

河道堆積物中の微細粒子の流出特性

京都大学 防災研究所 正員 芦田 和男
 京都大学 防災研究所 正員 江頭 進治
 京都大学 大学院 学生員 小川 義忠

1. 緒言 山腹崩壊などにより多量の土砂が河道に供給されると、河道変動がほとんど起らない程度のわずかな増水によっても、流水濁度が急激に増加するという現象が各地で観察されている。このような流域においては、従来の経験則から流水濁度を推定することは不可能であり、それに代る推定手法の開発が必要である。本論においては、河道堆積物中の微細粒子の流出機構について、表流水と堆積物中の水との交換および土砂の侵食・堆積を考慮した機構を考え、流出濃度の推定モデルを提案する。また、式中に含まれる交換速度、および侵食・堆積を通して起る微細粒子の流出量と、水の交換を通して起るそれとの比較を実験的に検討する。

2. 河道堆積物中の微細粒子の流出モデル いま簡単のため河道堆積物は掃流運搬されるものと、い。たん浮遊すると堆積しないものから構成されているとし、図-1を参考にして表流水と堆積層内における微細成分に関する濃度の連続式を表わすと、それぞれ次のようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \lambda (C_B - C)(V_e + E)/h \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} + U_B \frac{\partial C_B}{\partial x} = -(C_B - C)(V_e + D)/h_p \quad (2)$$

ここに入：微細成分を除いた堆積物の間隙率、 V_e ：表流水と交換層内の水との交換速度、 E, D ：間隙を含めた侵食速度および堆積速度、 h_p ：交換層厚、 C_B ：交換層間隙中の濃度、 U_B ：交換層内の平均流速。なお上式において E および D が支配する間隙の濃度はそれぞれ C_B および C である。

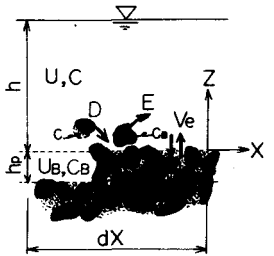


図-1 微細粒子の流出モデル

3. 実験および実験条件 実験は、式(1),(2)に含まれる交換速度 V_e の評価、および河床変動による流出量と水の交換によるそれとの比較を行なうために、以下のような方法で行なわれた。使用した水路は幅20cm深さ20cm長さ9mのものである。堆積物は $d_{50}=0.37\text{cm}$ のほぼ一様な粗砂と、 $d_{max}=30\mu$ のパールクレイトを重量比19:1で混合したものである。これを図-2に示すように6mの区間にわたって敷きならした後通水し、所定の位置(ST1~ST5)において表流水濃度の、また20cm間隔で水位河床高の時間的変化を測定した。堆積物の間隙濃度は、通水停止後採砂および採水管により調べられた。なお濃度は発光ダイオード型濃度計で、水位河床高は砂面測定器およびポイントゲージで測定された。実験条件は表-1に示すとおりである。なお、粗粒子の間隙率 λ は0.43であった。

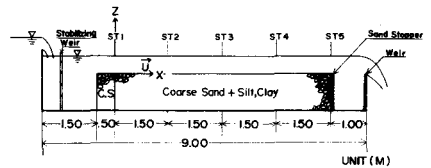


図-2 実験水路

表-1 実験条件

Exp. No.	Q(l/sec)	h	h(cm)	U(cm/sec)	U _B (cm/sec)	U/U _B	Note
1	0.90	1/50.4	1.357	33.30	5.14	6.48	粗砂のみの場合 (予備実験)
2	0.53	1/49.1	0.968	27.48	4.39	6.25	"
3	1.07	1/49.7	1.493	36.31	5.81	6.21	"
4	3.24	1/57.5	3.000	55.40	7.16	7.75	粗砂のみの場合より、パールクレイトの混入

