

第VI部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 B203(川内北キャンパス講義棟B棟)

診断技術(5)

座長：松山 公年（日本工営）

17:00 ~ 17:10

[VI-1123] 簡易暴露試験データを用いた栈橋上部工の劣化予測手法に関する研究

*奥野 一暢¹ (1. 一般財団法人 港湾空港総合技術センター)

キーワード：栈橋、暴露試験、塩化物イオン、劣化予測

本研究は、手軽に扱える薄板モルタル供試体を用いた原位置での暴露試験により捕捉された塩化物イオンのデータを用い、確率論で劣化予測する手法の構築を目指すものである。本報文では、1回目の暴露試験結果と提案する劣化予測手法の考え方について述べる。

簡易暴露試験データを用いた栈橋上部工の劣化予測手法に関する研究

(一財) 港湾空港総合技術センター 正会員 ○奥野一暢 兵頭武志
東北大学大学院 正会員 大竹 雄 水谷大二郎

1. はじめに

港湾の栈橋は厳しい塩害環境にあり、また、荷役作業で利用される栈橋における定期点検診断にあたっては、経済活動の妨げにならないような実施計画を策定するとともに、効率的な維持管理のため精度の良い点検診断が求められる。港湾施設の定期点検診断の実施時期は、「技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示」(国土交通省)により表-1のように定められており、通常点検診断施設の栈橋上部工(RC構造部材)の場合、一般に外観目視を主とした一般定期点検診断を5年以内ごとに1回と、コア採取等による塩化物イオン濃度調査等による詳細定期点検診断を供用期間中に1回行うことになっている。外観目視は比較的容易に実施できる半面、ひび割れや錆汁などの劣化が現れないと評価できないため、必ずしも的確な評価結果が得られるとは限らず、一方、コア採取による塩化物イオン濃度調査の場合、精度よく塩化物イオンの浸透状況の把握や予測が行えるが、コア採取時に仮設足場を設置する手間が掛かるため、コストと時間(施設の供用停止期間の長期化)に課題がある。

本研究は、手軽に扱える薄板モルタル供試体¹⁾を用いた原位置での暴露試験により捕捉された塩化物イオンのデータ用い、確率論で劣化予測する手法の構築を目指している。研究概要を図-1に示す。本文では、1回目の暴露試験結果と提案する劣化予測手法の考え方について述べる。

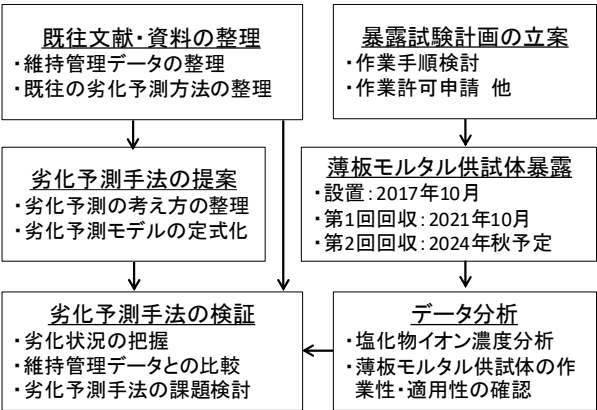
2. 薄板モルタル供試体の暴露試験

薄板モルタル供試体(40×40×5 mm)の外観と設置作業状況を写真-1に示す。薄板モルタル供試体は、構造物の各部材を傷つけることなく、手が届く箇所に簡単に設置(両面テープで貼付)と回収ができること、また、構造物のコンクリートと同じ材料・配合である必要はなく、飛来する塩化物イオンを比較的短期間に捕捉できることなどの特長がある。薄板モルタルは橋梁の飛来塩分環境の評価に用いられた実績²⁾がある。

薄板モルタル供試体を暴露した対象施設は横浜港Aふ頭のB栈橋である(図-2、図-3参照)。同施設は1975年に築造され、約30年経過した時点で劣化が顕著に確認されたため2008年に断面修復や表面被覆などの補修工事を実施している。港湾の栈橋の上部工(RC)は梁や床版等の部材で構成されるが、塩害による劣化は

表-1 港湾の施設の定期点検診断の実施時期の考え方

点検診断の種類		通常点検診断施設	重点点検診断施設
定期点検診断	一般定期点検診断	・5年以内ごとに少なくとも1回	・3年以内ごとに少なくとも1回
	詳細定期点検診断	・供用期間中の適切な時期に少なくとも1回 ・供用期間延長時	・10～15年以内ごとに少なくとも1回 ・主要な航路に面する特定技術基準対象施設等は、10年以内ごとに少なくとも1回



【目標】現地作業が容易でより詳細な劣化予測手法の構築

図-1 研究の概要



写真-1 モルタル板の外観と設置作業状況

キーワード 栈橋 暴露試験 塩化物イオン 劣化予測
連絡先 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-3-1 尚友会館3階
(一財) 港湾空港総合技術センター TEL03-3503-2803

経験的に梁部材に発生しやすいこと、また、船上での作業性（手の届きやすさ）を考慮して、梁部材の側面を対象とし、飛来塩分の空間分布や時間的変化を調べるため、図-2に示す位置に薄板モルタル供試体約 100 枚貼り付けて暴露した。比較のための維持管理データは、施設の管理者である横浜港埠頭（株）の協力を得て入手した。

