

地下鉄トンネルの検査データに基づく河川下区間での健全度評価について

アセットマネジメント 地下鉄トンネル 健全度

早稲田大学 学生会員 ○三浦丈典
メトロ開発(株) 正会員 西村高明
東京地下鉄(株) 村上哲哉

早稲田大学 国際会員 赤木寛一
東京地下鉄(株) 国際会員 小西真治
早稲田大学 学生会員 鈴木彰吾

1. はじめに

高度経済成長期以降、わが国の社会インフラのストックは膨大な量にまで達し、近年ではそれら社会インフラの維持管理費・更新費の総額が、60兆円までに達する試算が出ている。このような問題に対し、アセットマネジメントなどの社会インフラの維持管理手法に関する研究が進んでいる。本研究では、社会インフラに対して維持管理手法の一つである健全度評価の適用を試みた。具体的には、地下鉄のある一路線を対象としてトンネルの検査結果に基づく健全度評価を、最悪値代入法と、累積値代入法の2つの手法を用いて、地下鉄トンネルの比較の変状が多い河川下区間について比較・検討をした。そして河川下区間において健全度を的確に反映させる為の手法として、累積値代入法の妥当性を示した。

2. 地下鉄トンネルの検査概要

本研究では、ある地下鉄トンネル1路線の変状ランクを記録した検査結果データを用いてトンネルの健全度評価を行った。トンネル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種類によるデータがあり、今回は通常全般検査について集計を行った。図-1はトンネル横断面に対して実施される特別、通常全般検査での検査概要を示す。通常全般検査は2年に1回行われ、トンネル側壁下部については入念な近接目視、打音検査、トンネル上床及び側壁上部については目視を主体とした検査を行い、構造物の変状を抽出している。

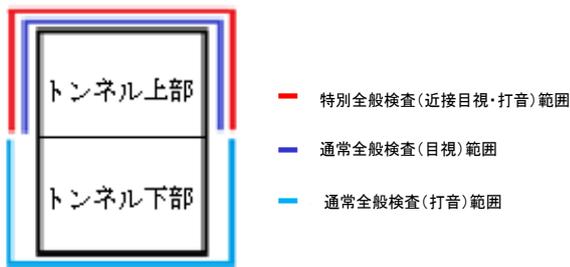


図-1 特別・通常全般検査概要

3. トンネル検査データの集計手順

本研究では、対象とした鉄道事業者が実施した検査データを集計しており、変状例には、はく離、剥落、漏水などが挙げられる。また、トンネル検査時に利用されている健全度判定区分²⁾は、鉄道構造物等維持管理標準 トンネル構造物の健全度の判定区分に基づいた。

4. 最悪値代入法・累積値代入法による健全度評価

上記で求めた各変状の検査結果を用いて、i) 最悪値代入法 ii) 累積値代入法の2つの手法を用いて、健全度評価を行った。対象トンネルの健全度の定量的評価を行うため、重みづけ係数を用いて対象としたトンネル路線の建設年次に対応した箇所における健全度を算出した。健全度(health index) h とは、変状の発生したトンネル区間(以下、変状スパン)の数に、健全度重みづけ係数 k_i を乗じて、変状スパン数で割った値のことである。なお、重みづけ係数は、点検を実施する技術者へのアンケート調査により設定した。

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

このとき、各変状スパンの健全度評価にあたって、以下の2つの方法を用いた。

i) 最悪値代入法

- ①地下鉄1路線のトンネルを5mスパンに区切り、そのスパン内で変状の最悪値をそのスパンの変状ランクとした。スパン内に変状が見られないときの変状ランクは、Sである。

表-1 健全度重み付け係数

変状ランク(i)	S	C	B	A2	A1	AA
重みづけ係数(ki)	10	8	6	3	1	0

- ②建設年代別に、各変状ランクのスパン数を対象路線全体において集計した。
- ③建設年代別に集計したトンネルの総スパン数を n_i とし、式(1)に代入して、健全度 h を算出する。なお表-1は各変状ランクの健全度重み付け係数である。

ii) 累積値代入法

- ①地下鉄1路線のトンネルを5mスパンに区切り、そのスパン内の全変状を集計した。全変状を集計する際に、劣化度に対応する重み付け点数を表-1の値を参考に、表-2に示すように定義した。

