

II-445 閉塞水域における風成流動に関する研究

山口大院 学 ○三浦克久

富士建設工業 中尾 光生 山口大工 正 斎藤 隆

1. まえがき

本研究は、矩形閉鎖水域の流動特性を実験で得られた結果を用いて渦動粘性係数の鉛直方向の分布を検討した結果を報告するものである。

2. レイノルズ応力分布関数

非圧縮性二次元定常状態での運動方程式

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\rho \partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial x} - \overline{u'u'} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{u'v'} \right)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g - \frac{\partial p}{\rho \partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial v}{\partial x} - \overline{u'v'} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial v}{\partial y} - \overline{v'v'} \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \text{or} \quad v = - \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy$$

境界層近似を適用し これを $y=0$ で

$$\overline{v'v'} = 0 \quad \frac{p}{\rho} = gH \text{ の条件で } y \text{ 方向}$$

の運動方程式を積分すると

$$\frac{p}{\rho} = g(H-y) - \overline{v'v'} \quad \text{さらに,}$$

$$(\overline{u'u'} - \overline{v'v'}) < u^2 \quad \text{とすると}$$

$$\frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{u'v'} \right)$$

ここで、次の分布関数

$$u/u_s = F(\eta), \quad \frac{\overline{u'v'}}{u_s^2} = G(\eta), \quad \eta = y/H$$

を用いると、無次元レイノルズ分布関数 $G(\eta)$ は、

$$G(\eta) = \frac{Hdu_s}{u_s dx} \int_{\eta}^1 F^2(\eta) d\eta + \left(\frac{Hdu_s}{u_s dx} + \frac{dH}{dx} \right) \int_{\eta}^1 \left\{ F'(\eta) \int_0^{\eta} F(\eta) d\eta \right\} d\eta \\ + \frac{\nu}{u_s H} F'(\eta) + \frac{gH}{u_s^2} \frac{dH}{dx} (1-\eta) - \alpha \frac{\rho a}{\rho} \frac{u_s^2}{u_s^2} \quad (1)$$

$$\text{渦動粘性係数 } \varepsilon \text{ は} \quad \varepsilon = - \frac{u_s G(\eta) H}{F'(\eta)}$$

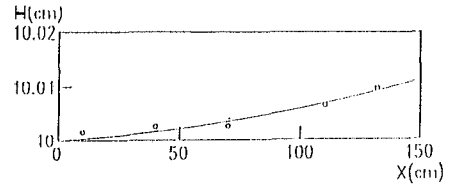


図-1 水面形状

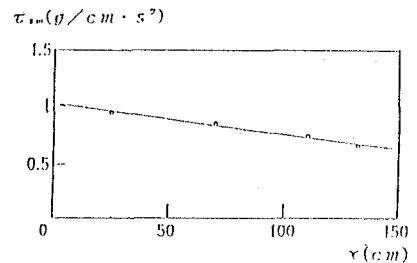


図-2 水面上のせん断力分布

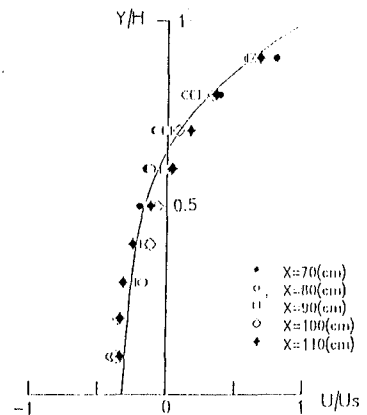


図-3 無次元流速分布

3. 水底面境界層流速分布

(1)式において水底面近くの流速分布を適切に評価することが必要であるが、精度上の問題で測定されていないので次の様に流速分布を推定することにした。すなわち、水底面近くの流れを乱流境界層と考え、底面せん断力を τ_0 、境界層上縁でのせん断力を τ_s 、せん断力分布関数を $S(\eta)$ とすると、

