

構造物に付着する飛来塩分に関する数値実験

長岡技術科学大学 建設工学専攻

学会員 ○ 山田 文則

長岡技術科学大学 環境・建設系 助教授

正会員 細山田 得三

1. はじめに

飛来塩分による塩害は、海水面から発生した塩分が風によって輸送され構造物の表面に付着することによって生じる。飛来塩分の発生と輸送過程は土木工学および海岸工学などの各分野で研究が盛んに行われ、その過程については徐々に明らかにされつつある。一方、塩分粒子の構造物の付着過程は、いままで研究があまり行われておらず資料も不足している。

そこで、本研究では、海岸付近で深刻な塩害を引き起こしている飛来塩分の構造物の付着過程について3次元数値解析を行い、その結果について検討を行った。

2. 計算方法

(1) 風の場の計算

海上の風を非圧縮性流体と考え、式(1)、(2)に示すような連続式とNS方程式による数値計算を行った。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_m \frac{\partial u_i}{\partial x_m} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} - g_{x_i} + \frac{\partial}{\partial x_n} \left(\nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_n} \right) \quad (1), (2)$$

ここで、 u_i , x , t , p , g_{x_i} , ν_t はそれぞれ、 i 方向の流速、3次元座標、時間、圧力、 i 方向重力加速度、乱流粘性係数である。計算はオフライン処理として1回だけ行い、定常風の場合を作成し塩分の輸送計算に用いた。

(2) 飛来塩分の輸送の計算

飛来塩分輸送の計算には、式(3)のような移流拡散方程式により計算を行った。

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + (w - w_s) \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i} \right) - Q \quad (3)$$

ここで、 $\bar{c}$, w_s , Q および k はそれぞれ飛来塩分濃度、塩分粒子の沈降速度、塩分吸収量、風の計算で求めた $k-\epsilon$ 乱流モデルによって計算した乱流拡散係数である。

飛来塩分粒子は、水分の蒸発および粒子の分裂などにより粒子の大きさが徐々に減少する。それに伴い、飛来塩分の沈降速度も徐々に減少する。飛来塩分粒子

の沈降速度 w_s は、仲座(1993)らを参考に式(4)のように計算した。

$$w_s(x) = w_0 \cdot \exp(-Bx) \quad (4)$$

ここで、 w_s , w_0 , B , x は、飛来塩分の沈降速度、汀線上での飛来塩分の沈降速度、沈降速度の減少率を示した係数、汀線からの距離である。

3. 境界および計算条件

計算領域は図-1のような縦50m×横50m×高さ20mの3次元空間とした。構造物は汀線から15mの位置に縦5m×横21m×高さ10mの長方形型の構造物を設置した。計算に用いた格子は等間隔であり、風は図の右端より鉛直方向に様に $U=5\text{m/s}$ を与えた。底面境界条件はnon-slip条件とし、大気空間左端の境界は透過性としている。

飛来塩分の発生の境界条件は、式(5)のような指数分布を図の右端(汀線上)より与えている。

$$c(z) = c_0 \exp(-Az) \quad (5)$$

ここで、 c , c_0 , A および z は、各鉛直高さの飛来塩分量、海面上での飛来塩分濃度($c_0=1.0$)、飛来塩分の鉛直方向の減衰率を表す係数および鉛直高さである。係数 A は仲座ら(1993)を参考に -0.293 とした。発生する飛来塩分の沈降速度 w_0 は 0.0001m/s と仮定し計算を行った。

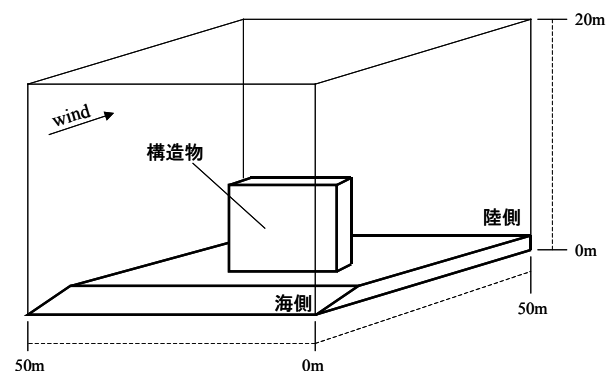


図-1 計算地形

キーワード 飛来塩分 塩害 数値計算 構造物 塩分付着

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 建設系水工学研究室 TEL 0258-47-1611(6305)

