

ポアソン過程によるトンネル構造物の健全度低下モデルの研究

安田 亨¹・境 亮祐²・大津 宏康³・大西 有三⁴

¹正会員 工博 パシフィックコンサルタンツ株式会社大阪本社 (〒541-0052 大阪市中央区安土町2-3-13)

E-mail:Tooru.Yasuda@os.pacific.co.jp

²学生会員 京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻 (〒606-5801 京都市左京区吉田本町)

³正会員 工博 京都大学国際融合創造センター 融合部門 教授 (〒606-5801 京都市左京区吉田本町)

⁴正会員 工博 京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 教授 (〒606-5801 京都市左京区吉田本町)

土木構造物を長期的に存続させる目的からアセットマネジメント技術を実際問題に適用するには、構造物の性能規定、劣化に伴う将来状態の予測手法、適切なタイミングで補修する意思決定手法の早期確立が必要である。しかし、トンネル構造物は周辺岩盤や覆工材料が複雑かつ不確実であり、構造物の損傷原因の特定が困難であるばかりか、劣化過程の推定には相当の不確実性が伴うことになるため、劣化過程の予測手法は未だ確立されていない。本研究では、山岳トンネル構造物の構成材料である覆工コンクリートに関する性能を規定し、不確実性を考慮したポアソン過程による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って維持補修問題を最適化する手法を提案する。

キーワード：トンネル，維持管理，アセットマネジメント，最適ルール，ポアソン過程，不確実性

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、建設・維持・補修・更新を含めて、その費用・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注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を想定すると、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つのサブシステムを構築し、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¹⁾。この3つのサブシステムは、同図に示すように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。また、システムを運用すべき主体および運用期間という観点から整理すると、点検・修繕は、現場を管理する技術者が緊急性の高い維持管理を行う段階であり、資産マネジメントは、予算執行者が5～10年程度の中期的将来の予算投資を戦略的に立案する段階であり、資産会計はさらに上位者の長期的段階というように区分される。本論文では、これらのうち戦略レベルである資産マネジメントに特に焦点を当てている。

この資産マネジメントシステムを構築するためには、次に示す事項について、総合的に検討することが必要となるであろう¹⁾。

構造物の性能、機能水準の現在状態の規定
劣化、あるいはハザードの到来に対する将来状態の予測

構造物の性能や機能水準のモニタリング
費用対効果の評価を含めた、適切な箇所およびタイミングでの維持・修繕・更新のルール化

これらの検討において最も重要な要素技術は、劣化あるいはハザードの到来に対する将来状態の予測モデルである。

以上のシステム構成に基づき、土木構造物のアセットマネジメントという概念が、現状で試行的に適用されつつあるのは道路構造物である。橋梁、舗装に対しては、その構成材料の劣化あるいは性能低下に関する不確実性に対して、マルコフ過程等に代表される確率過程を用いてモデル化し、ライフサイクルコスト最適化による意思決定問題への拡張を図る研究が報告されつつあるといえる^{2),3)}。

一方でトンネルについては、上記のような取り組みは未だ十分になされているとは言い難いのが現状である⁴⁾⁻⁶⁾。この理由は、岩盤材料が非常に複雑で

あり、構造物の損傷の原因を特定することが困難であるばかりか、劣化過程の推定には相当の不確実性が伴うためである。また別の見方をすれば、従来よりトンネル構造物は、インフラの中では管理コストをさほどかけなくても安全性が維持できる構造物とされており、現実的には定期点検さえ行われてこなかったこと、崩落事故を受けた全国一斉の緊急点検によって対処療法的に補修するというレベルであっても、その後すぐに進行が進む訳ではなく、計画的に維持計画を立てる必要性が認められなかった、などの理由が考えられる。

しかしながら、アセットマネジメントという枠組みの中で、橋梁や舗装などの他の構造物と同様に、戦略的な予算投資を目指し、効果的・効率的な維持管理計画を立案するためには、他と同様な劣化予測手法を確立する必要がある。この意味においてトンネル構造物に対するアセットマネジメントの取り組みは、大きく出遅れている状態にあることを指摘しなければならない。(図-2参照)

