

カキ養殖場における乱流特性と平均流速分布

広島大学工学部 学会員 ○長尾 陽
広島大学工学部 正会員 川西 澄

序論

広島湾は太田川水系から供給される豊富な栄養分と、古くは干潟や藻場に恵まれてきた海域であったため、古くからカキの養殖が盛んである。しかし近年、広島湾で頻繁に赤潮などが発生し、カキ養殖に大きな被害を与えており、広島湾のカキに関する研究の多くは生物学的見地から行なわれており、物理学的見地からの研究は少ない。そこで本研究は、これまであまり測定されなかったカキ養殖場内の流動を調査して、平均流速と乱流特性量の鉛直分布を検討した。

方法

1. 数値実験

現地観測から求めた各時間ごとの乱流特性量の鉛直分布を比較・検討したが一貫性が見られず、信頼性に乏しいものであった。これは風や波による船の揺れが大きな要因となっている。そこで本研究では数値実験を行い、カキ垂下層の存在によりどのように乱流特性量が鉛直方向に変化するのかを調べた。

この数値実験では流れは定常であるとし、2次元である。格子の数は 75×40 である。乱流モデルに $k-\epsilon$ モデルを用いて、水深を20m、カキ垂下層位置を水深0~10mにした。

2. 流速分布の計算

計算値の流速分布は、境界での摩擦速度 u_{*0} とレイノルズ応力の減衰係数 α は観測値を解析して算出し、これらを導き出した式に代入して求める。

流速分布の式を導くにあたって、次のような仮定を用いた。(1) カキ垂下連は複雑な形状をして揺動しているがこのままでは非常に計算が困難なため、揺動しない円柱状のものと考えた。(2) カキ垂下層外の流速分布を導く際、カキ垂下層内の流速とカキ垂下層外の流速はそれぞれ一定でお互いに異なる流速をもつと考える。これによって混合層の理論を用いることができる。(3) カキ垂下層内でのレイノルズ応力の変化は指數関数的に減少する。

まずカキ垂下層内の流速分布の式は、カキ垂下層内の運動方程式と、仮定(3)から近似した式を連立して解くことによって導くことができる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \tau}{\partial z} = \rho \gamma u^2 + \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{-u'w'}{2} = -\exp(\alpha z) \\ -u'w'|_y=0 \end{array} \right. \Rightarrow u = \sqrt{\frac{\alpha}{\gamma} u_{*0}^2 (1 - \exp(\alpha z)) + u_0^2} \quad (1)$$

となる。 u_0 :境界での流速、 D :カキ垂下連の円柱の径、 S :カキ垂下連の円柱の中心間距離、 $\gamma (= C_D D / (2S^2))$:
 D と S が流れに影響を与えることを表すパラメーター、抗力係数 C_D は1.0とする)

次にカキ垂下層外の流速分布の式は、仮定(2)の混合層の式を用いて表わすと

$$u = u_0 + a \left[\frac{3}{2} \left(\frac{z}{k-h} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{k-h} \right)^3 \right] \quad (2)$$

になり、ここで a は未知数である。 k :カキ垂下層の高さ、 h : $H-k$ 、 H :水深)

しかし、カキ垂下層内とカキ垂下層外の流れは連続であり流速分布の接線方向は等しいものである。そこで(1)式と(2)式を微分して連立して解くと a が決定される。よって、次式が得られる。

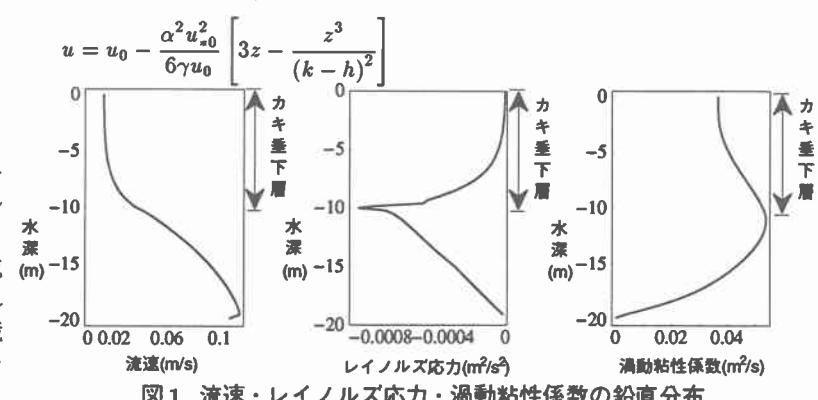


図1 流速・レイノルズ応力・渦動粘性係数の鉛直分布

結果・考察

1. 乱流特性量の鉛直分布

結果を図1に示す。図1からカキ垂下層と流体層の界面でレイノルズ応力 $-u'w'$ は最大値をとることがわかり、これはカキ垂下層外の流れとのせん断で特徴づけられる流れであることを示す。このことから境界面近傍で活発な運動量交換が行なわれていることがわかる。また、カ

