

鉄道トンネルの維持管理へのリスクマネジメントの適用

AN APPLICATION OF A RISK MANAGEMENT METHODOLOGY TO MAINTENANCE STRATEGY FOR RAILWAY TUNNELS

小西真治¹⁾・佐藤豊¹⁾・亀村勝美²⁾・堀 倫裕²⁾・畠中千野²⁾

Shinji KONISHI, Yutaka SATO, Katsumi KAMEMURA, Michihiro HORI, Chino HATAKENAKA

Effective railway tunnel maintenance methodology has been requested since transport investment for new lines are restricted in Japan. Especially, development of methodology for asset management at market price basis or financial engineering may accelerates effective and rational maintenance policy.

In this paper, risk assessment for a railway tunnel has been carried out. Results of total costs and risk variation are useful data for the judgment of maintenance policy.

Key Words: risk assessment, maintenance policy

1. はじめに

現在我が国では、陸上交通インフラの新規建設が伸び悩む一方、既存の施設の有効な維持管理が求められている。特に近年、企業会計制度の大幅な変更や金融工学の発展に伴い、合理的・効率的な維持管理の投資計画と適切なリスク評価に対する要求は大きい。鉄道トンネルに関して言えば、近年散発的に発生したトンネル覆工剥落事故以来、鉄道トンネルの安全性が重点的に議論され、現在でも安全性と合理性を両立させるようなトンネルの維持管理手法が継続的に検討されている。本報告は、その一環としてある架空の鉄道トンネルをモデルとし、そこで発生する覆工剥落によるリスクを仮定して、これを考慮したトンネルの維持管理に要するトータルコストやリスク変動を算定・比較検討した結果を示し、提案する手法の有用性について述べる。

2. 方法論の概要と技術的特徴

2. 1 方法論の概要

本研究で構築した方法論は、図-1に示すように、構造物の劣化や劣化進行を制御する行為（点検や補修等）を行列やベクトルでモデル化し、これらを組み合わせることで構造物の将来の状態遷移をシミュレートし、その過程で発生するリスクを含んだトータルコストを算出するものである。

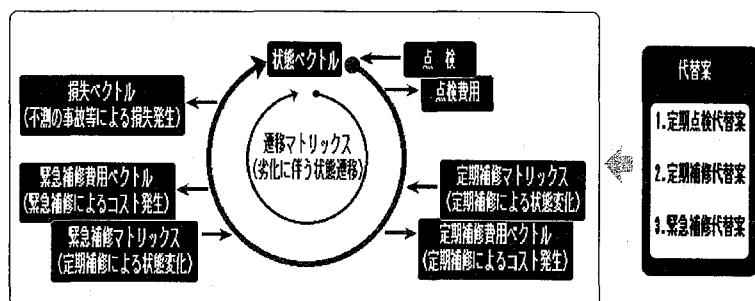


図-1 構造物の劣化と管理のサイクル

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 トンネル研究室
2) 大成建設(株) 土木設計部 トンネル地下設計室

2.2 技術的特徴

以下に、本方法論の主要な特徴を列挙する。

① データベースの作成とエレメントグループ化

ここではまず、情報の管理や補修対策が行えるように、対象構造物を分割しデータベース化を図る。例えば、トンネルであれば、長さ方向にセグメントごとに分割し、さらに天端部と側壁部とに分けて、データ管理を行っていくものである。また、対象エリアのネットワークをエリア≫管轄≫路線≫構造物≫分割したセグメントに階層化し、物理上の属性を再整理した上で、各セグメントの置かれている周辺環境や劣化の支配要因等の状況から環境上の属性を決定する。つまり同じトンネルでも、途中で破砕帯があれば、その地点のセグメントは、他の地質のセグメントとは別の属性に属していると分類するのである。

こうして、同一種別のセグメントを物理上の属性と環境上の属性との組み合わせによって再分類し、グループを作成する。例えば、同じ天端部であっても、砂岩部と破砕帯部では違うグループに分類することになる。

