

地下鉄トンネルの検査結果に基づく健全度評価について

早稲田大学 学生会員 ○鈴木彰吾 東京地下鉄（株）正会員 小西真治
 早稲田大学 学生会員 前田啓太 東京地下鉄（株）正会員 村上哲哉
 早稲田大学 フェロー会員 赤木寛一 メトロ開発（株）正会員 西村高明

1. はじめに

現在、高度経済成長期以降に集中的に整備された社会資本ストックの多くが老朽化し、維持管理の重要性が認識されている。また近年、社会資本を効率的・効果的に維持管理するために社会資本アセットマネジメントという手法を適用する事例が注目されている。社会資本アセットマネジメントとは社会資本ストックを社会の「資産」（アセット）とみなし、構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるのかを考慮して、構造物を計画的かつ効率的に管理することをいう。
 ここでは、既存の地下鉄トンネルのある一路線を対象としてトンネルの劣化原因の一つである中性化に着目し検査結果に基づく健全度と、別途行われたコンクリート中性化の調査結果との関係について検討した。

2. 検査結果と健全度評価

本研究では、東京地下鉄(株)の地下鉄トンネルの劣化の変状ランクなどを記録した検査データを用いて建設年次ごとの健全度を求めた。検査時に利用されている変状ランクを表1に示す。検査データについては通常全般検査と特別全般検査の2種類があり、それぞれについて集計を行った。通常全般検査は2年に一回行われ、トンネル側壁下部については目視・打音検査、トンネル上床及び側壁上部について目視検査を行い、構造物の変状を抽出している。また、特別全般検査は、20年に一回行われ、トンネル上床及び側壁上部についても入念な目視・打音検査を行い、健全度の判定精度を高めている。これら2つの検査結果については、トンネル延長を5m区間に区切り、その区間内で最も変状ランクが高いものをその区間の変状ランクとして健全度評価を行った。

表1 変状ランクの概要¹⁾

AA	列車の運行、及び旅客などの安全を脅かし、緊急の措置を要するもの
A1	進行している変状などがあり、構造物の機能が低下しつつあるもの
A2	変状などがあり、将来それが構造物の機能を低下させるおそれのあるもの
B	将来、変状ランクAに悪化する恐れのある変状などがあるもの
C	軽微な変状があるもの
S	健全なもの

対象トンネルの健全度評価を行うため、重みづけ係数を用いて対象としたトンネル路線の各年における健全度を算出した。健全度（health index）*h* とは各変状スパン数に表2に示した重みづけ係数 *k* を掛けて、変状総スパン数 *n* で割った値のことである。式(1)と表2を利用した、対象トンネル路線における両検査の健全度評価の結果例を図1に示す。

$$h = \frac{\sum_{i=1}^6 k_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^6 n_i} \quad (i = AA, A1, A2, B, C, S) \quad \dots (1)$$

表2 重みづけ係数

変状ランク(i)	S	C	B	A2	A1	AA
点数(k)	10	8	6	3	1	0

図1より2012年に行われた特別・通常の両検査結果でトンネル上部箇所に着目し健全度を比較した時、通常全般検査よりも特別全般検査で

得られた健全度がやや低い結果となっている。ただし、表1の変状ランクBからC程度の健全度は保たれていることがわかる。これは特別全般検査が通常全般検査と比較して入念な検査を実施しているからと考えられる。

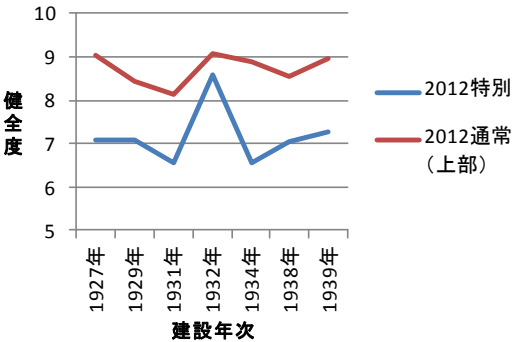


図1 トンネル建設年次と健全度の関係

キーワード アセットマネジメント 地下構造物 維持管理 健全度 中性化

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 58号館 205号室 TEL：03-5286-3405

