

芝浦工業大学 正員 菅 和利
 東京大学 正員 玉井 信行
 大日コンサルタント 正員 藤井 良治

1. はじめに

密度流先端部において、河床近くに沈殿した微粒子の巻き上げを含んだ取扱は未だ十分になされていないのが実状である。そこで本研究では斜面を流下する密度流先端部での混合現象に着目し、周囲水との混合量、低質の巻き上げについて実験的に検討を行った。

2. 実験装置及び結果

感潮河川河口部を想定しているが、遡上現象をより単純化してフロント部のみに着目し斜面を流下する密度フロントを取り扱った。実験は幅 200mm、長さ 5m、勾配 1/50 のアクリル製矩形水路を用いた。あらかじめ仕切板によって淡水領域と塩水領域とに分けておき、淡水領域には低質の代りとしてベントナイト溶液を敷き、その後仕切板を瞬時に引き上げ密度流を発生させた。十分に発達した先端部において、染料トレーサー法により流速分布を測定し、同時に採水を行い密度分布、濁質濃度分布を測定した。この結果より次の事が知られる。

- i) 塩水層と淡水層の間には、周囲水の混入による稀釈領域が存在し、これを混合層と定義する。
- ii) 底面近くにも、密度流先端部下面から混入された周囲水による稀釈が見られるが、その程度は微小である。
- iii) 濁質の濃度は混合層と塩水層との境界である内部境界面において最大値 C_{max} を取る分布形を示し、濁質の混入は淡水と同様に主に先端部での大規模渦に依存すると考えられる。今回の実験では、ベントナイト溶液は塩水に比べて密度は小であったが、実験条件の範囲で生じる現象においては底質は先端部に沿って持ち上げられ、淡水とともに混入することが、可視化によっても認められた。

3. 混合量の算定について

福岡らの研究により、斜面を流下する密度流先端部の移動速度はその増加率の小さい事が知られており、また本装置における実測値も同様な結果を示した事から先端部の移動は定常的であるとし、SYMPSON 等の取扱に倣って先端部の移動速度で移動する座標系を採用し図-1 に示す様な模式化を行った。先端部を領域区分し、各領域における流速・密度・濁質濃度の分布形を、実験結果をもとに図-1 に示す様な分布形で与えた。混合層（領域3）における流速分布は、その乱れが激しく可視化による測定が困難であったため、密度分布・濁質濃度分布に倣ってべき乗則を用いて表現した。流速 $U(h)$ 、密度 $\rho(h)$ 、濁質濃度 $C(h)$ は、

$$\begin{aligned}
 U(h) &= U(h_3) - U(h_3)(1-h/h_3)^4 \\
 \rho(h) &= \{\rho(0) - \rho(h_3)\}(1-h/h_3)^4 + \rho(h_3) \\
 C(h) &= C(0)(1-h/h_3)^4 \quad \dots (1)
 \end{aligned}$$

となる。なお、 h は図-1 に示す様に内部境界面を原点として上方に正を取った。また $C(0)$ は内部境界面での濁質濃度で、最大値 C_{max} に相当する。

4. 実験結果及び考察

i) 混合量 Q について

先端部での周囲水の混合量を、図-1 での模式化により体積保存則を用いて以下の様に定義する。

$$Q_1 - Q_2 = Q_3 - Q_4 = Q \quad \dots (2)$$

ただし、 $Q_1 \sim Q_4$ はそれぞれの領域における流量である。まず、この混合量を運動量の釣合式より導いた算定

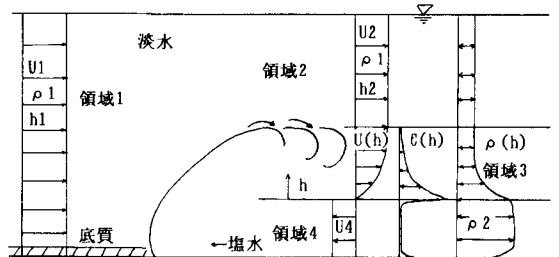


図-1

式、および実験データを整理する事により得られる平均水理量での算定式で評価する事を考えた。図-1における領域ABCDEにおいて、質量力を無視して運動量の釣合を考え、 Q/Q_1 及び h_4/h_1 をパラメータとして書き直せば次式が得られる。

$$Q_1^2 + \{(\gamma + \delta + Q_1^2)y^2 - (2\gamma + \delta)y + \gamma\}x^{-1} - Q_1^2(1-y)^2\beta + \alpha = 0 \quad \dots (3)$$