以上のような背景を鑑みて、本研究は山岳トンネルにおける維持補修問題を拡張させ、橋梁や舗装などの他の構造物と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に、多くの不確実性を内包するトンネル構造物に関して、ポアソン過程による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主目的としている。さらに、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などの戦略的な意思決定手法について述べるものである。

2. 従来の維持管理の問題点

トンネル構造物に関する既往の維持管理の問題点を整理すると以下のとおりである。

調査・設計・施工時の記録が残っていないことが殆どである。

変状の初期値の記録がない。また進展が不明であることが殆どである。

トンネルの安全性能に寄与する覆工の効果が完全に把握されていない。

点検は覆工表面の情報を基本とするが、表面の変状に対する背面の状況、外力の有無、地下水の影響などの相関が明確に把握できない。

トンネルの点検は客観性に欠け、判定にばらつき

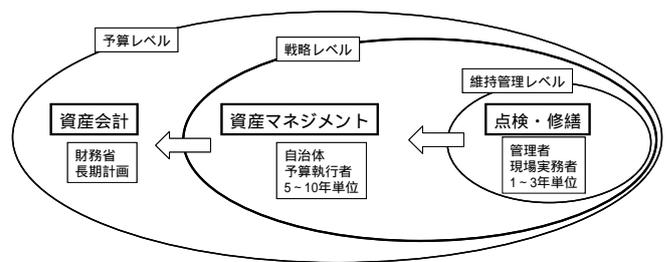


図-1 アセットマネジメントの段階的構成要素

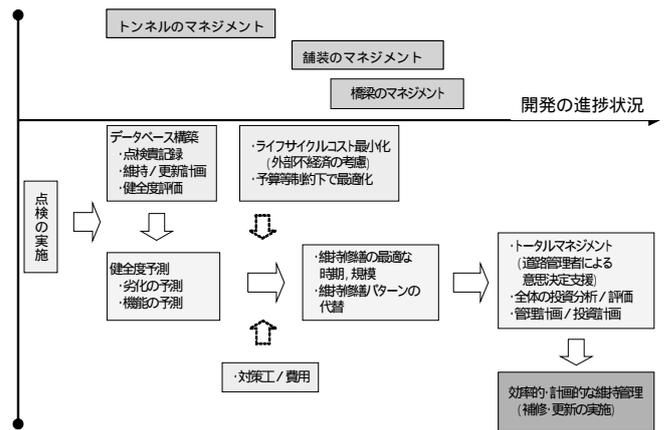


図-2 道路アセットマネジメントの進捗状況⁷⁾に加筆

が生じる。

点検結果を定量的に評価する手法が構築されておらず、適切な対策工の選定、対策時期の設定が不明確である。

これらの課題はいずれも重要であるが、特にこの課題解決が本研究の目的とするところである。

この前提において、アセットマネジメントの基礎技術である予測技術および維持補修最適化を確立するには、以下の大きな問題がある。

第一に健全度評価法としては、各機関ともグレーディング法によるS,A,B程度の3~4段階の段階評価を基本としており、連続量としての定量的評価ができない状況にある。

第二に、トンネル構造物の健全性を定量的評価をするためには、構造物の機能を明らかにし、その機能水準を性能評価し指標として規定する必要があるが、トンネルの機能とは空間の確保であり、これを明確に規定することは相当の困難をとまなうことがあげられる。またトンネルの材料は覆工コンクリートと地山を主部材としているが、岩盤部に構築される山岳トンネルにおいては、トンネル周辺の岩盤自体が空間確保の主機能を担っており、この性能を数

値的に規定することは容易ではない。以上を踏まえ、本論文においては、トンネル構造物の性能は覆工コンクリートの点検結果に基づくレーティングによって規定する立場をとることとする。

さらに覆工コンクリートの性能規定に関する問題として、健全度判定方法には、第三者影響に関する判定と、構造的変状による判定の二区分を想定する必要があることが指摘できる。構造的変状であれば、力学的変状メカニズムを考慮し、覆工の耐荷力や変位速度などの物理量で性能規定することが可能であり、かつ理にかなっている。しかし、第三者影響に関しては、力学的な背景を持たないため、物理量で規定することができない。

次に、第三の問題として、様々な種別のトンネルを対象にする必要がある点が指摘できる。古くは100年以上経過した既設トンネルから、新設トンネルにいたる幅広い対象となり、工法、材料が異なる。材料としては、レンガ、コンクリートブロック、現場打ちコンクリートなど、また工法としては在来工法、NATM工法などがあげられる。

