

加圧式浮上分離法の研究

Studies on Dissolved Air Flotation

大塚 吉 則*
Yoshinori Ôtsuka

要 旨

加圧式浮上分離法を下水、廃水の処理に適用する際に大きく影響する因子を解明するため、内容積 3 l および 4 l の回分式実験槽を用いて基礎実験を行なった。用いた試料はパルプおよび活性汚泥である。その結果 (1) 空気/固形物比、加圧水量比の影響が大きい。(2) 界面活性剤などを使用すると効果が高い。(3) 活性汚泥法の余剰汚泥処理などに用いると好結果が得られる。などのことがわかった。

1. 緒 言

今日、下水および産業廃水の処理法としては、主として次のような方法が用いられている。すなわち、生物学的処理法としては、散水ろ床法、活性汚泥法、酸化池法、嫌気性消化法などがあり、化学的処理法には pH 調整、酸化および還元、凝集、イオン交換法などが含まれる。また、沈殿、ろ過、熱伝達処理、浮上分離法などが物理的処理法として用いられている。

これらの方法は、すべての下水、廃水の処理に適用するというものではなく、その廃水の諸性質により、使用する処理法も異なってくる。また、一般には上記の方法が単独で用いられることは少なく、2 種以上組み合わせて用いられる場合が多い。

ここでは、それらの中の、物理的処理法の一つである浮上分離法について、基礎的な実験を行なった結果について述べる。

2. 浮上分離法の概要

水中に固形物が存在するとその挙動は、その固形物の比重によって異なる。すなわち、固形物の比重が 1 より大きいときは沈降し、1 より小さいときは浮上する。沈殿法において、単一粒子では沈降しない場合に、化学薬品を加えて凝集、沈降させる方法があり、凝集沈殿法と呼ばれている。

固形物を浮上させようとする場合にも同じような方法がとられる。この場合には、比重が 1 以上のものに気泡を付着させて見かけの比重を 1 以下にして浮上させるのである。これが浮上分離法の原理である。

このようにして廃水を浄化するには、気泡が廃水中の固形物に付着しやすい条件を与えることが必要である。そのためには、水中に溶解している空気を微細な気泡の形で発生させるのがもっとも効果的である。Henry の法則によれば、水温を上げるか、圧力を下げるかすると溶解空気量が減少する。両者のうちでは、後者のほうが溶出空気量ははるかに多く、操作も容易である。その方法には、圧力槽中で水を加圧した後浮上槽に送り大気中に解放する加圧法と、大気中で空気を飽和させ、それを減圧して空気を溶出させる真空法とがある。真空法は、(1) 空気の溶解量に限界がある、(2) 密閉式の浮上槽を用いるため建設費や運転費が高価となる、などの欠点がある。一方、加圧法は空気を加圧して溶解させるため、溶解量が自由に調節でき、また浮上槽は大気中に解放させられるなどの利点をもっている。このため、浮上分離法としては加圧法が主として用いられている。

加圧式浮上分離法は加圧方式により次の 3 種に分類できる。

- (1) 全量加圧法
- (2) 部分加圧法

(3) 循環加圧法

浮上分離法は沈殿法の裏返しとも見ることができるので、両者を比較してみると、長所としては次のようなものがあげられる。

(1) 懸濁物の上昇速度は普通、沈殿速度よりかなり大きい。その結果、越流率が大きくとれる。

(2) 汚泥の濃縮度が高く、汚泥処理が容易になる。

一方、欠点としては次のようなものがある。

(1) 加圧のための装置が必要である。

(2) 処理水の水質が劣る。

現在、浮上分離法は、下水汚泥の濃縮や、各種工業廃水の処理に用いられている。

3. 実験装置ならびに方法

3.1 実験試料

浮上分離法を実施するにあたって考慮しなければならない基本事項には次のようなものがある。

(1) 加 圧 圧 力

(2) 加 圧 水 量

(3) 上 昇 速 度

(4) 補助薬品の必要量

これらの諸量はもちろんだがいに複雑に影響しあっている。そこでこれらの諸因子のおおの影響を分析するためには、実験の再現性が問題となる。そのために、性質の安定した化学薬品、パルプなどを主として実験試料とした。

