

# 非凝集性粒子の界面沈降による基礎的研究

北海道工業大学 正員 宇土沢光賢  
 北海道工業大学 学生員 〇木田 聖通  
 北海道工業大学 高願 昌之

## 概説

産業社会において、ある液体中に浮遊する高濃度の凝集性粒子を取り除く必要性は数多くある。例えば、高濃度工業廃水の凝集性沈殿池等がそれであるが、この液体中に浮遊する粒子を理想的な状態で沈降させるために、古くから装置の考案や改良が行われてきたが、理論的な面では、まだ不十分である。

下水道施設において汚水を処理する場合、社会の衛生的環境を維持するため、下水中に懸濁する粒子を重力の作用下に下方へ移動させ、比較的清澄な上澄みと濃厚なスラッジ、即ち汚泥とに分離し、適当に処理する必要がある。下水道施設における最終沈殿池がこれに相当するわけで、この工程の後に続く遠心脱水、濾過、乾燥などの諸操作を行なう場合、同一の量をもつ水分を分離するための経費は後のものほど大きいから、沈殿池内において濃厚な汚泥を早い時間に作る事が望ましい。ここで懸濁した液を清澄部分と濃厚な汚泥の部分とに分離する操作を沈降濃縮と言う。この沈降濃縮において、非凝集性の粒子を母体とする懸濁液については、Steinour, Leva, Richardson, 等の研究諸式がある。これらの研究は、粒子互いに干渉しながら昇速で沈降することのできる領域における界面沈降速度を算出するために体積濃度と単粒子の沈降速度との関係を導入している。

ここでは、特に Richardson の式を用いて実験結果を検討しながら界面沈降速度と単一粒子速度、濃度との関係をより正確に把握する事を試みた。

## 1 実験装置および実験方法

実験には、ガラス玉もプラスチック玉もを使用した。装置は透明なアクリル板を使用した恒温水槽と、常時一定温度の水を水槽内に循環させるポンプ、および試料を水溶液中で沈降させる、ガラス管とから成っている。

試料のガラス玉は、直径0.4 mm、0.3 mm、0.2 mm、0.1 mmの4種類も、プラスチックは、フルイ分けにより0.7 mm、0.5 mm、0.3 mmの3種類である。また、各々の比重は、ガラス玉2.46、プラスチック1.19である。

それぞれの試料の重量を測りながら、界面ができる濃度まで試料をガラス管に追加していく。界面ができる濃度になったらガラス管内の水と試料を均一に攪拌し、界面沈降速度の測定を行なう。さらに試料の直径をかえ、測定を繰り返す。これ

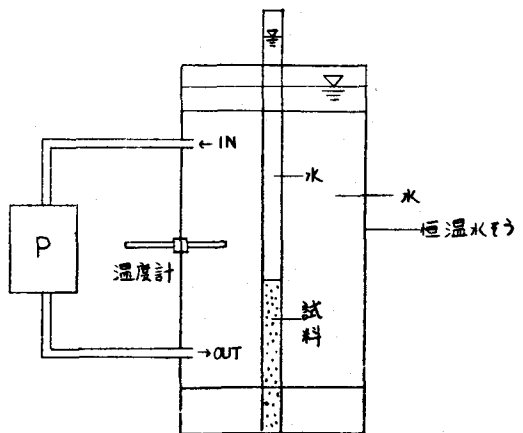


図-1 実験装置

を、ガラス玉及びプラスチックの2種類にわたって行なう。なお、高温水槽内の水温は20°Cに保ち、ガラス管内の水量は、ガラス玉に於いて350cc、プラスチックでは、380ccとした。

## 2 実験結果

実験によって得られたグラフの一例を図2に示す。

これらの図から求めた界面沈降速度を表1に示す。

表1において濃度Cは

$$C = \frac{\text{試料の体積}}{\text{水の体積}}$$

で、求められるが、その場合水の体積を補正しなければならない。

空ゲキ率εは

$$\varepsilon = (1 - C)$$

で、求められる。

表2において抵抗係数Crは

$$C_r = 4 \cdot D \cdot g (\rho_s - \rho_f) / 3 \cdot U_t^2 \mu_f$$

により求められる。レイノルズ数Reは

$$C_r \cdot Re^2 = 4 \cdot D^3 \rho_f \cdot g (\rho_s - \rho_f) / 3 \mu_f^2$$

すなわち、

$$Re = \sqrt{\frac{4 \cdot D^3 \rho_f \cdot g (\rho_s - \rho_f) / 3 \mu_f^2}{C_r}}$$

