高分子凝集剤を用いた凝集操作における最適攪拌条件

大佐々邦久・三分一政男

中倉英雄

山口大学工学部 化学工学科*

高分子凝集剤を添加した場合の凝集沈降実験をゲート型バドルを備えた大型試験槽（容量 10 l）を用いて行い、最適攪拌条件に及ぼす固体濃度、凝集剤濃度および凝集機構の相違などの影響について調べた。固体と凝集剤との組み合わせは、カオリン-カチオン性ポリマーおよび上水汚泥-ノニオン性ポリマーとした。凝集機構はそれぞれ荷電中和および架橋吸着作用と思われる。凝集効果は残留濁度により評価した。その結果、次の知見を得た。(1) 最適急速攪拌条件は、速度勾配値 $G=610\text{ s}^{-1}$ および攪拌時間 $T=90\text{ s}$ となった。(2) 緩速攪拌条件は G と T との積、 GT 値で評価できた。(3) 緩速攪拌下における最適 GT 値は、単位固体質量当りの凝集剤量に反比例した。この関係は固体濃度範囲 100~500 mg/l において固体と凝集剤の両組み合わせに対して成立した。

緒 言

凝集操作は飲料水、生活廃水および産業廃水の処理プロセスの一環として重要な位置を占めている。従来、凝集剤には無機系のもの、例えば硫酸パン土などが広く使用されてきた。しかし、近年になって分離速度、いつ流液の清澄度および沈殿汚泥の濃縮度などの改善を目的に、高分子凝集剤の適用例も、特に廃水処理関係で多く見られる。高分子凝集剤は、その特長である高分子量および高荷電量を生かせば、微量でも効果的に作用する。その反面、高価格であること、最適添加量域が狭いこと、ポリマー中に残留するモノマーの毒性などの問題点もある。したがって、その適用に際しては最適添加量および操作条件に十分注意する必要がある。

一般に凝集効果は懸濁物質の性状（粒子径、表面電位など）および凝集剤の特性（分子量、荷電量など）に左右される。しかし、これらの因子以外に、その効果は凝集剤の添加方法や攪拌状態などの操作条件によっても大きく変化する。例えば、Morrow¹⁰⁾は、高分子凝集剤は添加時にある強度以上の攪拌が行われなければ、凝結剤として有効に機能し得ないことを指摘した。

凝集の度合いは、従来よりジャーテスト法で評価されている。しかし、この方法では凝集槽（通常 1 l 程度のビーカー）および攪拌羽根の寸法、ならびに攪拌条件ともに実操作例とはかけ離れていることが指摘されており¹⁵⁾、操作条件を定量的に評価するには無理があると思われる。このため、吉野ら¹⁴⁾は流通式管型凝集装置を用いて、また Bratby²⁾は改良型ジャーテスターを用いて操作条件を評価する方法を提唱した。

本報告では、高分子凝集剤を用いた場合の機械的攪拌

方式凝集槽における最適操作条件を明らかにすることを目的に、大型試験槽（容量 10 l）を使用して、回分凝集沈降実験を行う。特に操作条件に及ぼす固体濃度、凝集剤濃度および凝集機構の相違などの影響について、実験的立場から検討する。

1. 実験装置および方法

使用した凝集槽を Fig. 1 に示す。槽は幅 24 mm の邪魔板 4 枚を付した内径 200 mm のアクリル樹脂製である。円錐形底部には着脱可能な円筒容器を取り付け、沈殿汚泥の採取が行えるようにした。攪拌翼は幅 22 mm、高さ 300 mm、厚さ 4 mm のアクリル板 2 枚を翼幅 120 mm で連結したものである。

攪拌強度は Camp⁹⁾と同様に次式から求めた。

$$G=(2\pi NT_q/V\mu)^{1/2} \quad (1)$$

ここに G は平均速度勾配値、 N は翼回転数、 V は液体積、 μ は液粘度、 T_q はトルクでトルクメーター（山崎精機製）により測定した。 $\log G$ 対 $\log N$ の関係を Fig. 2 に示すが、両者の間には直線関係が成立し、勾配は 1.5 となった。したがって、攪拌槽内の流動状態はほぼ完全発達乱流域にあることがわかる¹³⁾。

