

エコー建設コンサルタント	正会員	○穴瀬康雄
徳島大学大学院	正会員	上月康則
徳島大学大学院	正会員	倉田健悟
徳島大学大学院	フェロー	村上仁士

1. はじめに

閉鎖性水域の環境改善工法として、倉田ら¹⁾は物質循環機能を活用した生態系修復プラントを設計し、徳島県の港湾に設置してモニタリングしている。約 2 年の追跡調査を経て、本プラントの有用性が実証されつつある。しかしながら、夏期にはプラント底部に貧酸素状態が発生したこともあり、改善すべき点も残されている。このような問題を室内実験で解決するのは規模的・時間的に困難であるから、数値シミュレーションの活用が望まれる。本報では、生態系モデル開発への第一歩として試みた流れ解析を紹介する。

2. 計算モデル

プラントの構造は図-1 のようであり、礫間接触による水質浄化を狙った砂礫層やポーラスコンクリート（以下 PC と略記）が設置されている。上げ潮時に、水は図右側の PC 層を経てプラントに入る。水位が D.L+1.0 を越えるか否かで流入経路が変わる。下げ潮時には、これが逆転し排水される。

生態系モデルへの拡張を考えたとき、モデル構造としては極力シンプルなものが望ましいが、礫層の存在や PC 層の数量などを表現しようとすると、BOX モデルの分解能では現象とマッチしないと思われた。ここでは、潜堤を含む波浪場へ適用されているポアラスボディモデル²⁾の支配方程式を多少簡略化し鉛直二次元流として取扱った。基礎式を以下に示す。

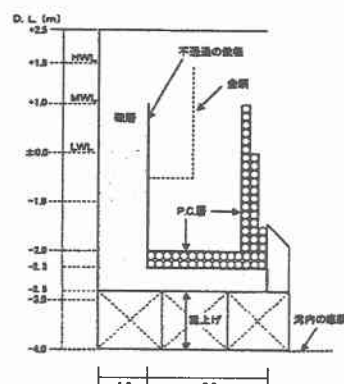


図-1 プラント概略図

連続式 $\frac{\partial \varepsilon u}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon w}{\partial z} = 0$

$$\begin{aligned} \text{運動方程式} \quad & \frac{\partial \varepsilon u}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon u u}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon u w}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial (p/\rho)}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \varepsilon u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon u}{\partial w^2} \right) \\ & \frac{\partial \varepsilon w}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon u w}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon w w}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial (p/\rho)}{\partial z} - \varepsilon g + \nu \left(\frac{\partial^2 \varepsilon w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon w}{\partial w^2} \right) \end{aligned}$$

ここに、 $u \cdot w$:流速、 ε :空隙率、 p :圧力、 ρ :流体密度、 g :重力加速度、 ν :動粘性係数である。

上式を有限体積法で離散化して SOLA 法で解く。SOLA 法とは非圧縮性流体の解法アルゴリズムである。運動方程式で予測した仮の流速が、連続式を満たすように圧力修正して収束させる MAC 法の一種である。取扱いが簡単なことから水工学分野への適用例も増えている。時間更新にはオイラー法、対流項にはドナーセル差分（パラメーター付きの風上差分）を用いた。

図-2 に計算メッシュを示す。現象解像度を上げるためセルを小さく設定した ($dx=dz=25\text{cm}$)。水面はセルを跨いで上下動するため、自由水面モデルが必要となる。時々刻々変化する水面は、簡便な高さ関数法を用いて追跡する。水面の運動学的条件は、ポーラス部に入ると波形が減衰することを考慮してつぎのように書ける。

$$\partial h / \partial t = \varepsilon w - (\varepsilon u) \partial h / \partial x$$

動力学的条件は次式のようなである（粘性応力と表面張力は無視）。

$$p|_{\text{surface}} = 0$$

$$\nu(\partial \varepsilon u / \partial z + \partial \varepsilon w / \partial x) = 0$$

