

トンネルの健全度評価手法における モデル化リスクに関する研究

応用地質株式会社 中村 一樹^{*1}

京都大学 大津 宏康^{*2}

京浜急行電鉄株式会社 竹内 明男^{*3}

By Kazuki NAKAMURA, Hiroyasu OHTSU, Akio TAKEUCHI

トンネルマネジメントシステム (TMS) は、現在のトンネルの変状状態を「健全度」という定量的な指標で評価し、将来の劣化を予測すると共に、変状原因を推定し、適切な対策工を適切な時期に適用することができるように管理者の意思決定を支援するシステムである。筆者らは、昨年度このようなTMSを構築し¹⁾、一部運用を開始した。

本論文では、そのTMSの今後の課題として挙げられたトンネルの現状を定量化する「点検および健全度評価システム」の精度に関して検討を重ねた。

現在、健全度の評価 (定量化、点数化) には、AHP (Analytic Hierarchy Process, 技術者の経験や勘など、これまで数値化が難しかったものを数値化できる数学的手法) を用いて技術者が考える重要度を数値化して配点としたトンネル点検・健全度評価シートを用いているが、このシートの配点次第、またシートを用いる点検員次第で、求められるDI値 (Deterioration Index, トンネル点検・健全度評価シートで求まるトンネルの劣化状態指数) にばらつきが発生する。これをモデル化リスクおよびヒューマンリスクと定義した。この2つのリスクが最終目的であるLCCに与える影響を検討した。

その結果、DI値のばらつきが±25%存在するとLCCに+6%～-21%のリスクが存在することがわかった。今後は、モデル化リスクと同時に、点検員によるヒューマンリスクを減らし、LCC積算システムの精度向上を目指すこととした。

【キーワード】 リスク、トンネルマネジメントシステム (TMS)、LCC、健全度評価

1. はじめに

短い期間に急速に発展を遂げた鉄道網に存在するトンネル群が、一斉に補修を必要とする時期が近づいている。京浜急行電鉄 (京急電鉄) においても同様である。

京急電鉄のトンネル群は、総数 39 トンネル、1399 スパンからなる鉄道トンネルで、それらトンネルの完成年、開通に合わせて建設されており、短い期間にまとまっている。今後それらのトンネルは同時期に一斉に補修の時期を迎えることとなる。そのため、できるだけ少ない予算で効果的な維持管理をすることが強いられるようになってくることは必至である。

これまでの研究の結果、最小のコストで最大の効果を得るためには、対策方法の選択と対策工実施のタイミングが重要であることが明確となってきた。

この対策工実施の最適なタイミングを知るためには、現在のトンネルの状況を正確に把握し、劣化予測を行う必要がある。

その一方で、用いる対策工が変状原因にマッチしており効果的かつ経済的であるかのチェックも必要である。

しかしながら、必ずしも専門技術者ではないトンネル管理者が、これらの作業を正確に行うことは困難である。このような状況に対し、トンネル管理者を支援するエキスパートシステム、データベースシステムおよび意思決定支援システムからなるマネジメントシステムが望まれるようになってきており、それに応えるため登場したシステムが TMS と呼ばれるものである。

そして今回、TMS の機能のひとつである多数のトンネルからなるトンネル群全体の維持管理に要す

*1 東京本社技術センター構造物マネジメントグループ グループリーダー 048-667-9396

*2 国際融合創造センター融合部門 教授 075-383-3053

*3 鉄道本部施設部工務課 課長 03-3280-9158

る費用を積算する手法の開発のために、健全度評価手法におけるばらつきが費用積算に与える影響に関して研究を行った。

2. トンネルマネジメントシステム (TMS)

筆者らが昨年度構築した TMS¹⁾は、京急電鉄のトンネル群の特徴を良く反映させ、京急電鉄専用の TMS として構築したものである。システムフローを図-1 に示す。

