RC トンネルの変状と鉄筋腐食に関する一考察

東京地下鉄株式会社　正会員　○新才　浩之
東京地下鉄株式会社　正会員　河畑　充弘
東京地下鉄株式会社　非会員　中善寺忠夫
東京地下鉄株式会社　正会員　石川　幸宏

1．はじめに

東京地下鉄株式会社では，195.1 キロの営業線を維持管理しており，約 85%が RC トンネルである．その RC トンネルで最も支配的な劣化要因の一つが中性化であり，構築コンクリートの中性化が進行していることは，過去の調査結果から明らかである．ただし，トンネル内にある複数の変状の中で，中性化によるものと判断したケースは極めて少ない．

そこで，中性化と変状の関係性を確認し，中性化の対策要否及び維持管理上の着目点を把握するために，中性化の影響が大きいと推察される区間の側壁を対象に調査・分析を行った．

2．調査内容及び分析方法

調査は，事前に実施した電磁波レーダによるかぶり厚さ調査の結果を参考に，比較的側壁のかぶり厚さが薄い区間を対象とした．はじめに，当該区間の目視・打音調査を実施し，変状位置及び状態を把握した．次に，現場の状況を考慮し，変状がある箇所とない箇所をかぶりが少ない順に 23 箇所抽出し，各箇所ではつり調査を実施した．はつり調査では，実かぶり厚さ，中性化深さ及び鉄筋腐食度を測定及び評価した．調査項目及び実施内容を**表-1** に示す．

表-1　調査項目及び実施内容

調査項目		実施内容
目視・打音調査		足場等を用いず，軌道上から目視調査した．また，手の届く範囲内で打音調査した．
はつり調査	実かぶり厚さ測定	はつり箇所でスケールを使用し，測定した．
	中性化深さ測定	はつり箇所にフェノールフタレインを噴霧し，無色の領域をスケールで測定した．
	鉄筋腐食度判定	はつり箇所の鉄筋を目視で，図-1に従って判定した．

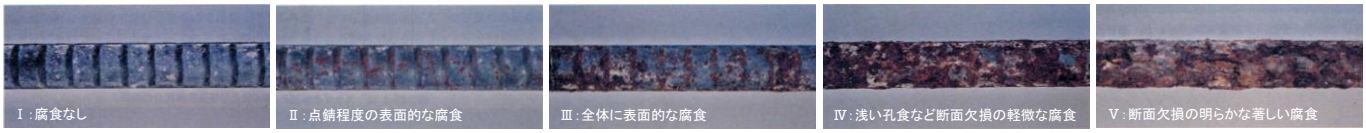

図-1　目視による鉄筋腐食グレード（「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2003-」より）

分析は，中性化等の経年劣化による変状が，鉄筋腐食量が腐食限界に達したときに発生することから，鉄筋腐食に着目して行った．分析の手順は，**図-2** に示すとおりである．

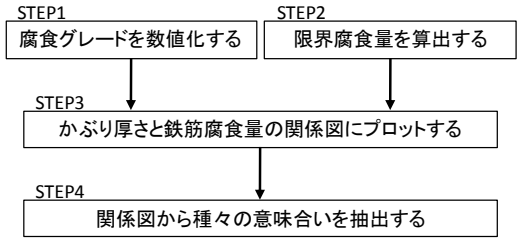

図-2　分析手順

STEP1 では，はつり箇所の主筋の腐食グレードを**図-3** に示すように詳細に評価し，松林ら[(1)]の提案する方法を用いて，現在の鉄筋腐食量を推定する．

STEP2 では，横関ら[(2)]の提案する方法を用いて，鉄筋径が 16mm の丸鋼の場合のかぶり厚さに対する限界腐食量を算出する．なお，今回調査した箇所は全て，鉄筋径が 16mm の丸鋼を使用していた．

STEP3 では，STEP1，2 の結果得られた数値をかぶり厚さと鉄筋腐食量の関係図にプロットし，STEP4 で関係図から得られる意味合いを抽出した．

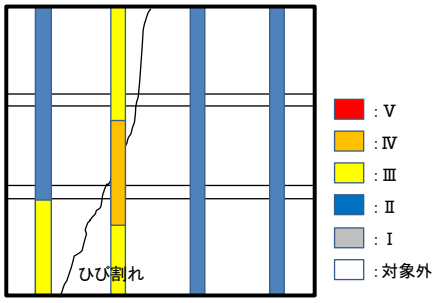

図-3　はつり箇所の腐食グレード評価図

キーワード　RC トンネル，変状，鉄筋腐食，中性化
連絡先　〒110-8614　東京都台東区東上野三丁目 19-6　東京地下鉄株式会社　ＴＥＬ03-3837-7096

3．調査及び分析結果

調査結果は，**表-2** に示すとおり，変状の有無，更に複合の有無で分類したうえで，全 23 箇所の鉄筋の腐食度の数値化（STEP1）及び限界腐食量の算出（STEP2）を行った．

表-2 中の数値に基づきかぶり厚さと鉄筋腐食量の関係図にプロットした（STEP3）．結果を**図-4** に示す．

変状なしの箇所について，中性化による腐食の可能性がある箇所のほとんどが限界腐食量を超えているが，中性化による腐食可能性なしの箇所と推定腐食量は同程度であることから，中性化のみで鉄筋が腐食する可能性は低く，鉄筋腐食は建設時からのものと考えられる．

