

京都大学工学部 正員 合田 健

京都大学工学部 正員 〇海老瀬 浩一

京都大学工学部 日高 茂

1. はじめに

一般に、密度成層した流体中を沈降する浮遊物質は、その流体の密度変化とそれに伴う粘性の変化の影響を直接受け、一様な密度の流体中とは異なった挙動を示す。すなわち、成層による流体自身の鉛直方向の流速変化はもちろん、その沈降する物質の沈降速度が変化することになる。したがって、浮遊物質はその流体の鉛直方向の密度急変部(変水層または躍層)でその沈降を一たん阻止される形になり、一部はそこを通過し、残りは流速の小さい躍層部またはその上部に抑留され、浮遊し滞留することになる。このことは温度成層流の場合だけでなく淡水二層流の場合などとも言えることである。

ダムなどの貯水池に見られる夏季の温度成層状態で、その上流から流入した濁質がとる挙動は複雑である。激しい降雨後の濁水などは、その濁質が高濃度であればそれだけで密度流の成因となり、低濃度でも水温による密度変化に加えて濁質による密度値への寄与が有意のレベルとなり、粗い粒子は堆砂などの問題を生じ、細かな粒子は容易に沈殿せず、水利用の面で水質の問題をひき起こす。濁質の供給は、降雨に伴う一時的な濁水だけでなく、河川の掘削工事や骨材プラントからの洗浄排水、さらには各種事業所からの汚水などが、一時的あるいは定常的な濁質排出源となる。

2. 理論解析によるアプローチ

温度成層した貯水池への流入水はその流入深度が問題となるが、その流入水の水量により流入点での混合の度合は異なり、安定な成層時には、初期混合の後、流入水温と流入濁質から定まる流入密度と等密度の層を流下する中間層流入となる。一般に、層流中での粒子の沈降速度は粘性係数に逆比例し、流体と粒子の密度差に比例し、さらに粒子の形状による抵抗係数が関係する。水温が表面で30℃、底面で4℃であるような成層状態を考えると、池水の温度による密度変化は0.00432 g/cm³程度のものであるが、粘性係数は1.5674×10⁻² dyne·sec/cm から0.8007×10⁻² dyne·sec/cmまで変化し、ほぼ半減する。流入水の濁質による密度分布への寄与は、150度の濁度で水温の15℃付近での1℃程度の水温変化に対応する。しかし、貯水池内での流動は一般に乱流であり、濁質も層流状態とは異なった挙動を呈する。

ここでは、この温度成層状態下での濁質の挙動を水質の面から取り扱うことにする。すなわち、濁質の温度躍層での阻止率あるいは通過率を考え、平均の沈降速度と、躍層面を内部境界面と考えた境界条件によって、濁質分布の変化を理論的かつ実験的に検討することを目的とする。理論的には、鉛直および水平両方向と時間を考慮した濁質の乱流拡散方程式は、拡散係数を定数と仮定して、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + w_p \frac{\partial C}{\partial z} \quad \text{----- (1)}$$

w_p: 粒子の沈降速度

$$w - w_p = w_0 = \text{一定, とすると, } \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w_0 \frac{\partial C}{\partial z} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad \text{----- (2)}$$