まず、この京急電鉄版 TMS の特徴と内容を以下に列記し、概要、問題点を記述した上で、本研究の目的を述べる。

・TMS における最小単位はスパンとする

現在の点検および健全度評価はスパン（施工目地と施工目地の間の区間、多くは延長 9m や 10.5m）単位で行われるため、TMS もスパンを基

本単位とした。

施工時にはスパン単位でなく、ある程度まとまった範囲で優先順位等を設定するほうが効率的なこともあるが、この検討は今後の課題とする。

・点検および健全度評価システムとして構築する

健全度評価システムに必要なデータを精度良く得るためには、点検方法と密接な関係が必要と考え、両者をひとつにしたシステムを検討した。

・健全度ランクは旧運輸省のランクを基本とし 6 ランクとする

検討の結果、TMS で用いる健全度は鉄道トンネル用²⁾をベースとして、京急電鉄におけるこれまでの対応方法や点検結果等を踏まえ設定した。

表-1 に TMS で用いる健全度ランク表を示す。

なお措置実施までの年数は、2 年という点検間隔を考慮に入れて決定した。

・外力による変状の対策は個別対応とする

外力による変状は、京急電鉄トンネル群において今日までに数例のみしかなく、極めて特殊な事例である。そのため、個別対応とし変状発生を確認したら、調査、対策工を個別に検討する方針とした。

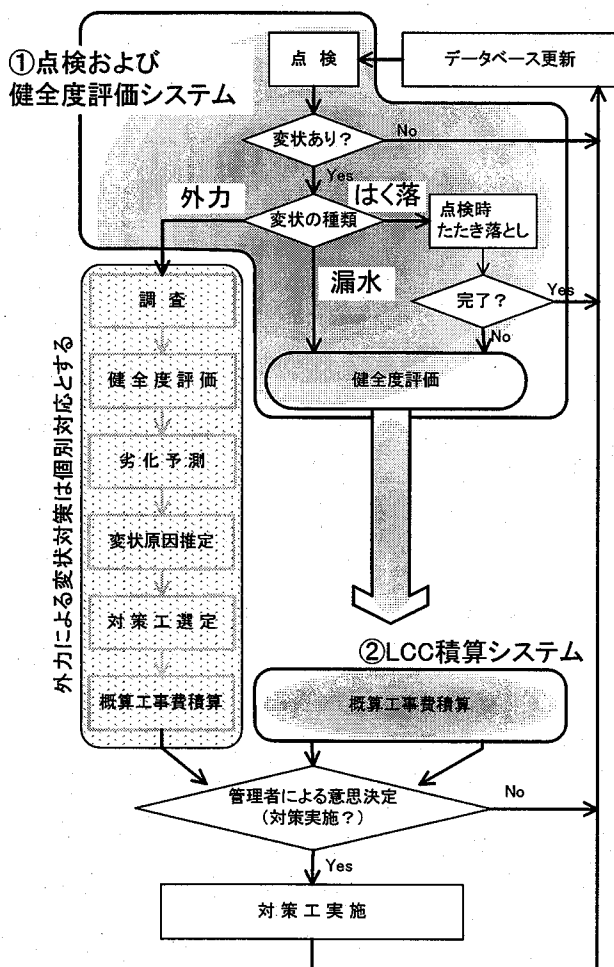


図-1 TMS システムフロー

表-1 TMS で用いる健全度ランク

健全度 ランク	定 義	措置の方法と措置 実施までの年数
AA	変状・損傷が極めて著しく、緊急的に可能な限り直ちに何らかの対策を行う必要があるもの。	対策工 即時 (可能な限り)
A ₁	変状・損傷が著しく、緊急的ではないが、次回の点検を待たず何らかの対策を行う必要があるもの。	対策工 1 年以内
A ₂	変状・損傷があり、何らかの対策を行う必要があるもの。次回の点検時には、A ₁ ランクとなる可能性が高いもの。	対策工 3 年以内
B	変状・損傷があり、進行性の可能性があるか、計画的に何らかの対策を行う必要があるもの。	対策工 10 年以内 または詳細検査
C	変状・損傷があるが、現状では継続的に監視程度の対応で問題ないもの。	通常全般検査 で対応
S	変状が全くないもの。	措置なし

・劣化予測は健全度ランクとはく落する可能性を数値化したはく落ポテンシャルで行う

現段階で覆工コンクリートの劣化予測曲線設定のための十分なデータがない。

特に、本線の主なトンネルは施工から 80 年程度を経ており、途中様々な対策がなされているが、個々の対策がいつ施工されたかがわかる詳細な記録が残っていないため、予測曲線の設定が困難である。