以上の問題点を考慮し、アセットマネジメントシステムとして一連のモデルで表現するものとし、性能規定はレーティング法を基本とする。この手法で全体を構築し、その上で変状メカニズムに基づく構造的変状の場合は上乘せ指標として性能規定を加えることとし、指標間での相関をとることにより組合せることによって将来的に拡張を図る。

以上よりトンネル構造物に求められる望ましいマネジメント手法の流れは図-3 のとおりとなる。基本的には、点検データベース、レーティングによる性能規定、現況健全度評価、将来健全度低下モデル、ライフサイクルコストによる最適化を行い、補修のタイミング・効率的投資・優先順位などの意思決定を支援するシステムとする。

3. 健全度低下モデル

(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、表-1 に示すとおり、利用者被害を誘発する変状（判定区分）と、構造的な変状（判定区分）に関する判定項目ごと（ひび割れ、浮き・剥離など）に、5段階の劣化段階を設定した。この段階の境界値で健全度を定義し、健全度5は完全に健全である

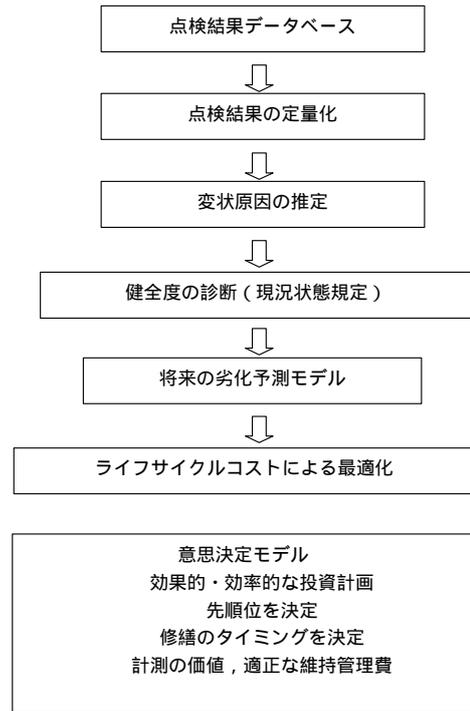


図-3 望ましい維持管理のフロー

表-1 劣化段階とレベル

劣化段階	劣化段階の状態	対策方針	劣化度 De	健全度 Sf	レベル
	劣化が著しく進行している	補強	5	0	使用限界
	劣化や変状が広範囲に確認でき、劣化、変状がさらに進行すると予想される。	補修	4	1	
	劣化や変状が一部見られ、このまま進行すると予想される。	予防保全	3	2	
	軽微な劣化や変状が見られる。	継続監視	2	3	許容限界
	健全で機能的にも問題がない。	対策なし	1	4	
			0	5	

注意：劣化段階は、その状態であるという区間を意味し、劣化度、健全度は定量化のためポイント値を意味する。

ことを示し、0 に向かうに従い健全度が低下する。ここに、劣化度は性能が低下するスコアということができ、逆に健全度は保有性能そのものを表したスコアである。トンネルにおけるスコアは、スパン毎に最も変状が顕著な判定項目スコアを選ぶものとし、スパンあたりのスコアは、構造的な変状と利用者被害を誘発する変状の区分ごとに算定し、いずれか、

あるいは顕著な方を用いるなど用途に応じて使い分けることになる。

一般的に、点検は2年から5年程度の間隔で行われることが多い。すなわち、図-4に示すように、点検データそのものは点検間隔に応じた離散データになる。しかし、健全度低下モデルとしては、将来の戦略的投資を意思決定するために、時間に関する連続モデルとして定義する必要がある。変状によるジャンプダウンや修繕によるジャンプアップなどの不連続性は問題ない。これを図に表すと、図-4の細線のようになる。ただし、どの時点で変状によってジャンプダウンしたかを点検結果のみから判定することは困難であり、ひび割れ等による健全度低下の不連続性を吸収するモデルが考えられる。これを図示すると、同図の破線のようにモデル化でき、ひび割れや修繕による健全度の不連続性を、平均的に表現している。ただし修繕によるジャンプアップは、その時点が明確に定義できることから、モデルに組み入れる。以上の点を考慮して、安田らは健全度低下を全体的な傾向でとらえ、幾何学的ブラウン運動を導入した確率過程によって健全度低下をモデル化している^{5),6)}。