固体試料にはカオリンおよび上水汚泥を用いた。カオリン ($\rho_p=2620\text{ kg/m}^3$) は窯業用原料をボールミルで 100 時間湿式粉碎したものである。上水汚泥 ($\rho_p=2650\text{ kg/m}^3$) は浄水場のシクナー引き抜き汚泥であり、貯留池より採取したものを金網 (250 メッシュ) を通して夾雑物を取り除き実験に供した。上水汚泥中には、その処理過程において添加された硫酸パン土が含まれている。また、粒度分布を比重計法で測定すると、両試料ともに 2 μm 以下が 90 wt% 以上を占めることがわかった。

高分子凝集剤はカチオン性（中分子量、中カチオン

* 〒755 宇部市常盤台 2557

Fig. 1 Reactor for evaluating flocculation performances

Fig. 2 G values produced for a range of paddle rotational speeds

度, 商品名 C-487) およびノニオン性 (高分子量, 同 N-100) のポリアクリルアミド (日本サイアミッド社寄贈) であり, 0.1~0.2 wt% の溶解液を適時希釈して用いた。

実験は次の手順で行った。固体濃度を 125, 250 あるいは 500 mg/l とした懸濁液 10 l を急速攪拌時の翼回転数 ($N=2.5 \text{ s}^{-1}$) で 10 分間予備攪拌した後, 凝集剤を一括添加する。後述するような条件で急速および緩速攪拌を行い, フロックの沈降を開始する。2, 3, 5, 10 および 30 分経過後, 液面下 0.1 m の所から先太の 10 ml ビベットを用いて上澄液を採取する。液中のフロックを超音波破砕器で再分散後, 透過度を分光光度計 (波長 660 nm) で測定し, 検量線と比較することにより固体濃度を求める。次いで上澄液を全て吸引除去し, 底部円筒中の沈殿汚泥を採取した。その汙過特性を CST メーターにより測定した。用いたセルは内径 10 mm のものである。

また急速攪拌時の混合時間を測定するため, 電気伝導法によるトレーサ実験を行った。電極セル (寸法 1×1

Fig. 3 Flocculation performances for kaolin-cationic polymer system

Fig. 4 Flocculation performances for water works sludge-sludge-nonionic polymer system

cm, 間隔 0.8 cm, 銅板製) は, Fig. 1 に示す位置に取り付けた。ポリマー溶液 (50 ml) は NaCl の 15 wt% 水溶液で, 粘度を増すためノニオン性ポリマー 200mg/l を加えた。この溶液を攪拌軸付近に一括添加し, 電気伝導度の時間変化を記録した。

2. 実験結果および考察

2.1 凝集特性

始めに, ジャーテスターを用いて凝集試験を行った。これは, 凝集程度がよく, かつ凝集機構が異なる固体試料とポリマーとの組み合わせを選ぶためである。カオリンに対してはカチオン性, アニオン性およびノニオン性ポリマーのいずれもある程度の効果を示したが, 中でもカチオン性ポリマーが最もすぐれていた。また, 上水汚泥に対してカチオン性ポリマーは全く効果を示さず, アニオン性およびノニオン性ポリマーによって良く凝集した。後述するように, 凝集機構との関連でカオリンに対してはカチオン性ポリマー (C-487) を, 上水汚泥にはノニオン性ポリマー (N-100) を添加することとした。

それぞれの組み合わせに対して大型試験槽を用いて凝集実験を行い, ポリマーの最適添加濃度および凝集効果を表す指標などについて検討した。Figs. 3 および 4 には, それぞれカオリンおよび上水汚泥の凝集特性を示した。ここで攪拌は急速および緩速攪拌ともに, 後述する

