

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀 大阪市立大学大学院 学生員 宋 元平
住宅・都市整備公団 正会員 芝村 圭 大阪市立大学大学院 学生員○農本 充

1. はじめに 河川上流から流れてくる微細土粒子は、淡水中では負に帯電しているが、河口域に達すると、海水中の豊富なプラスイオンに接触し、電気化学的に中和され、粒子相互の凝集が起こり、フロックが形成される。このような水中に浮遊する微細土粒子の凝集・沈降・堆積過程は、河口域の地形、水質、生態系に大きく関わっているが、それらの定量的な予測に役立つフロックの形成機構や過程に関する研究例は数少ない。本研究では、塩水中における微細土粒子の凝集実験をベントナイトをモデルとして行うことにより、フロックの成長過程および終局粒径と攪拌強度、濁質濃度および塩分との定量的な関係を調べ、終局粒径の予測式を提示する。

2. 既往の研究結果 楠田¹⁾、安立²⁾、³⁾の実験的研究によると、フロックの終局粒径と攪拌強度、濁質濃度および塩分との間には以下のような関係が見出されている。

- ・攪拌強度が11.6～45.9 (s⁻¹)の間では、フロックの終局粒径は攪拌強度が大きいほど小さくなる。
- ・フロックの終局粒径は濁質濃度が大きいほど小さくなるが、終局粒径に早く達する。
- ・フロックの終局粒径は塩分が大きいほど大きくなる。

3. 攪拌強度 攪拌強度は、Camp⁴⁾により次式で定義されている。

$$G = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} \quad (1)$$

ここに、 ϵ_0 ：媒体の単位体積、単位時間あたりのエネルギー消費量(N/cm²・s)、

μ ：媒体の分子粘性係数(N・s/cm²)、 G ：攪拌強度(s⁻¹)とする。

式中の ϵ_0 は、今回のように攪拌翼を使ったビーカー中での実験ではCampにより次式で表される。

$$\epsilon_0 = \frac{2\pi n T_r}{V} \quad (2)$$

ここに、 T_r ：液体の攪拌に要したトルク(N・cm)、 n ：攪拌翼の単位時間あたりの回転数(s⁻¹)、

V ：媒体の体積(cm³)とする。

式(1)、(2)およびトルク T_r が回転数 n の2乗に比例することを考慮すると、本実験における攪拌強度 G は攪拌翼の回転数 n を用いて次式のように表すことができる。

$$G = 26.5n^{3/2} \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

4. 実験方法 土粒子としてベントナイトを用い、これを所定量とり、24時間以上蒸留水に浸漬させてよく水になじませた。この懸濁液50mlを直径8.5cmのビーカー中の塩水450mlに加えて500mlとし、平板型の攪拌翼2枚を持つ攪拌機を用いて連続的に攪拌し、フロックを形成させた。なお、濁質濃度、塩分は懸濁液投入後、所定の値になるようにあらかじめ調整した。攪拌開始から所定の時間が経過するごとに、サンプリング装置で採水し、それをプレパラート上に滴下し、顕微鏡下でデジタルカメラを用い撮影した。なお、顕微鏡撮影は暗視野照明により行った。撮影したフロック投影画像を、画像解析ソフトを用いて面積を求め、それと等しい面積を持つ円の直径(円相当径)を算出した。そして、円相当径に球相当径への変換係数0.965⁵⁾を乗ずることにより、球相当径を求めた。フロック粒子はほぼ100～200個とり、各フロックの粒径データより体積基準の粒径加積曲線を描き、その中位径をフロック粒子群の代表径とした。実験は、攪拌強度 $G=26.5$ 、57.0、94.5、137.8s⁻¹、濁質濃度 $C_t=25$ 、50、100、200、300、500mg/l、塩分 $C=5$ 、15、25、35g/lの合計96ケースについて行った。

5. 実験結果 フロック粒径の算出法と同じ方法で求めたベントナイトの初期粒径 $d_0=9.4(\mu\text{m})$ (中位径)であった。図-1に実験から得られたフロックの経時変化の一例を示す。フロックの成長式を式(4)のように仮定し、グラフにこの式をカーブフィットさせることにより α 、 β の値を求めた。

$$d = d_0 \left\{ \beta (1 - e^{-\alpha t}) + 1 \right\} \quad (4)$$

ここに、 d ：フロック粒径(μm)、 d_0 ：初期粒径(μm)、 α ：フロックの成長速度定数(min^{-1})

β ：粒径係数、 t ：経過時間(min)とする。

式(4)において t を無限大にすることにより、フロックの終局粒径 $d_\infty=(1+\beta)d_0$ を求めた。このようにして、求めた終局粒径 d_∞ と攪拌強度 G 、濁質濃度 C_t および塩分 C の関係を調べた。その結果、本実験条件の範囲内($26.5\text{s}^{-1}\leq G\leq 137.8\text{s}^{-1}$ 、 $25\text{mg/l}\leq C_t\leq 500\text{mg/l}$ 、 $5\text{g/l}\leq C\leq 35\text{g/l}$)では、楠田らや安立の実験で指摘されたように攪拌強度および濁質濃度が大きいほど終局粒径は小さく、塩分が大きいほど大きくなる傾向が見られた

