

# 水室式沈澱槽について

豊田工業高等専門学校 正員 山本 広次

## 1 概 要

公害防止のため、富山県新湊市の日本高周波ⅩⅩ富山工場に設置した、水室式沈澱槽について報告をする。この水室式沈澱槽は、同工場の40t電気炉でインゴットの焼入れ処理を行なうとき、発生する赤褐色の粉塵を、回収処理するために設けられた設備である。

一般に、工場で発生する粉塵は、集塵した上で、フィルター又は電気集塵機を使って、乾式で除去するか、水で洗滌して、沈澱槽で処理する湿式の二方法が行なわれている。

湿式の沈澱槽は、一般に、工事は容易であるが、微粒子の沈澱処理がむづかしく、污水問題を考慮して、工事費の高い乾式で施工されるものが多い。

水室式沈澱槽の、基本的構想は、水中を流下する懸濁粒子の沈降速度は、Rynold数に比例して、小さくなる。流水中の懸濁粒子は、静止する空間があるときは、粒子は、その方向に向つて曲る傾向がある。水路を流下する懸濁粒子は、水路の底辺付近を、密度流となつて流下する。この三つの現象を利用して、水槽の下部に、流速の小さい水室を設け、水流のうちの密度流だけを導いて沈澱させれば、沈澱機能は大きく、沈澱槽の容積は小さく、することができると言う構想である。

日本高周波富山工場の、水室式沈澱槽を操作の結果は、鉄粉の直径  $3 \sim 4 \mu (1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ mm})$  以上のものを沈降させ、懸濁粒子の99.8%を回収している。

## 2 固体粒子の沈澱

液体中の懸濁粒子の沈降速度は、粒子の大きさ、形状、密度、液体の温度、粘性係数に関係する。

$\rho_s$ : 粒子の密度  $\text{g/cm}^3$      $\rho_L$ : 液体の密度  $\text{g/cm}^3$

$D$ : 粒子の直径  $\text{cm}$      $\alpha$ : 粒子の抵抗係数

$\mu$ : 液体の粘性係数  $\text{g/cm} \cdot \text{sec}$

とすれば、

層流 および乱流の領域、Newton式

$$v = \frac{4g(\rho_s - \rho_L)}{3C_d \rho_L} D \quad \text{--- (1)}$$

層流で、粒子の直径が小さい場合、Stoke式

$$v = \frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_L}{\mu} g D^2 \quad \text{--- (2)}$$

この両式より、粒径と沈降速度の関係は、図一ノの通りである。

沈澱槽における流速と沈降速度の関係は、図一2の通りで、

沈澱槽の所要面積は、沈澱除去率を100%とすれば

$$A = \frac{Q}{v_o} \quad \text{--- (3)}$$

$A$ : 沈澱槽の所要面積  $\text{m}^2$      $Q$ : 沈澱槽の流量  $\text{m}^3/\text{sec}$

$v_o$ : 粒子の沈降速度  $\text{m/sec}$

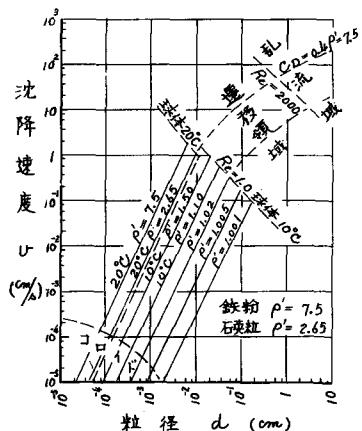


図-1 粒径と沈降速度

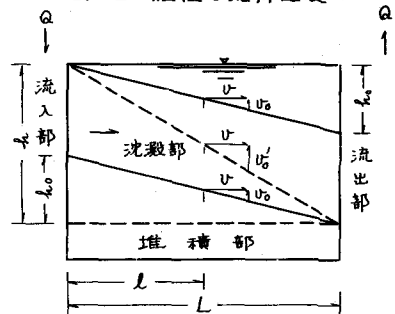


図-2 常流沈澱池

Hazen は、水底に到達した粒子は再び浮上しない、粒子は同大、同一沈降速度と仮定して、理論式を導き、その結果を図-3に示している。<sup>(3)</sup>

曲線①は、理想沈澱槽、又は間歇沈澱槽、一般の沈澱槽の沈澱は、曲線②~④である。

$$\left. \begin{aligned} E_T &= 1/(1+T/t_0) \\ E_T &= (1-t_0/mT)^n \end{aligned} \right\} \text{----- (4)}$$