カキ垂下層内では境界面から離れるにつれ一定の流速に近づき、レイノルズ応力は0に近づく。また、渦動粘性係数も境界面で最大値をとることがわかる。これは、境界面で大きな運動量の交換が起こっていることを示している。

2. レイノルズ応力の減衰係数 α と γ の関係

数値実験によって α と、 D と S が流れに影響を与えることを表わすパラメーター γ を比較すると、 γ の値が増加すると α の値が減少するという相関関係があるように思われた。そこで α と γ の関係を最小二乗法で導くと、 $\alpha = -0.543771 - 0.279302\gamma$ になり、相関係数を求めるに-0.88であった。このことから α と γ の間に高い相関があることがわかる。しかし、この相関関係はどのような場合にも適用できるものではなく、 k と h といった量に関係してくる。ただこれらの量が変化しないのならば高い相関関係を示す。

今後はこの k と h が変化する場合、 α と γ の関係がどのように変化するのかを調べる必要がある。

3. 平均流速分布

流速の観測値と計算値の比較を行なう。導き出した流速分布の式を用いて算出した流速分布を図3に示す。図4にこの研究で用いたカキ垂下連のモデルを示す。

6月のカキ垂下層位置は水深5~12m、10月のカキ垂下層位置は水深0~7mである。図3の観測値と計算値の比較の結果を見ると、10月はよく観測値と一致している。しかし6月は、カキ垂下層内部では非常に一致を見せてはいるが、カキ垂下層外ではそれほど良い対応を示してはいない。これは10月の場合は仮定(2)のような流れに近づくが、6月では上層の流体層・カキ垂下層・下層の流体層という3つの層が存在し、仮定(2)が当てはまりにくいためである。

また境界面では、流速が遅いカキ垂下層内の流体が、流速が速いカキ垂下層外の流体に引きずられ、速度勾配の大きな領域が現れる。

結論

- 1) カキ垂下層の境界面付近では Reynolds 応力やうず動粘性係数が増加し、せん断乱流場が形成される。また、境界面から離れるにつれて流速分布は一定の流速に近づく。
- 2) カキ垂下層内の流速分布は指数関数で近似でき、境界の流速 u_0 とカキ垂下層の密度を表す γ さえ分かれば、実際の流速分布に非常に類似した流速分布を推定できる。
- 3) 計算値の流速分布は、カキ垂下層内では非常に良好な対応を示したが、カキ垂下層外ではあまり良好な対応を示したとは言えない。これはカキ垂下層外の流速分布を導く際の仮定に問題があると思われる。
- 4) α と γ は h/k が一定の場合は高い相関関係があったが、 h/k が変化する場合には相関関係が低かった。そこで今後は、 h/k が変化する場合には α と γ がどのように変化するかを実験、もしくはシミュレーションによって詳しく調査する必要がある。
- 5) 今回は2次元の場合の流速分布を推定したが、今後は本研究を生かし、実際のカキ養殖場の流れを3次元で解析する必要がある。また観測の際観測点を増やし、詳しい流速分布を測定しなければならない。
- 6) 本研究では定常状態を考えているので、潮流速の時間変化が比較的少ない最強流時付近における流速分布は問題ないが、潮流速の時間変化が大きい場合には適用できない恐れがある。今後は非定常の場合を明らかにする必要がある。

参考文献

- (1) 清水義彦他：直立性植生層を伴う流れ場に関する実験的研究、土木学会第48回年次学術講演会NO438
- (2) Boundary-Layer Theory : Dr HERMANN SCHLICHTING, MC Graw-Hill

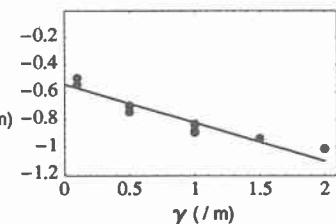


図2 α と γ の関係

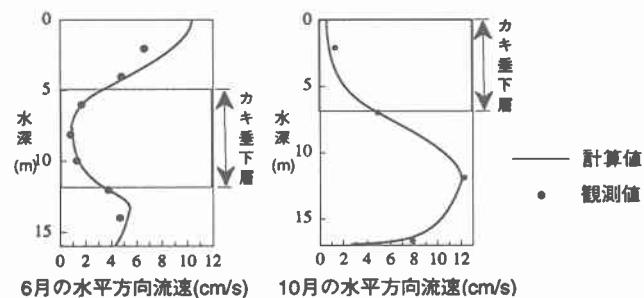


図3 6月・10月の水平方向流速の観測値と計算値の比較

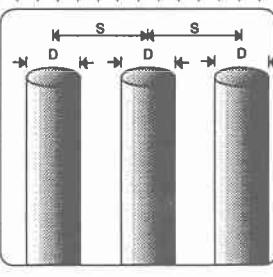
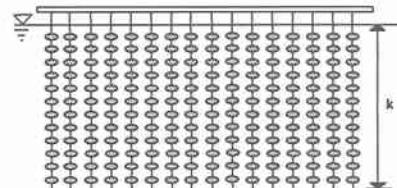


図4 カキ垂下連モデル