

序 貯水池の濁り、汚濁河川の濁り、汚染の影響を受ける湖水や海洋では、水中に浮遊する微細粒子が主役と演ずる。微細粒子の構成は、細砂、シルト、粘土、重金属などの無機物のほか、微生物や他の有機物などが一般的で、その濃度や物質構成が広い意味での水質を支配している。このような微細物質の物理物性的な資料、生物化学的な研究は強力に推進されているが、流れの中の挙動については未知の点が多く、水域の水質と空間的・時間的に的確に評価し得るには至っていない。

微細物質を物理的にみれば溶解物質もしくは沈降性物質ということになり、後者を流水が一次元的とみなせる水環境で数式化すれば次式となる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + R \quad (1)$$

ここに C : 物質濃度, D : 分散現象にかかわる係数, R : 発生源・消滅にかかわる評価値。

そして、その物質の輸送特性と解明することは、その水環境での R の評価と確定することにほかならない。筆者は微粒子には違いないが、塊形状のコークス粉 (0.088mm のフルイと通過したもの) と花弁形状のもつカオリンの二種の沈降性物質を用いて水路実験で R を評価し、両者に大きな違いがあることを見出した。このような単純な素材を用いても、微細粒子の流送が複雑な性格をもつものであることを紹介したい。

実験装置と濃度分布特性 実験水路は中50^{cm}長さ20^mの傾斜水路で、上流端で約500ppmのコークス粉またはカオリン溶液を幅方向に一律に連続投入する。更にその直下流で底板からの気泡発生 (気泡径約1mm) によってよく混合し上流断面で濃度と一様とする。No.1の上流断面から下流に3^m間隔でNo.6まで濃度観測断面とする。濃度はレーザー光を発光部とするグラスファイバー・プローブによる透光式濃度計で、深さ方向に2^{cm}間隔で測定する。流水の水理諸量は表に示す通りで、等流状態で流している。

濃度変化の例を図-2、図-3に示す。共に流下方向の濃度パターンは類似しており、それはまた別に行なった静水中の沈降実験の結果とも似ている。しかし濃度は非定常変化であり、沈降速度が微小な物質であるため、厳密に検討すればコークス、カオリンの別により、また静水、流水の別により、現象が異なっている力学的な相似性はないようだ。

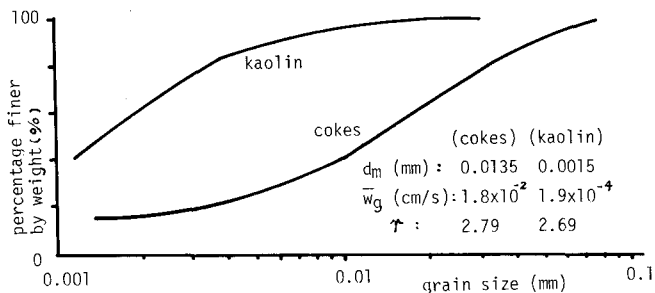


図-1 コークス、カオリンの粒子特性

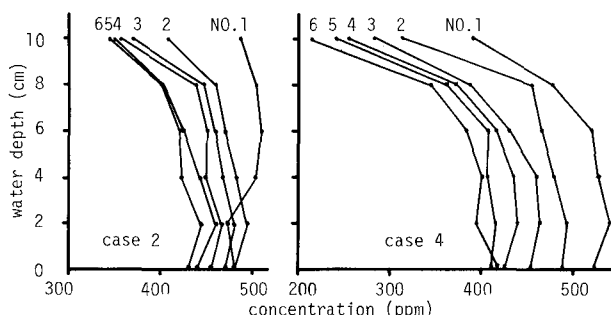


図-2 流水中のコークス粉濃度

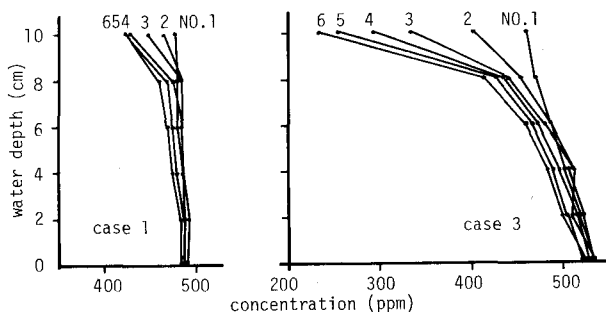


図-3 流水中のカオリン濃度

濃度変化の特性：式(1)で $\bar{c} = C - Ut$ の変換を施し、実験では観測区間が短いことから分散項が省略できるものとする

$$\frac{\partial C}{\partial t} = R \quad (2)$$

R が多くの生物化学的反応と同様に一次反応で示されるものと仮定すれば $R = -\alpha \cdot C$ であり、式(2)の解は、初期条件 $C = C_0$ のもとで、

