

京都大学防災研究所 正会員 ○中川 一  
京都大学防災研究所 正会員 芦田 知男  
京都大学防災研究所 正会員 江頭 進治

**1. まえがき** 塩水密度流や冷水密度流に関しては、活発な研究が行われ、その流動機構はかなり解明されてきた。一方、沈降性汚濁土砂によって形成される泥水密度流に対しては、底質の巻き上げおよび粒子の沈降を考慮した研究は少なく、密度流の発達・減衰に対して、これらがどのように関与しているか不明な部分が多い。本報では、このような現象を解明することを目的として、まず、沈降粒子の堆積が卓越する領域を対象として、泥水塊先端部の移動速度、密度および波高の変化特性について、塩水塊の実験結果と比較しながら若干の実験的考察を行うとともに、路床勾配の影響について検討する。ついで、沈降粒子が底面で総堆積する境界条件を与えた場合の泥水塊の変化特性を理論的に考察し、実験値と比較検討する。

**2. 実験装置および方法** 実験水槽は、図-1に示すように、長さ13.2m、幅0.5m、深さ0.4mの勾配可変の長方形断面を有する水槽で、両面ガラス張りになっている。水槽上流部には、任意の容量と濃度をもつ泥水を作るため、ゲートが架設されている。まず、水

表-1 実験条件

| Exp. No. | $L_0$<br>(cm) | $V_0$<br>( $\text{cm}^3$ ) | $i$   | $C_0$<br>(%) |
|----------|---------------|----------------------------|-------|--------------|
| 21-1     | 36            | 50184                      | 1/100 | 1.00         |
| 21-2     | "             | "                          | "     | 0.50         |
| 21-3     | "             | "                          | "     | 0.23         |
| 21-4     | "             | "                          | "     | 0.10         |
| 21-5     | "             | "                          | "     | 0.05         |
| 22-1     | 66            | 92449                      | "     | 0.23         |
| 22-2     | 56            | 78344                      | "     | "            |
| 22-3     | 46            | 64239                      | "     | "            |
| 22-4     | 26            | 36179                      | "     | "            |
| 23-1     | 36            | 50184                      | 1/60  | "            |
| 23-2     | "             | "                          | 1/200 | "            |
| 23-3     | "             | "                          | 0     | "            |

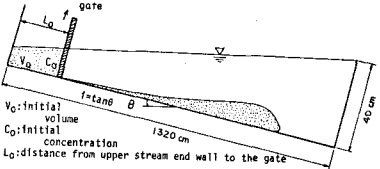


図-1 実験水槽の模式図

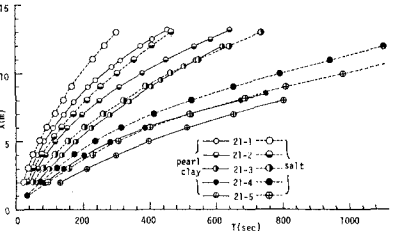


図-2 先端部の走時曲線

槽内に水置一様場を作ると同時に、上流部の泥水部分において、パールクレイ（分散処理したもの、平均粒径  $d_m=24\mu$ ）を用いて所定の濃度の泥水を作る。瞬時にゲートを抜くと泥水塊が形成され、粒子沈降および周囲水との混合による密度稀釈をおこしながら進行する。測定項目は、先端部の位置と時間との関係、濃度分布および形状であり、位置は目視により、形状はビデオカメラで測定した。また、台車に固定された自動昇降器に、光電管式濃度計を取り付け、先端の移動速度で台車を移動させながらこれを上下させることにより、濃度分布の測定を行った。測定断面は先端から50cm後方であり、これは泥塊が極端に変形しない間は、ほぼ最大波高を生じる断面である。流速分布については、初期体積、密度差および勾配を泥水塊のそれらと同一に設定して冷水塊の実験を行い、水素気泡法により計測された。実験条件は表-1のとおりであり、表中の諸記号は、図-1に示したものと対応している。なお、路床は傾角固定床である。

