

ダクタイルセグメントにおける腐食状態の調査結果について

東京地下鉄(株) 正会員 ○田中 大介

東京地下鉄(株) 非会員 布村 忠之

(株)メトロレールファシリティーズ 非会員 菅原 翔

東電設計(株) 正会員 阿南 健一

1. はじめに

東京地下鉄株式会社（以下、東京メトロという）は、東京圏を事業基盤として、9路線、営業キロ195kmで運営している。このうち約85%がトンネルを占めるが、そのうちダクタイルセグメントで築造されたシールドトンネルは約5kmを保有しており、最も古い区間では開業から56年が経過している。これまで東京メトロではダクタイルセグメントにおいて、建設後に漏水や表面の錆が発生したことを受け、腐食状態を調査し、予防保全として止水及び防錆塗装工事を行ってきた。しかし前回の防錆塗装工事から最長で32年経過しており、近年になって防錆塗装の塗膜劣化、浮き及び漏水が発生している箇所も見られるため、過去と同様の調査区間及び調査手法を用いて再調査を行った結果を報告する。

2. 調査概要

表-1 調査及び調査項目

調査は、過去にも調査実施していた3区間で実施した(図-1)。調査内容は既往の調査と同様にダクタイルセグメント部材の板厚測定、漏水の水質調査、ダクタイルセグメントの錆の成分分析を実施した。調査は、主部材である主桁、スキンプレート、セグメント継手板を計測対象とした。板厚測定は超音波厚さ計を使用して行い、各区間で4～6箇所を選定した。1箇所につき主桁2箇所、スキンプレート1箇所、セグメント継手板1箇所について、3点の計測を実施した。水質調査は各区間のAB線1箇所とし、錆の成分分析は各区間で1箇所とした。

調査箇所	防錆塗装時期	線別	板厚測定	錆成分分析	漏水調査
					水質調査※
T区間	1991年	A線	3箇所	1試料	1試料
		B線	3箇所		1試料
C-1区間	2001年	A線	4箇所	1試料	1試料
		B線	—		1試料
C-2区間	2015年	A線	2箇所	1試料	1試料
		B線	2箇所		1試料

※水質調査：ph，塩分濃度

板厚測定を行うにあたり超音波測定では、ダクタイルセグメントの表面を露出させ平滑な状態とさせる必要があるため、防錆塗装をグラインダー等で撤去し表面の汚れを除去した後、測定を行った。水質分析は、鋼材の腐食に影響するpH、塩化物イオン濃度を対象とし、試料の採取はトンネル内面に付着した不純物の混入が極力少なくなるように漏水発生箇所近傍から採取した。錆の成分分析では、錆の種類などを特定することを目的として蛍光X線分析及びX線回析を実施した。

3. 調査結果

(1) ダクタイルセグメントの板厚測定

超音波厚さ計による板厚測定の計測結果は、全ての調査箇所で構造寸法より大きな数値であることが確認できた。ダクタイルセグメントは、製造方法の特徴から構造寸法に対して部材が数mm程度厚く製造されるため構造寸法に対して腐食の程度を評価することが難しい。そこで、T区間におけるスキンプレートの過去と今回の計測値をヒストグラムで整理し、比較したのが図-2となるが、今回調査では過去の調査結果の範囲内に分布していることが分かる。さらにデータ数を増やすことで正規分布になると仮定すると、調査結果の分布は、構造寸法より小さくなっている可能性は低く、経年により部材厚さが小さくなる傾向もなく、腐食の大きな進

キーワード ダクタイルセグメント 板厚測定 超音波厚さ計
連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6
東京地下鉄株式会社 鉄道本部工務部土木課 TEL03-3837-7230

行はないと考えられる. その他の部材や測定箇所においても類似の傾向が見られた.

(2) 水質分析及び水質調査

漏水の pH は, 調査箇所全てで中性に近く, 腐食要因となるような酸性の状態は確認されなかった. 一方, 塩化物イオン濃度は, C-1 及び C-2 区間では多く無かったが, T 区間では他の 2 区間の 8~10 倍の高い濃度を示した. 漏水に含まれる塩化物イオン濃度は, 漏水の蒸発により濃縮することがあるため, 漏水量は多くないが T 区間は塩化物が腐食の要因になることが想定される結果が得られた(表-2). これは, T 区間が感潮河川の下を通過していることにより漏水中の塩分濃度が高くなっているからだと考えられる.