したがって、劣化曲線は設定せず、健全度ランク表と後述のはく落ポテンシャルから措置が必要となるまでの年数をスパン毎に求めることとした。

しかし、健全度ランク表において AA および A₁ ランク以外は幅を持っており（表-1 参照）、このままでは 1 年毎の予測はできない。

そこで、各ランクの中で優先順位を付け、措置までの年数を具体的に決定することとした。

措置が必要となるまでの年数は、はく落の危険性がある面積割合が多いほうが、確率的に危険性が高いため早く措置が必要であると仮定して、現在から将来にかけてはく落が起こる可能性のある面積をベースとした、はく落が起こる可能性を表す「はく落ポテンシャル」を求め、その値を基に優先順位付けを行うこととした。

すなわち、図-2 に示すように、トンネル点

検・健全度評価シートで得られる各トンネルの劣化度を示す値（DI 値）から求まる健全度ランクとはく落ポテンシャル値をクロスさせることによって措置が必要となるまでの年数を決定することとした。

「はく落ポテンシャル」の算出方法は、以下のように定める。

$$P_u = \{ (\alpha \times F_u + D_u) / A_u \} \times 100 \quad \text{式-1}$$

ただし、 P_u ：はく落ポテンシャル

F_u ：顕著な劣化面積（ m^2 ）

D_u ：劣化面積（ m^2 ）

A_u ：スパン面積（ m^2 ）

α ：係数

ここで、「顕著な劣化」とは、トンネル保守管理マニュアル²⁾における「剥落に対する健全度判定区分」が「 α 判定（要対策）」となった箇所を示し、「劣化」とは、同マニュアルにおける「外力・劣化・漏水等による機能障害に対する健全度判定区分」が「A（AA,A₁,A₂）判定（要措置）」となった箇所を示す。

式-1 により求めたはく落ポテンシャルを用いて、措置が必要となるまでの年数を以下のように決定した。

- 1) 例えば、ランク A₂ は、表-1 より、措置を必要とするまでの年数は 3 年以内とあり、A₁ が 1 年以内とあるので、2 または 3 年となる。
- 2) ランク A₂ の中で、はく落ポテンシャルの値が 50 以上を 2 年、50 未満を 3 年とした。
- 3) 同様に、ランク B は、措置が必要となるまでの年数は 4～10 年となるので、はく落ポテンシャルの値が 100～86 の場合 4 年、85～71 の場合 5 年といったように、約 14 ポイント増えるごとに 1 年短くなるものとした。

こうして、劣化曲線の設定なしに、個々のスパンの措置が必要となるまでの年数を求め、LCC を積算するための情報を得ることができた。

・LCC は今後 30 年間の措置（対策）費用とする

管理者が意思決定を行う上で必要な情報を提

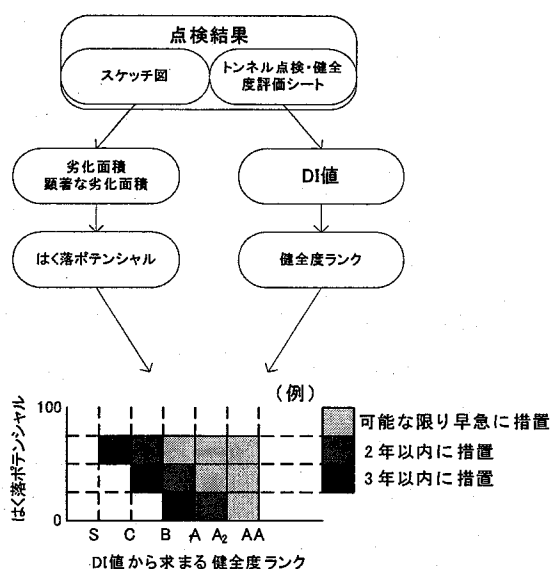


図-2 措置が必要となるまでの年数決定法

供することを目的に、今後 30 年間の LCC を求める LCC 積算システムを構築した。

ただし、ここでの LCC は、措置（対策）費用のみの総計で、点検費用、清掃費用、電気、信号、通信設備等の費用は含まない。

こうして構築した TMS であるが、まだ暫定版であり、健全度評価における課題、すなわちトンネル点検・健全度評価シートにより求まる DI 値にばらつきがあるなどの課題がある。

