供用地下鉄 SRC トンネルにおける鉄筋腐食に影響を及ぼす劣化指標の調査

東京地下鉄株式会社　正会員　○松川　俊介
東京地下鉄株式会社　正会員　山本　努
株式会社復建エンジニヤリング　三田　昌彦
株式会社復建エンジニヤリング　渡邊　浩司

１．背景と目的

東京メトロ銀座線三越前～浅草駅間は、着工から既に 80 年近くの年数が経過している開削 SRC トンネルを基本構造とした区間で、これまでその経過年数から劣化の可能性が懸念されてきた。

この状況を受け、東京メトロでは平成 16 年に現在の劣化状況を明らかにするため、目視調査、鉄筋腐食度調査、中性化深さ測定など劣化に対する総合的な調査･測定を実施した。その結果によると、一部の漏水等が見られた箇所では鉄筋腐食度が高かった（腐食度Ⅲ：薄い浮き錆～Ⅳ：軽微な断面欠損）のに対し、大部分では塩害やアルカリ骨材反応の原因となる成分も検出されず、また中性化が鉄筋位置まで進行していても鉄筋腐食度が低い傾向（腐食度Ⅰ：腐食なし～Ⅲ：薄い浮き錆）が見られた。原因として、漏水等が無ければコンクリートの含水率が極めて低く、腐食が急速に進行するほど鉄筋への水の供給が無かった可能性が指摘された。

今回、16 年調査を補完し補修対策箇所を選定することを目的に、鉄筋腐食速度に大きく影響を与えていると考えられるコンクリートの含水率について引き続き測定するとともに、各月の漏水発生状況を調査することで、年間を通じてのコンクリートの含水状態の推移を確認した。また、16 年調査では、ごく一部で漏水等の変状が無いにもかかわらず鉄筋腐食度が高い箇所も見られたので、その原因を明らかにするため、鉄筋腐食度と中性化深さ、鉄筋被り等を調査し、各劣化指標と鉄筋腐食度の関係を考察した。

２．銀座線対象区間の概要

本調査で対象とした銀座線三越前～浅草駅間のトンネルは、昭和 2 年～7 年に順次開業している。コンクリートは現場練りだったという記録が残っており、平成 16 年の調査では配合はセメント:骨材＝1:9～10 と貧配合で、水セメント比は 46～76%と高かったとの推定結果が出ている。中性化深さはバラつきが多く見られ、一部の箇所では鉄筋位置を超えて進行していた。コア強度の平均は約 20N/mm²で、建設当時の基準強度を十分に上回っていた。

３．調査方法と数量

実施した調査とその方法･数量を表 1 に示す。

表 1　実施した調査の概要

調査項目	実施した調査･測定	目的	方法	数量	実施時期
(1) コンクリート含水率測定	表面含水率測定	通年の含水率推移の確認	表面含水率測定器	18 箇所	9 月
	内部含水率測定		電気抵抗式水分計		
(2) 漏水発生状況調査	漏水発生状況調査	漏水の発生数･状況の確認	徒歩による目視	対象全区間	8 月～10 月
(3) 鉄筋腐食度調査	鉄筋被り測定	鉄筋腐食と劣化指標の関係性把握	ノギスによる	20 箇所	1 月
	中性化深さ測定		フェノールフタレイン		
	鉄筋腐食度調査		目視による		

(1) コンクリート含水率測定

測定は、平成 16 年に測定を実施した箇所の近傍で、雨量の多い夏季（16 年は冬季に測定）に漏水･漏水痕箇所で 3 箇所、漏水補修箇所で 2 箇所、漏水等の変状が無い箇所で 13 箇所の計 18 箇所で実施した。

(2) 漏水発生状況調査

調査は対象全区間で実施した。調査方法は、軌道上からの目視により、上床･側壁に発生している漏水･漏水痕の発生箇所数･部位･発生状況を、月に 1 回、8 月～10 月の期間調査した。

(3) 鉄筋腐食度と各劣化指標との関係調査

調査箇所は、漏水箇所で 11 箇所、浮き箇所で 4 箇所、漏水･浮きが見られない箇所で 5 箇所、計 20 箇所で実施した。調査方法は、RC レーダーにより鉄筋位置を確認し、20cm 角の範囲をはつり出して鉄筋一本毎（1 箇所あたり 2～4 本）の鉄筋腐食度の確認、及び中性化深さ測定、鉄筋かぶり測定を実施した。

キーワード　鉄筋腐食、コンクリート含水率、中性化深さ、漏水、浮き、ばらつき
連絡先　〒110-8614 東京都台東区東上野 3- 19- 6　東京地下鉄(株)　工務部　ＴＥＬ03-3837-7230

