

寒冷地トンネルにおける覆工の要求性能 と劣化現象のAHPによる相関について

Correlation between performances to damage of lining in cold region tunnel using AHP

須藤 敦史¹・三上 隆²・佐藤 京³・河村 巧⁴・西 弘明³

Atsushi SUTOH, Takashi MIKAMI, Takashi SATO, Takumi KAWAMURA and
Hiroaki NISHI

¹正会員 工博 (株)地崎工業 生産技術部 (〒105-8488 東京都港区新橋5丁目11番3号)

E-mail: 1714@chizaki.co.jp

²フェロ-会員 工博 北海道大学大学院工学研究科社会基盤専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³正会員 (独)土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

⁴正会員 (株)地崎工業 北海道本店土木部 (〒060-0051 札幌市中央区南1条東2丁目6番地)

In Hokkaido, about 350 tunnels were constructed in last 30 years. Recent years, many road tunnels will come to its rehabilitation stage, and almost tunnel linings must be maintenance or repair. Therefore, this research project will be developed to the efficient tunnel maintenance system using the life cycle cost theory. In this paper, in order to verify the inspection and evaluation system for tunnel lining condition, deterioration forecasting of tunnel lining is identified by tunnel inspection engineers interview, Analytic Hierarchy Process. Finally, numerical examples are worked out to demonstrate the usefulness of these considerations.

Key Words : Tunnel Management system, AHP(Analytic Hierarchy Process)s, Lining conditions

1. はじめに

昭和30年代後半から北海道では山岳トンネルの整備が進んでいるが、建設から30年以上を経過したト

ンネルでは老朽化が進行してきており、今後改築や補強・補修など何らかのメンテナンス時期を向かえるトンネルの増加が予想される。しかし、供用下においてトンネルの補修・改修作業は様々な制約条件を

受け難いため、効果的かつ経済的なメンテナンス、言い換えれば維持更新費用の使い方が管理者に求められるようになる。

一方、昭和60年以降 NATMが普及し、漏水・防水対策や坑口部における地山の凍結防止対策などにより、覆工コンクリートの耐久性は改善されてきているが、今後は公共構造物とし

表.1 トンネルの判定区分⁵⁾

判定区分	判定要素				対策の緊急度
	通行者、車両の安全走行に及ぼす影響	構造物としての安全性に及ぼす影響	維持管理作業量に及ぼす影響	変状の程度	
3A	危険	重大	著しい	重大	直ちに対策
2A	早晚脅かす異常時に危険となる	早晚重大となる	大きい	進行中、機能低下も進行する	早急に対策
A	将来危険となる	将来重大となる	中程度	進行中、機能低下のおそれがある	重点的に監視をし、計画的に対策
B	現状では影響がない	同左	ほとんどない	軽微	監視をする

てその性能水準の低下防止対策に関する検討が急務となっている。

そこで予防保全の考え方により、トンネルの計画的な維持管理と延命対策を行う、ライフサイクルマネジメント (Life Cycle Management : LCM) や社会資本をアセット(資産)と見なすアセットマネジメントに対する様々な技術的な検討が行われている^{1),2),3)}。

また、表.1に示すように道路トンネルでは「道路トンネル維持管理便覧」など^{4),5)}に従ってトンネルの健全度評価を行っており、対策の緊急度と変状を3AからBまでの4つの判定区分に分け、また判定の基準として「外力による変状」・「材質劣化による変状」・「漏水等による変状」3つのカテゴリーを設けている。

しかしながら、トンネルの管理者が覆工コンクリートにおける現状の健全度を正確に把握して、劣化予測と補修・改修の必要性や対策工法の選定を的確に行うには、覆工コンクリートに要求されている性能や機能を明確にしておく必要があるが、多くの機能が複合している山岳トンネルの覆工コンクリートにおける要求性能を示すことは難しく、また現状での保有性能や機能を定量的に明示する手法はまだ確立されていない。

そこで本論文は寒冷地トンネルの覆工コンクリートにおける健全度評価の確立と精度向上を目的として、トンネル点検において分類されている覆工コンクリートの劣化現象とその要求性能との関連性(健全度評価への影響度)をトンネル点検技術者および土木技術者へのアンケートより考察したものである。