である。ここにおいて、

D: 単一粒子の直径 (cm)

ρ<sub>s</sub>: 粒子の密度 (g/cm<sup>3</sup>) ρ<sub>f</sub>: 流体の密度

U<sub>t</sub>: 単粒子の終末速度 (cm/sec)

μ: 流体の粘性係数 (g/cm·sec)

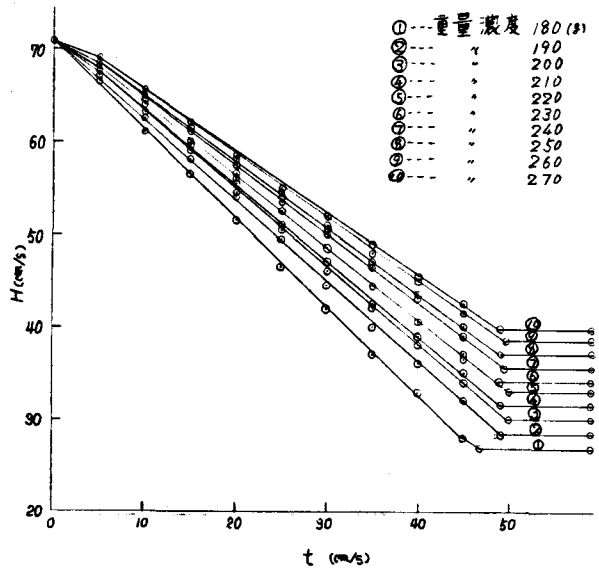


図-2 界面沈降曲線

表-1 界面沈降の測定値

ガラス 重量	界面沈降速度 (cm/sec)				濃度	空ゲキ率
	粒径 0.4mm	粒径 0.3mm	粒径 0.2mm	粒径 0.1mm		
180g	2.087	1.702	0.961	0.367	0.209	0.791
190g	2.018	1.660	0.898	0.352	0.221	0.779
200g	1.995	1.604	0.843	0.328	0.233	0.767
210g	1.952	1.673	0.823	0.321	0.244	0.756
220g	1.955	1.580	0.781	0.305	0.256	0.744
230g	1.887	1.528	0.778	0.287	0.268	0.732
240g	1.878	1.468	0.737	0.280	0.279	0.721
250g	1.775	1.365	0.712	0.266	0.291	0.709
260g	1.705	1.360	0.674	0.241	0.303	0.697
270g	1.640	1.321	0.652	0.231	0.314	0.686

表-2 単一粒子沈降速度 (ガラス)

粒径	単一粒子沈降速度	抵抗係数C <sub>r</sub>	レイノルズ数Re
0.4	5.183	2850	20.711
0.3	4.140	3350	12.395
0.2	2.472	6.265	4.934
0.1	1.173	13.912	1.171

同様にして、プラスチックの測定及び計算結果を表-3、表-4に示す。

3 界面沈降速度と空ゲキ率の関係  
今、界面沈降速度の式を

$$w_c = w_t \cdot \varepsilon^n = w_t \cdot (1-C)^n$$

$w_c$ : 界面沈降速度 (cm/sec)  
 $w_t$ : 単粒子の沈降速度 (cm/sec)  
 $\varepsilon$ : 空ゲキ率  
 $n$ : 指数

と仮定した場合、両辺の対数をとると上式は

$$\begin{aligned} \log w_c &= \log w_t + \frac{1}{n} \log \varepsilon \\ &= \log w_t + \frac{1}{n} \log (1-C) \end{aligned}$$

となり、さらに  $\log w_c = Y$ 、  
 $\log w_t = b$ 、 $\log \varepsilon = x$ 、 $n = a$   
 としたならば、上式は

$$Y = ax + b$$

で表わす事ができる。この式は界面沈降速度と空ゲキ率との関係を示しており、図-5にその一例を示す。このグラフにおいて横軸の空ゲキ率  $\varepsilon = (1-C)$  の値が1.0の時のY軸の外挿は単一粒子速度  $w_t$  にはかならない。またグラフの傾き  $a$  と単一粒子速度  $w_t$  は最小2乗法を用いて算出した。その結果を表-5に示す。さらに表-5で求められた指数  $n$  とレイノルズ数  $Re$  との関係を図-4に示す。