$C = C_0 \exp(-\alpha t_g)$ となる。一次元解析で現象が十分説明できる巨視的な観測下では、この α の特性を調べるにより、沈降性物質の輸送特性とある程度把握できるはずである。 α は図2, 3に示す濃度分布を水深方向に平均し、測定 No.1 から No.6 までの変化を調べるにより求まる。図-4の横軸は No.1 を原点として各点までの流下距離と平均流速で

除した経過時間(平均流速時間) t_g を示している。

コークス粉では流れの状態に影響されず一つの直線と表わされるが、 α は一定でなく時間的に減少する。この場合には一次元解析は容易でなく、数式化に当てもう少し力学的な機構を追求する必要がある。一方、カオリンは流れの状態でも α の値は異なるが、それぞれの状態で t_g に対し多少の減少がみられるが値は一途のようである。この場合には一次元解析は容易である。さらにカオリンの場合、それぞれの case につき α を平均して $\bar{\alpha}$ を求めると図-5の関係が得られ、流れの状態から α を予測することも可能である。以上のように

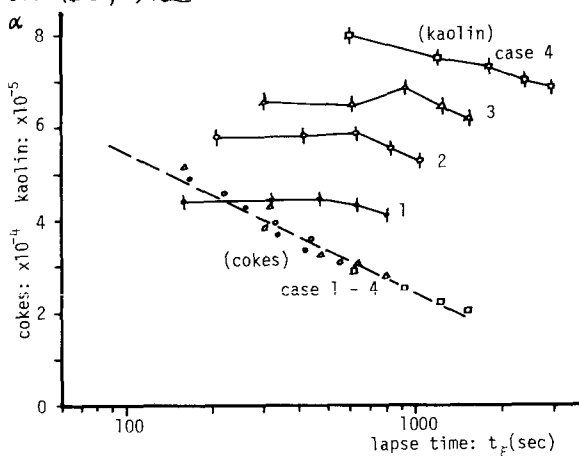


図-4 減衰係数 α と経過時間との関係

微細な沈降物質であっても、コークスのように塊状で混合粒をもちものは粒サイズの異なる各粒子がそれぞれの沈降特性をもっており、乱れの中で一層複雑な挙動をするものもあるし、カオリンのように花片状であるため沈降特性がいかなる粒サイズの影響を受けていないように考えられるものもある。

静水実験との関係：静水中の平均濃度の減衰係数を $\bar{\alpha}_0$ とおくと、乱れのある流れでは図-5に示すように一般に $\bar{\alpha} < \bar{\alpha}_0$ である。従来では流れ場の沈降量推定式として、静水の $\bar{\alpha}_0$ を基準にして、沈降経過時間 t_g と乱れの大きさに伴って短かく評価してやるという方法、たとえば

$$C = C_0 \exp\{-\bar{\alpha}_0(1 - U_* / U_{*c}) t_g\}, \quad U_* \leq U_{*c} \quad (3)$$

が使われてきた。^{1), 2)} ここに U_{*c} は沈降が開始し得る U_* である。

しかし、図-5でみる限りそう単純でなく、 $\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_0 \exp(-\beta U_* / U_{*c})$ 、ここに U_c は代表的な速度、となるようである。たゞ、このような定式化は沈降物質の材料によって大きく異なることが予想され、現場の観測結果³⁾をみてもわかるように、沈降と春裏の関係にある沈降浮上との関連もありそうである。

謝辞：この研究を進めるに当り大阪大学 室田明教授に有益なコメントを頂いた。また実験は当時阪大生 上田真造氏が担当したものである。合わせて謝意を表する。

参考文献 1) K. Muraoka: Tech. Repts of Osaka Univ., Vol. 25, No. 1249, 1975. 2) C. R. Ariathurai; Ph.D. Thesis, UC Davis, Sep., 1974. 3) 村岡, 白石, 上田; 関西学講 II-85, 1977.

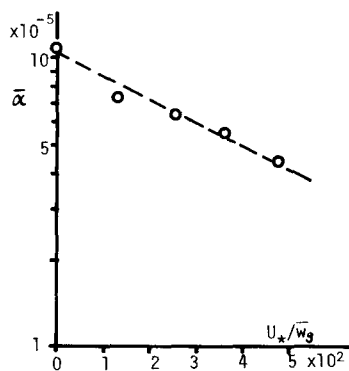


図-5 カオリンの $\bar{\alpha}$ と U_* との関係