表-2 劣化度重み付け係数

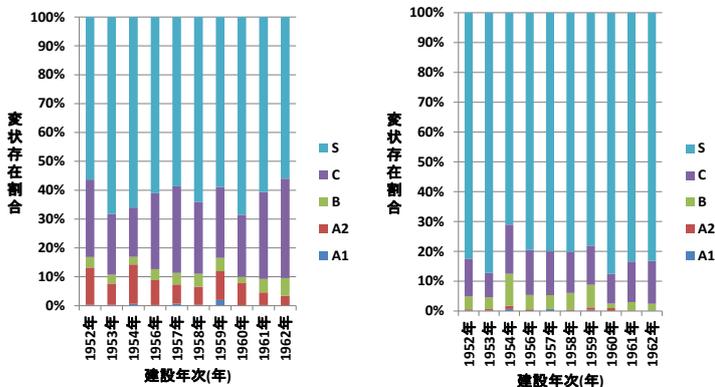
変状ランク(i)	S	C	B	A2	A1
重み付け係数(ki)	0	2	4	7	9

- ②5mスパン内に存在する変状箇所のランクごとに、表-2の重み付け係数を掛けた。例えば1スパン内にA2、B、Cの3箇所の変状があった場合、このスパンの点数は、13点である。スパン内に変状が見られないときは、0点である。
- ③1スパンにおける合計点数に応じて、変状ランクの分布をもとに表-3に示すように再定義した。例えば、合計点数が13点の場合、そのスパンの変状ランクはBとなる。

表-3 合計点数範囲と変状ランクの関係

合計点数範囲	0~5	6~10	11~20	21~30	31~
変状ランク	S	C	B	A2	A1

- ④建設年代別に集計したトンネルの総スパン数を n_i とし、再度表-1の健全度重み付け係数を利用して、式(1)に代入し、健全度 h を算出する。



(a) : 最悪値代入法 (b) : 累積値代入法
図-2 建設年次と変状ランクの存在割合の関係

図-2 は 2012 年に路線全体で行われた通常全般検査結果に基づき、上記の最悪値代入法と累積値代入法を用いて得られた各変状ランクの存在割合を対象箇所の建設年次別に比較したものである。最悪値代入法(図-2(a))では、5m を 1 スパンとして、変状の最悪値をスパンの代表値として健全度評価を行い、各スパンの最悪値を反映させているため、A2 の変状ランクの割合が多くなっている。一方で累積値代入法(図-2(b))では変状ランク S の割合が大きいが分かる。

図-3 は通常全般検査 2012 年の検査結果を用いて、健全度評価を行った結果を示した。変状ランク A2 が多い最悪値代入法を用いた方が、健全度が低い結果となった。また、最悪値代入法と累積値代入法共に、建設年次 1952 年、1954 年、1959 年の健全度が他の建設年次と比べ比較的低い結果となった。他の建設年次の区間ではトンネルの補修・修繕が進んでいるため、建設年次 1952 年、1954 年、1959 年の健全度が比較的低い結果となったと考えられる。

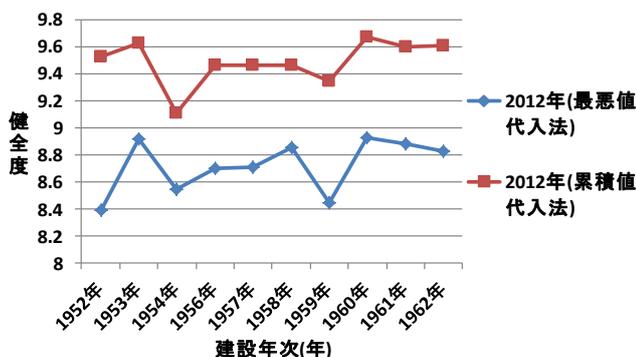


図-3 トンネル建設年次と健全度の関係

5. 河川下区間における健全度評価

一般に河川下のトンネル区間は非河川区間(以下、一般区間)と比べ、漏水などの変状が著しく多く、それにより一般区間の健全度と比較した際、河川下区間の健全度の低下が想定される。そこで、以下に示すような手順で河川下区間における健全度評価を行った。