4 沈降水量と粒子径との関係  
 界面沈降において単位面積、単位時間内に沈降除去することのでき

表-3 界面沈降の測定値

プラスチックの重量	界面沈降速度 (cm/sec)			濃度	空ゲキ率
	粒径 0.7mm	粒径 0.5mm	粒径 0.3mm		
80%	1.000	0.676	0.390	0.168	0.832
90%	0.972	0.664	0.342	0.190	0.810
100%	0.835	0.594	0.306	0.211	0.789
110%	0.833	0.561	0.289	0.232	0.768
120%	0.766	0.526	0.273	0.253	0.747

表-4 単一粒子沈降速度 (プラスチック)

粒径 (mm)	単一粒子沈降速度 (cm/sec)	抵抗係数 (n)	レイノルズ数 $Re$
0.7	2.515	2.768	17.605
0.5	1.730	4.213	8.650
0.3	1.023	8.503	3.069

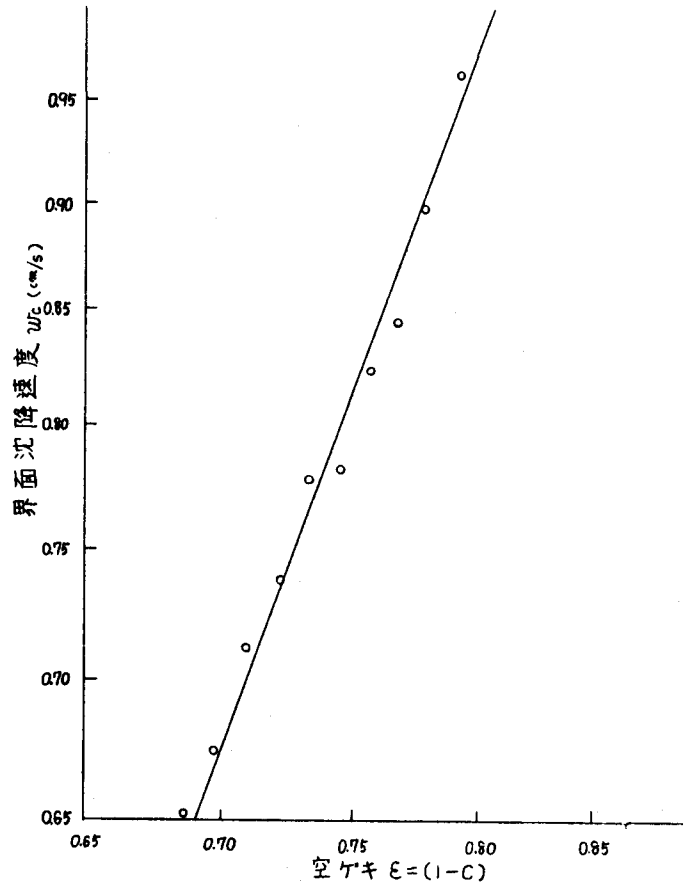


図-5 界面沈降速度と空ゲキとの関係

る粒子量(泥降フラックス量)は、試料の密度から水の密度を引いた値に界面沈降速度とその時の濃度を乗ずる事により求まる。また泥降フラックス量は、単粒子の泥降速度の増加と空ゲキの減少との兼ね合いの上で最大値を示す。<sup>2)</sup>ここではガラス玉の泥降フラックス量を求め、この値と粒子径とから求めたグラフが図-5である。

### 5 考察

以上の測定計算から非凝集性粒子の界面沈降について次の結論を得た。

(1) 界面沈降速度と空ゲキ率の関係において、単一粒子沈降速度の実測値が最小2乗法により求められた値と近似していない。これは仮定に用いた式 ( $u_c = u_{c0} \cdot \epsilon^{1/2}$ ) が我々の求めた実測値の範囲内では誤差を生ずるのか、あるいは実験に用いたガラス管の長さ十分でなく単一粒子の速度が終末速度に達する前に測定してしまつた為と思われる。

