

泥水塊の変化特性

京都大学防災研究所 正会員 ○中川 一

芦田 和男

江頭 進吾

1. まえがき 微細土砂を多量に含んだ泥水密度流と、水温差あるいは溶解物質の濃度差に起因して生じる密度流との本質的な相違は、前者が沈降性浮遊物質から構成されている点であって、泥水密度流では、粒子の沈降、巻き上げによっても先端部の移動速度、強度および波高の発達・減衰特性が変化することが推察される。本報では、このような現象を説明することを目的として、種々の初期濃度を与えに場合に形成される泥水塊先端部分の移動速度、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考察を行うとともに、路床勾配の影響について検討する。さらに、底面の境界条件として純堆積の条件を与えに場合の泥水塊の変化特性を理論的に考察する。

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水槽で、両面ガラス張りになっている。水槽内に水温一様場を作り、水槽上流端付近に設置したゲートで仕切りられる部分にパールクレイ（分散処理されたものは、 $d_{50}=2\mu$ ）を投入して泥水を作る。ゲートを瞬時に抜くと泥水塊が形成されるが、底面が沈降粒子の堆積が卓越する実験領域のため、流塊は周囲水との混合および粒子沈降による密度稀釈を起こしながら流下する。測定項目は、先端部の位置、密度および形状であって、位置は目視で、形状はビデオカメラで測定した。濃度分布の測定には光電管式濃度計（Xロ電機）を用

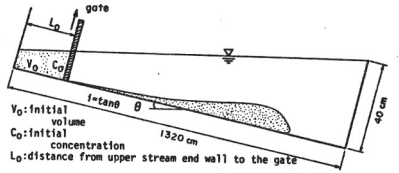


図-1 実験水槽の模式図

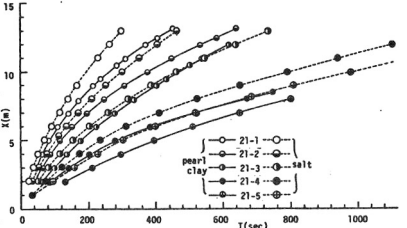


図-2 先端部の定時曲線

表-1 実験条件

Exp. No.	L_0 (cm)	V_0 (cm ³)	i	C_0 (%)
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	"

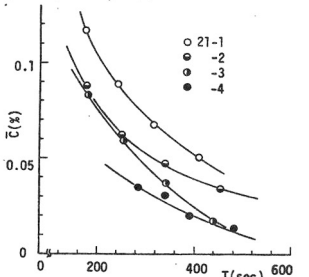


図-3 先端部濃度の時間変化

い。なお、流速分布は、初期体積、密度差および勾配を泥水塊のそれと同一に設定した冷水塊の実験を行い、水素気泡によって求めた。実験条件は表-1のとおりであって、記号は図-1のものと対応し、水槽底面は滑面の固定床である。

3. 実験的考察 図-2, 3 および 4 は、それぞれ泥水塊先端部位置、濃度および波高の時間変化を示したものである。図-2には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、泥水塊では粒子沈降による有効重力の減少のため、一般に移動速度は同一の

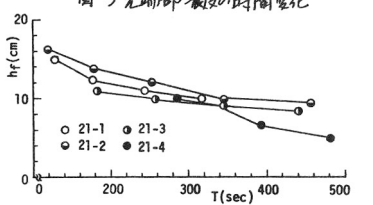


図-4 先端部波高の時間変化

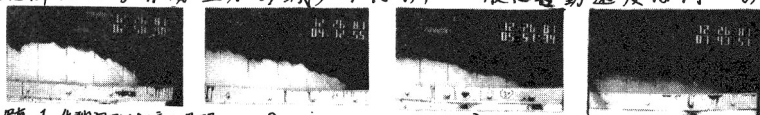


写真-1 先端部形成の推移過程 (1: 22-2, 2: 22-3, 3: 22-4, 4: 22-5) (右の数字は実験開始から泥水塊先端部の経過時間) 1メッシュ5x10cm

HAJIME NAKAGAWA, KAZUO ASHIDA, SHINJI EGASHIRA

初期密度差を有する塩水塊のそれよりも小さい。初期濃度が大きい場合、測定区間内で先端部分は相似形を保持するが、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²⁾が予測したような、流塊が2つに分離するという事は起こらなかった。図-5および6は、勾配だけを変化させた

