

風外力による鉛直方向拡散係数の算定法

大阪大学大学院 学生員 ○尹 鍾星

大阪大学大学院 正会員 中辻啓二

大阪大学大学院 正会員 村岡浩爾

1. はじめに

成層化した閉鎖性水域の水質の鉛直方向乱流輸送を考えると、風応力の擾乱による水温構造の応答特性を詳細に予測することが重要である。

Henderson-Sellers¹⁾および中村ら²⁾は流速分布式として対数式を、摩擦速度の分布式としてEkman型の式を用いて、吹送流と浮力影響下における鉛直拡散係数の推定法を提案した。しかしながら、両者の推定法は両速度分布則から生じる理論展開の矛盾がある。そこで、本研究では鉛直拡散係数に関する既往の推定法の問題点の改善を図り、熱収支および風外力による応答特性をより正確に記述できる理論展開を試みた。

2. 中立状態における鉛直渦動拡散係数について

鉛直方向の渦動拡散係数は次式のように与えられる。

$$K_{H0} = \frac{K_{m0}}{P_0}, \quad K_{m0} = kw^*z \quad (1)$$

ここで、 K_{H0} 、 P_0 、 K_{m0} は、それぞれ中立状態下での渦動拡散係数、プラントル数、渦動粘性係数である。Henderson-Sellers¹⁾は摩擦速度 w^* は一定値ではなく、Smith³⁾のEkman型の実測速度分布式

$$u(z) = u_s \exp(-k_* z) \quad (2)$$

に基づいて、鉛直方向に次のような分布をとるものとした。

$$w^* = w_s^* \exp(-k_* z) \quad (3)$$

$$w_s^{*2} = \frac{\rho_a}{\rho_w} C_D W_{10}^2 \quad (4)$$

ここで、 k_* 、 u_s 、 ϕ 、 ρ_a 、 ρ_w 、 C_D 、 W_{10} はそれぞれ減衰係数、表面流速、緯度、空気密度、水の密度、抵抗係数、水面上10mでの風速である。一方、表面流速はコリオリー力とEkman層の厚さの関係から、次式のように表される。

$$\frac{u_s}{W_{10}} \propto \frac{1}{\sqrt{\sin \phi}} \quad (5)$$

表面流速が $(\sin \phi)^{1/2}$ に逆比例することから、Webber⁴⁾の定常吹送流の流動に関する理論解(図-1)から表面流速は、次式のように推定される。

$$u_s = W_{10} \frac{0.029}{\sqrt{\sin \phi}} = w_s^* \frac{24.0}{\sqrt{\sin \phi}} \quad (6)$$

3. 非中立状態における鉛直渦動拡散係数について

非中立状態における鉛直方向の渦動拡散係数 K_H は一般的に $K_H = K_{H0} f(Ri)$ で与えられる。成層化関数 $f(Ri)$ については様々な経験式が提案されているが、中辻ら⁵⁾は三次元表層密度流の流動に関する

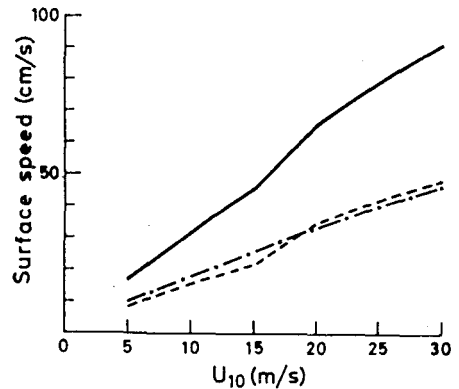


図-1. 風速と表面流速との関係
(Webber, 1983)

研究において、乱流 Schumit 数の正確な評価が非常に重要であることを指摘し、乱流 Schumit 数に対しては Munk & Anderson⁶⁾ の提案式

$$f(Ri) = (1 + 10Ri/3)^{-3/2} \quad (7)$$

が最も適していることを検証した。一方、成層度とせん断力の比であるリチャードソン数は次式で表される。

$$Ri = \frac{(g/\rho) (\partial \rho / \partial z)}{(\partial u / \partial z)^2} = \frac{N^2}{(\partial u / \partial z)^2} \quad (8)$$