予備試験に使用した試料は次のものである。

(1) ベントナイト

(2) カオリン

(3) 機 械 油

(4) パルプ (白河パルプ工業株式会社製 LBKP)

同時に用いた凝集剤、凝集補助剤、界面活性剤は次のようなものである。

(1) 硫 酸 バ ン ド

(2) コーナンフロック No. 100

(3) コーナンフロック No. 1250

(4) ニッサンカチオン F₂-50

(5) ニッサンラピゾール B-80

3.2 実験装置

加圧槽は内容積約 2 l の円筒で、四つのコックと圧力計が取り付けられている。浮上槽は、浮上汚泥濃度、浮上汚泥量などの測定用としては、Eckenfelder 氏らの実験装置を参考にして、初め内径 124 mm、高さ 380 mm (容積 4 l) の円筒形のものを用いたが、浮上速度、処理水中の SS などの測定に不便を感じたので、後半ではこれらの測定用として、内径 64 mm、高さ 1,000 mm、容積 3.2 l のものと取り換

* 日立製作所機械研究所

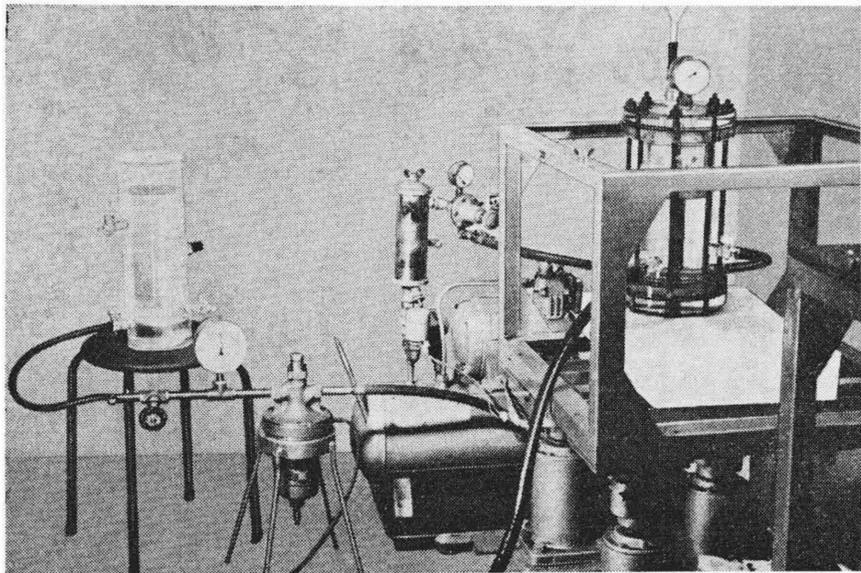


図1 実験装置の全容

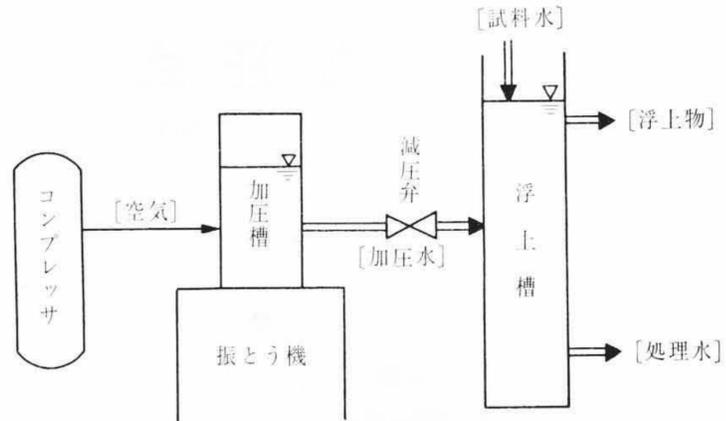


図2 実験装置フローシート

えた(以下前者をA槽,後者をB槽と称す)。これらはいずれも透明アクリル製である。

また,加圧槽中に空気を飽和させるためにはペビコンを用い,槽中の空気の飽和を促進するために,振とう機上に設置した。図1は実験装置の全容,図2はフローシートである。

