

下水汚泥の遠心濃縮（Ⅱ）

九州工業大学（学） ○内田志恵

九州工業大学（正） 藤崎一裕

1. はじめに

下水処理において問題なのは、汚水を浄化する際に生じる汚泥の処理である。そのため、汚泥の濃縮についてはいろいろな方法が考案され、実用化されている。しかし汚泥の性質や状態は大変複雑で種類も多いため、定量的な取り扱いがむづかしい。そこで、汚泥の圧縮性に着目し、汚泥の種類、処理の違い、凝集剤の効果などについての比較を試みた。

また、以前より、遠心濃縮のメカニズム解明の第一段階として、小型遠心器を用いた基礎的な検討を行ってきた¹⁾が、今回は軸からの距離に関係なく遠心力を一定としていた点を改良してシミュレーションを行った。

2. 実験装置及び方法

実験用小型遠心器の沈降管（図1）に汚泥を高さ8.0cmまで（約45g）入れ、所定の回転数で遠心沈降させて、時間の進行に伴って沈降界面が低下していく過程と、その回転数での平衡界面高さを測定する。この実験を回転数を種々変えて行った。試料として、北九州市日明浄化センターで採取した濃縮余剰汚泥、生汚泥、混合汚泥と混合汚泥に高分子凝集剤（PAC）を添加したものを用いた。

3. 実験結果及びデータ解析

図2に遠心沈降過程を示す。横軸は時間 t 、縦軸は界面高さ H を、初期高さ H_0 で割った無次元高さ H/H_0 で表している。試料は濃縮余剰汚泥で、回転数を1000～5000rpm（約200G～5000G（ G ：重力加速度 980cm/s^2 ））まで1000rpm刻みで変えて実験した場合の結果である。

図3は、遠心力と平衡界面高さ H との関係である。横軸は、沈降管底部での遠心加速度を重力加速度 G で割ったもので表している。この関係から有効応力 P_s と最終固形分率 $1-\varepsilon$ の関係（図5）を求めることができる。解析法の概要は、図4の座標系に示す諸量を用いて以下の式を連立させて解くものである²⁾。ここに $P(0)$ は P_s に、 $\phi(0)$ は $(1-\varepsilon)$ に対応する（ ε ：空隙率）。

$$\frac{dP}{dr} = \Delta\rho r \omega^2 \phi, \quad \Delta\rho = \rho_s - \rho_0 \quad (1)$$

$$\int_0^P \frac{dP}{\phi} = \Delta\rho g' Z(0) \quad (2)$$

$$Z(0) = \frac{1}{2R} (R^2 - H_\infty^2) = \frac{1}{2} (R + H_\infty)(R - H_\infty) \quad (3)$$

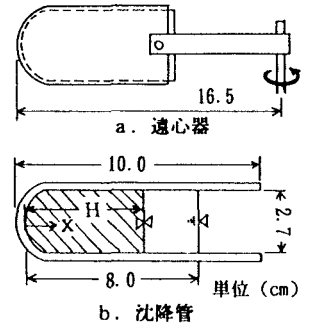


図1 実験装置

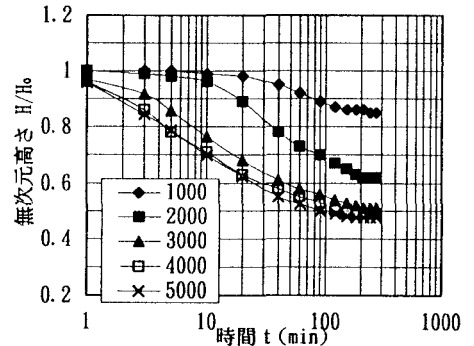


図2 遠心沈降過程

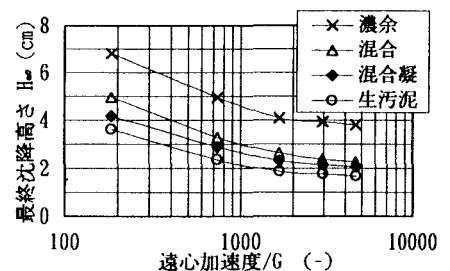


図3 遠心力と沈降高さの関係

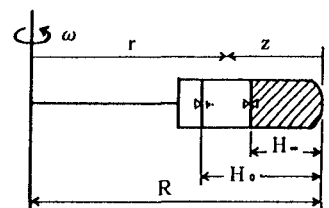


図4 座標系

$$P(0) = \Delta \rho g' \phi_0 H_0 - \Delta(g') \quad (4)$$

$$\Delta(g') = \frac{1}{R} \int_0^{H_0} \frac{P(z)}{\left(1 - \frac{z}{R}\right)^2} dz = R \int_{R-H_0}^R \frac{P}{r^2} dr \quad (5)$$