② 行列・ベクトルを用いたモデル化

図-1で示したように、構造物の状態推移や劣化進行を制御する処置、トンネルの補修費等を行列やベクトルで記述し、これらを組み合わせることで、実際の現象や複雑な活動を再現することができる。さらに、操作性の高いモデル化手法であるため、複雑な問題にも対処できる。

③ 遷移マトリクス等を用いた確率論に基づく劣化予測

同一グループに属するセグメントは、物理上の属性と環境上の属性が同じであっても、劣化に関しては、それぞればらつきをもって劣化しており、確定的に予測することは困難である。

本方法論では、遷移マトリクス等を用いた確率論に基づく劣化予測を行うことで、トンネルの劣化のばらつきに起因する予測誤差を小さくし、必要な精度を満たしながら、大量の構造物や多様なグループ数を扱うことを可能にしている。

④ リスクを考慮した総合的なライフサイクルコスト評価

本方法論では、点検補修などの費用とリスク（事故などの発生確率と損害額の積）との和をトータルコストと定義する。このトータルコストを主な指標として、施設の重要度、波及被害等を考慮した代替案評価、や異種構造物間の対策優先順位の検討等が可能となる。

⑤ 定量的な意志決定支援情報の作成と提示

シミュレーションの結果得られる費用とリスクの情報を様々な組み合わせることによって、定量的かつ多様な意志決定支援情報を提示することができる。これにより、一人の意志決定者が判断を行う際にも、各代替案を様々な角度から分析することが可能であり、また、各管理階層に属する意志決定者が必要とする多種の情報の提示も可能である。

3 鉄道トンネルを対象としたケーススタディ

3.1 ケーススタディの概要

対象構造物の緒元を表-1に示す。ここでは、供用期間として50年を想定し、トータルコストと単年度リスク変動を比較項目として評価を行った。対策代替案は、健全度ランクに対する補修対策の実施時期をパラメータとした4案（表-2）を作成し、点検間隔は一定とした。表-2に示す対策aは、劣化した箇所にはつり落しを行い繊維シートを接着させる断面修復を想定した。

表-1 対象構造物の緒元²⁾

工法	在来工法
列車本数	20本/時
平均乗車人数	65人/両 6両編成
トンネル延長	1008.0m
環境	地山の地質は均一
現在の健全度状態	すべて健全 健全度ランク S

表-2 対策代替案

		代替案1	代替案2	代替案3	代替案4
点検間隔	年	2	2	2	2
対策時期	状態 S	無	無	無	無
	状態 C	無	無	無	対策a
	状態 B	無	無	対策a	対策a
	状態 A2	無	対策a	対策a	対策a
	状態 A1	対策a	対策a	対策a	対策a
	状態 AA	対策a	対策a	対策a	対策a

3.2 方法論に基づくデータの作成方法

1) モデル化

図-2に示すように、まず、トンネル延長方向にアーチ覆工コンクリートの打設幅を考慮して分割した。さらに劣化の進行状況を考慮してアーチ部と側壁部に分割して、グループを作成した。なお、今回対象としたトンネルの地山は均一な地質のため、環境上の属性による再分類は行わないものとしたため、グループは、アーチ部と側壁部の2グループとなった。このグループ毎に、劣化特性、対策工の検討を行った。劣化判定区分は、表-3に示すように、一般的に鉄道事業者が用いているトンネル保守マニュアル²⁾に基づいた区分(AA～Sまでの6段階)とした。

2) 遷移マトリクス

アーチ部と側壁部の2グループ毎に、自然状態および各対策実施後の状態について遷移マトリクスを作成した。入力データは、既存の点検データ¹⁾に基づき作成した。

3) 補修対策マトリクスおよび補修費用ベクトル

補修対策マトリクスとして、定期補修対策マトリクスと緊急補修対策マトリクスを設定した。前者は定期点検後に行われる補修対策、後者は、必要に応じて随時行われる補修対策を指す。アーチ部と側壁部の2グループ毎に、無対策と補修対策として断面補修(対策a)を用意し、状態毎に必要な費用と対策効果を設定した。費用については、過去の事例の代表的な値から算定した。

