

# 鉄筋コンクリート製灯標の劣化診断技術

独立行政法人海上技術安全研究所  
構造基盤技術系 保守管理技術研究グループ グループ長

丹羽 敏男 *Toshio Niwa*

## 1. はじめに

2012年12月2日に発生した中央自動車道上り線笹子トンネルの天井板の崩落事故<sup>1)</sup>を受け、早急に交通インフラの点検を実施し、迅速に実態把握を行うとともに、現在、適切かつ効率的な交通インフラの維持管理・更新のあり方について見直しが図られているところである<sup>2)</sup>。

本解説では、海上に設置されている航路標識などを対象に、腐食劣化の進捗度合いに応じた点検・保守管理手法の最適化を図る腐食劣化診断モニタリング技術の確立ならびに劣化診断マニュアルの作成を目的として、国土交通省総合政策局より2013年度に受託した研究の一部である鉄筋コンクリート（Reinforced Concrete, 以下、RC と略す）製灯標を対象とした研究成果について紹介する。

## 2. RC 製灯標の概要

### (1) 航路標識としての種別

航路標識<sup>3)</sup>とは、「灯光、形象、彩色、音響、電波等の手段により港、湾、海峡、その他の日本国の沿岸水域を航行する船舶の指標とするための灯台、灯標、立標、浮標、霧信号所、無線方位信号所ならびにその他の施設をいう。」と航路標識法に定義されている。また、海上保安庁では、現在、視覚により利用する光波標識、無線を用いる電波標識および他の

施設に大別している。RC 製灯標は、光波標識に区分される。

### (2) 灯標の機能

灯標とは、船舶に障害物および航路の所在などを示すために岩礁、浅瀬などに設置された構造物で、灯光を発し構造が塔状のものをいい、RC 製、鋼製および繊維強化プラスチック製のものがあり、固定式灯標と呼ばれる。また、海底に設置された沈錘の係留装置で接続し、航路などを示す浮体式灯標と呼ばれるものもある。

### (3) RC 製灯標の設置基数

2012年度末において、海上保安庁で管理・運用されている灯標は、固定式灯標が356基、浮体式灯標が168基である。また、固定式灯標のうち、RC 製灯標は172基あり、第六管区（瀬戸内海地区）と第七管区（北九州地区）に全体の約6割が設置されている。

### (4) RC 製灯標の来歴

陸上に設置されている灯台などと異なり気象、海象の強い影響を受ける場所に建設し、建設技術や建設費用に加え建設後の維持管理も容易でないことから、1945年以前に建設された灯標の基数は少数である。1945年以降は、土木技術の発達および海運、水運業の発展に伴って積極的に新設が進められ、主要な航路筋にある岩礁、浅瀬などに多くの灯標が設置されている。

### 3. RC 製灯標の現地調査

2. (3) 項に記述したように、海上保安庁で管理・運用されている RC 製灯標172基から以下の選定要件により現地調査対象標識2基を選定した。

#### (1) RC 製灯標の現地調査箇所の選定要件

- ①設置後の経過年数：法定耐用年数50年を経過しようとする標識および設置基数が多い年代、かつ、法定耐用年数を10年後ぐらいに迎える標識
- ②設置環境等：後述する埋め込みセンサ等の管理が比較的容易に行える環境に設置された標識
- ③管区要請：老朽化等が懸念される標識
- ④その他：建設時の詳細な配筋図面等が保存されている標識

#### (2) 選定対象標識

調査対象とした RC 製灯標は、愛知県西尾市にある中島灯標（1965年12月設置）および悪波灯標（1973年12月設置）である。中島灯標および悪波灯標の外観と設置位置を図1に示す。中島灯標および悪波灯標のかぶり<sup>※1</sup>は、それぞれ11 cm および14 cm で、