また、現在このシステムの健全度判定はスパン単位で行われているが、対策工の施工性を考慮しトンネル単位やある程度まとまった範囲での判定、措置の計画が可能となると非常に有益であると思われる。さらには、LCC 積算結果より、予算制約下で適切な工法と対策実施時期が選定されるようなシステムへ発展するように検討を重ねなければならないといった課題がある。

本論文では、これらの課題のうち、トンネル点検・健全度評価シートにより求まる DI 値にばらつきがあるといった課題に対して、このばらつきが LCC 積算結果にどの程度影響を与えているかを検証する。

3. トンネル点検・健全度評価シート

TMS の中で最も重要な項目のひとつに健全度評価と言われるトンネルの現況を定量化する作業がある。健全度評価は、従来定性的で、判定する人により結果が異なることが問題となっていたため、本 TMS では、だれでも判断可能なチェック項目のみを用いた点検シートを用い、点検員があてはまる項目をチェックすることで、トンネルの状況の定量化が可能な健全度評価システムを構築した。

点検シート中のチェック項目（表-2 参照）は、京急電鉄トンネル群に顕著な劣化状況で、プロフェッショナルエンジニアが着目するポイントが網羅されている。その項目に対する適正な配点を決めることで、健全度評価の精度を増すことができると考え、配点の決定方法を検討した。配点が適切であれば、この点検シートを用いると、点検時に点検員があてはまる項目をチェックするだけで、トンネルの状況の定量化が可能となる。

配点のウェイト（重み付け）は AHP（Analytic Hierarchy Process）³⁴⁾ という数学的手法を用いて求めた。

AHP では、問題を評価基準と代替案にレベル分けを行い階層構造とする。そして、評価基準間で求められるペア比較マトリックスからウェイトを求め、代替案を決定する。今回の評価基準は、H 鋼（支保工）や明り巻部の鉄筋露出、補修材再はく離等の単純な 2 階層とした。またここでは代替案を決定することが目的ではなく、評価基準間のウェイトを求めることを目的とした。

ペア比較マトリックスおよび各評価基準のウェイトは次のような数学的根拠に従って求めた。階層のあるレベルの要素 $A_1, A_2, \dots, A_n$ のすぐ上位階層のウェイト $w_1, w_2, \dots, w_n$ を求める場合、2 つの項目 a_i, a_j の項目間の重要度（今回は、プロフェッショナルエンジニアにより設定し、既知とする）を a_{ij} とすれば、要素のペア比較マトリックスは $A = [a_{ij}]$ となる。もしウェイトが既知である場合、ペア比較マトリックスは、式-2 のようになる。

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \cdots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \text{式-2}$$

ただし、

$$a_{ij} = w_i / w_j, \quad a_{ji} = 1 / a_{ij}, \quad W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \text{式-3}$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{式-4}$$

である。

このとき、意思決定者（プロフェッショナルエンジニア）の判断が完全に首尾一貫していれば、すべての i, j, k について $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ が成り立つ。

このペア比較マトリックスに重み列ベクトル W をかけると、

$$A \cdot W = n \cdot W \quad \text{式-5}$$

となる。また、この式は固有値問題として、式-6 に変形できる。

$$(A - n \cdot I) \cdot W = 0 \quad (I \text{ は単位行列}) \quad \text{式-6}$$

ここで、 W がゼロでないためには、 n が A の固有

値でなくてはならない。このとき、 W は A の固有ベクトルとなる。また、固有値 λ_i ($i=1, 2, \dots, n$) はひとつだけ非ゼロで他はゼロとなり、 A の主対角要素の和は n であることから、非ゼロの λ_i を $\lambda_{\max}$ とすると、

$$\lambda_i = 0, \lambda_{\max} = n \quad (\lambda_i \neq \lambda_{\max}) \quad \text{式-7}$$

