

地下鉄トンネルの点検データを用いた劣化予測と修繕予算配分に対する検討

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られるものであり、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た。それをもとに個別路線に対する修繕予算配分の検討を行った。

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。実際の判定に利用

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

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トンネル5mを1スパンに区切ることでデータ整理を行った。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。この調査データより地下鉄トンネルの経年に伴う劣化推移特性を求め、劣化予測を行った。

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

表2 推移確率行列の例(経年変化49年から50年の場合)

$\{P_X\}$ 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。

経年49年	経年50年	S	C	B	A2	A1
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

a)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。

b)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。

c)2010年における変状の存在確率は、Sランクが100%である。

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

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

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(硬質地盤)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。この推移確率行列によって現在から20年後までの劣化推移予測を行った。

4.個別路線への修繕予算配分戦略

上記で求めた推移確率行列を用いた劣化予測計算を利用し、20年間における個別路線の劣化予測と健全度評価を行った。ここで健全度とは、表1の変状ランクに対して数値による重みづけをした値のことである。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。

次に、トンネルの修繕についての検討を行った。ここで、点検データを用いて各変状ランクを修繕するのに要する費用の設定を行った。設定した費用の値は表3の通りである。この条件で、年間上限予算がある中で、個別路線に対してどのように予算配分を行えば、費用対効果が高くなるのかを検討した。検討にあたって、年間上限予算は10億円とし、修繕は変状ランクが重い順から行うものとした。図1は全路線に均等に予算配分を行った際の健全度の推移を表した図である。路線A,B共に20年にわたって健全度が上昇していることがわかる。予算配分の評価は費用便益分析(B/C)を用いて評価した。費用便益の評価式はそれぞれ以下のように設定した。

$$B \text{ (便益)} = \{ \Sigma(\text{健全度上昇量} \times \text{営業収入}) \} \times (\text{トンネル補修費用} / \text{全事業営業費})$$

$$C \text{ (費用)} = t \text{ 年次の補修に使われる費用}$$

上の式によって得られる1年ごとの費用便益量をそれぞれ20年間において合計し、その比を20年における投資の費用対効果とした。ここで、便益は各路線の健全度上昇量を便益とみなし計算を行っている。修繕予算を各路線に均等に配分したB/C値を1として、個別路線の特徴(路線長、初年度健全度、営業収入)に応じて予算配分を変更した場合のB/C値を比較した結果が表4である。表4から、個別路線の特徴に応じて予算配分を行うことで費用対効果を向上させることが可能であることが分かった。

5.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、その結果を用いることで個別路線への修繕予算配分戦略について検討した。その結果以下の成果が得られた。

- 1)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(5m)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た。
- 2) 各路線の健全度上昇量を便益とみなすことで費用便益分析を行い、各路線への予算配分の投資効果を評価した。その結果、各路線の収入比や初年度健全度など各路線固有の情報を考慮して予算配分を行うことで費用対効果を高めることが可能であることがわかった。

今後は費用便益分析の式にリスクマネジメントの考え方を取り入れ、リスクをコスト化することによって費用対効果の評価を行う予定である。

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

表3 修繕費用の設定

変状ランク	補修費用(円)
A1	2312000
A2	771000
B	385000
C	154000

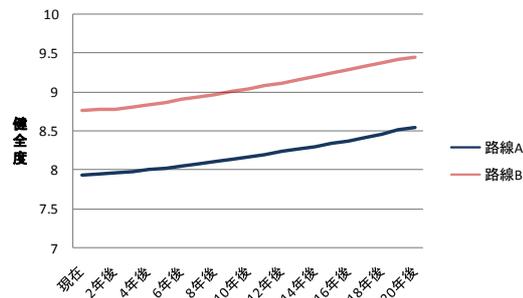


図1 修繕による健全度上昇例

表4 修繕予算配分方法とB/C値

配分方法	B/C値の比
均等配分	1
路線長を考慮	1.09
初年度健全度、営業収入を考慮	1.28