

トンネル点検データによる覆工コンクリートの劣化過程の同定

Identification of tunnel linings deterioration forecasting in cold region

(株)地崎工業 生産技術部 正会員 須藤敦史 (Atsushi Sutoh)

(株)地崎工業北海道本店 正会員 河村 巧 (Takumi Kawamura)

北海道大学大学院 FID-会員 三上 隆 (Takashi Mikami)

(独)土木研究所寒地研究所 正会員 佐藤 京 (Takashi Sato)

(独)土木研究所寒地研究所 正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)

1. はじめに

北海道では昭和30年代後半から道路整備に伴う山岳トンネルの建設が進んでいるが、最近の社会・経済環境よりトンネルの新設は難しく、加えて供用下における補修・改修作業は様々な制約条件を受け難いため、効率的かつ経済的なメンテナンス・維持管理が求められるようになる。

そこで、図-1に示すように予防保全の考え方により、トンネルに対して計画的な維持管理と延命対策を行う、ライフサイクルマネジメント (Life Cycle Management : LCM) や社会資本を資産と見なすストックやアセットマネジメントの検討が行われている¹⁾⁻³⁾。

そこで本研究は、LCM およびストックマネジメントを遂行する上で不可欠な覆工コンクリートの性能水準の推移 (劣化) 過程を同定を目的として、北海道内小樽地区における 68 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の中からひび割れデータを用いて試みている。

2. 山岳トンネルにおける維持管理

山岳トンネルは覆工・吹付けコンクリート、支保工、ロックボルトおよび周辺岩盤(地山)などで構成されているが、通常の点検は覆工コンクリート表面のみである。また、北海道におけるトンネルは、その多くは海岸線沿いまたは山岳地の生活道路に位置しており、新設・改築などは難しいため、トンネル構造物として延命化を図ることが重要となり、計画的なストックマネジメント(維持管理手法)が必要性と

なる。

これまでトンネルの維持管理は、各機関から発行されているマニュアルなど⁴⁾⁻⁶⁾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、容易ではない。

施工年代が古いトンネルでは調査・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。

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。

トンネル供用時の点検データがデータベースとしてまとめられておらず、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判断基準が不明確である。

これらに対して北海道では、⁷⁾に対しては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おり、⁸⁾に対しては文献7),8)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実施している。また、⁹⁾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^{9),10)}。

今後は¹¹⁾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と意思決定に関連する研究がストック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

(1) 覆工コンクリートの劣化過程

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。

一般に、このような山岳トンネルにおける覆工コンクリートの(性能)劣化過程をモデル化すると図-2に示すように経過年数 t_i と覆工コンクリートの劣化度(性能関数) $Q(t_i)$ との関係として表され、経過年数 t_i における劣化度の分布は $P(t_i)$ となる。

すなわち、覆工コンクリートの劣化度を同定するには、同一トンネルにおいて定められた点検・調査間隔(時

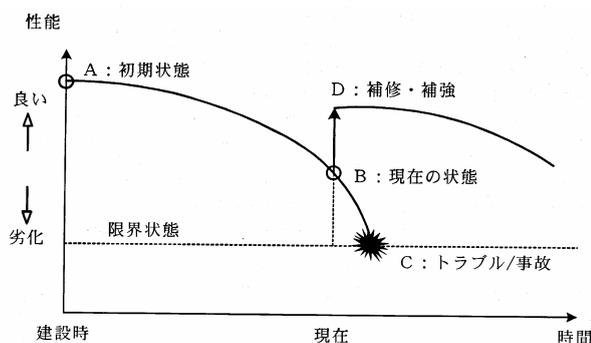


図-1 性能劣化と補修・補強の概念図

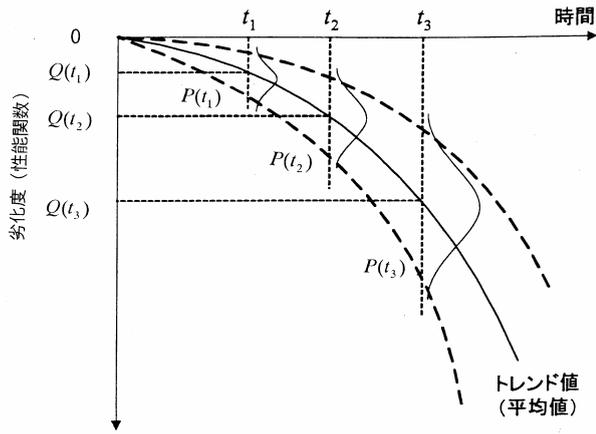


図-2 覆工コンクリートの(性能)劣化モデル

間・空間的)とその方法により、数多くのデータを収集・蓄積する必要がある。

しかし、実際に多くの点検データより覆工コンクリートの経年劣化の推移過程として求めた事例がないのが現状である。

したがって、実施されているトンネル覆工コンクリートの(目視)点検データ等に基づいて覆工コンクリートの劣化予測を確率・統計的手法を用いて行わざるを得ないのが現状である。

