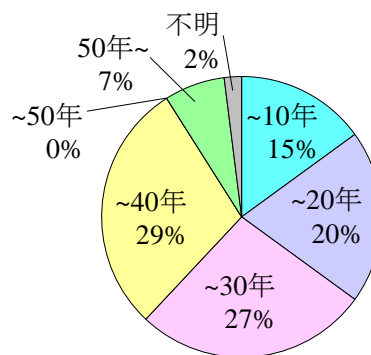
ここで、地下構造物において進行性があるひび割れの発生要因としては、漏水に伴う鉄筋腐食が多いとされている。また、そのなかでも塩化物イオン（以下、Cl<sup>-</sup>）を含む漏水に起因する外的塩害は進行性が強く、維持管理における課題のひとつである。そこで本稿では、鉄道開削トンネルにおける漏水と変状の実態調査の結果をとりまとめるとともに、漏水中のCl<sup>-</sup>濃度と鉄筋腐食の発生状況について、現場調査データの分析を行った。

### 2. 鉄道トンネルにおける変状事例の分析

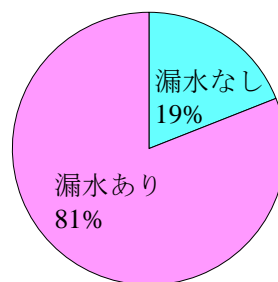
鉄道トンネルを対象とした変状事例の分析結果<sup>2)</sup>を示す。事例調査は鉄道事業者へのアンケート形式で行われ、84工区の開削トンネルについて情報を整理した。整理結果を図1に示す。対象構造物の調査時経年は20~40年が約55%と半数を占めている。また、経年20年未満の比較的経年の浅い構造物は35%，経年50年以上の構造物も約7%含まれており、幅広い経年分布であった。

対象構造物のうち漏水が発生している構造物は約81%，ひび割れが発生している構造物は約73%であり、それぞれ高い割合であった。なお、漏水は貫通ひび割れから地下水が侵入することで発生するものであるが、ひび割れ発生割合の方が低い数値となっている。漏水は打継ぎ目に生じる輪切り方向のひび割れから発生することが多いが、一部の回答で、この打継ぎ目の開口をひび割れと区別して回答された可能性が感げられる。

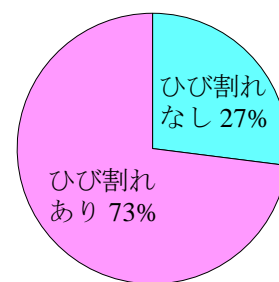
ひび割れ箇所のうち83%で漏水が発生しており、貫通ひび割れが多いことが示唆された。また、本調査ではひび割れ箇所の約半数で鉄筋露出が発生していた。これらから、鉄道開削トンネルにおいては、漏水により鉄筋腐食が発生し、腐食に伴ってかぶりコンクリートが剥離・剥落するという変状発生メカニズムが多いことが示唆された。



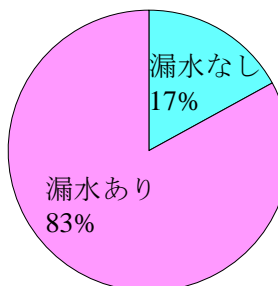
a) 調査時経年



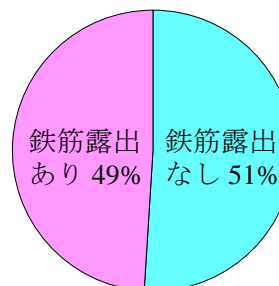
b) 漏水発生



c) ひび割れ発生



d) ひび割れ箇所の漏水発生



e) ひび割れ箇所の鉄筋露出

図1 開削トンネルにおける変状データの整理

キーワード 開削トンネル、漏水、鋼材腐食、塩化物イオン

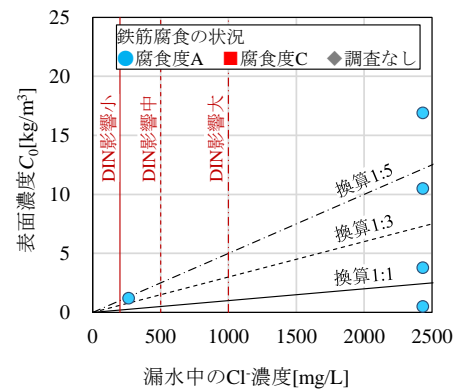
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7261