図1 現地調査対象標識



陸上の RC 製構造物のかぶりの約3~4倍の厚さである。

#### (3) 調査項目および方法

- ①構造物調査およびコンクリート材料試験  
目視による変形、外壁などの亀裂、外装変質剥離などの構造物調査を実施した。また、1灯標あたり4箇所からコンクリート材料試験用の供試体を採取し、コンクリート圧縮強度試験<sup>4)</sup>、コンクリート中性化試験<sup>5)</sup>ならびにコンクリート塩分含有量試験<sup>6)</sup>を実施した。それぞれの試験方法は日本工業規格に基づいて実施した。
- ②RFID 腐食環境検知システムによる診断  
RFID (Radio Frequency Identification) 腐食環境検知システム<sup>7)</sup>とは、コンクリート構造物内の鉄筋周辺における腐食環境を構造物の表面から与える無線電波にて測定診断するシステムである。腐食環境センサおよび RFID タグ<sup>※2</sup>を所定の位置（後述の表2参照）に設置し、定期的に測定を行う。腐食環境センサおよび RFID タグの設置は2013年11月末日に実施した。

腐食環境センサと RFID タグの設置方法を図2に示す。腐食環境センサの設置位置は、かぶりの半分の位置（腐食環境センサ No.1）とかぶりの位置（腐食環境センサ No.2）とし、RFID タグの設置位置は表面から深さ3 cm の位置とした。また、腐食環境センサおよび RFID タグの設置については、所定の深さに直接設置した。なお、埋め戻し材には、セメント系無収縮モルタルを用い、タイルと目地モルタルにて外装仕上げを実施した。

#### ③自然電位による診断

自然電位計測用導線を実構造物の鉄筋およびダミー鉄筋に設置し、100 MΩ以上の内部抵抗を持つテストを使用し、土木学会基準<sup>8)</sup>に準じて計測した。自然電位計測

※1  
かぶり  
RC の鉄筋の表面とこれを覆うコンクリートの表面までの最短距離をいう。

※2  
RFID タグ  
リーダーからの電波をエネルギー源として動作する ID 情報を埋め込んだパッシブタグをいう。

図2 腐食環境センサとRFID タグ、自然電位計測用導線の設置方法

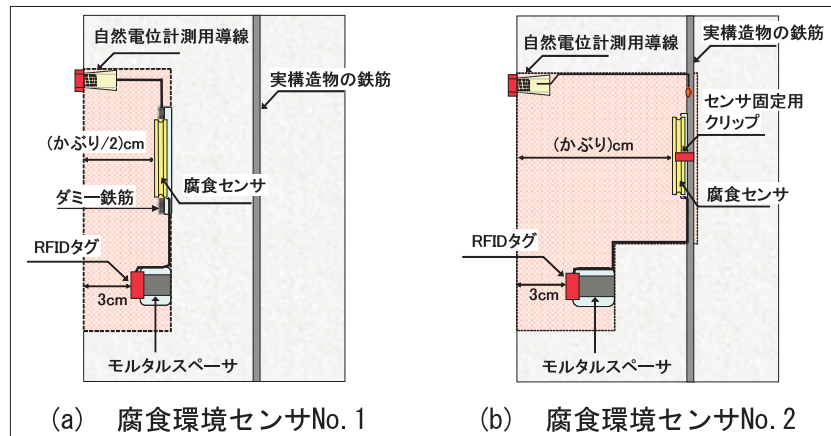


表1 構造物調査とコンクリート材料試験結果

調査項目	部位	中島灯標	悪波灯標
変形	基礎	西側に補修跡あり	異常なし
	灯塔	異常なし	異常なし
外装等の亀裂	基礎	一部剥離、赤錆あり	南西に幅2 mmの縦断亀裂あり
	灯塔	南西に0.5 mm幅亀裂（基礎から踊場） 長さ20 cm 亀裂多数	長さ20 cm 亀裂4箇所 南南東高さ1.7 mに鉄板露出
外装変質剥離	基礎	外装なし。	外装なし
	灯塔	踊場昇降口にタイル剥離3枚と浮きあり	タイル表面損傷25枚 タイル13枚剥離
圧縮強度	基礎	21.5 N/mm <sup>2</sup>	31.5 N/mm <sup>2</sup>
	灯塔	22.7~35.3 N/mm <sup>2</sup>	15.3~17.7 N/mm <sup>2</sup>
中性化	基礎	非発色部深さ0.4 mm	非発色部深さ0.0 mm
	灯塔	非発色部深さ0.6~2.7 mm	非発色部深さ1.4~2.1 mm
塩分含有量	基礎	7.11 kg/m <sup>3</sup>	1.84 kg/m <sup>3</sup>
	灯塔	2.74~3.41 kg/m <sup>3</sup>	0.94~1.95 kg/m <sup>3</sup>