一方、トンネルの維持管理、特に覆工コンクリートの劣化度はa)ある地域のトンネル群における平均的な劣化度を予測する場合とb)個々のトンネル覆工における劣化・損傷を予測する場合とに大別されるが、本研究では、トンネルの点検データ等により得られた(集計的)情報から覆工コンクリートの劣化過程(性能関数)を統計的に同定するものである。

(2)時間に依存した劣化過程

山岳トンネルにおける覆工コンクリートの劣化過程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ない。

しかし、このような考え方としてマルコフ(連鎖モデル)過程¹¹⁾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¹²⁾が、これはサンプルを数え上げることにより集計的に劣化過程を推定しているものである。

一方、目視点検データから個々の施設に対する劣化過程を推定する手法^{13),14)}があるが、一般的な構造物におけるマクロ的な劣化予測に適用する場合には、何らかの平均化操作が必要となる。

4. 点検データの定量化と覆工の経年劣化

覆工コンクリートの劣化過程における進行度は連続し

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、また健全度は数値やアルファベットによる離散データ(レーティング値)になり、加えて点検の実施回数も少ないのが現状である。

本来ならば劣化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経年劣化を求めた。

(1)点検データの数値化

一般的に、山岳トンネルにおける覆工コンクリートの劣化度は、要求性能に直接影響すると考えられている ひび割れ、浮き・剥離、漏水、目地ずれ・開き、豆板・空洞、遊離石灰の6項目を定量的に表して、総合的に評価しているものであるが、これら6項目がどのように影響するかを評価することは非常に難しい。本研究では、覆工コンクリートの劣化度を示す指標として代表的な劣化現象である「ひび割れ」を使用する。

(2)ひび割れによる覆工コンクリートの劣化度

表-1 ひび割れのパターン

種別	ひび割れ幅の条件	ひび割れパターン
A	0.3mm以上	短いひび割れ散布
B	0.3mm以上	長いひび割れ(クロスあり)
C	0.3mm以上	大きな三角・四角形
D	0.3mm以上	特定部分が密(クロスあり)
E	すべてのひび割れ	その他平凡
F	0.3mm未満	短いひび割れ散布
G	0.3mm未満	長いひび割れ(クロスあり)
H	0.3mm未満	大きな三角・四角形
I	0.3mm未満	特定部分が密(クロスあり)

表-2 ひび割れの重み

交点の種類	ウエイト
0.3mm未満どうし	0.003
0.3mm以上関連	0.1

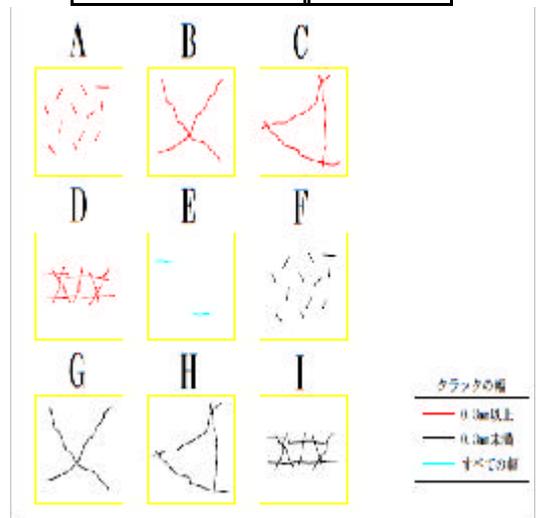


図-3 ひび割れのパターン

既存の評価方法では、ひび割れ幅や形状は特に考えずに単純に総長さのみを計測し、そこから各スパンでのひびわれによる評価値を算出していたが、ひび割れ形状によっては、剥離・剥落につながる恐れがあると考えてひび割れ幅やひび割れ形状による影響も考慮したひび割れの評価方法を考える。