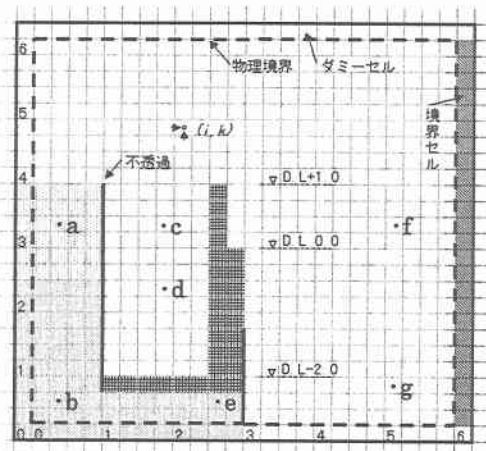


図-2 計算メッシュ

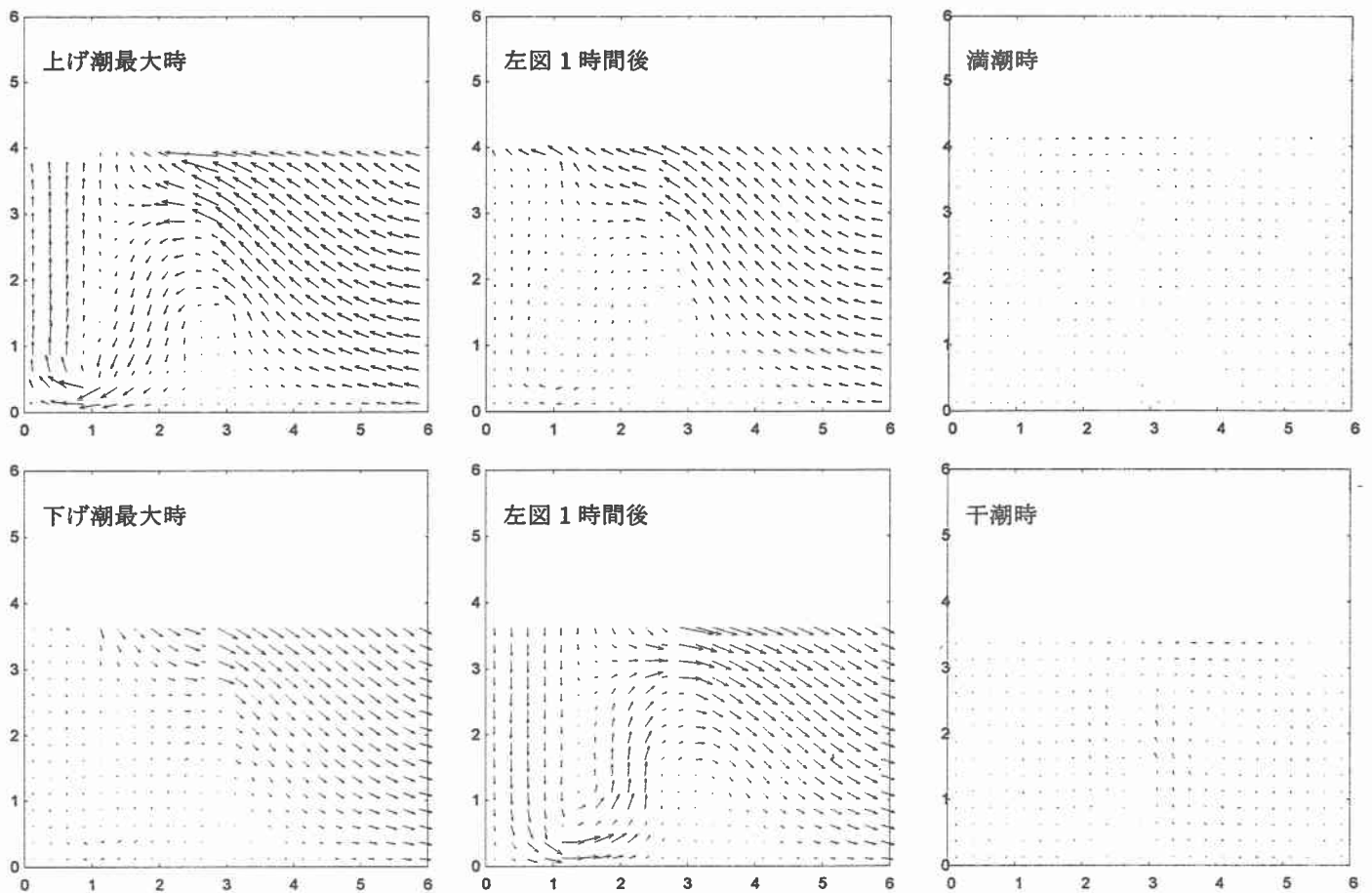


図-3 各潮時における流速ベクトル

3. 計算結果

図-2 の境界セルに小松島港 M2 潮位相当(波高 42cm)を 5 周期与えた流れを計算した。同時に、拡散も計算して塩分濃度の時間変化も追跡した。

図-2 の網がけセルには、空隙率 0.2~0.5 を適当に与えた。不透過部分と物理境界の法線方向流速は 0 とし接線方向はすべり条件とした。流速は 1cm 弱と遅く、対流項は中央差分でも安定解が得られた。時間刻みは 0.1 秒とした。

図-3 および図-4 に計算結果を示す。ともに 5 周期目の結果をプロットした。図-3 を見ると、

プラント内の隔壁を越流するか否かで流出入経路がスイッチする流況がうまく再現されている。水面は数セルを跨いで移動するが、表層流速に数値不安定は見られず自由水面モデルは SOLA 法と整合しているものと判断される。