用導線の設置は、上述の腐食環境センサとRFID タグと同日に実施した。

自然電位計測用導線の設置方法を図2に示す。自然電位の計測位置は、上述の腐食環境センサ（No.1および No.2）と同様、かぶりの半分の位置とかぶり位置であり、かぶりの半分の位置では腐食環境センサと同時期に埋没したダミー鉄筋の自然電位を計測し、かぶり位置では実構造物の鉄筋の自然電位を計測した。

#### (4) 現地調査結果

##### ① 構造物調査およびコンクリート材料試験結果

構造物調査とコンクリート材料試験結果

の概要を表1に示す。中島灯標、悪波灯標ともに、外壁などにわずかな亀裂および外装仕上げタイルの剥離や脱落があるものの、構造的欠陥は見られなかった。観察された灯塔部の損傷の一例を図3に示す。

また、中島灯標および悪波灯標の圧縮強度の設計値は、18~21 N/mm<sup>2</sup>以上と想定されるが、著しい強度低下は認められなかった。しかしながら、中島灯標、悪波灯標ともに、コンクリート中に含まれる塩化物イオン量が土木学会の鋼材腐食発生限界濃度（1.2 kg/m<sup>3</sup>）<sup>9)</sup> を超えており、鉄筋の腐食が進展しているものと診断された。事実、コア抜き後に露出した鉄筋は、径が細くなるような腐食状態ではないものの、

図3 灯塔部の損傷の一例



(a) 中島灯標の灯塔部の亀裂

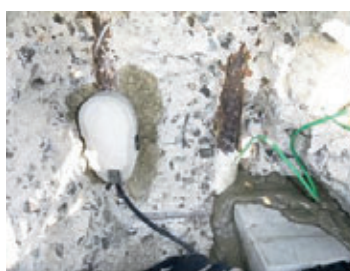


(b) 悪波灯標の灯塔部のタイル脱落

図4 RC製灯標の鉄筋の腐食状況



(a) 中島灯標



(b) 悪波灯標

図4に示すように鉄筋表面に発錆が確認された。日本建築学会の鉄筋腐食評価基準<sup>10)</sup>では、グレードⅢ(点錆がつながり面錆となり、部分的に浮き錆が生じている状態)に相当する。従って、両者ともに腐食の進展期から加速期への遷移段階にあると考えられる。

以上のことから、海上保安庁で管理・運用されているRC製灯標について、定期的に鉄筋の腐食状態を調査・把握することが望ましい。特に、設置年数が40年を超えるRC製灯標について、調査結果次第では、今後の補修・建て替え計画を立案することが急務と考えられる。

## ② RFID 腐食環境検知システムによる診断結果

腐食環境センサの計測結果を表2に示す。腐食環境センサは、設置した位置における腐食環境度合いを青(安全領域)、黄(点検領域)および赤(危険領域)の3色の色で判別される。計測結果より腐食環境センサ位置から74日経過した時点では、全ての腐食環境センサ設置位置で「安全領域

(青)」と判断された。この結果は、3.(4)①項の結果と相反する結果となっているが、74日経過時点では、埋め戻し材であるセメント系無収縮モルタルに浸透する塩化物イオンが腐食環境センサ設置位置まで到達していないことを意味している。今後、定期的に診断を行う計画であり、その診断結果に基づいて劣化診断に有効な手法であるか判断したい。なお、補修効果の確認や新設または設置年数が少ない(コンクリートのダメージが少ない)RC製灯標の劣化診断には有効な手法と考えられる。

