

高速道路トンネルの要求性能の規定化と実用的な性能評価基準の検討

金沢工業大学(現, 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)) 学生会員 滝川駿介

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 巻田将聡

中日本高速道路(株) 正会員 森山 守

金沢工業大学 正会員 木村定雄

1. はじめに

道路トンネルの維持管理では、構造物となる覆工や道路の運用に必要となる施設・設備等が複雑に存在する。現状、日本全国の高速道路会社で共通に、または独自に定められた点検要領<sup>1)</sup>やマニュアルによって点検・評価、ならびにその対応が図られている。このような維持管理体制は継続的改善が図られ、その実績データは膨大な量となって蓄積されている。その一方で、管理すべき対象が複雑であることなどから、把握すべきリスク要因の技術的予測が難しいことも事実である。

本研究は現行のトンネルの維持管理を広義のアセット・マネジメントシステム<sup>2)</sup>の一部として捉え、まず、複雑な構成となる高速道路トンネルの要求性能を体系化して明確にするとともに、現行の点検・評価法を実用した性能評価法(性能代替指標とその評価基準)を確立することを目的としている。

2. 要求性能の規定化とそれに基づく維持管理

要求性能の規定化とそれに基づく維持管理の流れを図1に示す。要求性能を体系的に明確化する効用は、①道路トンネルを構成する要素ごと、および構成要素相互のリスクが顕在化できる。②わかりやすい表現で要求性能を記述することにより、ステークホルダーへの説明が容易となることがある。また、トンネルの性能評価法の設定において、現在実用されている点検・評価法を活用する効用は、③従来の実績データを十分に活用でき、将来状態の予測が可能となる。④運用組織体制においてリスク要因の相互認識ができ、内部統制が容易になることである。

図2は要求性能、性能代替指標、性能評価基準および性能評価基準を設定した根拠の関係を示したものである。図中、要求性能はその大項目のみを示しており、性能代替指標の設定においては、要求性能をより具体的に細分化することになる。また、性能代替指標とそ