2. 覆工コンクリートの要求性能と劣化現象

山岳トンネルの覆工コンクリートにおける健全度や劣化の予測および補修・改修の必要性や対策工法の選定を的確に行うためには、覆工に要求されている性能の明確な定義および健全度の定量的な評価が必要である。

しかし、複合的な機能を要求されている覆工コンクリートの要求性能を明確に定義することは非常に難しいのが現状であるが、文献5),6)などを参考にして覆工コンクリートの要求性能や機能をまとめると以下となる。

- (a)安全性能:耐荷性(施工後の付加外力を含む)、耐震性能、その他の安全性(構造物の転倒や滑動)
- (b)使用性能:道路として必要な内空断面の保持、高い防水性の保持、供用時の機能性を満足、路面凍結に

より走行安全性が損なわれない。

(c)第三者影響度に関する性能:コンクリート片・目地材等の落下防止、つらら、結氷、側氷の落下による危険がない。

(d)美観・景観:壁面の必要輝度の確保、ひび割れ錆汁等による

汚れの防止、視界の確保や心理的圧迫感の軽減

(e)耐久性能:供用期間中に要求性能を満足する性能

次に、覆工コンクリートの劣化現象はトンネルの点検項目⁶⁾などを参考にして変状ごとに①ひび割れ、②浮き・剥離、③漏水、④目地ずれ・開き、⑤豆板・空洞、⑥遊離石灰の6種類とした。

3. アンケートによる覆工コンクリートの要求性能への劣化現象の影響度

(1) トンネル点検者と土木技術者へのアンケート

トンネル点検における①ひび割れ、②浮き・剥離、③漏水、④目地ずれ・開き、⑤豆板・空洞、⑥遊離石灰などの6つの覆工コンクリートにおける劣化現象(点検項目)が、各要求性能の健全度評価へ与える影響度を定量的に把握するため、トンネル点検技術者25名および一般土木技術者40名の計65名に対して以下に示すアンケートを実施した。

アンケートは覆工コンクリートの各要求性能(a.安全性能,b.使用性能,c.第三者影響度に関する性能,d.美観・景観,e.耐久性能)に対して①ひび割れ、②浮き・剥離、③漏水、④目地ずれ・開き、⑤豆板・空洞、⑥遊離石灰などの6つの劣化現象(点検項目)の中の2つの項目で表.2に示すようにどちらをどれだけ重要視するかの一対比較アンケートを実施した。

(2) 階層化分析法(AHP)による評価

a)階層化分析法(Analytic Hierarchy Process:AHP)⁷⁾

次に、アンケート調査結果を階層化分析法(Analytic Hierarchy Process:AHP)で分析してトンネル覆工コンクリートの各要求性能に対する6つの劣化現象(点検項目)の重要度ランク付けを行う。

ここで階層化分析法(AHP)は、アメリカのピッツバーグ大学教授 T.L.Saaty により 1971 年に考案されたものであり、複数の代替案から意思決定者によって最良な代替案を選択するための手法で以下の特徴

表.2 一対比較値

一対比較	重要度
1	同程度に重要
3	やや重要
5	かなり重要
7	非常に重要
9	極めて重要
2,4,6,8	補間的な数値

を有している。

- ① 評価基準が多く共通尺度がない場合でも判断が可能
- ② 不明瞭な要因を持つ定量分析が可能な問題も可能
- ③ データ種類に影響されず、かつ修正が容易

ここで AHP は複雑な意思決定プロセスを階層構造にブレークダウンして単純な言語の対比較を行い、この判断を統合して全体としての優先順位や配分率を決定することが可能である。加えて、この手法は厳密な数学モデルに基づいているにもかかわらずシンプルで誰にもわかりやすい手法であり現実の身近な問題への応用が可能である。

対比較手法の代表的な特徴は、ペアの比較で答える際に、同じくらい・ややかなり・非常に・極めてといった不明瞭な表現を用いることでアンケートの回答者への負担が軽くなる。また実行者には複雑でかつ構造の不明確な問題等を階層化することにより整理ができ、限られた条件で部分的な比較・考案を重ねていけばすむようになっており、その後全体的な評価ができることである。

