

論文 碎砂研磨濁水処理における凝集剤の選定とその固液分離方法に関する研究

若林大嗣^{※)} 古屋健
今井剛^{※※※)}

1. 研究背景および目的

現代はコンクリート文明だといわれるほど、コンクリートが随所に使われ、私たちの生活を支えている。これまでコンクリートに欠くことのできない材料である砂利・砂は日本全国各地で採取され、利用されてきた。砂利・砂はその産出形態から、河川の流路から採取される「河川砂利・砂」、沖積平野の田畠の下から採取される「陸砂利・砂」、丘陵地の山から採取される「山砂利・砂」、浅い海底から採取される「海砂利・砂」に大別される。しかし、これらの天然砂利・砂は長年の採取により枯渇の一途をたどっており、生態系への影響や環境保全の観点などから、近年では天然砂の採取禁止や採取規制が強化され、その供給が困難になってきている。天然砂を主体とする砂供給不足にに対し、その代替材として、「スラグ」、「輸入砂」、「碎砂」の3つが挙げられる。「スラグ」はその供給事業所が限定され、特に輸送コストの面で不利である。「輸入砂」も為替レートの変動や、輸出国側の状況の変化などにより長期的・安定的な供給には不安がある。一方で「碎砂」は碎石業界において再生骨材の利用促進にともない道路用碎石の需要が減少しているため、従来の碎石生産の一部を碎砂生産に振り替えることが可能であることから碎砂への転換に目が向けられており、一層の供給拡大が期待できる。よって代替材として最も可能性のあるものは「碎砂」であると考えられる。

高品質な碎砂を生産する有効な方法として、山口大学工学部で研究・開発された碎砂の表面を研磨する技術がある。この技術は、天然砂が河川を上流から下流に流れるとときに砂利の隙間を通過し、その表面が研磨されることを模擬しており、碎砂と水とを内側に羽根のついたド

ラムへ投入して研磨し、高品質な碎砂を製造できることが特徴であるが、当然濁水が発生する。既に濁水処理施設を持つ事業者では、本碎砂研磨機を設置するところも増えてきている。しかし、大部分の事業者は、乾式プロセスで碎石業を営んでいるため、碎砂研磨機を設置するためには同時に濁水処理施設も設置しなければならない。したがって、このことが高品質碎砂普及を阻害する大きな要因となっている。また従来の濁水処理施設の設置費用は非常に高価である。碎砂研磨機から排出される濁水は、 $0.2\sim0.3\text{m}^3/\text{min}$ と、一般の碎石業者から排出される濁水に比べ $1/4\sim1/5$ 程度と比較的少量であり、少量の濁水処理を安価に行う方法が確立されていないため、従来の処理システムを使用せざるを得ないのが現状である。また高分子凝集剤を使用して凝集沈殿させ、スクリーンメッシュでフロックをすくい上げる濁水処理施設も考えられているが、処理水が環境へ与える問題がクリアされていない。そこで少量の碎砂研磨濁水でも安価に処理を行うために、無機系凝集剤を使用してフロックを形成し、液体サイクロン装置で形成したフロックを除去する方法が考案された。よって、本研究では碎砂研磨濁水の処理における凝集剤の選定と、液体サイクロン装置の固液分離法を検討することを目的とする。

2. 凝集剤の選定

2. 1 無機系凝集剤 (E A L) とポリ塩化アルミニウム (P A C) の比較に関する方法

碎砂研磨濁水の性質として、pHは8程度、浮遊物質濃度 (S S) は約 $30\sim150\text{ g/L}$ であり、採取する状態によって幅広い濃度をとる。また粒度分布については、平均してメジアン径約 $7.1\mu\text{m}$ 、モード径約 $8.2\mu\text{m}$ である。

