

トンネル構造物におけるアセットマネジメント確立に向けた維持補修の最適化

パシフィックコンサルタンツ

正会員 ○安田 亨

京都大学

学生会員 境 亮祐

京都大学

正会員 大津 宏康

京都大学

フェロー会員 大西 有三

1. はじめに

社会資本ストックをいかに長寿命化させるかという命題のもとに、費用・便益を総合的に評価する方法論として、アセットマネジメントという概念が着目されるようになってきた。このアセットマネジメントに要求されるシステム構成は、図1に示すように資産会計、資産マネジメント、点検・修繕からなる3つのサブシステムから構成され、それらを有効に結合・運用することが基本概念であると考えられる。この3つのサブシステムは、下位の維持管理レベルから、上位の予算レベルまで、それぞれ下位の構成要素を取り込みながら結合される。本研究では、これらのうち戦略レベルである資産マネジメントに焦点を当て、多く

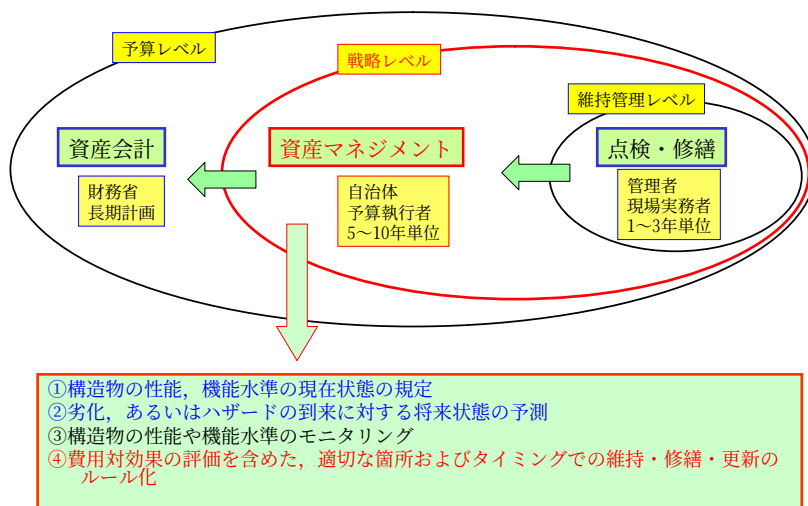


図1 アセットマネジメントの段階的構成要素

の不確実性を内包するトンネル構造物に関して、確率過程を適用した健全度低下モデルによって将来状態を予測し、ライフサイクルコスト算定により維持補修の最適化を行う手法を提案することを本研究の主目的とする。また、点検間隔・修繕を行うタイミング（臨界健全度）の最適化、トンネルが複数ある場合の優先順位、予算の平準化などの戦略的な意思決定手法について述べる。

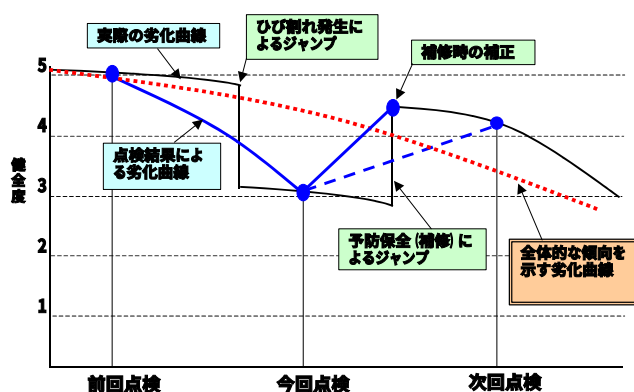
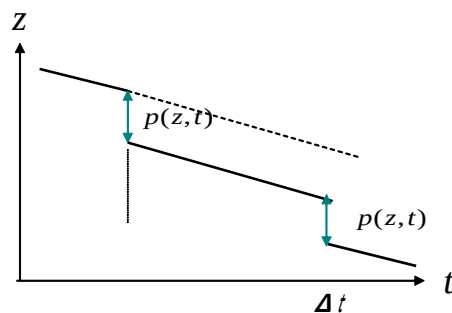


図2 健全度低下と点検ポイントの関係

2. 健全度低下予測

2.1 トンネルの性能規定

トンネルの点検結果を定量的に評価するための指標を規定する。一般的な点検結果を定量化するために用いられているグレーディング法を基本として、構造的な変状と利用者被害を誘発する変状の各項目毎に、5段階の劣化段階を設定した。点検は連続データではなく、2年から5年程度の間隔で行われることが多いから、ひび割れによる性能のジャンプが吸収される可能性が高い。これを図に表すと、図2のようになる。安田ら¹⁾は、ひび割れや補修による健全度の不連続性を、平均的にとらえたデータと考え健全度低下を全体的な傾向でモデル化している。本研究では、健全度低下をコントロールしているのは、主としてひび割れの発生であるという物理特性に着目し、このひび割れの発生時期をポアソン過程で表現することによって、健全度低下モデルを構築するものである。



$$p(z,t)=Ku \quad \text{ここに } K:\text{ドロップ係数, } \ln u \sim N(0,1)$$

図3 ポアソン過程のモデル図

キーワード トンネル、アセットマネジメント、維持補修最適化、健全度低下予測、不確実性

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島4-3-24 パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社 TEL06-6886-8436 FAX06-6886-8492