6. 終局粒径の予測式 図-2は本実験から得られた終局粒径 d_∞ と攪拌翼の回転数 n との関係を示している。この図から、 d_∞ と n の間には丹保ら⁵⁾の研究でも指摘されたように反比例の関係があることが分かる。このことから、これらの関係を $d_\infty=an^{-1}$ で表し、図-2に示すようにカーブフィットによって a の値を求め、これと $C/C_t^{2/3}$ との関係をグラフにプロットしたものが図-3である。同じくカーブフィットによってこれらの間の関係式を求めると、式(5)の形で表される。

$$a=2100\times(C/C_t^{2/3})^{0.48} \quad (5)$$

ここに、 C ：塩分(g/l)、 C_t ：濁質濃度(mg/l)とする。

結局、今回の実験条件の範囲内において、フロックの終局粒径 d_∞ は攪拌強度 $G(\text{s}^{-1})$ 、濁質濃度 $C_t(\text{mg/l})$ および塩分 $C(\text{g/l})$ の3つの値を用いて式(6)のように表すことができる。

$$d_\infty=310\times(C/C_t^{2/3})^{0.48}/G^{2/3} \quad (6)$$

7. 結論 本研究の結果をまとめると以下に示すとおりである。

(1) フロックの終局粒径は、本実験条件範囲($26.5\text{s}^{-1}\leq G\leq 137.8\text{s}^{-1}$ 、 $25\text{mg/l}\leq C_t\leq 500\text{mg/l}$ 、 $5\text{g/l}\leq C\leq 35\text{g/l}$)において、攪拌強度および濁質濃度が大きいほど小さく、塩分が大きいほど大きくなるという既往の研究結果と同じ傾向がみられた。

(2) フロックの終局粒径は、攪拌強度、濁質濃度および塩分の値から式(6)によって求めることができる。

参考文献

- 1) 楠田哲也・古賀憲一・栗谷陽一：塩水中における粘土粒子の凝集、用水と廃水、Vol.20、No.3、pp31~36、1978
- 2) 安立重昭：海水中におけるベントナイトのフロック形成について、港湾技研資料、No.421、1982
- 3) 安立重昭：海水中におけるベントナイトのフロック形成について(その2)、港湾技研資料、No.464、1983
- 4) T.R.Camp：Flocculation and Flocculation Basins、Proc.ASCE、Vol.79、No283、pp.10~19、1953
- 5) 丹保憲二・山田浩一・穂積 準：アルミニウム・フロックの、密度に関する研究、水道協会雑誌427号、pp.4~5、1967
- 6) 丹保憲二・山田浩一・穂積 準：フロック強度に関する研究、水道協会雑誌427号、pp.4~15、1970

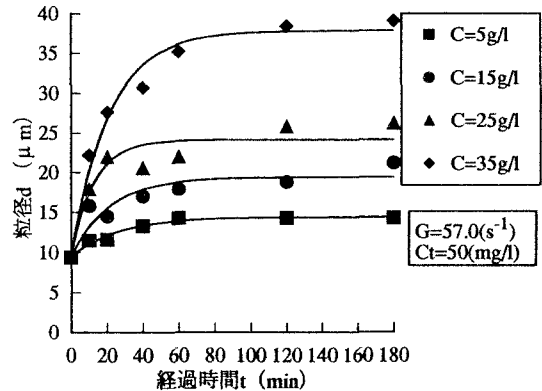


図-1 フロック粒径(中位径)の経時変化

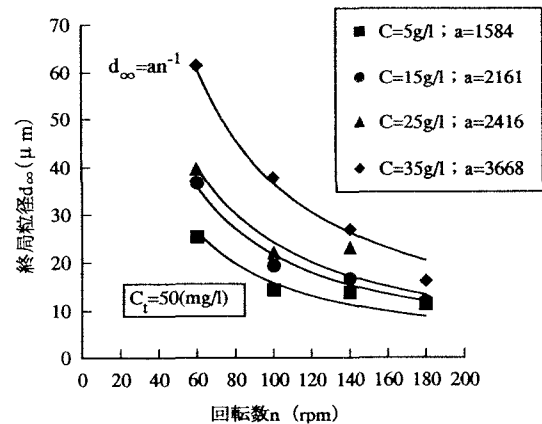


図-2 終局粒径と攪拌翼の回転数との関係の一例

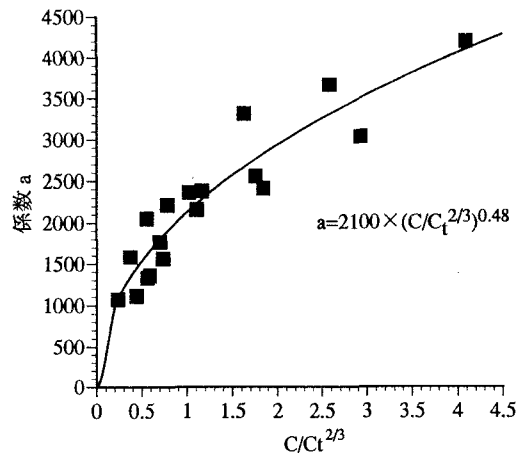


図-3 係数 a と $C/C_t^{2/3}$ の関係