Fig. 5 Changes in zeta potential when polymers are added

最適操作条件下で行った。特に緩速攪拌は、カオリンで $G=110 \text{ s}^{-1}$ ($N=0.833 \text{ s}^{-1}$)、上水汚泥で $G=51 \text{ s}^{-1}$ ($N=0.417 \text{ s}^{-1}$) とし、凝集時には Eq. (2) より算出した T_{opt} を用いることにより行った。

凝集効果の指標には、固体除去率 $\eta = (C_s - C)/C_s$ および CST 値 (Capillary suction time) を用いた。ここに C_s は初期固体濃度、 C は静置時間 θ 後の固体濃度である。両図には、 η として $\theta = 3 \text{ min}$ および 30 min 後における値、それぞれ η_I と η_F の値を示した。カオリンおよび上水汚泥ともに、固体単位質量当りの凝集剤添加量 ($=C_f/C_s$) を横軸にとることによって、 C_s に関係なく類似の凝集特性を示すことがわかった。

カオリンでは、 η_F の値は C_s によらず $C_f/C_s = 4 \times 10^{-3}$ 近傍で最大となる。しかし η_F が例えば 0.98 以上となる、いわゆる有効添加量域¹²⁾は、 C_s が大なるほど広くなり、 $C_s = 500 \text{ mg/l}$ では $2 \times 10^{-3} \leq C_f/C_s \leq 1 \times 10^{-2}$ の範囲がその領域に入る。 η_I の値は $C_f/C_s = 2 \times 10^{-3}$ で一番目の極大値を、また 1×10^{-2} 近傍でより大きな二番目の極大値をとった。一方、上水汚泥ではカオリンのような特異な凝集特性を示さず、 η_I および η_F の値は $C_f/C_s = 1 \times 10^{-2}$ において単一の極大値をとることがわかった。また、有効添加量域は C_s によらずほぼ一定であり、 η_F が 0.98 以上となる領域は、 $6 \times 10^{-3} \leq C_f/C_s \leq 4 \times 10^{-2}$ と高濃度側に移動している。

CST 値は凝集性スラッジの滲過の難易を示す指標として用いられ、CST 値が小なるほど滲過が容易であることを表す。Figs. 3, 4 において、CST 値は η_I が極大となる、 C_f/C_s において極小値をとるなど、両者はほぼ逆比例の関係にあることがわかる。したがって η_I の値から CST 値、すなわち沈殿汚泥の滲過特性を大略知ることができると思われる。このことは、後述するように η_I の値を凝集効果の指標とした理由ともなっている。

Fig. 6 Change of tracer concentration with mixing time

Fig. 7 Rapid mixing conditions

次に、カオリンおよび上水汚泥系における凝集機構を調べるために、粒子のゼータ電位を顕微鏡泳動法により測定し、Fig. 5 に示した。カオリン系では、はじめ負に帯電しているが、ポリマーの添加量を増すと負電位は減少し、ついで電位は負から正に逆転する。最適凝集剤濃度 ($C_f/C_s = 4 \times 10^{-3}$) 近傍で、粒子の荷電がほぼ等電点となっていることから、凝集機構としては荷電中和作用が主要因と考えられる⁷⁾。これに対し、上水汚泥系ではゼータ電位は添加量に無関係に約 +35 mV 一定となった。ゼータ電位がカオリン系に比べて比較的高い値をとるにもかかわらず、凝集程度は C_f/C_s が大なるほど良くなる。したがって、ポリマーがノニオン性であることを考え併せると、凝集は架橋吸着作用によるものと推察される⁹⁾。

2・2 急速攪拌条件

急速攪拌は凝集剤を液中に均一に分散させ、粒子表面に一樣に吸着させるために行われる。その結果、粒子は不安定化し、緩速攪拌時のフロック生長に適したマイクロフロックが生成する。急速攪拌が不十分であると、未凝結粒子が残留したり、一部粒子への過度の吸着によ

