

助成番号 2023-03

## 走行撮影画像を用いた高速道路トンネル照明劣化度診断手法の開発

愛媛大学工学部工学科 准教授 坪田 隆宏

教授 吉井 稔雄

西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社 部長 木村 正義

課長 三宅 賢二

### 1. 研究の目的・目標

本研究は、高速道路トンネル照明を対象とした抜取検査の自動化を目標とした要素技術の開発を行う。具体的には、撮影用車両の走行によって獲得される灯具正面の画像に基づき、AIモデルによる解析等を行って灯具背面を含む灯具全体の劣化度を推定する手法を提案する。本研究の目的は以下の2点である。

- トンネル照明設備の灯具正面と、背面部の劣化度の関係性を把握：過去の点検結果と照明設備の設置環境を活用し、灯具正面と灯具背面部材の劣化度の相関関係を把握する。
- 灯具正面の劣化度と設置環境を考慮した要点検設備の抽出方針提案：灯具正面の劣化度判定結果と設置環境による設備背面、及び灯具全体の劣化度推定モデルを構築する。

なお、本研究は一般社団法人四国クリエイト協会の『2023年度建設事業に関する技術開発支援制度』による助成を受けて実施したものである。

### 2. 分析データの収集と基礎集計

#### 2-1. 分析データの収集

##### 劣化診断データ

劣化診断データはNEXCO西日本四国支社管内にて収集した。具体的には、四国4県に存在する97トンネルの約46,000灯を対象に実施された抜き取り点検結果を収集した。収集対象年は2017年から2021年に実施された計5回の点検であり、灯具の各部位に対する近接目視点検結果が記載されている。各灯具の劣化診断データには、灯具を構成する5つの部位の診断結果が記録されている。すなわち、1) 正面部、2) ヒンジ・ラッチ、3) 取付金具・ボルト、4) ケーブルラック(CR)、および5) CR取付金具である。

近接目視点検結果は主に赤錆の発錆程度に応じて4段階で記録されており、構造的に問題がないとされるOK判定から、経過観察を要するC、B判定、早期に補修を要するA判定までの、離散的な評価が実施されている。なお、B判定とは、C判定に比べてより赤錆等の変状が広範囲に認められる状態を指す。

##### 設置環境データ

照明灯具の劣化傾向に影響すると考えられる設置環境データを収集した。具体的には、設置トンネルの車線数、上下線の区分、走行区分[走行、追越]、トンネル抗口からの距離、トンネル入口からの距離、トンネル延長、海からトンネルまでの距離を収集、整理した。

## 2-2. 基礎集計

本研究では灯具正面の劣化度情報からそれ以外の部位の劣化度推定を行うことを目的としている。そこで、正面劣化度と他部位の劣化度の関係について、特に設置環境による影響を考慮した関係性を把握するため基礎集計を実施した。

はじめに収集した 46,000 灯具の劣化状況を把握するために、灯具正面の劣化度別データ数を確認した。図 1 は全灯具 5 回の点検結果を整理したものであるが、大半の灯具が劣化度 C、または B の判定となっており、わずかに OK 判定が存在することが分かる。一方、劣化度 A や AA など重度の劣化状態である灯具はほとんど存在しない結果となった。劣化度 A と判定された灯具は早期に交換される為であると考えられる。したがって、以降の集計では灯具正面の劣化度が OK、C、または B である灯具のみを対象とする。