本研究においては、上記のひび割れによるジャンプの課題に対して、ポアソン過程を導入した確率過程によってモデルの改良を行った。上述したように、ひび割れなどの変状が発生することによって、性能や機能水準は低下し、結果として健全度が低下する。この時期を点検によって確認することは困難で、可能とすればモニタリング手法などでトンネルの変状、ひび割れの進展などを連続記録しているような場合に限られる。しかしながら、主として健全度低下をコントロールしているのは、ひび割れの発生であることは間違いなく、このひび割れの発生時期をポアソン過程によって表現することによって、健全度低下モデルを構築しようとするものである。

幾何学的ブラウン運動によるモデルが、健全度低下の物理的意味を包括して平均的に扱っているのに対し、ポアソン過程によるモデルでは、ひび割れの発生がポアソン過程に従うと仮定していることから、より物理現象を捉えたモデルと言える。

なお、スパン毎に同様のモデルで近似することができれば望ましいが、現実には点検そのものが数点しか存在しないケースが殆どであるため、各スパンでの変動を不確実性としてとらえ、全スパンでの全体的な傾向で健全度低下モデルを構築する。

(2) 健全度低下過程のモデル化

劣化過程 $Z(t)$ は、小林・田村らによれば幾何学的ブラウン運動に従うと仮定する手法が提案されている^{1),2)}。この手法は、将来劣化予測を確率過程（確率的パス）によってモデル化するための一手法である。前節で述べた健全度低下モデルは、これらの確率過程を用いて、不確実性を考慮して確率的パスで表現することができる。

いま、トンネル覆工の健全度低下を図-5に示すようなポアソン過程を導入したジャンププロセスモ

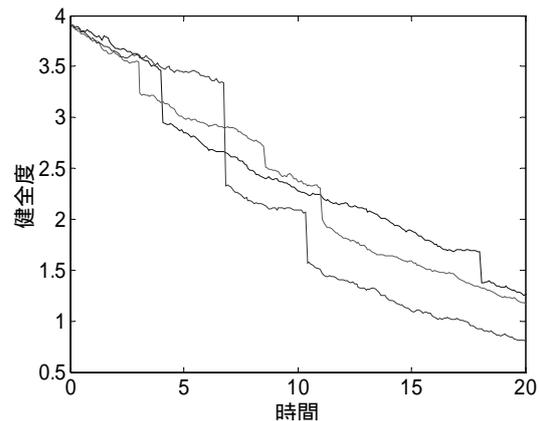


図-5 確率的パスにおけるジャンプ過程の例

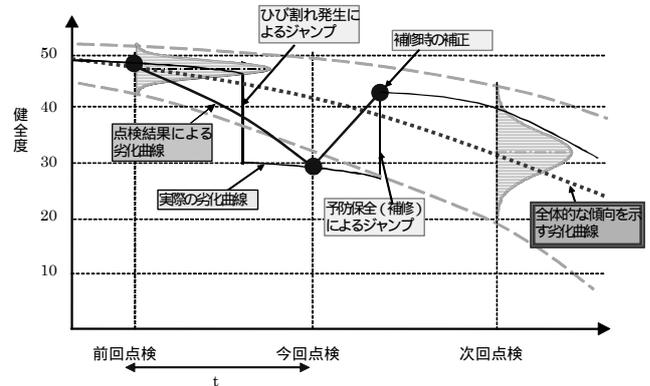


図-4 トンネル覆工の劣化過程に関するモデル図

デルで表現できると仮定すると、健全度の低下過程は次式で表現できる。ただし図-5の拡散は無視した。

$$dZ(t) = \beta Z(t)dt + \eta dq \quad (1)$$

$$Z(0) = Z_0 \quad (2)$$

$$dq = \begin{cases} u & (\text{確率 } \lambda dt) \\ 0 & (\text{確率 } 1 - \lambda dt) \end{cases} \quad (3)$$

式(1)は、第1項がトレンド項 (β は平均劣化

率), 第2項がジャンプ項を表すジャンプ拡散過程を表している. また, 式(3)は, ポアソン過程の強度 (定数) で, 大きさが u のジャンプをするポアソン過程を示し, λ はジャンプ幅率を表すパラメータ, u は対数正規分布に従う確率変数である. ジャンプによるドロップ量として対数正規乱数を用いた理由は, 次の2点である. (図-6,7 参照)

- ・劣化過程が下向きにしか変化しないと考えているため, ドロップ量として非負となる対数正規乱数を用いた.

