

地下鉄トンネルの点検データを用いた経年劣化予測の試み

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
早稲田大学 学生会員 ○前田 啓太
東京地下鉄(株) 正会員 山本 努

1. はじめに

近年、社会資本のマネジメント手法としてアセットマネジメントを適用する動きが増えている。アセットマネジメントは従来、個人や企業の金融資産管理に用いられてきたが、この動きは社会資本を公共の資産であると考ええるものであり、欧米などではその実践およびISO 化を目指した基準策定などが進められている。アセットマネジメントの導入により、(1)最適な費用の明示、(2)ライフサイクルコストの削減、(3)最適な投資の選定およびその効果と成長の判断、(4)統一した基準による資産管理、(5)問題個所の早期発見と適切な対処、(6)最適な中長期計画の立案、などが可能となる。

本研究は、既存の地下鉄トンネルを対象としてアセットマネジメント手法に基づく最適なマネジメントを検討することを目的として実施した。しかし、社会資本のアセットマネジメントは、組織の経営・運営戦略と強く関わりを持つためその内容は多岐にわたり、土木工学にとどまらない複雑な手法となる。ここでは、地下鉄トンネルの劣化とその修繕に着目し、劣化調査データをもとに、経年に伴う劣化推移特性を求め、それを利用した将来の劣化予測と健全度評価を試みた。

2. 点検結果とデータ整理

表 1 変状ランクの概要

本研究では、既存の東京地下鉄(株)の地下鉄トンネル(開削、シールド)の建設年次、劣化の変状ランクなどを記録した調査データを用いて、劣化予測することとした。実際の判定に利

AA	列車の運行、および旅客などの安全の確保を脅かし、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

用されている変状ランクを表1 に示す。調査は2010 年に行われたもので、既存の9 路線すべてについて実施されたものである。なお近年では、深刻な変状に相当するAAの変状ランクの事例はない。

データの整理は、次の手順で行った。

- 1) 各路線のトンネル延長を5m ごとのスパンに区切り、各スパンについて調査データに基づいて変状ランクを割り当てる。
- 2) 一つのスパン内に複数の変状が記録されている場合は、より劣化が進んでいる方のランクを採用する。

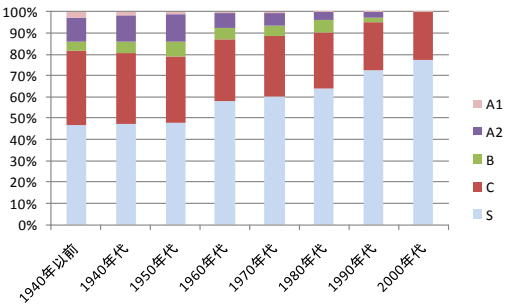


図 1 変状ランクの存在確率の例 (A 地盤の場合)

- 3) 各スパンの完成年次および地盤特性を記録し、それらについて分類する。トンネル設置位置の地盤特性は、比較的安定したA 地盤と、軟弱なB 地盤とに分類されている。
- 4) 対象トンネルの完成年次からの経年に対応した各変状ランクの個数をトンネル延長で除し、変状の存在確率を求める。

図1は、A地盤における変状ランクの存在確率を示したものである。年代が新しくなるにつれて健全な変状ランクを表すSの割合が増えていることがわかる。

以上の手順で整理したデータ（サンプルスパン数：65720）をもとに、地下鉄トンネルの経年に伴う劣化推移特性を求め、その結果を利用して劣化予測を行った。

キーワード アセットマネジメント、地下鉄トンネル、劣化予測、維持補修

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. 経年による劣化予測と健全度評価

劣化予測は、推移確率行列 $[K]$ を用いて行った。建設完成から t_n 年経過したトンネルの変状の存在確率を $\{P_X\}$ とすると、 t_{n+1} 年経過したトンネルの変状ランクの存在確率 $\{P_X\}$ は式(1) で与えられる。 K_{CC} は変状ランク C が翌年にランク C を維持していること、 K_{CB} はランク C が翌年ランク B に悪化する事象の割合を表わす。なお、ここでは次の条件を仮定してシミュレーションを行った。

表 2 推移確率行列の例(経年変化 49 年から 50 年の場合)