4) 損失ベクトル

損失ベクトルとは、構造物が特定の状態にあることによって1年間に発生する期待費用のことである。トンネルの場合、覆工の剥落に起因するリスクを中心に劣化判定区分毎に費用を計上した。リスクの算定にあたっては、まず、覆工の剥落に起因する被害の波及過程を図-4に示すようなイベントツリーを作成し展開した。つづいて、過去の統計データに基づいて、発生確率と損失額を求め、年間あたりの期待損失を算定した。

3.3 代替案比較結果

横軸に経年、縦軸に累積トータルコストを取った累積トータルコストグラフを図-5に、横軸に経年、縦軸に単年度リスク変動を取ったグラフを図-6に示す。

これによると、50年間における維持管理計画では、累積トータルコストと単年度リスクの変動を比較し検討した場合、表-2中の代替案3が最適な補修対策案と言える。

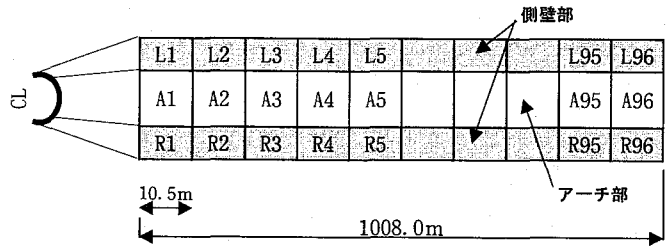


図-2 構造物のモデル化 (トンネル覆工の展開図)

表-3 劣化区分(参考資料表示)

判定区分	運転保安等に対する影響	変状の程度	措置
AA	危険	重大	直ちに措置
A1	早晚荷かす 異常外力の作用時危険	変状が進行し、機能 低下も進行	早急に措置
A2	将来荷かす	変状が進行し、機能 低下のおそれ	必要な時期に措置
B	進行すればAランクにな る	進行すればAランク になる	監視(必要に応じて 措置)
C	現状では影響なし	軽微	重点的に検査
S	影響なし	なし	

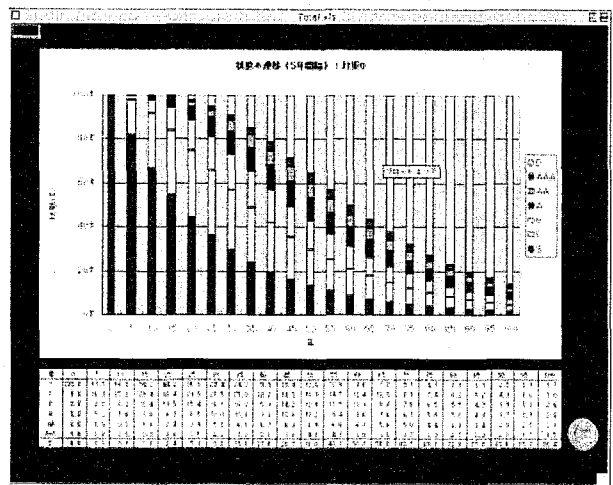


図-3 確率論に基づいた劣化予測曲線

3.4 ケーススタディのまとめ

実在の鉄道トンネルに対するケーススタディを通して、本方法論の適用性、すなわち(i)構造物の劣化の過程や様々な維持管理活動を記述できること、(ii)実務への適用に耐える簡便性・操作性を有していること、(iii)計画的かつ効率的な予防保全の実現に資する定量的な意志決定支援情報を提供できること、等が確認できたと考える。さらに、実際の検査結果あるいは記録・補強・補修結果等を利用して、トンネルの維持管理についてのリスクマネジメントを行う具体的な方法を提案した。

4. おわりに

著者らは本報告で示したリスク評価の一連の流れが、トンネルに内在するリスクを考慮した維持管理のための合理的な投資計画の策定の一助になると考えている。ただし、実問題に適用する場合には、以下のような点についてさらに詳細な検討が必要である。