※) 山口大学大学院 工学研究科 環境共生系専攻修了

※※) 正会員 宇都テクノエンジ(株) クラッシャG+

※※※) 山口大学 環境共生系 教授 工博

まず無機系凝集剤（E A L）とポリ塩化アルミニウム（P A C）の比較を行った。この無機系凝集剤の主成分は酸化カルシウムおよび酸化アルミ、天然鉱物とミネラル成分の組み合わせで構成されているため、濁水のpHをほとんど変動させず、生態系等に影響を及ぼすことは少ないと考えられる。攪拌は200～250rpm/minの強攪拌を行う。攪拌時間は30～60秒が目安となっており、強攪拌によって濁水中に成分を分散させた後、速やかに反応が開始される。無機凝集剤自体がフロック化して懸濁物質を取り込んで凝集し、フロックは成長し沈殿する。フロックの安定性は極めて高く安易に崩壊せず、時間とともに造粒化が進行する。また分解し再溶出、懸濁することはない。碎砂研磨濁水は採取する状態により濃度が変化するため、常に攪拌しながら、できるだけ一定な濃度となるようにしてジャー試験を行い、フロックの形成時間、界面の沈降及び上澄み液の濁度を測定した。また各時間の上澄み液の界面高さを測ることにより、界面の沈降速度を測定した。ジャー試験の条件として、濁水の濃度は約150g/L、急速攪拌180rpmを3分間、緩速攪拌50rpmを7分間、静置を10分間行った。上澄み液は静置したあと、水面から1cmの水深にて採取し、その濁度を測定した。測定試料は濁水1Lに対し、P A C原液を10mL添加したものと、E A Lを100～500mg添加したもの、そして無添加の濁水の7種類用意した。フロックの形成時間では目視により、フロックが形成するまでの時間を計測した。界面の沈降は緩速攪拌後の濁水を1Lのメス

シリダーに移し、上澄み液の界面の沈降変化を測定した。

2. 2 無機系凝集剤（E A L）とポリ塩化アルミニウム（P A C）の比較に関する結果

1) 凝集フロックの形成時間に関する結果

濁水1Lに対し、P A C原液を10mL添加した場合と、E A Lを100mg添加した場合には、大きなフロックは形成されなかった。E A Lを200mg添加した場合は3分30秒、300mg添加した場合は1分40秒、400mg添加した場合は1分10秒、500mg添加した場合は1分20秒でフロックが形成された。

2) 界面の沈降に関する結果

結果を図1に示す。E A Lの添加量が0mg/L、100mg/L、及びP A C10mLの場合、界面の沈降の違いはほとんどなかった。E A Lの添加量が200mg/L、300mg/L、400mg/L、500mg/Lの場合の界面の沈降は添加量が増加する程、より早く沈降する結果となった。

3) 上澄み液の濁度に関する結果

ジャー試験後のそれぞれの上澄み液の濁度変化を図2に示す。原液の場合は820NTU、P A C（10倍希釈したもの）を添加した場合は21NTU、E A Lを100mg添加した場合は900NTU、200mg添加した場合は660NTU、300mg添加した場合は840NTU、400mg添加した場合は450NTU、500mg添加した場合は330NTUとなった（図2参照）。

2. 3 無機系凝集剤（E A L）とポリ塩化アルミニウム（P A C）の比較に関する考察

濁水1Lに対しP A C原液10mL及びE A L100mgではフロックが形成され難かったため、E A Lを200mg以上添加した方がよいと考えられる。また300mg以上添加した場合では、急速攪拌中にフロックを形成したため、急速攪拌の時間を短縮することができると考えられる。E A Lを400mg添加した場合と500mg添加した場合の沈降速度の変化は少なかったため、400mg添加すれば十分と考えられる。P A Cを添加した場合は、E A Lを添加し