Fig. 8 Effect of θ on T_{opt}

Fig. 9 Effect of G value on GT_{opt}

て再分散化現象を起こしたりする。一方、過度の急速攪拌はポリマーの脱着やループの再配列を起こし、やはり再分散化を招くとされている¹⁾。

ポリマーの吸着過程については、まだ不明な点が多い。LaMer ら⁹⁾は、初期の吸着-脱着平衡には比較的短時間で到達すること、吸着速度は攪拌強度が大なるほど速くなることなどを報告している。

ここでは急速攪拌条件を実験的に検討した。はじめにポリマーを槽内に均一に分散させるに要する時間を調べた。 $N=2.5\text{ s}^{-1}$ (周速約 1 m/s) における応答曲線を Fig. 6 に示す。これから、約 90 s の混合時間が必要ながわかった。ここで $N=2.5\text{ s}^{-1}$ としたのは、機械的攪拌方式における急速攪拌の目安がパドル周速 1 ~ 1.5 m/s とされていること¹⁰⁾、およびこれ以上の回転数では気泡を巻き込むなどの不都合を生じたためである。

急速攪拌実験はポリマーを一括添加し、攪拌強度あるいは時間を変えて攪拌を行った後、ただちに沈殿を開始することにより行った。凝集効果は η_F の値より判定した。Fig. 7 には急速攪拌時間 $T_R=90\text{ s}$ 一定で G 値を変えた場合と $G=610\text{ s}^{-1}$ 一定で T_R を変えた場合とを併せ示した。 η_F の値は、最初 G 値あるいは T_R が大なるほど大きくなるが、 $G \geq 610\text{ s}^{-1}$ あるいは $T_R \geq 90\text{ s}$

Fig. 10 Effects of C_s and C_f on T_{opt} for kaolin

となると漸減傾向を示す。したがって本試験槽を用いた場合の急速攪拌条件は $G=610\text{ s}^{-1}$, $T_R=90\text{ s}$ とした。

Bratby²⁾ はカオリン-硫酸バン土系において同様な手法で急速攪拌条件を調べ、最適 G 値として 625 s^{-1} を得た。また、 $G=625\text{ s}^{-1}$ 一定として T_R を変えた場合、約 8 s ~ 120 s の間では残留濁度はほぼ一定であり、120 s 以上となるとフロックの破壊により濁度は大きくなるとした。したがって、 T_R は 8 s 程度で良いことになり、著者らの結果に比べて極めて短い。これは凝集剤の相違も一因と考えられるが、最も大きな理由は混合時間が槽の容量や構造によって決まるためと思われる。すなわち、彼らの用いた試験槽は、容量 3 l の正方形断面を有するもので、混合効果を高めるために槽壁の邪魔板に加えて、パドル翼間に固定板 (stator) も設けられている。さらに、翼回転数も 3.3 s^{-1} (周速約 1.3 m/s) と高く、以上のことが混合時間を短くしているものと考えられる。

また、Morrow ら¹⁰⁾は河川水にカチオン性ポリマーを添加した場合の急速攪拌条件を調べ、 G 値として $500 \sim 1000\text{ s}^{-1}$, T_R として 2 min 以下の値を推奨している。このように、 G 値に関しては使用された固体および凝集剤が異なるにもかかわらず、機械的攪拌槽ではほぼ同程度の値が求められている。しかし、 T_R については研究者によってやや異なる値が報告されている。これは、 T_R の値が前述のように凝集剤の混合に要する時間で決まり、装置構造や添加する凝集剤溶液の粘度などに左右されるからであろう。したがって、特に吸着速度が遅い場合を除けば、 T_R は混合時間と同程度とみなすことができるとと思われる。

2・3 緩速攪拌条件

急速攪拌中に生成したフロックは微細であるため、分離に適した大きさまで粗大化する必要がある。この目的

Fig. 11 Effects of C_s and C_f on T_{opt} for water works sludge

で行われるのが緩速攪拌である。攪拌中にマイクロフロックは衝突し、次第に生長する。もし攪拌が不十分であると、衝突機会は減少し、フロックの成長は阻害される。過度な攪拌はフロックの破壊をもたらす。したがって、緩速攪拌についても最適条件を調べる必要がある。

