

セグメントのひび割れからの漏水による溶脱に関する基礎的実験

ジオスター株式会社 正会員 横尾彰彦 田邊 敏
早稲田大学 学生会員 佐々木龍丸 岡山大輔
早稲田大学 正会員 岩波 基

1. はじめに

日本のシールドトンネルは、1980年代から1990年代に多くが建設された。そのため、供用年数が20年を超えるものが多数を占めることに至っている。そして、シールドトンネルに劣化が発生している。二次覆工コンクリートが有るトンネルは、鋼製セグメントでもRCコンクリート製セグメントでも劣化がほとんど見られないが、二次覆工がないRCセグメントには劣化を生じている事例が見受けられる。特に、RCコンクリートセグメントでは、漏水が生じている箇所において劣化が顕著である。しかし、鉄筋コンクリート構造に漏水が与える劣化作用と劣化メカニズムが明確になっていない。また、劣化速度も当然、判明していない。そのため、劣化予測を行うことができず、膨大なシールドトンネルの維持管理において予防保全を困難にしている。そこで、本報告は、RCセグメントと同じ設計基準強度42, 54N/mm²のモルタル試験体を作成し、その試験体中央に割裂ひび割れを生じさせ、そのひび割れに地下鉄トンネルで生じている平均漏水量17.4cc/m²・hrを通水して溶脱の状態をまとめたものである。

2. 実験概要

本実験で用いた試験体の配合を表1に示す。なお、試験体は直径50mm×高さ50mm

表1 配合表

配合 No.	設計基準 強度 (N/mm2)	W/C	S/a	単位水量 (kg/m³)	絶対容積(l/m³)				単位量(kg/m³)			Ad (B×%)	
		(%)	(%)		W	B		S	AE	B			S
						C	FA			C	FA		
普通セメント	42	33	100	232	222	－	514	32	702	－	1347	0.95	
フライアッシュ	54	30.7	100	224	190	46	507	33	600	132	1328	0.90	

の円柱を採用し、中央部に割裂破壊を生じさせて、ひび割れ幅0.3mm程度を保持したものをひとつの通水期間に対して3つ作成した。

また、セメントには、普通ポルトランドセメントとフライアッシュセメントを用いた。通水期間は、1週間、1ヶ月（4週間）、3ヶ月（12週間）そして1年（52週間）とした。

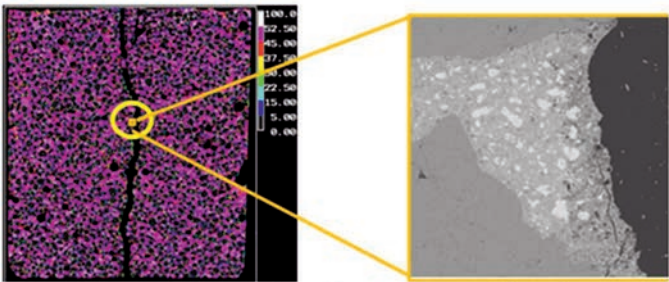


図1 EPMA 分析画像と SEM 顕微鏡画像

分析方法は、当初、EPMA 分析によって溶脱範囲を確定する予定であったが、図1に示すように解像度の限界から SEM 顕微鏡観察によりポーラスな状態になった範囲を Ca⁺化合物が溶脱したものと判断して、溶脱深さを測定するものとした。なお、図1の左図における小さな黄色い四角が右図の範囲を示している。

3. 実験結果

図2に示したように溶脱深さを測定し、その溶脱深さを表2にまとめた。なお、理論式は一般的な式(1)を用い、横関らが用いた拡散係数Dは1.54m²/s¹⁾とし、初期Ca⁺のモル密度は岩波らが配合推定に用いた値²⁾

キーワード 漏水, ひび割れ, 溶脱, 劣化予測, フライアッシュセメント, セグメント
連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-4-1 住友不動産後楽園ビル 14F TEL03-5844-1203

として、ポーラスな状態の Ca^{+} のモル密度は山口らの EPMA 分析結果 ³⁾ から初期値の半分以下の領域までとした。

$$J_A^* = -C \cdot D \left(\frac{dx}{dz} \right) \quad (1)$$

J_A^* : モル平均移動速度に対するモル流束[$\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$], z : 拡散方向[m], D : 拡散係数[m^2/s], C : モル密度[mol/m^3], x : 成分のモル分率

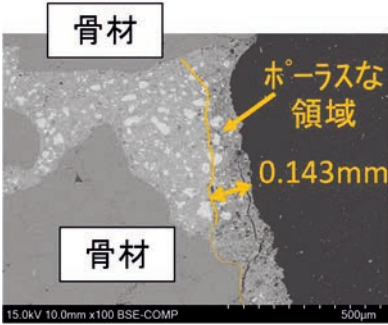


図 2 溶脱深さの測定

表 2 溶脱試験結果

通水期間 (週)	溶脱深さ (mm)		
	普通ポルトランド	フライアッシュセメント	理論式
1	0.060	0.060	0.000
4	0.134	0.050	0.000
12	0.143	0.090	0.000
52	0.190	0.127	0.009

4. 考察

表 2 から分かるように、実験によるトンネルコンクリートのひび割れからの漏水にて生じる Ca^{+} の溶脱量は、Fick の法則から求まる理論値と大きく異なっている。これは、硬化したコンクリートのセメント分がひび割れ内を通る外部水に流されて行く。そして、セメント硬化体の強度が低下するとされている ⁴⁾。また、表 2 から普通セメントに比べてフライアッシュセメントによる硬化体は脆弱化が抑えられる効果がある可能性がある。

なお、普照らは漏水による脆弱化は 14 日で収束する結果となることが報告 ⁵⁾ されているが、今回の実験では、結晶がポーラスとなる領域が 1 年まで観測された。

5. おわりに

本報告における実験から漏水による RC コンクリートセグメントの劣化は、Fick の法則と異なるメカニズムで生じている可能性が確認できた。また、漏水初期に収束しない可能性があることも判明した。さらに、フライアッシュセメントでは溶脱を抑える効果がある可能性があることも分かった。この実験は 2 年まで継続するので、漏水による劣化への影響をさらに検討する予定である。

参考文献

1) 横関康祐, 取違剛: コンクリート中の各種イオン移動と化学反応のモデル化, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.221-228, 2020

2) 岩波基, 新井泰, 橋口弘明, 沢木大介: 地下鉄トンネルのコンクリートの中性化速度に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.1309-1314, 2017.7

3) 山口哲司, 岩波基: 長期供用された地下コンクリートの圧縮強度と中性化に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1423-1428, 2019.7

4) 土木学会: 土木学会コンクリート技術シリーズ, コンクリートの化学的浸食・溶脱に関する研究の現状, pp73-74, 2008

5) 普照遙, 木村定雄, 大嶋俊一: トンネル覆工コンクリートの漏水に伴うカルシウム溶出現象の解明, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 25 巻, pp.18-26, 2020.1