

山岳トンネルの劣化曲線の特性評価に関する一考察

A Study on Characteristic Estimation in regard to Deterioration Prediction Curve of Mountain Tunnels.

山田 浩幸¹・木村 定雄²・岡嶋 正樹³・重清 浩司⁴・藤原 康政⁵
Hiroyuki YAMADA, Sadao KIMURA, Masaki OKAJIMA, Kouji Sigekiyo, Yasumasa Fujiwara

It is assured that the number of tunnels constructed from mid-1950's to mid 1960's which 50 years or more passed after constructions will increase rapidly. These tunnels occupy 20 percent of whole and total length is 540 km.

The rational and effective maintenance management of a tunnel structure which will increase rapidly has been the stringent subject. The mountain tunnel has the feature that plain concrete which is the main structure is non-line structure and the tunnel itself is unable to be updated easily because of various conditions.

In the future, it'll be important to do well-planned and efficient maintenance or repair by calculation life cycle cost (LCC) and do a preventive maintenance.

In this study, the present condition of the deterioration prediction method of the present mountain tunnel is investigated and analyzed. In addition, we estimate deterioration prediction curve of mountain tunnel from a point of view of asset management, and the future deliberate maintenance and performance-based design are proposed.

Key Words : mountain tunnel, preventive maintenance, deterioration prediction curve, asset management, design base on performance

1. はじめに

今後の地下構造物の維持管理を進めていく中で、山岳トンネルを対象に考えると設計時の基準 50 年以上経過したものが全体の約 20% (540km) を占め、今後急激に増える事は確実である。これまでは不具合箇所(変状や漏水等)に関して対処療法的に対応してきたものの、近年の覆工コンクリートは落事故や地震被害を契機にその信頼性が疑問視され、トンネル自体の維持管理・更新への関心が高まっている。一方、公共投資が抑制される中で、新規建設による更新は難しく、おのずと合理的・効果的な維持管理が大きな課題である。

山岳トンネルの設計は舗装や橋梁といった分野に比較して「トンネルの要求性能や照査項目」が明確でないため、多くは見なし設計で対処せざるを得ない。現状では、トンネルの劣化予測に関して、①時間依存性を考慮した数値解析による方法²⁾、②確立過程(マルコフ理論)を用いた手法³⁾、③点検履歴から確率過程を用いた劣化予測手法^{4)~6)}等が提案されている。

本研究では、アセットマネジメント的な観点から劣化曲線を評価し、今後の計画的な維持管理や性能設計に向けた提案を行うものである。

キーワード：山岳トンネル、予防保全、劣化予測曲線、アセットマネジメント、性能設計

¹正会員 ㈱鴻池組 大阪本店 土木技術部

²正会員 金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科

³正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 交通技術本部トンネル部

⁴正会員 (株)ドーコン 構造部

⁵正会員 清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部

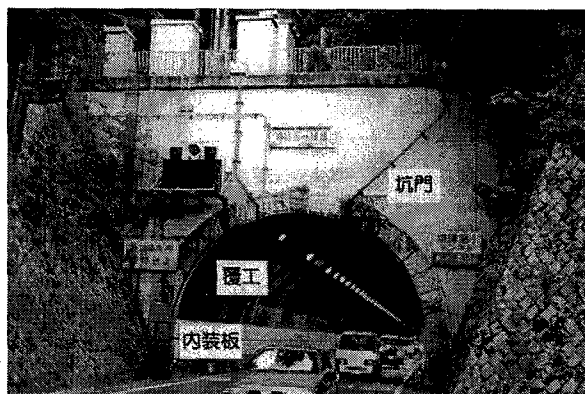


写真-1 既存トンネル本体工の現況¹⁾

2. 山岳トンネルの維持管理の現状

2.1 一般的な維持管理と劣化予測

図-1に現状で実施されている一般的な維持管理の手順を示した。

まず、対象となる構造物に対して、表-1に示すような維持管理区分を設定し、まず初回点検（構造物に関する情報収集）を実施する。さらに、初回点検の結果に基づき維持管理計画の策定と劣化予測、評価及び判定を行い、対策が必要と判断される場合には速やかに対策を実施する必要がある。

コンクリート構造物の劣化予測の代表的なものとして中性化の予測式を以下に示す。

$$y = b\sqrt{t} \quad \dots \text{式(1)}$$

y : 中性化深さ (mm)

t : 中性化期間 (年)

