

京都大学防災研究所 正員 矢野勝正

大阪府立工業高専 正員 〇 大同淳之

1. はしがき 泥水は流砂量の増加ともならず。この量を明らかにするために実験を行ない、若干の考察を試みた。泥水が砂れきの掃流におよぼす影響を列挙するとつぎのようである。

- 1) 流れの密度の増加による外力の増加
- 2) 砂れきの液中重量の減少
- 3) 泥の含有による底面付近の流速の変化
- 4) 抵抗係数 C_D の変化による抵抗力の増加
- 5) 揚力係数の変化による揚力の変動
- 6) 流体中の乱れの規模の変化
- 7) 流体中に存在する粘土粒子のフロックスが砂れきの運動におよぼす影響

1), 2) はよえられるもの, 3) は流れの規模がわかると従来の研究から流れの領域の区別と流速の予測は可能である。4) は広義の Reynolds 数を用いると抵抗係数が規定されるので、影響の度合の全く不明なのは 5) 以下である。6) は泥水の取扱いの際、従来から経験するもので、それ程高くはない濃度において泥水より重い質量の固体粒子と流体中に保持する能力というものである。以上の影響と今後思考する手掛りとして、泥水を用いた掃流の実験を行った。

2. 泥水による掃流の実験 掃流現象の機構を明らかにするためには、単一砂れきの流体中の運動を追跡する方法と、集団としての砂れきの運動を追求する方法があるが、泥水中では前者の方法はとり得ないので、後者の集団としての移動特性としらぐに。

i) 泥水の性質 泥水の作製に用いた粘土は、中央径 $d_{50} = 0.34 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 、標準偏差 $(d_{84}/d_{16})^{1/2} = 2.42$ のもので、泥水の性質は粘土粒子が水中で作るフロックスの濃度によって規定される。フロックスの容積濃度 ϕ_F は、 $\phi_F = C_{FS} \cdot \phi_s$ 、…… (1)、ここに C_{FS} は粘土粒子が水と媒介に結合する強さを表わす係数、 ϕ_s は粘土粒子の容積濃度、で表され、この実験に用いた粘土では $C_{FS} = 2.1$ である。泥水の粘度 M_s は $M_s = M_0 \{ 1 + 3 / (1/\phi_F - 1/0.52) \}$ 、 M_0 は水の粘度、せん断降伏値 τ_y は、 $\tau_y = A_1 (\phi_F - \phi_{Fc})^3 + A_2 \phi_F^2$ (2) で表され、右辺第1項はフロックスの集団の破壊に要する力、第2項はフロックス間の構造粘性に費される力で、 A_1, A_2 は係数、 ϕ_{Fc} は下限降伏値の生じ始めるフロックス濃度で、この泥水では $A_1 = 4.5$ 、 $A_2 = 0.131$ 、 $\phi_{Fc} = 0.17$ であり、この泥水は静置したとき、 $\phi_F / 0.50$ 位より泥水より重い固体と液の表面にのせ始める。図1は固体がいくらか液中に沈んで釣合の状態に静止したときの沈んだ深さと載荷量の関係を示す。また $\phi_F > 0.52$ の泥水と数日放置しても泥は沈降しなくなる、これらはいずれも液中にフロックスの存在を示すもので、フロックスと球とみなすと $\phi_F = 0.52$ が全容積とフロックスで満たすことになり、後者はフロックス間の抵抗により、荷重を支持するものとみえられる。事実載荷体の浸水部周辺に於いて泥水のせん断抵抗を求めると、(2)式の τ_y と一致する、これらよりフロックスは流動程度のせん断では破壊せず、フロックスの存在は乱れの抑制、跳躍中の砂れきの支持に於くことが予想される。

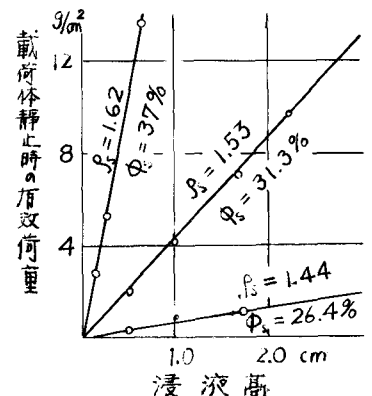


図1 泥水が液面に物体を保持する力

ii) 砂れきの平均移動速度と流砂量の測定 幅 20 cm、長さ

9mの水路に、平均径0.813cm、比重2.602の自然砂としき、砂面の1部にさきの砂れきと同じ性質の2種類の着色砂をおき、流れにより、移動する砂れきの移動分布と所定の時間毎にしらべた、同時に水路下流端で流砂量と測定した。実験に用いた泥水の濃度は粘土粒子の容積濃度 $\phi = 0.20$, $\phi_F = 0.416$ 、流体の単位重量は 1.34 g/cm^3 まので、河床形態は plane bed であった。各時間における集団としての砂れきの平均移動距離 $\bar{x}$ およびその分散 σ^2 は、 λ と泉奥からの距離、 $f(x)$ と λ の位置における着色砂の密度とすると、

