

粒子の沈降理論からみた貯水池内の濁質の挙動についての考察

東北工業大学 学生員 白石 雅宏
同上 正員 今野 弘
同上 学生員 照井 芳彦

1. はじめに

濁質は、貯水池内の水の流動を追うとき、トレーサとしてよく用いられ、また濁質そのものと、それに付着して流入する成分を負荷として評価する必要性から、濁質の貯水池内での挙動を追う意義は大きい。通常貯水池に流入する懸濁粒子径分布は種々であり、小さいながら粒子は沈降するが故に、濁質は予想しえないような挙動を示さうである。本報告は、ストークスの沈降速度式をもとに貯水池内での濁質の挙動について考察を加えたものである。

2. 一様分散状態からの沈降 — モデル 1 —

図-1は、計算に供する粒子径分布もR-R線図($R=100 \cdot 10^{-bd^n}$)上に示したものである。①は、市販のカオリンの実測値(重量基準)で、この①と比較して②はメディアン径(d_{50})の2倍のメディアン径を有し、均等数 n が同一、③は d_{50} 同一、 n が $1/2$ 、④は d_{50} 同一、 n が2倍、⑤は d_{50} 2倍、 n が2倍、⑥は d_{50} が2倍、 n が $1/2$ である。濁質が貯水池などに一様に分散している状態を時間 $t=0$ とし、一斉に沈降を開始した場合をモデル1として濁質の挙動を追ってみよう。

いま、 $t=0$ において、水深 $h=h$ に存在する粒子径 d_i ($d_i > d_{i+1}$, $i=1, 2, \dots, n-1$)の各総重量を w_i とすると、全粒子の総重量 W は、 $W = \sum_{i=1}^n w_i$ である。さて、 d_m ($m \geq 1$)の粒子の t 時刻における水深 $h=h$ での全粒子重量に対する割合は、 d_i から d_{s-1} までの粒子が沈降して $h=h$ からなくなると考えると、 $\sum_{i=1}^m w_i / \sum_{i=1}^n w_i = \sum_{i=1}^m w_i / W (1 - \sum_{i=m}^n \frac{w_i}{W})$ となる。ここで、 $t=0$ における粒子径分布曲線の超過確率を R 、 $t=t$ におけるそれを R' とすると $t=t$, $h=h$ での粒子径 d_m に対する超過確率 $R'(m)$ は次式のようになる。

$$R'(m) = \frac{R(m) - R(s)}{100 - R(s)} \times 100 (\%) \quad (1)$$

$R(m)$: $t=0$ における d_m の超過確率、 $R(s)$: t 時間内に水深 h だけ沈降する粒子径 d_m の $t=0$ における超過確率。

一方、 $t=0$ における懸濁粒子濃度を SS_0 とすると、 $t=t$, $h=h$ での濃度 SS_m は、

$$SS_m = SS_0 \cdot \{ 1 - R(s)/100 \} \quad (2)$$

また、 $R'(m)$ のメディアン径 d_{50} と SS_m が求まると、次式により、 t のときの濁度 T を求めることができる。

$$T/SS_m = -2.01 (\log d_{50})^2 + 0.92 \log d_{50} + 0.93 \quad (3)$$

図-2, 3, 4は、粒子密度 2.65 g/cm^3 , $SS_0 = 10,000 \text{ mg/L}$, 水温 15°C の場合の各粒子径分布における計算結果を示したものである。このモデルは、大洪水があって貯水池水全体で混合した濁質が沈降して清澄化する場合を想定することができる。直感的に判断されることではあるが、図-2, 3から清澄にはりにくい粒子径条件は、平均径が小さく、粒子径分布の広い場合ということ

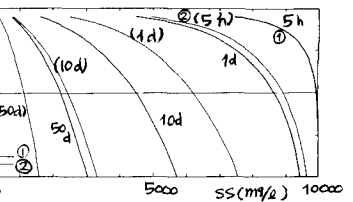
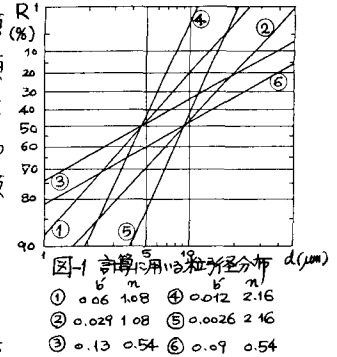