①イベント発生確率と被害額の詳細な検討、それらを反映した詳細なイベントツリーの作成。

②人的損害の経済的損失など、被害の原単位の詳細な検討。

③トンネルの劣化予測に資する劣化の遷移過程を評価できるような統計データの収集。

今後これらの要因についてさらに検討をすすめる、合理的な意思決定支援情報の提供と維持管理手法の確立を目指していきたい。

本報告では、トンネルの維持管理にリスクマネジメントを適用する場合に、具体的に、検査結果や補修・補強実績をもとにモデルケースを使ってリスク評価の手順を示した。これによりこれまで言葉や概念が先行し、どのように利用するのか一般に理解され難かったリスクマネジメント手法の具体的なイメージを提供することができたと考える。今後検討事例を増やししながら本手法の精度が向上できるように改良を重ねて、一般に広く普及させていきたい。

参考文献

- 1) 小西真治, 須藤幸司, 栗林健一: リスクを考慮した構造物の維持管理手法—特集 鉄道設備のコストダウン—, 鉄道総合技術研究所, RRR, Vol.60, No.8, 2003.9.
- 2) トンネル保守マニュアル(案): 財団法人鉄道総合技術研究所, 2000.5

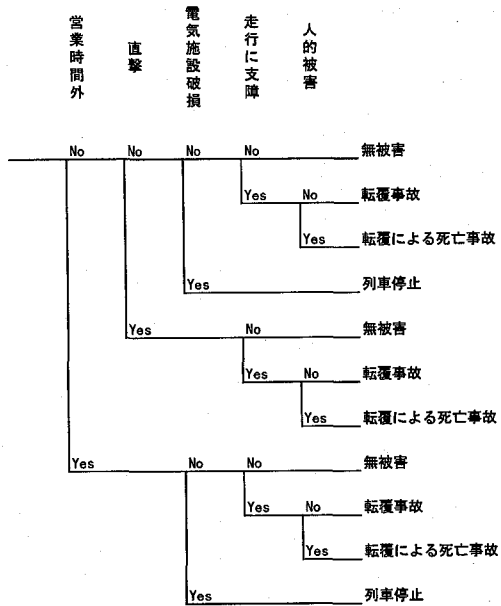


図-4 イベントツリー

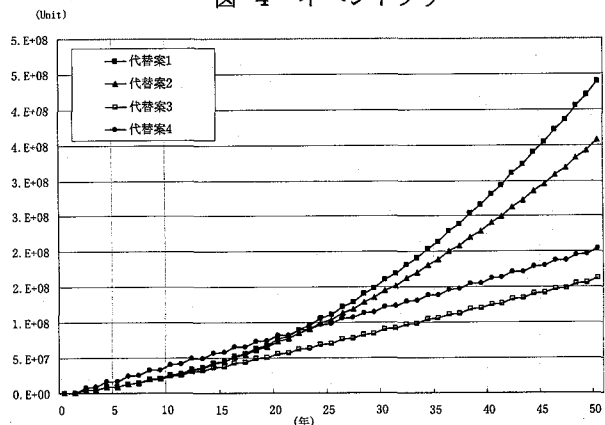


図-5 累積トータルコスト比較

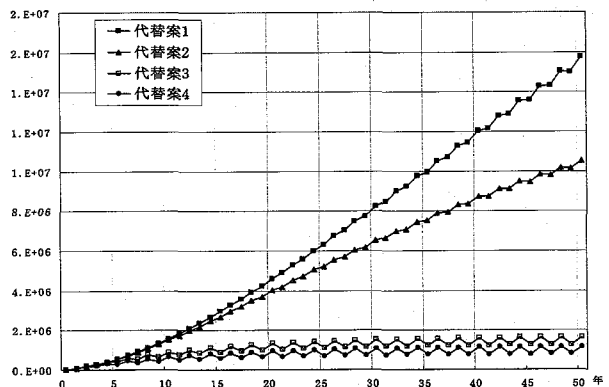


図-6 単年度リスクの変動