

京都大学工学部 正員 宗 官 功

京都大学工学部 正員 海老瀬 潜一

○ (株)神戸製鋼所 正員 西 村 博

1. 河川の浄化機構のうち、沈殿による物理的浄化が、微生物の代謝活動による生物化学的浄化よりも顕著であり、河川の自浄効果は、浮遊性物質の挙動に左右され、浮遊性物質の沈降により、流水中から汚濁物質が除去される量は多大である。本報告では、流水中の浮遊性物質の沈降現象に着目し、再浮上や洗掘の少ないと考えられる緩流河川を想定し、水路実験を行ない、濁質の流下方向濃度分布および水深方向濃度分布を求め、緩流河川における浮遊性物質の挙動を把握することを目的とした。とくに、浮遊性物質の沈降特性について、沈降速度に代表沈降速度を採用するものと、沈降速度の分布を考慮したものを、それぞれ、基礎方程式について解き、得られた水深方向濃度分布を比較、検討した。

浮遊性物質の挙動に関する基礎式としては、定常状態であり、流下方向、水深方向に流下方向拡散係数 D_x 、水深方向拡散係数 D_y が一定であるとすれば、沈降速度分布を考慮して、次の(1)式のように表わされる。

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} + \omega_{max} \frac{\partial}{\partial y} \int_0^{1.0} \omega_* C_* du_* = 0 \quad \text{--- (1)}$$

ここで、 ω_{max} は最大沈降速度、 ω_* は ω/ω_{max} で表現される速度比、 C_* は沈降速度 ω を有する粒子群濃度。代表沈降速度 ω_0 を採用した場合は左辺第4項が、

$$\omega_{max} \frac{\partial}{\partial y} \int_0^{1.0} \omega_* C_* du_* \Rightarrow \omega_0 \frac{\partial C}{\partial y} \quad \text{となる。}$$

2. 水路実験 実験に用いた水路は京都大学琵琶湖実験室の野外水路(幅1m、延長330m)の直線区間の一部約40mであり、水深は32.5cmとし、サンプリ

ングは流下方向10m、20m、30m、40mの4地点において、水深方向に2.5cm、7.5cm、12.5cm、17.5cm、22.5cm、27.5cmの6水深、計24点で実施し、別に流入端、流出端でも濁質の濃度変動をSS、濁度について測定した。流下水としては琵琶湖湖水を、投入濁質としては沈降性炭酸カルシウムを用いた。沈降性炭酸カルシウムは70ℓの貯留槽で攪拌混合しながら定量ポンプを

使用して上流部に投入し、ここでも攪拌して0m地点の全断面において濃度が一樣になるようにした。測定項目は流下方向拡散係数 D_x 、流速 v 、水深方向濃度分布、流入端流出端濃度変動(SS、濁度)とした。なお、流下方向拡散係数 D_x はトレーサーとしてウランを投入し、得られたウラン濃度-時間曲線から算出し、同時にピーク到達時間から流速 v を求めた。

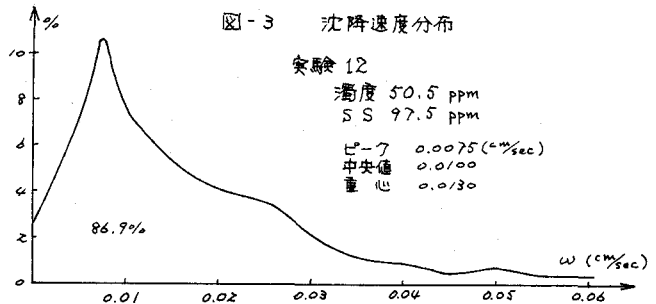
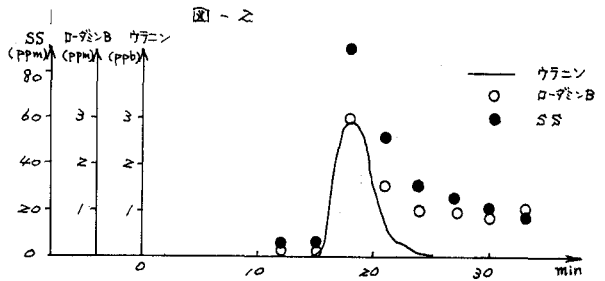
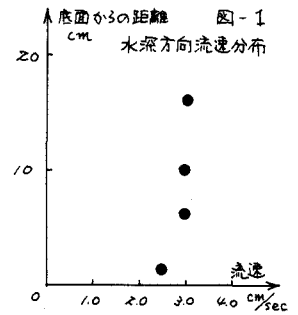


表-1

流速 (cm/sec)	1.25	1.65	2.50	3.00
D_x (cm ² /sec)	20	25	36	45
D_y (cm ² /sec)	0.10	0.15	0.20	0.25
D_y/D_x	0.0050	0.0060	0.0055	0.0055