(2) ガラス玉の泥降フラックス量と粒径から求めた図-5において粒子径が100~200 $\mu$ の間は比較的安定であり、200~300 $\mu$ の間は泥降フラックス量が急激に増加し、300~400 $\mu$ の間はゆるやかに上昇する特性が得られた。

### 参考文献

- 1) 穂積 肇：凝集性スラリの圧縮沈降特性に関する研究 水道協会誌 第514号 P.2~16. 1977.
- 2) 丹保、宇土澤：高濃度凝集性粒子群の沈降特性 衛生工学研究討論会講演集 第98~105 1973

表-5 計算値 (ガラス)

粒径	0.4 mm	0.3 mm	0.2 mm	0.1 mm
a	1.6839	1.9070	2.5907	3.1990
b	3.1449	2.7150	1.7163	0.7798

(ガラスティック)

粒径	0.7 mm	0.5 mm	0.3 mm
a	2.6112	2.4573	3.3296
b	1.6288	1.0774	0.6994

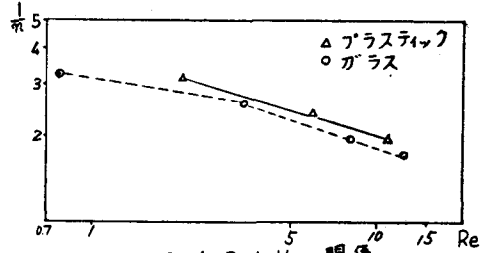


図-4 Reと1/Reの関係

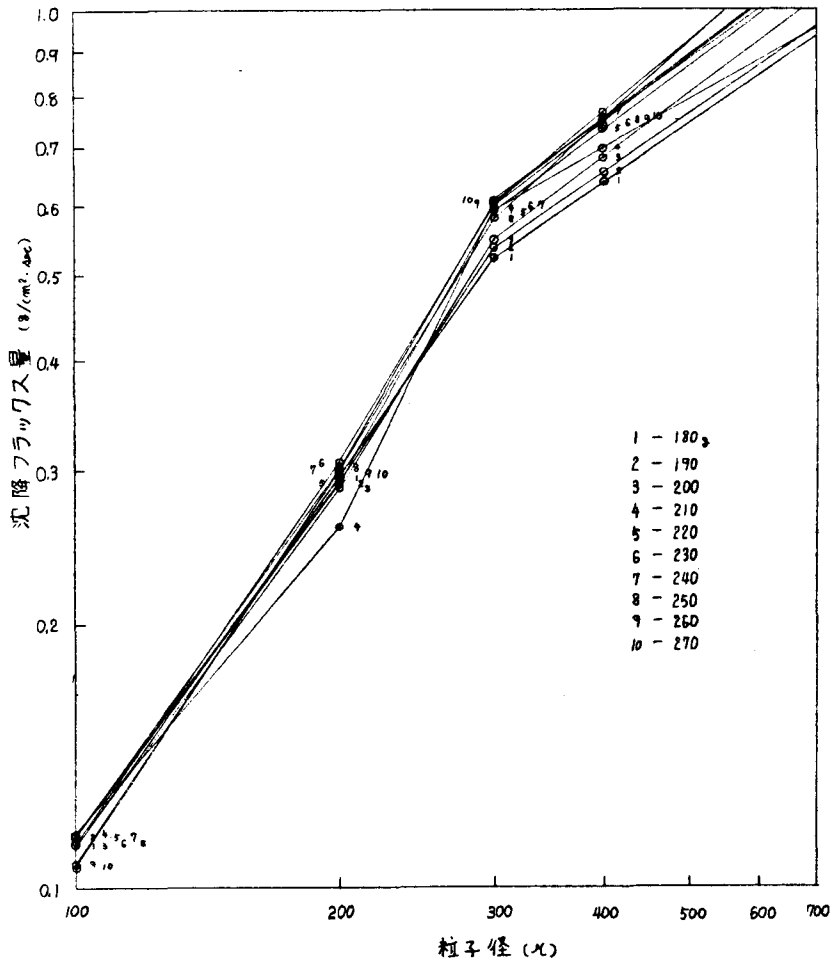


図-5 泥降量と粒子径