- ・ドロップ量の平均, 分散が時間空間的に拡散することにより, 擬似的な非定常過程を作ることができる.

(3) 修繕過程のモデル化

次に, トンネルの覆工の修繕過程をモデル化する. これは, 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過程を意味している. 修繕が時刻 $0 < t_{i1}^* < \dots < t_{i2}^* < \dots$ において実施され, 時刻 t_i^* に覆工の健全度が所与の値 Z_i^* に改善される. 修繕後の健全度はある値 Z_1^* に回復するものとし, 修繕直前の健全度 (臨界健全度) を Z_2^* と表せば, トンネル覆工の健全度の確率過程は, 次式のように仮定できる.

$$dZ(t) = \beta Z(t)dt + \eta q + \sum_{i=1}^n \{Z_i^* - Z_2^*\} \delta(t - t_i^*) \quad (6)$$

$$Z(0) = Z_0 \quad (7)$$

ここに, t はディラックの測度であり, $t = t_i^*$ の時のみ確率測度 1 を与え, それ以外の時は確率測度 0 を与える. 以上のような修繕過程では, インパルス時刻 $0 < t_{i1}^* < t_{i2}^* < \dots < t_{in}^* < \dots$ において健全度がジャンプするようなインパルス制御問題となっている (制御変数はインパルス時刻 t_i^* とインパルスの大きさ Z_i^* からなる点列 $\{t_i^*, Z_i^*\}_{i=1}^n$ をインパルス制御と呼ぶ).

また点検時における修繕によるジャンプアップは, 図-8 に示すとおりとし, 点検間隔で制御する離散問題としてルール化する.

(4) 意思決定モデル

総費用を最小化するようにトンネルの維持管理を行う. 費用は定期点検にかかる点検費用, 修繕費用と可変的費用で構成される. 可変的費用とは, トンネルの修繕中, 利用者にとってトンネル内の片道走行による待ち時間や迂回することによる迂回にかか

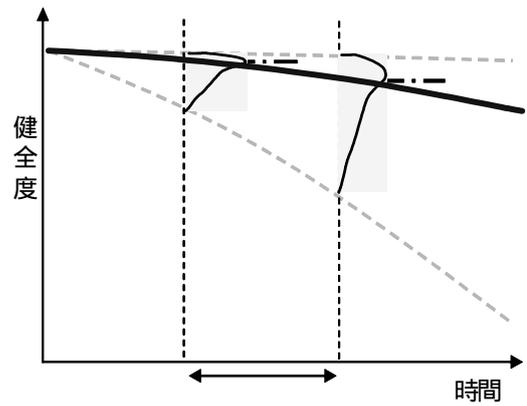
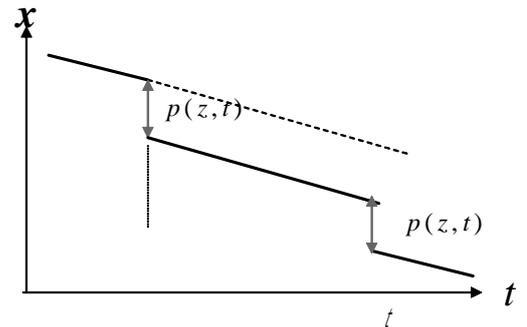


図-6 ポアソン過程による健全度低下の模式図



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

図-7 ポアソン過程のモデル図

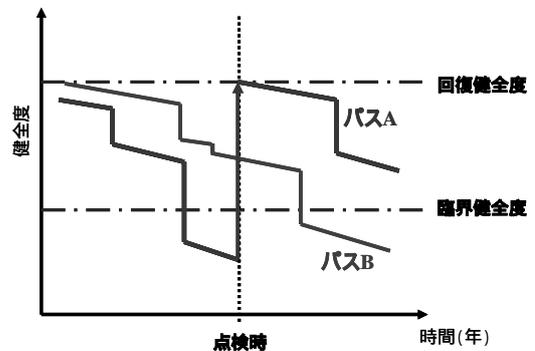


図-8 点検時におけるジャンプアップ (修繕過程) のルール

る余分な時間や走行費用などの利用者損失を可変的費用 C_u とする.

