

トンネル照明の空間照度低下リスクを考慮した照明マネジメントに関する研究

西日本高速道路株式会社	正会員	○平川 恵士
大阪大学大学院	正会員	小濱 健吾
大阪大学大学院	学生会員	早矢仕 廉太郎
大阪大学大学院	正会員	貝戸 清之
西日本高速道路株式会社	正会員	田中 克則

1. はじめに

トンネル照明は道路状況、交通状況を的確に把握するための良好な視環境を確保し、道路交通の安全性を高めるとともに、円滑化を図ることを目的に設置される。現在、トンネル内全体の視環境の把握を目的に、路面の水平面照度（以下、照度）の測定及びランプ点灯状況確認が定期的に実施されている。定期点検によって獲得された情報に基づいて灯具清掃及びランプ交換などの保全計画を策定する必要があるが、あくまで取り替えランプ数の確認とトンネルの平均照度からの清掃判断のみに留まっており、局所的な照度低下の区間や将来的な照度低下を予測した点検間隔の決定といった照明マネジメント手法が確立されていない。

そこで本研究では、点検データを用いたトンネル内の視認性に関わる空間照度低下リスク評価手法の構築を目的として、新たなリスクマネジメント指標「照度維持率」を提案する。さらに、実際の点検データを用いた実証分析により、照度維持率に基づくリスク評価手法の有効性を実証的に検証する。

2. 点検データを用いたリスク評価手法

照度維持率は、トンネル内の総面積に対する、設定した管理基準照度 y_{st} （以下、管理照度）を上回る面積の割合で定義される。照度維持率を算出するためには、照度低下の要因となる 1) 照明ランプの不点、2) 光束減衰の劣化過程を分析した上で、トンネル内の照度分布を推計することが必要となる。不点過程については、不点履歴データを用いたワイブル劣化ハザードモデル¹⁾の推計を行う。光束減衰過程については、空間的照度分布モデル²⁾に組み込むことで、照度分布と同時に推計する。空間的照度分布モデルでは、トンネル内を N 区間に分割し、各区間の照度 $y_n(n=1, \dots, N)$ を算出すること

が可能である。将来時点の照度分布は、個々の照明ランプが有する使用時間や不点状態、空間的な位置情報によって求められる。しかし、照明ランプの状態推移の解析的な導出は、トンネル内に設置される照明ランプの個数が増大するにつれて組み合わせの数が爆発的に増加するために、現実的でない。そこで、本研究では、個々の照明ランプの状態推移のサンプルパスをモンテカルロシミュレーションにより発生させ、その後、空間的な影響を考慮して照度分布を算出することとする。照度維持率は管理照度 y_{st} を上回る区間数の、トンネル内の全区間数に対する割合と言い換えることができる。サンプルパス $r(r=1, \dots, R)$ 上の点検間隔 d における区間 $n(n=1, \dots, N)$ の照度を $y_n^{d,r}$ とすると、サンプルパス r 上の時間 t におけるトンネル内の照度維持率は、

$$\pi^{d,r}(t) = \frac{\#(y_{st} \leq y_n^{d,r}, n \in N)}{N} \quad (1)$$

と表すことができる。ただし、 $\#(y_{st} \leq y_n^{d,r}, n \in N)$ は論理式 $y_{st} \leq y_n^{d,r}, n \in N$ が成立するサンプルの総数である。さらに、照度維持率の期待値は、式(2)となる。

$$\pi^d(t) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \pi^{d,r}(t) \quad (2)$$

3. 適用事例

(1) 適用事例の概要

本研究では、2車線対面通行トンネル（総延長 2,794m）に設置されたトンネル照明を対象とし、実際に獲得された定期点検データを用いた実証分析を実施する。まず、照度低下の要因となる 1) 照明ランプの不点については、2004 年 7 月から 2012 年 5 月の期間で獲得された不点履歴データを用いて推計を行う。また、2) 照明ランプの光束減衰および照度分布については、2011 年 3 月と 9 月に照度測定車によって獲得された照度測定データを用いて推計する。照度測定車には、車両前方に 3

キーワード 照明ランプ, リスク評価, 照度維持率, 照明マネジメント

連絡先 〒530-0003 大阪市北区堂島 1-6-20 堂島アバンザ 18F

つの照度計が設置されており、一車線あたり 3 地点の照度を獲得できる。また、本研究では、基本照明ランプの設置間隔が 12.5m であったことから、ランプ設置エリアとランプのない隣接エリアとの等範囲で区別するために、進行方向に対して 6.25m の間隔で分割した。これにより、トンネル全体を $N=2688$ 区間に分割した。