4. 計算結果および考察

図-2 は構造物周辺の飛来塩分濃度を表したものである。構造物の前面と側面付近では飛来塩分量が多く見られる。一方、背後へ輸送される量は少ない傾向にある。ここで、問題となるのがどの程度の飛来塩分量が構造物の壁面に付着するかである。飛来塩分の構造物への付着量は、現地観測によれば大気中に飛来している塩分量の数百分の一から数千分の一程度と微量であった。また、飛来塩分のように沈降速度が小さい粒子は、移流によって運ばれ構造物に付着することは少ないと考えられる。そこで、飛来塩分の構造物への付着は乱流フラックスによって生じると仮定した。乱流フラックスにより構造物に隣接する格子に入り込んだ塩分量が付着量になるとすれば、構造物へ付着する飛来塩分量は式(6)によって示される。

$$ck = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) \quad (6)$$

ここで、添字 x , y および z は、各軸方向の値を示している。 ck , $\bar{c}$ および k は、乱流フラックスによる飛来塩分量、各格子の飛来塩分量および乱流拡散係数である。 k は $k-\varepsilon$ 乱流モデルによって求められた値を用いている。図-3 は総時間ステップの間に構造物に付着した飛来塩分量の計算結果である。図に示すように、飛来塩分は、構造物前面の中央から少し下側の部分で大量の付着が多く見られる。一方、構造物の背後では飛来塩分の付着量は少なくなっている。これは、図-2 に示すように構造物の背後に入り込む飛来塩分量が少ないためであると考えられる。

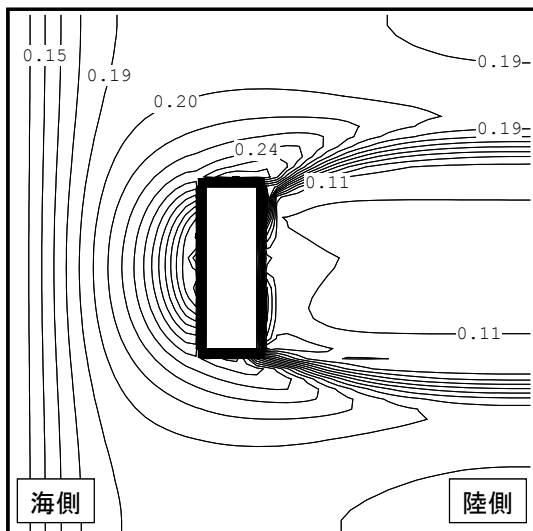


図-2 構造物周辺の塩分濃度分布(海面から 3.5m)

5. 結論

移流拡散方程式を用いた飛来塩分の輸送計算より、構造物に付着する飛来塩分量の算出を目的とした数値解析を行った。その結果、構造物に付着する飛来塩分量は構造物の前面で多く、構造物の中央より少し下側で最も多くなること。構造物背後では飛来塩分の付着量は少なくなる傾向にあることが明らかになった。今後、この結果について実証実験を行い、モデルの妥当性について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 仲座栄三・津嘉山正光・山路功祐・日野幹雄(1993): 飛沫(海塩粒子) 拡散の数値流体力学的解析 海岸工学論文集 第 40 巻 pp. 1036-1040
- 2) 細山田得三・山田文則・田安正成(2002): 波動場数値計算の砕波判定によって発生する飛来塩分とその輸送に関する数値実験, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.1256-1260.

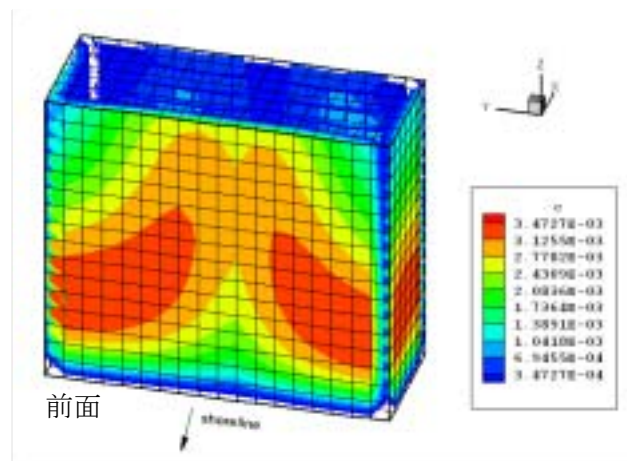


図-3(a) 構造物前面の飛来塩分付着量

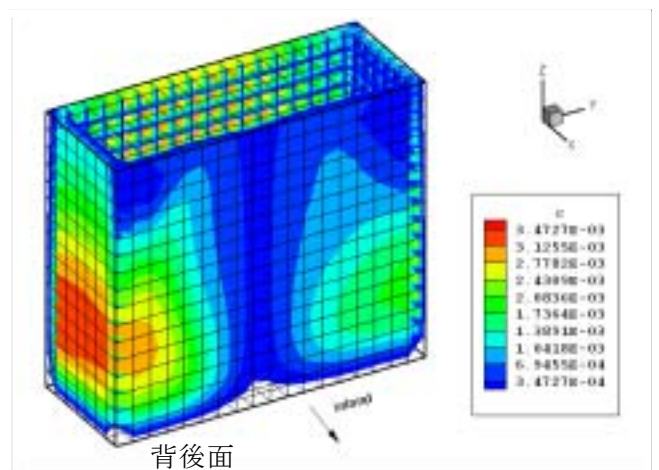


図-3(b) 構造物背後面の飛来塩分付着量