逆に留意点としては、同一レベルに取り入れる項目は互いに独立性の高いものを選ぶことと対象となる項目数は多くても 9 個以下にすることが重要である。その理由としては独立性の低い項目を 10 個以上羅列すると意思決定者を迷わして正確な回答が得られない場合が多いとされている。

b) 重要度の評価法

対比較は 2 つの評価項目について重要度の相対的な値をアンケートにより、一対ずつ比較して決定する方法である。

ここで項目 i が項目 j よりどの程度の重要を表.2 に示した定性的に比較した値を $a_{ij}^{(h)}$ ($i, j = 1, \dots, p$) とし、対比較行列 A と称し、要素は $a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}$ となる。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1i} & \cdots & a_{1p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & 1 & \cdots & a_{ip} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdots & a_{pi} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、各評価項目の重要度と対比較における相対評価とが完全に一致するわけで

表.3 安全性能と劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	幾何平均	重み
①ひび割れ	1	3	5	3	5	5	3.2250	0.4318
②浮き・剥離	1/3	1	1	3	1	3	1.2007	0.1608
③漏水	1/5	1	1	1/3	1	1	0.6367	0.0852
④目地ずれ・開き	1/3	1/3	3	1	3	3	1.2005	0.1507
⑤豆板・空洞	1/5	1	1	1/3	1	3	0.7646	0.1024
⑥遊離石灰	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	0.4413	0.0591

表.4 使用性能と劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	幾何平均	重み
①ひび割れ	1	1/3	1	1	3	3	1.2007	0.1746
②浮き・剥離	3	1	1/3	1	3	3	1.4420	0.2097
③漏水	1	3	1	3	3	3	2.0801	0.3025
④目地ずれ・開き	1	1	1/3	1	1	3	0.9998	0.1454
⑤豆板・空洞	1/3	1/3	1/3	1	1	1	0.5771	0.0839
⑥遊離石灰	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	0.5771	0.0839

表.5 第三者影響度に関する性能と劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	幾何平均	重み
①ひび割れ	1	1/5	1	1	3	3	1.1029	0.1566
②浮き・剥離	5	1	3	1	3	3	2.2649	0.3216
③漏水	1	1/3	1	3	3	3	1.4420	0.2048
④目地ずれ・開き	1	1	1/3	1	1	3	0.9998	0.1420
⑤豆板・空洞	1/3	1/3	1/3	1	1	3	0.8323	0.1182
⑥遊離石灰	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0.4000	0.0568

表.6 美観・景観と劣化現象の影響度

	①	②	③	④	⑤	⑥	幾何平均	重み
①ひび割れ	1	1	1/3	1	1/3	1/3	0.5771	0.0928
②浮き・剥離	1	1	1/3	1	1/3	1/3	0.5771	0.0928
③漏水	3	3	1	3	1	1	1.7321	0.2784
④目地ずれ・開き	1	1	1/3	1	1	1/3	0.6931	0.1114
⑤豆板・空洞	3	3	1	1	1	1/3	1.2007	0.1928
⑥遊離石灰	3	3	1	3	3	1	1.4420	0.2318

表.7 耐久性能と劣化現象の影響度

	①	②	③	④	⑤	⑥	幾何平均	重み
①ひび割れ	1	1	3	1	1	3	1.4422	0.2241
②浮き・剥離	1	1	1	1	1	3	1.2009	0.1863
③漏水	1/3	1	1	1	1	3	0.9998	0.1551
④目地ずれ・開き	1	1	1	1	1	3	1.2009	0.1863
⑤豆板・空洞	1	1	1	1	1	3	1.2009	0.1863
⑥遊離石灰	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0.4000	0.0621

