

水面せん断応力が作用する流れ場の特性

大阪大学工学部 正 員 室田 明

大阪大学工学部 正 員 道奥 康治

大阪大学大学院 学生員 〇口田 光也

1. はじめに； 内部変量（乱れ強度、渦の特性長等）により整理された密度場での混合量を外部変量（水面摩擦速度、水深等）による表示に換算すれば、形態の異なる外力場での鉛直混合量を統一的に評価することができる。風応力が作用する閉鎖成層水域を対象としてこのような検討を進めるため混合距離理論を用いた流れ場の解析を行なう。本報告はその前段階として二次元均質密度場を対象に、(1) 平均流れ場、(2) 乱流れ場、(3) 吹き寄せによる水面上昇量を解析し実験例との比較から本解析法の妥当性を検討するものである。

2. 解析方法； 図-1に示す閉塞された均質密度場を対象とし定常状態を考える。流下方向には圧力のみ変化し静水圧分布を仮定すれば、せん断力は同図のような直線分布となり水面で τ_s 、底面で $-\tau_b$ とする。混合距離を用いてせん断力は次式で定義される。

$$\tau(z) = \rho \nu \frac{du}{dz} + \rho l^2 \left| \frac{du}{dz} \right| \left(\frac{du}{dz} \right) \quad (1)$$

ここで、 ρ は密度、 ν は動粘性係数、 u は x 方向流速である。 l は混合距離であり本解析では次式の放物線分布を用いる。

$$l(z) = \kappa \frac{z}{H} (H-z) \quad (2)$$

ここで、 κ はカルマン定数、 H は水深である。式(1)、(2)及びせん断力の鉛直分布から流速勾配に関する次式が得られる。

$$n - (1+n)\zeta + \frac{1}{Re_*} \frac{d\tilde{u}}{d\zeta} + (\kappa\zeta(1-\zeta))^2 \left| \frac{d\tilde{u}}{d\zeta} \right| \left(\frac{d\tilde{u}}{d\zeta} \right) \quad (3)$$

ここで、 $n = \tau_b/\tau_s$ はせん断力比、 $Re_* = u_{*s} H/\nu$ はレイノルズ数、 $\zeta = z/H$ 、 $\tilde{u} = u/u_{*s}$ はそれぞれ鉛直無次元座標、無次元流速である。式(3)を連続式より得られる流量が0、底面流速が0の境界条件のもとに積分することによりある Re_* に対し n と流速分布が決定する。

3. 流れ場の解析； 図-2に本解析により定まる Re_* と n の関係を示す。 Re_* の増加にともない n は層流理論により得られる値0.5より徐々に減少し、乱流域ではほぼ0.1となる。また流速分布形は図-3に示すように、 Re_* が増加するに従い水面付近の流速勾配が急勾配となり最大逆流速の発生位置が底面へと近づいていく傾向が

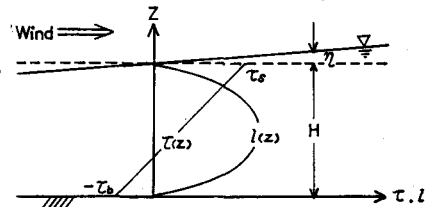
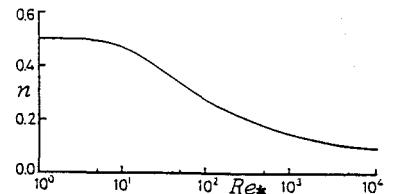
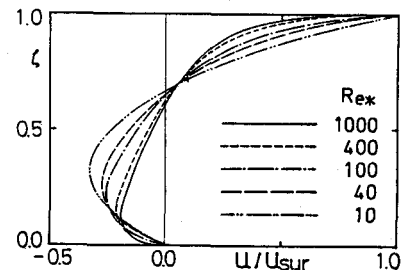


