

河川における濁質の流送に関する一考察

京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
京都大学大学院 学生員 〇中井 俊雄

電力中央研究所 正員 牛島 省

1. はじめに；本研究は、粒径が 10μ 程度の濁度物質の開水路流れにおける輸送過程を1次元解析法により解析するものである。具体的には、まず河道内における濁質収支について一般的な考察を行い、1次元解析法による水理学的モデルを考察した。さらに、濁度物質の流下過程について、水路床の状態を種々にかえて基礎的な水理実験を行い、得られた濁度の変化特性および特性パラメータを明らかにした。また、この1次元数学モデルおよび特性パラメータを用いて、河川における濁水現象の若干の数値解析を行い、現地河川への適用性について検討するとともに、河川における濁質流送過程について考察した。

2. 河川における観測結果と一般的な濁質収支に関する考察；

図-1は近畿地方のある山地小河川における貯水池より放流された濁水による濁水現象の例であり、降雨後のゆるやかな濁度低減期に得られた濁度観測結果を片対数紙上に示したものである。No. 31（実線）は、降雨終了27時間後の比較的流量の多い時（上流端流量 $Q=12.08\text{ m}^3/\text{s}$ ），No. 37（破線）は、降雨終了75時間後の流量が少ない時（ $Q=3.05\text{ m}^3/\text{s}$ ）の観測結果である。これらに示されるように、濁度は流下方向に指数関数的に低減している。また、その勾配は、流量が少ないほど急勾配となっている。

このような濁度の低減をもたらす機構としては、濁質自身は保存性物質と考えてよく、また 10μ 程度の微細粒子であり、流れへの追随性も高いので、濁度の保存則（通常の乱流拡散方程式）に1次元解析法を適用すれば容易にわかるように流れと水路側壁や水路底などの境界面における種々の形態の濁質の流出入を考えることができ、次式を得る。

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (AD \frac{\partial C}{\partial x}) - S V_b C \pm q' C' \quad (1)$$

ここに、 c ；濁質濃度、 A ；流積、 Q ；流量、 D ；分散係数、 S ；潤辺、 q' ；単位長さあたりの表面流出入流量、 V_b ；総括的な減衰速度である。 V_b の具体的な内容としては、図-2に示されるような項目を考えると、

$$V_b = (\alpha V_{e2} - \beta f V_{f2} f_{b2}) + \lambda (V_{e3} - V_{e3} f_{b3}) - \frac{\partial q_{so}}{\partial x} + \frac{\partial q_{si} f_{si}}{\partial x} \quad (2)$$

である。ただし、(2)式において、流出濁度は、すべて断面平均濁度に等しいとし、流入濁

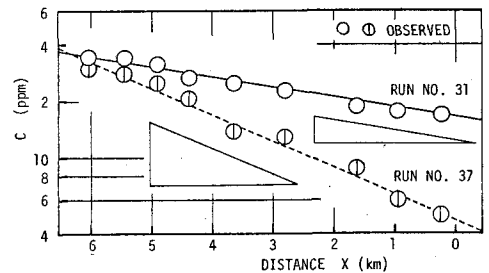


図-1 濁度の縦断分布

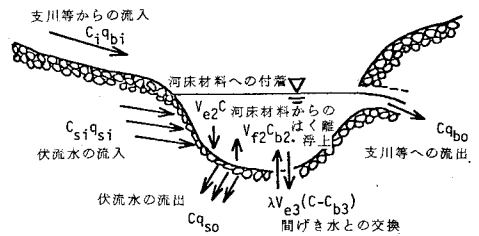


図-2. 河川への濁質流出入のモデル概念図

濁度の保存則（通常の乱流拡散方程式）に1次元解析法を適用すれば容易にわかるように流れと水路側壁や水路底などの境界面における種々の形態の濁質の流出入を考えることができ、

度は、それに比例（比例定数 k ）するものとした。

3. 実験方法と実験結果の考察；(1)式中の減衰速度 V_b に関して、矩形断面水路の水路床の状態を種々にかえて実験を行った。濁度物質としては、カオリン($d_{50} = 3 \sim 10 \mu$)懸濁液を用い、所定流量の清水流を流している水路上流端1~2 m付近の点より、水路幅方向に一様にカオリン懸濁液を定常的に投入し、光電式濁度計により、流下方向の濁度を1~4 m毎に測定し、定常状態の濁度の縦断分布を調べた。水路床の状態としては、1)滑面；アクリル製(CB Series)，アルミニウム製(CA)，2)粗面；代表粒径 $d_m = 0.264 \text{ cm}$ (A)，3)浸透性粗面； $d_m = 0.264 \text{ cm}$ ，層厚1 cm(B)， $d_m = 0.402 \text{ cm}$ ，層厚2 cm(D)， $d_m = 0.692 \text{ cm}$ ，層厚4 cm(E)， $d_m = 1.16 \text{ cm}$ ，層厚4 cm(F)の7種について行い、流量、路床勾配を変化させて38通りの実験を行った。実験諸量については、紙面の都合上省略するが、得られた濃度分布の例を示せば図-3のようであり、いずれの路床状態の場合でも、図に示されるように、流下に従い指数関数的に減少することがわかる。(1)式は、今の場合分散項を省略でき