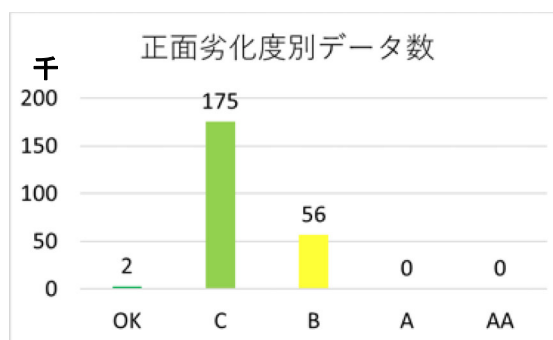


図 1 正面劣化度別のデータ数

灯具正面劣化度と他部位との関係を整理した結果を図 2 に示す。図中の 3 段 4 列に配置されたグラフのうち、上段の 4 グラフに着目する。これらは正面劣化度が OK となる灯具に含まれる各部位の劣化度の相対出現頻度を示している。ヒンジ・ラッチや取付金具・ボルトは全て正面と同じ OK 判定となっているが、CR については C や B など劣化の進んだ灯具も存在することが分かる。中段、すなわち正面劣化度が C の場合に着目すると、ヒンジ・ラッチは大半が正面と同じ劣化度 C となるが、それ以外の部位はより劣化の進んだ B や A の判定も含まれ、様々な劣化状態を示していることが分かる。下段、すなわち正面劣化度が B の場合は、ヒンジ・ラッチも含めて全ての部位で正面劣化度と異なる劣化状態が出現している。すなわち、劣化状態が正面と等しい B 判定の部位も存在する一方で、正面ほど劣化の進んでいない C 判定や、劣化の進行している A 判定も存在する。

正面劣化度と他部位の劣化度の違い、すなわち部位による劣化進行の差異に影響を与える要因を把握するために、設置環境要因を考慮した集計を行った。具体的には、先述の設置環境データで示した要因を考慮して、灯具正面と他部位の劣化状態の関係を集計した。一例として上下線区分を考慮した場合の結果を図 3 に示す。上り線と比較して下り線において正面劣化度に対して他部位の劣化が進んでいる（すなわち、分布が右にシフトしている）ことが分かる。すなわち、他部位の劣化度推定においては上下線区分を考慮することが重要であると示唆する結

