

地下鉄トンネルの全般検査データによる 維持管理指標の研究

川上 幸一¹・小西 真治²・三浦 孝智³・篠崎 真澄⁴・福中 公輔⁵

¹正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail: kouji.kawakami@tokyometro.jp

²正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail: s.konishi.r4r@tokyometro.jp

³正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail: t.miura@tokyometro.jp

⁴正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)
E-mail: m.shinozaki.m7x@tokyometro.jp

⁵非会員 (学)産業能率大学総合研究所 経営管理研究所 (〒158-8630 東京都世田谷区等々力6-39-15)
E-mail: FUKUNAKA_Kosuke@hj.sanno.ac.jp

東京メトロでは、地下トンネル部の検査を実施し適切な補修を行うことで、土木構造物としての安全を確保している。検査は目視を中心に実施し、各変状の程度によって健全度を判定している。しかし、構造物の区間における健全度は全路線同じ基準での比較が難しく、維持管理上長期的な対策が必要な箇所等の選定および優先順位づけは、経験を積んだ社員が暗黙的に把握している知見や複数の調査結果を総合的に見た定性的な判断によるが多かった。

そこで、構造物の区間における健全度の定量化を目指して、検査データを活用して維持管理指標を算出する検査項目反応モデル（数理モデル）を開発した。推定にはマルコフ連鎖モンテカルロ法によるベイズ推定を利用した。今回、本指標の推定概念、推定手順および得られた結果について述べる。

Key Words : *general inspection, subway tunnel, operation and maintenance, Inspection Item Response Model, bayesian estimation, Markov chain Monte Carlo methods*

1. はじめに

東京地下鉄株式会社（以下、「東京メトロ」という。）は現在9路線、営業キロ195.1km、うち地下部166.8kmで、一日に約684万人のお客様にご利用いただいている。最も古い路線は開業後88年が経過しており、将来にわたり利用者の安全、安心を確保しながら営業を続けるためには日常のメンテナンスがますます重要である。

しかし、維持管理上注意を要する区間を特定する際は検査結果を総合的に判断しており、類似区間や同程度に注意を要する区間との比較は定量的になされていない。

そこで、新たに開発した検査項目反応モデルという数理モデルを使って、全般検査の結果を統計処理することで、構造物の区間における健全度を定量的に示す維持管理指標を算出した。（以下、維持管理指標という。）

2. 維持管理の概要

(1) 地下鉄トンネルの維持管理

地下鉄トンネルは、他の鉄道構造物と同様に検査・判定・計画・措置のサイクルで維持管理をしている。検査の際、各変状の程度に応じて健全度を判定し¹⁾、変状の健全度に応じて措置の必要性を判断し、適切な時期を定めて計画を策定のうえ、措置（補修または監視等）を行っている。

さらに、これらの検査結果を総合的に判断して維持管理上注意を要する区間を特定し、個別の調査等を行い必要に応じて大規模な補修・補強を行っている。

検査は、定められた定期ごとに行う全般検査と、初回検査、必要によりその都度行う随時検査および個別検査に分類できる。全般検査は、構造物の状態を把握し健全

表 - 1 土木構造物の健全度判定

健全度		運転保安、旅客及び公衆などの安全に対する影響	変状の程度	措置等
A	AA	脅かす	重大	緊急に措置
	A1	早晚脅かす 異常時外力の作用に脅かす	進行中の変状等があり、性能低下も進行している	早急に措置
	A2	将来脅かす	性能低下のおそれのある変状等がある	必要な時期に措置
B		進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視等の措置
C		現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点的に調査
S		影響なし	なし	なし

度の判定を行うことを目的として実施するものであり、通常全般検査と特別全般検査に区分される。

通常全般検査は構造物の各変状の有無およびそれらの進行性等を把握することを目的として、徒歩による目視点検を中心として行い、二年ごとに実施している。

特別全般検査は、健全度の判定の精度を高めることを目的として検査精度を高めて実施するものであり、足場を用いた近接目視や打音による検査を二十年ごとに実施している。

鉄道構造物等維持管理標準（以下、「維持管理標準」という。）では、鉄道事業者に対して、全般検査時には表 - 1による判定基準に準拠して各変状の進行度合に応じた健全度を判定することとしている⁹⁾。東京メトロにおいては、維持管理標準を基に定めた判定基準によって健全度を判定し、各変状ごとのキロ程・部位・検査年度・写真・健全度判定等の情報をシステムに蓄積・保存している^{2),3)}。