表.8 定量化が困難な事象

事 象	内 容
①隣接区間と連続性のある変状	隣接区間でB以上の判定となる変状が、該当区間まで連続している場合 該当区間の変状程度が低くても隣接区間と同様の判定とする場合がある
②進行性が疑われる亀裂	過去の点検記録がなくても供用開始直後のトンネルにおける亀裂は進行 性が疑われる等
③地山由来と思われる土砂の堆積	湧水のあるトンネルで側溝や側壁付近に地山由来が疑われる土砂が堆積 している場合緩み・背面空洞が疑われる
④目地または補修用モルタルの浮き	目地や補修用モルタルに浮きがある場合構造的に剥落しやすい
⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音	閉合している亀裂や交差部に異音があり短期間に剥落する可能性がある
⑥異音はないが鉄筋のさびによるコンクリートの変色等が認められる	有筋構造部で鉄筋腐食が疑われる場合変状が進行する可能性が高い
⑦冬季に舗装面の不陸などに滞水がある	冬季の路面滞水は凍結により走行の支障となる可能性がある
⑧金網の設置などの緊急対策により打音はできないが、外観上浮きが認められる	応急対策は実施されているが追跡調査が必要
⑨坑口部のジャンカ	坑口部ジャンカは凍結融解によりポップアウトが発生する可能性がある

はない。

c) アンケートの精度評価

このようなアンケート調査には、常に得られた回答の精度が高いか低いかの評価の問題が生じる。この問題を AHP(一対比較手法)では整合度(Consistency Index)によって評価している。

この整合度とはアンケートにおいて2つの項目の価値判断で得られた結果が全体として首尾一貫した整合性をもっているかどうかを評価するものである。ここで行列Aが完全な整合性をもつ場合はこの値は0であり、大きくなるほど不整合性は高いと判断され、整合度(C.I.)は式(2)のように求められる。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$\lambda_{\max}$: 一対比較行列の最大固有値, n : 評価項目数

一般にアンケートで一対比較手法が用いられた場合において、得られた回答の整合度が0.1~0.15以上の場合には整合性が悪いと判断される。

次に、行列A(各評価項目)の幾何平均 g_i から重み w_i を求める方法は、は式(4)のように求められる。

$$g_i = \sqrt{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdots a_{ip}} \quad (3)$$

$$w_i = g_i / \sum_{i=1}^p g_i \quad (4)$$

本調査では、各要求性能に対する劣化現象(点検項目)の重みはC.I.=0.02~0.22程度となり、定量化が困難な事象の重みはC.I.=0.02~0.13であったため、調査の整合性は取れている。

4. 技術者の要求性能に対する劣化現象の重み

(1) 要求性能と劣化現象(点検項目)の重み

トンネル点検技術者および一般の土木技術者に対するアンケートによるトンネル覆工コンクリートの各要求性能に対する劣化現象間の重要度ランク(重み)付けを表.3~表.7に示す。

1)安全性能:各劣化現象の重要度ランク(重み)は、ひび割れ>浮き・剥離、目地ずれ・開き>豆板・空洞>漏水>遊離石灰の順となった。

2)使用性能:各劣化現象の重要度ランク(重み)は、漏水>浮き・剥離、ひび割れ>目地ずれ・開き>豆板・空洞、遊離石灰の順となった。

3)第3者影響度に関する性能:各劣化現象の重要度(重み)は、浮き・剥離、漏水>ひび割れ>目地ずれ・開き>豆板・空洞>遊離石灰の順となった。

4)美観・景観:各劣化現象の重要度ランク(重み)は、漏水>遊離石灰>豆板・空洞>目地ずれ・開き>浮き・剥離、ひび割れの順となった。

5)耐久性能:各劣化現象の重要度ランク(重み)は、ひび割れ、浮き・剥離、目地ずれ・開き、豆板・空洞>漏水>遊離石灰の順となった。

以上より、トンネル点検技術者および土木技術者は安全性・使用性・耐久性などの要求性能に対しては、ひび割れや浮き・剥離、目地ずれ・開きなどの劣化現象を重要視しており、第三者への影響度や景観・美観においては、浮き・剥離、漏水などの劣化現象を重要視している事が判明した。