となる。したがって、 $A_1, A_2, \dots, A_n$ に対する重みベクトル W は、 A の最大固有値 $\lambda_{\max}$ に対する正規化した固有ベクトルとなる。そして、式-5、式-7 から、

$$A'W' = \lambda'_{\max} W' \quad (\lambda'_{\max} \text{ は } A' \text{ の最大固有値}) \quad \text{式-8}$$

がいえることから、ペア比較マトリックス A' から、未知の重みベクトル W' を求めた。

ここでいうペア比較マトリックス A' は、京急電鉄トンネル群の特徴を技術的に良く知る3人のプロフェッショナルエンジニアで構成されたチームが意思決定者となり作成した。

こうして実際に AHP により計算した未知の重みベクトル W' が、プロフェッショナルエンジニアが判断する際のウェイトを再現している。このウェイトを配点として用いた点検・健全度評価シート（点検シート）を表-2 に示す。

この点検シートの当てはまる項目にチェックするだけで、判定が可能である。

特に、点検シート下部の材料劣化チェックの部分では、チェックした項目の配点を合計するだけで、DI 値が求まり、プロフェッショナルエンジニアと同様の健全度判定が可能となった。

表-2 京急電鉄トンネル点検・健全度評価シート

漏水チェック	
☐ 軌道に直接連続滴水している	
☐ 電気設備、架線に直接滴水している	
ひとつでもあてはまったら、すぐに漏水対策を行う。	
外力による変状チェック	
☐ 圧さひび割れ	
☐ せん断ひび割れ	
☐ 押し抜きせん断ひび割れ	
☐ 放射状ひび割れ	
☐ 段差3mm以上のひび割れ	
☐ 開口幅3mm以上のひび割れ	
ひとつでもあてはまったら、別途調査を行う。	
材料劣化チェック	
	配点 得点
☐ 鉄筋・H鋼露出(防錆処理なし)	6
☐ 補修材再はく離	1
☐ 角欠け(目地、迫め、ひび割れ、コールドジョイント沿い)	2
☐ ジャンカ	10
☐ 穴	5
☐ 漏水による侵食	9
☐ 網目状、亀甲状ひび割れ	4
☐ 閉曲線ひび割れ	4
☐ 少々強く叩くとはく落、骨材落下、セメント分割れる	23
☐ 漏音A(バコバコ、薄くはがれそうな漏音)	25
☐ 漏音B(鈍音、周辺より明らかに 鈍い音、原因は様々)	11
合計	
健全度ランク表に合計点数をあてはめランクを決定する。	

しかし実際に、プロフェッショナルエンジニアが判定し、健全度の正解がわかっている箇所では、点検員が点検シートにより DI 値を求めたところ、結果にばらつきがあることがわかった。そのばらつきのため、複数の健全度ランクを誤って選定することもあった。そこで、このばらつきの原因の究明と対策の検討を行った。

4. トンネル点検・健全度評価シートによる健全度評価手法におけるリスク

前述のトンネル点検・健全度評価シート（点検シート）で求まる得点合計 DI (Deterioration Index) 値は、点数が高いほど、劣化度が高いことを示す。

京急電鉄全トンネルの全スパンで、H16 年度点検時に点検員が点検シートを用いて判定した結果を、実際にプロフェッショナルエンジニアにより判定された健全度毎にまとめ、図-3 に示す。

この図から、プロフェッショナルエンジニアによる判定を健全度ランクの「真値（正解）」とすると、点検シートによる DI 値と健全度ランクの真値の間には強い関連性があるものの、完全に一致しておらず、ばらつきがあることがわかる。

またそのばらつきは、健全度ランクが危険側になるほど大きくなっている。

なおここで、AA ランクは、京急電鉄のトンネルに存在しなかったため、データがないためプロットしていない。

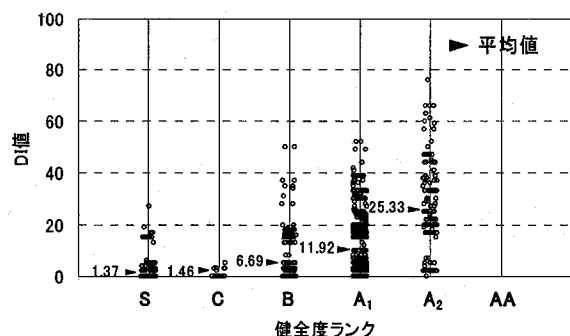


図-3 H16 年度点検で点検員により求められた DI 値とプロフェッショナルエンジニアによる判定結果の比較

ここでのばらつきは、トンネルの状態を定量化する際に発生したばらつきであり、最も確からしい最尤値からのはずれ量と捉えると、リスク⁵⁾と定義できる。ここでのリスクは、次の2つの要素を含むと考えられる。

