

地下鉄トンネルの点検データを用いた劣化予測と個別路線の修繕戦略に関する検討

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 東京地下鉄株式会社 正会員 小西 真治
 東京地下鉄株式会社 正会員 村上 哲哉
 早稲田大学 学生会員 ○前田 啓太

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期以降、社会インフラの整備が急速に進められてきた。そのため、その時代から建設されてきた社会インフラの老朽化が問題視されており、それらの維持管理が課題となっている。そのような状況の中、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、効率的な維持管理を実施することを目的に近年は社会インフラに対しても適用され始めている。

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、トンネル点検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戦略の検討を行った。

2. トンネル点検データとその整理について

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、劣化予測を行うこととした。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。使用したデータは 2010 年に行われた調査（一部のトンネルに関しては 2010 年と 2012 年に行われた調査）でトンネル 5m を 1 スパンに区切ることによってデータ整理を行った。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. 推移確率行列による経年劣化予測

劣化予測は、推移確率行列 [K] を用いて行った。

表 2 推移確率行列の例(経年変化 49 年から 50 年の場合)

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

	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

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推移確率行列の作成を行った。

- 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)初年度における変状の存在確率は、S ランクが100%である。

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

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。これは地下鉄トンネルの経年49年から50年の劣化状態を予測す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将来の変状ランクの存在確率を求めることが可能である。

4.個別路線の修繕戦略に関する検討

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が、列車の走行安全性を要求性能として定めたものである。

次に、トンネルの修繕についての検討を行った。まず、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単価の設定を行った。設定した単価の値は表3の通りである。単価は、トンネル点検データよりA2ランクの修繕単価の計算を行い、その他の変状に関してはA2ランクの修繕単価に重みづけ係数をかけることで設定している。この条件で、表4のように作成したシナリオの費用対効果を検討した。

表4に示すシナリオは、修繕を行う際の頻度に着目して作成されている。A1A2ランクは構造物の機能を低下させる恐れがあるため、即時に修繕が必要であると考えられる。それに対してBランクは直ちに修繕する必要性は低いため、本検討ではBランクの修繕頻度に着目した。表4のシナリオでは、A1A2ランクはすべてを毎年補修し、Bランクは3割を表4に示すような頻度で修繕している。図1は、シナリオ別の20年にわたる健全度推移である。全シナリオにおいて、20年後の健全度の値が9.5に近い値を取っていることがわかる。シナリオの費用対効果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。

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

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

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年間に於いて合計し、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(B)は各路線の健全度上昇量と営業収入を便益とみなしている。シナリオ5におけるB/C値を1として、各シナリオのB/C値を比較した結果が表5である。表5から、修繕頻度を高くすることで修繕の費用対効果を向上させることが可能であることが分かる。

5.まとめ

ここでは、地下鉄トンネルを対象として既存のトンネル点検データをもとに、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の修繕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) トンネル点検データより作成した推移確率行列を用いて将来の経年劣化を連続的に算出することができた。
- 2) 各路線の営業収入と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、個別路線の修繕シナリオを評価した。その結果、修繕頻度を高く予防的に修繕を行うことで修繕の費用対効果を高めることが可能であることがわかった。

今後は様々なシナリオを検討し、修繕の投資効果を高める方法に関する知見を得たいと考えている。

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 修繕単価の設定

ランク	1箇所当り修繕単価 (円)
A1	794000
A2	264000
B	132000
C	52000

表4 シナリオの概要

番号	概要
シナリオ1	Bランク(毎年)補修
シナリオ2	Bランク(2年に1回)補修
シナリオ3	Bランク(3年に1回)補修
シナリオ4	Bランク(5年に1回)補修
シナリオ5	Bランク補修なし

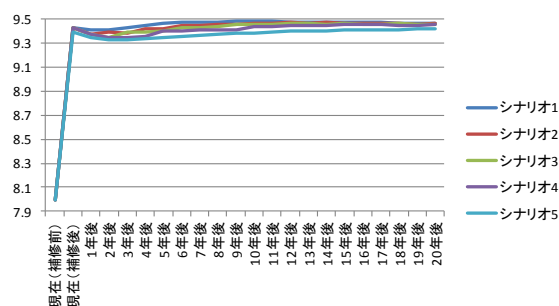


図1 シナリオ別の健全度推移

図1は、シナリオ別の20年にわたる健全度推移である。全シナリオにおいて、20年後の健全度の値が9.5に近い値を取っていることがわかる。シナリオの費用対効果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。

表5 シナリオ間の B/C 比

番号	B/C比
シナリオ1	1.277
シナリオ2	1.173
シナリオ3	1.099
シナリオ4	1.039
シナリオ5	1.000