

地下鉄トンネルにおけるアセットマネジメントの試み

アセットマネジメント 地下構造物

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
 早稲田大学 特別会員 ○川上 勇
 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，それを利用した将来の劣化予測と健全度評価を試みた．また，実際に補修を行うことを考え，補修にかかる累積費用と補修を行う際の健全度推移のシミュレーションを試みた．

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

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

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．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. 経年による劣化推移予測

表2 推移確率行列の例(経年変化49年から50年の場合)

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点検結果に基づく変状の存在確率を $\{P_X\}$ 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．

	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

- 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，1段階悪化する事象の2通りである．
- c)経年0年における変状の存在確率は，Sランクが100%である．

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

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。これは比較的硬質な 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。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う。

4. 補修による累積費用・健全度シミュレーション

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 年間の累積費用シミュレーションを行った。地盤条件 3 通り（地盤条件 A：比較的硬質、地盤条件 B：軟弱、地盤区別なし）と補修シナリオ 4 通り（変状ランク A1 のみ補修、A2～A1 補修、B～A1 補修、C～A1 補修）の計 12 通りについて行った。また、変状ランクごとの補修費用はそれぞれ表 3 に示すように設定した。なお、表 3 に示した単価は一時的に設定されたものであるため、今後変動させる可能性がある。

表 3 補修費用の例

ランク	今回設定単価(円)
A1	361,000
A2	278,000
B	195,000
C	139,000

シミュレーションの一例を表 4 に示す。これは地盤条件 A、A2～A1 補修シナリオの初年度から 1 年経過後の例である。そして、図 1 には地盤条件 A を例として各補修シナリオの 20 年間の累積費用の推移を示した。図より、現状の設定単価では累積費用は C～A1 補修、B～A1 補修、A2～A1 補修、A1 のみ補修という順に多くかかるといった結果となった。B～A1 を補修するケースと A2～A1 を補修するケースについては補修費用が初年度から比較的近くになっており、さらにグラフの傾きも A2～A1 のケースのほうが大きいため、20 年以上のスパンで考えると A2～A1 のケースの累積費用が B～A1 のケースを上回る可能性があることがわかる。

表 4 累積費用シミュレーションの例
(地盤条件 A の場合)

現在	S	C	B	A2	A1	計
1940以前	942	693	92	256	25	2008
1940年代	0	0	0	0	0	0
1950年代	1613	1102	233	440	54	3442
1960年代	5676	2881	530	716	38	9841
1970年代	5306	2498	435	581	1	8821
1980年代	2431	985	233	142	2	3793
1990年代	4222	1328	134	136	24	5844
2000年代	2342	674	2	5	0	3023

補修費用 **88,471** 万円

現在(補修直後)	S	C	B	A2	A1	計
1940以前	1223	693	92	0	0	2008
1940年代	0	0	0	0	0	0
1950年代	2161	1102	233	0	0	3496
1960年代	6468	2881	530	0	0	9879
1970年代	5889	2498	435	0	0	8822
1980年代	2577	985	233	0	0	3795
1990年代	4406	1328	134	0	0	5868
2000年代	2347	674	2	0	0	3023

1年後	S	C	B	A2	A1	計
1940以前	1222	690	91	0	0	2004
1940年代	0	0	0	0	0	0
1950年代	2160	1098	232	0	0	3490
1960年代	6368	2863	527	21	0	9879
1970年代	5889	2505	435	9	0	8822
1980年代	2582	954	228	11	0	3795
1990年代	4358	1348	157	6	0	5868
2000年代	2332	677	14	1	0	3023

また、各補修シナリオの実施における健全度推移もシミュレーションにより求めていった。健全度は、変状ランクに対して数値による重みづけをすることで評価を行った。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。ただし、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たものである。

図 2 に地盤条件 A の健全度推移の例を示す。20 年後までの各シナリオ実施における健全度、および補修を実施しない例についての推移を表したものである。A2～A1 補修シナリオと B～A1 補修シナリオでは健全度の低下は比較的緩やかであり、20 年後も健全度 9 点を上回っているのに対し、A1 のみ補修するシナリオでは全く補修をしないシナリオとほぼ同様に健全度が低下していくことがわかった。

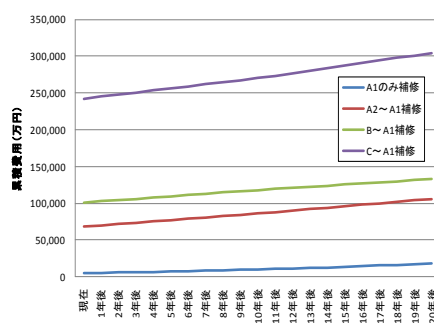


図 1 各シナリオの累積費用の例
(地盤条件 A の場合)

5. まとめ

ここでは、地下鉄トンネルを対象として将来の劣化進行を予測し、地盤条件別に各補修シナリオによる累積費用シミュレーション・健全度推移シミュレーションを行った。結果として地盤条件ごとの各補修シナリオ実施による費用・健全度の推移傾向を把握することができた。

今後は東京地下鉄(株)既存の各 9 路線について個別に劣化予測をし、それぞれ同様のシミュレーションを行うことで、実際に補修を行う際にどの補修シナリオが費用面・健全度面で最も効果的か、という点について研究していく予定である。

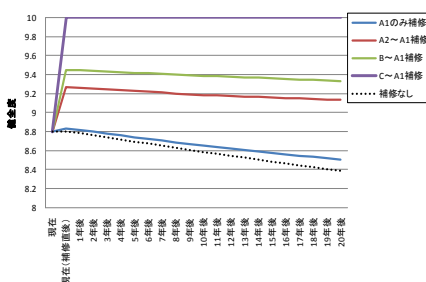


図 2 各シナリオの健全度推移の例
(地盤条件 A の場合)

参考文献) 赤木, 前田, 山本: 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, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月