- ① 点検シートの配点によるモデル化リスク
- ② 点検員のエラーによるヒューマンリスク

点検員のエラーによるヒューマンリスクは、点検講習等の教育を行うことで最小化できると考えられる。

一方、点検シートの配点によるモデル化リスクを減ずるためには、点検シートの項目や配点の精度を増す必要があるが、これはシステムが複雑になることを意味し、誰でも簡単に評価できるよう簡略化している今のシステムの趣旨と相反することとなるため、何らかの工夫が必要で、リスクの最小化は容易ではない。

そこで、モデル化リスクが、どの程度最終目的である LCC に対して影響を与えているか、リスク感応度⁶⁾を求め、その感応度が小さければ、リスクは存在してもほとんど無視できるという考えのもと検討を行った。

まず、点検シートで求めた DI 値のばらつきを健全度ランク毎にグラフ化した。図-4 に示す。

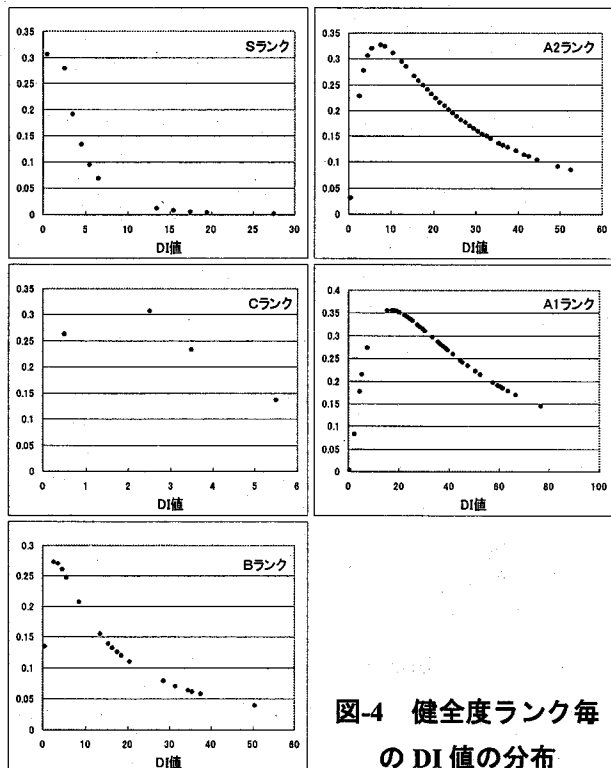


図-4 健全度ランク毎の DI 値の分布 (確率密度関数)

なお、DI 値は最低 0 点、最高 100 点であって負の値は発生しない。したがって、正規分布では表せないため、対数正規分布を採用した。

図-4 に示した対数正規分布によるそれぞれの確率密度関数から、最尤値を求めこの値を最尤シナリオ (ML-scenario) における各健全度ランクの代表値とした。

また、ばらつきを検討するため、図-4 に示した対数正規分布による確率密度関数から、累積分布関数を求め、累積度数 0.25 (25%)、0.75 (75%) の DI 値を求めた。

求めたそれぞれの DI 値をプロットすると図-5 のようになる。

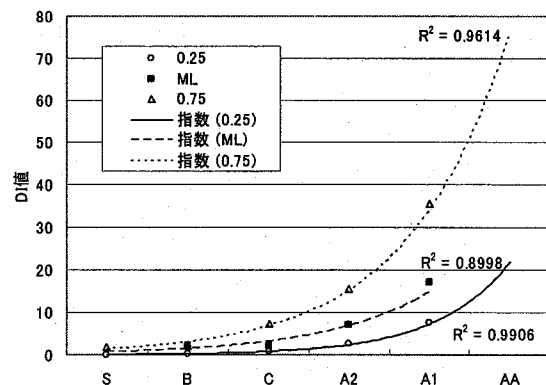


図-5 健全度ランクと DI 値の関連表

それぞれの DI 値はシナリオ毎の指数近似曲線によく一致しており、ML (最尤) を中心に DI 値が幅を持ち、健全度ランクが危険側に移るに従い、幅が広がることがわかる。

