

寒冷地トンネルにおける点検データを基にした覆工コンクリートの劣化過程

(株)地崎工業 技術部 正会員 須藤 敦史
 北海道大学大学院工学研究科 フェロ-会員 三上 隆
 北海道開発局小樽開発建設部 正会員 池田 憲二
 (株)ドーコン 交通部 フェロ-会員 岡田 正之
 (株)北企画エゾ・コリング 防災システム部 中筋 治雄

1. はじめに

北海道内では昭和 30 年代後半から山岳トンネルの整備が進んでいるが、現在の社会・経済状況では覆工や支保部材などの老朽化に伴い大規模な補修・改修が増加するものと考えられる。

一方、昭和 60 年以降 NATM の普及により、覆工面からの漏水や坑口部における地山凍結防止対策など耐久性は改善されてきているが、今後は構造物としての性能水準の低下防止対策に関する検討が急務となっている。

そこで北海道土木技術会ではトンネル研究会にトンネルマネジメント(TMS)分科会を組織して、トンネルのライフサイクルマネジメント(Life Cycle Management : LCM)や社会資本のアセット(資産)と見なすアセットマネジメントに対する様々な技術的な検討を行っている¹⁾²⁾³⁾。

本研究は LCM およびアセットマネジメントを行う上で不可欠な覆工コンクリートの性能水準の推移(劣化)過程の同定(モデル化)を北海道内の 60 カ所のトンネルで実施された覆工コンクリートの点検データを用いて試みている。

2. トンネルのアセットマネジメント(維持管理)

トンネル構造物の支保部材は他の土木構造物とは異なり覆工、支保工、ロックボルトおよび周辺岩盤(地山)などで構成されるため、建設・維持・更新などというマネジメントプロセスの適用が難しい。したがって、トンネル構造物では延命化を図ることが重要となり、ここに計画的なアセットマネジメント(維持管理手法)が必要となる。

これまでトンネルに対する維持管理は、各機関から発行されているマニュアルなどによって行われてきたが、現実には以下の課題があるため、その実行は容易ではない。

調査・設計・施工時の記録が残っておらず、それらを維持管理にフィードバックに利用できない。

トンネル供用時の点検があまり実施されておらず、加えてデータベースとしてまとめない。

地山・支保部材など変状の初期値および長期観測、また進展過程の観測記録があまりない。

点検のマニュアル化がなされておらず、加えて点検結

果を定量的に評価する手法が構築されていない。

適切な対策工の選定とその効果および対策時期の設定に対する意志決定・判断基準が不明確である。

これらに対して北海道では、ではトンネルの管理システムの開発を行い、同時に施工された各トンネルにおける設計データや施工中の各計測データの蓄積・データベース化を行っている。においては文献 2)3)に示すようにトンネル周辺地山や支保部材の長期観測を行うとともに覆工コンクリートの劣化調査を実施している。

また、および に対しては点検データの基準化および判定結果のデータベース化も進められている⁴⁾。

今後は特に に示したトンネル構造物のもつ特殊性を考慮した適切な維持管理手法と意思決定に関連する研究がアセットマネジメントを確立する上で急務である。

3. 覆工コンクリートの経年劣化について

経済的な安定成長が望めず、さらには環境負荷低減の必要性が望まれている現在の社会状況下においてトンネルなどの土木構造物は適正な維持管理を前提とした LCM を行い図-1 のように適切なタイミングで補修・補強を施して残存の耐用年数を極力延ばすことが必要となる。

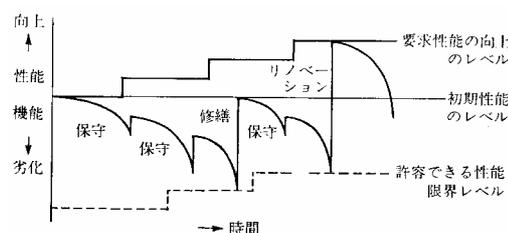


図-1 LCM等の補強・補修と耐用年数の概念図

(1) 覆工コンクリートの劣化過程

既設トンネルにおける覆工コンクリートの長寿命化を考えると、現在のコンクリート部材の損傷・劣化状態を正確に把握し、さらに今後の劣化過程を予測することが適切な補修・補強時期を判断する上で重要となる。

しかし、実際にトンネルの覆工コンクリートの経年劣化の推移過程を求めた事例がないのが現状である。

キーワード: 山岳トンネル, 寒冷地, 覆工コンクリート, 劣化曲線, マルコフプロセス, ライフサイクルコスト

連絡先 (〒105-8488 東京都港区西新橋 2-23-1 TEL 03-3592-6955 FAX 03-3502-2646 E-mail 1714@chizaki.co.jp)

したがって現状では実際に行われたトンネルの点検データを確率・統計的に処理して覆工コンクリートの劣化状態やその進行を推定せざるを得ない。

(2) 時間に依存した劣化（マルコフ）過程の予測

加えて、上記のような時間に依存した現象・事象を説明する理論的背景もまだ完全に確立されはしていない。

このような考え方としてマルコフ過程⁵⁾が挙げられ、最近ではコンクリート構造物（梁・床版）を小領域に分割した劣化進行過程をマルコフ連鎖で表した解析・検討が行われている⁶⁾。

