

ランダムウォーク法を用いたコンクリート橋の付着塩分量評価

琉球大学 正会員 ○富山 潤, 琉球大学大学院 学生会員 松浦 葵
東洋大学 中林 靖

1. 目的

コンクリート橋梁および鋼橋などの社会基盤を構成する構造物の共通な劣化現象として、塩害が挙げられる。塩害劣化にはいくつかの要因があるが、大きな要因として海から飛来する海塩粒子（飛来塩分）の存在がある。飛来塩分による塩害劣化の程度や速度は、構造物の部材、部位ごとに異なることが知られている。

本研究では、コンクリート橋上部工を対象にガーゼ拭き取り法より付着塩分量の調査を行った。また、それを定量的に評価するための数値解析手法として粒子拡散モデル(ランダムウォーク法、以下 RW 法)を用いた手法を示し、調査結果と比較し妥当な結果を得た。

2. 解析方法

本解析手法は、2段階に分かれる。具体的には、有限要素法により構造物周辺の流れ場（風速場）を解く第1ステップと、第1ステップで得られた流れ場を用いて粒子拡散手法の一つである RW 法により飛来塩分粒子の移流・拡散を解く第2ステップからなる。

構造物周辺の流れ場は、ADVENTURE_Fluid¹⁾を用いて解いている。ADVENTURE_Fluid は、並列計算環境における大規模解析が可能な流体解析モジュールである。

以下に粒子拡散手法の概略を述べる。

発生した塩分粒子の輸送を次式で表す。

$$x_j^{i+1} = x_j^i + u_j^{i+1} \Delta t \quad (1)$$

ここで、 Δt は時間ステップである。また、 $i+1$ ステップ後の粒子速度を次式に表す。 j は座標を表す。

$$u_j^{i+1} = U_j^{i+1} + \alpha u_j^i + \lambda_j^{i+1} \quad (2)$$

ここで、 U_j^i は平均的な風速であり、ADVENTURE_Fluid から得られる流れ場を用いる。 λ_j^{i+1} は乱流統計量、 α はラグランジュの相関関数である。また、乱流統計量は次式となる。

$$\lambda_j^{i+1} = (1 - \alpha^2)^{1/2} \sigma_j \cdot \eta_j^{i+1} \quad (3)$$

粒子は平均値がゼロの正規分布に従うとしている。 σ_j は粒子拡散の標準偏差を表し、粒子の拡散性状を表現するものである。また、 σ は次式に示す Fick 形の拡散形式を持つものとしてモデル化を行っている。

$$\sigma = \sqrt{2Kt} \quad (4)$$

ここで、 K は乱流拡散係数であり、粒子速度に依存すると仮定し、次式から求めている。

$$K = \frac{\beta}{3} (u^2 + v^2 + w^2) \cdot t \quad (5)$$

ここで、 β は係数、 t は時間である。

図-1 に本手法のフローチャートを示す。

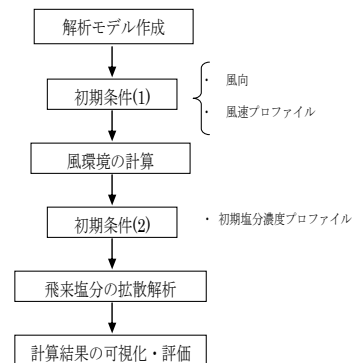


図-1 解析法のフローチャート

3. 調査概要

調査対象橋梁は、沖縄県本島北部の東シナ海側に位置する厳しい塩害環境に建設された PC 橋である。

図-2 に対象橋梁の概要を示す。

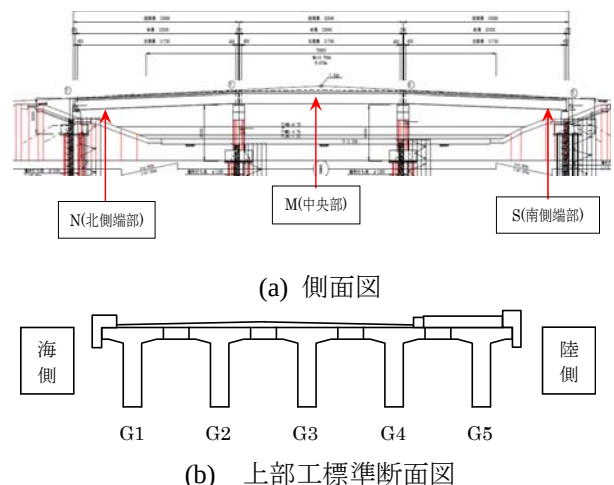


図-2 対象橋梁概略図

調査は図-2 に示した N,M,S の位置の5主桁すべてで行った。本論では両端部が強風と護岸の影響で直接波しぶきを受けることから、RW 法との比較を行うため、

キーワード 塩害、飛来塩分、作用強度、ランダムウォーク法、ADVENTURE_Fluid

連絡先 〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地 TEL 098-895-8649

飛来塩分の影響のみを受けると考えられる中央部のみの調査結果を示す。図-3 の調査結果を示す。この結果より、飛来塩分は、主桁下面に多く付着する傾向があり、また、海側から 2 番目の桁から陸側に向けて減少していく傾向がある。海側の桁の付着塩分量は少ない。