$E_T$  : T時間後の除去率

$t_0$  : 沈澱時間

$v_0$  : 粒子の沈澱速度

$n$  : 沈澱室の数

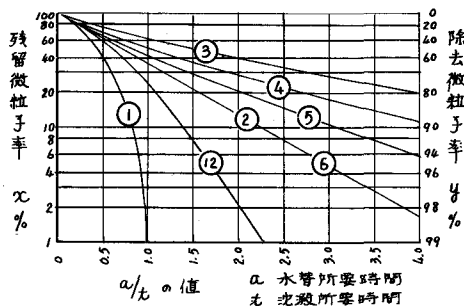


図-3 Hazenの理論による沈澱

### 3 沈澱槽の実験

矩形沈澱槽について、最近注目すべき研究が、二つ発表された。

Manchester 大学の、D. M. Thompson 博士は、1967~68 矩形沈澱槽の実験を行ない、次の結果を得た。<sup>(5)</sup> 矩形沈澱槽は、長さ  $L$ 、巾  $B$ 、深さ  $D$ 、流入水深  $H$ 、流入量  $Q$ 、密度  $\rho$ 、平均流速  $v$ 、流入水の濃度  $C_i$ 、流出水の濃度  $C_e$ 、粒子の沈降速度  $v_m$ 、沈降係数  $\sigma_u$ 、重力の加速度を  $g$  とすれば

$$\frac{C_e}{C_i} = f_1 \left( \frac{C_i}{\rho} \cdot \frac{v_m}{\sigma_u} \cdot \frac{\rho v_m L}{\mu} \cdot \frac{Q}{v_m L B} \cdot \frac{v_m^2}{g L} \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{H}{L} \right) \text{--- (5)}$$

実験に使った A 水槽は、 $L=99$  cm  $B=35.6$  cm  $D=20.4$  cm  $H=2.5$  cm

B 水槽は、 $L=297$  cm  $B=106.8$  cm  $D=61.2$  cm  $H=7.5$  cm

を用い

10 種の流量と、5 種の濃度について、5 回宛の実験を行なった。

実験の結果は、 $\frac{C_e}{C_i}$  の誤差は 8% 以内で、式 (5) は、次の通りとなる。

$$\frac{C_e}{C_i} = f_2 \left( \frac{v_m}{\sigma_u} \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{Q}{v_m L B} \right) \text{----- (6)}$$

水槽内における水流の現象については、次の通りである。

密度流の場合は、図-4 (b) の如く、潜入流と表面還元流が起り、突入点が現れた。

清水の場合は、図-4 (c) の如く、表面流型となつた。

如何なる場合も、図-4 (a) の如き、単純流型は起らなかつた。

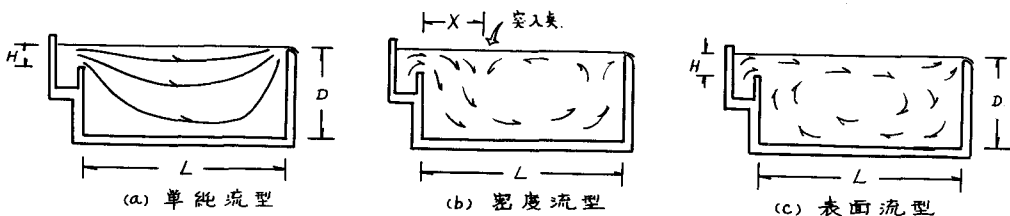


図-4 Thompson の短型水槽の実験

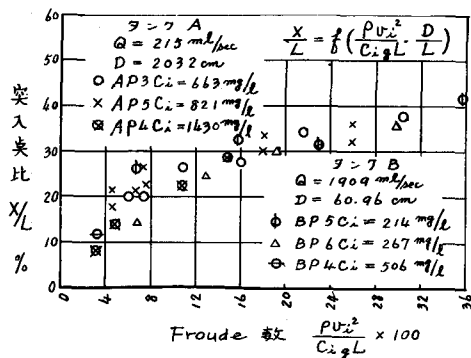


図-5 Froude 数と突入長との関係 (Thompson)