(2) 維持管理上の課題

上記では、個別の変状に対する健全度の評価方法は確立されており、また塩害調査や中性化予測等の特定の要因については定量的な評価がなされている。一方で、検査結果を用いての構造物の区間としての健全度を評価する具体的な評価方法は確立されていない。さらに、近接施工により予め変状が予測され計測検査を行っている区間等を除いては、長期的な劣化対策等の特別な注意を要する区間の選定および優先順位づけは、経験を積んだ社員が暗黙的に把握している区間ごとの健康度合いにより特定されることが多かった。今後経験を持った社員の減少が予測される中で、維持管理上注意を要する区間を漏れなく選定し、かつその程度を明確にするためには、定性的な判断に加えて定量的に特定できる指標の開発は必要であると考ええる。

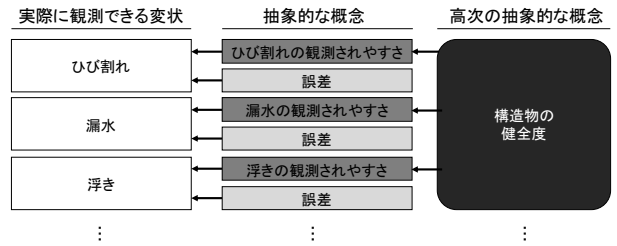


図 - 1 構造物の健全度に関する模式図

3. 維持管理指標とは

(1)維持管理指標の概念

例えば、区間ごとの健全度を示す「総合指標」を求めるためには、全般検査の結果として得られた各変状の健全度判定を数量化し、区間ごとに単純に合計する方法が考えられる。

しかしながら、この概念で得られる指標は路線比較や経年比較をするには不適切である。理由は、個別の変状に対する健全度の判定には明確な基準があったとしても、定性的な要素は排除できず判定結果にはばらつきが生じるためである。例えば、同一路線であったとしても毎回同じ検査員であるとは限らない。また、同じ検査員であったとしても判断には多少のばらつきが存在する。各路線における建設年度、施工方法、位置環境等の違いや、それらに起因する各変状の観測されやすさの違い、変状の位置、変状の種類等の影響も考えられる。

したがって、各変状の判定結果である健全度を純粋に足し合わせたものを維持管理指標の推定値として利用することは不適切であり、本質的なトンネルの健全度を表しているとはいえない。つまり、経年による状態変化や路線の比較を行うためには、検査における定性的な要素を考慮し、比較できるように処理をする必要がある。

(2) 維持管理指標の定義

維持管理指標は、ある路線の位置を示すような起点からの延長（以下、キロ程という）を一定区間ごとに区切り、その区間が潜在的に有している各変状の観測される確率を規定する指標であり、構造物の健全度を表す指標として定義できる。

ここでいう構造物の健全度とは、これが損なわれると各変状の観測される確率が高くなる概念と定義される。

また、各変状の観測という事実をもたす要因として考えられる「変状の観測されやすさ」という抽象的な概念を、高次の抽象的な概念によって一つにまとめたものとして定義する。構造物の健全度に関する模式図を図 - 1に示す。

なお、今回検討する各変状の項目は、細やかな複数の

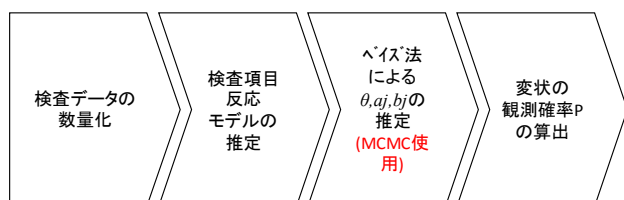


図-2 維持管理指標の推定フロー

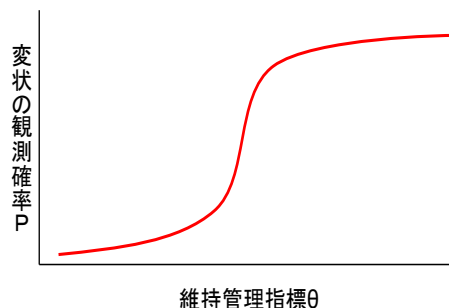


図-3 ロジスティックモデル

変状の項目を整理して漏水・ひび割れ・浮き・鉄筋露出・初期変状・その他の6項目にまとめた。ひび割れや漏水などは、検査員が実際に観測できる変状そのものである一方で、「各変状の観測されやすさ」と「誤差」は実際には観測できない抽象概念である。実際に観測できる変状は「変状の観測のされやすさ」と「誤差」の合成によってもたらされるものとする。さらにこの各変状の観測のされやすさの違いは、構造物の健全度の反映されやすさが異なることとして捉えることができる。