(3) 錆の成分分析

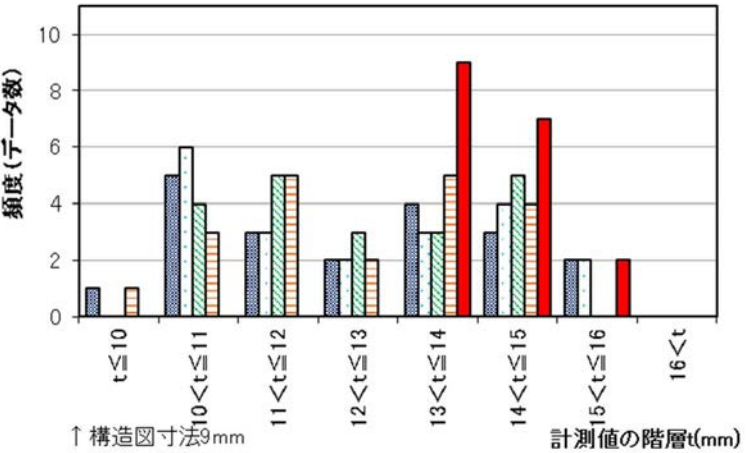
蛍光 X 測定による錆の成分分析の結果, C-1 及び C-2 区間は, Na や Cl が錆の主成分である鉄 (Fe) の約 4%程度であり, 比較的多い量が観測された. 過去の調査結果は, 鉄の約 1%程度であったことから, Na や Cl が増加していることが確認されたことから塩化物が錆の要因になっていることが考えられた. T 区間では, Na や Cl が鉄の約 40%程度で非常に多い量が観測された. これより T 区間は, 漏水に大量の塩分が含まれることで腐食の要因になっていることが考えられる.

X 線回折による錆の成分分析においては, 錆の発生直後に観測される磁鉄鉱と発生した錆が経年により変質する針鉄鋼, 鱗鉄鋼, 赤鉄鉱が観測されている. これより, ダクティルセグメントの錆は, 過去から継続的に発生し, 現在も進行している可能性があることが分かった.

4. おわりに

本調査の結果, 漏水が腐食要因の一部になっている可能性はあるものの, ダクティルセグメントの板厚は, 構造寸法以上となっており, 前回調査からの進行がなく, 現状の腐食状況は耐荷性能に影響を与える状況ではないことを確認した. しかし, 二次覆工が行われていないダクティルセグメントの腐食は対策を行わないことで進行することが想定され, 供用されているトンネルに対して, 耐荷性能が低下してから補強を行う場合, 建築限界や施工時間の制約から対策が困難で多くの費用と時間が必要になることから, 腐食を進行させない対策が重要で効果的と考えられる. そのため, 漏水に対しては早期に止水補修を行っていくとともに継続して腐食状態を確認していくことが, ダクティルセグメントを健全に維持管理していくうえで重要であると考え.

調査時期: 1973年度 1974年度 1987年度 1995年度 2022年度



調査時期	1973年度	1974年度	1987年度	1995年度	2022年度
データ数	20	20	20	20	18
平均値 (mm)	12.6	12.7	12.6	12.5	14.3
最小値 (mm)	10.0	10.2	10.2	10.0	13.3
最大値 (mm)	15.8	15.8	15.0	14.8	15.4
標準偏差 (mm)	1.9	1.9	1.6	1.6	0.7

図-1 ダクティルセグメントのスキンプレート厚さのヒストグラム: T 区間

表-2 漏水の水質調査結果

採水場所		pH 計測値	塩化物 イオン濃度 mg/L
C-1 区間	A線	7.38	166
	B線	6.84	111
C-2 区間	A線	7.55	166
	B線	7.76	166
T 区間	A線	7.50	1273
	B線	7.90	1107

※塩化物イオン濃度は, 塩分(%)を次式の関係から換算
塩分濃度 (‰) = 1.80655 × 塩化物イオン濃度(mg/L) × 10⁻³
※塩化物イオン濃度の目安
海水: 約 19,000mg/L, 河川水: 数 mg/L

参考文献 1)佐藤宏志, 渡辺仁, 品部耕二郎, 小泉淳: ダクティルセグメントの耐食性と耐久性に関する調査研究, 土木学会論文集 No. 756/IV-62, pp. 21-31, 2004. 3.