また、対策が不要と判断される場合には、維持管理計画に基づき、定期的な点検を行うことで構造物の延命化を図っていく。

ここで、維持管理対象として、大規模な対策を実施した場合には、図-1に示すとおり、維持管理区分の見直しと初回点検を行う必要がある。

なお、点検および評価・判定において、劣化予測が困難となる場合には、点検回数を増やすことにより劣化原因の特定および、対策工の効果を判断している。

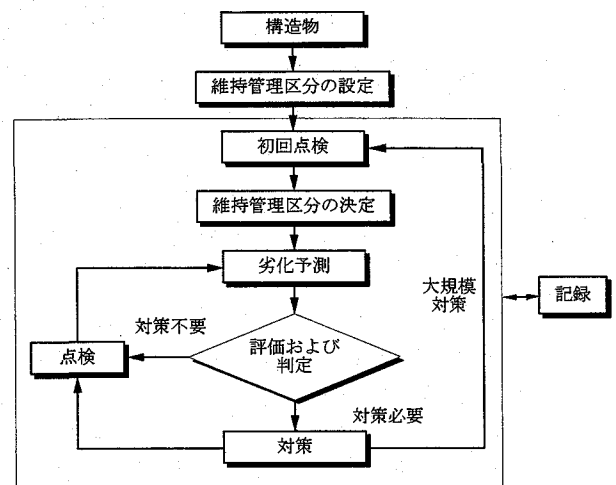


図-1 維持管理手順²⁾

表-1 維持管理区分²⁾

管理のレベル	対象となる劣化
A : 予防維持管理 予防保全を基にした維持管理	- 劣化が顕在化した後では対策が困難なもの - 劣化が外へ表れては困る - 設計耐用期間が長いもの
B : 事後維持管理 事後保全を基にした維持管理	- 劣化が外に表れてからでも対応がとれるもの - 劣化が外に表れても、それほど困らないもの
C : 観察維持管理 目視観察を主とした維持管理	- 使用できるだけ使用すれば良いもの - 第三者影響に関する安全性を確保すれば良いもの
D : 無点検維持管理 点検を行わない維持管理	直接には点検を行うのが非常に困難なもの

2.2 山岳（道路）トンネルの維持管理と課題

山岳トンネルの維持管理においては、他の構造物に比べて以下に示す特殊性と課題がある。

①構造物の劣化原因の特定が困難であること。

岩盤構造物の代表のひとつであるトンネル構造物では、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ことになる。

また、覆工コンクリートが内面を覆っていることから周辺地山の状態を直接点検できない。

②トンネル構造物は従来から管理コストをかけなくても安全性が確保されると考えられてきたこと。

土木構造物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、現実的には定期的な点検さえ行われてこなかったため初期点検の情報が少ない。

③通常は劣化の進行が遅く、劣化部分に関して補修・補強を対処療法的に繰り返してきたこと。

崩落事故を受けた全国一斉点検によって問題があれば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わけではなく、計画的に維持計画を立てる必要性が認められなかった。

④主たる構造物である覆工コンクリートが原則的に無筋構造であるため、劣化予測が困難であること。

橋梁構造物や舗装等の道路構造物に比較すると、構造が無筋であることから、鉄筋の腐食による耐久性評価ができないなど劣化の予測と評価が極めて困難である。

⑤トンネルとしての第一の必要機能は空間の確保であるが、これを規定する要求性能が明確でないこと。

トンネルとは地中に空間を確保すること自体が、求められる機能であり、空間の確保を要求性能として、それを明確に規定することは相当の困難をとまなうこととなる。

2. 2 山岳トンネルにおける要求される維持管理への取り組み

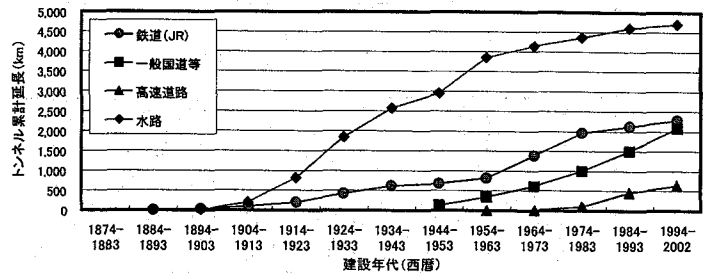
図-2に示すとおり、1950年頃からトンネル施工が急激に増加しており、今後、維持管理が必要となる山岳トンネルの数は急増する事が予測され、維持管理を効率的に進めるには、少ない点検結果をもとに、将来の劣化状況をいかに予測し、適切な対策工を実施できるかが重要となる。

前述のとおり、トンネル構造物は、他の構造物に見られない特殊性を有していることから効果的な維持管理を実施するにあたっては、多くの課題を有していることは事実である。

これまでの山岳トンネルに対する維持管理は、不具合箇所に対処療法的に対策を実施してきたが、公共投資が抑制される中で、道路の維持管理・更新に関する社会的な関心も高まっている。

また、覆工コンクリートは落事故や地震による被害をうけて繰り返し実施された全国一斉点検を契機に、事故の度に一斉点検・一斉補修を行うことは点検・対策にあたり、一度に多額のコストが発生することとなり、今後は、対処療法的な対応から計画的かつ戦略的な維持管理方法が望まれている。