(3) 維持管理指標の推定の理論

維持管理指標の算出のために、全般検査の結果から数理モデルを構築して指標を推定する方法を提案する。多くの検査データの蓄積があることから、推定のためには全般検査結果の統計学的な処理が最も有効であると想定した。そこで、蓄積している検査結果を数量化し、維持管理指標と変状の観測確率の関係を示すモデルを仮定した。そのモデルには「識別力」および「困難度」を表現するパラメータを持たせ、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo; MCMC) (以下、「MCMC」という。) を利用したベイズ推定によって各パラメータおよび維持管理指標を推定し、数値による健全度合いを尺度化するに至った⁴⁾。具体的な維持管理指標の推定理論および用語の定義は第四章で述べる。

4. 維持管理指標の推定理論

(1) 推定理論の概要

維持管理指標の推定フローを図-2に示す。まず、検査データを数量化する処理を行う。次に、維持管理指標と変状の観測確率の関係を表すモデルを仮定し、そのモデルが持つパラメータをベイズ推定によって求める。ここでいうパラメータは維持管理指標 θ_i ・識別力 a_j ・困難度 b_j の三つあり、これらの定義や具体的な推定方法については以降詳細に述べる。

維持管理指標が存在すると仮定した場合、検査結果はどのようなメカニズムに基づいて生成されているかを考察して指標の推定プロセスを考える。数理モデルにおけるパラメータの推定方法としては最尤推定法が一般的であるが、最尤推定法では入力されたデータしか使用できない。つまり、取得した情報に過度に依存するため、パラメータ自体に何らかの傾向が仮定できる場合、その傾向を考慮することができない。

一方でベイズ推定は、当該データの得られやすさを示す尤度に対して、仮説に基づくパラメータ自体の傾向 (事前分布) を反映して、最終的に求めたいパラメータ (事後分布) を推定することができる方法である。この事後分布はベイズの定理により以下のように表現できる。

$$\text{事後分布} \propto \text{尤度} \times \text{事前分布}$$

また、推定された維持管理指標などのパラメータを用いることで、変状の観測確率を算出することが可能である。

そこで次に、分析用データが観測されるメカニズムに関する仮説について述べる。

(2) 検査データの観測メカニズムの仮説

分析用データが観測されるメカニズムを数理モデルで表現する。キロ程 i の n 個の検査項目に対する反応を $u_i = [u_{i1} \ u_{i2} \ \dots \ u_{ij} \ \dots \ u_{in}]$ と表記する。ここで「検査項目」とは、各変状の項目にそれぞれが存在する部位を組み合わせたもので、例えば「ひび割れ左下」、「ひび割れ左」等が挙げられる。また、「反応」とは変状が観測された場合を1、観測されなかった場合を0とすることを意味している。したがって、あるキロ程 i における程検査項目反応ベクトル u_i において各変状が観測される確率は、以下のような個々の項目の確率分布 $p_j(\theta_i)$ の積として表現され、これが尤度関数となる。

$$L(u_i|\theta_i) = \prod_{j=1}^n p_j(\theta_i)^{u_{ij}} (1 - p_j(\theta_i))^{1-u_{ij}} \quad \text{for } u_{ij} \in \{0,1\} \quad (1)$$