**3. 実験結果の考察** 図-2は、先端部位置と時間との関係を示したものであり、同じ初期密度差を有する塩水塊の実験結果も示されている。同図より明らかなように、泥水塊では、一般に同一の初期密度差を有する塩水塊の移動速度よりも小さい。これは、泥水塊中の土粒子が流下途中で沈降するために、有効重力が減少するからであると推察される。図-3および4は、それぞれ、先端部濃度および波高の場所的变化を示したものである。濃度減少の傾向には、初期濃度の違いによる有意な差はないようである。波高は、流下とともにほぼ直線的に減少する。初期濃度が大きい場合、測定区間内で先端部は相似形を保持するが、これが小さい場合には、写真1-4に示すように、波高が次第に減少し、形状も変形して最終的に停止に至る場合がある。このとき、福岡ら<sup>1)</sup>が予

図-3 先端部濃度の場所的变化

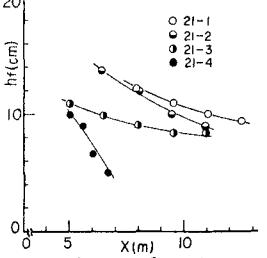


図-4 先端部波高の場所的变化

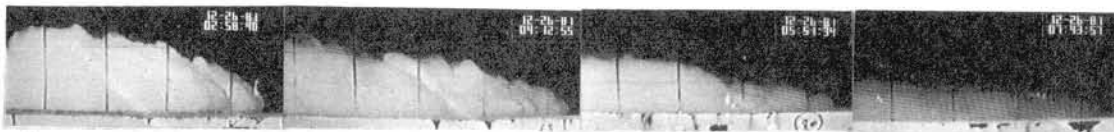


写真-1 泥水塊先端部の変形過程

写真-2 (右上の数字は実験日および経過時間) 写真-3 (1メッシュ=5×10cm)

写真-4

測したような、流塊の分離はみられなかった。図-5および6は、他の条件を同一にして勾配を変化させた時の先端部の走時曲線と濃度の場所的变化を示したものである。勾配が大きいと、有効重力の流下方向成分が増すことによって移動速度が大きくなる。また、Exp. 23-1と23-3との比較よりわかるように、移動速度が小さい場合には、先端部での連行と粒子沈降との相乗効果によって、密度減少が顕著になる。このことがさらに移動速度を減少させる原因になっている。なお、 $i=0$ および $1/200$ の場合には、もはや先端部は最大変高を有するような形状を示さなかった。

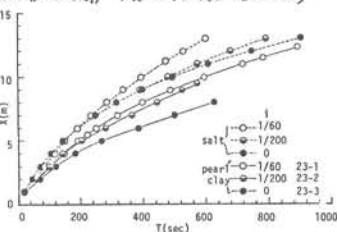


図-5 先端部の走時曲線

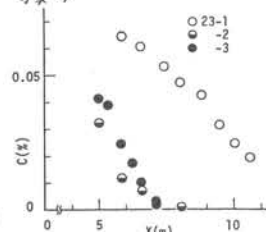


図-6 先端部濃度の場所的变化

**4. 理論的考察** 図-7に流れの模式図を示す。先端部が、幾何学的、力学的および運動学的相似性を保持する条件を対象にすると、形状、密度および流速に関する相似パラメータは、つぎのようにおける。

$$ks_1 = h_{20}/h_f, ks_2 = l_f/h_f, ks_3 = -\dot{z}_2/h_f, ks_4 = A_f/h_f^2 \quad (1)$$

$$k_p = \Delta\beta_{20}/\Delta\beta_f \quad (2) \quad k_u = U_{20}/U_f \quad (3)$$

ここに、 $h_f$ ,  $\Delta\beta_f$ ,  $U_f$ ,  $A_f$  : それぞれ、先端部変高、密度差、移動速度および面積、 $h_{20}$ ,  $\Delta\beta_{20}$ ,  $U_{20}$  : それぞれ、先端部とその後方部との接続断面(I)における変高、密度差、および流速、 $\dot{z}_2$  : 先端部垂いの変位を原点として接続断面の座標である。