このような社会背景から、今後は、性能社会資本ストックをいかに長寿命化させるかという要求を具現化した手法として、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も組み込みながら検討を進めていく必要性が高まっており、各機関において研究が進められている。



掘削	頂設選坑(日本式)	新築式	底設選坑	底設選坑先進	NATM
	鋼製支柱式支保工				
支保方式	鋼製支柱式支保工				
	吹付けコンクリート+RR				
材料	レンガ・石積み				
	コンクリートブロック				
施工方法	人力				
	場所打ちコンクリート 機械(ポンプ・ブレード) (ポンプ) 引抜き管 吹上げ				

図-2 山岳トンネル建設の歴史と資産推移³⁾

3. 山岳トンネルにおける劣化予測の現状と課題

土木構造物の劣化予測方法としては、鋼構造物、鉄筋コンクリート構造物、アスファルト舗装等の構造物の劣化度を定量的に評価できる構造物において劣化予測方法の研究が進んでおり、道路構造物としては、特に橋梁、舗装等の劣化予測方法が実用レベルにある。

山岳トンネル分野においては、他の構造物に見られない特殊性を有しており、計画的かつ戦略的な維持管理の必要性から各機関において合理的な劣化予測手法の研究が始まった段階である。

現況の研究レベルでは以下に示すような「力学的な解析手法」と「確率論を用いた手法」がある。

- (1) 周辺地山の地圧増大の時間依存性を考慮した変状解析手法⁴⁾
- (2) 確率論を用いた劣化予測 (マルコフ過程に基づく劣化予測)⁵⁾
- (3) 点検履歴から確率過程を用いた劣化予測手法^{6),7)}

ここでは、現状の劣化に関する研究に関して以下に概要と課題を簡単に述べる。

3.1 周辺地山の地圧増大の時間依存性を考慮した変状解析手法

トンネルの変状が生じる原因には、地質的な要因で長期的に変形を生じる場合や天端の覆工背面の空隙による影響など、様々な要因が複雑に関連している。覆工の耐力や補強による増加耐力を求めて対策工を検討する方法として、変状状況から塑性圧を推定し、骨組構造解析や有限要素解析による手法が用いられる。

これらの手法では、表-2に示す①地山劣化モデルと②梁ばねモデルの2種類の解析モデルを用いることにより、最小限の地質情報と計測結果を利用した解析的な検討が可能となる。

この変状解析手法では、地質情報の制約を受けるトンネルの場合においても、基本的には地山の軸圧縮強度が推定でき、かつある期間の内空変位(変位速度)が得られれば解析的な評価が可能となる。

また、地山の劣化の時間依存性を考慮するうえで、クリープ定数で代表される時間ファクターを必要としないことから、劣化予測が行える変状解析手法である。

表-3に周辺地山の地圧増大の時間依存性を考慮した変状解析手法による山岳トンネルの劣化予測における特徴と課題をまとめた。

表-2 変状解析手法の特徴⁴⁾

	梁ばねモデル (骨組構造解析)	地山劣化モデル (有限差分法など)
地山	地盤反力をばね(圧縮, せん断)でモデル化	Mohr-Coulomb 降伏規準で地山劣化をモデル化
覆工	梁部材でモデル化(ばね切りで背面空洞を評価)	非線形材料でモデル化(インターフェイス要素で空洞を評価)
ひび割れ	コンクリートの引張強度で評価, 塑性ヒンジでモデル化	引張強度で評価, 開口をインターフェイス要素でモデル化
厚さ	コンクリートの圧縮限界で評価, 解析を終了※	圧縮強度で評価, 材料非線形を考慮
解析結果	変状箇所, 作用地圧と変位	変状箇所, 変位と経時時間, 地山の応力状態

※厚さを断面剛性の低下でモデル化することも可能であるが, 解析上構造が不安定となりやすい
そこで, 圧縮限界を覆工構造の断面耐力と位置づけて解析を終了している。

表-3 変状解析手法のまとめ

前提条件	課題	予測によるメリット
①トンネル毎に地山条件, 施工方法, 変状状況が異なるため個別トンネルでの予測となる ②対象トンネルが限定される ・変状の著しいトンネル ・長期計測データが存在する ・時間依存の変状が地山特性に依存する場合に限られる。	①地山劣化モデルの設定が重要。 ・トンネルの構造: 背面空洞の有無, 変状状況(ひび割れ, 圧さ等), 施工法の相違 ・作用土圧: 塑性圧, 緩み土圧, 偏圧 ②計測データ: 長期間にわたる計測値, データの数により予測精度に影響(一般的には, 長期計測データは少ない) ③施工時の情報が重要(一般的には, 詳細な情報が無い場合が多い)	①計測データに基づく再現解析の実施により適切な地山劣化モデルを構築し, 予測解析が可能となる。 ・破壊形態なども再現可能であり, 具体的な対策工の検討(設計)が可能 ②ケーススタディにより対策工の効果が把握できる。