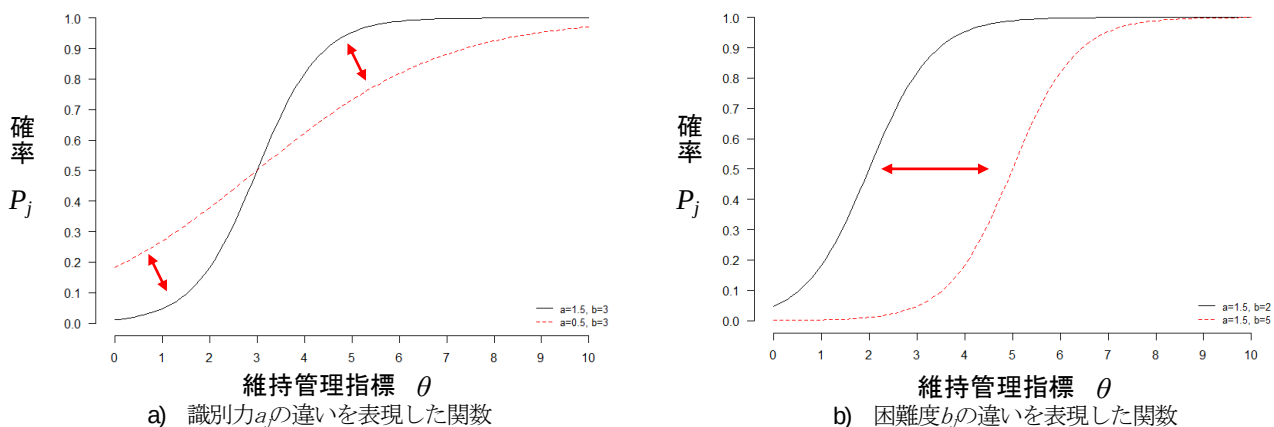


図 - 4 検査項目反応モデル (IIRM)

次に $p_j(\theta_i)$ はベルヌーイ分布のパラメータ、すなわちあるキロ程 i における変状項目 j の変状の観測確率を表しているため、 $0 \leq p_j(\theta_i) \leq 1$ となる。また、維持管理指標 θ_i が高いほど変状の観測確率が大きくなると考えられることから、 $p_j(\theta_i)$ が示す構造は式(2)および図 - 3のようなロジスティックモデルが妥当だと考えられる。

$$p_j(\theta_i) = \frac{1}{1 + \exp(-\theta_i)} \quad (2)$$

ここで、 θ_i は i 番目のキロ程における維持管理指標を示している。

(3) 検査項目反応モデル

さらに実情に沿った構造とするため、維持管理指標 θ_i における各変状の観測確率 $p_j(\theta_i)$ を以下のような式で構造化した。

$$p_j(\theta_i) = \frac{1}{1 + \exp[-a_j(\theta_i - b_j)]} \quad (3)$$

ここで i は5mメッシュに区切ったキロ程の数、 j は検査項目の数を表している。

また、 $p_j(\theta_i)$ は項目反応理論における二母数ロジスティックモデルと呼ばれているものであり、このモデルを基本として検査項目に対する反応をモデリングした。ここで a_j は、項目反応理論において「識別力」と呼ばれるパラメータであり、本研究では検査者に由来する特性を表している。また b_j は、項目反応理論において「困難度」と呼ばれるパラメータであり、検査項目に由来する特性を表している。これらの詳細は後述する。一方、維持管理指標 θ_i は、項目反応理論における「特性母数」を表している。しかし、特性母数が通常、正規分布を仮定するのに対して、本研究ではガンマ分布を仮定する（理由は後述する）。このように維持管理指標 θ_i にガンマ分布を仮定した項目反応モデルを、本研究では検査項目反応モデル (Inspection Item Response Model; IIRM) と呼ぶこ

ととし、その関数を図 - 4に示す。この図を検査項目反応関数 (Inspection Item Response Function; IIRF) と呼ぶ。

a) 維持管理指標 θ_i

維持管理指標 θ_i は実際には観測できない潜在変数である。

したがって、一般的なロジスティック回帰モデルとは異なり、推定の対象となることに注意する必要がある。また θ_i は、値が低いほどその区間は相対的に健全であり、逆に高い値を示せばその区間は相対的に不健全であると判断できる。

θ_i は構造物の劣化に影響を受ける指標である。したがって、構造物としての劣化が進んでない健全側の区間数は多く、劣化が進み変状の箇所数が多くなるような不健全側になるにしたがいその区間数は減少すると考えられる。この傾向はガンマ分布の形状と似ており、 θ_i が連続量であることから、 θ_i はガンマ分布に従っていると仮定した。

b) 識別力 (検査者に由来する検査状況) a_j

a_j は識別力と呼ばれるパラメータであり、維持管理指標 θ_i の大小が変状の観測に反映されやすいかどうかを表している。また、識別力 a_j は数学的にはモデルの右上がりの上昇具合を表しており、変状観測の閾値の明確さを表している。したがって、これは検査者の技能が、変状を判定する際に反映されやすいかどうかを表していると考えられる。

例えば図 - 4 a)では、 b_j を3に固定し、識別力 a_j を変化させた場合の例を示している。この図によると a_j の値が大きい場合は関数の傾きが急であり、特定の θ_i の位置において確率 $p_j(\theta_i)$ の変化が明確になっていることがわかる。これは θ_i がある閾値を超えると急激に変状の観測確率 $p_j(\theta_i)$ が上昇することを表しており、検査者の技能が反映されやすい変状項目であると考えられる。