図1 性能規定化に基づく維持管理

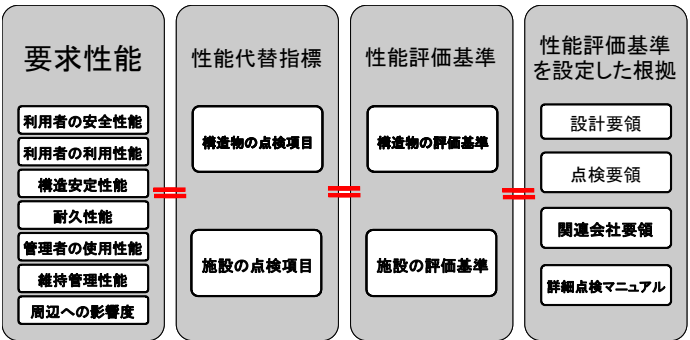


図2 要求性能と性能評価基準の規定化

表1 高速道路トンネルを構成する構造物・施設・設備

| 構造物・施設 | 構造物           | 施設等                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 無筋覆工   | —             | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 鉄筋覆工   | —             | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 坑門     | —             | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 内装板    | 直張り内装板        | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|        | 浮かし張り内装板      | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|        | 鋼線(取付金具)      | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 監視員通路  | 手摺、アンカー       | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 排水施設   | 樋、はく落防止網      | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|        | 取付金具(ナット、ボルト) | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|        | 円形水路          | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 施設     | 施設            | 受配電設備、自家発電設備、直流電源・無停電電源設備、道路照明・構内照明設備、トンネル照明設備、トンネル非常用設備、トンネル換気設備、電気集じん機設備、可変式道路情報板設備、可変式速度規制標識設備、気象観測設備、計測設備、計量設備、CCTV設備、トンネル内放送設備、遠方監視制御設備、情報処理設備、路面排水設備、トンネル汚水処理設備、雪水用設備、クレーン設備、電線路設備(特別高圧及び高圧用)、電線路設備(低圧用)、建物用設備、建物用設備(空調)、移動用発電機、多重無線設備、移動無線設備、搬送端局設備(有線、無線用)、自動交換設備、非常電話設備、指令装置等設備、光伝送設備、通信用監視設備、通信用線路設備、ハイウェイラジオ設備、通信用直流電源設備、衛星通信設備、通信用空調設備、情報ターミナル設備、路車間情報設備、スポット通信設備 |
|        | 通信            | 道路照明・構内照明設備(坑外灯ポールを含む)、トンネル照明設備、トンネル換気設備、電気集じん機、可変式道路情報板設備(F型支柱及び門型支柱)、可変式速度規制標識設備(橋梁部及びF型支柱)、気象観測設備(橋梁部)、CCTV設備、トンネル内放送設備、電線路設備(橋梁部及びトンネル内横断)、ゲート上屋照明灯具、信号機、警告灯、その他設備、移動無線設備、非常電話設備(F型)、通信用線路設備(橋梁部及びトンネル内横断)、ハイウェイラジオ設備、路車間情報設備、スポット通信設備                                                                                                                                    |
|        | 構造            | 道路照明・構内照明設備(坑外灯ポールを含む)、トンネル照明設備、トンネル換気設備、電気集じん機、可変式道路情報板設備(F型支柱及び門型支柱)、可変式速度規制標識設備(橋梁部及びF型支柱)、気象観測設備(橋梁部)、CCTV設備、トンネル内放送設備、電線路設備(橋梁部及びトンネル内横断)、ゲート上屋照明灯具、信号機、警告灯、その他設備、移動無線設備、非常電話設備(F型)、通信用線路設備(橋梁部及びトンネル内横断)、ハイウェイラジオ設備、路車間情報設備、スポット通信設備                                                                                                                                    |

の性能評価基準は、現在実用されている点検・評価法を適用する。表1は道路トンネルの構成要素となる構造物、施設および設備を示したものである。要求性能と性能評価基準は、表中に示されるトンネル構成要素

