

粒径分布を考慮した濁度の沈降現象から得られる二、三の考察

東北工業大学 正員 今野 弘

1. はじめに

貯水池内の水の流動状態は、その水質にも大きく関与するものであって、貯水池水質の把握や管理の上で重要な因子となっている。一口に水の流動といっても貯水池もとりまく多くの条件、たとえば気象、流入河川、流域、ダムの上り下り操作等によって複雑な挙動を示すから貯水池水の特徴である。本報告は、このような貯水池の水理特性を明らかにする一つの基礎として、沈降の挙動に着目し、その沈降現象から得られる知見の一部についてまとめたものである。

2. 懸濁粒子径と粘度の関係

$R = 100 \cdot 10^{-b d^m}$ なる分布をもた懸濁粒子を一樣に分散させたのち、沈降させ、 $t = t$ 分だけ経過すると、水深 $h = h_s$ 以下の懸濁粒子の粒子径分布は次式に与えられる。

$$R_a = \frac{B \int_{d_c}^{d_a} d^{m-1} \cdot 10^{-b d^m} d(d) - A \int_{d_c}^{d_a} d^{m-1} \cdot 10^{-b d^m} d(d)}{C - A \int_0^{d_c} d^{m-1} \cdot 10^{-b d^m} d(d)} \times 100 (\%)$$

$$A = \frac{2.303 m b (\beta - \beta_1)}{\mu (175)^2} t \quad \beta_1, \beta_2: \text{分散媒濃度の粘度}$$

$$B = 2.303 m b h_s \quad \mu: \text{粘性係数}$$

$$C = h_s \left\{ 1 - 10^{-b \left\{ 175 \sqrt{\frac{\mu h_s}{\beta(\beta - \beta_1)}} \right\}^n} \right\} \quad t: \text{沈降時間}$$

$$d_c = 175 \sqrt{\frac{\mu h_s}{\beta(\beta - \beta_1)}} \quad h_s: \text{沈降水深}$$

また、 $t = 0$ の懸濁粒子濃度 SS は次式のように求まる。

$$SS = SS_0 \left\{ 1 - \left\{ \frac{R(d_c)}{100} + \frac{m b'}{d_c^2} \log_{10} \int_0^{d_c} d^{m-1} \cdot 10^{-b d^m} d(d) \right\} \right\}$$

SS_0 : $t = 0$ の SS 濃度, $R(d_c)$: $d = d_c$ の重量百分率 (%)

図-1 は、フルイ分けに供するカオリン粘土のそのの粒径分布である。図より、カオリン粘土はほぼ $Resin-Rammeler$ 分布 ($R = 100 \cdot 10^{-b d^m}$) としていることが明らかで、 $b = 0.06$, $m = 1.08$, 50% 径が $4.5 \mu m$ と求まる。このカオリン粘土 10%、分散剤として $Na_4 P_2 O_7 \cdot 10 H_2 O$ の 2% を加えたものを 1 壇つくり、1 壇ビンに貯蔵する。1 壇ビンは、簡易恒温槽で定温にしたのち、一樣に分散させ、再び簡易恒温槽にセットして懸濁粒子の沈降を開始する。あらかじめ定めておいた時間が経過したのち、1 壇ビンの中の懸濁液表面から深さ 8 cm までの液を乱れが生じないように、こしおみやりでぬきとる。液のぬきとりは U 字状にしたガラスパイプにビールホースをとりつけ、Siphon を使用して行った。一回のぬきとりで得られる量は、500 ml 程度であるので 4 回くり返し、各経過時間毎の試料を約 2 l とした。この量は、粒径分布を測定するフンドラセンヒオットに供するための必要量である。

図-2 は、フルイ分けの結果の一例で、各沈降時間毎の粒径分布を示したものである。白丸が実験値で、実線が理論値である。また、図-3 は、各沈降時間における平均粒径と SS の関係と、理論と実験の双方と実験値と点で示れ示している。粒子平均粒径について、理論と実験値を比較すると、理論は大略現象を表わし得ると思われる。すなわち、この種の方法で粉体