これらの相似パラメータ、先端部への周囲水の連行量を規定するパラメータ $\alpha$ 、形状、底面および界面の抵抗係数 $C_d$ ,  $f_b$ および $f_s$ などの値が、他の水理量によって変化しないと仮定すると、先端部変高、密度差および移動速度に関する支配方程式は、それぞれ、次式で与えられる。

$$dh_f/dx = b_1 \quad (4) \quad d\Delta\beta_f/dx = \Delta\beta_f/h_f \cdot (b_2 + b_3 u_0/U_f) \quad (5)$$

$$U_f dU_f/dx + b_4 U_f^2/h_f = b_3 \Delta\beta_f/\rho_0 g \quad (6)$$

ここに、 $b_1 = \{ks_1(ku-1) + \alpha\}/(2ks_4 - ks_1ks_3)$ ,  $b_2 = ks_1/ks_4 \{ (1 - ku)X(1 - kp) - b_1ks_3(1 - kp) - \alpha/ks_1 \}$ ,  $b_3 = 1/ks_4 \{ ks_1 \tan \theta + 1/2 \cdot kp \cdot ks_1 \cos \theta \}$ ,  $b_4 = -ks_1(1 - ku)^2 + b_1ks_1ks_3(1 - ku) + \alpha + 1/2 \cdot C_d \{ 1 + ks_2/C_d \cdot (f_s/f_b) \}$ ,  $b_5 = \rho ks_2/ks_4$  で、 $\rho \omega C_f = \{ \epsilon \alpha^2/2 |z_{20} + \omega C_d z_{20} \}$ ,  $\omega$  : 沈降速度,  $C_f$  : 先端部濃度,  $\epsilon$  : 抵抗係数の比。

図-8, 9および10は、 $\beta = -1$ 、すなわち、底面で沈降粒子が総捕獲する境界条件における、変高、密度差および移動速度の理論値と実験値とを比較したもので、基準地点 $x = x_0$ におけるそれぞれの値で無次元化されている。同図では、沈降速度および連行量を種々変化させているが、密度差および移動速度とも、粒子の沈降速度を考慮した場合、理論値はかなりよく実験値を説明することがわかる。

**5. むすび** 今後、底質の巻き上げによる密度流の発達機構や、沈降、巻き上げが相似パラメータに与える影響についても理論的・実験的に考察する必要がある。なお、本研究は一部文部省科学研究所費(奨励A)の補助を受けに。ここに記して感謝いたします。《参考文献》1) 福岡水村・加納, 第21回水論 2) 中川・夢田・江頭, 第36回水論

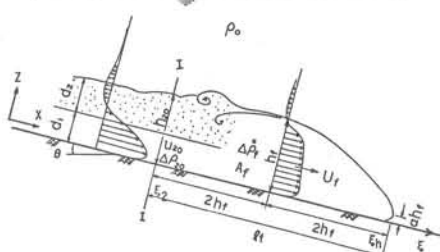


図-7 流れの模式図と記号の説明

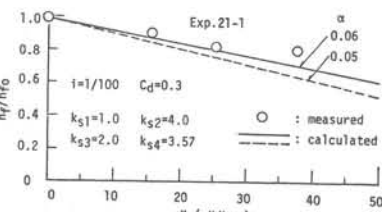


図-8 先端部変高の計算値と実験値との比較

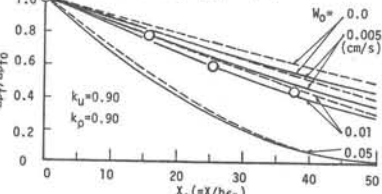


図-9 先端部濃度の計算値と実験値との比較

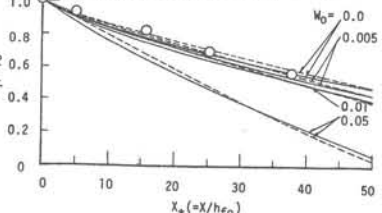


図-10 先端部移動速度の計算値と実験値との比較