

## 常時微動計測を用いた灯台補修における優先順位の提案

中央大学 学生会員 ○岩崎 紘也 中央大学 正会員 佐藤 尚次

### 1. はじめに

日本は、高度経済成長期に集中して整備された土木インフラが近い将来老朽化し、一斉に更新時期を迎えるため、それらを維持管理していかなければならない問題を抱えている。その問題に対して、道路橋やトンネルなど、生活に直接関係する土木インフラの問題は注目されているが、生活に関係することが少ない土木インフラは注目されづらい。しかし、橋梁とトンネルに比べ、航路標識の措置が必要な割合は高く、注目されづらい航路標識でも同じ問題を抱えていることがわかる<sup>1)</sup>。特に航路標識の中でも多種多彩である灯台を対象に研究を進める。

灯台は、船舶の航行目標となる施設である。また、近代化の発展を支えてきた施設として、文化的、景観的な価値付けが進み、近代化遺産や景観資源として後世に継承すべき財とされる灯台もある。そのため、今後も灯台を保存し続けていく必要がある。

日本には現在、3151基の灯台が存在しており、これらすべてを海上保安庁が管理している。しかし、海上保安庁の限られた人員や費用では点検や補修が困難になってきているのが現状である。

### 2. 研究目的

本研究では前述した問題を踏まえ、人手を減らし、簡易的に計測できる常時微動計測での点検と、灯台の周囲の環境や灯台の価値などを考慮して灯台の補修に優先順位をつけることで、効率的な灯台の維持管理の提案を目的とする。

### 3. 既往研究

日高ら<sup>2)</sup>は、広島県にある宇品灯台の振動性状の測定に常時微動計測を用いて、各方向3次振動数までの推定が可能であることが示し、人手と費用をかせずに1次固有振動数が推定できることを示した。

川瀬ら<sup>3)</sup>は簡単かつ高精度に灯台の1次固有周期を推定できる回帰推定式を提案し、その回帰式推定式から灯台の損傷の有無を評価できる可能性を示した。その回帰推定式(1)を以下に示す。

$$T = \begin{cases} 0.019 \cdot H + 0.007 (\text{煉瓦造灯台}) \\ 0.014 \cdot H + 0.015 (\text{石造灯台}) \\ 0.013 \cdot H (\text{RC造灯台}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $T$ は既存灯台の1次固有周期(sec)、 $H$ は躯体高さ(m)である。

これらの既往研究から常時微動計測と回帰推定式の劣化に対する有効性を確認し、本研究でも利用する。

### 4. 対象灯台

対象灯台は犬吠埼灯台、勝浦灯台とする。

犬吠埼灯台は、明治7年に千葉県銚子市に建てられた高さ32メートルのレンガ造りの西洋式灯台である。明治期灯台であり、近代化産業遺産、国の登録有形文化財の登録、さらに、国の重要文化財の指定も受けている。このように歴史的価値が十分にあり、地理的に計測が容易であるため、犬吠埼灯台を選択した。

勝浦灯台は、大正6年に建設されたRC造の灯台である。犬吠埼灯台のような登録や指定はないが、建設から100年を超え、補強歴もある古い灯台であるため、劣化が見られると予想し選択した。

### 5. 研究手法

本研究では、補修優先度選定を行うにあたり、以下に示す4つの要素を用いて評価を行う。

#### (1) 常時微動計測による劣化状況予測

対象となる灯台の常時微動を計測し、1次固有周期を求め、回帰推定式から求まる1次固有周期からのずれを基準に劣化状況を推定する。1次固有周期は、計測したデータからH/Vスペクトル比を算出し、それを用いて求める。H/Vスペクトル比の計算式(2)を以下に示す。

$$|R_{surface}(f)| = \frac{\sqrt{|F_{EW}(f)| |F_{NS}(f)|}}{|F_{UD}(f)|} \quad \text{式(2)}$$

ここで $R_{surface}$ はH/Vスペクトル比、 $F_{EW}, F_{NS}, F_{UD}$ はそれぞれ東西、南北、上下方向の加速度フーリエスペクトルである。

指標は図-1、表-1の通り、回帰推定式と95%予測区間と等距離に直線を引き、回帰推定式から離れるほど指標が大きくなるよう作成した。1次固有周期が低くなることは、灯台の剛性が増すことから、指標を低く設定した。

#### (2) 地震による危険度

対象とする灯台に起こる危険な地震の発生確率を求める。東日本大震災での陸前江島灯台の損傷の通り<sup>4)</sup>、地震の灯台への影響は大きいため、1つの要素とした。地震による危険度は、図-2<sup>5)</sup>に示す地震動予測地図の30年で震度6強以上の地震が起きる確率を参考に求め、表-2の指標も同様に参考に作成した。

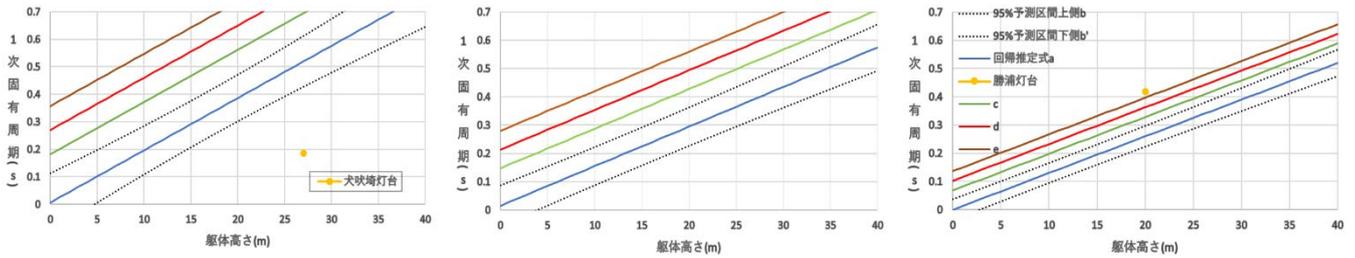
#### (3) 風による危険度

対象とする灯台での平均風速を求める。台風24号での名瀬港西防波堤灯台の倒壊<sup>6)</sup>の通り、強風の灯台への影響は大きいため、1つの要素とした。平均風速は対象灯台における直近20年の風速データから求める。表-3の指標は、維持管理の優先度の定める上での相対評価であるため、考えられる平均風速の範囲内で均等に作成した。