	経年50年	S	C	B	A2	A1
経年49年		52.76%	33.31%	5.23%	8.20%	0.49%
S	53.78%	0.981	0.019	0.000	0.000	0.000
C	32.48%	0.000	0.994	0.006	0.000	0.000
B	5.26%	0.000	0.000	0.960	0.040	0.000
A2	7.99%	0.000	0.000	0.000	0.999	0.001
A1	0.49%	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

- トンネルの劣化変状ランクが、維持補修することなく自然に改善することはない。
- 変状ランクの1年ごとの変化は、同じランクを維持するか、または1段階悪化する事象の2通りである。
- 2010年における変状の存在確率は、Sランクが100%である。

$$\{P'_C \ P'_B \ P'_{A2} \ P'_{A1}\}_{t=t_{n+1}} = \{P_C \ P_B \ P_{A2} \ P_{A1}\}_{t=t_n} \begin{bmatrix} K_{CC} & K_{CB} & K_{CA2} & K_{CA1} \\ 0 & K_{BB} & K_{BA2} & K_{BA1} \\ 0 & 0 & K_{A2A2} & K_{A2A1} \\ 0 & 0 & 0 & K_{A1A1} \end{bmatrix} \cdot \dots \cdot (1)$$

以上のような方法で求めた推移確率行列の一例を表 2 に示す。これは A 地盤条件の地下鉄トンネルの経年 49 年から 50 年に至る推移確率行列である。このような推移確率行列を連続的に乗ずることですべての路線について将来のトンネル劣化ランクの存在確率を求めることができる。

さらに、変状ランクに対して数値による重みづけをし、トンネルの健全度評価を行った。重みづけは、S:10点、C:8点、B:6点、A2:3点、A1:1点としているが、重みづけ点数は現在具体的な基準がないため、メンテナンス担当者数名の経験によるもので、列車の走行安全性を要求性能として定められている。

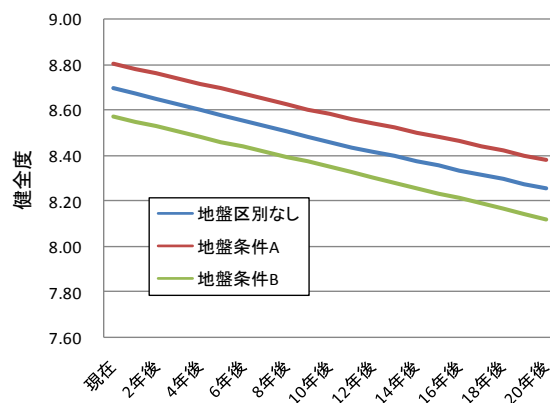


図 2 地盤別の健全度評価

図 2 は現在(2010 年)から 20 年後までの健全度の経年変化を表したものである。図 2 より、全体として健全度は単調に低下するが、20 年後でも健全度は 8 点を上回っており、軽微な変状にとどまることがわかる。また B 地盤の方が A 地盤よりも健全度が低い。これは、B 地盤の方が軟弱地盤であり、地下水位の上昇やコンクリート成分溶出によって、トンネルの劣化が進むことが原因として考えられる。またわずかではあるが、図 2 の直線の傾きが急であることから、B 地盤の方が健全度の低下が早いことがわかる。

4. まとめ

ここでは、地下鉄トンネルを対象として既存の点検調査データをもとに、経年に伴う劣化推移特性を求め、その結果を用いて将来の劣化進行を予測し、地盤条件別にトンネルの健全度評価を行った。以下に得られた結果を要約する。

- 点検調査データから劣化レベルに対応するトンネルスパンの存在確率を求めることにより、推移確率行列を用いて将来の経年劣化パターンを連続的に算出することができる。
- 全体として健全度は単調に低下するが、20 年後の健全度は良好で、軽微な変状にとどまる。
- 地盤条件に着目すると、良好な A 地盤のトンネルに比べて軟弱な B 地盤のトンネルのほうが将来 20 年間にわたって健全度が低い。

参考文献) 赤木, 志賀, 橋本, 林:電気通信ネットワーク地下構造物の維持管理の一提案, No.6-193, pp385~386, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月