マルコフ過程によれば、式(1)に示す覆工コンクリートの劣化進行度は遷移確率行列を用いた確率事象で表すことができ、覆工コンクリートにおける打設スパンごとの劣化度に関する現地調査や点検データなどからこの遷移確率行列を同定することで覆工コンクリートにおける劣化の進行過程の定量的予測が可能となる。

$$\begin{bmatrix} \sim \\ \sim \\ \sim \\ \sim \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-x & 0 & 0 & 0 \\ x & 1-x & 0 & 0 \\ 0 & x & 1-x & 0 \\ 0 & 0 & x & 1-x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 \sim は劣化程度の分布、 t は経過年数を表している。また x は遷移確率を表しており、ある劣化度のコンクリート部材が単位経過年数で劣化度が移行（進行）する確率を表しており、劣化度が進行しない確率は $(1-x)$ で表される。

4. 点検データの定量化と覆工の経年劣化

マルコフ過程による覆工コンクリートの劣化進行度は連続した値であるが、トンネルの点検は一般的に3年～10年程度の間隔で行われることが多く、また点検間隔に応じた離散データになり、その実施回数も少ないのが現状である。

加えて、本来ならば劣化の進行度は個々の覆工コンクリートにおける時間推移で示さなければならないが、ここではこのような観測・点検データが存在しないため、点検したトンネルの建設年代を覆工コンクリートにおける経過年数とみなして劣化進行度を図-2のように求めた。

ここで劣化度の算出は、北海道内60カ所の実施されたトンネル点検データを使用し、各打設スパンの点検データの定量的な評価はひび割れ、浮き・剥離、打音の異常などの各項目における点検値を覆工コンクリート1m当たりの劣化度として点数化を行っている。

ここで図-2において0点を健全として点数が大きいほど劣化が進行している。またトンネルの建設年代（経年）に対して覆工コンクリートの健全度は低下傾向を示しており、経過年数にしたがってその分布も広がっているが、

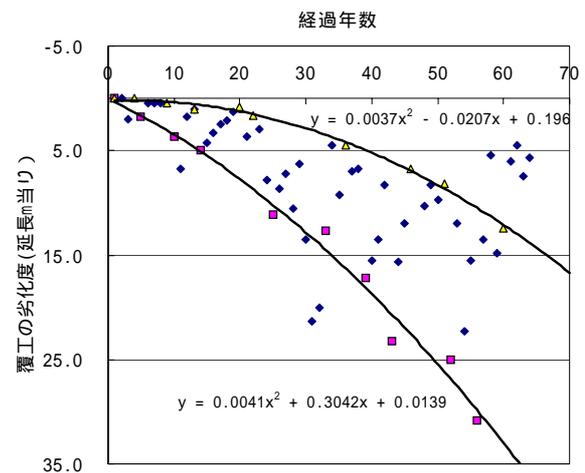


図-2 覆工コンクリートの経年劣化度

その分布形態の解析・検討、加えて時間変動およびその分布などの不確実な状態は点検データの追加および全体的な傾向を求めて行う予定である。

5. まとめ

現在の社会的・経済的環境を考えるとトンネルの長寿命化は必要不可欠であり、点検・検査・維持管理技術の定量的評価はトンネルのライフサイクルマネージメントやアセットマネージメントを行う上で重要な項目であるため、今後も様々な調査・試験を実施して検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 須藤敦史, 三上隆, 岡田正之, 河村巧, 角谷俊次: 寒冷地トンネルにおける二次覆工コンクリートの長寿命化に関する一考察, 土木学会 第21回建設マネジメント問題に関する研究発表会, pp.191-194, 2003.
- 2) 角谷俊次, 三上隆, 岡田正之, 河村巧, 須藤敦史: 既設トンネルにおける完成後10年間のB計測挙動について, TMS(旧凍結防止)分科会報告-北海道土木技術会トンネル研究委員会, トンネル技術研究発表会論文集, 2004.
- 3) 岡田正之, 三上隆, 川村浩二, 須藤敦史, 角谷俊次: 寒冷地トンネルにおけるライフサイクルマネージメントの基礎考察, 土木学会 第59回年次学術講演会 -397, pp.791-792, 2004.
- 4) 長尾俊雄, 中筋治雄, 松本義彦, 神田武浩: 数値評価システムによるトンネルの維持管理手法について, 北海道土木技術会トンネル研究委員会, トンネル技術研究発表会論文集, 2004.
- 5) 森村英典, 高橋幸雄: 2D解析, 日科技連, 1995.
- 6) 小牟禮健一, 濱田秀則, 横田 弘, 山路 徹: R/C 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発, 港湾空港技術研究所報告 第41巻, 第4号, 2002.12.