

水中に鉛直におかれた平板近傍の鉛直2次元流況に関する研究

大阪市立大学 正会員 小田一紀 ○重松孝昌
学生員 濱崎佳尚

1. はじめに

最近では、海底に設置した構造物によって発生する湧昇流を利用して底質の栄養塩を浮遊させプランクトンや魚の増殖を図ったり、湧昇流によって底層に存在する貧酸素水塊を上昇させて海水環境を改善すること等が試みられている。このような目的で水底に構造物を設置するとき、湧昇流の発生効果について予め検討しておくことは重要なことである。そこで本研究は、数値シミュレーションによって水底に設置された構造物周辺の流況を解明することを目的とし、その基礎的段階として水底に鉛直に立てられた平板近傍の鉛直2次元流況を解明する。

2. 渦動粘性係数一定モデルによる数値シミュレーション

大局的な流れの性状を予測するために従来より数多く用いられている渦動粘性係数一定モデルは、簡便に解くために圧力を静水圧分布と仮定すると次式で表される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad \cdots (1) \quad 0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad \cdots (2)$$

ここに、 u, w は水平および鉛直方向の流速、 p は圧力、 g は重力加速度、 ν_t は渦動粘性係数である。式中の ν_t に適当な値を代入し、ある境界条件の下で式(1)および(2)を数値的に解くことによって流れ場が求められる。図-1は、水深 $h=1\text{m}$ 、平均流速 $U_0=6.4\text{cm/sec}$ の水域に高さ $D=50\text{cm}$ の平板を設置した時の平板近傍の流況を渦動粘性係数一定モデルを用いて計算を行った結果である。同図(a)~(c)はそれぞれ $\nu_t=10^2\text{cm}^2/\text{sec}, 10^1\text{cm}^2/\text{sec}, 10^0\text{cm}^2/\text{sec}$ の場合の計算結果である。(a)より、 $\nu_t=10^2\text{cm}^2/\text{sec}$ のときに構は平板の背後に形成される後流域は非常に小さく、また、逆流は見られない。 $x/h \geq 2.5$ では鉛直平板の影響はほとんど現れていない。同図(b)の

$\nu_t=10^1\text{cm}^2/\text{sec}$ のときには(a)のときよりも後流域は大きく、再付着点 $x/h \approx 3.0$ である。同図(c)の $\nu_t=10^0\text{cm}^2/\text{sec}$ のときに平板の背後に形成される後流域は更に大きなものとなっていることがわかる(このときの再付着点は $x/h \approx 10$ である)。これらの図より、 ν_t によって数値シミュレーションの結果は大きく左右されることがわかる。

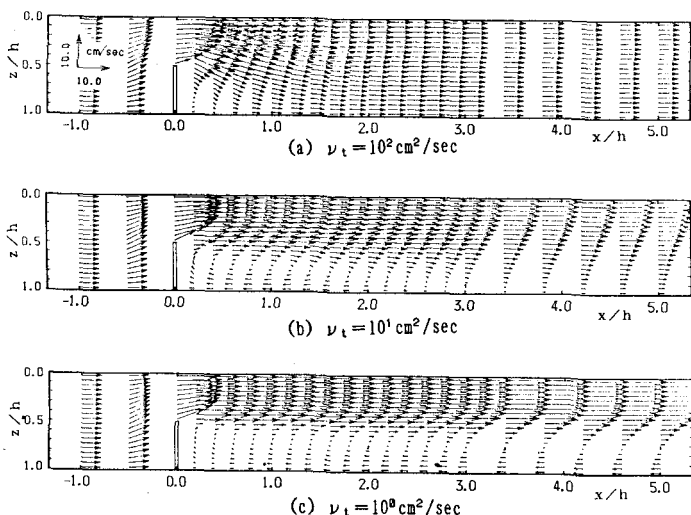


図-1 流速ベクトル図(渦動粘性係数一定モデル)