図-4

拡散係数 D_y の変化と

水深方向濃度分布

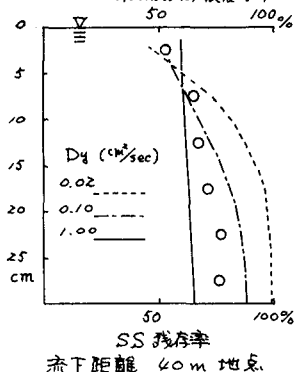
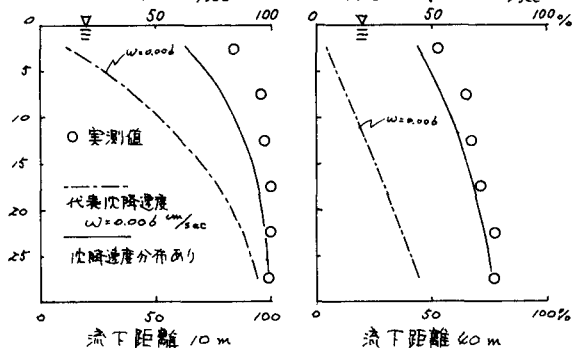


図-5 水深方向濃度分布

 $v = 1.65$ cm/sec $D_x = 25.0$ cm²/sec $D_y = 0.15$ cm²/sec

的に、かつ断面で均一になる傾向にある。つまり、流速が増加することによって D_y も大きな値をとるようになる。水深方向の濃度分布を一樣にすることになる。このことは流速が増加すれば、流速分布に差なく拡散的な効果が大きくなり、水深方向拡散係数が増加すると考えられることから当然の結果である。今回の実験条件によれば、 $v = 5$ cm/sec のとき $D_x = 120$ cm²/sec、 $D_y = 1.3$ cm²/sec となり、流速が 5 cm/sec 以上のとき $D_y > 1$ となるから水深方向濃度分布は一樣とみなせる。そこで、流速が 5 cm/sec 以上の一般河川には、濃度の断面平均値を適用する基礎式を用いることができると考えられるが、この際、代表沈降速度の選定を厳密に行うわけにならない。沈降速度に代表値を採用したものと沈降速度の分布を考慮したもののについて計算し実験値と比較したのが図-5であり、沈降速度の分布を考慮したほうが実験値によく適合している。しかし、混合粒子の浮遊粒子の各粒径（沈降速度）ごとの濃度分布とその粒径の頻度に応じて重ね合せをする方法は、各々の粒子の沈降や浮上・沈降など複雑な現象は表現しえないことも考えられる。この点を考慮するにしても、沈降速度に分布を持たせる方法は代表沈降速度を採用するよりもはるかに正確な濃度分布を得ることができる点において改善されていると考える。今後、より流速の大きい場合について、それに伴って発生する水深方向流速分布、沈降粒子の再浮上、沈降なども考慮した表式法が提示され、浮遊物質の挙動がより正確に表現されるようになることを期待する。

水深方向流速分布を流速 $2.0 \sim 3.0$ cm/sec の場合について測定し、

水深方向流速分布はほぼ一樣であるとみなした。（図-1参照）

また、ウラン、ローダミンB、沈降性炭酸カルシウムの沈降速度には差異はなく、流下方向の速度は同じであると判断した。（図-

2参照）流入端で流下水を採取し、沈降速度分析を実施した。得られた沈降速度分布の一例を図-3に示す。実験条件として、流速 v を $1.24 \sim 3.03$ cm/sec の4段階、流入水SS濃度は $74.0 \sim 215.1$ ppm の範囲に設定した。

3. 実験結果および考察 水深方向拡散係数 D_y は実験の結果、得られた流下方向拡散係数 D_x 、流速 v 、各サンプリング地点の懸濁濃度 C 、沈降速度分布を(1)式に代入して逆算して求めた。まず、 D_y の値として一般河川で用いられている $D_y = \frac{1}{10} D_x \sim D_x$ にしたがって試算した結果、得られた水深方向濃度分布は水深方向に一樣で、しかも実験値よりも小さくなる（実験値の右～左）ことがわかった。そこで $D_y = \frac{1}{1000} D_x \sim \frac{1}{50} D_x$ を用いて実験値にはば一致する分布を得た。つまり、 $D_y = 0.02 \sim 0.25$ cm²/sec の程度の値をとると考えられ、流下方向に D_y は一定であるとして、流速 v や流下方向拡散係数 D_x

との関係を表-1に示すように定めた。

浮遊性物質の分布を求める際に基礎式に代表沈降速度を採用する場合、代表沈降速度の選定方法によって、様々な沈降速度が考えられるが、ピーク値 E とすれば、もっとも現実に近い水深方向濃度分布が得られる。しかし、流下距離が長くなるにつれて濃度は減少し、実験濃度分布や沈降速度に分布を考慮して得た濃度分布よりも離れていく。この傾向は重心値、中央値を採用すればさらに著しくなる。

図-4に示したように、水深方向拡散係数 D_y の値が約 1.0 cm²/sec になれば、水深方向濃度分布は直線