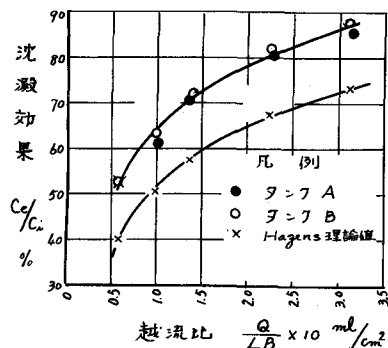


図-6 沈澱効果と越流比の関係 (Thompson)

実験の結果は、突入点の位置  $X$  は、図-5 の如く、Froude 数の関数で表され、何れも水槽長さ  $L$  の 9 ~ 42 % であつた。

実験における沈澱効果  $C_o/C_i$  を、流量比  $Q/LB$  についてプロットすれば、図-6 の通りで、Hazen の理論値との間に、拡散係数等により多少の差を生じたが、懸濁粒子の濃度や、水槽の水深はほとんど関係がなく、沈澱効果は Hazen の法則により  $Q/LB$  に左右される。

九州大学の栗谷陽一博士は、「 $\Gamma$  形沈澱池における密度流と死水」の関係について実験を行ない、その結果を 1969 年発表された<sup>(6)</sup>。その概要は、Thompson 博士の実験における突入点から下流の還元流の部分に、死水域が発生する。死水域を生ずる原因は、温度差と密度差であるが、特に密度差が大きくなると顕著に死水域が生じ易くなり、密度流は沈澱槽に流入すると直ちに下降を始める。

現象としては、Thompson の実験と類似である。

#### 4 水室式沈澱槽の水理

水室式沈澱槽は、図-7 の如く、第 2 沈澱槽の下流側に、水槽長さの 2/3 程度床版を張つて上下に仕切り、上部は開水路、下部を水室とし、水室の下流端にオリフイス孔を設けた構造である。

図-7 において、第 1 沈澱槽は、普通の  $\Gamma$  形沈澱槽で、懸濁粒子の大径のものを沈降させ、第 2 沈澱槽は、水室式沈澱槽で、小粒子を沈澱させる。

水室式沈澱槽の、上部を開水路、下部を管水路とすれば、両水路の分岐点図-7 の A B 点間の水理は、 $Q_1$  を開水路流量、 $Q_2$  を管水路流量とすれば

$$Q_o = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = v_1 \times A_1 \quad v_1 = \frac{1}{\pi_1} R_1^{\frac{2}{3}} I_1^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_2 = v_2 \times A_2 \quad v_2 = C R_2^{\frac{2}{3}} I_2^{\frac{1}{2}}$$

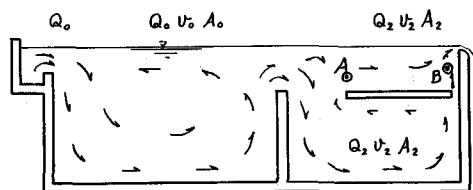
$$\sum h_1 = \sum h_2$$

一般に、管水路の損失水頭は、流入・摩擦・急縮・

急拡等が影響する。開水路と管水路の各損失水頭

が、平衡する流量の割合で、両水路を流下する。

下部水室の損失水頭は、水室の下流端に設けた小孔



第1沈澱槽

第2沈澱槽

図-7 水室式沈澱槽

の、通水断面積が大きく作用する。したがって、下部水槽の通水量は、オリフィス孔の寸法で、計画的に決めることができる。水室内の平均流速が判れば、水室内の沈澱物の粒径も、予め決めることが可能である。