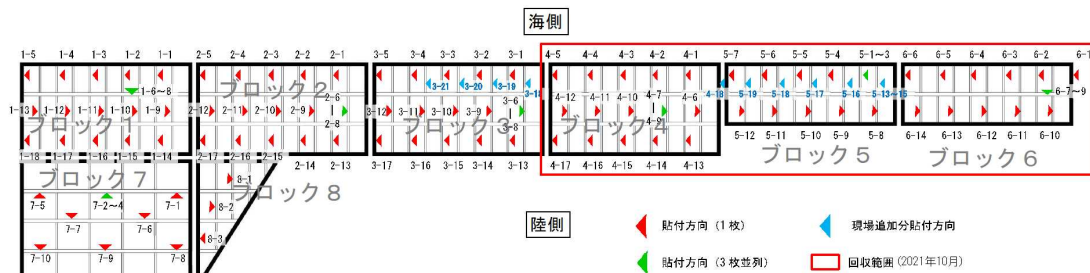


図-2 薄板モルタル供試体の設置図（平面位置図）と第1回収範囲（赤枠）

3. 塩化物イオン濃度結果（第1回収）

約4年間暴露後の2021年10月に図-2の赤枠に示すブロック4～6の薄板モルタル供試体51枚を回収し、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して塩化物イオン濃度を測定した。その結果をもとに吉田ら³⁾が提案する GPR（ガウス過程回帰）を用いてデータ補完した分布を図-4示す。比較のため、補修工事前の目視点検による劣化度分布（床版含む）を図-5に示す。両図から、ブロック6で塩化物イオン濃度が高い（図-4右側）ことと劣化状況（図-5右側）がほぼ整合しているようであるが、ブロック4では必ずしも整合していない結果となっている。今後予定する薄板モルタル供試体の分析や維持管理情報等を踏まえて総合的に評価したいと考えている。

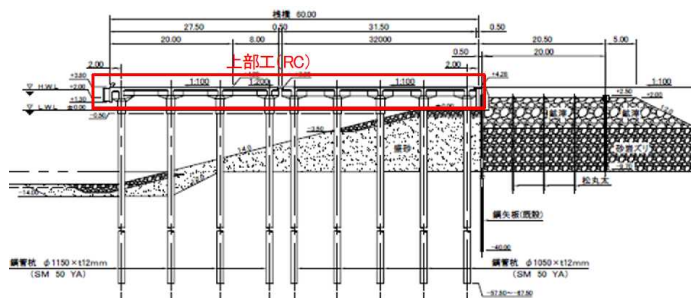


図-3 対象施設の標準断面図（ブロック1,7）

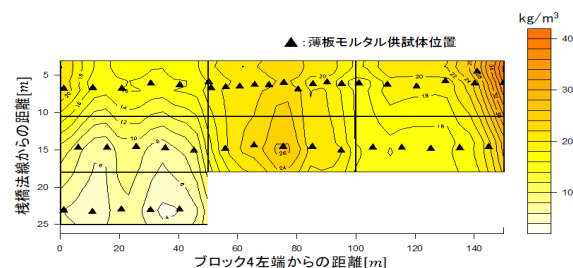


図-4 表面塩化物イオン濃度分布

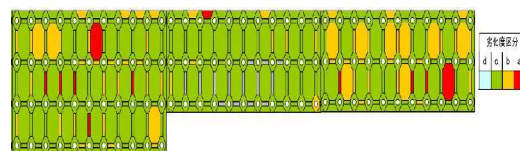


図-5 補修工事前の劣化度分布（2008年）

4. 劣化予測手法の考え方

劣化予測ではフィックの拡散方程式（第2法則）を用い、モンテカルロ法で破壊確率を求める手法を検討している（右枠参照）。本手法のメリットは、簡易な暴露試験の結果を用いることで現地の塩害環境を反映したより精度の良い予測ができることにある。

5. おわりに

2024年に残り半数の薄板モルタル供試体の回収と分析を行い、上記4.の劣化予測手法の検証と薄板モルタル供試体の暴露試験の適用性（適切な配置・数量、作業手順等）を評価してとりまとめる予定である。最後に、本研究の実施に際し、横浜港埠頭（株）には多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 佐伯竜彦ら：飛来塩分環境の定量評価に関する研究，土木学会論文集 E, Vol.66, No.1, pp.1-20, 2010.1.
- 2) 佐伯竜彦ら：飛来塩分環境下にあるコンクリートの表面塩化物イオン濃度評価式の検討，土木学会論文集 E, Vol.76, No.2, pp.98-108, 2020.
- 3) Ikumasa Yoshida and Yukihiisa Tomizawa and Yu Otake：Estimation of trend and random components of conditional random field using Gaussian process regression, Computers and Geotechnics, Vol.136, p.104179, 2021.8.

劣化予測の考え方

①フィックの拡散方程式

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{z}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right) + C(x, 0)$$

- erf: 誤差関数
- C_0 : 表面塩化物イオン濃度 [kg/m^3]
▶ GPRによる事後平均・分散の正規乱数
- D_c : 拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)
▶ 平均40・変動係数0.2の正規乱数
- t : 供用開始からの期間(年)
- z : コンクリート表面からの距離(深さ)
- $C(x, 0)$: 初期塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

②破壊(鉄筋のさび)に至るまでの期間

- ▶ 鉄筋位置で $C_{lim} = 1.2 (\text{kg}/\text{m}^3)$ を上回る年数

③破壊確率

$$Pf = \frac{n}{N} \quad \text{▶ モンテカルロ法}$$

- n : 50年以内に破壊すると判定された粒子数
- N : 全粒子数 (=10000)