

人工島護岸で生じる飛来塩分の数値シミュレーション

九州大学 学生会員 ○見國洋平

正会員 山城 賢 吉田明徳

1. はじめに

防波堤や護岸は、暴浪から背後の海域あるいは陸域を護るという役割を果たす一方で、大量の飛来塩分の発生源となる場合がある(図-1 参照)。飛来塩分は陸域に広く拡散し、鉄筋コンクリート構造物の劣化や農作物の枯死、さらには沿岸部に暮らす人々の生活環境の悪化など様々な塩害を引き起こす。飛来塩分を検討するには、現地観測が実施されることが多いが、海岸構造物の計画・設計において飛来塩分を考慮するためには、数値シミュレーションモデルの整備が望まれる。そこで本研究では、飛来塩分の拡散を対象としたシミュレーションモデルを構築し、計算結果の妥当性について、過去に実施した人工島での観測結果との比較により検証を行った。



図-1 暴浪時の海岸構造物での打上げの様子

2. 数値計算モデル

本計算モデルは、以下の2つの数値モデルで構成されている。

- ・風場の計算
- ・飛来塩分の移流拡散の計算

まず風場を計算し、その風を移流拡散モデルの入力値とすることで、飛来塩分の輸送過程を計算する。

2.1 風場の計算

風はLES (Large Eddy Simulation) により計算する。LESの方程式系は以下の連続の式(1)と運動方程式(2)によって与えられる。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\tau_{ij} + 2\nu \bar{D}_{ij}) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $\rho, \bar{u}_i, \bar{p}, \bar{D}_{ij}, \nu$ は、空気の密度、フィルタリングによる格子平均を施した速度と圧力およびひずみ速度テンソル、粘性係数で、 τ_{ij} はフィルターによって粗視化された流れにおける残余の応力であり、Smagorinskyモデルによって次のようにモデル化している。

$$\tau_{ij} = -2(C_s \Delta)^2 |\bar{D}_{ij}| \bar{D}_{ij} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 C_s は Smagorinsky 定数(=0.1 を採用)、 Δ はフィルター幅(格子幅程度)である。

2.2 飛来塩分の移流拡散の計算

基礎式には、海塩粒子の沈降の効果を含む3次元の移流拡散方程式(5)を用いた。

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i} = W_0 \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_3} + D_m \left(\frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x_i^2} \right) + K_i \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x_i^2} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで $x_i, \bar{c}, W_0, D_m, K_m, t$ は、3次元座標、フィルタリングによる格子平均を施した濃度、塩分粒子の沈降速度、分子拡散係数、乱流拡散係数、時間である。

3. 現地観測

観測は、下関市に建設中の人工島で2008年12月から2009年2月にかけて3回実施され、風向風速の計測、飛来塩分の捕捉、ビデオ撮影等が行われた。観測位置を図-2に示す。風向風速は、島内に設置したプロペラ式風向風速計によって計測した。飛来塩分は、櫛田ら(1999)を参考に金網籠にガーゼを入れたもの(塩分捕捉器)を40地点の地上1.5mの高さに設置し捕捉した。観測終了後に回収したガーゼは密閉容器に保存し、RO膜水50ml中でガーゼより十分に塩分を溶出させ、電導度計(WTW社製Cond340i)によりNaCl換算で塩分濃度を測定した。また、観測時のビデオ画像から、護岸天端からの飛沫打上げ高および頻度等を計測した。観測内容の詳細については山城ら(2009)を参照されたい。