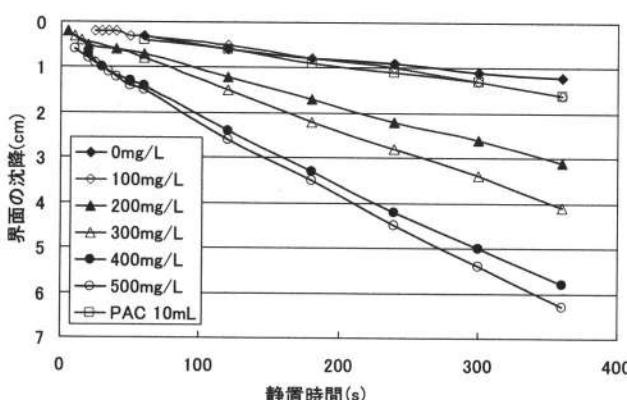


図1 界面の沈降変化

め、E A Lの改良が必要と考えられる。

2. 4 無機系凝集剤(E A L)添加条件の改良

主成分が酸化カルシウムおよび酸化アルミ、天然鉱物とミネラル成分の組み合わせで構成されている無機系凝集剤(E A L)の性能を向上させるために、この無機系凝集剤「E A L」を基に以下の変更を行った。

主成分は変わらないが、天然ゼオライトを15%加えたもの「2 E A L」。ゼオライトの添加量を3%減として、粒子の吸着力を高めるためFe粉を加えたもの「3 E A L」。天然ゼオライトを増加させた場合を基に、若干の高分子を加えて反応促進を強化したもの「4 E A L」。但し、「4 E A L」の場合、高分子の残渣が残らない(反応後無機の原料に吸着させて溶出しない)よう配慮してある。このときのジャー・テストは実際の装置から発生する濁水の普通の濃度として30g/L、攪拌を200rpmで3分間、静置を3分間行った。凝集剤はそれぞれ10~60mg添加した。フロックの形成時間、及び界面の沈降を同条件で行った。

2. 5 無機系凝集剤(E A L)添加条件の改良の結果および考察

フロックの形成時間は添加量が10mg/Lの場合、すべての凝集剤において小さいフロックしか形成しなかった。

凝集剤の添加量が20mg/Lの場合、「E A L」では20秒、「4 E A L」では25秒でフロックを形成し、「2 E A L」と「3 E A L」では小さいフロックしか形成しなかった。

添加量が30~60mg/Lの場合の結果を表1に示す。

また、界面の沈降と上澄み液の濁度変化の結果を図3、図4に示す。

フロックの形成時間は「E A L」と「4 E A L」が速い結果となった。また上澄み液の濁度は「2 E A L」を添加した

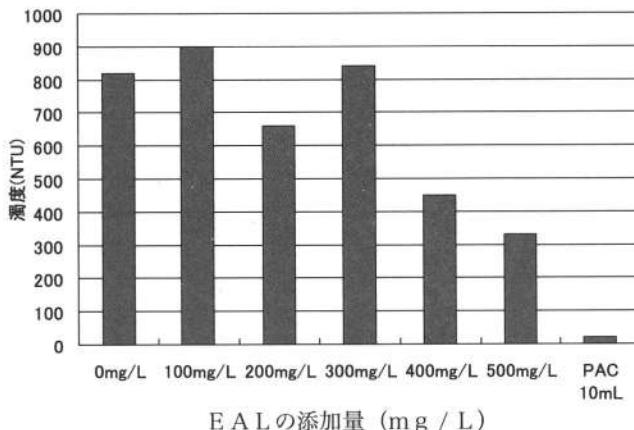


図2 上澄み液の濁度変化

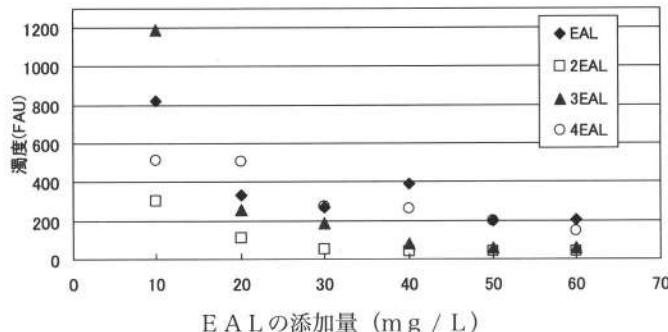


図3 上澄み液の濁度変化

た場合に比べ、濁度は極めて低い値となつたため、上澄み液の濁度を下げたい場合は、P A Cを添加する方がよいと考えられる。

以上より、碎砂研磨濁水の濃度は高いため、P A Cではフロックを十分に形成することができず、E A Lは300~500mg(濁水の濃度1g/L換算で2~3.3mg/L)添加することで、短時間に凝集沈殿させることができたが、上澄み液の濁度は完全には除去できていなかったた