水室式沈澱槽は、Thompsonの実験における突込点、又は栗谷博士の死水域付近までをアプローチとする。流水中の懸濁粒子は、アプローチ部分に流入すると共に、密度流は流速の小さい下方に向つて沈降を起し、静止状態に近い水槽の底面に沿つて流下しつゝ懸濁粒子を沈澱させ、沈澱した粒子は移動しない。

沈澱槽に床版を張つたことにより、沈澱槽内の水流は、Thompsonの実験よりも多少変つてくるが、恐らく、密度流は、図一七の矢印の如き流れを起していると推定される。

5 実施例

日本高周波富山工場の水室式沈澱槽は昭和43年6月設計をし、12月に運転を開始した。その概況は写真一ノの通りである。その構造は、沈澱物処理の都合により、図一八の如く、二つの水槽を設けた。第1沈澱槽は、矩形沈澱槽で、鉄粉の粒径10μ以上を処理し、第2沈澱槽は水室式とし、4μまでと沈澱させる計画である。

水室の構造は、型钢を組み、床に鋼板を張り、潤辺を大きくするために鋼板を吊つた。

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 目 的          | 40t 電気炉 焼入れ処理の粉塵                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 沈 澱 物        | 鉄粉 20μ~4μ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 使用水量         | $Q_0 = 80 \text{ m}^3/\text{h} = 0.022 \text{ m}^3/\text{sec.}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 第1沈澱槽        | $B_0 = 5.0 \text{ m}$ $H_0 = 3.0 \text{ m}$ $H_e = 2.5 \text{ m}$ $A_0 = 12.5 \text{ m}^2$ $L_0 = 7.0 \text{ m}$<br>$V_0 = 0.0018 \text{ m}^3/\text{sec.}$ $d_0 = 1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ $\rho = 7.0$ $V_0 = 105 \text{ m}^3$                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 第2沈澱槽        | $B_1 = 5.0 \text{ m}$ $H_1 = 0.9 \text{ m}$ $A_1 = 4.5 \text{ m}^2$ $Q_1 = 0.021 \text{ m}^3/\text{sec.}$<br>$V_1 = 0.0047 \text{ m}^3/\text{sec}$ $\Sigma h_1 = 4.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$<br>$B_2 = 5.0 \text{ m}$ $H_2 = 1.9 \text{ m}$ $A_2 = 9.5 \text{ m}^2$ $A_3 = 0.75 \text{ m}^2$ $Q_2 = 0.001 \text{ m}^3/\text{sec}$<br>$V_2 = 0.000105 \text{ m}^3/\text{sec}$ $d_2 = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}$ $\Sigma h_2 = 5.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$ $V_2 = 75 \text{ m}^3$ |
| 第2沈澱槽は、下部水室に | $\frac{1}{20} Q_0$ だけを通水し、水室内の平均流速は 0.1mm/sec 沈澱物の最小粒径は4μ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