3. $k-\epsilon$ モデルによる数値シミュレーション

上述の計算から、渦動粘性係数一定モデルによって構造物周辺の流況を正確に表すことは困難である。

Kazuki ODA, Takaaki SHIGEMATSU, Yoshihisa HAMASAKI

構造物の設置には局所的な流れ場の変化に応じて渦動粘性係数の値を変える必要があることがわかる。そこで、渦動粘性係数を流れ場の局所的な変化と関係づけて解く $k-\varepsilon$ モデルを用いて鉛直平板近傍の流況を解析する。ここでは、鉛直方向の運動方程式に静水圧分布を仮定した標準型 $k-\varepsilon$ モデルを用いた。ただし、壁関数を用いず、モデル中の $C_1 \sim C_2$ の各定数は, Launder & Spalding³⁾ が自由乱流の解析に用いた次の値を使用した。

$$C_1=0.09, C_2=1.92, C_3=0.075, C_4=1.44, C_5=1.90 \quad \cdots (3)$$

図-2に、 $k-\varepsilon$ モデルによって計算された鉛直平板近傍の流速ベクトル図を示す。図-2を見ると、再付着点の位置は $x/h \approx 2.2$ で、平板の背後の流況は図-1(b)に示した $\nu_t = 10^1 \text{ cm}^2/\text{sec}$ として渦動粘性係数一定モデルを用いて計算した結果とよく似ていることがわかる。

図-3は、 $k-\varepsilon$ モデルによって求めた ν_t の分布図である。図-3より、平板近傍の ν_t の値は一定でなく空間的分布を示し、平板の下流側では ν_t は概ね $10^1 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーを有していることがわかる。

図-4は、実験によって得られた平板近傍の流速ベクトル図を表したものである。同図より、実験で得られた再付着点の位置は $x/h \approx 5.0$ である。この結果は、再付着点の位置は構造物高さの10倍程度であるという既往の実験的研究による結果²⁾と一致しており、前述の $k-\varepsilon$ モデルによる計算値よりも大きな値となっている。図-5は実験によって得られた渦動粘性係数の分布を示したものである。図-3の計算結果と比較すると、 ν_t のオーダーは一致しているが、その分布に差異が見られる。このような計算値と実験値の間の渦動粘性係数の分布および流況の相違は、計算における圧力の静水圧分布近似が一つの原因となっているものと考えられる。

4. 結論

本研究は、渦動粘性係数一定モデルと $k-\varepsilon$ モデルの2種類のシミュレーションモデルによって鉛直壁近傍の流況の計算を行った。その結果、 $k-\varepsilon$ モデルによる渦動粘性係数の計算値と実験値は、その分布には若干の差がみられるもののそのオーダーは一致しており、 $k-\varepsilon$ モデルを用いると渦動粘性係数を予め与えなくても平板近傍の流況を計算することが出来ることがわかった。

- 参考文献 1) 上北ほか: 湧昇流発生構造物の開発に関わる実験的研究, 第33回海溝, pp. 342-346, 1986.
2) 鶴谷ほか: 水中に設置された構造物背後の流れと乱流構造に関する研究, 第34回海溝, pp. 581-585, 1987.
3) Launder & Spalding: The Mathematical Models of Turbulence, Academic, 1972.

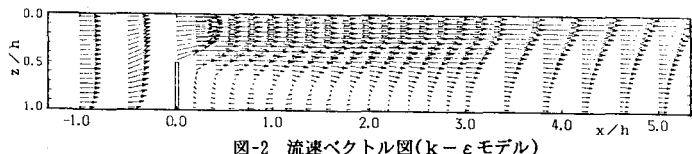


図-2 流速ベクトル図($k-\varepsilon$ モデル)

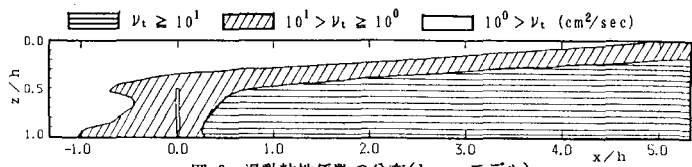


図-3 渦動粘性係数の分布($k-\varepsilon$ モデル)

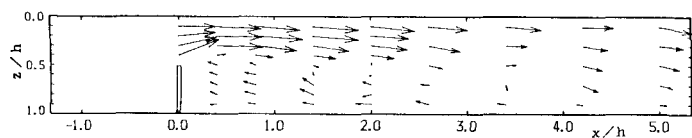


図-4 流速ベクトル図(実験結果)

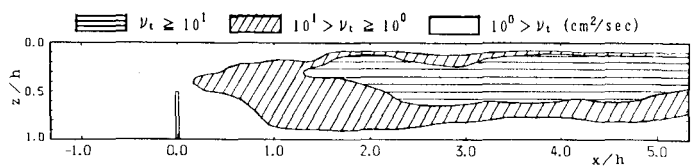


図-5 実験による渦動粘性係数の分布