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\frac{V_b}{\theta} C \quad (3)$$

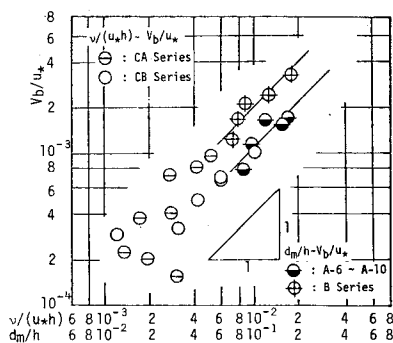


図-4, $\frac{V_b}{u_*} \sim \frac{d_m}{h}$ 及び $\frac{V_b}{u_*} \sim \frac{d_m}{h}$ の関係

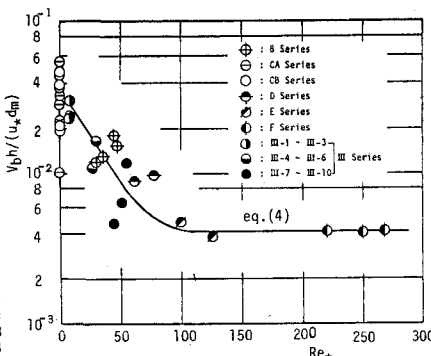


図-5, $\frac{V_b h}{u_* d_m} \sim Re_*$ の関係

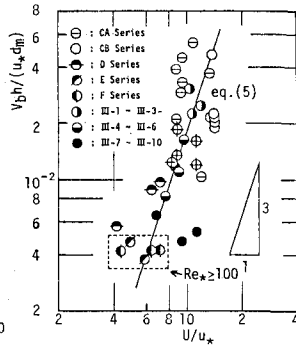


図-6, $\frac{V_b h}{u_* d_m} \sim \frac{U}{u_*}$ の関係

と変形できる(8；単位幅流量)ので、図-3の直線の勾配より減衰速度 V_b を求めた。次元解析結果の一例を示せば、図-4~6のようであり、

$$Re_* (= \frac{u_* d_m}{\nu}) \geq 100 \text{ で } \frac{V_b}{u_*} \sim \frac{d_m}{h} = 4.10 \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$Re_* < 100 \text{ で } \frac{V_b}{u_*} \sim \frac{d_m}{h} = 1.80 \times 10^{-5} \left(\frac{U}{u_*} \right)^3 \quad (5)$$

の関係を見ることができ。なお、これらの図には、同種の実験を行った小川の実験結果²⁾も示している。

4. 実河川への適用； V_b の推定式として(4)式を用いるものとして、(1)式に従って、図-1の例について数値計算を行った結果を示すと図-7のようである(ただし、 $d_m = 4.0 \text{ cm}$)。

5. おわりに；本報文中では、濁質収支の内部機構については小れず、総合的な減衰速度についてののみ述べた。今後、濁質収支の内部機構を検討するとともに、総合的な減衰速度との関係について研究をすすめてゆきたい。最後に、御協力いただいた京都大学工学部綾史郎助に深く感謝致します。《参考文献》1) 小島省：京都大学修士論文，1984 2) 小川義忠：京都大学修士論文，1980

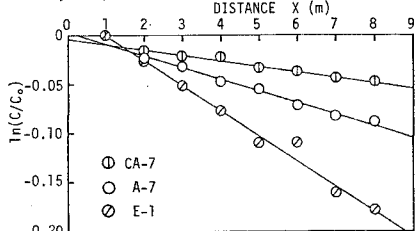


図-3, $C \sim X$ 曲線

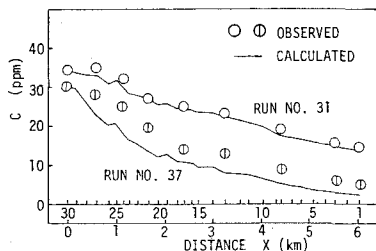


図-7, $C \sim X$ 曲線