ここに, 利用者損失は次のように仮定する⁸⁾.

迂回に伴う時間・走行損失

< 時間損失 >

$$C_u = n \times \sum_m (Am \times Nm \times \Delta T) \quad (8)$$

ここに, n : 通行止め日数 (日)

A_m : 車種 m の時間単価原単位 (円 / 台・分)
 N_m : 車種 m の日交通量
 T : 損失時間 (分)

片側通行止めの場合:

基本的には同様に算出する。

次に、修繕費用に関しては、ここでは修繕前の臨界健全度 Z_2^* に依存して決定されると考え、本研究では時刻 $0 < t_{i_1}^* < \dots < t_{i_2}^* < \dots < t_{i_3}^* < \dots$ において実施される修繕の臨界健全度に対応して修繕費用 C_r を画一的に与える。

ここに、維持管理に必要な総費用 (期待 LCC) を

$$H(V) = \text{Ev} \left[\sum_{i=1}^n C_c \exp(-\alpha t_i) + \sum_{i=1}^n (C_r + C_u) \exp(-\alpha t_i^*) \right] \quad (9)$$

と定義する。第一項は定期点検に要する総費用の現在価値を表し、第二項は補修費用と補修期間に発生する利用者損失の総和の現在価値を表す。ただし、

α は社会的割引率であり、 $\exp(-\alpha t)$ は、現在価値に割り戻す計算を行っている。通常、 $(1 + \alpha)^t$ で割ることにより計算されるが、これは $\exp(-\alpha t)$ の一次近似である。

以上から、トンネル管理者は、式 (9) により計算される $H(V)$ が最小になる修繕のタイミング、および臨界健全度 Z_2^* を求めることができる。

ただし、トンネル構造物において修繕は定期点検時に行われることが多いことを考慮し、適切なタイミングというものを適切な点検間隔ととらえ、適切な点検間隔で制御する問題とする^{5),6)}。

すなわち、意思決定する項目は、
 修繕を行う適切な臨界健全度
 修繕を行う適切な点検間隔
 回復させる健全度

ここに、 Z_2^* の回復健全度については、本研究において便宜的に一律とし、完全に初期同等とは言えないが、ほぼ健全といえるレベルに回復するものとして設定した。

4. パラメトリックスタディ

(1) 解析パラメータ

ポアソン過程を導入した確率過程モデルによる解析に用いるパラメータは、実際のトンネルの点検データから代表的なパラメータを求め、これを基本としてトレンド、ジャンプ項それぞれ3ケースを定め、合計9ケースについて、スタディを実施する。具体

的なパラメータ同定法は以下のとおりである。

ジャンプはひび割れに依存するため、判定区分における進行性が認められるひび割れに着目し、このひび割れに関するスコアのみを分解して取り出しポアソン過程のパラメータ算定に用いるものとし、全体のスコアからひび割れ分を差し引いたその他の判定項目に関するスコアから、トレンドのパラメータを算出する。

式(1)において、

$$dq = \begin{cases} 0 & (\text{確率: } 1 - \lambda dt) \\ u & (\text{確率: } \lambda dt) \end{cases} \quad \ln u \sim N(0, 1)$$

とすると、ジャンプ量は、 u となる。実トンネルの点検データから、解析に用いるパラメータを同定するには、まず、ひび割れ発生確率を仮定した確率的パスを発生させ、シミュレーション結果として T 年時における健全度低下量 (ドロップ量) の確率分布を求め、実測値の分布と比較することにより、適切な $\lambda, dt, u,$ を決定するものである。

ひび割れによる平均発生率を $\lambda = 0.1$ と仮定したシミュレーションによって発生させた確率的パスを用いて、 T 年後の理論値としての確率分布を求める。

で求めた実際のひび割れのみでの点検結果の確率分布と で求めたシミュレーションによるドロップ量の確率分布とを比較し、実際のデータにおける平均値を最も的確に表現できる微小区間 dt を決定する。