また、劣化現象の中で遊離石灰に関しては、どの要求性能に対しても重要度が低い結果となった。

(2) 要求性能と定量化が困難な劣化現象の重み

a) 定量化が困難な劣化現象

北海道におけるトンネルの全点検データに対して、再度スケッチ等の資料から、その整合性を見直して

欠落している点検項目や事項の調査および専門技術者へのヒアリングを行っている⁸⁾。

その結果、トンネルの健全度評価に際しては、亀裂の長さなどに着目した定量化された指標に加え、変状の発生状況やその形態など定量化困難な劣化現象や項目が評価値に対して大きく影響している。

そこで覆工コンクリートにおける各要求性能と定量化が困難な劣化現象との重要度ランクを前節と同様にAHPにより定量的な評価を試みる。ここで定量化困難な劣化現象は表.8のようにヒアリングの調査によって抽出されている。

b) 定量化が困難な劣化現象と要求性能

抽出された定量化の困難な劣化現象を大局的に評価するといずれもトンネルの評価指標(健全度)を上下させる因子であり、たとえば複数の打設スパンに跨った亀裂では、その長さが短くても健全度を下げる劣化現象として評価することができる。

また亀裂が閉合している場合や交差部の異音がある場合も健全度を下げる劣化現象として評価することができ、最終的な点検評価は点検技術者個々の主観的な判断に任せているのが現状である。

したがって、点検技術者は覆工の要求性能に対して安全性能と第三者影響度に関しては定量化困難な劣化現象についても重視していると言える。

c) 定量化が困難な劣化現象と要求性能のAHPによる評価

山岳トンネルの覆工コンクリートにおける①隣接区間と連続性のあるひび割れ、②進行性が疑われる亀裂、③地山由来と思われる土砂の堆積、④目地または補修用モルタルの浮き、⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音、⑥鉄筋の錆びによるコンクリートの変色、⑦路面凍結が懸念される漏水、⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き、⑨坑口部のジャンカの9つの定量化が困難な劣化現象が覆工コンクリートの要求性能に与える影響度を定量的に評価するために、前

節と同様にアンケート結果をAHPで分析して重要度のランク付けを行った。

このアンケート調査においても対象者は各覆工コンクリートの要求性能(a.安全性能,b.使用性能,c.第3者影響度に関する性能,d.美観・景観,e.耐久性能)に対して定量化が困難な2つの劣化現象間で一対比較を実施しアンケート用紙に記入している。

トンネル点検者および土木技術者に対するアンケートによるトンネル覆工コンクリートの各要求性能において安全性能に対する定量化の困難な劣化現象間の重要度ランク(重み)付けを表.9～表.13に示す。

1)安全性能:定量化の困難な劣化現象の重要度ランクは、②進行性が疑われる亀裂>①隣接区間と連続性のあるひび割れ、③地山由来と思われる土砂の堆積>⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音、⑨坑口部のジャンカ、⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き>⑦路面凍結が懸念される漏水>④目地または補修用モルタルの浮き、⑥鉄筋の錆びによるコンクリートの変色の順となった。

2)使用性能:定量化の困難な劣化現象間の重要度ランクは、②進行性が疑われる亀裂>⑦路面凍結が懸念される漏水>①隣接区間と連続性のあるひび割れ>⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音、⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き>④目地または補修用モルタルの浮き>③地山由来と思われる土砂の堆積>⑨坑口部のジャンカ>⑥鉄筋の錆びによるコンクリートの変色の順となった。

3)第三者影響度に関する性能:定量化の困難な劣化現象間の重要度ランクは④目地または補修用モルタルの浮き、⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音>⑦路面凍結が懸念される漏水>②進行性が疑われる亀裂>①隣接区間と連続性のあるひび割れ、⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き>③地山由来と思われる土砂の堆積>⑨坑口部のジャンカ>⑥鉄筋の錆びによるコンクリートの変色の順となった。

