

京都大学工学部 正会員 末石 富太郎、住友 恒

大阪市水道局 “ 〇山田 豊実

1. はじめに

従来、弱混合型、中間混合型あるいは強混合型のいずれかに分類した上でのそれぞれの感潮河川汚濁解析法は数多く提言されている。しかるに、本研究では、2層流境界面を通しての混合量を適切に評価することにより、弱混合型から強混合型までの感潮汚濁を統一的に解析しうる方法を提言するものである。

2. 基礎方程式の誘導

図-1に示すように、境界面を通して2層間に水量・水質交換がある流動モデルを考える。X方向の運動量収支から基礎式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_1 h_1) &= g_2 - g_1 \\ \frac{\partial}{\partial x}(g_1 u_1 h_1) + \alpha_1 \frac{\partial}{\partial x}(g_1 u_1^2 h_1) &= -g \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \rho_1 h_1^2 \right) - \tau_b \\ &\quad + \rho_1 g h_1 \sin \theta - \rho_1 g h_1 \cos \theta \frac{\partial h_1}{\partial x} + g_1 u_1 g_1 - \rho_2 u_1 g_2 \\ \frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_2 h_2) &= g_1 - g_2 \\ \frac{\partial}{\partial x}(g_2 u_2 h_2) + \alpha_2 \frac{\partial}{\partial x}(g_2 u_2^2 h_2) &= -g \cos \theta \left(\rho_1 h_1 h_2 + \frac{1}{2} \rho_2 h_2^2 \right) \\ &\quad + \tau_b - \tau_b + \rho_2 g h_2 \sin \theta + \rho_1 g h_1 \cos \theta \frac{\partial h_2}{\partial x} + g_2 u_2 g_2 - \rho_1 u_2 g_1 \end{aligned} \right\} (1)$$

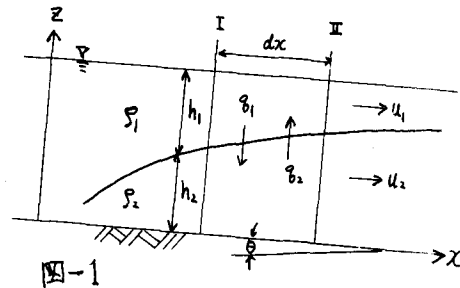


図-1

ここで、 h は水深、 u は流速、 g は交換水量で、以下 $g_1 = g_2 = u_m$ について考察する。 ρ は密度、 τ_b は境界面および底面の摩擦抵抗、 θ は底面勾配、 α はBoussinesq係数である。運動の式において $\cos \theta = 1$ 、 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ 、さらに交換量 g による影響の項は微小であるとして無視すれば、式(1)はSchijf-Schönfeldの式に一致する。また、水質に関しては、境界面からの混入量のみを考慮して次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial C_1}{\partial x} &= \frac{u_m}{h_1} (C_2 - C_1) \\ \frac{\partial C_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial C_2}{\partial x} &= \frac{u_m}{h_1} (C_1 - C_2) \end{aligned} \right\} (2)$$

3. 境界面における交換水量の定量化について

2. で述べた基礎式を解くためには、境界面での抵抗や混合量を定量的に把握する必要がある。境界面における抵抗係数に関しては従来多くの研究があるが、2層間混合量に関しては、いまだ十分な研究があるとはいえず、一般に次のKeuleganの式が用いられている。

$$u_m = K(u_1 - u_c) \quad (3)$$

ここで、混合量係数 K に関しては、 3.5×10^{-4} (Keulegan)¹⁾、 2.12×10^{-4} (Keulegan)²⁾、 $3.5 \times 10^{-3} F^{1/2}$ (須賀・高橋)³⁾ 等が、また、 u_c に関しては、 $1.15(u_1 g)^{1/3} / 0.178$ (Keulegan)¹⁾、 $7.3(u_2 g)^{1/3}$ 等が提言されている。