3.2 マルコフ過程に基づく劣化予測

図-3に示すような, 最も単純なマルコフ過程に従う劣化進行のモデルを考える。ここで, S, B, A, 2Aおよび3Aは, 「道路トンネル維持管理便覧」による変状判定区分である。Piは変状が次の判定区分に進行する移行確率であり, Niはそれを判定する経年である。すなわち, 建設当初はS(変状が全くない)だった覆工が, N₁年後には確率P₁でB(変状がないか, あっても軽微)に進行し, 残った確率(1-P₁)は現状維持することになる。同様の手法で, N₂, N₃, N₄年後に判定区分ごとの移行確率を用いて, 劣化進行を確率的に予測する。P_i, N_iは, いわゆるパラメータであり, 個々のトンネル・覆工スパンで異なるものとなるが, その設定方法は①劣化原因の組み合わせ, ②点検結果の判定区分を用いての推定が考えられる。

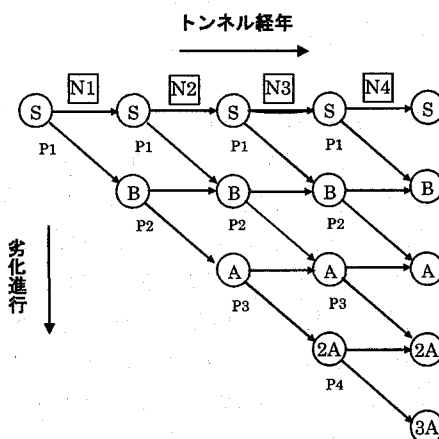


表-4にマルコフ過程に基づく劣化予測の特徴と課題をまとめた。

図-3 劣化進行の確率モデル⁵⁾

表-4 マルコフ過程に基づく劣化予測のまとめ

前提条件	課題	予測によるメリット
①トンネルの条件に左右されない。 (対象トンネルを限定しない) ②点検データが最低2時点以上あること ・竣工時に状態が把握されていれば, これを1時点とすることが出来る。 ③重み付けは専門知識のある技術者により設定すること	①移行確率をいかに同定するかがキーポイント(設定そのものは容易であるが, 移行確率により結果はどのようにもなる) ②トンネルの変状と移行確率の設定方法をいかに実施するかを決定する必要がある ③重み付けをどう設定するかで結果が異なる。 ④パラメータが多いため, 多くのトンネルでの検証が必要 ⑤点検データの精度に影響される ⑥初期値をどう設定するかが課題 ⑦点検データと健全度の関係を明確にする必要がある。 ⑧補修・補強の効果を評価に取り入れる場合, 補修・補強の結果と点検データ, 健全度データとの関係を明らかにする必要がある。また, 補修・補強後の移行確率を設定する必要がある。	①移行確率, パラメータを同定できれば, 作業は容易 ②予測方法が簡便で理解しやすい ③点検データが少なくても将来予測は可能 ④一般的なトンネル(山岳, シールド, 開削)に適用できる

3.3 点検履歴から確率過程を用いた劣化予測手法

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、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、LCCを検討する上で、健全度低下モデルは、時間に関する連続モデルとして扱うことが望ましい。

これを図に示すと図-4のA～Fの経路となる。しかしながら、健全度の低下は点検時毎に判明するため、どの時点で変状による健全度低下が発生したかを点検結果のみから判定することは困難である。ここで、ひび割れ等の変状や補修・補強といった対策工による健全度回復という健全度の不連続性を平均的にとらえば、健全度低下を図中の波線（全体的な傾向を示す曲線）のようにモデル化できる。

以上の点を考慮して、安田ら^{6),7)}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モデル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。

なお、対策工による健全度回復に関しては、その時点が明確であるため、モデルに組み込み、一方、点検そのものが数点しか存在しないという現実をふまえて、各スパンでの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している。

トンネルの劣化予測を検討する上で、ひび割れなどの変状が発生することによって、トンネルの性能や機能水準は低下し、結果としてトンネルの健全度が低下する。この時期を点検のみによって確認することは困難で、安田らはひび割れの発生に着目しポアソン過程を用いてモデルの拡張を行っている^{4) 5)}。

表-5に点検履歴から確率過程を用いた予測における特徴と課題をまとめた。

表-5 点検履歴から確率過程を用いた劣化予測のまとめ

前提条件	課題	予測によるメリット
①トンネルの条件に左右されない（対象トンネルを限定しない） ②点検データが最低2時点以上あること ③トンネルの変状挙動と想定した確率過程が対応している（コンクリートの劣化の場合と地山のクリープでは異なるのではないか？）	①点検データの精度（データの数、ランク、閾値）に左右される ②点検データが少ない場合には精度に影響 ③スパン全体の評価と変状箇所個別評価の取り扱いをどうするか ④劣化予測過程が点検頻度で異なる ⑤臨界健全度を大幅に下回る場合の構造安定性の評価をどうするか ⑥LCC検討にあたり、対策費用の設定をどうするか ⑦対策工が途中で実施される場合の評価をどうするか ⑧解析過程で得られるばらつきをどう評価するか	①スパン全体で評価すれば、維持管理予算の確保、対策の順序を決定する上で有効 ②点検データが少なくても予測は可能

