Agitair 浮選機の槽底におけるかくはんに関する研究*

(第 2 報)

正 会 員 守 屋 格**
正 会 員 松 村 博 昭***

Studies on Agitation at the Bottom of the Agitair Flotator

(2nd Report)

Itaru MORIYA, and Hyroaki MATSUMURA

In this report, the motion of pulp and bubbles in the Agitair flotation cell and the correlation between their motion and intensity of agitation at the bottom of the cell were investigated by using a small batch cell provided with a stabilizer. The results obtained are as follows:—

1. It was ascertained that the impeller had an specific height H_0^* to keep the flow of water and bubbles in good condition.

2. It was demonstrated that the impeller had an optimum height H_e to keep the flow of pulp in good condition, and when specific gravity, size and quantity of particles were given, H_e was affected chiefly by the value H_0^* . In our experiment, H_e had existed in the range of 38~66% of the height of stabilizer from bottom of the cell.

3. In order to make agitation effective, it is necessary to set the impeller below its optimum height H_e .

4. When the impeller is set below its optimum height H_e , intensity of agitation at the bottom of the cell increases in proportion to the number of slits and the circumferential velocity of the impeller. It, however, decreases with increase of air quantity introduced in the cell and the height of the impeller from the bottom, being independent of the height of stabilizer from the bottom of the cell.

1. 緒 言

前報¹⁾に引き続いて本報では、実技に一步近づく意味で、じやま板を挿入した水槽と違つたスリット数をもつインペラとを組合せたかくはん装置を使用し、インペラとじやま板のそれぞれの各設置高度についてインペラの外周速度と供給空気量を変えて実験を行なつた。それによつて種々の運転条件下におけるじやま板付き槽内の鉱粒と気泡の動態を解明するとともに、槽底に生ずるかくはん強さを比較し、この両者に及ぼすじやま板の影響について考察を加えると同時にこの両者の相関関係を明確にすることを試みた。

2. 実験の装置と方法

実験装置は、供試槽を除いては前回の装置をそのまま使用した。供試槽は第1図に示すように、前回の槽の内部にじやま板を挿入したもので、じやま板は鉱粒投入量

を多くした場合に限り真鍮板製のものを用い、その他の場合にはガラス板製のものを用いた。計器類及び各要項

第1図 供 試 槽

* 昭和37年12月20日受理

** 秋田大学鉱山学部助教授 鉱山機械学教室

*** 東北大学高速力学研究所助手

測定の方法、範囲等は前回におけるとほぼ同様である。

じやま板付き槽内の流動は、じやま板なし槽内の流動に較べて一段と複雑になるので、その流相の査定に当っては、簡易に測定ができてしかも比較的適確な結果を与える糸流し試験法によった。この試験法は浮選機方向では林により Fahrenwald 型機内の流相確定の際にピトー管と併用されて好結果をもたらしている²⁾ので、本実験においてもこの試験法（本実験では80番綿糸使用）を利用した。

3. 実験の結果と考察

3.1 じやま板付き槽内における流れの動態

第3図 インペラ直下の流動(コアが存在しない時)

3.1.1 インペラ直下の

槽底における静圧差：インペラ直下の槽底面上における静圧力ヘッドを測定してみると、第2図に示されるような結果を得る。この測定値には多少の動圧の影響を含むと考えられるが、その影響は僅少と推察されるので、これらの曲線は静圧力ヘッド分布の姿をほぼ示すものとみなすことができる。第2図に示される曲線は、 H_0/H_s が小さい時には、じやま板なし槽においてみられたと同様な放物線

第4図 インペラ直下の槽底面上の円形区域における中心と外周間の差圧ヘッド ($H_0/D=0.05$)

に近い形状を呈し、 H_0/H_s が大きい時には、 H_0/D に対する圧力勾配がゆるやかな直線に近い形状を呈している。したがって H_0/H_s が比較的小さい時は、槽底における流れはじやま板の影響を受けることが少なく、インペラの直下にはいわゆるコアが存在するが、 H_0/H_s が比較的大きい時は、槽底における流れはじやま板の影響を受けることが多く、インペラの直下にはもはやコアが存在しないでコアと性質が異なる流動が生じていることがわかる。このようなコアと異なる別種の流動は糸流しの結果によれば、ほぼ第3図に示されるような輻流であ