変状があり複合していない箇所について，ひび割れ箇所及び漏水箇所で共に推定腐食量は同程度であることから，鉄筋腐食は変状の種類と関係性がほとんどないと考えられる．

また，推定腐食量は変状なしの箇所と同程度のであることから，今回調査した箇所の変状（主にひび割れ）は鉄筋腐食によるものではない可能性が高い．

変状があり複合している箇所について，漏水とその他の変状が複合した箇所では，推定腐食量が著しく多い．前述したとおり、漏水のみで鉄筋が腐食する可能性が低いことから，漏水と複合している変状も建設時からの変状であると推測され、変状箇所に漏水が発生すると鉄筋腐食が促進されると考えられる．

表-2　調査結果一覧

分類	ジャンカ	ひび割れ	濁音	漏水	かぶり(mm)	中性化深さ(mm)	中性化残り(mm)	中性化による腐食可能性	最大腐食グレード※1	推定腐食量(mg/cm2)	限界腐食量(mg/cm2)	変状発生可能性
変状なし	×	×	×	×	43	27.0	16.4	なし	Ⅲ	10.4	26.65	なし
	×	×	×	×	56	27.0	28.7	なし	Ⅳ	31.5	34.80	なし
	×	×	×	×	21	23.0	−2.0	あり	Ⅱ	6.2	11.81	なし
	×	×	×	×	28	27.0	1.2	あり	Ⅳ	29.0	16.60	あり
	×	×	×	×	30	28.0	2.3	あり	Ⅲ	21.5	17.98	あり
	×	×	×	×	25	27.0	−2.0	あり	Ⅲ	16.5	14.46	あり
	×	×	×	×	19	23.0	−4.3	あり	Ⅲ	16.5	10.32	あり
	×	×	×	×	23	42.0	−19.4	あり	Ⅲ	17.0	12.88	あり
変状あり(複合なし)	×	○	×	×	52	25.0	27.3	なし	Ⅲ	18.1	32.54	なし
	×	○	×	×	48	37.0	11.3	なし	Ⅱ	5.2	29.87	なし
	×	○	×	×	57	44.5	12.5	なし	Ⅱ	2.8	35.66	なし
	×	○	×	×	27	32.5	−6.0	あり	Ⅱ	2.8	15.46	なし
	×	○	×	×	20	22.0	−2.0	あり	Ⅲ	16.5	11.15	あり
	×	×	×	○	23	19.8	2.9	あり	Ⅱ	2.8	12.89	なし
	×	×	×	○	25	25.3	−0.8	あり	Ⅲ	16.5	14.13	あり
	×	×	×	○	16	22.5	−6.7	あり	Ⅲ	22.7	8.39	あり
変状あり(複合あり)	×	○	×	○	32	17.3	15.1	なし	Ⅱ	13.8	19.35	なし
	×	○	×	○	26	23.0	2.5	あり	Ⅳ	41.3	14.79	あり
	×	×	○	○	14	22.0	−8.0	あり	Ⅳ	41.3	7.18	あり
	×	×	○	○	21	22.0	−0.8	あり	Ⅲ	16.5	11.95	あり
	○	×	×	○	17	29.0	−11.9	あり	Ⅴ	66.8	9.25	あり
	○	×	○	○	16	35.3	−19.4	あり	Ⅳ	29.6	8.42	あり
	○	○	○	×	20	26.0	−6.3	あり	Ⅲ	21.7	10.98	あり

※1：ここでは参考値として掲載した．腐食量を推定するときは，腐食グレードを詳細に確認している．

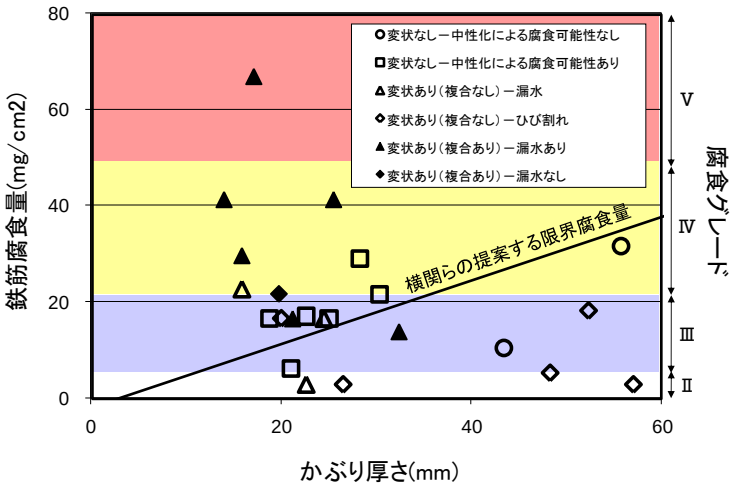

図-4　かぶり厚さと鉄筋腐食量の関係

4．おわりに

今回の調査では，中性化のみによる著しい鉄筋腐食及び変状は見られなかったことから，現時点での中性化の対策は必要ないと判断される．ただし，更なる中性化の進行とともに鉄筋腐食が進行する可能性はあるため，今後も継続的に調査等を実施する必要はある．

また，漏水とその他の変状が複合している際の鉄筋腐食が著しかったことから，今後，漏水箇所が他の変状と複合していないかを特に注意して検査する必要がある．

参考文献

(1) 桝田佳寛，掛川　勝，松林裕二，花栄　浩，小俣　一夫：鉄筋腐食度評価式の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 pp1051～1052，1992 年 8 月

(2) 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