2.2 健全度低下および最適化モデル

ポアソン過程を用いたトンネル覆工の健全度低下の確率過程は次式のように表現できる。

$$dz = f(z,t)dt + p(z,t)dq \quad \dots (1)$$

ここで、第1項は健全度の自然劣化を表すトレンド項、第2項はひび割れ発生によるジャンプ項とする。ここで、ジャンプに係わるパラメータとしては、ひび割れ事象が時間0からtにおける単位時間あたりに発生する平均回数 λ 、微小区間 dt 、ジャンプドロップ量 u の3パラメータとなる。また、ひび割れ発生1回あたりの健全度ドロップ量に対数正規乱数を用いることで不確実性を表現する。覆工の修繕過程は劣化の度合いにより予防保全、補修、補強を行い健全度を回復させるモデルとする。また意思決定モデルは、点検費用: C_c 、修繕費用: C_r および利用者損失: C_u の総費用を最小化することで求める。維持管理に必要な総費用（期待LCC）を式(2)で定義し、点検間隔、臨界健全度の最適化を行う。

$$H(V) = E_v \left[\sum_{i=1} C_c \exp(-\alpha t_i) + \sum_{i=1} (C_r + C_u) \exp(-\alpha t_i^*) \right] \quad (2)$$

3. パラメトリックスタディ

3.1 点検間隔と臨界健全度の最適化

効率的な維持管理手法を検討するためにスタディを行った。表-1の3段階のパラメータを仮定し、各々の組み合わせ9ケースについて臨界健全度を30,25,20（5段階評価の3,2,1）、点検間隔を1～10年までのそれぞれで検討を行った。ポアソン過程のパラメータは、点検データ各項目のうち、ひび割れ（進行性あり）の項に特化して各パラメータを求め、モンテカルロシミュレーションにより3000回の確率のパスを発生させ、50年間のライフサイクルコスト計算を行った。結果を図4に示す。トレンド・ひび割れ平均発生率が共に大きい場合は2年間隔・臨界健全度30であり、早期に予防補修することが望ましいことがわかった。これは経験則に従う結果といえる。また共に小さい場合は点検間隔9年・臨界健全度30という結果になった。

3.2 複数のトンネルに対する優先順位

ポアソン過程モデルによるパラメトリックスタディの結果、図5に示す傾向を持ったA,B,Cトンネルが存在する場合、これらに対する戦略的な維持管理は、トンネルA>トンネルB>トンネルCという優先順位をつける事が望ましいと言える。このような手法を用いれば、同一路線の複数のトンネルに対して、全体の機能水準（サービスレベル）を落とすことなく、優先順位に基づく維持補修年次計画を立案することができ、限りある予算的制約下において平準化された効果的・効率的な資産管理が可能となる。

4. まとめ

以上、健全度の低下傾向および不確実性に応じて、維持補修を行う優先順位を意思決定することが可能となることを明らかにした。このことからアセットマネジメントにおける戦略的な投資計画が可能となる。アセットマネジメントに関して、トンネル構造物は橋梁・舗装に大きく出遅れていたが、今後は同一のプラットフォームでアセットマネジメントを論じるための基礎技術が確立されたといえ、今後のさらなる拡張が期待される。

参考文献

- 1) 安田, 大津, 大西, 中井, 不確実性を考慮したトンネル構造物の補修ルールに関する一考察, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003

表1 ケーススタディのパラメータ

	大	中	小
トレンド (一年あたりの値)	-1.17	-0.585	-0.243
ひび割れ平均発生率 (5年あたりの発生回数)	2.4	1.2	0.6

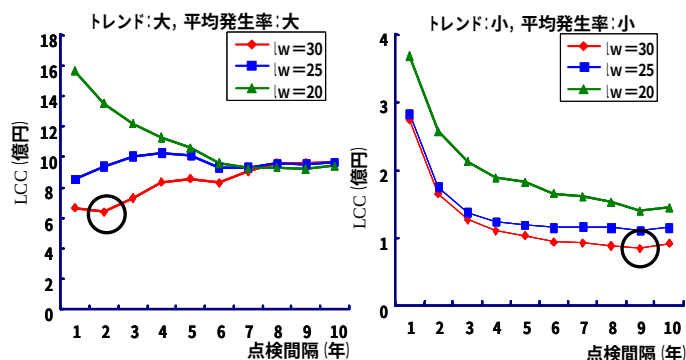


図4 最適点検間隔, 臨界健全度

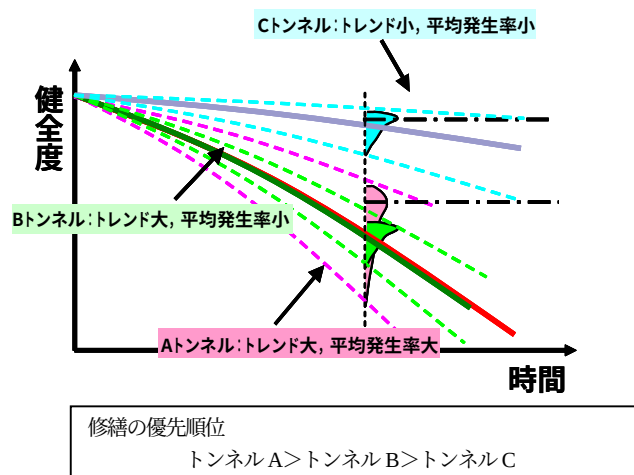


図5 戦略的マネジメント（優先順位）