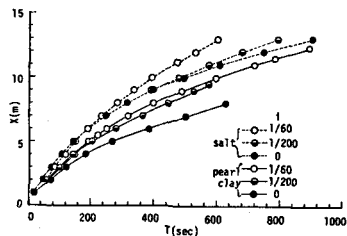


図-5 先端部の走時曲線

時の先端部の走時曲線および濃度の場所的变化を示したものである。勾配が大きいほど有効重力の流下方向成分が増すため、移動速度は大きい。また、それとは逆に、勾配が小さくなるとそれが減少し、移動速度も小さくなる。さらに、Exp.23-1と23-3との比較より明らかのように、先端部分での運行と粒子の沈降との相乗効果のため、移動速度が小さくなると密度減少が顕著になるのがわかる。なお、 $i=0$ および $1/200$ の場合には、もはや先端部は最大波高を有するような形状を示さなかった。

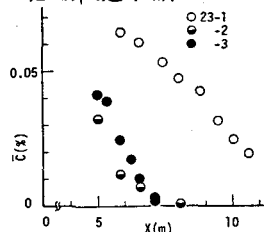


図-6 先端部濃度の場所的变化

4. 理論的考察 泥水塊先端部が幾何学的・力学的および運動学的相似性を保持している間、先端部波高 h_f 、密度差 $\Delta \rho$ および移動速度 U_f に関する支配方程式は次式のように表わせる。

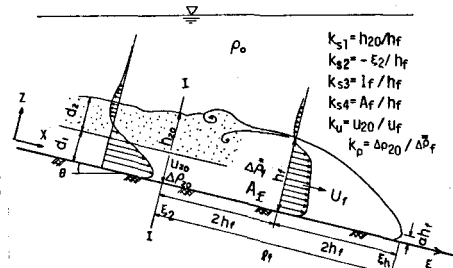


図-7 流れの模式図と記号の説明

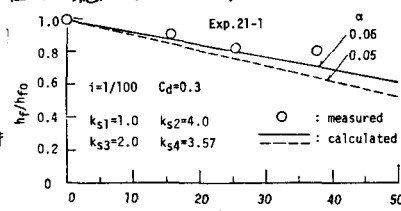


図-8 先端部波高の計算値と実験値との比較

ここに、 $b_1 = \{k_{s1}(k_{u-1}) + \alpha\} / \{2k_{s4} - k_{s1}k_{s3}\}$, $b_2 = k_{s1}/k_{s4} \{ (1 - k_u X(1 - k_p) - b_1 k_{s3} (1 - k_p) - \alpha / k_{s1})$, $b_3 = 1/k_{s4} \{ k_{s4} \tan \theta + 1/2 k_p k_{s1} \cos \theta \}$, $b_4 = -k_{s1} (1 - k_u)^2 + b_1 k_{s1} k_{s3} (1 - k_u) + \alpha \{ 1/2 k_{s4} / C_0 (j_i + j_b) \}$, $b_5 = \beta k_{s2} / k_{s4}$ で、 $\beta = \{ \epsilon^2 \partial^2 z / \partial x^2 + \omega_0 c / z_0 \} / \text{const}$ ($\because \Delta \rho_f = C \times \text{const}$) とおき、 $\beta = -1$ とおくと純堆積の条件を与える。 ω_0 : 粒子沈降速度である。 $b_1 \sim b_5$ は相似パラメータの値が水理量によって変化しないと仮定すると定数である。なお、相似パラメータおよび先端部における流れの模式図と各記号が図-7に示されている。図-8, 9 および 10 は、 $\beta = -1$ すなわち、底面での沈降粒子が純堆積する境界条件のもとで計算された先端部波高、密度および移動速度の場所的变化を示したものである。これらの図より、粒子の沈降速度および先端部分での周囲水の取り込み量を種々変化させて計算を行、結果、先端部密度および移動速度とも、粒子の沈降速度を考慮した場合、かなりよく実験値を説明することがわかる。

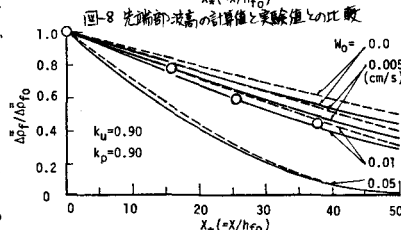


図-9 先端部速度の計算値と実験値との比較

5. おわりに 今後、粒子の沈降が相似パラメータに与える影響についても、理論的・実験的に考えていく必要がある。

<参考文献> 1) 中川、芦田、江頭：泥水塊の挙動に関する研究、第36回年報、1987
2) 福岡、木村、加納：泥水密度流先端部の流動特性、第21回水論、1977
3) 江頭、芦田、中川：密度流先端部の挙動に関する解析理論、第36回年報、1987

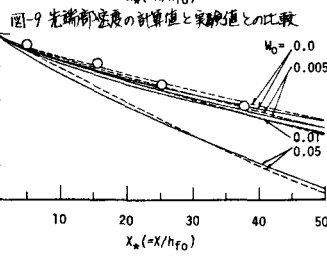


図-10 先端部移動速度の計算値と実験値との比較