表1 フロックの形成時間

フロック形成時間	E A L	2 E A L	3 E A L	4 E A L
添加量(mg/L)	形成時間(s)	形成時間(s)	形成時間(s)	形成時間(s)
30	20	20	30	20
40	15	20	30	15
50	15	20	20	15
60	15	20	20	15

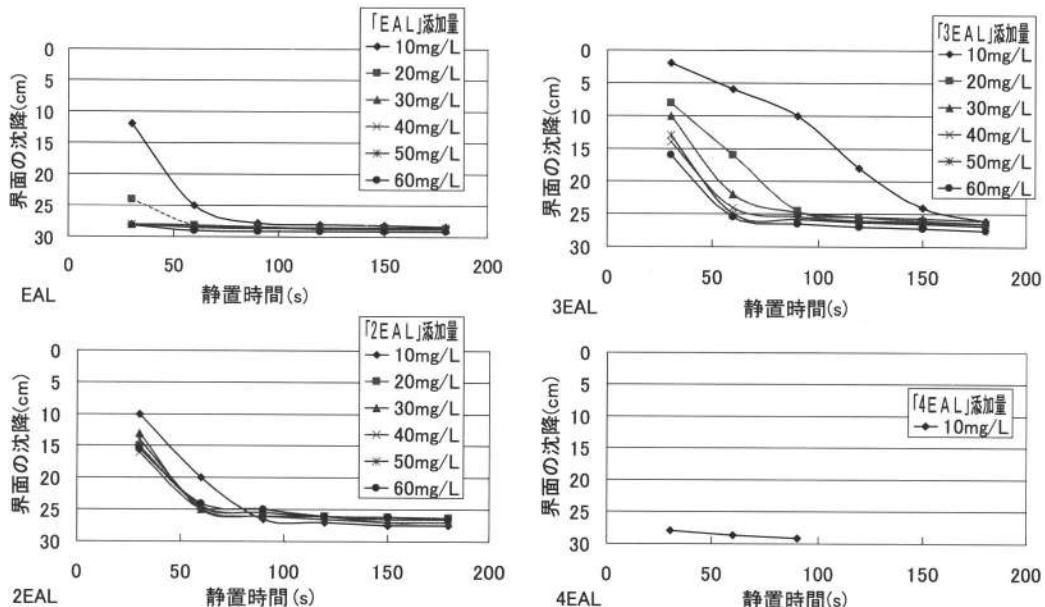


図4 界面の沈降変化

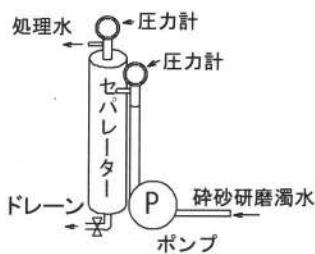


図5 固液分離装置概略

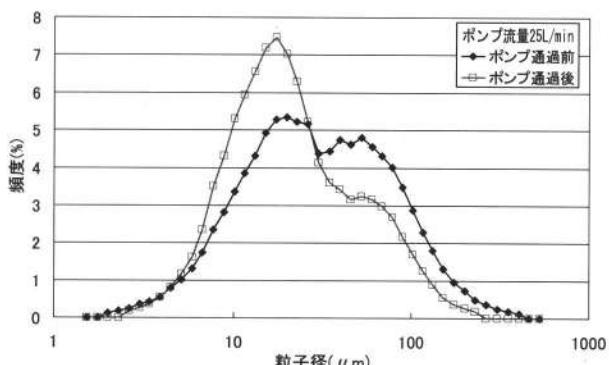


図6 インペラポンプ通過前後の濁水の粒度分布

場合が最もよい結果となった。界面の沈降は「4 EAL」がもっとも速く沈降する結果となった。

「4 EAL」では20mg/L(濁水の濃度1g/L当たり0.6mg/L)添加することで、速く沈降させることができあり、「2 EAL」では30mg/L(濁水の濃度1g/L当たり1mg/L)添加することで、上澄み液の濁度を低くすることが可能である。