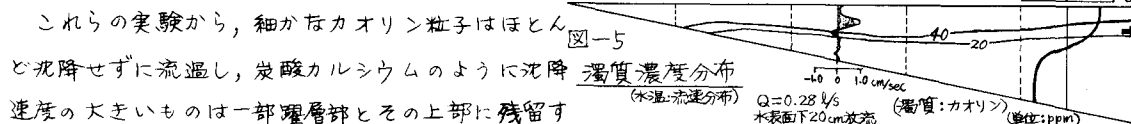
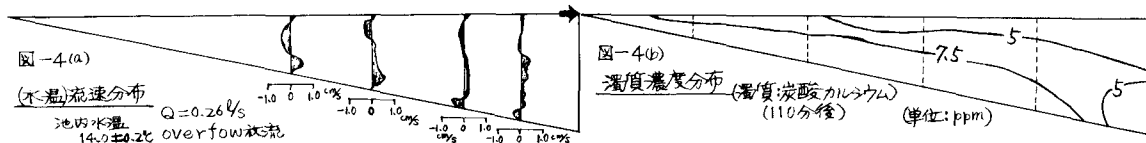
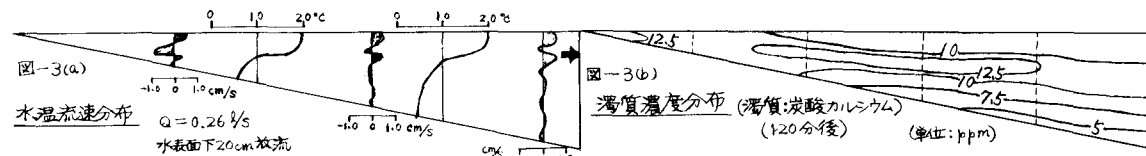
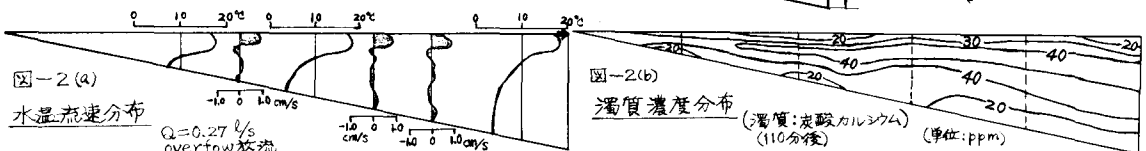
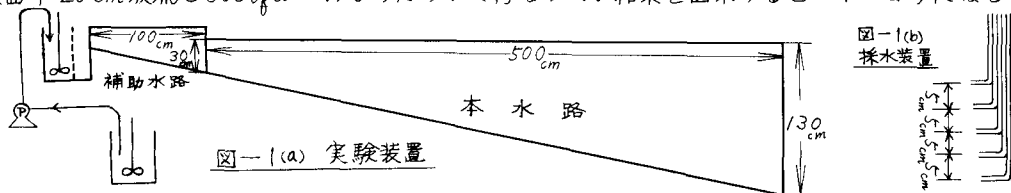
ここでも従来の研究に引き続いて、貯水池の成層状態を躍層部の上下で、その躍層強度によって、

表水層，変水層（躍層），深水層の三層状態，表水層と深水層の二層状態，さらには成層のない状態の3つの場合を考える。すなわち，躍層面の内部境界面で，沈殿に関する合田の境界条件をここに拡大適用する。 $\frac{\partial c}{\partial x} + k_w \cdot c = 0 \cdots (3)$ の条件式中の k の値を $k \geq 0$ の範囲だけでなく， $k < 0$ （躍層面を通過沈降）の領域まで範囲を広げて適用することになる。また，粒子の沈降速度はその形状や粒径に左右されるが，一応，沈降速度別に分けて前述の式の数値解を求めることができる。

3. 実験的考察

実験装置は本水路と補助水路，採水装置，測定機器から成る。図-1(a)に示すように，本水路は幅0.6 m，長さ5 m，深さが上流端で0.3 m，下流端で1.3 mと1/5の底面勾配を有しており，片側側面は観察のためガラス面であるが，他はステンレス面であり，人工的に温度成層状態をつくり出すために底面に冷却装置がついている。この本水路の前に，同じ幅，同じ底勾配，長さ1 mの補助水路がついており，これに付属した貯留槽で一たん濁質を完全混合して流下させる。採水装置は，内径3 mmの銅管を5 cm間隔でつけたもの（図-1(b)）を流下方向に6カ所設置した。

実験は上記の装置で，一定流量，一定濃度の濁質の連続注入方式で行なった。そして，採水は時間の経過に伴ってとったものと，一定時間後のほぼ平衡状態で行なったものとがある。沈降粒子としては，カオリン，沈降性炭酸カルシウムの2つを用いた。実験は，温度成層状態の他に，比較のために成層のない場合も併せて行なった。そして，貯水池内の流動状態を大きく左右する放流形式は，水表面下20 cm放流とoverflowのものについて行なった。結果を図示すると以下になる。



これらの実験から，細かなカオリン粒子はほとんど沈降せずに流過し，炭酸カルシウムのように沈降速度の大きいものは一部躍層部とその上部に残留する。沈殿堆積量を除くと，濃度分布は時間の経過とともにほぼ平衡状態に達することがわかった。