3.3 実験方法

3.3.1 空気飽和度の測定

加圧槽中の圧力を所定の高さに定め,振とう機上で振とうしながら,あらかじめ槽中にさしこんである溶存酸素計により槽中の溶存酸素を測定した。

3.3.2 試料選定のための予備試験

試料は懸濁物質(SS)で1,000~5,000 mg/lとなるように調整し,A槽に2l入れる。一方,加圧水は所定の圧力のもとで10分間振とうした後,さらに5分間静置させて内部が安定するのを待ってA槽中に導入した。用いた圧力は2~4 kg/cm²,加圧水量は試料水に比べ20~100%であった。なお,この実験手順は以下の各実験においてもとくにことわらない限り同一である。

3.3.3 浮上量および浮上物濃度の測定

試料にパルプを選び,A槽を用いて行なった。試料濃度はSSで,1,000および2,000 mg/lとし,凝集剤,界面活性剤などを添加する場合は主として,ミキサーでパルプを粉砕する際に行なった。この実験での加圧槽中の滞留時間は20分とした。

浮上物量は槽中における高さからその体積を求め,次に浮上したパルプを特別のピペットですくいとって,全蒸発残留物量(TS)を測定した。

3.3.4 浮上速度および処理水質の測定

この実験はB槽を用いて行ない,槽中のTSの時間的变化を知るために,底部より35 cmの高さに設けたコックから取水した検水についてTSを測定した。また,清澄区間と浮上パルプの占める高さを測定し,それらより浮上速度および固形物濃度を求めた。