果であると言える。

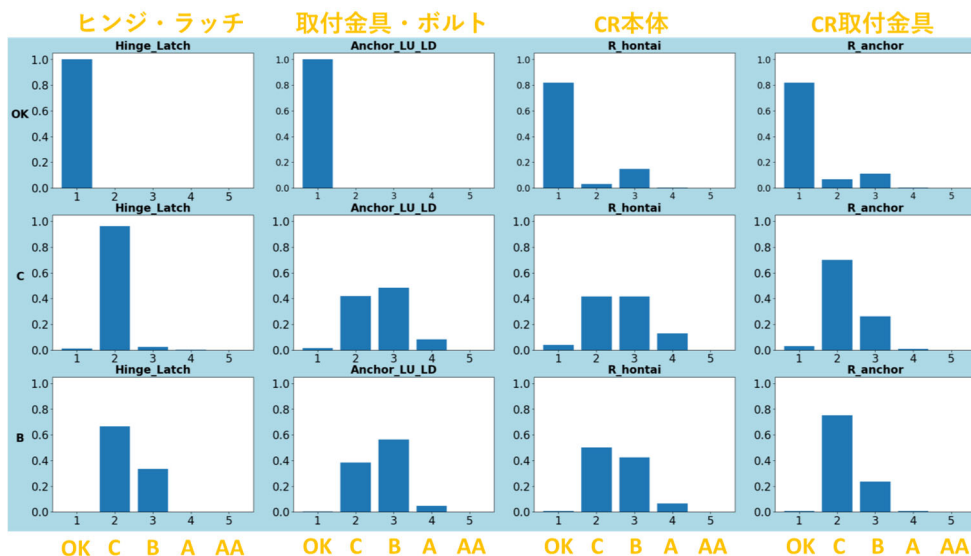


図2 正面劣化度別の他部位の劣化度分布

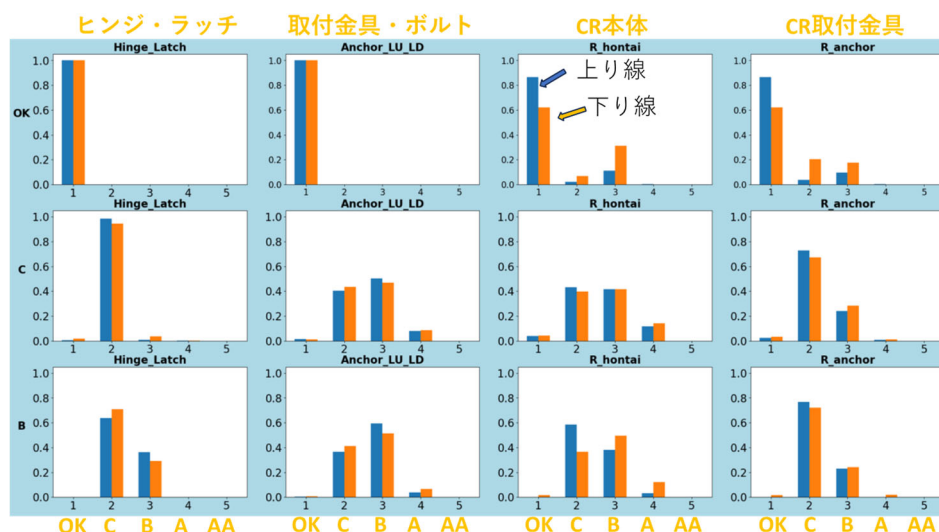


図3 正面劣化度別の他部位の劣化度分布（車線数考慮）

### 3. 他の部位劣化度推定モデルの構築

2の基礎集計結果を踏まえて、正面劣化度から他部位の劣化度推定において有用となる環境要因を抽出し、同要因を活用した、他部位の劣化度推定モデルを構築した。モデルの構築においては、図4に例示するような多層パーセプトロンモデルを活用し、前面劣化度と設置環境要因を入力とし、他部位の劣化度を出力としてモデルのパラメータを決定した。劣化度推定の対象とする部位としては、ヒンジ・ラッチ、取付金具・ボルト、ケーブルラック(CR)、およびCR取付金具の4種類が存在するため、それぞれの部位を対象とした計4つの劣化度推定モデルを構築した。

構築したモデルの結果の 1 例を表 1 に示す。正面部劣化度情報と設置環境を入力としてもちいることで、いずれの部位においても 0.7 を超える正解率で劣化度を推定可能であることが示された。また、維持管理の現場においては、実際の（真の）劣化度に対して、推定モデルが甘い判定を下すことは劣化の見落としに繋がり得るため避ける必要がある。そこで、実際の劣化度よりも推定劣化度の方が良い結果となる「危険側判定率」を確認したところ、取付金具とヒンジ・ラッチモデルにおいては、比較的低い数値が得られた。一方、CR 本体と取付金具は危険側判定となるケースが 2 割程度存在し、改良の余地を残す結果となった。

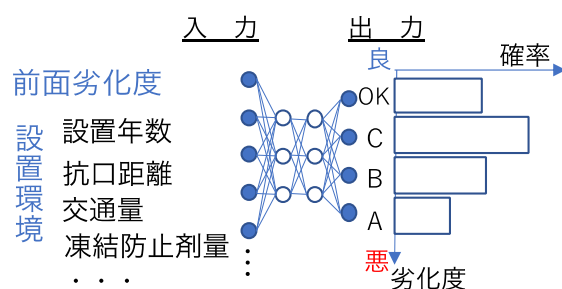


図 4 正面劣化度と環境要因を考慮した他部位の劣化度推定モデル概念図と入出力データ

表 1 他部位の劣化度推定結果

	正解率	危険側判定率
取付金具	0.77	0.1
ヒンジ・ラッチ	0.92	0.05
CR 本体	0.71	0.19
CR 取付金具	0.72	0.19

#### 4. 結論と今後の課題

本研究では、トンネル照明設備の灯具正面と、背面部の劣化度の関係性を把握し、正面劣化度と灯具設置環境情報を入力とした他部位の劣化度推定モデルを構築した。構築したモデルは、いずれの部位に対しても 7 割を超える正解率を示し、一定の推定精度が得られたと考える。しかしながら、特に CR 本体と CR 取付金具に対しては、危険側判定となるケースが 2 割程度存在するため、今後の改良の余地を残す結果となった。

今後の改良方針としては以下の 2 点をあげる。

- モデル入力データ：本研究では灯具の材質データの入手が間に合わず、活用できていないが、材質によって劣化の進行は大きく異なるため、同情報の活用は不可欠であると考ええる。
- モデル構造の改良：今回は多層ニューラルネットワークのみを用いてモデルの構築を行ったが、ランダムフォレストや SVM など、本研究で扱っているような分類問題を得意とするモデルは他にも存在するため、多様なモデルを用いた検討が必要である。