表.9 安全性能と定量化の困難な劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	幾何平均	重み
①隣接区間と連続するひび割れ	1	1/3	1	3	1	3	3	1	3	1.4421	0.1476
②進行性が疑われる亀裂	3	1	3	3	1	3	3	3	1	2.0801	0.2129
③地山由来と思われる土砂堆積	1	1/3	1	3	1	3	3	3	1	1.4421	0.1476
④目地または補修用モルタルの浮き	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1	1	0.6134	0.0628
⑤閉合亀裂や交差部の異音	1	1	1	3	1	1	1/3	1	1	0.9999	0.1024
⑥鉄筋錆びによるコンクリートの変色	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1	1/3	0.6134	0.0628
⑦路面凍結が懸念される漏水	1/3	1/3	1/3	1	3	1	1	1/3	1	0.6931	0.0709
⑧応急対策箇所の外観上の浮き	1	1/3	1/3	1	1	1	3	1	1	0.8849	0.0906
⑨坑口部のジャンカ	1/3	1	1	1	1	3	1	1	1	0.9999	0.1024

表.10 使用性能と定量化の困難な劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	幾何平均	重み
①隣接区間と連続するひび割れ	1	1/3	1	3	1	3	1	1	3	1.2764	0.1364
②進行性が疑われる亀裂	3	1	1	3	1	3	1	1	3	1.4422	0.1541
③地山由来と思われる土砂堆積	1	1	1	1/3	1	1	1	1	1	0.8850	0.0945
④目地または補修用材の浮き	1/3	1/3	3	1	1	3	1	1	1	0.9998	0.1068
⑤閉合亀裂や交差部の異音	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1.1298	0.1207
⑥鉄筋錆によるコンクリートの変色	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1	0.4540	0.0485
⑦路面凍結が懸念される漏水	1	1	1	1	1	5	1	1	3	1.3511	0.1443
⑧応急対策箇所の外観上の浮き	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1.1298	0.1207
⑨坑口部のジャンカ	1/3	1/3	1	1	1	1	1/3	1	1	0.6931	0.0740

表.11 第三者影響度に関する性能定量化の困難な劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	幾何平均	重み
①隣接区間と連続するひび割れ	1	1/3	1	3	1	1	1	1	3	1.1298	0.1173
②進行性が疑われる亀裂	3	1	1	1/3	1	3	1	1	3	1.2764	0.1326
③地山由来と思われる土砂堆積	1	1	1	1/3	1/3	3	1	1	1	0.8849	0.0919
④目地または補修用材の浮き	1/3	3	3	1	1	3	1	1	3	1.4422	0.1498
⑤閉合亀裂や交差部の異音	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1.4422	0.1498
⑥鉄筋錆によるコンクリートの変色	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1	0.4289	0.0445
⑦路面凍結が懸念される漏水	1	1	1	1	1	5	1	1	3	1.3511	0.1403
⑧応急対策箇所の外観上の浮き	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1.1298	0.1173
⑨坑口部のジャンカ	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1	1	0.5429	0.0564

表.12 美観・景観と定量化の困難な劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	幾何平均	重み
①隣接区間と連続するひび割れ	1	1	1	1	1	1/5	1/3	1	1/3	0.6550	0.0622
②進行性が疑われる亀裂	1	1	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	0.6931	0.0658
③地山由来と思われる土砂堆積	1	1	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	0.6931	0.0658
④目地または補修用材の浮き	1	1	1	1	3	1/3	1/3	1	1/3	0.6931	0.0658
⑤閉合亀裂や交差部の異音	1	1	1	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	0.6134	0.0592
⑥鉄筋錆によるコンクリートの変色	5	3	3	3	3	1	1	3	1	2.3301	0.2213
⑦路面凍結が懸念される漏水	3	3	3	3	3	1	1	3	1	2.0801	0.1976
⑧応急対策箇所の外観上の浮き	1	1	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	0.6931	0.0658
⑨坑口部のジャンカ	3	3	3	3	3	1	1	3	1	2.0801	0.1976