$$\phi(0) = \frac{\phi_0 H_0 - \frac{1}{\Delta \rho} \left(\frac{d\Delta}{dg'} \right)}{Z(0) + g' \frac{dZ(0)}{dg'}} \quad (6)$$

$$g' = r\omega^2 \quad (7)$$

4. 濃縮過程のシミュレーション

遠心濃縮の過程のシミュレーションには以下の基礎式を用いた。

$$\frac{\partial P_x}{\partial t} = - \frac{\rho_s (1-\varepsilon)^2}{d\varepsilon / dP_s} \frac{\partial}{\partial w} \left(\frac{K}{\mu} (1-\varepsilon) \rho_s \frac{\partial P_x}{\partial w} \right) \quad (8)$$

$$\text{I.C. } P_x = \int_x^{H_0} \rho g' (1-\varepsilon) (\rho_s / \rho - 1) dx \quad (9)$$

$$g' = x\omega^2, \quad \omega = 2\pi f$$

$$K = \frac{1}{S_v^2} \frac{1}{k} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}, \quad k = 5.0 \quad (10)$$

$$w = \int_0^x (1-\varepsilon) \rho_s dx \quad (11)$$

(8)式は過剰間隙水圧 P_x の遠心沈降の進行に伴う減少を表す式で、 ε は空隙率、 t は時間、 P_s は有効応力、 ρ_s は汚泥粒子密度、 μ は水の粘性係数、 f は回転数である。 K は透水係数で、(10)式のようにKozeny-Carmanの式を仮定した((10)式中 S_v は汚泥構成粒子の比表面積である)。(8)式では、沈降管の底部からの距離座標 x の代わりに、底部から x まで積分した汚泥の質量座標 w ((11)式)を用いて式を簡略化した。

また、先に示した有効応力 P_s と空隙率 ε との関係(図5)より以下の実験式を得た。

$$1-\varepsilon = a P_s^b \quad (12)$$

定数 a 、 b の値は汚泥の種類によって決まり(表1)、 b の値が大きいほど、圧縮され易い。

表1の値を(12)式に代入して、数値解を求めた結果を図6中に実線で示している。点は実験値である。この図によると、計算値は実験値をよく再現しているといえる。

今後は、もっと多くの汚泥について継続的な実験を行い、その圧縮性を調べて解析に役立てていくことが課題である。

5. 参考文献

- 1) 藤崎、内田：下水汚泥の遠心濃縮、平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集pp. 410-411
- 2) R. Buscall, L. R. White: The Consolidation of Concentrated Suspensions, J. Chem. Soc., 1987, 83 pp. 873-891

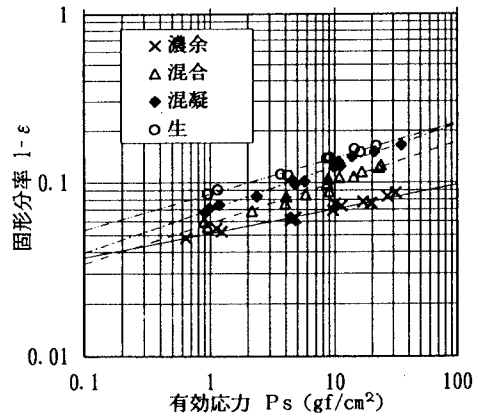


図5 有効応力と固形分率の関係

表1 定数 a 、 b の値

汚泥の種類	a	b
濃縮余剰汚泥	0.051	0.140
混合汚泥	0.058	0.236
混合汚泥+凝集剤	0.071	0.246
生汚泥	0.087	0.206

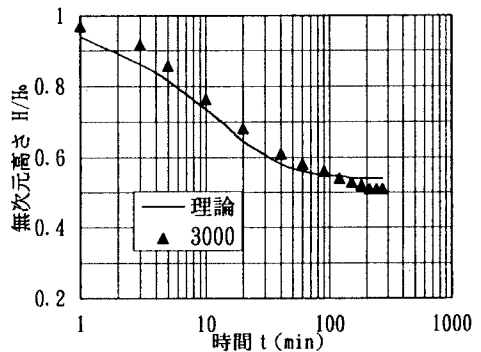


図6 理論値と実験値の比較