

平面構造物による湧昇流の数値計算と実験結果

名城大学理工学部 正会員 新井宗之

名城大学理工学部 学生員 小倉弘江

名城大学大学院 学生員 守利悟朗

1. はじめに：沿岸域の資源の確保や保全また有効利用の技術、さらに資源の開発技術は、近年の経済水域の世界的動向から水産資源の多くを国外に依存している我が国にとって非常に重要な課題である。特に、水産資源の生産性向上の技術は急務の課題とされている。このため沿岸漁場の生産性向上を目的として、湧昇流を人工的に発生させる試みが成されて来ている。これは水深15m以下の無光層の有用塩を有光層まで上昇させ植物・動物プランクトンを増大させ魚類の捕食連鎖から漁場の生産性の向上をはかろうとするものである。しかしながら乱流構造や湧昇流特性はレイノルズ数など水理条件と幾何スケールによって変化するとともに境界条件となる構造物の幾何形状によってもその固有の特性を示す。このため個々の形状による湧昇流等の特性を明らかにする必要がある。そこで本研究では代表的な形状の一つである平面形状構造物について数値計算を行い実験結果との比較検討を行った。

2. 実験の概要：実験水路は、開水路部が長さ8m、幅40cm、深さ40cmの透明アクリル製で循環式開水路である。模型構造物は高さが5cmで2次元水理実験構造物とした。また平面模型構造は垂直平面構造($\theta = 90^\circ$)と傾斜面($\theta = 30, 40, 50, 60^\circ$)構造で実験を行った。また、断面平均流速は約2.5、5cm/secで、水深は約20cm、30cmである。水路下流端に堰を設け、流れを等流とするために流量一定で水路勾配を調整して構造物の前後それぞれ2.0mの区間で水深が1mm以内の差になるよう調節した。模型構造物は水路上流端より4.30mの位置に設置し、構造物より上流側0.25m下流側0.70mの区間で流速等を測定した。流速測定はLDVを用い、拡散現象の検討のためには染料(黒インク)による可視化実験によった。¹⁾

3. 数値計算：等温状態での流れ場の基礎方程式は連続方程式、運動方程式にN-S方程式を用い、総和形式の保存形で表せば次のようである。

$$\mathbf{U}_{,t} + \mathbf{F}_{i,i}^{conv} = \mathbf{F}_{i,i}^{diff} + \mathbf{F}^{src} \quad (1)$$

ここに、

$$\mathbf{U} = \rho \begin{bmatrix} 1 \\ u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (2) \quad \mathbf{F}_i^{conv} = \rho u_i \begin{bmatrix} 1 \\ u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} + \rho \begin{bmatrix} 0 \\ \delta_{1i} \\ \delta_{2i} \\ \delta_{3i} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{F}_i^{diff} = \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{1i} \\ \tau_{2i} \\ \tau_{3i} \end{bmatrix} \quad (4) \quad \mathbf{F}^{src} = \rho \begin{bmatrix} 0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

u_1, u_2, u_3 ：速度ベクトルの成分、 ρ ：密度、 δ_{ij} ：クロネッカーのデルタ、 τ_{ij} ：粘性応力テンソル、 b_1, b_2, b_3 ：外力のベクトル成分。

粘性応力テンソルは

$$\tau_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

ここに、 λ, μ : 粘性係数、 ε_{ij} : ひずみテンソル
と記されるが、非圧縮性流体とするので、 $\varepsilon_{ij}=0$ であり、

$$\tau_{ij} = \mu(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (7)$$

である。

乱流項の計算として Spalart-Allmaras モデルを用いる。 k - ε モデルが動粘性係数 ν_t を乱れエネルギー k と熱逸散率 ε を未知変数にし、それぞれ輸送方程式を導入して解くのに対し、実験定数を用いて一方程式で動粘性係数 ν_t を決め、レイノルズ方程式

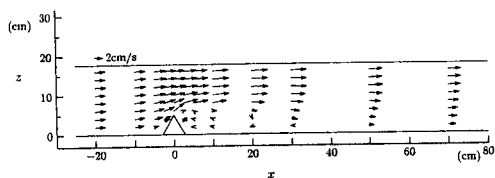
$$\frac{\tau_{ij}}{\rho} = (\nu_t + \nu)(U_{i,j} + U_{j,i}) \quad (8)$$

ここに、 U_i : 時間平均流速

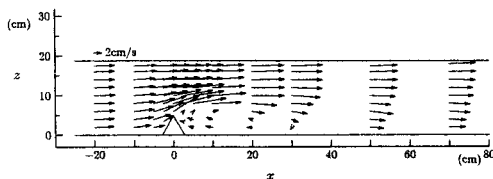
を閉じる計算方法を用いている。²⁾ 数値計算にはFEMを用い計算アルゴリズムはSpectrum社のSolverを用いた。

4. 考察：図一1、図一2は水深 $H=17.7\text{cm}$ 、断面平均流速 $U=2.36\text{cm/s}$ 、構造物の傾斜角 $\theta=60^\circ$ の場合の実験結果、計算結果を流速ベクトルで示している。計算においては構造物より上流側50cm、下流側150cmの区間で計算し、上流端では断面平均流速を一樣に与えた。水面は自由表面計算ではなくSlip条件として計算している。流入境界での渦動粘性係数を実験結果から $\nu_t=1.0\text{e-}4\text{m}^2/\text{s}$ を与えている。幅方向には1エレメントの2次元計算である。計算結果は流速分布、構造物下流側剥離の再付着点等ほぼ実験結果に対応している。また、図一3、図一4は水深 $H=18.8\text{cm}$ 、断面平均流速 $U=4.70\text{cm/s}$ の場合であるが、同様に数値計算結果と実験結果は対応しており、計算方法の妥当性を示していると思われる。

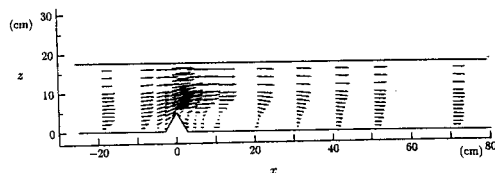
参考文献：1) 新井宗之、毛利悟朗：傾斜構造物による湧昇流の特性について、土木学会第51回年次学術講演会、II-48、1996.9 2) Nezu, I. Nakagawa, H : Turbulence in Open-Channel Flows, Balkema, 1993



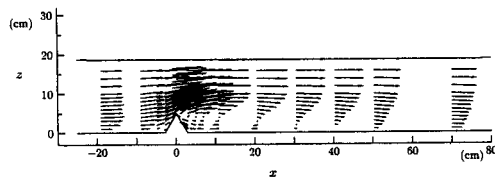
図一1 実験流速ベクトル ($\theta=60^\circ$, $H=17.7\text{cm}$, $U=2.36\text{cm/s}$)



図一3 実験流速ベクトル ($\theta=60^\circ$, $H=18.8\text{cm}$, $U=4.70\text{cm/s}$)



図一2 計算流速ベクトル ($\theta=60^\circ$, $H=17.7\text{cm}$, $U=2.36\text{cm/s}$)



図一4 計算流速ベクトル ($\theta=60^\circ$, $H=18.8\text{cm}$, $U=4.70\text{cm/s}$)