

Lagrange 粒子モデルを用いた PC 橋への海塩粒子付着のシミュレーション

オリエンタル建設(株) 正会員 ○小川 彰一

オリエンタル建設(株) 正会員 江口 信三

1. はじめに

飛来塩分によるコンクリート構造物の塩害では、海岸付近で破碎されて生成する海水滴や、海水気泡が破裂する際に大気中に放出される海塩粒子が風に乗ってコンクリート構造物まで運ばれ、海側に位置する桁だけでなく陸側に位置する桁にも損傷が認められ、損傷程度は構造物の部位によって異なることがある。また、構造物の立地条件だけでなく同じような立地条件に建設される構造物であっても、主桁の形式によっては損傷の度合いが異なる場合がある。従って、構造物の主桁形式や部位によって異なる飛来塩分量を把握することは、構造物の設計において耐久性を確保するために必要な塩分浸透に対する抵抗性の予測や、構造物の補修における調査部位の絞込みに有用であると考えられる。海岸から飛来する塩分量については数値的解析が試みられているが、構造物の形式や部位によって異なる飛来塩分量については解析された例は少ない。

本報告では、主桁形式の異なったプレストレストコンクリート(PC)橋を想定して、海から飛来する塩分を海塩粒子としてFEMによる数値解析でのシミュレーションを試みた。

表-1 想定した PC 橋

主桁形式	支間長	桁高
T 桁橋	30m	1.5m
箱桁橋	60m	3.4m
ポストン中空床版橋	25m	1.25m
プレテン中空床版橋	14m	0.55m

2. 解析概要

モデル構造物として、表-1 で示した PC 橋を想定した。いずれの PC 橋も、有効幅員は 11m、海面から主桁下縁までの高さ 6m、海岸からの距離 8m とした。

解析では、まず海から吹く空気の流れ場を解き、飛来塩分としては流れ場によって輸送される海塩粒子の桁への付着を粒子モデルによって評価した。流れ場の計算では、空気の Reynolds 数が高いことから乱流モデルである標準的な k-εモデルを適用し、式(1),(2)に示した運動量保存式を基本とした。

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} \right) = \sigma_{ij,j} + \rho f_i \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = -p \delta_{ij} + \mu (u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2)$$

ここに、 ρ は空気密度=1.205kg/m³、 μ は空気粘度=18.4x10⁻⁶Pa・s、 u_i $u_{i,j}$ は風速、 σ_{ij} は応力、 f_i は体積力、 p は圧力、 δ_{ij} は Kronecker のデルタ、 i, j はそれぞれ 1, 2 である。

風速は、海岸より海側 5m に設定した鉛直境界上で水平方向風速を 5m/s、また波しぶきが上がることを想定して海面上の垂直方向の風速を 1m/s とした。解析は二次元で行い、メッシュは何れの PC 橋でも格子間隔 0.1m を基本とした Pave 法による分割を行って線形要素で総計約 5 万節点とした。

粒子モデルは、基礎方程式として式(3)に示した Lagrange 粒子軌道方程式¹⁾を用い、海から飛来する海塩粒子がキャリア流体である空気によって運ばれ、蒸発しない液滴として粒子の慣性力、重力沈降を考慮し、粒子間干渉はないものとして、海塩粒子の桁および床版下面への付着をシミュレーションした。

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{1}{\tau} (u_f - u_p) + \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} \right) \cdot g + f \quad (3)$$

ここに、 u_f は空気の流速、 u_p は粒子の流速、 τ は粒子緩和時間、 ρ_p は粒子密度、 ρ_f は空気密度、 g は重力加速度、 f は粒子に作用する合力を表す。

解析で用いた粒子径は、海塩粒子の直径は 3~18μm 程度²⁾であることから、おおよその平均である 10μm、

キーワード コンクリート、塩害、海塩粒子、シミュレーション、FEM

連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5 オリエンタル建設(株) 技術研究所 TEL 0285-83-7921

粒子密度はおおよそその海水密度である 1.03g/cm^3 、粒子は海岸より海側に 4m の位置で、高さ 0～7m の範囲に 10,000 の粒子を生成させた。

3. 結果および考察

全体的な空気流れは、何れの PC 橋においても海からの風に対して海側にある桁に風があたり、桁を大きく避けるように空気が流れ、さらに PC 橋の海側の桁面に対して橋の下側を迂回した空気が陸側から海側へと逆方向に向かって流れた。また、T 桁橋では、桁の内側で反時計回りの渦ができていた。図-1 にキャリアとしての空気の流れで運ばれる粒子の軌跡について T 桁橋での結果を示した。海塩粒子は桁の内側にまで運ばれて桁内に付着し、海塩粒子が PC 橋に付着する様子をよく表現しているものと考えられる。各 PC 橋での計算した粒子軌跡の最終位置を付着位置として×印で表し図-1 に示した。付着した粒子は、全体的には海側ほど多い傾向にあり、また PC 橋の下面と比較して上面(路面)への付着は少ない。T 桁に対しては、海側に位置する桁の海側面、陸側に位置する桁の陸側面および桁下面(下フランジ下面)への付着量が多く認められた。