なお,上記の実験はすべて25℃の恒温室中に行ない,希釈水としては水道水を使用した。

4. 実験結果および考察

4.1 予備試験の結果

加圧槽中の空気飽和度は,2~4 kg/cm²において,振とう開始後

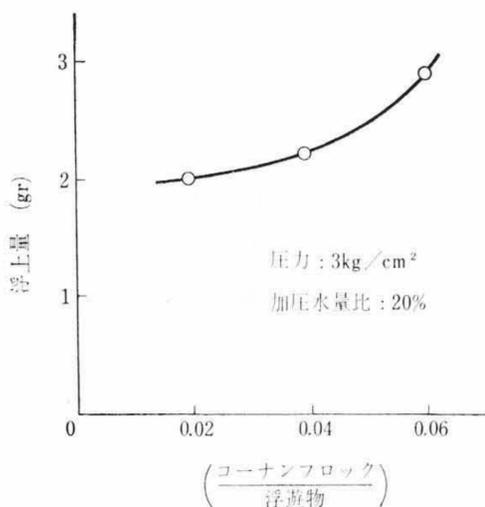


図3 凝集剤と浮上量との関係

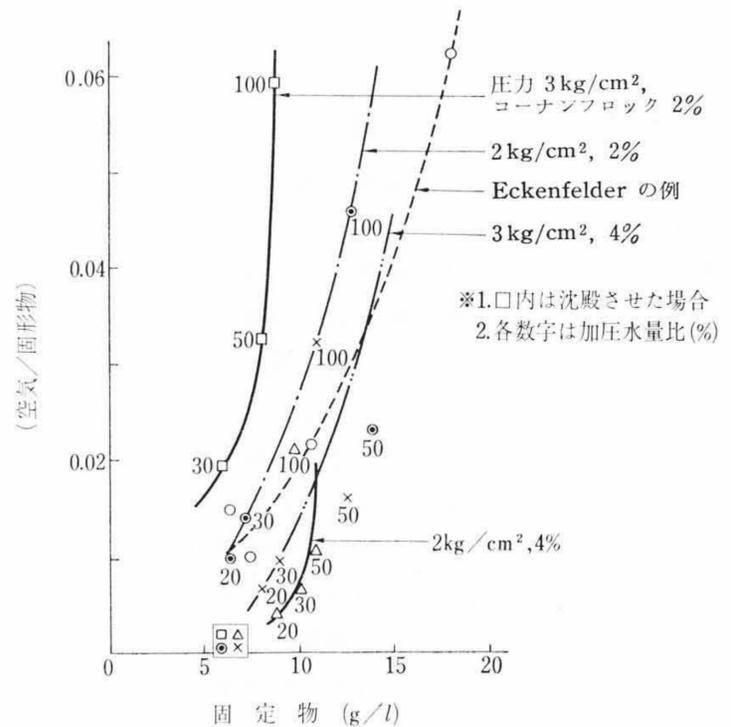


図4 空気/固形物と固形物濃度との関係

5分で96.5%以上に達した。しかし,以下の実験では振とう時間を10分間としている。

基礎実験試料選定のための予備実験は,上述の各試料,補助剤などの種々組合せで行なわれた。その結果,バルブに,表面活性を有した凝集補助剤,コーナンブロック No. 100を加えた場合がもっとも安定した結果が得られたので,以下の実験では,この両者を組み合わせたものを試料として用いることとした。

また,下水汚泥処理に界面活性剤を使用した例があるので,その効果を検討する実験を行なったが,パルプ量の1/50(重量比)程度の添加で十分な結果が得られた。

4.2 パルプを用いた実験の結果

浮上するパルプの総量は,注入する空気量に比例すると考えられるので,まずこの点を確かめた。その結果一定の傾向は認められなかった。この原因は明らかでないが,元来両者の間にははっきりした関係がないとも考えられるし,回分式実験であるので,加圧水の導入時間の長短に影響されたとも考えられる。

次に同一条件において凝集剤を増加させた場合には浮上量は図3に一例を示すように,明らかに増加している。

Eckenfelder氏らによれば,浮上分離装置の設計には,空気-浮上固形物比(A/S)を指標にとるのが好ましいとしている。固形物濃度もA/Sと対比して表現しているのでも,ここでもそれとの比較のため,A/Sの関数として浮上パルプ濃度をあらわすと,図4のようになる。これによるとA/Sがある程度の値に達するまでは,A/Sの増加とともに固形物濃度も増加する。しかしある点をすぎると濃度はほとんど変わらない。この限界は加圧水量比が50%の場合であると考えられる。