はじめに凝集効果を定量的に評価するための基準を定めた。Fig. 8 は G 値を一定として η と凝集時間 T との関係を示し、静置時間 θ をパラメータに示したものである。 θ 一定の場合、 η を最大とする最適凝集時間 T_{opt} が存在することがわかった。また θ を長くし、図の例では 10 分以上とすると、 η の値は T によって変わらず、特に T_{opt} 以後では一定となる傾向を示した。これは、ポリマーを用いた場合、硫酸バン土のような無機系凝集剤に比べて、生成フロック径および密度が大きくなり、フロック沈降速度が大となるためであろう。

したがって、通常行われているように長時間静置後の、いわゆる最終残留濁度に基づいて T_{opt} を決定することは困難であった。そこで、 $\theta = 3$ min における除去率、 η_I に基づき T_{opt} を求めた。 η_I の値を緩速攪拌における凝集効果を表す指標としたのは次の理由からである。一つには、 $\theta = 3$ min における除去率曲線には明確なピークが認められ、 T_{opt} を容易に決定できたこと、二つには、2・1 でも述べたように η_I が沈殿汚泥の戸過特性を示す値であることなどである。さらに、 $\theta = 3$ min におけるフロックのみかけ沈降速度は 2 m/h となり、実際の凝集沈殿槽におけるみかけ上昇速度（普通 1 ~ 3 m/h）にも相当する値であることも理由として上げられる。

このように比較的短い静置時間後の除去率あるいは残留濁度の値が凝集効果を判定するのに用い得ることに關しては、すでにいくつかの報告がある。Griffith ら⁹⁾は、河川水-硫酸バン土系において著者らと同様な手法で実

Fig. 12 Correlation between GT_{opt} and C_f/C_s

験を行い、静置時間 5, 10 および 15 分（フロックのみかけ沈降速度にして 1.8, 0.9 および 0.6 m/h）における最適凝集時間が静置時間によらず一定であることを示した。また、後藤⁹⁾もセルロース-硫酸バン土系で同様な結果を得ている。

次に T_{opt} に及ぼす G 値、固体濃度および凝集剤濃度の影響について調べた。Fig. 9 は上水汚泥について、固体および凝集剤濃度を一定とし、 G 値を 51, 110 および 190 s^{-1} と変えた場合の η_I 対 T を示したものである。図から、 T_{opt} の値は G 値に反比例することがわかった。この条件下で、 G と T_{opt} との積、 GT_{opt} を求めると約 2.8×10^4 一定とみなすことができた。したがって、Camp³⁾ が提唱したように、 GT 値を緩速攪拌における操作条件を表す値として用い得るものと考えられる。そこで以下の実験は、 G 値を一定とし、 T を変えることによって行い、最適操作条件を調べた。Fig. 8 から η_I の値は G 値が小なるほど大きくなることわかる。そこで、 G 値はフロックが堅固なカオリン系では 110 s^{-1} 、フロックが脆弱な上水汚泥系では 51 s^{-1} とした。なお、フロック強度は沈殿汚泥を対象に、CST メーター付属の標準攪拌器によりフロック破壊試験を行うことによって調べた¹¹⁾。

Figs. 10 および 11 は、それぞれカオリンおよび上水汚泥について、 C_s と C_f をパラメータに η_I 対 T を示したものである。両試料の場合とも、 T_{opt} は C_s に比例し、 C_f に反比例して大きくなるのがわかった。そこで GT_{opt} 対 C_f/C_s をプロットしたのが、Fig. 12 である。両者の間には直線関係が成立し、次の実験式が得られた。

$$GT_{opt} = K(C_f/C_s)^{-1} \quad (2)$$

ここに K は実験定数でカオリンでは $K=85$ 、上水汚泥では $K=35$ となった。 GT_{opt} の値は C_f/C_s によって変わるが、Camp³⁾ が水処理分野で求めた最適 GT 値の範囲 ($10^4 \sim 10^5$) にほぼ入ることがわかった。