碎砂研磨濁水は採取する状況によりその濃度が著しく変化する特徴があるため、「4 EAL」であればこの濃度の変化がある程度生じてもフロックを形成することが可能であり、濃度変化が小さい場合は「2 EAL」を使用

することにより濁度をより低くすることが可能であると考えられる。この2つを濁水の状況により使い分けることが可能であると考えられる。

3. 碎砂研磨濁水の固液分離装置に関する検討

3. 1 装置の説明

図5に装置概略を示す。ポンプで碎砂研磨濁水を汲み上げセパレーターを通し、上方から処理水を得るものである。セパレーターは液体サイクロンとなっており、流入した濁水はスリットを通して固液分離される。しかし

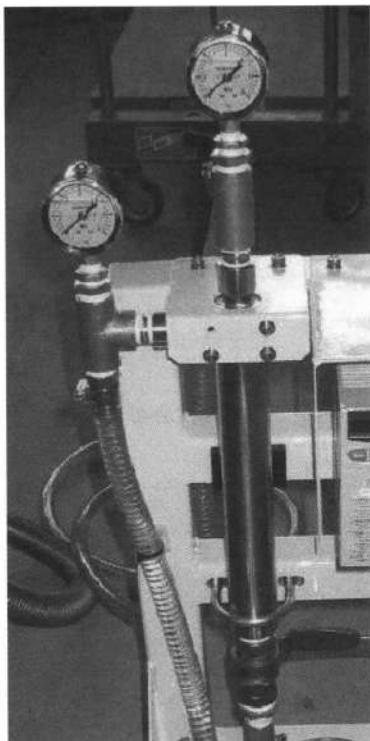


図7 ストレート型セパレーター



図8 ひょうたん型セパレーター

凝集剤を添加してこの装置を運転した場合、粒径が大きいものはセパレーターによって分離されたが、その他はほとんど変化がみられなかった。この原因としてポンプによって形成されたフロックが破壊されていることが考えられ、ポンプ通過前後の粒度分布を測定した。結果を図6に示す。ポンプ通過前の粒度分布ではフロックの形成が確認されたが、ポンプ通過後の粒度分布は細粒側にシフトしている。よって、ポンプを通過するときにフロックが破壊されたと考えられる。そのためフロックを破壊しないポンプに交換する等の工夫が必要と考えられ、使用していたポンプを、構造上内部のインペラによりフロックを破壊してしまう可能性のあるインペラポンプから、比較的フロックを破壊しにくい渦巻きポンプへ変更した。

3. 2 2種類のセパレーターの検討

ストレート型で内部にスリットのないセパレーター(図7)とひょうたん型で内部にスリットのあるセパレーター(図8)の比較を行った。運転条件として濁水の濃度は30g/L、4EALを40mg/L添加しフロックを形成させ、

ポンプの流量を15L/min、20L/min、25L/minと変化させてセパレーターを通過させた濁水と、ドレンから出てくる濁水の粒度分布を測定した。結果を図9、図10に示す。

ストレート型のセパレーターの処理水と、ドレンから出た濁水の粒度分布は異なっていたのに対し、ひょうたん型のセパレーターの処理水と、ドレンから出た濁水の粒度分布は大きな差はなかった。

ストレート型のセパレーターは大きい粒径のものは分離できているが、ひょうたん型のセパレーターはあまり分離できていないと考えられる。よって、ストレート型のセパレーターを使用する方がよいと考えられる。

3. 3 流量と凝集剤の添加量を変化させた場合の装置運転についての検討

装置の最適なポンプの流量と凝集剤の添加量を調べるために、それらを変化させた場合の装置運転を行い、処理水のSS濃度を測定した。濁水の濃度を実際の装置から発生する平均的な濃度の30g/Lの場合と、高めの60g/Lの場合との2通り設定した。条件を表2に示す。