4. 実験結果および考察 図-3はExp. 2, 3 ($E=D=0$) の表流水濃度の時間的空間的变化を示すもので、濃度は下流に向かって増加率がほぼ一定であり、また時間的に C_b の減少にともない指数減衰に近い形で減少することがわかる。図-4はExp. 4の表流水濃度の測定値である。侵食および水流の交換による流出が、河床変動が微小になるまで長時間継続するので、図-3のものに比べ濃度の時間的減衰がゆるやかになっている。図-5はExp. 3, 4の堆積層間隙濃度を示すもので、深さ方向に濃度勾配があり河床面近傍のある深さまで水流の交換が存在することがわかる。図-6は下流端からの累積流出量 S_f の時間的变化を見たものである。粗い粒子が移動しないExp. 2, 3では、交換層内間隙水と表流水との混合が進み、交換層間隙中の微細粒子が減少するとともに流出量も急減する。一方砂の移動があるExp. 4では、粗粒子の剥離により、また、流水の交換を受けてない堆積物が新たに交換層に組み込まれるため、微細粒子の流出は長時間持続する。

つぎに図-6を用いて交換速度 $\bar{v}_e$ の算定をしよう。まず粗粒子が移動しない場合について、実験初期の累積流出量から、 $\bar{v}_e = Q \int_0^{T+\Delta T} C dt / (\lambda \cdot C_0 \cdot B \cdot L \cdot \Delta t)$ を用いて堆積層全区間の平均的な交換速度を求めるとExp. 2, 3においてそれぞれ $\bar{v}_e = 1.20 \times 10^{-3}$ (cm/sec), 1.41×10^{-3} (cm/sec) が得られる。粗粒子の移動があるExp. 4では、交換層の厚さを一粒径程度として層内の濃度を拡散方程式から推定し、 $Q \cdot C_{ave} = \bar{v}_e \cdot \lambda \cdot C_0 \cdot B \cdot L + \lambda \cdot C_0 \cdot (E-D) \cdot B \cdot L$ より $\bar{v}_e$ を求めると、 $\bar{v}_e = 3.7 \times 10^{-3}$ (cm/sec) を得る。交換速度 $\bar{v}_e$ は次元解析的考察から、主に $\bar{v}_e / U_* = f(U_* d / \nu)$ なる関数表示が期待される。そこで、この関係を見たのが図-7である。交換層内の濃度の推定にかなりの誤差が見込まれるため関数関係については今後の課題であるが、 $U_* d / \nu$ の増加につれて $\bar{v}_e / U_*$ も増加するようである。つぎに粗粒子の移動がある場合について、水の交換による流出量 q_{ve} と河床変動によるそれ q_E との比をとると、 q_{ve} / q_E は5.6~25.4の範囲で、ほとんどが流水の交換によって流出していることになり、かなりの誤差が見込まれるにせよその重要性がうかがえる。

5. 結論 河道堆積物中の微細粒子の流出モデルを提案し、水の交換による流出成分について交換速度 $\bar{v}_e$ を用いて実験的に考察した。その結果、水の交換による流出成分は全体の流出量に比して無視できないことが明らかになった。今後 $\bar{v}_e$ の評価をより詳しく行なうとともに、 C_0 について微細粒子の沉降、付着、離脱を考慮し、モデルの改良をしていきたい。

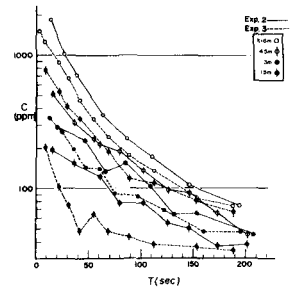


図-3 表流水濃度変化 (粗砂の移動なし)

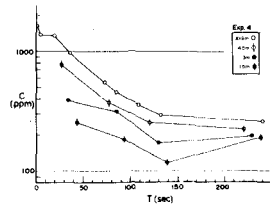


図-4 表流水濃度変化 (粗砂の移動あり)

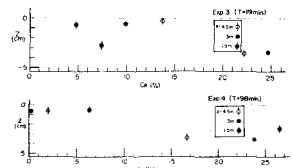


図-5 堆積層間隙濃度

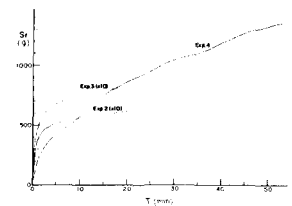


図-6 微細粒子累積流出量 (Exp. 2, 3 については10倍の値が記入されている)

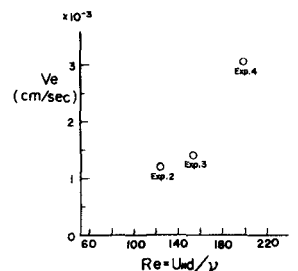


図-7 交換速度と砂粒レイル数との関係