4. ライフサイクルコストと劣化予測曲線の評価

山岳トンネルのライフサイクルコスト（以下、LCCとする）のシナリオとしては図-5に示すようにいくつか考えられる。

- ①シナリオ1は初期コストをかけることで補修・補強等のメンテナンス費用を抑制するもの。
- ②シナリオ2は初期コストを抑えて建設し、維持管理の必要性にあわせてメンテナンス費用を繰り返しかける。
- ③ある程度の初期コストをかけるが維持管理上のメンテナンス費用もかける。

山岳トンネルの特殊性を考えるとトンネルでは容易に更新や撤去ができないため、シナリオ1またはシナリオ3を基本として最終的な撤去・更新が発生しないよう長寿命化を図ることが望ましいと考えられる。

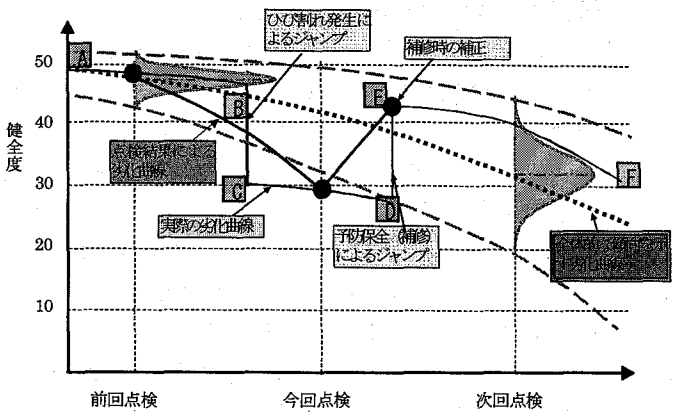


図-4 トンネル覆工の劣化過程に関するモデル図⁶⁾

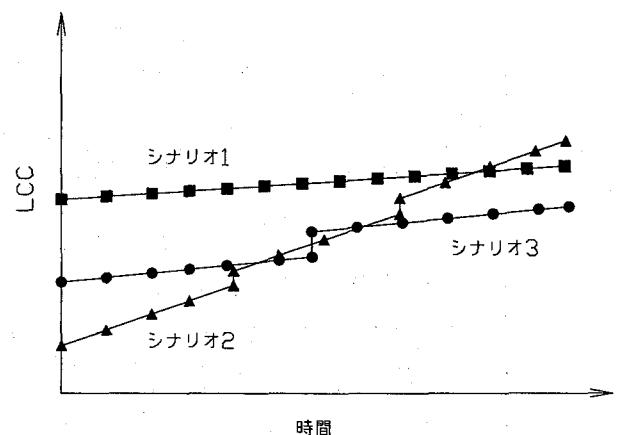


図-5 トンネル劣化予測のシナリオ⁸⁾

図-6 に一般的な道路トンネルの LCC として、経過年数に応じてコストが累積される概念図を示す。合理的な維持管理のためには、トンネル健全度が低下して要求性能を下回ることがないように、適切な補修または補強を施しながら供用させることになる。そのため、LCC には初期投資費用 (IC) に加えて、補修・補強費用 (mc, MC) が合算されることになる。

道路トンネルの寿命は他の構造物と比べて一般的に長く、50 年以上を経過しても健全に使用されているトンネルも多く存在する。

したがって、今後、合理的な維持管理を行い、トンネルを長期間供用可能するためには以下の事項に留意すべきである。

- ①設計時から構造物、管理面等を考慮して、長寿命化を意識した予防保全的な対策を検討しておくこと。
- ②供用後、日常点検・定期点検で発見された変状に対して、適切な補修・補強を行っていくこと。
- ③旧基準で建設されたトンネルでは、現在の要求性能（使用性）改善の目的で必要とされる建築限界を確保するため、トンネルの改築を含め、断面拡幅等の大掛かりな対策（リニューアル）を行う必要があること。

従来の道路トンネルのシナリオとしては、イニシャルコストに着目した経済設計によりトンネルを建設し、供用後に生じる不具合に対して対症療法的に補修・補強対策が実施されてきた。

しかしながら、前述のとおり、数多くのトンネル構造物が老朽化し、一時期に集中して補修・補強対策が必要とされている現状の社会背景を踏まえ、今後は50年を超えるようなトンネルの長寿命化を図る目的で、適切な劣化予測を行い、建設時から維持管理に配慮した設計を行っていくことがますます重要になってくる。