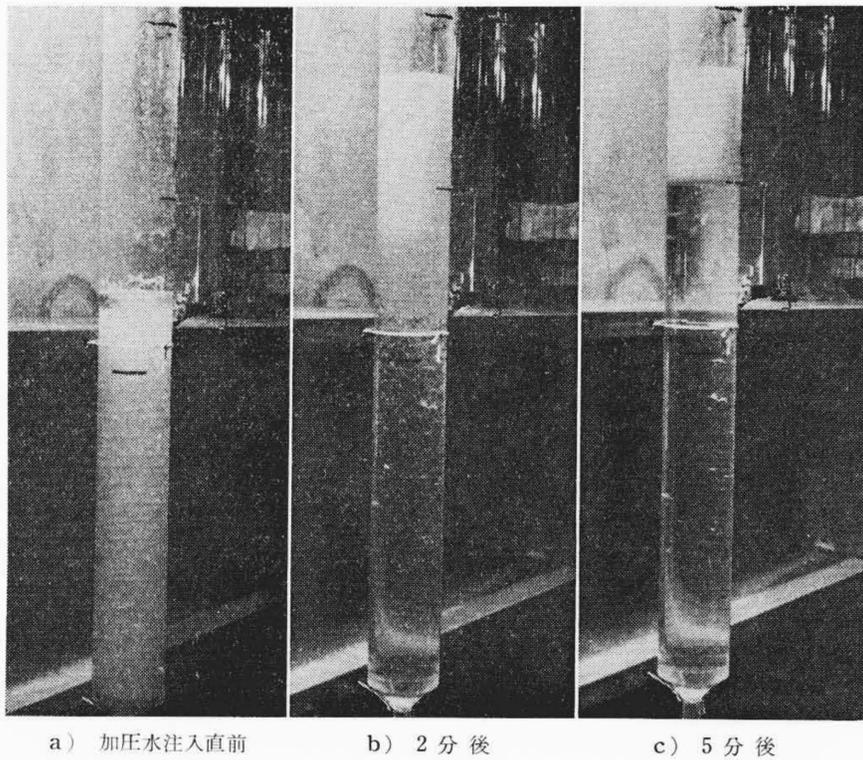


図5 実験槽中の浮上状態

表1 パルプを用いた実験の結果

実験番号	加圧水圧力 (kg/cm ²)	加圧水量比 (%)	浮上速度 (cm/min)	浮上パルプ濃度 (g/l)	清澄水 TS (mg/l)	A/S
1	3	20	12.0	11.0	200	0.008
2	3	50	大	11.1	155	0.021
3	3	100	—	—	485	0.043
4	2	50	大	18.7	185	0.012
5	2	20	—	9.5	205	0.005
6	2	30	7.0	18.0	169	0.008
7	3.5	30	14.4	11.9	182	0.015
8	3.5	50	大	20.0	170	0.024
9	3.5	100	—	15.2	—	0.050

(*) 1. 使用パルプ：1,500 mg/l
 2. 沈殿の場合の濃度：6.5 g/l
 3. 水道水のTS：150 mg/l

次に浮上速度を求める実験は、B槽を用いて行なった。図5は実験途中に時間の経過とともに、槽の内部の状態の変化する様子を示したものである。図より明らかのように、原水に加圧水を注入すると、懸濁物質は全体に上昇し、ついで最上端に濃度の高い層が生じ、この層が次第に生長してすべての懸濁物質がこの層に含まれるようになる。図6に固形物層の生成する様子を示した。これによると数分間で浮上が完了し、以後は圧密の状態に移ることがわかる。また表1は実験条件および結果をまとめたものである。

浮上速度に大きな影響を及ぼす因子としては、圧力と加圧水量比が考えられる。実験結果を見ると後者の影響がまさっているようである。水量比が50%の場合がもっとも早かったが、加圧水を注入する際に時間を要する関係で正確な値は求められなかった(注入速度は0.5~1.0 l/minとした)。