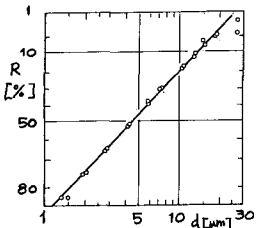


図-1 カオリン粘土の粒径分布

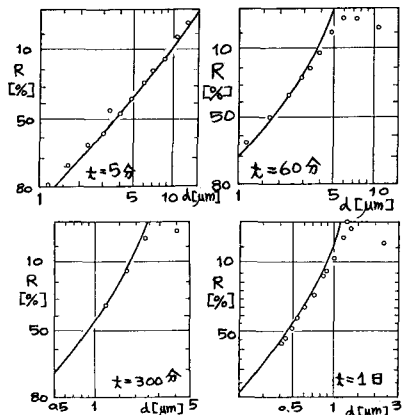


図-2 各沈降時間後の粒径分布

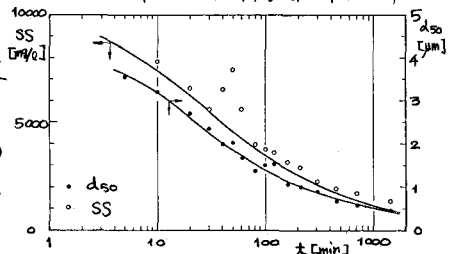


図-3 フルイ分け結果…平均径とSS

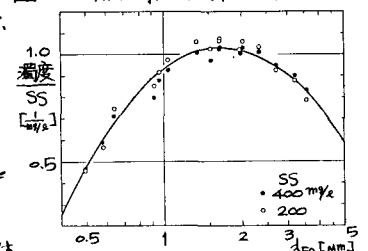


図-4 濁度/SSと平均径の対数係

粒子のフルイ分が多少時間是要するもの、 $1\mu\text{m}$ 以下の平均径も有る粒子でさえも可能であると思われる。なお、図-3中に示したSSは、フルイ分によって得られるSSを理論的に示した曲線であり、実験値と比較して、整合性がよく、理論値は現象のSSを若干過小に評価されている。このように求めた各粒径の懸濁粒子を同一のSSに調整して、その発現濃度の違いを実験に求めた。濃度計は積分式濃度計を用い、検量線は、糖蜜カオリン（水産協会水質試験法）で作成した。その結果を示したのが図-4である。SS=400, 200 mg/L のいずれの場合も d_{50} が $1.7\mu\text{m}$ 付近で濃度のピークをなし、径がそれより大きくなると濃度の発現値は小さくなる。しかも、その濃化中は大きく、 $d_{50}=0.5\mu\text{m}$ と $5\sim 6\mu\text{m}$ では $d_{50}=1.7\mu\text{m}$ の1/2の濃度しか示さないことがわかる。このことは、濃度の同一であれば、懸濁粒子径が異なれば、濃度の存在量が大きく異なることを示している。この点、濃度と振幅として、濃度の量あるいは流動状態を推測するほど貯水池の水理にかかわる情報において特に留意が必要であろう。貯水池内における濃度の挙動は、水の流動状態などに直ぐく関係する。トレーサではあるが、負荷としての濃度の量および濃度に基づいて貯水池内に供給される量の検討には重要である。正確な情報を得るには濃度ではなく、濃度を示すSSとして整理されたい。