そこで、以下に述べる実験装置で2層間混合量の実験をおこなった。

3-1 実験方法 実験に使用した水路は、全長7m、幅30cm、深さ50cmである。実験は、水路勾配を0として水路下流端水槽へ塩水をポンプ注入すると、塩水は塩水くさびとなり水路内へ侵入し、淡水流量を調整することにより、くさびを定常に保つ。塩素イオン濃度は電導度の測定により、また、流速はナチレンブルー溶

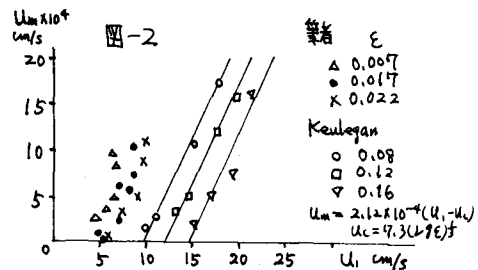


図-2

液を流して測定した。

3-2 実験結果 実験 U_m を図-2にKeuleganの結果とともに示す。Keuleganの実験結果はよく直線になっており、 K は一定となるが、筆者の実験結果では、いずれの密度においても流速 U_m が増大するにつれ、 U_m は急激に増大する傾向がある。そこで、巨視的な考えのRichardson数 $Ri = \varepsilon g h / U_m$ に対して K をプロットすれば図-3のようになる。なお、このときの抵抗係数 f の実験結果を図-4に示す。

さて、EllisonとTurner⁴⁾は $Ri > 0.8$ では混合係数は無視できるとしており、 $Ri < 0.8$ では E は 10^{-2} のオーダーである。一方、筆者や岸・加藤⁵⁾の実験では $Ri > 0.8$ で K は 10^{-4} のオーダーである。つまり、 $Ri = 1$ 付近で急激な変化があることになり、これから弱混合から強混合への統一的理解が可能であることを示唆している。

4. 江戸川への適用

基礎式(1),(2)を特性曲線法で解き江戸川での実験結果へ適用してみた。上げ潮時においては Ri は32.3から1.4の間にあり、だいたい従来のKeuleganの式の適用範囲内である。そこで式(3)を用いて、100分後の塩素イオン濃度を計算したのが図-5である。この時刻の上、下流端での実験値を○で示す。つぎに、下げ潮時においては Ri は1.2から0.32であって、 K が急激に増大する範囲である。したがって式(3)は適用できない。そこで、 K は 10^{-4} のオーダーであり、 E は 10^{-2} のオーダーであるので、仮に K を 10^{-2} および 10^{-3} と仮定した30分後と60分後の計算結果が、図-6、図-7である。下流端での実験値の傾向と比較すれば、 K はやはりこの程度のオーダーであると推定できる。

したがって、江戸川においては、上げ潮時には U_1, U_2 が小さいこともあって Ri は大きくなり、安定した状態できさばが形成される。つぎに、下げ潮時には Ri は小さくなり1に近づくため混合は活発になって、ついにきさは消滅する。

以上のことから、定性的にはあるが、上げ潮時には弱混合、下げ潮時には強混合という江戸川の特徴を統一的に説明できることが明らかになった。

5. おわりに

今後、 $Ri = 1$ 付近の K に関する研究が進めば、各種混合型の河川の特徴についてさらに定量的な説明が可能になるものと考えられる。

なお、本研究は昭和47年度文部省試験研究70508の研究成果の一部である。また、院生 松岡謙君の実験協力に対し謝意を表わす。

<参考文献>

- 1) Keulegan, G.H.: Interfacial instability and mixing in stratified flows, Jour. Res. Nat. Bur. Stand., Vol.43 1949
- 2) Keulegan, G.H.: The mechanism of an arrested saline wedge, Estuary and coastline hydrodynamics, Ippen editor, Engineering societies monographs, McGraw-Hill, 1966
- 3) 須藤 厚徳: 塩水くさばに関する大型水路実験による二三の考察, 第26回年報, 土木学会, 1971
- 4) Ellison, T.H. and Turner, J.S.: Turbulent entrainment in stratified flows, J. Fluid. Mech, 6, 1959 5) 岸・加藤: 第14回海講, 1967