一方、識別力が小さい場合は、 θ_i の変動に伴う変状の観測確率 $p_j(\theta_i)$ の変化は緩やかとなっており、閾値が不明確になっていることがわかる。これは、 θ_i が低い場合

表 - 2 使用データの諸元

項目	内容
延長	約15km
対象	路線A（トンネル）
検査年度	平成24年度
検査種類	通常全般検査
変状項目	ひび割れ・漏水・浮き・鉄筋露出・初期変状・その他 6項目

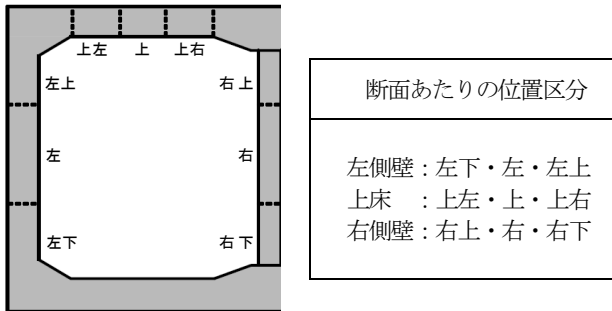


図 - 5 検査データの規則

でもある程度の変状の観測が見込まれるのに対し、例えば θ_i が高くなったとしても変状を観測できる可能性は高くないことを表している。このことから検査者の技能が反映されにくい変状項目であると言える。

なお、 a_j はその性質上、負の値になることは考えにくい。さらに連続量であることを鑑み、パラメータの分布として対数正規分布を仮定することにした。

c) 困難度（検査項目に由来する特性） b_j

困難度 b_j は、変状の観測されやすさを表すパラメータである。数学的には関数を左右に移動させるものであり、 $\theta_i = b_j$ において変状の観測確率 $p_j(\theta_i)$ が 0.5 になる位置を表している。

例えば図 - 4 b) では、 a_j を 1.5 に固定し、困難度 b_j を変化させた場合の例を示している。この図によると b_j の値が高い関数の方が右側に平行移動しており、 θ_i の値がかなり高くなると変状の観測確率 $p_j(\theta_i)$ が高くなることがわかる。つまり b_j の値が大きな変状項目は、健全度が高くなると変状として表れにくいと判断でき、これは検査項目特有の性質を表現していると考えられる。なお、 b_j は性質が θ_i と同様なのでガンマ分布を仮定することにした。

(4) 各パラメータの推定方法

ここでは、ハンドリング済みのデータセットから式 (3) におけるパラメータ ($\theta_i \cdot a_j \cdot b_j$) を推定することが目的となる。ハンドリング方法は後述する。モデルが複雑なため、本研究ではMCMCを利用したベイズ推定法によるパラメータの推定を行った。各パラメータの事前分布は $\pi(\theta_i)$ 、 $\pi(a_j)$ 、 $\pi(b_j)$ と表記し、前項で述べた通り、それぞれガンマ分布・対数正規分布・ガンマ分布を

表 - 3 データ変換の規則

重み 得点	健全度判定					
	AA	A1	A2	B	C	S
2 値	1	1	1	1	0	1
3 値	3	3	3	2	1	2

表しているものとする。

したがって、求めるべきパラメータの事後分布は以下のように表現できる。

$$f(\theta, a, b | U) \propto L(U | \theta, a, b) \pi(\theta, a, b) \quad (4)$$

この式をMCMCを利用して解くことにより、 $\theta \cdot a \cdot b$ の事後分布を得る。

5. 推定のためのハンドリング

(1) 今回検討の諸元

今回は、地下鉄トンネル一路線を対象として、表 - 2 に示す通常全般検査のデータを基に維持管理指標の推定を行った。

(2) 検査結果のデータハンドリング

既存の検査データは、健全度判定の結果が質的データとして入力されており、このままでは統計解析が困難である。ゆえに、この質的データを分析可能な形にハンドリングする必要がある。分析に用いた変状項目は、漏水・ひび割れ・浮き・鉄筋露出・初期変状・その他の6項目であり、それぞれに対して左下・左・左上（左側壁）、上左・上・上右（上床）、右上・右・右下（右側壁）の土木構造物の断面当たりの部位によって記録されている。トンネル内面の検査用の位置区分を図 - 5 に示す。起点を背にして進行する方向に対して、トンネル内面の位置を左側壁、上床、右側壁と分類している。

これらの変状の項目、位置情報と共にAA～S判定の文字列情報として健全度の判定が保存されている。素データを分析可能な形に変換するために、以下の手順によるデータハンドリングを行った。

a) 健全度判定の数量化

判定の数量化は、二値変換および三値変換の二パターンで行うこととした。データ変換の規則を表 - 3 に示す。二値変換の場合、A判定およびB判定の変状は措置の必要性があるために重み得点を1とし、C判定の変状は、その程度が軽微であり、2年以内にB判定となる事例は少ないことから、措置は不要と判断して重み得点は0と

表 - 4(a) 延長のメッシュ化得点 (二値)

[2 値変換] キロ程	ひび 左	ひび上	ひび右	...
...	...	...	...	...
0k10m	0	0	0	...
0k15m	2	0	0	...
0k20m	0	0	0	...
...	...	...	...	...