表.13 耐久性と定量化の困難な劣化現象の重要度

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	幾何平均	重み
①隣接区間と連続するひび割れ	1	1/3	3	3	1	1	3	3	3	1.6293	0.1638
②進行性が疑われる亀裂	3	1	3	3	1	3	1	3	3	2.0801	0.2091
③地山由来と思われる土砂堆積	1/3	1/3	1	3	1	1	1	1	3	0.9998	0.1005
④目地または補修用材の浮き	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1	1	0.6134	0.0617
⑤閉合亀裂や交差部の異音	1	1	1	3	1	3	3	1	3	1.6295	0.1638
⑥鉄筋錆によるコンクリートの変色	1	1/3	1	1	1/3	1	3	1	1	0.8849	0.0889
⑦路面凍結が懸念される漏水	1/3	1	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1	0.6134	0.0617
⑧応急対策箇所の外観上の浮き	1/3	1/3	1	1	1	1	3	1	1	0.8849	0.0889
⑨坑口部のジャンカ	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1	1	0.6134	0.0617

4)美観・景観:定量化の困難な劣化現象間の重要度ランクは,⑥鉄筋のさびによるコンクリートの変色>⑦路面凍結が懸念される漏水>⑨坑口部のジャンカ>②進行性が疑われる亀裂,③地山由来と思われる土砂の堆積,④目地または補修用モルタルの浮き,⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き>⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音>①隣接区間と連続性のあるひび割れの順となった。

5)耐久性能:定量化の困難な劣化現象間の重要度ランクは,②進行性が疑われる亀裂>①隣接区間と連続性のあるひび割れ>⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音>③地山由来と思われる土砂の堆積>⑥鉄筋の錆びによるコンクリートの変色,⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き④目地または補修用モルタルの浮き,⑦路面凍結が懸念される漏水,⑨坑口部のジャンカの順となった。

以上より,トンネル点検技術者および土木技術者の安全性能・使用性能・耐久性能に対しては,①隣接区間と連続性のあるひび割れ,②進行性が疑われる亀裂,⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音などを重要視しており,第三者への影響度や景観・美観においては⑥鉄筋のさびによるコンクリートの変色,⑦路面凍結が懸念される漏水,⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き,⑨坑口部のジャンカを重要視している事が判明した。

5. 点検項目と定量化が困難な劣化現象との関係

今回のアンケート調査では点検項目(トンネルおよび覆工コンクリートの変状・劣化)に対して個々の定量化が困難な劣化現象をどのように重要視しているかのヒアリングも実施している。

ここで表.14より,ひび割れ,浮き・剥離に対して重要視される定量化が困難な劣化現象が4項目と最

も多く,漏水に対して重要視される定量化が困難な劣化現象が3項目,目地ずれ・開きおよび豆板・空洞に対して重要視される定量化が困難な劣化現象が,それぞれ2項目,1項目となっており,遊離石灰に関する項目は抽出されていない。

したがって,今回のトンネル点検者および土木技術者へのアンケート調査では,点検項目(劣化現象)の中で遊離石灰に関しては,トンネル覆工コンクリートの各要求性能に対する劣化現象間の重要度ランクにおいても低いため,点検項目においても漏水箇所は参考値程度に留めることも必要となる。

そこで定量化が困難な劣化現象ごとに特徴をまとめると,概ね次のような傾向が認められる。

(a) ひび割れ

現状が比較的軽微なものであっても「隣接区間と連続性のあるひび割れ」においては変状の原因が同じである可能性がある場合には点検評価のランクアップを行う。点検結果など過去の客観的資料がなくても「進行する可能性のある亀裂」また「閉合している亀裂や亀裂交差部の異音」がある場合にも同様に点検評価のランクアップする。したがって,ひび割れに対する留意点(定量化が困難な劣化現象)は「変状の連続性とその原因」,「変状の進行する可能性」と「閉合している亀裂や亀裂交差部の異音」である。

(b) 浮き・剥離

「目地または補修用モルタルの浮き」・「閉合している亀裂や亀裂交差部の異音」は,コンクリート片等の落下のような第三者への影響の可能性が高いため,亀裂および変状の規模が比較的小さくても点検評価のランクアップを行い,また「鉄筋の錆びによるコンクリートの変色」・「応急対策箇所の外観上の浮き」では,将来に変状が進行する可能性や環境変化や外的な要因によるコンクリートの剥離落