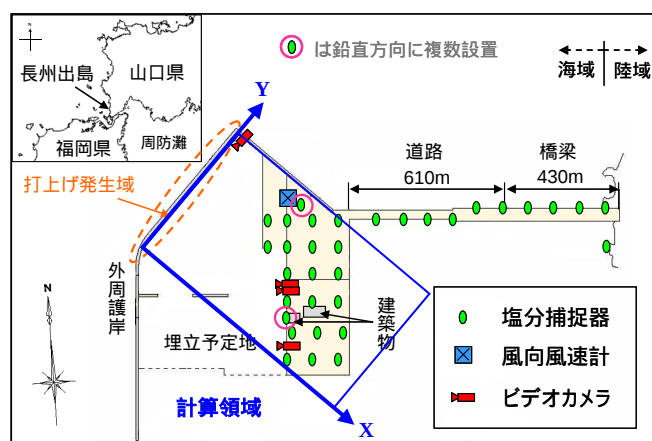


図-2 観測位置と計算領域

4. 計算結果と観測結果の比較

計算領域は図-2 に示すとおりで、格子サイズは $\Delta X=10.0\text{m}$ 、 $\Delta Y=10.0\text{m}$ 、 $\Delta Z=0.5\text{m}$ とした。飛来塩分の境界条件については、観測において外周護岸を複数の小領域に分割し、各領域毎に打上げの発生頻度が計測されているので、護岸に沿って打上げの発生頻度に応じた塩分濃度を与えた。塩分濃度を与える高さについては、観測日の平均打上げ高を護岸に沿って一様に設定した。また、塩分濃度の鉛直分布は一樣とし、飛来塩分を構成する海塩粒子の粒径については直径 0.3mm とした。ただし、飛来塩分の発生量そのものは不明であるため、ここでは護岸で発生する飛来塩分の総量を 1 とした場合の人工島内に飛来する塩分量の比率を計算することとした。また、この計算では風場の計算は行っておらず、風向風速計の設置位置で観測時の平均風速（風速 8.5m/s 、風向 314° ）となるよう風速の鉛直分布を対数則で与えた定常風とした。

2008 年 12 月 26 日の条件における計算結果と観測値の塩分濃度比の平面分布を図-3 に示す。計算値と観測値はともに、図に示す代表地点の塩分濃度で除した比として表している。両図を比較すると、境界付近では計算結果が過大に算定されているものの、人工島内の中央に近い部分では比較的似た分布形状になっている。図-4 に、図-3 中のライン A およびライン B における塩分濃度比分布を示す。横軸は護岸からの距離である。この図からも、人工島中央付近のライン A において計算結果と観測結果がよく一致しているといえる。

5. おわりに

今回の計算では、人工島内での塩分分布を基準点の濃度に対する比の形で表しており、具体的な塩分量を計算できていない。これは、防波堤や護岸等での飛沫の

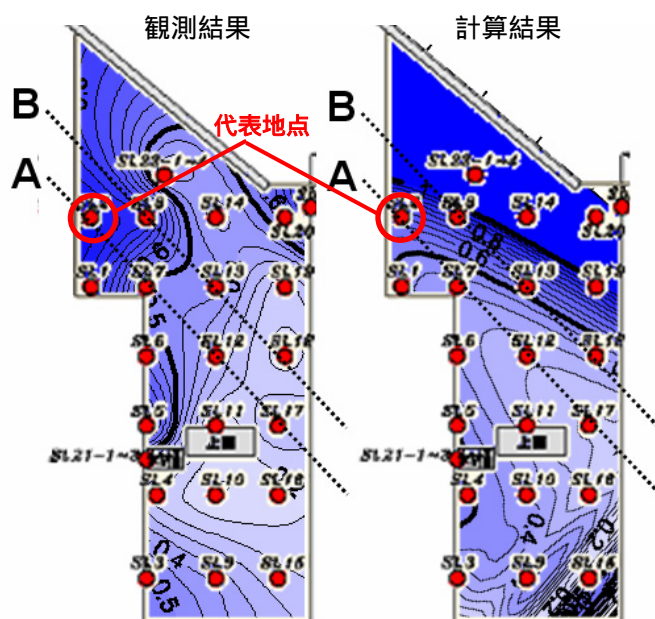


図-3 人工島内の塩分濃度比の平面分布

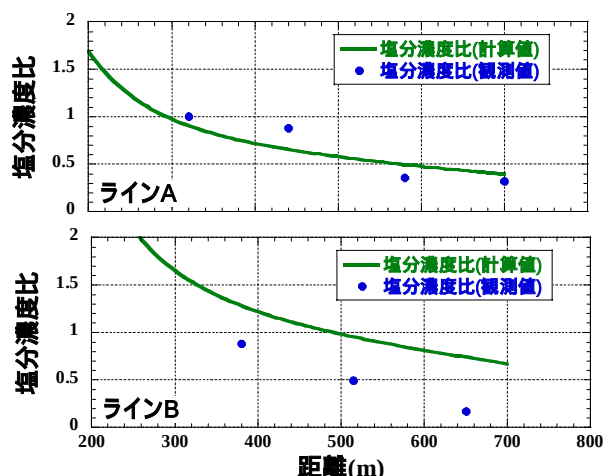


図-4 塩分濃度比分布図

打上げに伴って生じる飛来塩分（海塩粒子）の量や大きさについては、現時点で不明な点が多いため、今後の研究課題といえる。また、今回の計算では風を定常風として与えているが、現在、LES による風場の計算を実施中であり、風場の乱れを考慮した場合の計算結果の改善効果については講演時に発表する予定である。

参考文献：

- 櫛田 操・松永信博・香月 理 (1999): 冬季響灘沿岸における飛沫塩分量の現地観測, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp.1246-1250.
- 山城 賢・吉田明德・村上和康・見國洋平・日高倫興・西井康浩 (2009): 沖合人工島「長州出島」における越波飛沫の現地観測, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp.557-562.