PC 橋の各部位について、単位長さあたりの粒子の付着数を表-2 に示した。張出し床版の下面では海側での

付着量が多いが、桁または床版の側面では海側と陸側とで付着数の差は小さくなった。また、T 桁橋では桁下面への付着が桁の側面と比較して大きい。このように部位によって付着数に違いがあるが、主桁形式の違いによる付着数の差は小さく、特に桁下面での付着数には殆ど差は認められない。

これらの結果から、海塩粒子は風によって陸側まで運ばれ、陸側面でもかなりの量の海塩粒子が付着し、また構造物の部位によって付着数に違いがあり、塩害による損傷の程度が部位によって異なる原因の一つであることが明らかとなった。一方で、主桁形式の違いによる付着数の差は小さくなく、主桁形式の違いによって生じる損傷程度の違いは、例えば、地表からの架設位置の高さ、W/C などのコンクリート特性、ひび割れの入りやすい隅角部の存在割合などによるものと考えられる。

参考文献

- 1) 岸谷孝一，西澤紀昭ほか編：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 塩害(1)，技報堂出版，1986
- 2) A.Berlemont, P.Desjonqueres and G.Gouesbet: Particle Lagrangian Simulation in Turbulent Flows, Int. J. Multiphase Flow, No.16, pp.19-34, 1990

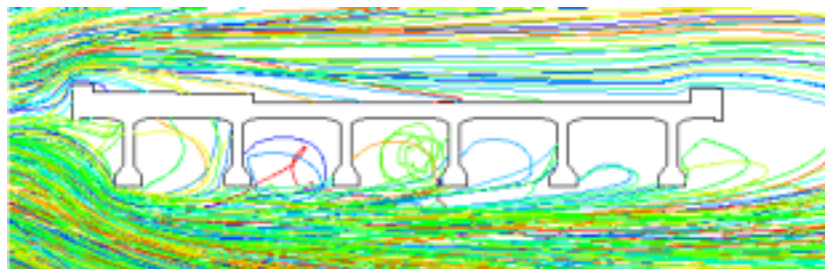


図-1 T 桁橋への海塩粒子軌跡

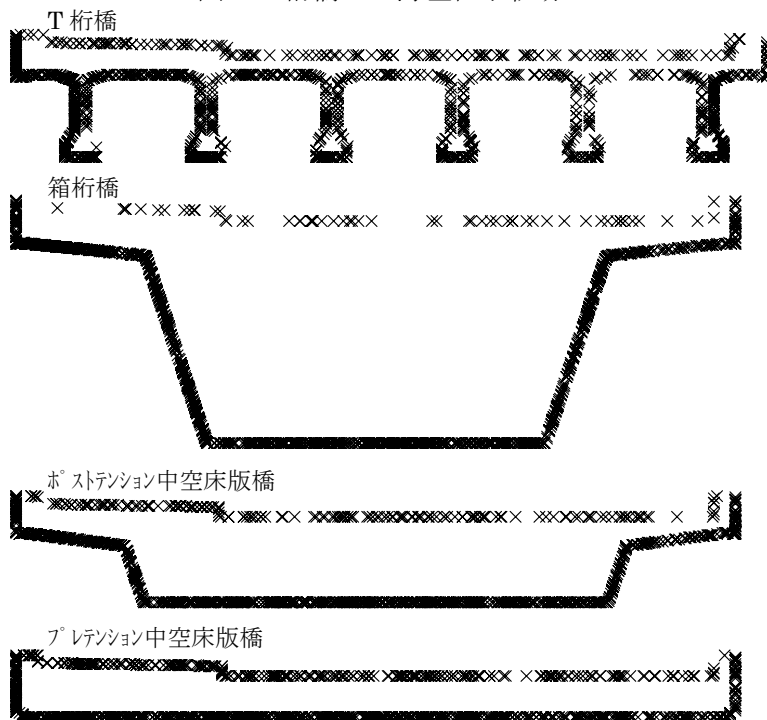


図-2 各 PC 橋での粒子付着位置

表-2 PC 橋への粒子付着数 (個/m)

形式	張出し床版の下面		桁または床版の側面		桁下面
	海側	陸側	海側	陸側	
T 型桁橋	—	—	42.5*	35.2*	59.0**
箱桁橋	89.6	40.4	69.0	58.8	64.4
ポストテン中空床版橋	86.4	54.0	60.7	50.0	59.4
プレテン中空床版橋	—	—	(95.6***)	(41.1***)	57.6

*: 全桁の平均値, **: 下フランジ下面の全桁平均値, ***: 地覆部