キーワード：トンネル、道路、要求性能、リスクマネジメント、アセットマネジメント、維持管理

924-0838 石川県白山市八束穂 3-1(金沢工業大学 地域防災環境科学研究所) TEL：076-274-7704 FAX：076-274-7102

表 2 規定化した要求性能と性能評価代替指標の例（無筋覆工）

| 大項目        | 中項目                        | 小項目                                                            | 性能代替指標                                                                                                                                                                                                |
|------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 利用者の安全性能   | 安全に走行できる                   | 良好な道路線形を確保できる                                                  | 設計速度、車輛の種類(登坂車線時)、最少曲線半径、曲線長、緩急曲線長、縦断勾配、最少縦断曲線半径、登坂車線、平面線形設計の留意事項、縦断線形設計の留意事項、避けることが望ましい組合せ                                                                                                           |
|            |                            | なめらかに走行できる                                                     | わだち掘れ量、ひび割れ率(総合)、すべり抵抗、IRI(国際ラフネス指数)(平坦性)、段差、ポットホール、クレーム                                                                                                                                              |
|            |                            | 必要な視認性を確保できる                                                   | 平均路面輝度、照明器具の間隔とちらつき、視機能低下グレア、クレーム                                                                                                                                                                     |
|            | 非常時に利用者が安全に避難できる           | 非常時に防災設備が確実に作動する<br>防災設備を適切に配置できる                              | トンネル等級に応じた諸設備の種類、諸設備の設置間隔                                                                                                                                                                             |
|            | 利用者の安全を直接脅かさない             | 必要な換気能力を確保できる                                                  | 換気施設の有無、煤煙濃度(100m透過率)(対面通行、2車線、3車線トンネル)、CO濃度、クレーム                                                                                                                                                     |
|            |                            | はく落が生じない(材料劣化)                                                 | 豆板、スケール、ひび割れ(材料劣化)、ブロック状(閉合)、補修材劣化、打継目の目地切れ・段差目地のずれ・開き                                                                                                                                                |
| 漏水が生じない    |                            | 漏水(アーチ、側壁)、遊離石灰(アーチ)、漏水防止樋、はく落対策施設(樋・はく落策網(ネット)、ボルト・ナット(取付金具)) |                                                                                                                                                                                                       |
| 利用者の利用性能   | 快適に走行できる                   | 快適に走行できる                                                       | わだち掘れ量、ひび割れ率(総合)、すべり抵抗、IRI(国際ラフネス指数)(平坦性)、段差、ポットホール、クレーム、平均路面輝度、照明器具の間隔とちらつき、視機能低下グレア、クレーム                                                                                                            |
|            | 通行規制を最小限とすることができる          | 通行規制を最小限とすることができる                                              | クレーム                                                                                                                                                                                                  |
|            | 利用者に不快感・不安感を与えない           | 利用者が不快感・不安感を持つような漏水・ひび割れが見られない(汚さ等)                            | クレーム                                                                                                                                                                                                  |
|            |                            | 必要な視認性を確保できる                                                   | 路面表示、視線誘導標、クレーム                                                                                                                                                                                       |
| 構造安定性能     | 常時作用する荷重に対して安定する           | 覆工が安定する                                                        | 外力による変状(最大ひび割れ幅、最大ひび割れ幅の長さ(連続している箇所)、方向性、ひび割れ幅の分布、パターン(亀甲状)、パターン(閉合型)、パターン(交差・分離)、エフロレッセンス、漏水)、中央排水溝の湧水の流れの有無                                                                                         |
|            |                            | 地山が安定する                                                        | 内空変位速度(塑性圧、偏圧、緩み圧)、塑性圧による変状現象、偏圧による変状現象、緩み圧による変状現象、変状原因が不明の場合、ひび割れ幅、ひび割れ幅変位速度の目安                                                                                                                      |
|            | 想定される荷重変化に対して安定する          | 供用期間中に想定される近接施工による影響や周辺環境の変化など、荷重条件の変化に対して必要な耐荷性能を有する          | 覆工コンクリートの変形、移動、沈下、覆工コンクリートのひび割れ、食い違い、覆工コンクリートのうき、はく落、覆工コンクリートなどの断面強度の低下、覆工コンクリートの浮き、はく落、漏水、滞水・土砂流出                                                                                                    |
|            |                            | 地すべりなどによる荷重変動                                                  | 外力による変状(最大ひび割れ幅、最大ひび割れ幅の長さ(連続している箇所)、方向性、ひび割れ幅の分布、パターン(亀甲状)、パターン(閉合型)、パターン(交差・分離)、エフロレッセンス、漏水)、中央排水溝の湧水の流れの有無                                                                                         |
|            | 必要な耐震性能を有する                | 供用期間中に想定される地震変動に対して覆工が必要な耐荷性能を有する                              | 外力による変状(最大ひび割れ幅、最大ひび割れ幅の長さ(連続している箇所)、方向性、ひび割れ幅の分布、パターン(亀甲状)、パターン(閉合型)、パターン(交差・分離)、エフロレッセンス、漏水)、中央排水溝の湧水の流れの有無、内空変位速度(塑性圧、偏圧、緩み圧)、塑性圧による変状現象、偏圧による変状現象、緩み圧による変状現象、変状原因が不明の場合、ひび割れ幅、ひび割れ幅変位速度の目安、断層帯の有無 |
|            |                            |                                                                |                                                                                                                                                                                                       |
| 耐久性能       | 防水性がよい                     | 覆工・諸設備の劣化原因となる漏水が生じない                                          | 漏水                                                                                                                                                                                                    |
|            | 覆工材が劣化しない                  | 覆工材が劣化しない                                                      | 漏水による酸・塩類(硫酸・塩酸・酢酸)の流入の有無、漏水による水酸化カルシウムの溶脱                                                                                                                                                            |
| 管理者の使用性能   | 必要な需要を満足するためのトンネル諸設備を設置できる | 必要な需要を満足するためのトンネル諸設備を設置できる                                     | トンネル等級に応じた諸設備能力(トンネル等級に応じた諸設備の種類、諸設備の設置間隔、換気施設の有無、煤煙濃度(100m透過率)(対面通行、2車線、3車線トンネル)、CO濃度、クレーム)                                                                                                          |
| 管理者の維持管理性能 | 安全・容易に点検・清掃できる             | 日常の巡回・点検・清掃が安全・容易にできる                                          | 監視員通路の有無、通路の高さ、通路の幅員、歩行空間の高さ、手摺の高さ                                                                                                                                                                    |
|            | 安全・容易に補修・補強できる             | 内空断面に補修・補強余裕が確保されている                                           | 覆工から監視員通路歩行空間までの距離                                                                                                                                                                                    |
| 周辺への影響度    | 地下水への影響が少ない                | 地下水位変動が許容範囲内である<br>周辺の地下水汚濁影響が許容範囲内である                         | クレーム                                                                                                                                                                                                  |
|            | 周辺地盤への影響が少ない               | 地表面の沈下・隆起が許容範囲内である                                             | クレーム                                                                                                                                                                                                  |
|            | 周辺での振動・騒音が少ない              | 周辺での振動・騒音が許容範囲内である                                             | 環境基準により評価、クレーム                                                                                                                                                                                        |
|            | 周辺地域の大気環境への影響が少ない          | 周辺の大気環境への影響が許容範囲内である                                           | 環境基準により評価、クレーム                                                                                                                                                                                        |