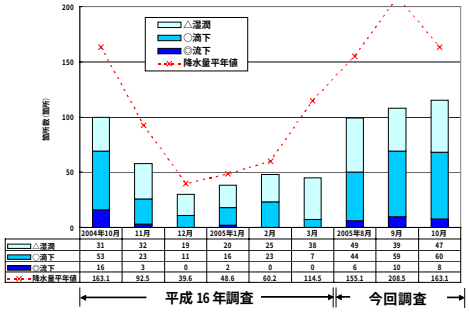
4．調査結果

(1) コンクリート含水率測定

夏季においても漏水等の変状が無い箇所では、すべての箇所で表面･内部とも鉄筋の腐食速度が極めて遅くなると判断できる 3%を大幅に下回った。漏水痕･漏水補修痕に関しては 16 年調査時からの低下が見られ、概ね 3%以下であった。漏水箇所は 5～7%とやはり高かった。

(2) 漏水発生状況調査

漏水発生箇所数と付近の月別降水量（東京管区気象台）を図 1 に示す。漏水発生箇所数と降水量にはおおまかな比例関係が見られた。



	2004年10月	11月	12月	2005年1月	2月	3月	2005年8月	9月	10月
△湿潤	31	32	19	20	25	38	49	39	47
○滴下	53	23	11	16	23	7	44	59	60
○流下	16	3	0	2	0	0	6	10	8
降水量平年値	163.1	92.5	39.6	48.6	60.2	114.5	155.1	208.5	163.1

図 1　漏水発生箇所数と降水量

(3) 鉄筋腐食度と変状の有無・中性化残りとの関係調査

鉄筋腐食度と発生している変状との関係を図 2 に示す。漏水等の変状が発生している箇所では、鉄筋は腐食している傾向にあった。また、漏水等の変状が無い箇所でも、浮きが発生している箇所では腐食している傾向にあった。漏水、浮き等が無い箇所ではあまり腐食していない傾向にあった。

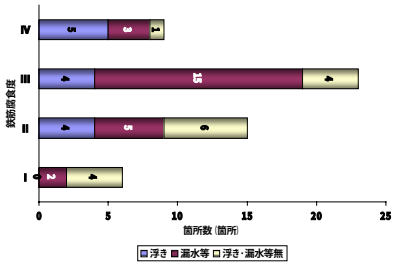


図 2　変状箇所数と鉄筋腐食度

中性化残りと鉄筋腐食度の関係を図 3 に示す。中性化残りが少ないと鉄筋腐食度が高い傾向が見られたが、中性化深さは同一はつり箇所でも、標準偏差にして 10～30 程度と大きなばらつきが見られた。

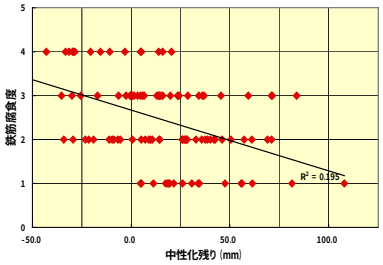


図 3　中性化残りと鉄筋腐食度

5．考察

(1) コンクリートの含水率と腐食速度について

降雨量の多い夏季でも漏水が無い箇所では含水率が極めて低いことが確認されたので、当該トンネルでは平成 16 年調査の判断のとおり、漏水等の変状が無い大部分では含水率は恒常的に低く、腐食速度が極めて遅い状態にあると推察することができる。

(2) 漏水等の変状が無い箇所で見られた鉄筋腐食について

当該区間では、一部で漏水等の変状が無いにもかかわらず、はつり出した鉄筋に腐食が見られた。今回測定した劣化指標では、この原因を推定することは難しいが、過去に漏水以外の要因により含水率が高かった時期があった可能性、含水率とは関係なく劣化因子が直接鉄筋に作用した可能性なども考えられる。

(3) 中性化深さのばらつきについて

今回の測定箇所では、中性化深さは同一箇所でも大きなばらつきが見られた。中性化深さを指標として構造物を維持管理するには、この指標が持つばらつきの大きさが原因推定や対策選定に対し与える影響を、定量的に評価する必要があると考えられる。

6．おわりに

今回の調査により、16 年調査のデータの補完をすることができた。漏水等が無くても浮きが見られた箇所については原因が特定できなかったため、安全側を考慮して補修することとした。

地下鉄トンネルは、地上部と異なり雨がかりなどがないなど特殊な環境であるため、鉄筋は腐食しづらいと考えられるが、今後は、劣化指標のばらつきを考慮した上で精度の高い予測･評価をするために必要なサンプル数等の分析を行いたい。

参考文献

- 山本努,松川俊介　「建設から 75 年経過した開削トンネルの調査･診断」　トンネル工学報告集　土木学会　Vol.15　2005 年 12 月　pp395-402
- 飯島亨,佐々木孝彦,横田優,松島学　「塩害と中性化の複合劣化を受けるコンクリート中にある鉄筋の腐食に関する研究」　コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集　日本材料学会　Vol.4　2004 年　pp11-16