表1 実験値の諸元

w_0 g/cm ³	h (cm)	I	$\frac{1}{\psi} - \frac{1}{\psi_0}$ $\times 10^3$	$d\bar{x}/dt$ (cm/s)	g_0 (cm ² /s)	K_2 K_1	$\frac{1}{\lambda_1 d}$	$\lambda_2 \left\{ \frac{\sigma^2}{(\phi_F - 1)g} \right\}^{1/2}$ $\times 10^5$
1.0	3.75	2.19	1.08	0.029	0.01	0.44	32.9	0.24
"	4.0	2.05	1.14	0.028	"	0.44	19.7	0.39
"	4.38	2.05	1.62	0.23	0.05	0.60	16.1	3.18
"	4.28	2.10	1.76	0.098	0.35	0.43	21.9	1.26
"	4.72	2.10	2.44	0.84	2.80	0.43	28.9	8.11
1.34	4.0	2.0	5.44	1.9	4.4	1.16	25.2	34.7
1.33	5.7	2.0	9.60	5.3	47.9	1.09	47.9	40.6
1.33	5.7	2.0	9.60	5.6	48.0	1.06	96.9	40.0
1.32	6.65	2.0	11.85	10.0	85.4	1.05	53.0	67.8
1.31	6.25	2.0	10.6	8.1	67.8	1.04	41.1	70.0
1.30	7.20	1.0	3.0	1.0	18.6	1.03	39.0	90.6
1.25	4.90	1.0	1.25	0.48	6.4	1.64	14.0	11.6
"	4.8	2.0	5.9	1.94	12.1	0.77	24.3	27.3
1.25	3.6	2.0	3.2	6.9	9.0	0.16	73.0	32.2
1.29	5.75	1.0	1.9	0.044	0.13	0.36	43.5	4.3
1.17	4.9	1.0	0.10	0.012	0.14	0.39	34.2	0.92

$$\bar{x} = \int_0^\infty x \cdot f(x) \cdot dx \quad \dots \dots (3) \quad \sigma^2 = \int_0^\infty (x - \bar{x})^2 f(x) \cdot dx \quad \dots \dots (4)$$

と表される。砂れきの集団の平均移動速度は $d\bar{x}/dt$ と表されるから、これに移動層内の砂れきの個数と砂れきの体積と掛けることによって、流砂量を表わすことができる。この実験とくに $w_0 = 1 \text{ g/cm}^3$ のときには殆んど着色砂が表面で回収されるから、砂れきの移動層は1層とみてよい。したがって、単位時間、単位幅あたりの容積を表わす流砂量 g_0 は、つぎのように表される。

$$g_0 = (1/K_1 d^3) K_2 d^3 (d\bar{x}/dt) \quad \dots \dots (5)$$

こゝに K_1 , K_2 は砂れきの形状によつてきまる定数で、 K_2 は砂れきの容積率、 K_1 は1に近いとみえらる。式(5)を $U_m d$ で除して無次元すると

$$(g_0/U_m d) = (K_2/K_1) (d\bar{x}/dt) (1/U_m) \quad \dots \dots (6)$$

となる。移動層の厚みが1層のとき上の表より K_2/K_1 は0.5内外とみえらるが、 $d\bar{x}/dt$ と流砂量の測定値から逆算した K_2/K_1 の値は清水の場合には、表1に示すようにこの値を示している。

iii) 実験結果についての考察 表1において、清水と泥水における流砂量と流れの強度($1/\psi - 1/\psi_0$) $= (U_m^2 - U_{m0}^2) / (1/\psi - 1/\psi_0) d$ がほぼ同じ場合について比較すると、泥水において非常に多い。 $d\bar{x}/dt$ 、流砂量の測定値から逆算した K_2/K_1 が泥水の場合、流れの強度が大きいところで清水に2倍の値を示すことは、砂れきの移動が活発で、2層目と流れに巻き込まれていくとみえらる。しかし増加量の大半は移動速度の増大によるがなわれている。D. Hubbel¹⁾、土屋、道土および若者の²⁾によつて取扱れた流砂の確率モデルによると、 $d\bar{x}/dt = (\lambda_2/\lambda_1)$, $\sigma^2 = 2(\lambda_2/\lambda_1^2) \cdot t$ なる量に比例づけられ $1/\lambda_1$ は砂れきの1stepの平均移動距離、 λ_2 は単位時間あたりの移動確率と意味する。両者いずれも泥水の場合には増大しているが移動確率のほうが増加が著しい。これは流体と砂れきの比重差の減少が一因とみえらる。若干の仮定を用いて清水、泥水を通じて沈降速度の関係量と $(\frac{\sigma^2}{t} - 1) \frac{g d^4}{\psi}$ で表わし、 $d\bar{x}/dt$ と無次元流れの強度との関係を求めると図2となる。この図から清水、泥水が一つの関係で表せると仮定すると、泥水の $d\bar{x}/dt$ は清水のものの 2/3 倍になる。この研究に昭和43年科学研究所の補助と受けにことに御礼申します。 1) Hubbell, D.W. et al. Proc. A.S.C.E. Vol. 40 HY3 1964 PP.39-68 2) 天野、土屋、道土、京大防災研年報 71 号B (昭43.3) PP.61-73