(2) 分析結果

それぞれの推計結果を用いて、本研究の対象とするトンネル内の視認性に関わるリスク評価を行う。点検間隔を 90 日, 180 日, 270 日, 360 日と変化した場合の照度維持率の推移を図-1 示す。同図は管理照度として、トンネル照明設備の設置基準として定められている路面輝度（本研究では設計速度を 70km/h, 保守率を 1.0 とした）に基づき算出した 41.6(lx) に設定した場合の一例である。いずれの点検間隔においても供用開始から時間が経過するにつれて低下し、一定時間経過後はある特定の値に収束していくことがわかる。また、供用開始直後は高水準の照度維持率を保っている。しかし、照度維持率の低下具合や収束する時期は点検間隔ごとに異なっていることがわかる。点検間隔の違いによる照度維持率を把握することにより、現行のように点検間隔を一律に設定するのではなく、供用開始直後においては点検間隔を長く、その後、点検間隔を短く設定する等の点検間隔の切り替えについて、議論を展開させることが可能となる。さらに、図-2 には、本事例で適用した管理照度 41.6(lx) をより安全側に評価するため、41.6(lx) を 0.8, 0.9 で除した管理照度(46.2(lx), 52.0(lx))とした場合の点検間隔 180 日における照度維持率の変化を示す。同図より管理照度を変化させることで、照度維持率も大きく変化していることがわかる。これにより、照度維持率をリスクマネジメント指標とすることで、交通量の多寡などのトンネル特性に応じて設定した管理照度に対する、トンネル内の現状の視環境及び将来的な照度低下予測を定量的に評価するとともに、合理的な点検間隔の保全計画策定などが可能となる。

4. おわりに

本研究では、トンネル内のリスクマネジメント指標として照度維持率を提案するとともに、照度維持率によるトンネル内の視認性に関わるリスク評価手法を構築した。さらに、実際の点検データを用いた実証分析

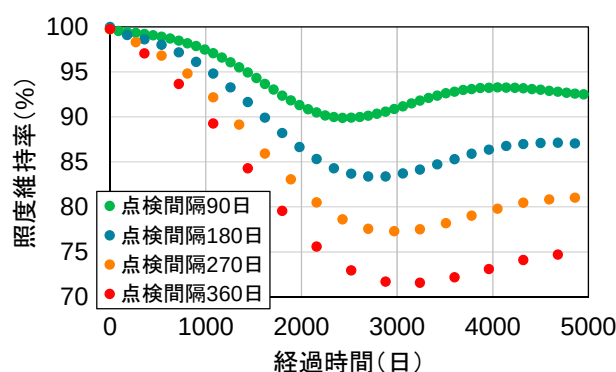


図-1 点検間隔と照度維持率の関係
(管理照度 46.1 (lx))

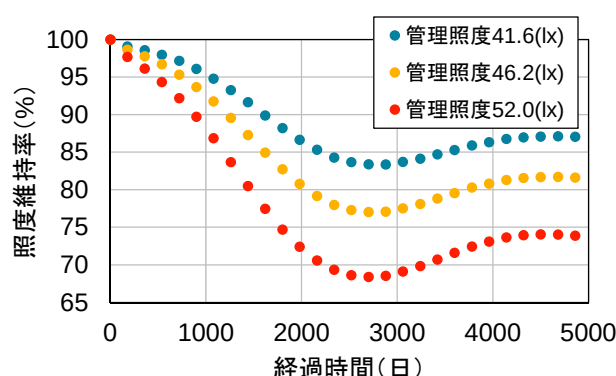


図-2 管理照度と照度維持率の関係 (点検間隔 180 日)

を実施し、点検間隔、管理照度の設定による照度維持率の推移の差異を明らかにした。これにより、安全水準を維持するための点検間隔の切り替えや、交通量の多寡などのトンネル特性に応じた点検間隔の決定といった照明マネジメントへの議論が可能になる。特に、点検間隔の切り替えについては、今後本研究で提案した照度維持率によるリスク評価手法とライフサイクル費用分析手法を連動させる方法論を構築することにより、最適な点検・更新政策へと議論を拡張することが必要となる。これにより、リスクと経済性を考慮した照明マネジメントが可能となる。

【参考文献】

- 1) 青木一也, 山本浩司, 小林潔司: 劣化予測のためのハザードモデルの推計, 土木学会論文集, No.791/IV-67, pp.111-124, 2005.
- 2) 早矢仕廉太郎, 平川恵士, 小濱健吾, 貝戸清之: トンネル照明を対象とした空間的照度分布の推定, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント) 特集号, Vol.69, No.4, pp.119-126, 2013.