第5図 H_0^*/D と H_s/D との関係

ると推察されるが^{a)}、第2図に示される静圧力ヘッド分布曲線は、このような輻流において現われると考えられる圧力分配線にほぼ一致する。

第4図は、第2図に示されるような静圧力ヘッド分布曲線を基として求められる。インペラ直下の槽底向上の円形区域における中心と外周間の静圧力の差圧ヘッドの値及びコアの存在する範囲を併わせて表示した図である。この図に示されるコアの存在範囲内における差圧ヘッドは、じやま板なし槽の底面上におけるコアの中心と外周間の差圧ヘッドに較べれば、大きさの点で数十%程度の増減がみられるにもかかわらず、両差圧ヘッドの $z, u, Q, H_0/D$ に対して変わる傾向はほぼ一致している。これによつて、槽底面上においてコアの中心と外周間に生ずる差圧ヘッドは、じやま板の有無によつてその大きさはかなり大きく変動するが、その $z, u, Q, H_0/D$ に対して変わる傾向はほとんど変わらないものといえる。

第5図は、第4図に示したようなコアの存在範囲内の H_0/D の上限値 H_0^*/D をじやま板の各設置高度について求めた結果を示す。この図にみられるように、 H_0^*/D の値は、 H_s/D とともに増し、 z, Q が増せば減少し、 u が増せば、 $Q=0$ の場合には H_s/D の値に応じて増加、減少、不変のいずれかとなり、 $Q>0$ の場合にはすべて増加している。

3.1.2 じやま板直下の領域内における流動図： じや

- 上昇流 上昇流の存在区域
- 水平流 水平流の存在区域
- 下降流 下降流の存在区域

(a), (b) は $H_0/D=0.02$, (c), (d) は $H_0/D=0.05$ の時
(a), (c) は $H_m=0.1H_s$, (b), (d) は $H_m=0.9$ の場合

第6図 じやま板直下の領域内における流動
($H_s/D=0.05, z=24, u=6\text{m/sec}$)

第7図

じやま板領域直下の底面上における静圧力ヘッド及び円周速度分布
($H_s/D=0.05, z=24, u=6\text{m/sec}, H_0/D=0.02$)

ま板直下の領域内で糸流しを行なつてみると、この領域内の水は、インペラ直下にコアが存在する場合には、全体がコアと共に回りしており、インペラ直下にコアが存在しない場合には、8つの部分に分かれてほぼじやま板の延長面で仕切られた8つの区画内で流動していることがわかる。

第6図は、このような2つの場合について、上の領域内において底面からの高さ H_m が約 $0.1H_s$ 及び約 $0.9H_s$ の位置に存在する2つの水平断面内で糸流しを行つて得られた、各断面内における流れの方向、向きおよび上昇、水平、下降の各流れの分布状態を示す。これらの図において、小丸は測定的位置を示し、小丸に連なる矢印線は糸の底面に対する投影の方向、向きを示すと同時にその長さを、糸が水平な時を1として、糸が水平面に対して 45° 以下の傾斜の時に $2/3$ 、 45° 以上の傾斜の時に $1/3$ 、垂直の時にゼロと定めて、糸の水平面に対する傾斜度合を区別している。

じやま板直下の領域内の水がコアと共に回りする場合には、第6図(a)(b)に示されるように、この領域には中央に近い内側の輪形の部分に下降流が一様に流入してきて底面を打つた後、槽の側面に沿いじやま板領域に向つて上昇し、流動が整然としている。水が水平面で旋回する時に、中心に強制渦が存在すれば、その外方は強制渦でない限り自由渦であるのが一般である^{a)}から、共回り流れは当然自由渦の成分を含む流れであると想像される。そこで共回り流れが自由渦成分を含むか否かを知るために、底面上における圧力と円周速度とを測定してみると、第7図に示される結果を得る。ただし第7図の円周速度線図に示される破線群は、自由渦における円周速

a) コアはその水平断面内で円周方向と半径方向に分速度をもつ流れであるので、この旋回成分が減殺されてくると輻流がはつきり現われてくる。

度分布曲線である。第7図をみれば、静圧力ヘッド分布曲線には大きい動圧の影響を含む部分がみられるのでこの曲線は静圧力ヘッド分布を与えないが、円周速度分布曲線は全く反転点をもっていないので、大まかには円周速度の概略的な傾向を表わすと考えることができる。このような円周速度分布曲線の形状によって判断すれば共回り旋回流は自由渦成分をもつことが明らかであり、したがって、じやま板付き槽の槽底における流れは、インペラ直下にコアが存在する場合には、極めて大まかには近似複合渦であるといえる。

第7図に示される円周速度は、槽中心からの距離が増すにしたがって急に低下し小さい値となるが、これは円周速度がじやま板によって抑制され、その代りに第6図から察知されるように上昇速度が強化される結果と考え