式(8)に現れる非中立状態における速度勾配は次式のように示される。(Henderson-Sellers¹⁾)

$$\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)_0 g(Ri) \quad (9)$$

$$g(Ri) = (1 + 10Ri)^{-1/2} \quad (10)$$

ここで、添字 'o' は中立状態を示す。したがって、式(8)~(10)と式(2)を解くと、リチャードソン数は次式のように表される。

$$Ri = \frac{-1 + \left\{ 1 + \frac{40(g/\rho) (\partial \rho / \partial z)}{k_z^2 u_s^2 \exp(-2k_z z)} \right\}^{1/2}}{20} \quad (11)$$

$$k_z = 6.6 \sqrt{\sin \phi} W_{10}^{-1.84} \quad (12)$$

以上の結果を用い、風速 4 m/s, 6 m/s, 10 m/s に対する渦動拡散係数の鉛直方向分布の時間変化を図-2に示す。成層状態は上下層(上層水深 10 m、下層水深 20 m)の密度差を $\Delta \rho = 0.010 \text{ t/m}^3$ と仮定した。破線は中立状態での K_z の値を示す。成層化の影響で非中立状態の K_z の値は小さい。時間の経過とともに、換言すれば混合が進につれて、 K_z の値は上層で増加傾向にあることがわかる。その傾向は 10 m/s の風の場合に顕著である。

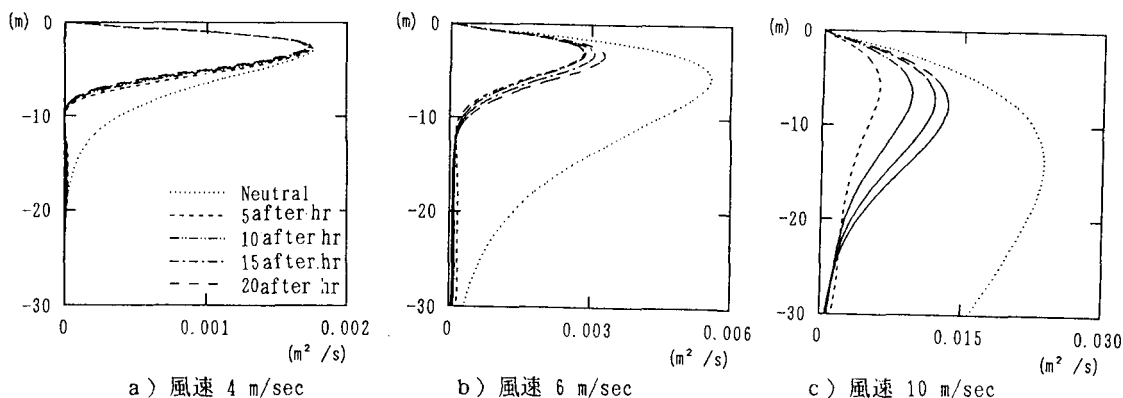


図-2. 渦動拡散係数の鉛直方向の時間変化

4. おわりに

風応力と勾配形リチャードソン数の関係から鉛直渦動拡散係数の算定法に関する理論展開を試みた。実測結果との比較・検討は伊藤ら⁷⁾が行い、その適用性を検証している。

参考文献

- 1) Henderson-Sellers, B.; Appl. Math. Modelling, Vol.9, pp.441-446, 1985.
- 2) 中村由行ら; 第36回海岸工学講演会論文集, pp.809-813, 1989.
- 3) Smith; Freshwater. Biol, Vol.9, pp.119-145, 1979.
- 4) Webber; J. Phys. Oceanogr, Vol.13, pp.524-530, 1983.
- 5) 中辻啓二ら; 土木学会論文集, No.434, pp.19-28, 1991.8.
- 6) W. Munk and E. Anderson; J. Marine. Res, Vol.7, pp.276-295, 1948.
- 7) 伊藤 渉ら; 平成四年度関西支部年次学術講演会講演概要、1992.