表 - 4(b) 延長のメッシュ化得点 (三値)

[3 値変換] キロ程	ひび 左	ひび上	ひび右	...
...	...	...	...	...
0k10m	0	0	0	...
0k15m	9	3	0	...
0k20m	0	0	0	...
...	...	...	...	...

表 - 5(a) 再カテゴリ化得点 (二値)

[2 値変換] キロ程	ひび 左	ひび上	ひび右	...
...	...	...	...	...
0k10m	0	0	0	...
0k15m	1	0	0	...
0k20m	0	0	0	...
...	...	...	...	...

表 - 5(b) 再カテゴリ化得点 (三値)

[3 値変換] キロ程	ひび 左	ひび上	ひび右	...
...	...	...	...	...
0k10m	0	0	0	...
0k15m	3	2	1	...
0k20m	0	0	0	...
...	...	...	...	...

した。また、東京メトロではS判定の変状は補修が完了したものを示しており、補修により本質的な健全度が無くなったわけではなく、再度変状が生じる可能性があると考え、重み得点を1とした。

三値変換の場合、二値変換以上の粒度をつけることを目的として三段階で変換した。A判定の変状は重み得点を1とした。また、長期的に見た場合、B判定およびC判定の変状がA判定へと進行する可能性を鑑みて、重み得点は2、1とした。S判定は再劣化の可能性を考慮して、2という重みづけを行った。なお、これらは検査実務者へのヒアリングを基に決定した。

b) 路線延長のメッシュ化

各路線のキロ程を5m間隔でメッシュ状に区切り、変状の断面当たりの場所に関して左・上・右に集約し、重

み得点の合計値を算出した。区切りを5mとした理由は、実際の現場で検査者が撮影する写真幅が概ね5mであるためと、キロ程標が10m間隔で設置されていることからその半分までをメンテナンスの単位として区切ることができると考えたためである。表 - 4 (a)、表 - 4 (b)にその例を示す。

c) メッシュと項目の合計点から再カテゴリ化

二パターンによる判定の数量化のうえ、メッシュで区切られた範囲内の合計点を基にして再カテゴリ化得点を算出した。二値データ変換では合計点数が1点以上の場合を1、0点の場合を0とし、三値データ変換では4点以上を3、1～3点を2、0点を1として二種類の再カテゴリ化得点を算出した。表 - 5 (a)、表 - 5 (b)にその例を示す。

6. 推定結果

維持管理指標およびそれらに付随するパラメータの推定結果について述べる。

(1) 維持管理指標

維持管理指標 θ_i の値を、対象路線の-300m～14k700mのキロ程ごとにプロットしたものを図 - 6に示す。また図 - 7には θ_i の要約統計量とヒストグラムを示す。図 - 7より、特性値 θ の値が低い安全な箇所が最も多い傾向を示した。つまり、 θ が上昇するに従ってその数が急激に減少するというガンマ分布の傾向が仮定通り示された。

例えば8.0km～8.7kmの区間の θ は相対的に見て非常に低い値を示している。ここは、かつて止水工事や断面修復工事を集中的に行ったのちに、中性化抑制として表面被覆工法による徹底的な補修を行った区間であり、そのことが表現されたものと考えられる。

また、Gewekeの指標を利用したMCMCの判定の結果、 θ_i が収束していることを確認した。

(2) 各変状項目における検査項目反応関数

推定された項目ごとの検査項目反応関数 (IIRF) を図 - 8 に示す。それぞれの検査項目で、識別力 a_j および困難度 b_j の推定値が得られた。描画は場所ごと (左・上・右) にまとめており、leakage は漏水を、crack はひび割れを、flaking は浮きを、exposed steel は鉄筋露出を表している。