られる。なお、このような円周速度分布曲線の形状は、永田らがじやま板付き円筒形槽と低速かい型翼とを使用して得た該槽内の円周速度分布曲線の形状⁴⁾によく似ているが、この類似はじやま板の特性に因るものと考えられる。

じやま板直下の領域内の水が、上述のような8つの区画内で流動する場合には、第6図(c), (d)に示されるように、この領域内に流入する流れはじやま板領域からの下降流だけであり、この下降流は各じやま板直下の底面を打った後、反対向きの二流に分岐して、それぞれじやま板の延長面で仕切られて隣合う区画に侵入するので各区画の底面上の中央辺には向かって進んでくる二流の衝突が起こり、この結果この区画内から一部の水がインペラ下部に向って押出され、残部の水がじやま板領域に上昇するものと推察される。なお第6図に示される破線は、その中に渦流が存在するとみられる区域のおおよその輪郭を示すもので、この輪郭は実験の際に不安定な動きを示した糸の位置ならびに第6図と後掲の第8図とを参照して推定した。

3.1.3 じやま板領域内における流動図

第8図は H_0/D が 0.02 と 0.05 の2つの場合につ

(a), (b) は $H_0/D=0.02$, (c), (d) は $H_0/D=0.05$ の時
(a), (c) は $H_m \approx 1.1H_0$, (b), (d) は $H_m = 2H_0$ の場合

第8図 じやま板領域内における流動
($H_0/D=0.05$, $z=24$, $u=6\text{m/sec}$)

(a) $H_0/D=0.02$

(a) $H_0/D=0.02$ (b) $H_0/D=0.05$
(珪砂: 粒度=20~32mesh, 比重=2.6, 投入率=0.4%容積)

第9図 スリット光線光幕内における珪砂の流れ模様
($H_0/D=0.05$, $z=24$, $u=6\text{m/sec}$)

(b) $H_0/D=0.05$

(珪砂: 粒度=20~32mesh, 比重=2.6, 投入率=0.4%容積)

第10図 スリット光線光幕内における珪砂の流れ模様
($H_0/D=0.05$, $z=24$, $u=6\text{m/sec}$)

いて糸流しを行なつて得られた、じやま板領域内の比較的下部にある2つの水平断面 ($H_m=1.1H_s$ 及び $H_m=2H_s$) 内における流動図である。これらの図における小丸、矢印線及び破線区域の意味ならびに上昇、水平、下降の各流れの存在範囲を示す記号は第6図におけると同じである。第8図に示される結果により、インペラ直下にコアが存在する場合の各じやま板区画内の流動には、局部渦流や広範囲に亘る停滞部がなく、一区画内における上昇流と下降流が判然と二分されているので、各区画内には上下方向に一つの強力な対流が生じて整然とした循環路を形作っており、またインペラ直下にコアが存在しない場合の各じやま板区画内の流動には、局部渦流がみられるのみならず水平流が広く分布しているので、各区画内の上下方向に生ずる対流の強さや循環の具合は、インペラ直下にコアが存在する場合に較べて劣るものと考えられる。

3・1・4 固形粒子の流れ模様とインペラの限界設置高度：じやま板付き槽内における固形粒子の動態は、じやま板なし槽における時と同様に、主として H_0 によつて変化し、かつこの変化は H_0 のある特定な値 H_e においてとくに著しいので、 H_e の上下では粒子の動態が全然異なつた型を呈する。

第9図及び第10図は、それぞれスリット光線光幕を第1図に示した水槽の水平断面 xx 及び鉛直断面 yy の位置に作つた時に、 $H_0 \geq H_e$ の各場合について、この光幕内でみられる珪砂の流れ模様の写真である。第9図に示される砂粒の流れ模様には、第3図及び第6図に示した水の流動と同じ傾向が認められ、第10図に示される砂粒の流れ模様には、第8図によつて推察したじやま板領域内の対流の状態や第6図、第8図などによつて推定し

第11図

槽底面上における珪砂の流れ模様
 □ 珪砂の浮上区域
 ▨ 珪砂の沈積区域

第12図 H_e/D の値 ($H_s/D=0.05$)

○ $z=16, Q=0$ ● $z=16, Q=20.9 \text{ cm}^3/\text{min}/\text{cm}^2$
 □ $z=24, Q=0$ ■ $z=24, Q=20.9 \text{ cm}^3/\text{min}/\text{cm}^2$