表.14 点検項目と定量化が困難な劣化現象との関係

点検項目 定量化が困難な劣化現象	ひび割れ	浮き・剥離	漏水	目地ずれ・開き	豆板・空洞	遊離石灰
隣接区間と連続性のあるひび割れ	◎					
進行性が疑われる亀裂	◎			○		
地山由来と思われる土砂の堆積			◎			
目地または補修用モルタルの浮き		◎		○		
閉合亀裂や交差部の異音	◎	◎				
鉄筋の錆びによるコンクリートの変色		◎				
路面凍結が懸念される漏水	○		◎			
応急対策完了箇所の外観上の浮き		◎				
坑口部のジャンカ			◎		○	

凡例：◎ 大きく関係する ○ 関係する

下について考慮したものである。したがって、点検に際して、浮き・剥離に関しては第三者被害の可能性と変状が進行する可能性を考慮している。

(c) 漏水

「地山由来と思われる土砂の堆積」では、地山構成物の細粒分の流出であれば、背面空洞や地山の緩みが発生する可能性があり第三者被害の可能性が高く、「路面凍結が懸念される漏水」・「坑口部のジャンカ」は、漏水の路面凍結により第三者被害の可能性が高いことを考慮している。

(d) 目地ずれ・開き

「進行性が疑われる亀裂」は変状が進行する可能性、「目地または補修用モルタルの浮き」は、剥落による第三者被害の可能性が高いことを考慮したものである。また、今回のアンケート調査により、定量化が困難な劣化現象は、「変状の原因」・「変状が進行する可能性」・「第三者被害の可能性」において技術的な経験に基づいた判断が必要であることを示している。

6. まとめ

寒冷地トンネルにおける覆工コンクリートの健全度評価手法の確立を目的として、覆工コンクリートの劣化現象(点検項目)および定量化が困難な劣化現象の要求性能への影響度を点検技術者のアンケート調査を実施しAHPで分析した結果を以下に示す。

(1) 覆工コンクリートの要求性能の安全性・使用性・耐久性に対しては、ひび割れや浮き・剥離、目地ずれ・開きなど、第三者への影響度や景観・美観においては、浮き・剥離、漏水などのを点検の際に重要視している。

(2) 定量化が困難な劣化現象との関係では、安全性・使用性能・耐久性能に対しては、①隣接区間と連続性のあるひび割れ、②進行性が疑われる亀裂、⑤閉合している亀裂や亀裂交差部の異音などを重要視

しており、第三者への影響度や景観・美観においては⑥鉄筋のさびによるコンクリートの変色、⑦路面凍結が懸念される漏水、⑧応急対策完了箇所の外観上の浮き、⑨坑口部のジャンカを重要視している。

(3) またトンネル点検技術者のヒアリング調査より、点検項目のうち、ひび割れ、浮き・はく離、漏水、目地ずれ・開きにおいて個々の定量化が困難な劣化現象を勘案して点検評価を行っている結果となった。

今後も寒冷地トンネルにおける覆工コンクリートの健全度評価手法の確立のため、様々な調査・試験を実施して検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 須藤敦史, 三上隆, 岡田正之, 河村巧, 角谷俊次: 寒冷地トンネルにおける二次覆工コンクリートの長寿命化に関する一考察, 土木学会第21回建設マネジメント問題に関する研究発表会, pp.191-194, 2003.
- 2) 岡田正之, 三上隆, 川村浩, 須藤敦史, 角谷俊次: 寒冷地トンネルにおけるライフサイクルマネージメントの基礎考察, 土木学会第59回年次学術講演会Ⅳ-397, pp.791-792, 2004.
- 3) 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, 土木学会, 建設マネジメント研究論文集Vol.11, 2004.12.
- 4) 日本道路協会: 道路トンネル維持管理便覧, 1993, 11.
- 5) 道路トンネル定期点検要領(案), 国土交通省道路局 国道課, 平成14年4月.
- 6) 土木学会: トンネルの維持管理トンネル・ライブラリー第14号, 丸善, pp.27-31, 2005.
- 7) Saaty, T.L.: The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- 8) 道路保全技術センター(ROMEC) 平成16年度報告書, 平成17年4月.