ここに、

$$\alpha = -1/30 \cdot h_1^3 g' (1-h_2/h_1-x)^2 - 1/2 \cdot h_1^3 g' x^2 - 1/5 \cdot h_1^3 g' (1-h_2/h_1-x)x$$

$$\beta = (h_2/h_1)^{-1} + 32/45 \cdot a^{-2} (1-h_2/h_1-x)$$

$$\gamma = 4/5 \cdot (h_2/h_1)^{-1} Q_1 (1-h_2/h_1-x)^2$$

$$\delta = 8/5 \cdot (h_2/h_1)^{-1} Q_1^2 (1-h_2/h_1-x)$$

$$x = h_4/h_1, \quad y = Q/Q_1, \quad g' = g(\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$$

$$a = \text{const.} \quad \dots (4)$$

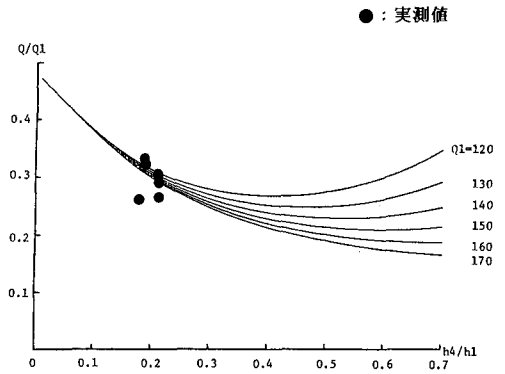


図-2

である。式(3)をグラフに示したのが図-2である。本解析では質量力を無視しており、かつ運動量式の各項の絶対値が大きく、その差し引きとして評価される混合量が高い精度が期待できないが、ほぼ実験結果と一致している。次に、更に算定のしやすい平均水理量でQを評価する事を考え、パラメータとして先端部の移動速度・層厚を用いたレイノルズ数・ $Re = U_1(h_3+h_4)/\nu$ と密度フルード数・ $Fi = U_1/(g'h_4)^{0.5}$ の自乗との積、 $ReFi^2$ を用いて整理したのが図-3である。この図から、 $ReFi^2$ の増加に伴い、混合量Qを Q_1 で無次元化した Q/Q_1 も直線的に増加している事が知られる。

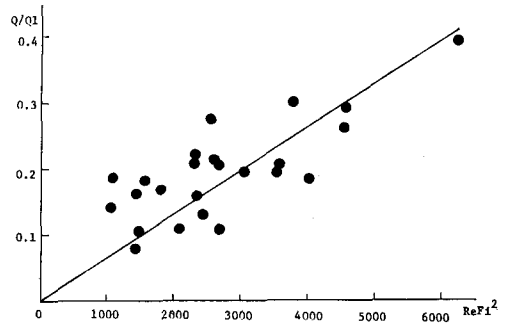


図-3

以上の様にして先端部での混合が評価できることを示したが、実際の現象は非常に複雑なものでありここでは単純化して取り扱っているうえ実験精度の都合上この程度の実測値とのばらつきはやむをえないと考えられる。

ii) C_{max} と内部境界面の安定性

濁質濃度分布の最大値 C_{max} は、内部境界面が不安定であれば領域4の塩水と混合をおこし、稀釈される。そこで、あらかじめ河床に在った濁質の濃度 C_0 により C_{max} を無次元化したものを、界面の安定を示すパラメータである $ReFi^2$ を用いて評価したのが図-4である。 $ReFi^2$ の乱流域における安定条件である177に近づくと、 C_{max}/C_0 は1に近づき様子が読み取れる。

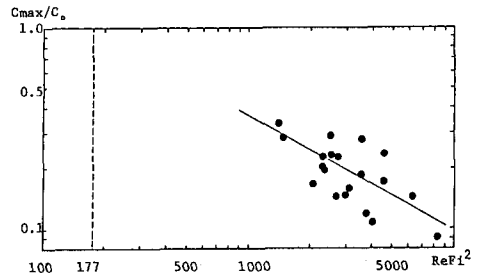


図-4

5. 結論

以上の実験の検討により、次の結論が得られた。

- i) 密度流先端部における周囲水の混合量Qを体積保存則により定義し、運動量保存則より導いた算定式により算定が可能となった。また平均水理量によってQを評価し、直線による近似を行った。
- ii) 無次元パラメータ $ReFi^2$ を用いることにより C_{max}/C_0 を評価し、これによって濁質の分布形を決定し、この分布と流速分布の積を混合層内で積分することにより、濁質の輸送量の算定が可能となった。
- iii) 実験による可視化により、底質は先端部に沿う様にして上部に持ち上げられ、大規模渦によって内部上層に主に混入されることがわかった。