累積度数 0.25 における DI 値を基に健全度ランクを設定し、措置までの年数を求めた場合、ML シナリオよりもより厳しい (安全側の) 判定となり、LCC も増えると考えられることから、このシナリオを悲観シナリオ (P-scenario) とする。また反対に、累積度数 0.75 における DI 値を楽観シナリオ (O-scenario) とする。⁶⁾

これら P, ML, O の 3 種のシナリオ毎に DI 値と健全度ランクの関連表を作成した。表-5 に示す。各ランクの代表値の中間値をしきい値 (下限値) とし、点検シートで得られる DI 値から、健全度ランクが求まるようにした。

表-5 DI 値と健全度ランクの関連

P-scenario:In-D 0.25(%)悲観シナリオ					
ランク	DI値	次ランクとの中間値	暫定下限値	下限	上限
S	0.11				
C	0.21	0.16			
B	0.76	0.49	0	0	2
A2	2.63	1.70	2	2	4
A1	7.56	5.10	5	5	~
AA					

ML-scenario:Maximum-Likelihood最尤シナリオ					
ランク	DI値	次ランクとの中間値	暫定下限値	下限	上限
S	0.00				
C	2.00	1.00	1	1	1
B	2.00	2.00	2	2	5
A2	7.00	4.50	5	6	15
A1	17.00	12.00	12	16	~
AA					

O-scenario:In-D 0.75(75%)楽観シナリオ					
ランク	DI値	次ランクとの中間値	暫定下限値	下限	上限
S	1.78				
C	1.99	1.89	2	2	4
B	7.30	4.65	5	5	10
A2	15.61	11.46	11	11	25
A1	35.64	25.63	26	26	~
AA					

各シナリオについて、表-5 で求まる健全度ランクをもとに、2 章の方法で各スパンの措置が必要となるまでの年数を求め、今後 30 年間の LCC を積算した。今後このトンネル群を半永久的に使用し続ける予定であるため、可能な限り長期間の LCC を計算するべきであったが、あまりに長期間の LCC 算出には不確実性が多く、正確な判断を行う情報に欠けると考え、暫定的に 30 年間とした。

今回は劣化対策のみを対象として、用いる対策工は、京急電鉄における実績を参考に、表-6 に示す強化モルタル工法とした。

表-6 劣化対策工法および単価

工 法 名	断面修復工
工法詳細	強化モルタル工
単価(円/m)	393,500
対策工寿命(年) (再対策が必要となるまでの年数)	50

なお、施工単価は、夜間の間合い作業における作業であるため通常より割高となっている。

社会的割引率を 4%⁸⁾として、式-9 を用いて、30 年間 LCC を求めた。

$$(LCC)_{30} = \sum_{i=1}^{30} C_i \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^{i-1} \quad \text{式-9}$$

ここで、 ρ は社会的割引率、 C_i は i 年度における措置費用である。

計算された 30 年間 LCC を図-6 に示す。

そして、各シナリオにおける LCC 総額を比較すると、図-7 のようになる。

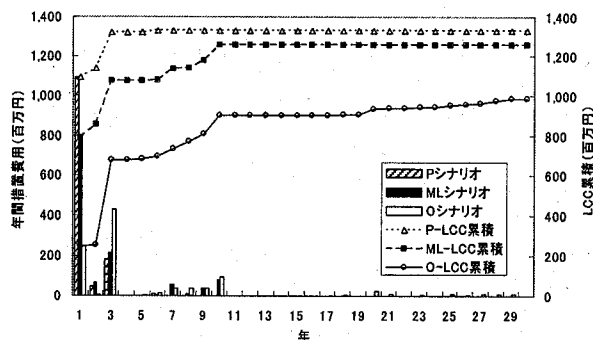


図-6 各シナリオにおける 30 年間 LCC

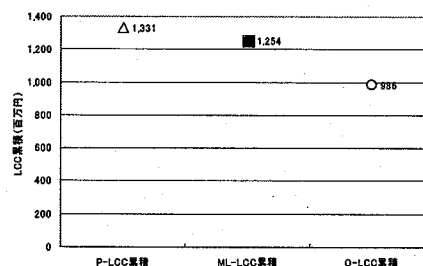


図-7 30 年間 LCC の比較

最尤値 (ML シナリオ) から、DI 値に+25%のばらつきを容認して LCC を計算した場合、すなわち悲観シナリオの場合 LCC 比は 1.06 となり、+6%であった。比較的小さな影響で、モデル化リスクはわずかしかな存在していない。