## ③ 自然電位による診断結果

鉛照合電極による自然電位の計測結果を表3に示す。表3には、鉛照合電極による計測値に補正值を加え、飽和硫酸銅電極に対する自然電位の値に換算した値と ASTM C 876<sup>11)</sup>による判定基準により判定した結果も併記した。ASTM C 876による判定(腐食確率)では、各灯標ともに腐食環境センサ設置時に埋設したダミー鉄筋は「不確定」、実構造物の鉄筋は「90%以上の確率で腐食あり」と判断された。実構造物の



表2 腐食環境センサの計測結果

灯標名	鉄筋かぶり (cm)	腐食センサ設置後経過日数	腐食センサ No.	腐食センサ設置位置		測定結果
				基礎からの高さ (cm)	表面からの深さ (cm)	
中島灯標	11	74	1	75	5.5	安全領域
			2	130	11.0	安全領域
悪波灯標	14	74	1	140	7.0	安全領域
			2	150	14.0	安全領域

表3 自然電位計測結果

灯標名	鉄筋の種類	表面からの鉄筋位置 (cm)	計測時の外気温 (°C)	自然電位		
				計測値 (mV)	換算値 (mV vs CSE)	判定 (腐食確率)
中島灯標	ダミー鉄筋	5.5	3.1	557	-247	不確定
	実構造物の鉄筋	11		336	-468	90%以上の確率で腐食あり
悪波灯標	ダミー鉄筋	7	3.3	530	-274	不確定
	実構造物の鉄筋	14		335	-469	90%以上の確率で腐食あり

鉄筋の結果は、図4の目視による鉄筋腐食診断と同様の結果を示しており、有効な手法であることが確認された。

## 4. リモートセンシングシステムの検討

航路標識が設置されている海域は、漁船を始め多くの船舶が航行していることから、調査の実施に当たっては設置海域を担当する海上保安部署に調査内容や安全対策などを記載した作業許可申請書または海上作業届けを提出するとともに、付近の関係漁業協同組合などに調査実施概要について周知する必要があり、ある程度の期間を要することとなる。そ

こで、この手続きを省略する目的で、リモートセンシングシステムを検討することとした。ここでは、RFID 腐食環境検知システムによる RC 製灯標の劣化診断を対象としたリモートセンシングシステムについてのシステム設計を行った一例を示す。

RFID 腐食環境検知システムは、図5に示す WIMO (Wireless Monitoring System) データサービスを使用したリモートセンシングが可能である。WIMO で計測したデータをリアルタイムに保存するサービスで、インターネット上に計測結果、現場名、コメントなどを保存、いつでも、どこからでも確認が可能である。

このリモートセンシングシステムでは、センサ設置箇所に高出力型リーダーライタと取り込みアンテナを設置することで、パーソナルコンピュータ (PC) の自動プログラムにより任意の設定時間に計測を行い、計測と同時に携帯電話網を使用してデータをインターネットの専用サーバーにアップロードすることができる。ただし、本システムを利用するためには AC100 V の定電源が必要である。従って、太陽光発電により蓄電したバッテリーが必要となること、RC 製灯標ごとに高出力