表-6にトンネルの長寿命化技術の分類ごとに、具体的な対策工の施工を踏まえた5つのシナリオを示し、図-7に各長寿命化のシナリオの概念図を示した。

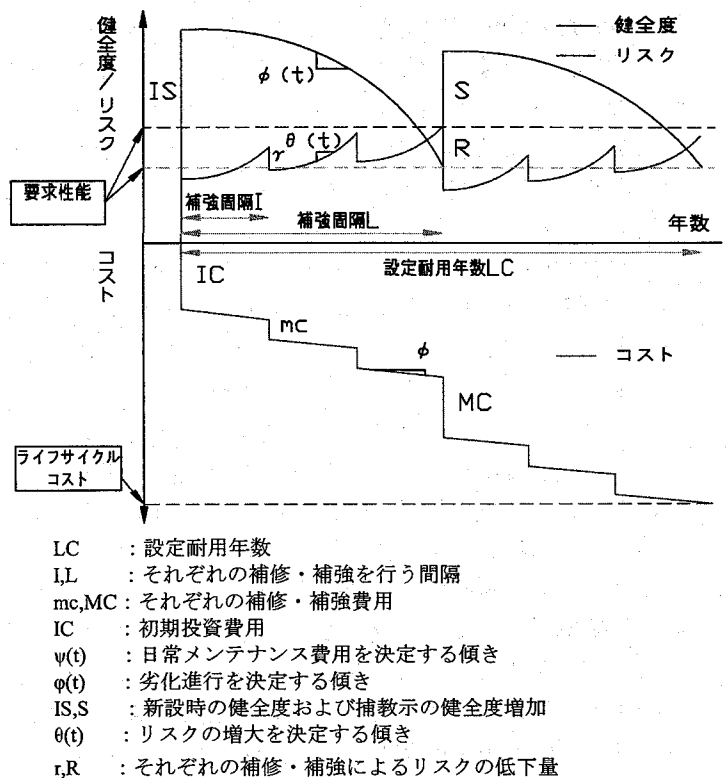


図-6 LCC の概念図⁹⁾

表-6 長寿命化技術の分類⁹⁾

技術の分類	長寿命化のシナリオ	具体的な対策工
分類Ⅰ	従来型の補修・補強技術で、施工不良に起因する不具合や覆工のひび割れ等に対して行われる対症療法的な対策を実施する	・裏込め注工 ・ひび割れ注工 ・面導水、先導水等
分類Ⅱ	将来的な劣化に対する補修を不要とするために、トンネル建設時から性能を上げておくことで長寿命化が期待できる。	・繊維補強覆工コンクリート ・インパート設置工等
分類Ⅲ	分類Ⅰに属する一般的な補修対策と比べて、外力による変状や材質劣化の進行を遅らせることで長寿命化が期待できる。	・地山注工 ・コンクリート改質材塗布工等
分類Ⅳ	分類Ⅰに属する一般的な補修対策と比べて、トンネルの健全度を高度に回復・補強することにより、長寿命化が期待できる。	・プレキャスト覆工 ・薄肉鋼板内巻き工等
分類Ⅴ	社会的なニーズの変化から建築限界を拡大したり、地震に対する耐力を増加させる等ももとの要求性能が向上させることで長寿命化が期待できる。	・トンネル断面拡幅工（改築） ・耐荷工等

それぞれの分類に関して、対策工（長寿命化技術）に基づく、健全度低下のシナリオと劣化予測に関して以下にまとめる。

①分類Ⅰは、施工不良に起因する不具合や覆工のひび割れ等に対して行われる変状に対する対症療法的な技術であり、これまでの維持管理で一般的に行われてきたものである。対策のための費用は少ないが、期待される耐用年数の増加も少なく、繰り返し対策が必要となる。

②分類Ⅱは将来的な劣化に伴う補修が不要となるように、トンネルの建設時から性能を上げておくことで長寿命化が期待できる技術である。

設計・施工時における予防保全的な検討がこれにあたる。

イニシャルコストが高くなるために、予算的な検討は必要である。採用にあたっては劣化予測が重要となり、これまでの変状対策実績を参考にすることが有効である。

③分類Ⅲは分類Ⅰで述べた一般的な補修技術と比べて、ひび割れ等の変状を引き起こす要因となる外力や覆工の材質劣化に対しての対策技術である。

供用後の維持管理の比較的初期の段階で実施することが有効であると考えられる。

外力に関しては、現状のトンネル建設の標準工法であるNATMでは、特殊な地山条件、施工条件のトンネルに限定されると考えられるが、今後、維持管理が必要となる矢板工法により建設されたトンネルでは長寿命化のための有効な対策の1つと考えられる。