3. 各種の貯水池モデルの沈降現象

図-5は、一様にSS=SS₀で分散している状態から、一斉に沈降を開始した場合、経過時間 $t=t$ 、水深 $h=h$ でのSS、粒径分布（略）の計算結果を示したものである。このモデルは、大洪水後に貯水池内の濃度が一気に沈降し、清澄化していく現象に他ならない。ただし、放流水、流入水および水温分布の異質は無視している。水深20mの貯水池では1日後に1mの水深のところでSSの約60%、10日後に約90%のSSになり、10日後にはそれぞれ20%、45%にまで減じる。しかし、50日たった後でも1mの水深で10%、水深10mでは20%もSSが残り、一度洪水が落ち着いた貯水池は沈降現象のみではすみやかに清澄化し続けることが表わしている。なお、この時の計算条件は、 $t=0$ 時の濃度の粒径分布 $R=100 \cdot 10^{-0.06d^{1.08}}$ 、密度 $\rho_s=2.67\text{g/cm}^3$ 、水温 15°C 、 $SS_0=10^4\text{mg/L}$ である。次に、図-6は $t=0$ において、水深 $h=h_s$ の厚さでSSの濃度の濃度が流入し、沈降し始めるから $t=t$ 後における水深でのSSを示したものである。このモデルは、 $t=0$ でSS₀が流入するので、 $t < 0$ ではSS=0、すなわち $t < 0$ での粒子の沈降を無視して、 $t=0$ から流入開始が0、つまり瞬時に流入を終了するので、 $t > 0$ 後のSSの減少は継続的SSの流入を考慮していない。だが、単純化しているが、このモデルのSS、粒径分布の計算式は次のとおりである。

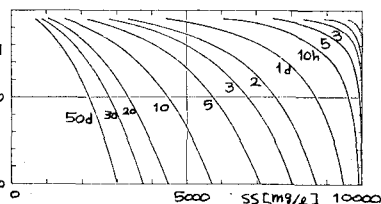


図-5 大洪水後の清澄化

図-6は、瞬時の濃度流入後のSS変化を示したものである。このモデルは、 $t=0$ でSS₀が流入するので、 $t < 0$ ではSS=0、すなわち $t < 0$ での粒子の沈降を無視して、 $t=0$ から流入開始が0、つまり瞬時に流入を終了するので、 $t > 0$ 後のSSの減少は継続的SSの流入を考慮していない。だが、単純化しているが、このモデルのSS、粒径分布の計算式は次のとおりである。

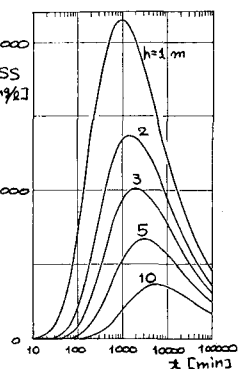


図-6 瞬時の濃度流入後のSS変化

$$SS = \frac{SS_0}{100} \{ R_w(d_h) - R_w(d_h + h_s) \}, \quad d_h = 175 \sqrt{\frac{h \mu}{\lambda(\rho_s - \rho_f)}}$$

$$R'(d_t) = \frac{R_w(d_t) - R_w(d_t + h_s)}{R_w(d_h) - R_w(d_h + h_s)} \times 100 (\%), \quad d_{th_s} = 175 \sqrt{\frac{(h + h_s) \mu}{\lambda(\rho_s - \rho_f)}}$$

R_w : $t=0$ での初期での超粒径分布
 R' : $t=t$, $h=h_t$ での“ ”
 h_s : 流入厚(=これは2m)
 ρ_s : 2.67g/cm^3 , 水温 15°C
 $SS_0 = 10000\text{mg/L}$

図-7は、1日~40日までの各水深でのSS低減曲線と、各平均径に対応する濃度の低減曲線を示したものである。水深によって異なるが、だいたい10日前後まではSSと濃度の变化傾向に大きな差がみられることに注目すべきであろう。

4. あとがき 水温分布に基づく密度分布の考慮、現実に近いモデルについてさらに検討していきたい。なお、実験は東北大学生葛西雅之君、村越出る君、向井務君に多大の協力を得た。ここに謝意を表する。

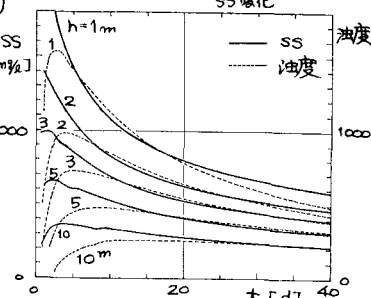


図-7 瞬時の濃度流入後のSSと濃度の変化