4.3 活性汚泥を用いた実験の結果

実験に使用した汚泥の種類は、表2に示すとおりであるが、このうちNo.1およびNo.2は馴養汚泥のみ、No.3およびNo.4はパル

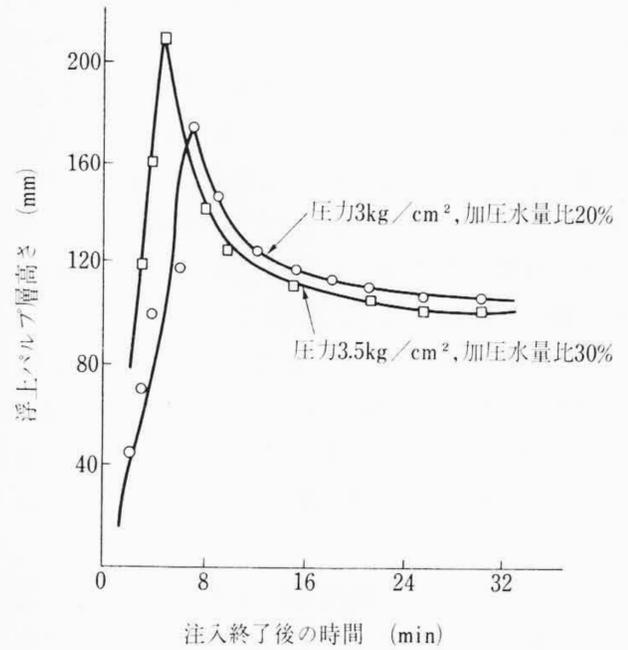


図6 浮上パルプ層の時間による変化

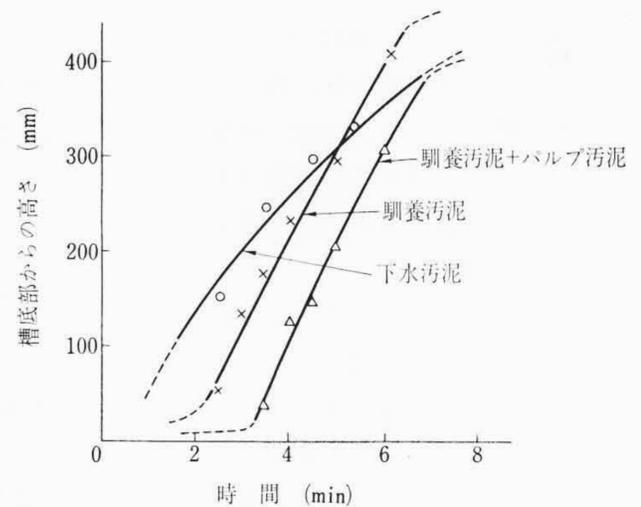


図7 清澄域の上昇状況

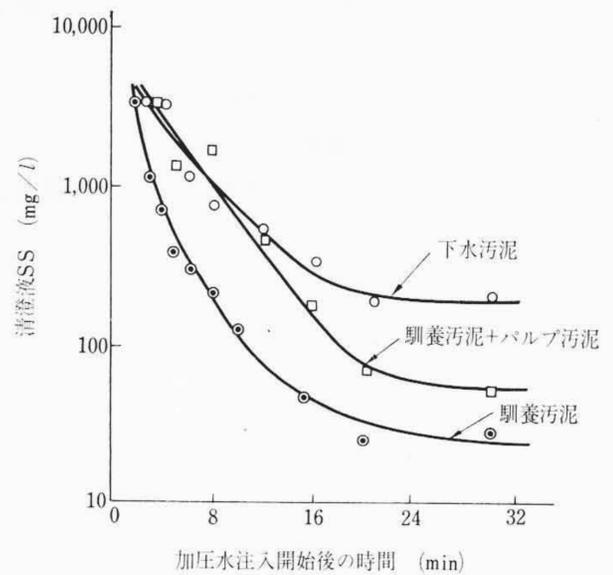


図8 槽内のSSの減少状況

プ廃液の汚泥を30%程度加えたもの、No.5はM下水処理場の返送汚泥を用いたものである。図7,8は実験結果例を示したものである。

まず清澄域の上昇速度は、6.7~10 cm/minで重力沈殿のそれよ

表2 汚泥を用いた実験の結果

実験番号	汚泥の種類	SS (mg/l)	30分沈殿容量 (%)	SVI (ml/g)	汚泥濃度 (g/l)	加圧力 (kg/cm ²)	加圧水量比 (%)	清澄域上昇速度 (cm/min)	処理水SS (mg/l)	SS除去率 (%)	浮上汚泥濃度 (g/l)
1	馴養汚泥	2,362	18.2	77.0	13.5	3.5	25	8.3	25	98.9	28.1
2	馴養汚泥	2,241	20.0	89.4	11.6	3	20	10.0	38	98.3	20.0
3	馴養汚泥+パルプ汚泥	5,098	23.1	45.3	22.1	2	30	7.3	32	99.4	25.8
4	馴養汚泥+パルプ汚泥	4,076	17.5	43.0	23.1	2.5	20	—	52	98.7	22.1
5	下水汚泥	7,150	93.5	130.7	7.6	3.5	25	6.7	190	97.3	25.2