の計画である。

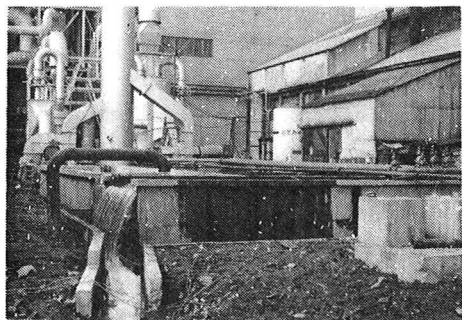


写真 1

日本高周波富山工場の水室式沈澱槽  
深さ3m 巾5m 長さ12m 容量180m<sup>3</sup>

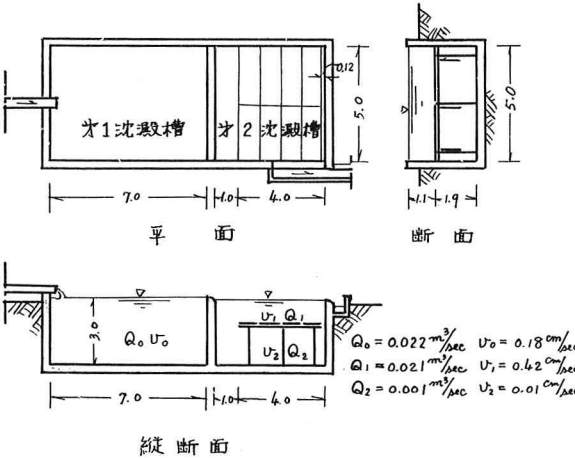
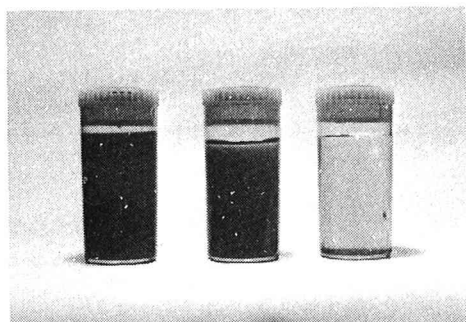


図 - 8 日本高周波の実施例

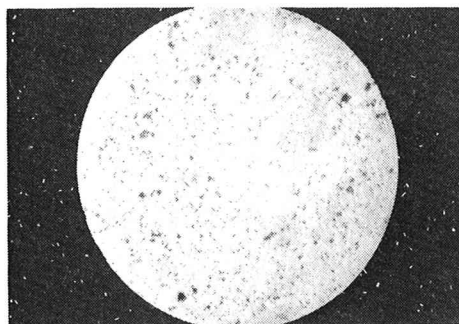
## 6 成 果

昭和44年3月、水室式沈澱槽の各点で試料を採取し、その結果を測定した。沈澱槽の沈澱効果は工場の操業状態  
 ・沈澱物の堆積状況・洗滌処理水の大小により濃度も濁度も変動するが、試料は平常運転の状態にて採取した。



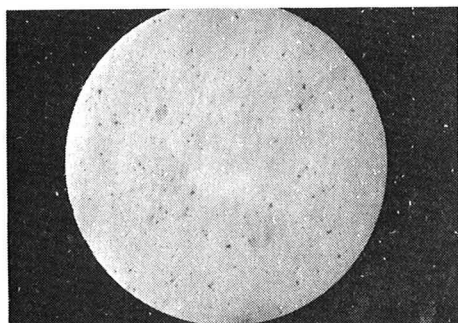
写 真 2

沈澱槽各点の採取時の原液、左は流入口  
 中は中央オーバーフロ、右は排水口



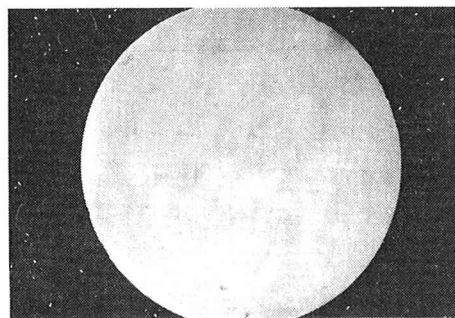
写 真 3

流入口の検微鏡写真、倍率120、直径1.0mm  
 濁度950、濃度1895ppm



写 真 4

中央越流部の検微鏡写真、濁度110、濃度  
 258ppm、8μ以上のものは除去された



写 真 5

排水口の検微鏡写真、濁度18、濃度21ppm  
 3μ以下のものが残っている

各点の原液の濁度と濃度は次の通りである。富山県工業試験場分析

| 写真No | 位 置 | 濁 度 | 含有量  | 粒子の大きさ | 分 析 法                |
|------|-----|-----|------|--------|----------------------|
| 3    | 流入口 | 950 | 1895 | 30~1   | 濁度 JIS K0101 8.1 一般法 |
| 4    | 越流部 | 110 | 258  | 8~1    | 懸濁物質 JIS K0102 10.2  |
| 5    | 排水口 | 18  | 21   | 3~1    | ガラスろ過器 104 使用        |

測定の結果は、串ノ沈澱槽で、粒径8μ以上の鉄粉86.2%が除去され、第2沈澱槽で、粒径3μ以上のもの  
 13.6%が沈澱し、工場排水中の鉄粉99.8%を処理、回収した事になる。