Eq. (2) は、凝集剤濃度が最適添加濃度以下で、かつ固体濃度が約 100~500 mg/l の希薄濃度域で適用できる。Ives⁹⁾ は、 GT 値が操作条件を表す指標として用い得るのは、流通式凝集装置の場合で、固体濃度が約 0.1 vol% 以下であるとしている。これによれば、固体濃度の上限は無機汚泥の場合で約 2000 mg/l まで広がることも予想される。

最適操作条件に及ぼす凝集剤濃度の影響を調べた研究は少なく、特にポリマーを用いた例はほとんど見られない。Villegas ら¹³⁾ はカオリン-硫酸バント土系を対象にジャーテスター (容量 1 l のビーカー使用) を用いて最適操作条件を調べ、次式を得ている。

$$(G_{\text{opt}})^{0.3} \cdot T = K' C_f^{-0.2} \quad (3)$$

ここで Eqs. (2) および (3) における指数の相違は、凝集剤や装置構造などの違いによると思われる。

次に Eq. (2) から、最適攪拌所要動力は、凝集剤濃度が大なるほど減少することが示された。この理由としては、流れ場内で接近する二粒子 (あるいはマイクロフロク) 間の凝集度合いが、粒子の安定度が低いほど、また衝突機会が大なるほど増大することによる⁴⁾ と考えられる。すなわち、凝集が荷電中和作用によると思われるカオリン系では、粒子の安定度は、粒子のゼータ電位の絶対値が小なるほど低下する。一方、Fig. 5 において等電点までは、ゼータ電位の絶対値は、 C_f/C_s が大なるほど小さくなることからわかる。したがって、粒子の安定度は C_f/C_s が大なるほど低下すると思われる。

また、凝集が架橋吸着作用によると考えられる上水汚泥系では、LaMer ら⁹⁾ が指摘しているように、凝集速度はポリマーによる粒子表面の被覆率が大きなるほど大きくなる。被覆率は最適添加濃度までは、凝集剤添加量が大なるほど増大する⁹⁾ から、やはり粒子の安定度は C_f/C_s が大なるほど低下するであろう。その結果、凝集の度合いが増し、所要動力が減少すると思われる。

結 言

高分子凝集剤による凝集沈降実験を大型試験槽を用いて行った。機械的攪拌条件下における最適操作条件に及ぼす固体濃度、凝集剤濃度および凝集機構の相違などの影響について検討した。固体と凝集剤との組み合わせは、カオリン-カチオン性ポリマー系および上水汚泥-ノニオン性ポリマー系である。凝集効果の指標には残留濁度を用いた。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 本試験装置を用いた場合の最適急速攪拌条件は、 $G=610 \text{ s}^{-1}$ 、 $T=90 \text{ s}$ となった。
- 2) 緩速攪拌条件は GT 値で評価できた。
- 3) 緩速攪拌下における最適 GT 値は、単位固体質量当りの凝集剤量に反比例した。この関係は固体濃度範