図-1 流れ場の模式図

図-2 n と Re_* の関係図-3 Re_* による流速分布形の変化

ある。平均流速分布の実験値と本計算値の比較を図-4に示す。(a)の実験値はBainesら、(b)の実験値はKoutitasらのものである。両図より本計算値は実験値と良好に一致しているといえる。ただしBainesらの実験値の $\zeta = 0.7$ 付近にみられる流速分布形の折れ曲がり、彼らの報告によると横断方向の二次流の影響と考えられる。混合距離理論に基づけば、乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ 、レイノルズ応力 $-\rho u'w'$ は次式で評価される。

$$\sqrt{u'^2} = l |du/dz| \quad (4)$$

$$-\rho u'w' = \rho l^2 |du/dz| (du/dz) \quad (5)$$

図-5は $\sqrt{u'^2}$ と $-\rho u'w'$ に関するBainesの実験値と本計算値の比較である。計算値では水面、底面近傍の粘性域を考慮しており、 $\sqrt{u'^2}$ 、 $-\rho u'w'$ ともに両境界で0に近づく。 $du/dz = 0$ の点で

$\sqrt{u'^2} = 0$ となる点は混合距離の非現実な側面である。しかし $\sqrt{u'^2}$ 、 $-\rho u'w'$ とも水表面付近で最大値をとり実現現象の傾向をよく表している。

4. 水面上昇量； 本解析では風の吹き寄せによる水面勾配が水面と底面のせん断力比 n を用いて評価される。Keuleganの実験式の形で本解析による水面勾配を表現したのが次式である。

$$\frac{d\eta}{dx} = \phi_s \frac{u_{sur}}{gH}, \quad \phi_s = (1+n) \frac{u_{*s}}{u_{sur}} \quad (6)$$

ここで、 u_{sur} は水表面流速、 η は水面上昇量、 g は重力加速度である。 ϕ_s はレイノルズ数のみの関数であり図-6にKeuleganによる実験値と本計算値の比較を示す。両者は層流から乱流への遷移域を除けばほぼ同様の傾向である。

5. おわりに； 混合距離理論を用いた本解析により均質密度場の水理特性が一体化された形で得られた。これは実験値と良好な対応を示すものであり、本解析法の妥当性が検証された。

参考文献 1)Baines,W.D. and Knapp,D.J. "Wind driven water current", J.Hydraulics Division ,Vol.91,1965. 2)Koutitas,C. and O'Connor,B. "Modeling three-dimensional wind-induced flows", J.Hydraulics Division ,Vol.106,1980. 3)Keulegan,G.H. "Wind tides in small closed channels", J.Res.Natl.Bureau Standards,Vol.46,1951.

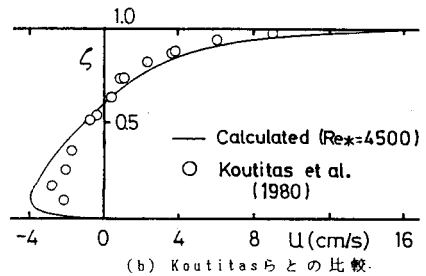
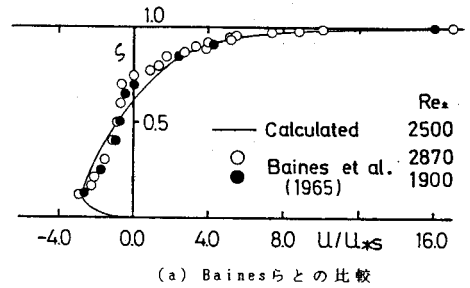


図-4 無次元平均流速分布

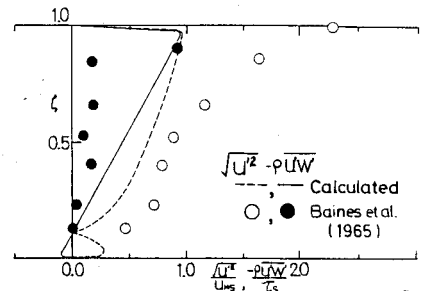


図-5 $\sqrt{u'^2}$ と $-\rho u'w'$ の鉛直分布

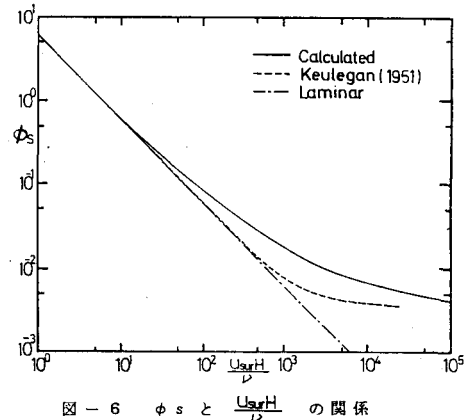


図-6 ϕ_s と $\frac{U_{sur}H}{\nu}$ の関係