確率的パスによる予測平均値が、実際の点検結果の進行性ひび割れのみによるスコアの平均値に合致するように係数 u を求める。

で求めた u を用いて算出した平均値が、実際の点検結果の進行性ひび割れ以外を加えた総合点スコアの平均値に適合するようにトレンドを決定する。

(2) スタディの方針

パラメータは、トレンドとジャンプ項それぞれについて3ケースを与え、合計9ケースを扱う。また点検間隔の最適化のため、点検間隔が1年~10年の10パターン、および臨界健全度は30,25,20(5段階評価の3,2,1)の3レベルを扱う。したがって、全270ケースについて期待LCCを求めた結果を総合

表-2 パラメトリックスタディに使用したパラメータ

	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

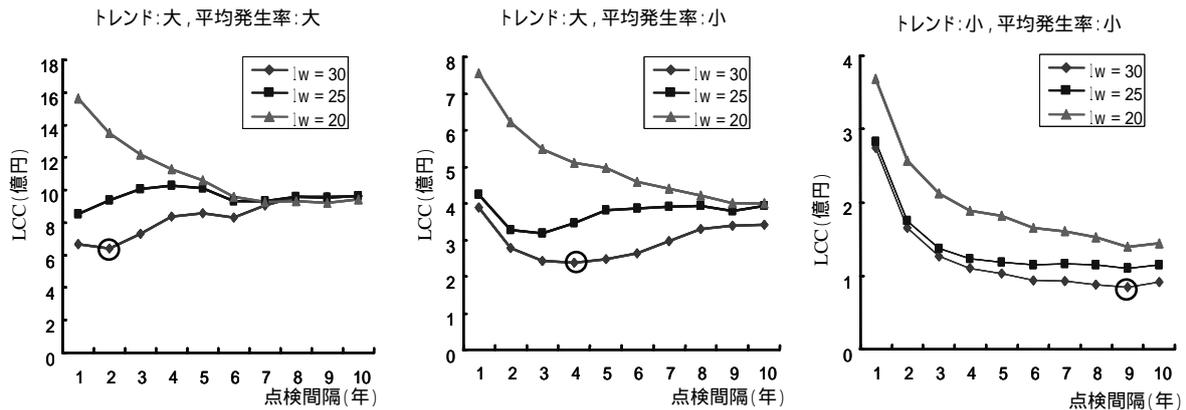


図-9 スタディ結果（点検間隔の変化のLCCに対する影響）

評価することによって、実際に存在するトンネルに当てはめた場合に、維持補修のルール化に係わる最適な戦略を選定する手法および考え方について提案するものである。

3章に示したように、修繕過程を含めた健全度低下予測をポアソン過程によるモデルによって表現し、モンテカルロシミュレーションによって確率的パスを3000回発生させ、臨界健全度と点検間隔によって図-8に示すルールに従い制御して、LCCをパス毎に求め、対象とするケースの期待LCCと分散を求める。パラメトリックスタディに使用した各パラメータは表-2のとおりである。

(3) 点検間隔と臨界健全度の最適化

点検間隔の変化による影響についてであるが、図-9から分かるように、トレンド・ひび割れ平均発生率が共に大きいトンネルの場合、LCCが最小になるのは、点検間隔2年、臨界健全度30の時である。

トレンドが大きく、ひび割れ平均発生率が小さいトンネルの場合、LCCが最小になるのは、点検間隔が4年もしくは5年、臨界健全度が30の時である。即ち、ともに大きな場合の点検間隔よりは延期することができるが、予防保全的に劣化が進みすぎない段階で修繕を行うのが良いという結果になった。

トレンド・ひび割れ平均発生率が共に小さいトンネルの場合、LCCが最小になるのは、点検間隔9年、臨界健全度30の時である。一般的にはトレンド項が小さければ、無補修でも良い場合もある。しかし、ここで設定したトレンドは、トレンド項のみによる健全度劣化で考えれば、50年間のうちに一度は補修しなければならない程度のトレンドであり、このような場合は点検間隔を拡大しても良いという結果