まず、幅 0.3mm 以上と 0.3mm 未満それぞれのひび割れ延長、ひびわれの交点の数（0.3mm 以上が関連するものと、0.3mm 未満同士の場合とを区別）、また図-3 に示すひび割れのパターンを表-1 のように場合分けして、重み付けを行って評価を試みている。なお交点に関しては 0.3mm 未満同士の交点については危険度はそれほど高くないと考えられるため、0.3mm 以上が関連する交点とはウエイト面で表-2 に示す値を設定した。

次に、トンネルの年代と劣化度の関係を求めるには、覆工コンクリートにおける劣化度の平均値を算出しなければならない。そこで標本の分散値より大きな評価値は特異点として除いている。

ここで覆工コンクリートの劣化評価値は 0 点を健全として評価点数が大きいほど劣化が進行している。

評価値=区間比×補正係数+交点数×交点ウエイト

補正係数=ウエイト ×ウエイト ×打音ウエイト

ウエイト :変状種類別の係数(重み)

ウエイト =ひび割れ長さ×ひび割れパターンウエイト

ウエイト :発生原因・位置・状態による係数

打音ウエイト:打音検査による係数

なお、ウエイト と打音ウエイトについては、それぞれ材料劣化 1.5、清音・反発 1.0 に固定している。

5. 点検データによる覆工の経年劣化同定

小樽地区における 68 カ所のトンネル点検データを用い、ひび割れに対して前記の評価手法により、覆工コンクリートの経年劣化の同定を行っている。

(1) 在来トンネルにおける覆工の経年劣化

まず、小樽管内における在来工法で施工されたトンネル（45 箇所）の覆工コンクリートのひび割れに対する経年劣化の評価値を図-4 に示す。

図-4 より、トンネルの建設年代（経年）に伴い覆工コンクリートのひび割れに対する劣化度は低下（評価値は上昇）傾向を示している。

加えて、図-5,6 に示すように分布関数も経過年数と伴に広がる傾向を示すが、経年劣化および分布形態は点検データ数が少ないため、まだ信頼性が低いのが現状である。

(2) NATM トンネルにおける覆工の経年劣化

同様に北海道内の小樽地区における 24 カ所の NATM トンネルで実施された点検データを用い、ひび割れに対して前記の評価手法により覆工コンクリートのひび割れに

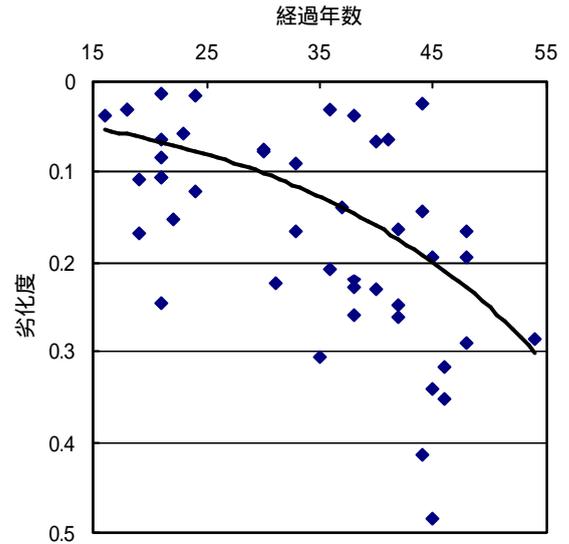


図-4 ひび割れに対する覆工の経年劣化 (在来トンネル)

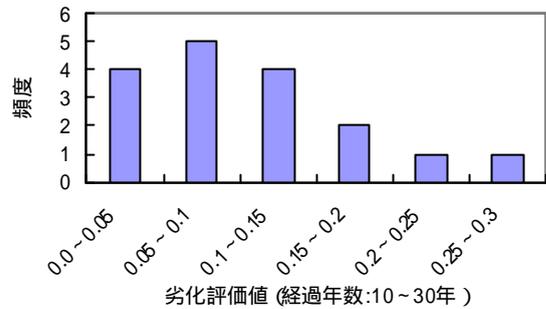


図-5 劣化評価値の頻度（経過年数10～30年）

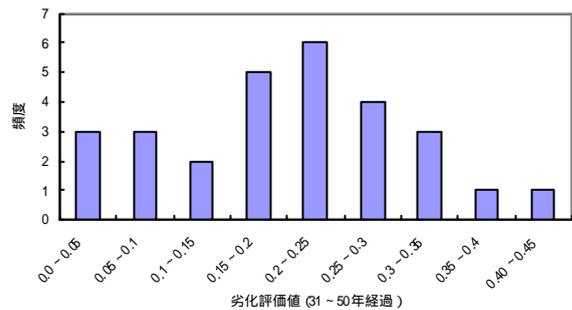


図-6 劣化評価値の頻度（経過年数31～50年）

対する経年劣化の評価値を図-7 に示す。ここで図-7 より、NATM トンネルにおいてもトンネルの建設年代（経年）に対して覆工コンクリートのひび割れに対する劣化度は低下（評価値は上昇）傾向を示している。