この処理水は海水が混っている、イオン化傾向、鉄粉(+)、塩化カルシウム(-)が作用しているかも知れぬ。  
 (富山大学化学工学科若林博士) 第1沈澱槽で、30~8μを除去し、凝集沈澱を避けたこと

が効果的であつたかも知れぬ。床版の鉄板を吊付けのため1 cm あけたこと、水室内に鉄板を吊り下げたことも、影響するかも知れぬ。

長さ7.0 mの第1沈澱槽で84258 ppmまでしか沈澱しないのに、僅か5.0 mの第2沈澱槽でコロイドに近い粒径3μ、残留物質2 / ppm、沈澱効果99.8%まで鉄粉を除去することができた。

在来の沈澱槽でこの通水断面では、粒径8μ、沈澱効果90%は困難であると推定される。濁度も18度まできれいになり、還元して洗蓆に使用も可能であるが、放生津濁に放流した結果は、放水口付近の水面が次第に浄化されつつある。

水室式沈澱槽の沈澱効果は、Hazen理論の沈澱するまで送水を停止する間歇沈澱槽、又は沈澱し終つた清水のみを逐次取水する理想沈澱槽、即ち図一3の①の曲線に近い沈澱効果を示している。

本実施例は、両沈澱槽間の隔壁に器具を取付ける関係で中間壁をオーバフロー型とし、この部分が乱流になつている。この隔壁を50~100 cm低くして乱流を防止し、Thompsonの実験より、アプローチを多少長く改めればより沈澱効果が大きかつたと推定される。

7 結 び

日本高周波富山工場の水室式沈澱槽は、測定の結果は、水理計算による推定値より更に大きな沈澱効果を示し、実験用水槽とも言える小型の沈澱槽で、大きな機能を発揮した。

水室式沈澱槽は、水道・農業・水力発電等流砂の沈澱槽にも適用出来ると考え、設計したのが図一9である。図一9は農業用水  $Q=6.5\text{ m}^3/\text{sec}$   $d=0.015\text{ cm}$ を対照にしたが、同一機能の在来型沈澱槽の1/10の容量である。排砂バルブに図一9の如く、エジェクターパイプを取付けると、バルブを開けた都度上部の清水が掃流作用を行ない、水路は通水を行ない、排砂を行なうことができる。

水室式沈澱槽は、比重1.0以上で、コロイドよりも大きな固形粒子なれば、薬品を使用しなくても微粒子を沈澱させる機能を持ち、水質保全、公害防止に役立つと考えられる。

この水室式沈澱槽の実現と調査に協力された、日本高周波富山工場・富山県工業試験場・富山工業高等学校・北陸コンサルタントKKの皆様に謝意を申述べます。

参 考 文 献

- 1、岩井重久・廃水の生物学的処理 コロナ社 1968
- 2、清浦雷作・工業排水 日刊工業新聞社 1968
- 3、広瀬孝六郎・都市上下道 技報堂 1964
- 4、土木学会・水理公式集 土木学会 1963
- 5、D. M Thompson Proceedings 1969 Vol 43
- 6、栗谷陽一 楠田哲也・く形沈澱池における密度流と死水 土木学会論文報告集 1969 第168号

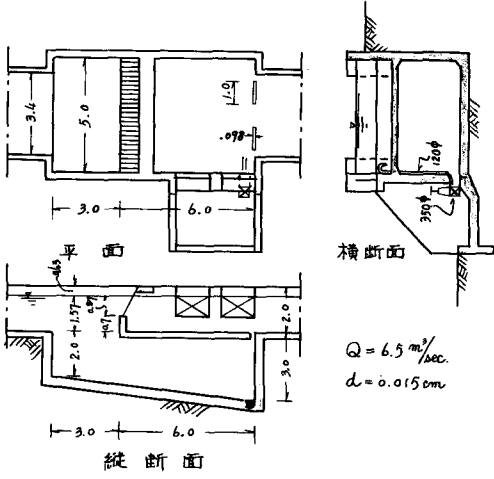


図-9 農業用水用計画案