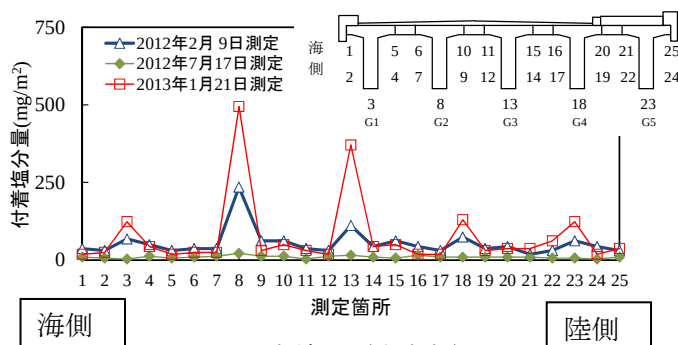


図-3 調査結果 (中央部)

4. 数値解析例

図-3 に示す橋梁を対象に本手法の妥当性を示す。

風速は一樣流を図の左側から右側へ向けて流した。

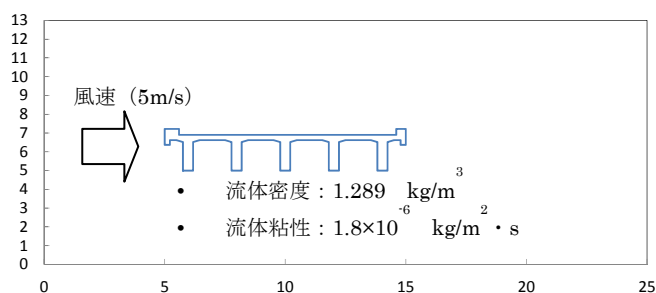


図-4 計算領域(単位: m)

図-5 に要素分割図を示す。100,9795 要素, 174,434 節点であり, 解析規模が大きいので, 東洋大学計算力学研究センターのクラスターを用い, 時間刻み 0.01 秒で 6 秒間計算を行った。図-6 に RW 法による飛来塩分シミュレーションに用いた風速ベクトル図を示す。この風速場を用いた理由は, 主桁間に風が巻き上げられ細かい渦が多数生じており, 主桁間に飛来塩分が輸送されやすいと考えたためである。

次に, 図-6 に示した風速場を用いて飛来塩分を RW 法により粒子の移流・拡散・付着を計算した。流れ場が平面的であるため, 粒子を平面的に発生させた。なお, 発生させた総粒子数は 20,000 粒子で, 計算ステップごとに総粒子数を分割して発生させている。

図-7 に 6 秒後の粒子分布を示す。また, 図-8 に構造物に付着した単位面積当たりの塩分粒子数を面ごとに示す。図より, 飛来塩分粒子が主桁間の渦により巻き上げられ, 主桁下面や内部の面にも付着し, その分布の傾向は調査結果と良く一致していることがわかる。

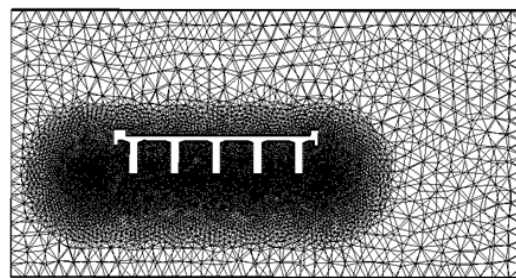


図-5 要素分割図

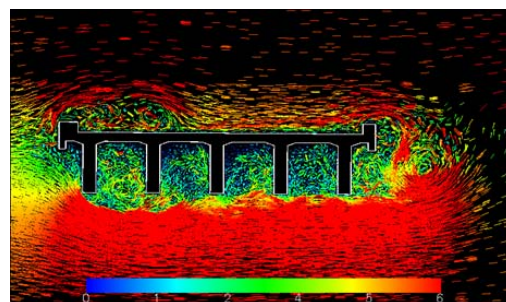


図-6 風速ベクトル図 (1 秒後)

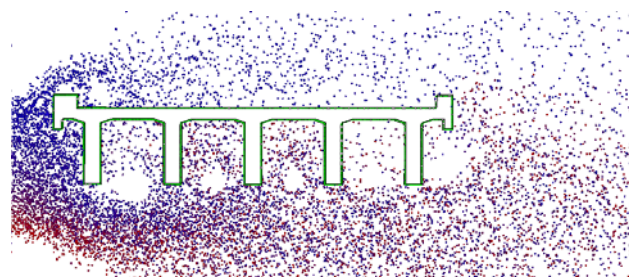


図-7 粒子分布図 (6 秒後, 緑色粒子は付着を意味する)

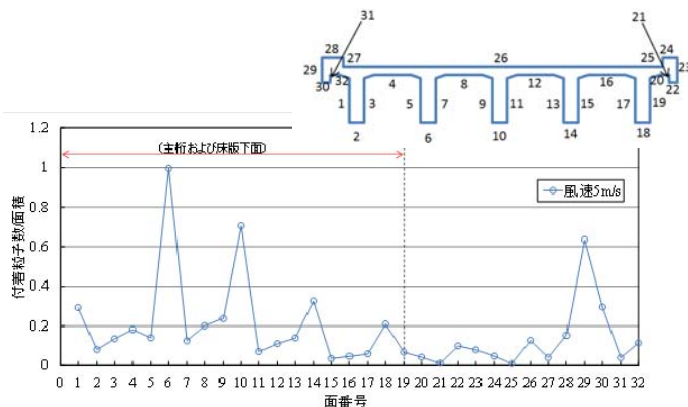


図-8 単位面積当たりの付着粒子数

5. まとめ

RW 法による付着塩分量 (単位面積当たりの粒子数) の解析結果は調査結果の傾向と良く一致した。

謝辞: JCI シミュレーションソフト作成委員会 WG1 の委員の方々に貴重なご意見を頂いた。また, 計算は東洋大学計算力学研究センターの計算機を利用した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) <http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/jp>