④分類Ⅳは分類Ⅰによる維持管理を進めていく上で、分類Ⅰで実施される一般的な補強対策（内面補強工、ロックボルト補強工等）よりも高度にトンネルの健全度を高めることで長寿命化を図る技術である。

新技術の開発が望まれる分野でもあるが、トンネルの場合は建築限界に限度があるため、対策工の採用にあたっては注意が必要となる。

また、これまでの変状対策実績を参考にすれば、特殊な地山条件、施工条件におけるトンネルの設計においては、将来の維持管理における対策工を見据えた内空断面の設計も重要であると考えられる。

⑤分類Ⅴは、分類Ⅰから分類Ⅱと異なり、社会的なニーズの変化（車両の大型化等）や地震に対する耐力増強といった必要性に伴い、本来必要とされる要求性能を向上させることにより、長寿命化を図る技術である。

山岳トンネルの場合、種々の制約条件や建設コストの関係から、容易にトンネルを新設することが困難である。したがって、トンネルの要求性能を向上させることにより、現状のニーズにあった仕様に改築する必要性は今後、ますます増加するものと考えられる。

以上のように山岳トンネルの長寿命化のシナリオに関しては、対策工のレベルにより幾つか考えられるが、劣化予測の手法の確立により、トンネルの施工条件や予算に配慮してLCCを考慮した合理的な維持管理の実現が図られるものと考えられる。

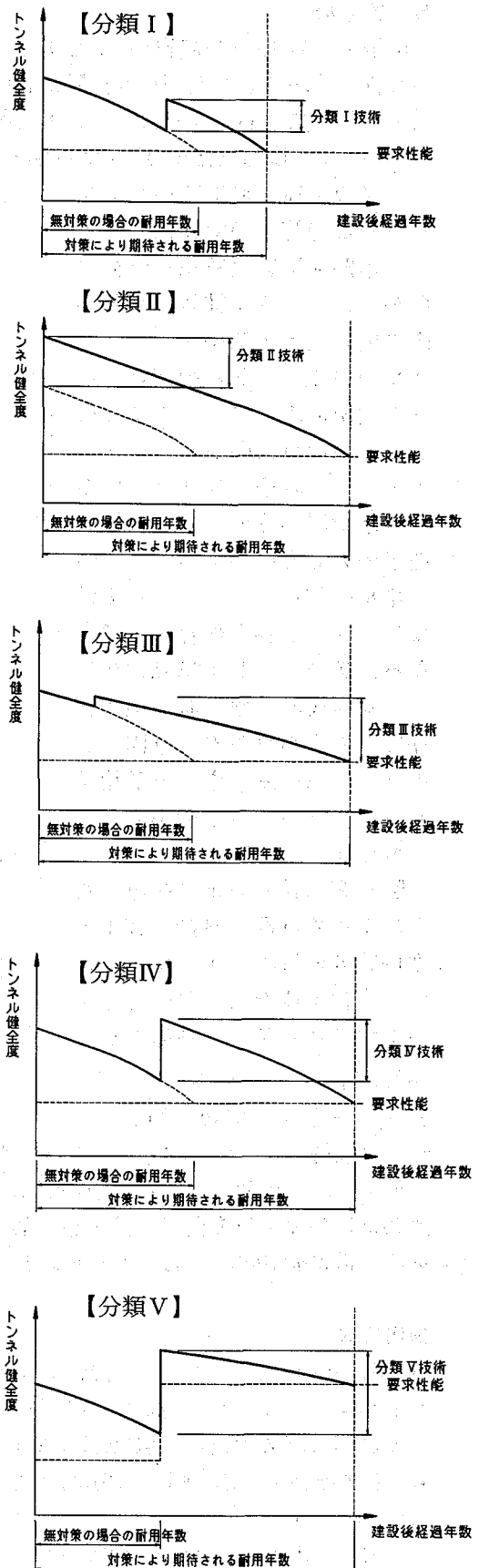


図-7 長寿命化のシナリオ⁹⁾

5. まとめ

山岳トンネルの維持管理に関しては、他の構造物と異なり、種々の特殊性を有しており、計画的かつ戦略的な維持管理の必要性から各機関においてアセットマネジメントに基づく合理的な劣化予測手法の研究が始まった段階である。一方でこれまで蓄積してきたトンネルの多くが老朽化し、かつ同時期に多くのトンネルにおいて、限られた予算のなかで効率よく、その延命化を考えていくことが今後強く求められている。

実際の定期点検に基づくトンネルの維持管理の実務においては、道路構造物（路線）全体のなかでのトンネル補修・補強の優先度の決定手法や1つのトンネルの中でも、個々の変状スパンの状況に応じて、どのようにして最適な点検間隔を設定するかといった課題も残されている。