囲 100~500 mg/l において固体と凝集剤との両組み合わせに対して成立した。

【付 記】 本研究は文部省科学研究費 (環境科学特別研究・課題番号 57035034) の援助を受けた。ここに付記して感謝の意を表します。

Nomenclature

C	= solids concentration at standing time θ	[mg/l]
C_f	= flocculant concentration	[mg/l]
C_s	= initial solids concentration	[mg/l]
CST	= capillary suction time	[s]
g	= gravity acceleration	[m/s ²]
G	= root mean square velocity gradient	[s ⁻¹]
G_{opt}	= optimum value of G	[s ⁻¹]
K	= coefficient in Eq. (2)	[—]
K'	= coefficient in Eq. (3)	[—]
N	= rotational speed of paddle	[s ⁻¹]
T	= flocculation time	[s]
T_{opt}	= optimum value of T	[s]
T_R	= torque	[N·m]
T_R	= rapid mixing time	[s]
V	= volume of liquid	[m ³]
ζ	= zeta potential	[mV]
η	= removal efficiency of solids at time θ	[—]
η_F	= removal efficiency of solids at $\theta=30 \text{ min}$	[—]
η_I	= removal efficiency of solids at $\theta=3 \text{ min}$	[—]
θ	= standing time	[s]
μ	= viscosity of liquid	[Pa·s]
ρ_s	= density of solids	[kg/m ³]

Literature cited

- 1) Bratby, J.: "Coagulation and Flocculation", p. 182, Upland press Ltd., London (1980)
- 2) idem: *Jour. AWWA*, **6**, 318 (1981)
- 3) Camp, T. R.: *Trans. ASCE*, **120**, 1 (1955)
- 4) Fuchs, N. A.: *Z. Physik*, **89**, 736 (1934)
- 5) Goto, Y., H. Ooi, Y. Hatano and T. Imato: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **3**, 160 (1977)
- 6) Griffith, J. D. and R. G. Williams: *Jour. AWWA*, **64**, 825 (1972)
- 7) Higashitani, K., G. Hosokawa, H. Amimoto and Y. Matsuno: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **9**, 543 (1983)
- 8) Ives, K. J.: "Solids-Liquid Separation (E. G. Goldstein, Ed.)", p. 93, Butterworth Co., London (1983)
- 9) LaMer, V. K. and T. W. Healy: *Rev. Pure Appl. Chem.*, **13**, 112 (1963)
- 10) Morrow, J. J. and E. G. Raush: *Jour. AWWA*, **11**, 646 (1974)
- 11) Osasa, K., and M. Sambuichi: Report of Special Research Project on Environmental Science, **B198-R34**, 233 (1983)
- 12) Sakohara, S., H. Unno and T. Akehata: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **5**, 416 (1979)
- 13) Villegas, R. A. and R. D. Letterman: *Jour. Env. Eng. Div. ASCE*, **102**, 251 (1976)

- 14) Yoshino, Z. and T. Imamura: *Kagaku Kōgaku*, **34**, 433 (1970)
15) Yoshino, Z.: "Suishitsu Odaku Boshi Gijitsu to Sochi" (Kagaku Kogaku Kyokai ed.), Vol. 2, p. 136, Baifukan, Tokyo (1980)

16) idem: *ibid.*, p. 141

(1984 年 11 月 14 日受理; 化学工学協会第 16 回秋季大会 (豊田, 1982 年 10 月) にて発表)

Optimum Mixing Conditions for Flocculation with Polymeric Flocculant

Kunihisa Osasa, Masao Sambuichi and Hideo Nakakura

Dept. of Chem. Eng., Yamaguchi Univ., Ube 755

Key Words: Solid Liquid Separation, Polymeric Flocculant, Optimum Mixing Condition, Velocity Gradient, Flocculation Period, Residual Turbidity

Flocculation-sedimentation tests by polymeric flocculant addition were carried out in a reactor of large capacity (10 liters) with a gate-type paddle. The effects of solids concentration, flocculant dosage and flocculation mechanism on the optimum mixing conditions were investigated experimentally. Systems of kaolin-cationic polymer and of water works sludge-nonionic polymer were used; flocculation mechanisms were described by the surface charge neutralization and bridge models, respectively. The flocculation effect was assessed in terms of residual turbidity. The following points were determined experimentally. (1) The optimum rapid mixing conditions were given by the root mean square velocity gradient, $G=610\text{ s}^{-1}$, and the flocculation period, $T=90\text{ s}$. (2) The slow mixing conditions could be assessed by the product of G and T . (3) The optimum value of GT was inversely proportional to flocculant dosage per unit mass of solids. This relation was well confirmed for both systems of solids and flocculant in the range of solids concentration from 100 to 500 mg/l.