りも約2倍の大きさとみられる。加圧槽の有効水深を2mとすれば槽内滞留時間は20~30分でよいことになる。またSS除去率は97%以上の好結果が得られた。これは加圧水に水道水を使用したことの影響が大きいものと思われるが、加圧水に処理水を使用しても、残留SS量は数%にとどまるのではないかと推測されるので、非常な好結果とみてよい。次に浮上した汚泥の固形物濃度であるが、使用した汚泥の種類に関係なく、30分後には20~28g/lとなった。これを沈殿の場合と比較すると、後者は、汚泥の性質、とくにSVI (Sludge Volume Index) に大きく影響されていることがわかる。すなわち、SVIが40程度のNo.3およびNo.4では23g/l程度であるが、SVIが80程度になると12g/l、さらにNo.5のようにSVIが130の場合には7.6g/lとなり、浮上させた場合の3倍以上の体積を占めている。

これらの結果については、使用した試料が異なるので速断はできないが、浮上分離法はSVIの大きな汚泥の場合にとくに有効であろうと思われる。

また、原水に含まれているSS量が多いほど、浮上分離法は効果的であろうと考えられる。これはNo.3の結果がNo.4のそれと比較して、清澄液中に残存するSS、固形物濃度ともに好結果が得られていることから推察される。また、視察によれば、先に浮上した汚泥に対する、遅れて上昇する汚泥の浮力の影響が非常に大きく、しかもこの影響はSS量が多いほど顕著であることがわかった。

4.4 考 察

上述したことを総合すると以下のようなになる。

浮上分離法に影響を及ぼす因子のうち、加圧水から溶出する空気の絶対量は大きな要因とはならず、むしろ、空気/固形物量(A/S)および加圧水量比のほうが大きく影響するようである。このA/SはEckenfelder氏らによって、浮上分離装置設計の際の重要な指標としてとりあげられたものである。今回行なった研究でもその重要性は確かめられた。しかし、これのみに頼りきるのは危険なように思われる。

パルプを用いた基礎実験では、界面活性剤の使用が安定した処理結果をもたらすとともに、浮上固形物の濃度も高めることが確認できた。実際の使用に際しては、汚泥処理に及ぼす影響および薬品費の検討を行なわねばならない。

また、浮上分離法の大きな特長には、滞留時間の短縮と、浮上固形物濃度の高さがあげられるが、この点も加圧水量比と関連して確認できた。滞留時間算出の基礎となる浮上速度は加圧水量比によって左右され、50%程度が最適とみられる。しかし、この実験は加圧水の注入速度および時間に影響されやすかった。この点は回分式の実験としてはやむを得ないものと思われる。なお、連続式の処理装置を計画する際にも、浮上槽への流入のさせ方が一つの大きな問題となるものと考えられる。

活性汚泥を用いた実験は、一般的な廃水への適用性をみるために行なったものであって、好結果が得られたものと思う。数回の実験から速断はできないが、活性汚泥法の余剰汚泥処理や、最終沈殿池に変わるものとして利用しうる可能性が十分あるものと考えられる。この場合、適用して有利なものは、SVIが大きく、濃度の高い汚泥ではないかと思われる。

5. 結 言

加圧式浮上分離法に関する基礎的研究として、パルプおよび活性汚泥を用いて実験を行なった結果、次の諸点が明らかとなった。

- (1) 加圧式浮上分離法においては、処理結果に大きな影響を及ぼすのは、空気/固形物量比と加圧水量比である。
- (2) 凝集剤、界面活性剤などを使用すれば効果は飛躍的に増大する。
- (3) 活性汚泥法の最終沈殿池にかわるものとして、あるいは余剰汚泥の濃縮に用いると好成績が得られる可能性がある。この場合、SVIが大きく、濃度の高い汚泥のほうが効果が大きい。

参 考 文 献

- (1) 井手：セディフロータ(エハラ時報)9, 202-207 (1960)
- (2) W. W. Eckenfelder, Jr., ほか：Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes, Vol. II. 222~258 (1958)
- (3) W. W. Eckenfelder, Jr., ほか：Biological Waste Treatment 179-186 (1961)
- (4) R. L. Braithwaite：Polymers as Aids to the Pressure Flotation of Waste Activated Sludge: Water and Sewage Works, 545~547 (1964)