

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀 (有) プロポート 正会員 宋 元平
大阪市立大学大学院 学生員 農本 充 大阪市立大学大学院 学生員 大石 大輔

1. はじめに 河口域に達した微細土粒子の凝集・沈降・堆積の素過程は河口域の地形、水質、生態系の形成に大きな影響を及ぼしているにもかかわらず、その複雑さのゆえに研究例が少なく不明な点が多い。筆者らは、数年前から河口域における微細土粒子の凝集過程を解明するため、塩水とベントナイトを用いた一連の室内実験を行い、塩水中における微細土粒子のフロック終局粒径と攪拌強度 G 、濁質濃度 C 、塩分 C ($26.5\text{ s}^{-1} \leq G \leq 137.8\text{ s}^{-1}$, $25\text{ mg/l} \leq C \leq 500\text{ mg/l}$, $5\text{ g/l} \leq C \leq 35\text{ g/l}$) との関係を定量的に調べ、終局粒径の予測式を構築し、昨年度の海岸工学論文集に発表した(小田ら¹⁾, 1999)。しかし、数値解析によれば実際の河口域における攪拌強度の値は昨年度の実験条件よりもかなり小さいことが推測された。そこで本研究では、このフロック終局粒径予測式が実際の河口域のような低攪拌強度下においても適用できるかを室内実験により検討した。

2. 実験方法 実験は平板型の攪拌翼を2枚持つ攪拌機を用いて行った。土粒子として用いるベントナイトは実験に先立ち24時間以上蒸留水に浸漬させてよく水になじませておいた。このベントナイトを蒸留水に懸濁させた懸濁液50mlをビーカー中の塩水450mlに加えて500mlとし、これを所定の攪拌強度で攪拌してフロックを形成させた。なお、ベントナイトの懸濁液と塩水は、混合した後、所定の濃度になるようにあらかじめその濃度を調整しておいた。懸濁液を塩水に加え攪拌を開始した時点から所定の時間(10, 20, 40, 60, 120, 180分、以降終局するまで60分間隔)が経過するごとに、ガラス製のサンプリング装置で試料をサンプリングした。それを静かにプレパラート上に落としこみ、プレパラート上のフロックを顕微鏡下で暗視野照明のもとデジタルカメラで撮影した。フロックのデジタルカメラ画像から画像解析ソフトによりその面積を求め、それと等しい面積をもつ円の直径(円相当径)を算出し、さらに円相当径に球相当径への変換係数0.965を乗することにより、球相当径を求めた。各採水毎に200~300個のフロックの球相当径を求め、これより体積基準の粒径加積曲線を描き、その中位径をもってその経過時間におけるフロック群の代表粒径とした。フロックの初期粒径は同じ方法でベントナイトの粒径加積曲線から求めた $d_0 = 9.4\text{ }\mu\text{m}$ 中位径とした。

3. 攪拌強度 攪拌強度 $G\text{ (s}^{-1}\text{)}$ は、Camp²⁾ (1943) により次式で定義されている。

$$G = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu}} \quad (1)$$

ここに、 ε_0 : 流体の単位体積、単位時間当たりのエネルギー消費量 ($\text{N} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$)

μ : 流体の粘性係数 ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)

ε_0 は、今回のようにビーカーの中で比較的小さな平板翼を回転させて攪拌するジャーテスト方式では、流体の攪拌するトルクを液体の体積で割って平均化して取り扱い、式(2)で与えられる。

$$\varepsilon_0 = \frac{2\pi f T_r}{V} \quad (2)$$

ここに、 T_r : 攪拌に要するトルク ($\text{N} \cdot \text{cm}$)

f : 攪拌翼の単位時間当たりの回転数 (s^{-1})

V : 流体の体積 (cm^3)

実験では、ビーカーを微小トルクメーターの上に載せて攪拌時のトルク T_r を、また光学式タコメーターを用いて攪拌翼の回転速度 f を測定し、式(1)および式(2)によって攪拌強度 G の値を算定した。

4. 実験パラメーターの設定値 実験は、3つの実験パラメーターの値をそれぞれ攪拌強度 $G=3.1, 9.4, 14.4, 20.2\text{ (s}^{-1}\text{)}$ 、濁質濃度 $C=25, 50, 100, 500\text{ (mg/l)}$ 、塩分 $S=25, 35\text{ (g/l)}$ に設定し、合計32ケースについて行った。

5. 実験結果 本実験で得られたフロック粒径は、縦軸に粒径、横軸にベントナイトの投入時を0とした攪拌時間をとったフロック粒径の経時変化のグラフとして表し、グラフ上の曲線は、芝村らが経験的に導いたフロック成長式(3)を最小二乗法によりカーブフィットさせたものである。また、この式において t を無限大にすることにより、フロックの終局粒径 d_∞ ($=d_0(\beta+1)$)を求めることができる。図1~図2にフロック粒径の経時変化の一例を示す。このようなグラフからフロックの終局粒径は本実験範囲内 ($3.1\text{ s}^{-1} \leq G \leq 20.2\text{ s}^{-1}$, $25\text{ mg/l} \leq C \leq 500\text{ mg/l}$, $25\text{ g/l} \leq S \leq 35\text{ g/l}$) においては、攪拌強度 G および濁質濃度 C が大きいほど小さくなり、逆に塩分 S が大きくなるほど大きくなるという結果が得られ、既往の研究結果と同じ傾向を示した。