図-2 粒子径分布①のSS分布の経時変化

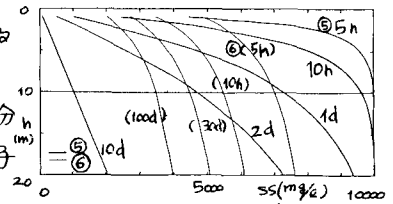


図-3 粒子径分布⑤のSS分布の経時変化

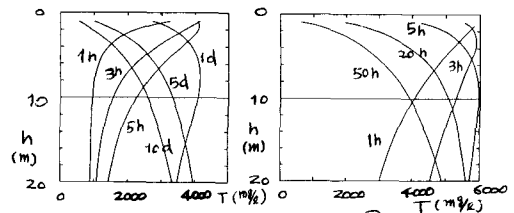


図-4 粒子径分布①, ⑤の濁度T分布の経時変化

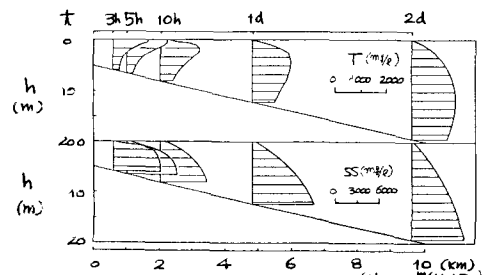


図-5 粒子径分布⑤の場合SS-T分布の経時変化と平均径の分布開散

ができる。図-4は、それを濁度に換算した場合について示したものである。SSの場合と比較して特徴的なのは、沈降時間によって水深の途中に濁度のピークを有することで、経時的にそのピークが深いところに移行するという点である。この現象は、平均径が大きいほど、また粒子径分布が狭いほど顕著に現われるようで、実際の貯水時の貯水池への流入水中の粒子径分布は、図-1に示した粒子径分布の⑤、②、⑥に近いと考えられるため、むしろ実際にもこのような濁度の挙動をおこなっていると考えられる。また、このモデル1を応用すると図-5に示したように、貯水池へのピストンフロー的な濁度の流入を考えることができる。図は、流入水のSS₀=10,000mg/l、粒子径分布は図-1の⑤とした場合で、流入が定常的であれば各地点における分布形状も定常性を維持することになる。この図より、濁度分布をみる限り、あたかも流入水の主流部が表層部から中、下層部へと流下するの如く錯覚に陥ることになる。

3. 表層部に濁度が流入してからの沈降 — モデル2 —

時間 $t=0$ でSS₀なる濃度の懸濁粒子がある厚さ h_0 で流入、 λ の沈降を開始すると考えると、 $t=t$ 、任意の水深 $h=h$ での懸濁粒子濃度SSは、次式のようにならされる。

$$SS = \frac{SS_0}{100} \{ R(d_m) - R(d_e) \} \quad (4)$$

$$d_m = 175 \sqrt{\frac{h \mu}{t(\beta - \beta_1)}}, \quad d_e = 175 \sqrt{\frac{(h - h_0) \mu}{t(\beta - \beta_1)}}, \quad d_m, d_e: \mu m, h, h_0: cm$$

また、 d_m と d_e の間に位置する粒子径 d_i の超過確率 $R'(d_i)$ は次のようになる。

$$R'(d_i) = \frac{R(d_i) - R(d_e)}{R(d_m) - R(d_e)} \times 100 (\%) \quad (5)$$

ただし、 $R(d)$ は、 $t=0$ における粒子径 d の超過確率を示している。モデル2は、貯水池の表層部に厚さ h_0 、あるいは単位時間あたり H の厚さで流入する濁度の T 時間分($h_0 = HT$)の濁度が流入した場合の、それ以降の粒子の沈降に基づく濁度の挙動を表わしていることになる。図-6~9は、その結果を示したもので、計算条件はモデル1と同様である(図-6~8は $h_0 = 1m$)。沈降後、各水深ともある時間に濃度のピークがあり、その後長期間で清澄化していく。ただし、ピークに達するまでの時間は、水深が深くなるにつれて遅くなる。粒子径の分布中を示す目安である均等数が同じでメディアン径が2倍程度異なる粒子径分布では、各水深におけるピーク濃度はほぼ同一であるが、当然小さいメディアン径の場合は清澄化に長期間を要する。しかし、その挙動が大きく異なるのは平均径が同一でも粒子径の分布が異なるケースで、分布が広い場合は、狭い場合に比較して濃度が全水深において極端に高くなり、しかもいつまでも濁水現象がつづくというややこしい結果となる。

図-8(粒子径分布⑤のとき)でSSと濁度について比較してみると、各水深においてSSのピークのだいぶ後になって濁度のピークが表われ、トレーサとしての濁度はこの意味でも注意を要する。図-9は、 $h_0 = 1, 2, 5, 10, 100, 1000m$ での水深 $1m$ と $10m$ のところでSS濃度の変化を示したものである。貯水池の面積も仮に $500 \times 1000m^2$ 、 $0.2m/h$ の濁度の流入(流量約 $28m^3/s$)の場合、 $h_0 = 1m$ は5時間、 $10m$ は約2日間の継続流入を示すことになる。図より、濁度の継続流入によって濁水現象の指数関数的長期化が明らかである。

*) 参考文献 今野: 粒子径分布を考慮した懸濁粒子の挙動に関する研究, 東大紀要 水3, pp.113~122, 1983.3.

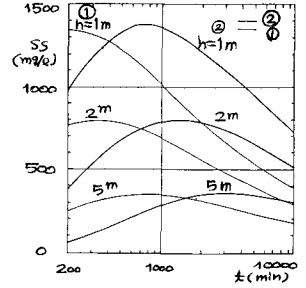


図-6 粒子径分布②のSSの経時変化

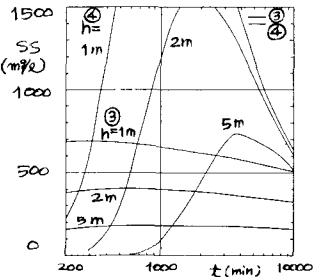


図-7 粒子径分布③のSSの経時変化

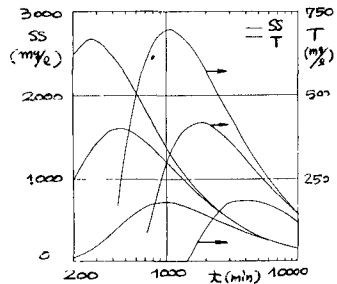


図-8 粒子径分布⑤の場合のSSと濁度(T)の経時変化

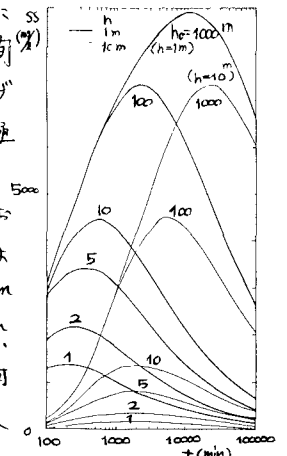


図-9 濁水の継続的流入の場合のSSの経時変化