のすべてにおいて規定化する。表 2 は規定化した要求性能と性能代替指標の例(無筋覆工)を示したものである。ここで示される性能代替指標とその基準を明らかにすることで、一般に説明可能なリスク要因が顕在化する。すなわち、個々の性能評価項目が個別リスク要因となり、また、トンネルを構成する構造物や施設等の構成要素間のシステムリスクが顕在化できる。例えば、システムリスクの一例を挙げると、漏水現象は利用者の安全性能に位置づけられるが、覆工コンクリートの耐久性能、さらには、施設構造の耐久性能にも関連するリスク要因となる。図 3 は構造安定性能のうち、小項目となる“覆工が安定する”について性能を評価した例である。このように定量的に評価できる項目もあるが、定性的な評価にとどまる項目もある。

3. おわりに

本文では道路トンネルを対象とした要求性能と性能

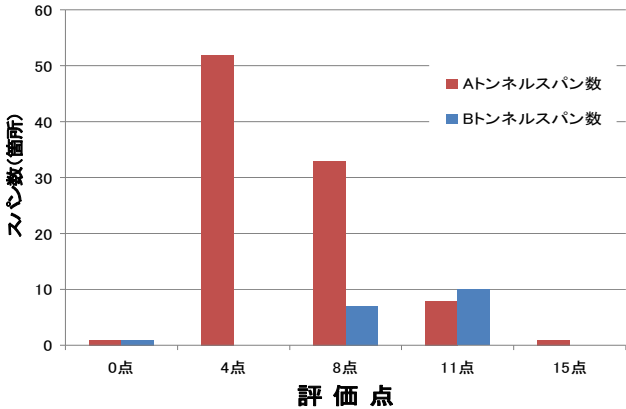


図 3 保有性能評価の例（覆工が安定する）

評価代替指標の枠組みについて概説した。今後、リスク要因の抽出とより実用的な保有性能評価法および将来の性能変化予測法について検討を進める所存である。

参考文献：

- 1) 例えば、中日本高速道路株式会社：保全点検要領，2012.04，
- 2) 澤井克紀：アセット・マネジメントシステムの国際標準化（ISO5500X の動向を踏まえて）、アセットマネジメントサマースクールー国際規格化 ISO5500X に向けてー，2011.8