また、Gewekeの指標を利用したMCMCの判定の結果、 $a_j \cdot b_j$ が収束していることを確認した。

a) 左側面

図から、浮きと鉄筋露出は左寄りに位置していることから、困難度が低く、低い θ_i においても変状として観測されやすい変状であることが分かる。一方で漏水やひび割れは右寄りに位置していることから、 θ_i が高くならな

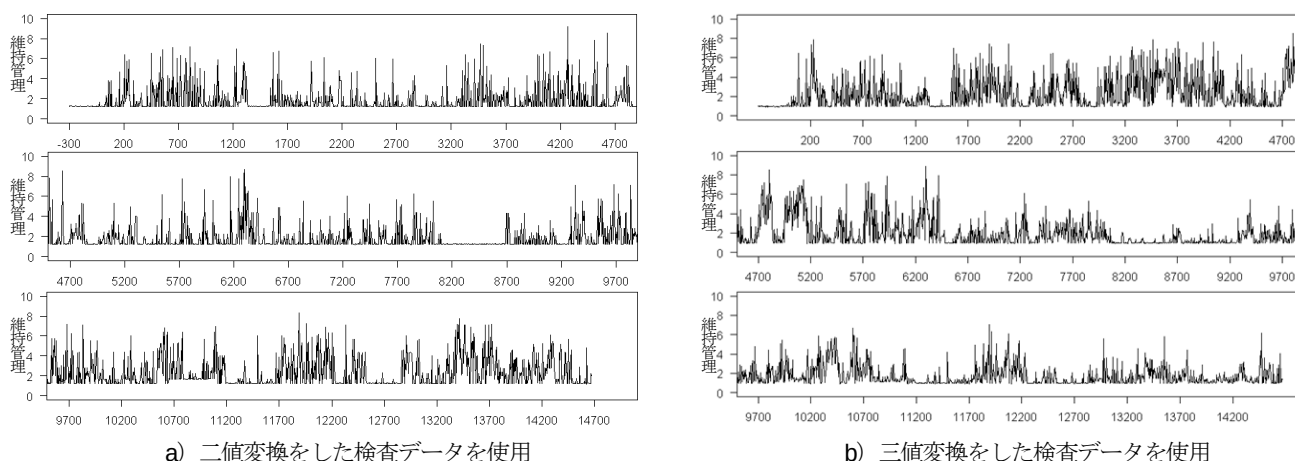


図 - 6 維持管理指標 θ の分布

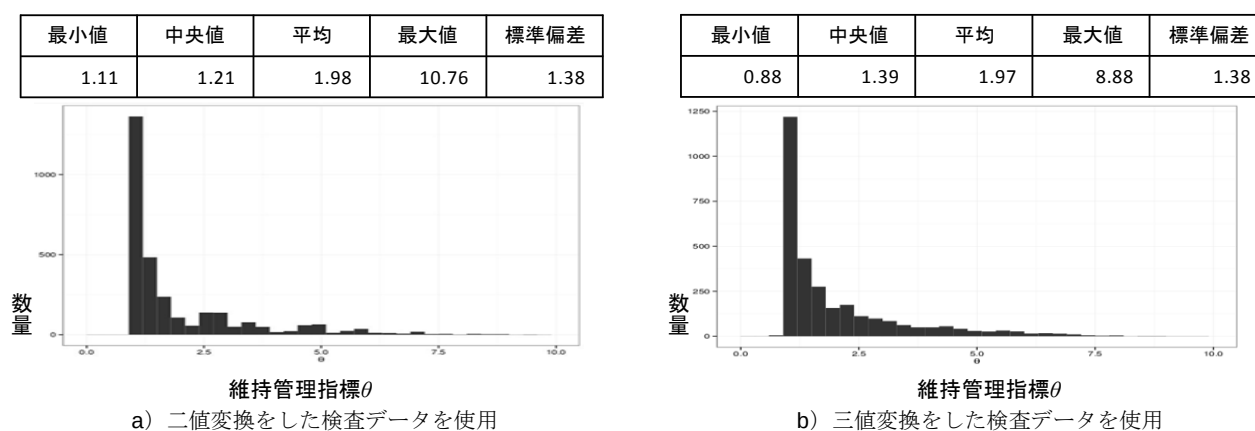


図 - 7 維持管理指標 θ の要約統計量とヒストグラム

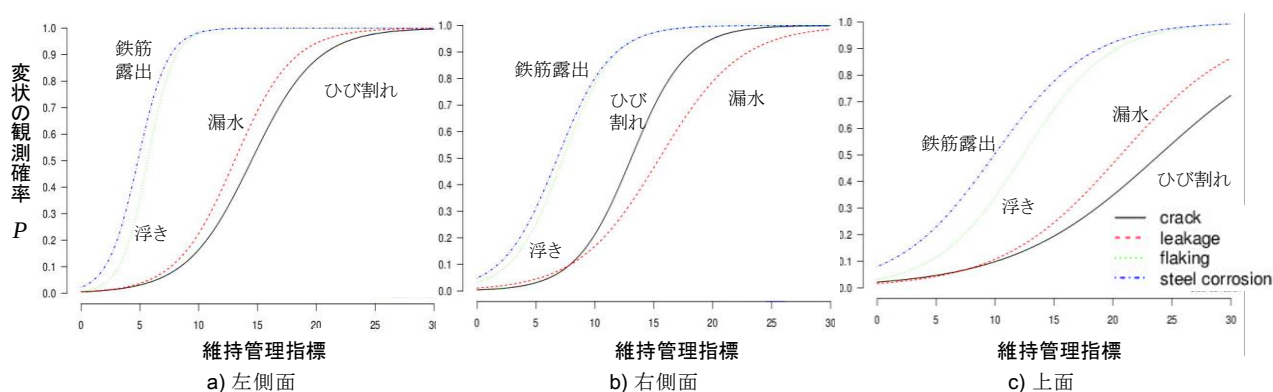


図 - 8 各面におけるIIRF (二値変換をした検査データを使用)

いと観測されにくい傾向にあることが分かった。また、全体の傾向として関数の立ち上がり具合が急であることから識別力が高いと判断でき、変状観測における維持管理指標の閾値が明確であることも分かった。

b) 右側面

右側面において、浮きと鉄筋露出では左側面と概ね同様の傾向を示した。また、関数の立ち上がり具合が急であることも同様であり、識別力が高く維持管理指標の閾

値が明確であることも分かった。一方で、漏水は最も右側に位置しており、左側面におけるひび割れとの位置関係が逆であった。

c) 上面

上面において、浮きと鉄筋露出では困難度が低く、ひび割れと漏水は困難度が高い傾向を示しており、左・右側面と概ね同様の傾向であった。特徴的な傾向としては、全体的に識別力が低く関数の立ち上がり具合が緩やかで、

変状観測の閾値がかなり不明確であることが挙げられる。これは、通常全般検査では遠方目視による確認が基本のため、上床側を見上げるという行為が人体にとって容易ではないことに起因していると考えられる。

7. 結論

トンネルにおける通常全般検査の結果を用いて、区間ごとの健全度の状態を定量化した維持管理指標を開発し、その推定方法および結果について述べた。結果として、維持管理指標の特性が適切に示され、現行の検査における各変状の困難度および識別力が判明した。これらの指標を実務に活用することで、例えば、①注意を要する区間に対する投資判断のための説明性向上や、②維持管理指標を経年で確認することにより指標の値が急激に上昇

した区間に対して未然予防対策の実施ができること等、多様な効果が期待できる。

そのために、今後は他路線における維持管理指標の算出や過去の検査についても推定を進める。また、得られた維持管理指標に対する現場の状況および工学的知見からの検証や、運用面で必要となる閾値の決定等を行う予定である。

参考文献