しかしながら、最尤値 (ML シナリオ) から、DI 値に-25%のばらつきを容認して LCC を計算した場合、すなわち楽観シナリオでは LCC 比は 0.79 となり、-21%となった。

LCC 総額が低くなり有利な計算といえるが、DI 値の 25%のばらつきが、LCC において若干小さくなったものの、ほとんど同程度のリスクが残存する結果となった。

すなわち、現行の点検シート (表-2) は、LCC を求める上では、ある程度の精度を有しているが、場合によっては、DI 値のばらつきがそのまま LCC に影響することがあるといえる。

したがって、DI 値のばらつきを減ずるためには、点検シートで求められる DI 値のばらつきの許容範囲を明確化し、点検シートを改良すると同時に、点検員の教育等も重要であることがわかった。

7. おわりに

以上のように、点検結果から健全度判定を行い、劣化曲線の設定なしに LCC を積算して、管理者の維持管理方針決定に対して情報提供する TMS における問題点のひとつであったトンネル点検・健全度評価シート（点検シート）により求められる DI 値のばらつきについて検討を行った。

その結果、DI 値のばらつきが LCC に与える影響を把握できた。今後精度の高い LCC を求めるためには、モデル化リスクとヒューマンリスクの双方を減じる工夫が必要であることがわかった。今後研究を重ねたい。

そのほか、まだ本 TMS には改良すべき点がある。

例えば、健全度評価はスパン単位で行われているが、対策工の施工性を考慮するとトンネル単位やある程度まとまった範囲（数スパン毎）での健全度判定、措置の計画も可能であることが望まれる。

さらには、予算制約条件を LCC 積算システムにインプットデータとして与えることができるようにして、適切な工法、適切な施工位置および実施時期が選定されるようなシステムへ発展するように検討を重ねたい。

【参考文献】

- 1) 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，建設マネジメント研究論文集 Vol.11，土木学会建設マネジメント委員会，2004
- 2) （旧）運輸省：トンネル保守管理マニュアル，2000.2
- 3) 加藤豊，小沢正典：OR の基礎 AHP から最適化まで，実教出版，1998
- 4) 木下栄蔵：入門 AHP 決断と合意形成のテクニック，日科技連，2000
- 5) 山下智志：市場リスクの軽量開と VaR，朝倉書店，2000.6
- 6) 大津宏康，尾ノ井芳樹，大西有三，足立純：PFI プロジェクトの地盤に起因する建設コスト変動評価に関する研究，土木学会論文集 No.777/VI-65，2004.12
- 7) 尾ノ井芳樹，大津宏康：地盤リスクを有する民間プロジェクト投資評価に関する一考察，建設マネジメント研究論文集 Vol.11，土木学会建設マネジメント委員会，2004
- 8) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針，2004.2

A Study on Modeling Risk on Quantification of Tunnel Condition

By Kazuki NAKAMURA, Hiroyasu OHTSU, Akio TAKEUCHI

The Inspection sheet of Tunnel lining was developed in process of study of a Tunnel management system. The Inspection sheet of Tunnel lining can quantify the condition of tunnels and express with the DI (Deteriorate Index) value. It turned out that volatility of DI Value is generated on the check item and weight point of an Inspection sheet of Tunnel lining and the level of an inspection person. These volatilities were defined as the "Risk" and, the influence to the LCC by it was considered. Consequently, when $\pm 25\%$ of volatility of DI value existed, it turns out that a +6% through -21% risk (modeling risk) exists in LCC. From now on, it aims at reducing the modeling risk and the human risk by the inspection person, and raising the accuracy of a LCC estimation system.