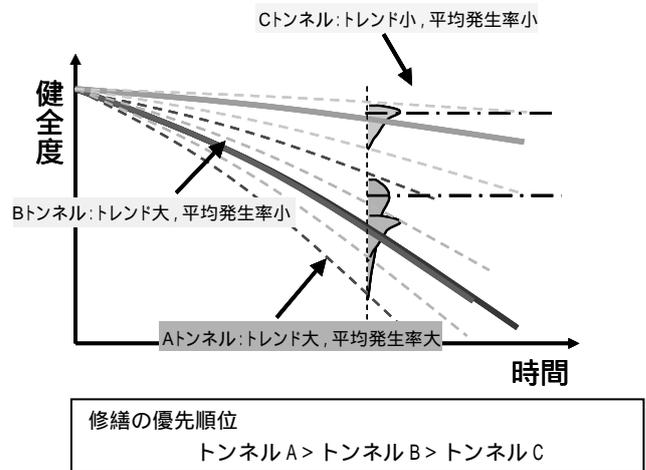


図-10 戦略的マネジメント（優先順位）

が得られた。

(4) 優先順位ルール

複数のトンネルを維持管理していく上で重要になるのが、いつ、どのタイミングで修繕を行うかという問題である。ケーススタディの結果より、次のようなことが言える。

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-10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、効果的・効率的な資産管理が可能となる。

5. まとめ

本研究より得られた知見は、以下とおりである。

トンネル構造物の現状の健全度および将来的な状態を規定するための性能評価法として、点検結果に基づくレイティング法を提案した。従来、健全度評価は3～4レベルの段階で設定していたが、連続データ化することで将来予測が可能となる。

ポアソン過程によるモデルはひび割れ発生による健全度低下に着目したモデルであり、物理的背景をもつモデルであることから、基本的にはポアソン過程によるモデルが適正であると考えられる。一方、トレンドが非常に小さい場合は、確定論的な特性曲線あるいは期待値パスによるモデルで十分である。

不確実性を考慮した確率過程によって維持補修最適化を行った研究はあるが、期待値による結果と類似した結論になるとされてきた。本研究においては、トンネル点検の特殊性から臨界健全度に達した時点で補修するのではなく、次回の点検時点まで補修を延期するという点検間隔による制御にしているため、不確実性を考慮した確率的パスの結果と期待値パスによる結論に差異が生まれ、かつ確率的パスの方が現実的な戦略に近い結論を得ることができることが明らかとなった。これは、点検間隔などの二次制御を行う場合は、不確実性を考慮した確率的パスによることが適切であることを意味している。

LCC 算定により点検間隔、臨界健全度を最適化し、維持補修の意思決定モデルに拡張した。特に点検間隔の最適化に取り組んだ事例は、他に例を見ない。

トンネルが複数存在する場合において、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。この分野で、トンネル構造物は橋梁・舗装に大きく出遅れていた

が、今後は同一レベル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考える。

本研究では、戦略的維持管理手法としてのプロトタイプとして、確率過程による予測および意思決定モデルを提案した。結果に及ぼす影響因子として、点検結果のスコア化手法や費用パラメータの設定等、課題はあるものの、維持修繕予算の平準化を実現していくための戦略的維持管理手法を立案できるモデルは、土木構造物のアセットマネジメントの重要なコア技術となることが期待される。

参考文献

- 1) 大津宏康：建設分野におけるリスク工学の適用性とその展望，土木学会論文集，No.728/VI-58,pp.1-16，2003.
- 2) 栗野盛光，小林潔司，渡辺晴彦：不確実性下における最適補修投資ルール，土木学会論文集，No.667/ -50，pp1-14，2002.
- 3) 田村謙介，小林潔司：不確実性下における道路補修の補修ルールに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.18(1)，pp97-107，2001
- 4) Yasuda.T, Ohtsu.H., Ohnishi,Y., Development of strategic maintenance system of the rock structure, which applied risk management, PROBABILISTICS IN GEOTECHNICS- Technical and economical risk estimation,
- 5) 安田，大西，大津，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，土木学会年次学術講演会,2003
- 6) 安田，大津，大西，道路トンネルの維持・補修問題へのリスク工学理論の適用に関する研究，土と基礎特集号，2003.6
- 7) 国土交通省，平成14年度道路政策のポイント
- 8) 大津宏康，大西有三，水谷守，伊藤正純：地震に伴う災害リスク評価に基づく斜面補強の戦略的立案方法に関する一提案，土木学会論文集，No.679/ -51，pp.123-133，2001.