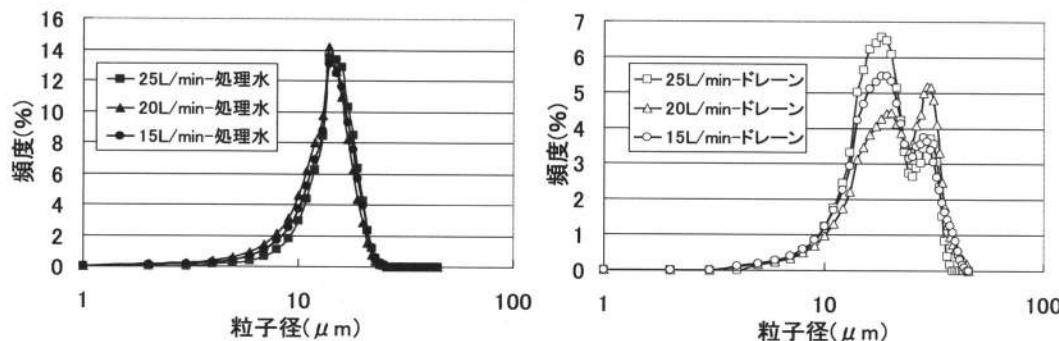


図9 ストレート型セパレーターにおける処理水・ドレーンの粒度分布

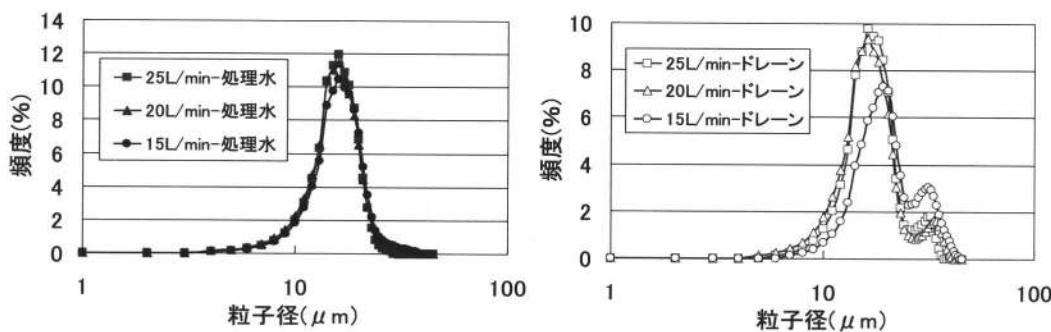


図10 ひょうたん型セパレーターにおける処理水・ドレーンの粒度分布

ただし濁水の濃度が60g / Lで凝集剤を20mg / L添加した場合には、フロックが形成されにくかったため行わなかった。

濁水の濃度が30g / Lの場合の結果を図11、60g / Lの場合の結果を図12に示す。

図11において、ポンプの流量が15L / min、20L / min、25L / minの場合を比較すると、ポンプの流量が増加するに従い処理水の濃度は減少する結果となった。凝集剤を添加した場合と凝集剤を添加しなかったブランクの場合とでは、処理水のSS濃度が処理前のSS濃度30g / Lより減少する結果となった。最も濃度が減少していたのは、流量が25L / minで「4EAL」を60mg / L添加した場合であった。

図12においては、ポンプの流量が25L / minの場合が処理水の濃度が最も減少する結果となった。また凝集剤を添加しなかったブランクの場合よりも、凝集剤を添加した場合の処理水の濃度が減少する結果となった。

表2 装置運転の条件

濁水濃度	凝集剤の種類と添加量	ポンプ流量
30g/L	2EALと4EALをそれぞれ 20, 40, 60mg/L	15, 20, 25L/min
60g/L	2EALと4EALをそれぞれ 40, 60mg/L	15, 20, 25L/min

以上より、ポンプの流量は最大流量の25L / minがよいと考えられる。しかし凝集剤を添加した場合とブランクとの差が小さかったため、さらに効果を向上させる必要があると考えられる。