第13図 H_e/D と H_s/D との関係

た局部渦流の存在をほぼ裏付けるような部分が認められる。

なお、第11図は鉱粒投入率がやや多い場合に底面上に画かれる鉱粒の流れ模様のスケッチで、流れ模様は H_0/H_s の値が小さくなるにしたがつて番号の順序で変化し、 $H_0=H_e$ の時が(3)図に相当する。

以上に述べたことによつて、 H_e はじやま板付き槽内

○ $z=24, u=8 \text{ m/sec}$ △ $z=16, u=8 \text{ m/sec}$
 □ $z=24, u=4 \text{ m/sec}$ ▽ $z=16, u=4 \text{ m/sec}$

第14図 $(H_0^* - H_e)/H_0^*$ の値

b) バルブ濃度のことである。かくはんだけを対象として実験しているので、とくにこの語を用いた。

における粒子の動態を支配するインペラの限界設置高度であるといえるが、このような H_e の値を珪砂と砂鉄を使用した場合について測定し、 H_e/D の形で表示すると第12図に示される結果となる。この図に示される H_e は鉱粒投入率が増せば減少するが、鉱粒の比重、粒度によつてほとんど不変である。 H_e はまた z, Q が増せば減少し、 u が増せば、 $Q=0$ の場合には、減少またはほぼ不変であり、 $Q>0$ の場合には増加する。第13図は、粒度65~80mesh, 比重5.0の砂鉄を0.5%容積の割合で投入した場合に、じやま板の各設置高度について H_e/D を求めた結果であるが、この図における H_e/D は H_s/D とともに増加している。

第13図と第5図の結果を比較すれば、 H_e と H_0^* の $H_s/D, z, u, Q$ に対して変わる傾向がほぼ一致しているので、 H_e は H_0^* に密接に関連していることがわかる。この関連の度合を探るために、第13図と第5図によつてじやま板の各設置高度における H_e の H_0^* に対する変化率を求めてみると、第14図に示されるような結果を得る。この結果によれば、 H_e は H_0^* に較べて常に減少し、その減少率はほぼ H_s/D とともに増している。しかしその減少率が H_s/D の大きい範囲内で数%程度の僅少な値となつている点からみて、 H_e はこのような H_s/D の範囲内では主として H_0^* によつて左右される値と考えられる。なお H_e の H_0^* に対する減少率が H_s/D とともに増すのは、 H_s/D が増せば H_0^* が増すので、このために底面流の速度が減少する結果と推察される。

3.2 じやま板付き槽の槽底におけるかくはん強さ^{*)}

水槽の底面積及びかくはん中に底面上に沈積する鉱粒の底面上に占める面積をそれぞれ A, a とすれば、 $(A-a)/A$ なる値はこのかくはんにおける鉱粒の底面上からの浮上率を表わすと同時に槽底における流れによつて底面が受けたかくはん効率を表わす一つの尺度とも考えられるので、この値をもつて槽底におけるかくはん強さの比較値と考えてみた。

第15図は、粒度 65~80mesh, 比重 5.0 の砂鉄を10%重量の割合で水槽に投入した時について求めたこのような浮上率の値を示す。この実験における H_e/D の値は、 $Q=0$ の時に約0.023~0.025、 $Q>0$ の時に約 0.020~0.022 になるが、第15図

第15図 砂鉄の浮上率
($H_s/D=0.05$)

における浮上率は H_0/D が H_e/D のこのような値よりも大きくない区域内で最高値を示しているの、槽底におけるかくはん強さは $H_0 \leq H_e$ の時にとくに強大であるといえる。

第15図に示される浮上率は、 $H_0 \leq H_e$ の区域内においては、 z, u とともに増し、 $Q, H_0/D$ が増せば減少しており、これらの傾向はじやま板なし槽について求めたかくはん半径の $z, u, Q, H_0/D$ に対して変わる傾向と一致している。また同上区域内の浮上率曲線の形状をじやま板なし槽について求めたかくはん半径を使用して算出した仮想の浮上率曲線の形状（この図は省略する）と比較してみれば、両者はよく似ている。これによつてじやま板付き槽の槽底におけるかくはん強さが $H_0 \leq H_e$ の区域内で $z, u, Q, H_0/D$ に対して変わる傾向は、じやま板なし槽の槽底におけるかくはん強さが $z, u, Q, H_0/D$ に対して変わる傾向と較べて、ほとんど同様と考えられる。

第16図 砂鉄の浮上率と投入率との関係

($H_s/D=0.05, z=24, u=8\text{m/sec}, H_0/D=0.02$)

第17図 砂鉄の浮上率とじやま板設置高度との関係

($z=24, H_0/D=0.02$)