図5 RFID 腐食環境検知システムによるリモートセンシングシステム

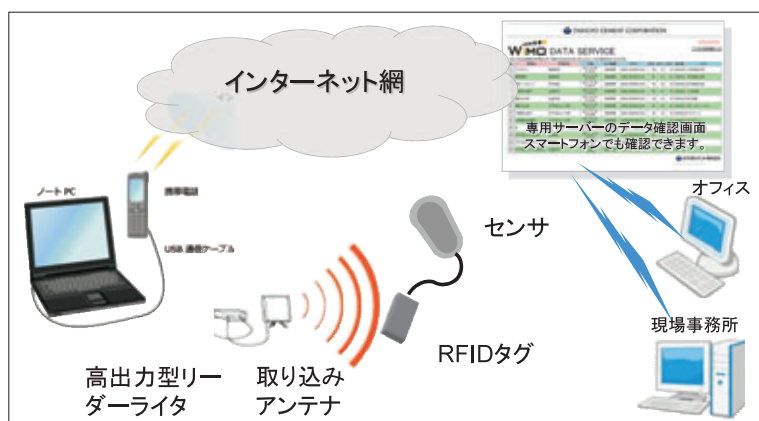


表4 RC製灯標の劣化診断マニュアル

診断方法	判定基準	備考
目視検査	ひび割れ (時間が経過したもの)	・ひび割れは、鉄筋の腐食の進展期から加速期に移行する段階で発生 (コンクリート自身の収縮によりひび割れが発生する場合もあるので注意)
鉄筋の腐食状況	グレードV (I~Vの5段階評価) 厚い層状の錆が広がって生じ、 断面積で20%以上の欠損を生じている箇所がある状態：劣化期	・はつりによる調査 ・日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査診断及び補修指針 (案) 同解説
コンクリート 圧縮強度試験	圧縮強度 (設計強度) 以上	・JIS A 1107
コンクリート 中性化試験	pH 低下領域 (中性化深さ)	・JIS A 1152
コンクリート 塩化物イオン量 試験	鋼材腐食発生限界濃度1.2 kg/m <sup>3</sup> 以下	・JIS A 1154 ・土木学会コンクリート標準示方書 (施工編) の基準
RFID 腐食環境 計測システム	腐食環境を“色”判定 (安全、点検、危険領域)	・上記3つの試験を実施するためコンクリートのコア抜きが必要となるが、この穴を利用し腐食環境センサ、RFID タグ並びに自然電位計測用導線を設置するのが効果的
自然電位法	-350 mV 以下で90%以上の確率で腐食有り (v.s. 飽和硫酸銅電極)	・ASTM C 876基準 ・導線設置後の水密性等に配慮する必要がある

型リーダーライタ、取り込みアンテナならびに PC などの機器を設置する必要があり、コストパフォーマンスが低いこと、条件によっては基地の設置や人的配置が必要になることなど考慮するとリモートセンシングによる保守管理は実用的でないものと考えられる。

## 5. おわりに

3. 節の現地調査を通じて RC 製灯標の腐食診断手法としての適否を評価し、表4に示す劣化診断マニュアルを作成し、海上保安庁に提出した。現在、海上保安庁では、対象を全国の RC 製灯標などに拡大して試行を実施しており、今後、正式に採用される予定である。

本稿は、2013年度、国土交通省総合政策局から受託した「航路標識等の腐食劣化診断モニタリング技術の開発」の一環として実施されたものである。関係各位に対して感謝します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故関連情報，2013。  
[http://www.mlit.go.jp/road/road\\_tk1\\_000033.html](http://www.mlit.go.jp/road/road_tk1_000033.html)
- 2) 国土交通省：社会資本の老朽化対策に関する国土交通省の主な取組，2015。  
[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei\\_point\\_mn\\_000003.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_mn_000003.html)
- 3) (一財) 日本航路標識協会：航路標識，[http://www.jana.or.jp/kouro/new\\_kouro.html](http://www.jana.or.jp/kouro/new_kouro.html)
- 4) 日本工業規格：JIS A 1107「コンクリートからの供試体の採取方法および圧縮強度試験方法」，2012。
- 5) 日本工業規格：JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの計測方法」，2011。
- 6) 日本工業規格：JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン量の試験方法」，2012。
- 7) 国土交通省：国土交通省技術活用システム (NETIS) KT-110059。
- 8) (公社) 土木学会：土木学会基準「コンクリート構造物における自然電位測定方法 (JSCE-E601)」，2007。
- 9) (公社) 土木学会：土木学会コンクリート標準示方書 (施工編)
- 10) (一社) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査 診断及び補修指針 (案) 同解説
- 11) 米国試験材料協会規格：ASTM C 876 “Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel concrete”

### にわ●としお

1984年長岡技術科学大学工学部卒業、1986年同大学院工学研究科修士課程修了。三菱自動車工業 (株) に入社、九州大学工学部教員 (助手、講師) を経て、2002年 (独) 海上技術安全研究所へ転任。2009年から現職。博士 (工学)。