- ①河川下区間(河川直下±50m)において³⁾、健全度評価を行う。
- ②河川下区間の地下鉄トンネルと同建設年次、同地盤、同スパン数のトンネル区間を選定し、これを一般区間とする。
- ③河川下区間と一般区間の健全度の比較・検討を行う。

図-4 は最悪値代入法を用いて求めた河川下区間での健全度と一般区間の健全度を比較したものである。この図からわかるように、健全度を最悪値法で求めた場合、河川下区間の健全度と一般区間の健全度の間には上記で述べたような傾向が認められない。

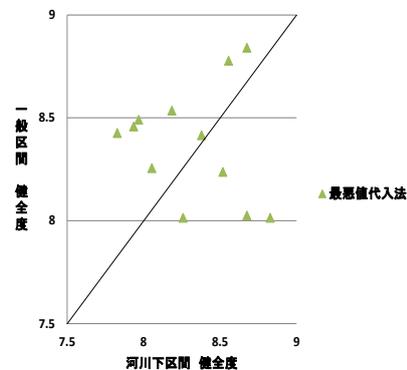


図-4 河川下区間と一般区間の健全度の関係 (i) 最悪値代入法の場合 (検査年次 2008 年~2012 年)

一方、図-5 は累積値代入法を用いて、図-4 と同様の健全度評価を行った結果を示している。

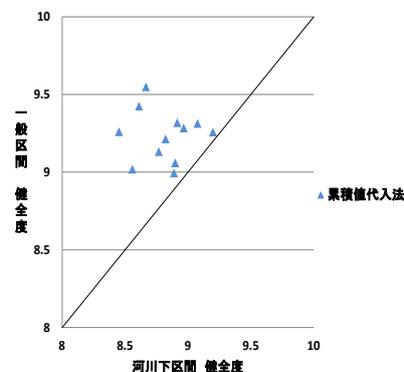


図-5 河川下区間と一般区間の健全度の関係 (ii) 累積値代入法の場合 (検査年次 2008 年~2012 年)

累積値代入法では、河川下区間の健全度が一般区間の健全度より小さくなる結果が得られた。5m スパン内にある変状をすべて考慮する累積値代入法を用いることで、河川下区間の変状を健全度に的確に反映させることができたためと考えられる。

6. まとめ

本研究では地下鉄トンネル検査結果に基づく健全度評価を、最悪値代入法と、個別の変状を反映することができる累積値代入法の 2 つの手法を用いて、比較的変状が多いと考えられる河川下区間で実施した。本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- ①5m スパンでの最悪の変状を代表させる手法(最悪値代入法)は、図-2 のように、全区間において変状の最悪箇所を健全度に反映させることが確認できる。累積値代入法で得られる健全度は、最悪値代入法で得られる値よりも大きくなる。
- ②河川下などの比較的変状が多い区間では、累積値代入法を用いて健全度評価を行うことで、河川下での健全度を的確に反映させることが確認できた。

今後の課題として、表-1、表-2 の変状ランクの重み付け係数の設定を定量的に行い、個別変状に対する更に精度の高い健全度評価を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 土木学会論文集：土木技術者のためのアセットマネジメント (コンクリート構造物を中心として)，土木学会，Vol.64，P24-43，2008
- 2) 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
- 3) 諸橋 由治ら「地下鉄箱型トンネルの塩害範囲に関する研究」トンネル工学研究発表会，Vol.70，P75-82，2014