$$\tau = \tau_0 + (\tau_s - \tau_0) S(\eta), \eta = \frac{y}{\delta}$$

$S(\eta)$ 、混合距離 L の分布は未知であるが、単純に $S(\eta) = \eta$ 、 $L = \kappa y$ と仮定することで

境界層流速分布は

$$\frac{u}{u_{*0}} = \frac{1}{\kappa} \left[2\sqrt{K\eta+1} - 2\sqrt{K\eta_0+1} + \lg \left| \frac{\sqrt{K\eta+1}-1}{\sqrt{K\eta_0+1}-1} \cdot \frac{\sqrt{K\eta_0+1}+1}{\sqrt{K\eta+1}+1} \right| \right]$$

$$\text{ただし } K = \left(\frac{u_{*0}}{u_{*s}} - 1 \right) \quad (2)$$

境界層内渦動粘性係数 ϵ_s は、

$$\epsilon_s = \frac{u_{*0}^2 (1 + K\eta)}{d u / d y}$$

4. 渦動粘性係数の評価

渦動粘性係数の分布を求める際、 $G(\eta)$ 中の H 、 u_x 、 $F(\eta)$ 、 u_s は昨年度報告した水面形状(図-1)、水表面せん断力分布(図-2)、無次元平均流速分布(図-3)、水表面流速分布(図-4)の実測値を用いる。式(2)中の仮想壁面位置 η_0 、境界層厚さ δ は未知量であるが、 η_0 は滑面対数分布則から得られている

$$\eta_0 = \frac{\nu}{10 u_{*0} \delta} \text{ を使い、 } \delta \text{ は、図-3に示す平均流速分布に境界層流速分布を接続して連続の条件を満たすように試算で定めそれを基に } u_{*s}, u_{*0} \text{ を定める。}$$

図-5は境界層を考慮した無次元流速分布である。

以上のように求めた無次元渦動粘性係数の分布が図-6である。

5. まとめ

鉛直方向の流速分布を相似であるとの仮定を用いて無次元鉛直渦動粘性係数を評価した結果、水表面から半水深程度まではほぼ一定値で、それより下層では漸近していき、底面付近を除いては $1/10 \sim 1/20$ の値である。

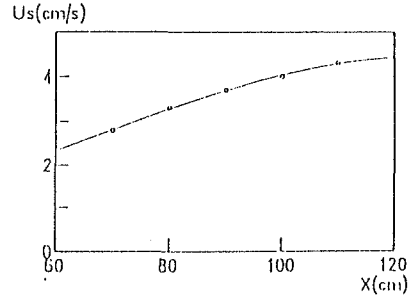


図-4 水表面流速分布

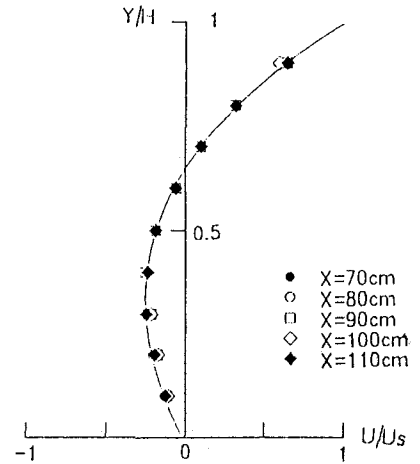


図-5 境界層を考慮した無次元流速分布

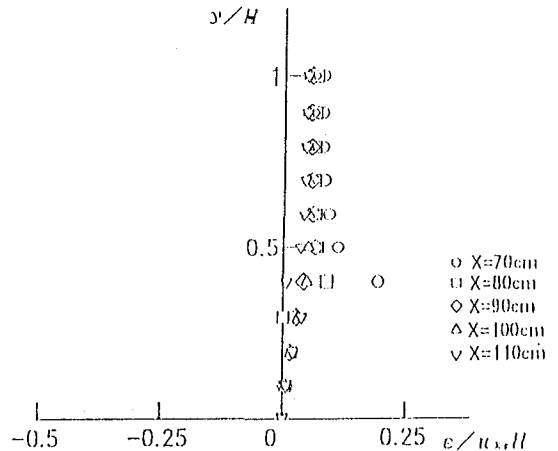


図-6 無次元渦動粘性係数の分布