3.4 装置の繰り返し運転と段階的に凝集剤を添加した場合の装置の繰り返し運転についての検討

装置の固液分離効果を向上させるため、装置の複数回繰り返し運転と、段階的に凝集剤を添加した場合の装置の繰り返し運転を行い、それぞれの処理水の濃度を測定した。装置の複数回繰り返し運転の条件として、濁水の濃度は60g / L、凝集剤は「4EAL」を60mg / L添

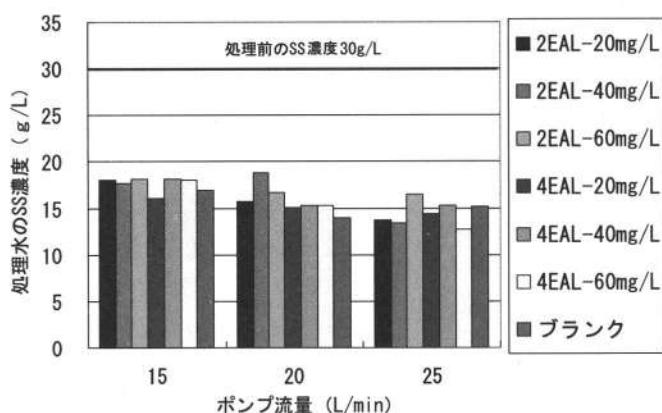


図11 濁水の濃度が30g/Lの場合のポンプ流量と凝集剤の添加量の変化による濃度変化

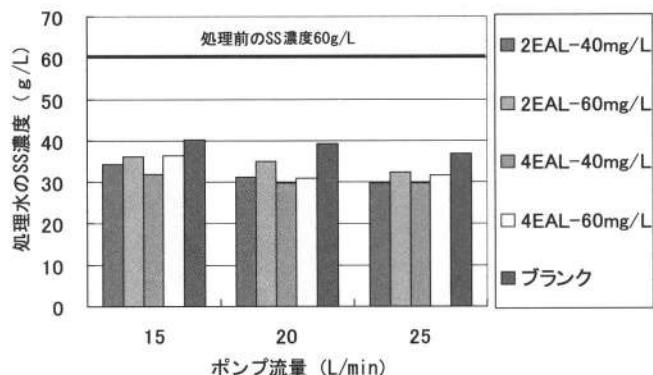


図12 濁水の濃度が60g/Lの場合のポンプ流量と凝集剤の添加量の変化による濃度変化

加して十分にフロックを形成させた。また濁水に凝集剤を添加しない「ブランク」テストも行った。装置の運転は繰り返し5回を行い、処理水の濃度を測定した。

段階的に凝集剤を添加した場合の装置の繰り返し運転の条件として、濁水の濃度は60g/L、凝集剤は装置運転1回目には添加せず、装置運転2回目に「4EAL」を30mg/L添加、装置運転3回目に「4EAL」を20mg/L添加、装置運転4回目に「4EAL」を10mg/L添加し、それぞれの処理水の濃度を測定した。凝集剤を添加した場合は十分にフロックを形成させた。

装置の繰り返し運転の結果を図13、段階的に凝集剤を添加した場合の装置の繰り返し運転の結果を図14に示す。

図13ではどちらの場合も装置運転1回目で濃度が大き

く減少したが、2回目から5回目までは緩やかに減少する結果となった。

図14では装置運転1回目で濃度が大きく減少したが、それ以降はあまり変化がない結果となった。

図13より装置運転1回で濁水の濃度を約4割程度除去することが可能と考えられ、図14より凝集剤を添加した後に装置を運転した場合と、添加しなかった場合とを比較すると、処理水の濃度の差は少なかったため、凝集剤を添加しなくても濁水の濃度を約4割除去することが可能であると考えられる。濁水に含まれる粒径が大きなものは、この装置によって除去することが可能だが、フロックを除去するのには適していないと考えられる。

3.5 装置を運転した後に凝集剤を添加した場合の検討

効率のよい運転条件を調べるために、濁水の濃度60g/Lと30g/Lにおいて装置を運転した後に凝集剤「4EAL」を添加した場合と、装置を運転しないでそのまま凝集剤を添加した場合の界面の沈降、上澄み液の濃度を測定した。このとき「4EAL」を濁水の濃度60g/Lの場合には20mg/L、30g/Lの場合には10mg/L添加した。