- 1) 鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，国土交通省鉄道局監修，丸善，2007
- 2) 澤田一夫，針谷邦人，新川洋行，榎谷祐輝：東京地下鉄における特別全般検査（トンネル），日本鉄道施設 協会誌 2月号，pp.118-120, 2013
- 3) 川上幸一：東京メトロの土木構造物検査における ICT 活用，日本鉄道施設 協会誌 2月号，pp.130-133, 2015
- 4) Fox, J.P.: Bayesian Item Response Modeling: Theory and Applications (Statistics for Social and Behavioral Sciences), Springer, 2010

(2015. 8. 7 受付)

STUDY OF RISK INDEX UTILIZED TEST DATA OF SUBWAY TUNNEL

Koichi KAWAKAMI, Shinji KONISHI, Takanori MIURA,
Masumi SHINOZAKI and Kosuke FUKUNAKA

Inspections of tunnel maintenance are performed by visual inspection and each deformations are ranked individual health grade according to their progress. But, health grade evaluation of sections is difficult, because there is no quantifying method by using visual inspection data and evaluation depends on tacit knowledge of maintenance staff. We developed quantified maintenance indicator, so call a risk index, of tunnel sections by statistic analysis developing a mathematical model, using bayesian estimation. Thus, we calculated the observation probability of deformations. It was possible to get the connivance point, and the evaluation standard of repair points. We describe calculation concepts of index and results.