3. 劣化原因の推定と中性化

東京地下鉄(株)によって別途行われ

た調査・分析によって、対象としている路線では塩害やアルカリ骨材反応、化学的腐食による劣化の可能性は低いことが分かっている。この路線はト

ンネル建設後 70 年以上が経過しており、中性化が一番大きな劣化要因である可能性が高い。

中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し、炭酸化反応を起こすことによってコンクリートマトリクスの pH が低下する現象である。これにより表 3 で示すようにコンクリート内の鋼材が腐食し、ひび割れが生じ、かぶりの剥落等が発生する。中性化の進行はコンクリートの品質や環境条件の影響を受けるが、一般に式(2)に示すように時間の平方根に比例するとされている。なお、表 3 における中性化残りとは、かぶりから中性化深さを差し引いた値である。

$$y = b\sqrt{t} \quad \dots (2)$$

y : 中性化深さ(mm)、 b : 中性化速度係数(mm/year)、 t : 材齢(year)

4. 中性化進行と検査結果に基づく健全度の関係

図 2 に対象トンネルにおける中性化測定結果として、かぶり・中性化進行と経年年数の関係を示す。コンクリートの中性化進行による影響を定量的に評価するために、式(3)の中性化進行割合を算出した。

$$\text{中性化進行割合} = \frac{\text{中性化深さ(mm)}}{\text{かぶり(mm)}} \quad \dots (3)$$

図 3 は対象トンネルにおけるコンクリートコア採取位置に応じた中性化進行割合の分布を示したものである。横軸の採取位置には、対

象トンネル起点からのキロ程数値が示されている。この図では、中性化進行割合が高いコア採取区間をグループ 1、中性化進行割合が中の中性化進行割合が低いコア採取区間をグループ 3 として示している。また、各グループにおけるトンネル検査結果に基づく健全度と中性化進行割合の平均値の関係を

求めた結果を図 4 に示す。図 4 から中性化進行割合が低くなるほど検査結果に基づくトンネル区間健全度が高くなることが分かる。すなわち、トンネル検査結果はトンネル躯体の中性化等の物理的劣化状態を適切に反映したものであると考えることができる。

5. まとめ

ここでは、トンネル検査結果に基づく健全度評価と、コンクリート中性化検査結果に基づく中性化進行状況について比較検討した。その結果、トンネル検査結果に基づく健全度はコンクリート中性化等の物理的劣化状態による影響を適切に反映したものであることが確認された。

参考文献

- 1) 鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（トンネル）、丸善、2007
- 2) 独立行政法人土木研究所：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル P50-58、2003

表 3 中性化進行と劣化度²⁾

劣化度	中性化残り	鋼材の腐食性	中性化による鉄筋腐食の可能性
特			
高	0mm未満	大	腐食が生じ得る
中	0mm以上 10mm未満	やや大	場合によっては中性化による腐食が生じる可能性がある
低	10mm以上 30mm未満	軽微	将来的には中性化による腐食が生じる可能性がある
無	30mm以上	なし	当面の間は、中性化による腐食が生じる恐れはない

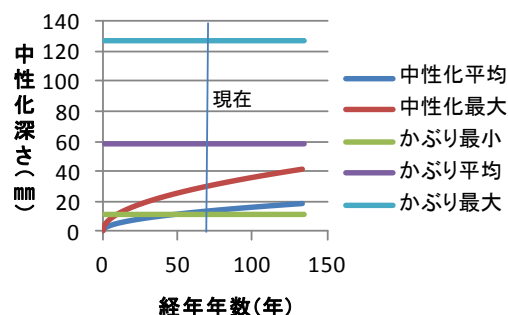


図 2 中性化深さ・かぶりと経年年数の関係

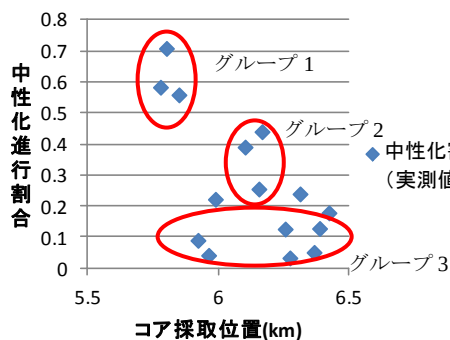


図 3 中性化進行の路線沿いの分布

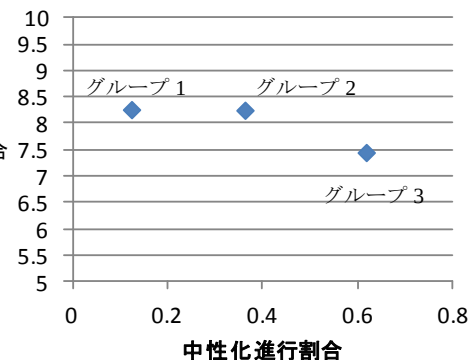


図 4 中性化進行割合と健全度