劣化予測手法の確立と維持管理手法の立案にあたっては、トンネルの初期データ等の効果的なデータの取得と保存が重要となる。データとしては点検データ、補修履歴、建設時の施工記録等が考えられるが、意図されたフォームに基づき有効活用できるデータベースを構築すべきと考える。

図-8に長寿命化に配慮したトンネルの計画・設計・施工・維持管理の流れを示すが、今後は、劣化予測を用いた長寿命化のシナリオの確立と戦略的な維持管理計画を実施すべく、官民一体となって効果的なデータ取得へ向けて一日も早く進み始めることが望まれる。

最後に、今回報告した劣化予測等に関する評価に関しては、（社）土木学会、地下空間研究委員会および道路構造物保全研究会（設計・施工部会）トンネル委員会における検討成果であり、今後も、さらに研究を進め、道路構造物の一部であるトンネル構造物の保全技術の向上に貢献できるよう努める所存である。

参考文献

- 1) (財) 道路保全技術センター, 道路トンネル点検・補修の手引き, 近畿地方整備局版, p.3, 2001.
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書〔維持管理編〕, pp9-12, 2001.
- 3) (社) 土木学会 岩盤力学委員会, トンネルの変状メカニズム, p20, 2003.
- 4) 熊坂, 朝倉, 小島, 松長, 地山の時間依存性を考慮したトンネル変状解析手法の適用性に関する検討, 第32回岩盤力学シンポジウム, 2003.
- 5) (財) 道路保全技術センター, 山岳トンネルのライフサイクルコスト調査研究報告書, pp115~121, 2004.
- 6) 安田, 大津, 大西, アセットエンジニアリング, 土と基礎 講座「リスク工学と地盤工学」, pp35-42, 2004.
- 7) 安田亨, トンネル構造物の維持管理補修最適化に関する研究, 京都大学学位論文, 2004.3.
- 8) 宮川豊章, ライフサイクルコストの活用法, 日経コンストラクション/コンクリート補修入門講座最終回, pp79-83, 2001.
- 9) (財) 道路保全技術センター, 山岳トンネルの劣化予測に関する検討報告書, 2007.

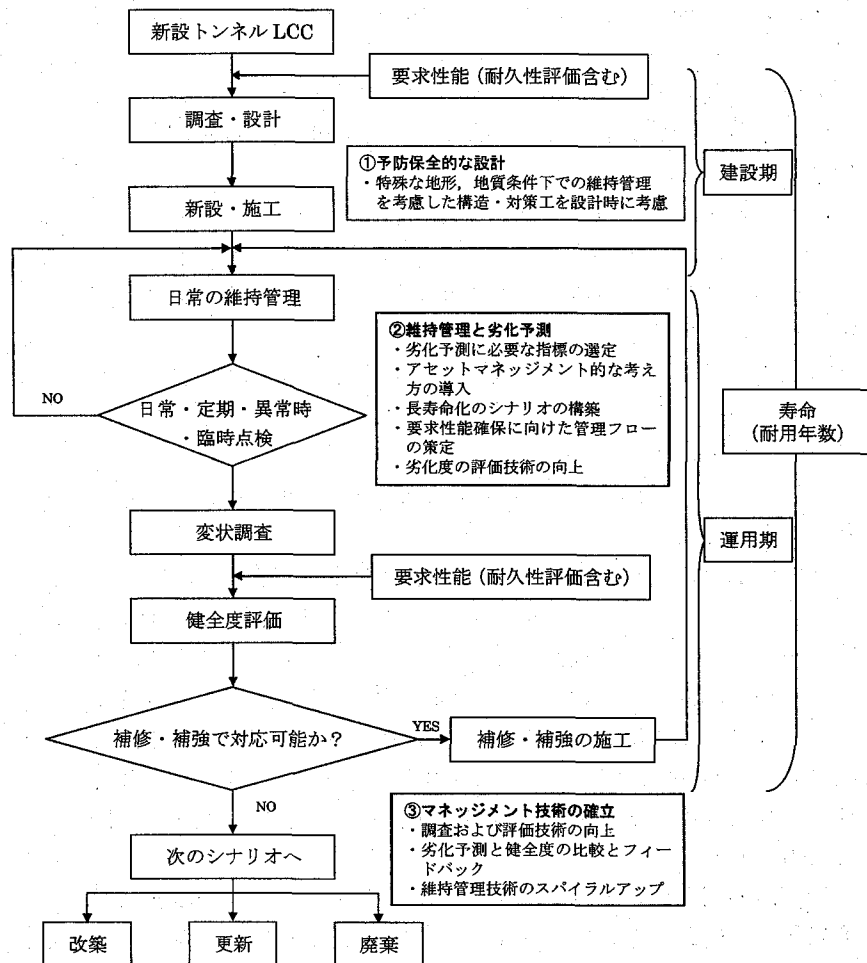


図-8 トンネルの計画・設計・施工・維持管理の流れ⁹⁾