

II-198

海峡内における汚濁物質の拡散シミュレーション

関大林組技術研究所 正員 片岡 浩 人
数値解析研究室 正員 表 佑 太郎

① はじめに 海峡部での汚濁物質の拡散は、潮流の対流輸送の影響が主である。しかしこの潮流は周辺海域の地形に大きく影響を受け、経験式による汚濁拡散の予測は、よほど単純な問題でない限り困難である。このような問題に対しては、コンピュータによる数値実験が一つの有効な手段になると考える。そこで図-1に示す瀬戸内海中の1海峡を対象として、同海峡中に打設される水中コンクリートからの汚濁物質拡散予測例について報告する。

② 基礎式 計算に用いた基礎式を示す。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_i} + A_j \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_j \frac{\partial C}{\partial x_j} = D_j \frac{\partial^2 C}{\partial x_j^2} + S_D \quad (3)$$

A_i : x_i 方向運動量拡散係数 [m^2/s], t : 時間 [s]

P : 圧力 [N/m^2], S_D : 物質発生量 [$mg/s \cdot \ell$]

C : 物質濃度 [mg/ℓ], u_i : x_i 速度 [m/s]

D_i : x_i 方向物質拡散係数 [m^2/s]

ただし次の条件を仮定した。③潮位の変動は扱わず潮流を12時間を1周期とした動的境界条件として与える。④海水は一様な物性値を持った流体とする。⑤運動量及び物質拡散係数は水平方向と垂直方向で値が異なる。⑥コリオリ力は無視。⑦汚濁物質はパッシブスカラーとし、沈降や凝集は無視。発生量は発生直後を除いて一定とした。

基礎式を、コントロールボリューム法を用いて離散化し、S. V. Patankarら (1972)¹⁾のSIMPLEアルゴリズムに基づいて解く。

③ 計算領域とメッシュ分割 図-2にメッシュ図を示す。領域は東西南北方向共に2,150m。メッシュ分割数は $60 \times 60 \times 20$ で、水平方向には25m ~ 400mの不等分割格子、水深方向には5m間隔の等分割。水深分布を図-3に示す。

④ 計算条件 パラメータを表-1に、汚染物質の計算条件を表-2に示す。拡散係数に関してはいくつかの値を用いて1周期分の計算を行ない、潮流の測定結果に最も近いと思われる流れ場をもたらす値を用いた。速度境界条件は、南側境界面で潮流変

表-1 計算に用いた物性値

密度 ρ [kg/m^3]	運動量拡散係数 A_x, A_y [m^2/s]	A_z	物質拡散係数 D_x, D_y [m^2/s]	D_z
998.2	0.001	0.00001	1.0	0.001

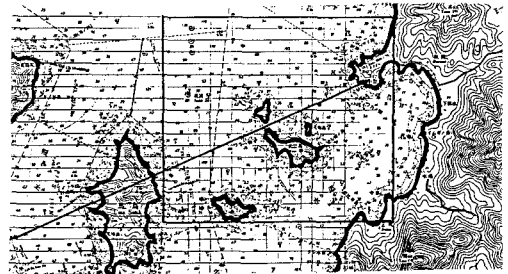


図-1 計算対象海域

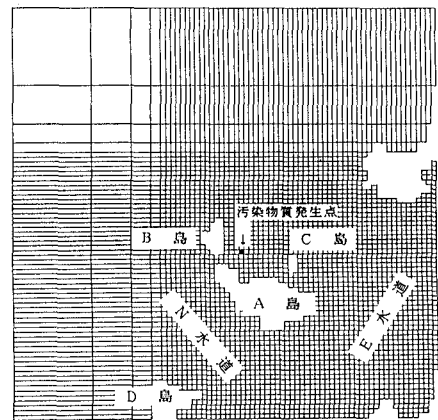


図-2 メッシュ図

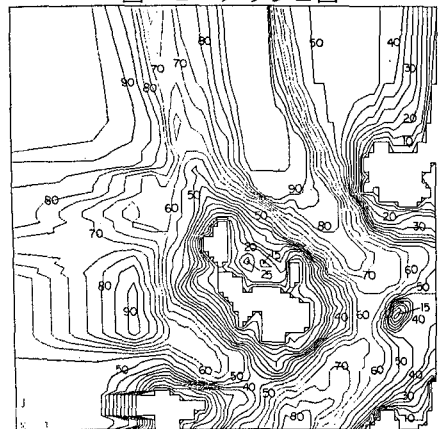


図-3 水深分布図

表-2 汚濁物質計算条件

初期値	5mg/ℓ
境界からの流入値	5mg/ℓ
初期発生量 (12秒間)	25,000,000mg/s
定常発生量	428,333mg/s

動を海図ならびに現地調査結果を元に12時間を1周期とした正弦波、残りは自由流出入とした。また海底面はno-slip条件を与えた。

計算はまず汚染物質の発生なしで1周期分の計算を行ない（ $\Delta t = 12$ 秒で3,600ステップ）、この計算結果を初期値として定常発生量の条件で計算を行なう。1周期分の計算時間は当社のスーパーコンピュータSX-1EA（0.33GFLOPS）で4時間を要した。