$d = d_0 \{ \beta (1 - e^{-\alpha t}) + 1 \}$
 ここに、 d_0 ：初期粒径 (μm)
 β ：粒径係数
 α ：フロック成長速度の係数 (min^{-1})
 t ：攪拌時間 (min)

6. フロック終局粒径予測式の適用範囲

以下に昨年提起したフロック終局粒径予測式を示す。

$$d_{\infty} = 311.9 \times (C/C_t)^{2/3} / G^{2/3} \quad (3)$$

ここに、 C ：塩分 (g/l)

C_t ：濁質濃度 (mg/l)

G ：攪拌強度 (s^{-1}) ($26.5 \text{ s}^{-1} \leq G \leq 137.8 \text{ s}^{-1}$)

ただし、式 (4) の係数は昨年海岸工学論文集に発表した値より修正されている。本研究の最終的な目的は、昨年度提起したフロック終局粒径予測式 (4) が本実験条件のような低攪拌強度においても適用できるかということを検討することにある。図3～図6は攪拌強度別に本実験により得られたフロック終局粒径の値、式 (4) から予測された終局粒径の値と比較したグラフである。これらの図のように攪拌強度が $G=20.2 \text{ s}^{-1}$ と $G=14.4 \text{ s}^{-1}$ では実験値と計算予測値はほぼ一致しており式 (4) は適用できるといえるが、これより攪拌強度が小さくなるにしたがい計算予測値が実験値よりも大きくなり、 $G=3.1 \text{ s}^{-1}$ では実験値の約2倍になることが分かった。今後、さらに低攪拌強度の実験を行い、汎用性の高い終局粒径予測式を構築する必要がある。

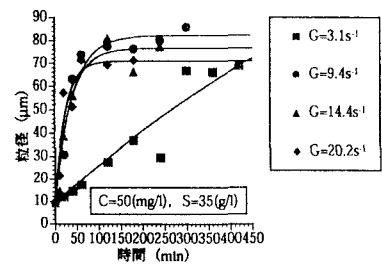


図-1 フロック粒径の経時変化 (攪拌強度による相違)

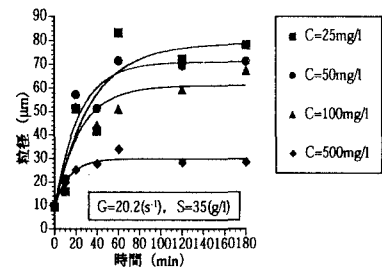


図-2 フロック粒径の経時変化 (濁質濃度による相違)

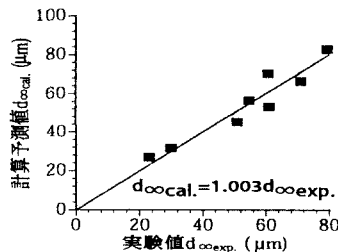


図-3 終局粒径の計算予測値と実験値の比較 攪拌強度 $G=20.2(\text{s}^{-1})$

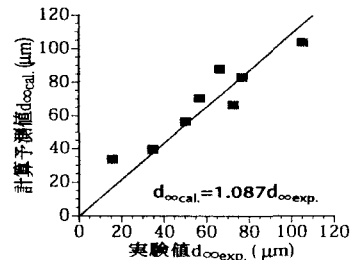


図-4 終局粒径の計算予測値と実験値の比較 攪拌強度 $G=14.4(\text{s}^{-1})$

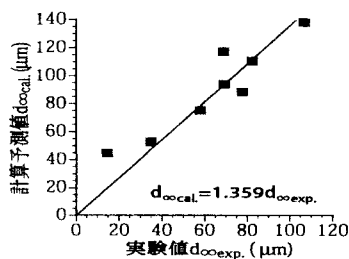


図-5 終局粒径の計算予測値と実験値の比較 攪拌強度 $G=9.4(\text{s}^{-1})$

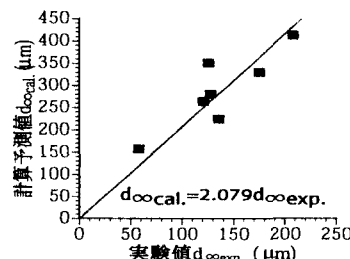


図-6 終局粒径の計算予測値と実験値の比較 攪拌強度 $G=3.1(\text{s}^{-1})$

7. 結論 本実験結果より、今回行った実験範囲内において以下のことが明らかになった。

- ・フロックの終局粒径は、本実験範囲内においては、攪拌強度 G および濁質濃度 C が大きいほど小さくなり、逆に塩分 S が大きくなるほど大きくなるという既往の研究と同じ傾向がみられた。
- ・昨年提起したフロック終局粒径予測式 (4) は、攪拌強度 G がおよそ $15 (\text{s}^{-1})$ 以上の範囲で適用することができる。

8. 参考文献

- 1) 小田一紀・宋元平・芝村圭・農本充：海岸工学論文集，第46巻（1999）土木学会，p.981～985。
- 2) T.R.Camp：Flocculation and flocculationbasins, Vol.79, No283, 1953, pp.10～19。