キーワード 灯台、常時微動、1次固有周期、維持管理、明治期灯台

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 Tel 03-3817-1816 Fax 03-3817-1803

E-mail: a18.f7cg@g.chuo-u.ac.jp



(A) 煉瓦造 (B) 石造 (C) RC造

図-1 実測値と回帰推定式との関係

(4) 灯台の価値

現在の航海では、電子海図表示システムや全地球測位システムなどの近代機器が発達し、灯台の役割が徐々に薄れている。その中で海上保安庁は、明治期に建設された、「明治期灯台」をA~Dと4つのランクに分け、改修の優先度を示している<sup>7)</sup>。このことから、灯台の価値が歴史的価値と類似していると考え、本研究では、価値を歴史的価値と捉え、明治期灯台を基準に価値付けした。指標は表-4の通りである。明治期灯台に付けられたA~Dランクを使用し、明治期灯台でない灯台をEランクに位置付けた。ただし、明治期灯台でないが、国指定文化財である灯台は価値が非常に高いことからAランクに位置付ける。

以上4つの要素をもとに5段階のレーダーチャートを作成し、その面積の大小で補修の優先順位を定める。

6. 研究結果

(1) 犬吠埼灯台

図-1(A)、表-1より、常時微動計測による劣化予測は「1」となる。

また、図-2、表-2より、地震による危険度は「4」となる。

次に平均風速は6.94m/sであり、表-3より、風による危険度は「3」となる。

最後に表-4より、灯台の価値は「5」となる。

以上の結果をレーダーチャートにしたものが図-3である。レーダーチャート内の面積は18となった。

(2) 勝浦灯台

犬吠埼灯台と同様に求めると面積は17.5である。

この2つの面積の大小から犬吠埼灯台は勝浦灯台に比べ、補修優先度が高いことが示された。

7. おわりに

灯台の周囲の環境や灯台の価値などを考慮して灯台の補修優先順位の選定を行った。

今後の課題として、劣化推定以外の要素の指標にその他の灯台を当てはめ、より多くの結果から本研究の評価を行っていく。

参考文献・出典

- 国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画), 令和3年度~令和7年度
- 日高みなみ, 佐藤大輔, 青木孝義, 高瀬剛: RC造灯台の振動特性, コンクリート工学年次論文集, Vol136, No. 2 pp. 805-810, 2014. 7(第3章)
- 川瀬みなみ: 保存を目的とした既存灯台の耐震性評価, 名古屋市立大学平成30年度博士学位論文, 甲第1665号
- 海上保安庁: 東日本大震災による航行援助施設の被害と復旧

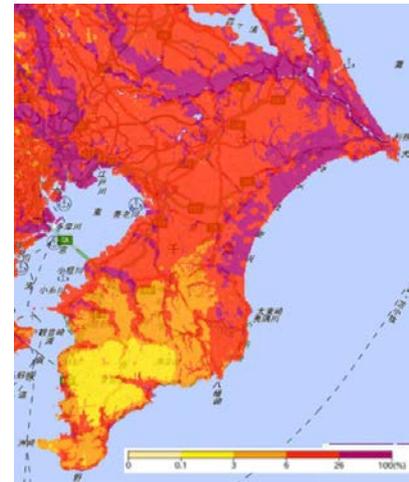
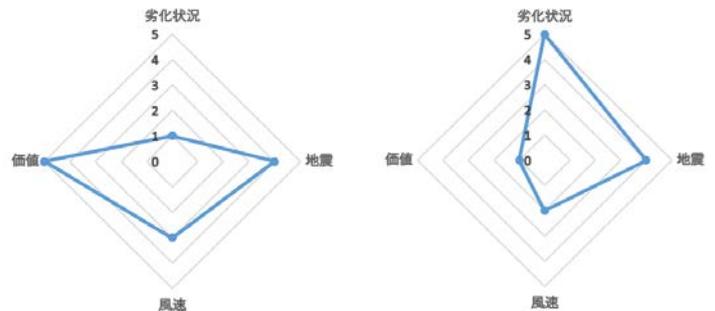


図-2 震度6強以上の地震動予測地図



(1) 犬吠埼灯台 (2) 勝浦灯台

図-3 優先順位のレーダーチャート

表-1 劣化状況指標

指標	1	2	3	4	5
範囲	b以下	b~c	c~d	d~e	e以上

表-2 地震指標

指標	1	2	3	4	5
地震確率(%)	0~0.1	0.1~3	3~6	6~26	26~100

表-3 風速指標

指標	1	2	3	4	5
風速 (m/s)	0~3	3~6	6~9	9~12	12~15

表-4 価値指標

指標	1	2	3	4	5
ランク	E	D	C	B	A

- 確率論的地震動予測地図, 地震ハザードステーション
- 海上保安庁: 令和2年度海上保安庁関係予算配分概要
- 海上保安庁: 灯台の現状と活用事例