### 3. 漏水中の塩化物イオン濃度と鉄筋腐食状況の調査データ

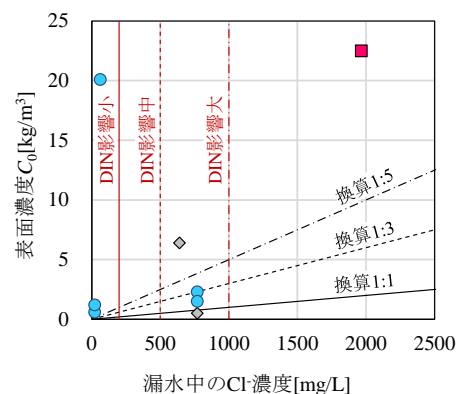
開削トンネルにおける外的塩害は、漏水中の  $\text{Cl}^-$  に起因する発生メカニズムが報告されている<sup>3)</sup>。そこで漏水中の  $\text{Cl}^-$  濃度と鉄筋腐食状況の関係を分析した。調査箇所は13箇所、調査時経年は14~49年であった。以下に示すコンクリート表面における塩化物イオン濃度  $C_0$  (以下、表面濃度) は、コンクリート中の  $\text{Cl}^-$  濃度の深度方向分布を Fick 則にフィッティングして得られた値である。なお、フィッティングパラメータは拡散係数、表面濃度、初期  $\text{Cl}^-$  濃度の3つとした。

既報<sup>3), 4)</sup>のデータを整理して漏水中の  $\text{Cl}^-$  濃度と表面濃度の関係を図2に示す。同図には  $\text{Cl}^-$  濃度から表面濃度を単位換算のみした場合を換算 1:1 とし、換算 1:1, 1:3, 1:5 場合の関係式、腐食に及ぼす影響度を示す指標の例としてドイツ工業規格 (DIN) の閾値も記載した。また、腐食度については表1の注釈を参照されたい。

漏水量が少ない箇所では濃縮により  $\text{Cl}^-$  濃度が高まることも示唆されており<sup>3)</sup>、それが換算 1:1 の線を上回る箇所が多い要因と考えられる。なお、その比率はばらつきがあり、本検討では経年との明確な相関は認められなかった。また、今回対象としたデータの範囲では、漏水中の  $\text{Cl}^-$  濃度が 2000 mg/L 程度の箇所で断面欠損が生じる程度の腐食が認められた。図2のデータから抽出して調査結果の例を表1に示す。鉄筋腐食に関連する環境条件 (漏水中の  $\text{Cl}^-$  濃度、表面濃度)、材料条件 (拡散係数)、構造条件 (かぶり)、経年を示した。







a) 経年 25 年以下



b) 経年 50 年以下

図2 漏水中の  $\text{Cl}^-$  濃度と表面濃度

表1 調査結果の例

ドイツ工業規格(DIN)	塩分濃度	0 ~ 200 mg/L	200 ~ 500 mg/L	500 ~ 1000 mg/L	1000 mg/L 以上
	腐食に及ぼす影響	小	中	大	非常に大
調査データの例	漏水 $\text{Cl}^-$ (mg/L)	20	263	770	1965
	表面濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1.2	1.2	1.5	22.5
	経年 (年)	44	14	30	44
	かぶり (mm)	125	55	55	50
	腐食度 <sup>※</sup>	A	A ~ B	A	C ~ D
鉄筋の状況					

※『日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針、2009』による区分で、

A：点錆程度の表面的な腐食，B：全体的に表面的な腐食，C：浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食，D：断面欠損の明らかな著しい腐食

### 4. まとめ

本稿では、地下構造物の維持管理に資することを期待して、鉄道開削トンネルにおける漏水と変状に関する事例分析を行った。分析精度の向上や対象構造物の拡大等を目標に、今後もデータの蓄積を進める計画である。

### 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（構造物編）トンネル，2007
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道トンネルの維持管理，2019。
- 3) 武藤義彦，牛田貴士，仲山貴司，小西真治：塩化物の地中移流拡散を考慮した地下鉄トンネルの塩害範囲の検討，地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.20，pp.233-238，2015。
- 4) 牛田貴士，木下果穂，仲山貴司，仁平達也：地下コンクリート構造物における塩害による鋼材腐食の推定法の提案，地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.26，pp.123-130，2021。