5 計算結果 計算データのうち表層の速度ベクトルと水深方向最大汚濁濃度のデータを5ステップおきに可視化処理を行ない、約70秒のVTRアニメーションに仕上げ、結果の確認を行なった。ここでは3つの時間断面の結果を示す。

図-4は汚濁発生約3時間後で、北向き潮流の場合の計算結果である。この場合、発生源がA島の下流側に位置するため、島の後流域に汚染物質が閉じこめられる。従って汚染域がA島の北側に限定され海域の濃度は減衰しにくい。また高濃度の部分は発生源からB島にそって北向きに海底付近に形成される傾向にある。

図-5は約7時間後で、転流後の時の計算結果である。この場合潮流の低下にともなって一時的に汚染領域が拡大する。

図-6は約9時間後で、南向き潮流の場合の計算結果である。この場合、発生源付近に向かって新鮮潮流が直接流入してくるため、A島の北側の濃度は低下する。島に衝突した潮流の一部はB島に沿って北向きに流れN水道に至る。汚染物質も大半がこの流れに乗り、A島の北側の海域からN水道へと輸送される。N水道では北からの潮流によって希釈され上流との濃度の差はほとんどない。

6 まとめ 拡散係数等を仮定した今回の計算結果は、実海域の汚濁拡散現象を必ずしも十分に予測しているものではない。しかしこのような計算例でも潮流の向きの違いによる汚染物質の拡散状況の違いなど、定性的な事柄に関して興味深い結果を示してくれることがわかった。特に結果をアニメ化することによって、汚濁物質の潮流変動に伴う非定常な拡散の様子が可視化でき現象の理解に役立つ。

今後の課題として、拡散係数の与え方の問題がある。その対応として乱流モデルの使用²⁾も考えられよう。しかし、実海域を対象とした計算では地形のモデル化や境界条件の与え方の影響も大きく、格子点数を出来るだけ多く取って、より詳細に計算したいという要求も一方にはある。その時には輸送方程式を解くのではなく、代数方程式を用いる等計算負荷のかからない手法に頼らざるを得ない。

参考文献

- 1) Patankar, S. V. et al. : International Journal of Heat and Mass Transfer, 15, 1787, 1972
- 2) ASCE Task Committee : Journal of Hydraulic Engineering, 114(9), 970-1073, 1988

※末筆ながら資料提供に協力して下さった本州四国連絡橋公団に深謝します。

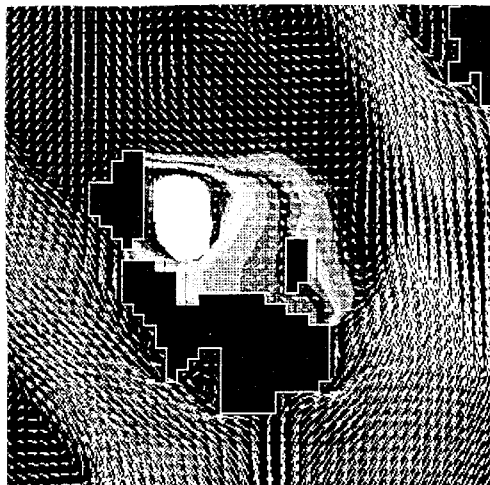


図-4 汚濁発生約3時間後

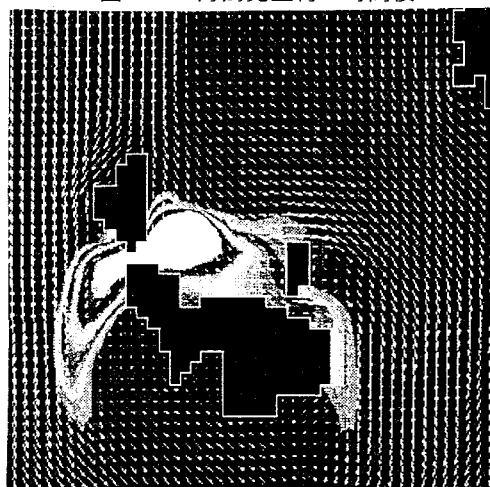


図-5 汚濁発生約7時間後

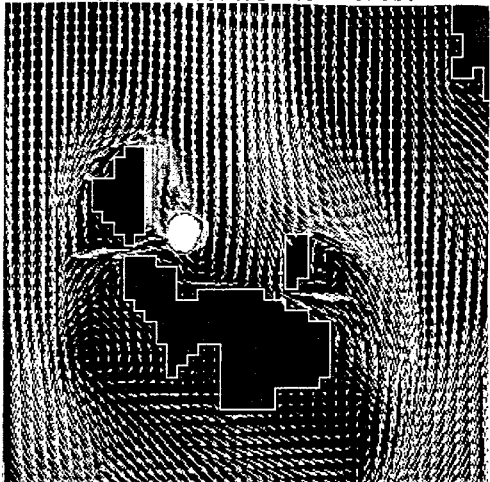


図-6 汚濁発生約9時間後