ちなみに、プラント容積と流出入流量をモニタしたところ誤差は全容積の 5%以下であり、時間的な増幅もなかった。PC 層では縮流によって加速されるが、ベクトルは小さく描かれている。これは、空隙率を乗じた流速をプロットしたためである。図-4 は、図-2 に示す位置での塩分濃度変化を示している。プラント内点の a~e を見るとかなり一様化している。実測値を参考に種々の検討を進めているが、現実には表層に濃度が著しく低い流入があったり、波浪や航跡の影響も考えられ、これらは今後の課題としている。

[参考文献]

- 1) 倉田・上月・村上・西村：内湾性水域に設置した生態系修復プラントにおける水質環境(2001)，四国支部第 7 回技術研究発表会。
- 2) 重松・廣瀬・錦織・小田：DEM 法と VOF 法を併用した三次元固液混相流解析モデルの開発とその適用例(2001)，海工論集 Vol48(1)。

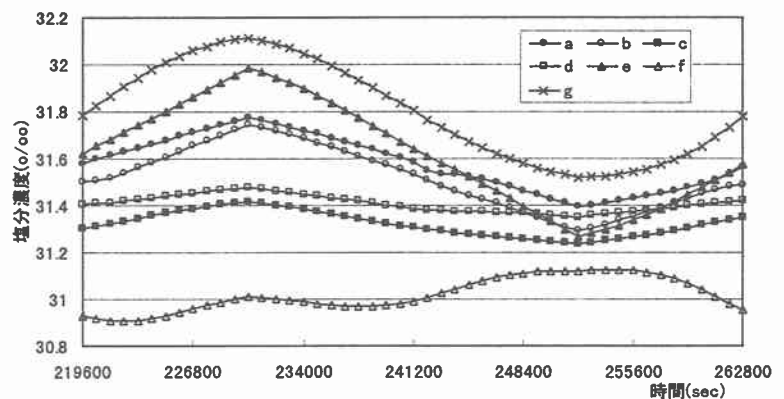


図-4 塩分濃度の時間変化