*) このかくはん強さは、槽底における流れによつて底面が受けたかくはん効果のことで、前報においてかくはん半径をもつて表わした時のかくはん強さと同様な意味をもつ。

かくはん強さの大きさがじやま板の存在によつて受ける影響は、正確に求めることが困難であるが、仮りに第15図に示される浮上率の値と上述のようなかくはん半径から算出した仮想浮上率の値とをそのまま比較することができるものとみなして、 $H_0/D=0.025$ の時における両者の値を比較してみれば、前者は後者に較べて約 6～15%減少している。この点からみれば、じやま板付き槽の槽底におけるかくはん強さの大きさは、 $H_0 < H_e$ の区域内ではじやま板の影響を受けて、じやま板なし槽の槽底におけるかくはん強さの大きさより減少するがその減少率は概して大きくないものと推察される。

第16図と第17図は、上と同じ砂鉄を使用し、 $H_0/D=0.02$ の条件下で、それぞれ砂鉄投入率及びじやま板設置高度を変化した場合における浮上率を示す。第16図に示されるように、砂鉄の浮上率は投入率が増せば減少しており、この結果にはじやま板なし槽においてかくはん半径が砂鉄投入率に対して変わる傾向と同一な傾向が認められる。また第17図に示されるように、砂鉄の浮上率はじやま板の設置高度によつてほとんど影響されないようである。

4. 結 言

本研究の結果を要約すれば、次のとおりである。

1) じやま板付き槽においては、インペラの設置高度 H_0 がある特定な上限値 H_0^* に達しない場合には、インペラの直下にいわゆるコアが存在し、コアの外方の流れは自由渦成分を含む共回り旋回流となり、各じやま板区画内には上下方向に一つの整然とした対流を生ずるが、 $H_0 > H_0^*$ の場合には、インペラ直下の流動は輻流となり、この外方の流れはじやま板の延長面で仕切られた各区画内に分岐して流動し、各じやま板区画内に生ずる上下方向の対流は $H_0 < H_0^*$ の場合ほどには強力でないといと推察される。

2) インペラには鉍粒の動態を支配する限界設置高度 H_e が存在する。鉍粒の条件が与えられる時の H_e は、じやま板設置高度 H_s が槽底面の一辺の長さに対して過大でない範囲内では、主として H_0^* の値によつて左右される値と考えられる。

本実験における H_e の値は、鉍粒と運転の条件に応じて H_s の約 38～66% となつている。

3) 槽底におけるかくはん強さを鉍粒の底面上からの

浮上率をもつて表示すれば、この比較値は、 $H_0 \leq H_e$ の場合には、インペラのスリット数・周速とともに増し、外気量・インペラ設置高度及び鉍粒投入率が増せば減少し、じやま板設置高度に対してはほぼ不変である。この傾向はじやま板なし槽におけるかくはん半径がじやま板設置高度を除く上のような諸元に対して変る傾向とほぼ一致する。

4) かくはん強さの大きさは、じやま板の存在によつて減少するが、この減少率は $H_0 < H_e$ の場合には十数%以下の比較的僅少なものと推察される。

5) 槽底におけるかくはんが有効に行われるためにはインペラの設置高度を限界値 H_e より低く設定することが、まず第一に必要な条件である。

本研究について有益な数々の御助言を辱くした本学林大輔教授に厚く御礼申上げるとともに、卒論として本実験の遂行に努力した37年度卒業予定学生川越功・松井宏の両君に深謝する。

本論文に使用の記号

z : インペラのスリット数	[—]
u : インペラの外周速度	[m/sec]
Q : 供給空気量	[cm ³ /min/cm ²]
D : 水槽の水平断面(正方形)内における一辺の長さ	[mm]
A : 同上槽の底面積	[mm ²]
a : かくはん中に槽底に沈積する鉍粒の底面上に占める面積	[mm ²]
H_0 : インペラの設置高度	[mm]
H_0^* : コアが存在する範囲内における H_0 の上限値	[mm]
H_s : じやま板の設置高度	[mm]
H_m : 水槽の水平断面内の流動図を求める際に使用した底面からその水平断面までの高さ	[mm]
H_e : 鉍粒の動態を支配するインペラの限界設置高度	[mm]

文 献

- 1) 著者：日本鉱業会誌，78巻，888号，昭和37年6月，460～466頁
- 2) 林大輔・中村虎重・山口忠雄：日本鉱業会誌，75巻，848号，昭和32年2月，86～92頁
- 3) 宮城音五郎：水力学（昭和28年）88～93頁
- 4) 永田進治・山本一夫・橋本健治・成瀬雄二：化学工学，23巻，9号，昭和34年，598頁