加えて、図-8 に示すように NATM トンネルにおいても経過年数と伴にその分布も広がる傾向を示すが、同様に点検データ数が少ないため、信頼性が低いのが現状である。

6.まとめ

トンネルの覆工コンクリートにおける性能水準の推移（劣化）過程を同定する目的として、小樽地区 68 力所のトンネル点検のひび割れデータを用いて試みた結果を以下に示す。

- (1) 在来トンネルにおいて覆工コンクリートの劣化度（性能関数）は、劣化モデルのように建設年代（経年）に伴い減少していく傾向を示し、同時に分布関数も経過年数にしたがって広がる傾向を示す。
- (2) NATM トンネルも同様に覆工コンクリートにおける劣化度（性能関数）は、トンネルの建設年代（経年）に伴い減少していく傾向を示し、その分布関数も経過年数にしたがって広がる傾向を示す。

覆工コンクリートにおける劣化度（性能関数）の定量的評価はトンネルのライフサイクルマネジメントやストックマネジメントを行う上で重要な項目であるため、点検データ数を増や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,河木巧,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) 岡田正之,三上隆,川村浩,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.
- 3) 中村一樹,竹内明男,山田正:トンネルマネジメントシステムの構築,土木学会,建設マネジメント研究論文集 Vol.11,2004.12.
- 4) 日本道路協会:道路トンネル維持管理便覧,1993,11.
- 5) 道路トンネル定期点検要領(案),国土交通省道路局国道課,平成14年4月.
- 6) 土木学会:トンネルの維持管理トンネル・ライブラリー第14号,丸善,pp.27-31,2005.
- 7) 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.
- 8) 須藤敦史,三上隆,岡田正之,川村浩二,角谷俊次:寒冷地トンネルの長寿命化に関する基礎検討-二次覆工コンクリートの挙動観測から-,第17回ふゆ

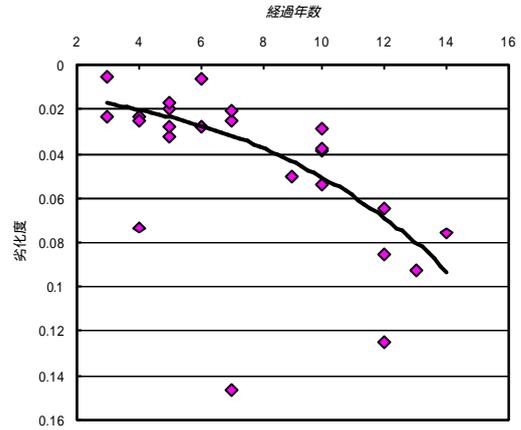


図-7 ひび割れに対する覆工の経年劣化 (NATMトンネル)

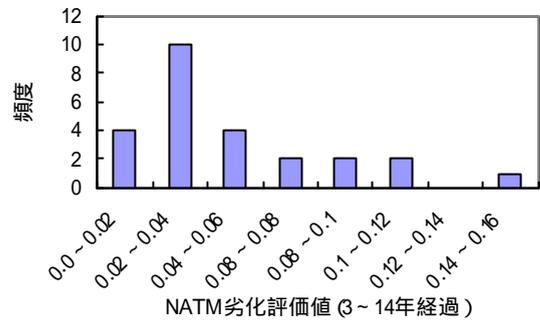


図-8 NATM劣化評価値の頻度 (経過年数3~14年)

- トピア,2005,2.
- 9) 道路保全技術センター(ROMECC)平成 16 年度報告書,平成 17 年 4 月.
 - 10) 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.
 - 11) 森村英典,高橋幸雄:マルコフ解析,日科技連,1995.
 - 12) 小牟禮健一,濱田秀則,横田 弘,山路 徹:RC 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 卷,第 4 号,2002.12.
 - 13) 津田尚胤,貝戸清之,青木一也,小林潔司:橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定,土木学会論文集,No.801/ -73,pp.69-82,2005.
 - 14) 杉山光一,貝戸清之,小林潔司:目視点検調査周期の不均一性を考慮した統計的劣化予測手法の構築,土木学会構造工学論文集,Vol.52A,pp781-790,2006.