界面の沈降変化の結果を図15に示す。

界面の沈降はどちらの場合においても装置を運転しないで凝集剤を添加した場合が速い結果となった。上澄み液の濃度は濁水濃度が60g/Lで装置を運転した場合は300NTU、原液の場合は180NTU、濁水濃度が30g/Lで装置を運転した場合は495NTU、原液の場合は190NTUとなった。

装置を運転した場合の濁水は原液と比べると凝集沈殿し難くなる結果となった。装置によって大きい粒子を除去した濁水は、凝集沈殿し難くなることがあると考えられる。しかし、装置によって分離される大きい粒子は、商品として再使用できると考えられる。

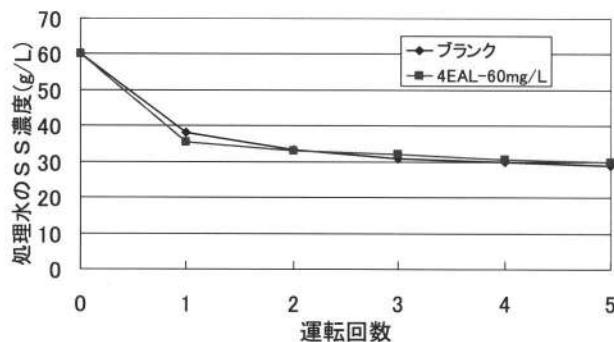


図13 装置の運転回数による処理水のSS濃度変化

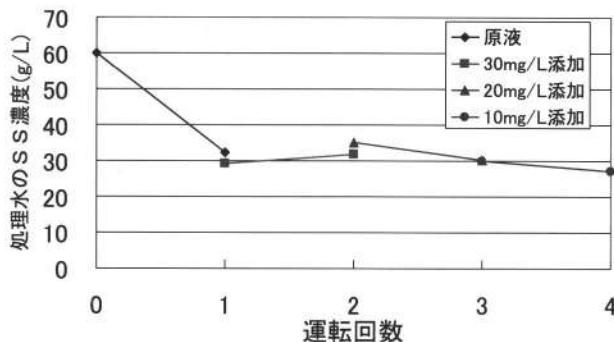


図14 装置の回転回数と凝集剤段階添加による処理水SS濃度変化

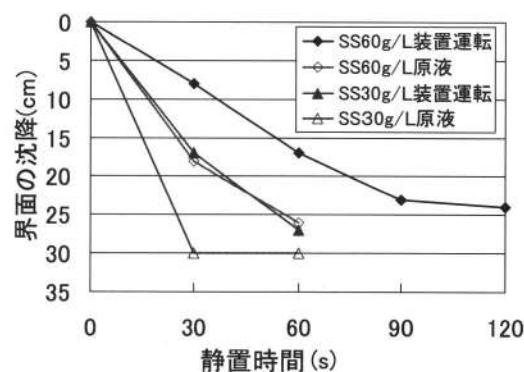


図15 界面の沈降変化

4. 結論

結果をまとめると、以上のようなである。

(1) 砕砂研磨濁水は採取する状況により、その濃度が著しく変化する特徴がある。

(2) 高分子を少量含む凝集剤(4 E A L)であれば、この濃度の変化がある程度生じても、フロックを形成させることが可能である。

(3) 濃度変化が小さい場合は、天然ゼオライトを増加させた凝集剤(2 E A L)を使用することにより、濁度をより低くすることが可能である。

(4) 少量の凝集剤によって凝集沈殿することは可能であるが、上澄み液と沈殿物と一緒に取り込み、液体サイクロンによって分離することは難しい。砂のように硬いものであれば液体サイクロンで分離しやすいが、フロックのように軟らかいものは液体サイクロンでは分離が難しい。

(5) 液体サイクロン装置では大きい粒子を除去することは可能である。大きい粒子は砕砂商品となるため、残った小さい粒子を凝集沈殿させ固液分離を行う必要がある。