

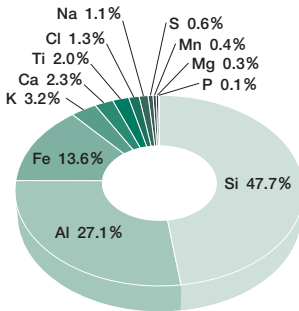
火山灰土を原料とする新しい凝集剤の開発

尾崎 哲二 (正会員) (株)アステック(株)NBH 技術顧問)
 口船 愛 (元(株)アステック)
 森本 辰雄 (株)アステック)
 和田 信一郎 (正会員) 九州大学農学研究院植物資源科学部門)

水処理の主要なプロセスに凝集沈殿法がある。その凝集処理では凝集剤が使用される。凝集剤は一般に人工的に製造され、水処理プラントで排出される汚泥にはその成分であるアルミニウムなどが比較的多量に含まれる。そのため再利用が難しく産業廃棄物として



写真1 開発した凝集剤の写真



(原料によって多少の誤差がある。分析方法:蛍光X線分析)

図1 開発した凝集剤の成分(重量%)

処分されることが多い。同様の理由でダム湖など環境中の濁りの処理においても凝集剤を使用することが難しい。

今回、われわれは火山灰土を原料とする新しい凝集剤を開発した。これが人工の物質を含まない天然の鉱物を成分とし、従来の凝集剤と同等の凝集力をもつ。この凝集剤による水処理やダム湖など原位置での濁水処理が期待される。

凝集法と凝集剤

水質の浄化とは濁りや汚染物質を水から除くことであり、その主要な手法に凝集法がある。凝集法は対象となる物質を固体として水から分離するもので、その分離にはもっぱら沈殿法が利用される。濁りは砂など粒径の比較的大きな物質と粘土鉱物などの小さなコロイド粒子(およそ1nm(10⁻⁹m)~1μm(10⁻⁶m))に分けられる。汚染物質はコロイド粒子に付着ある

いは水に溶解しているが、溶解している場合には前処理として酸化などにより固体状物質(コロイド粒子)に変化させ、あるいは吸着物質(コロイド粒子)を投入して吸着させる。

砂などの大きな物質は重力の影響が大きく自ら沈降する。しかし、コロイド粒子では水の粘性による上向きの力が相対的に大きく、沈降しにくい。加えてブラウン運動^①などの影響を受け浮遊した状態になる。凝集法の対象となるのは、このコロイド粒子である。

コロイド粒子間には引き合う力としてファン・デル・ワールス力^②が常に働いている。この力により粒子同士が引き合って凝集し、粒子が大きくなれば重力の影響が強くなり沈降する。では、コロイド粒子はなぜ、凝集しないのか? それはコロイド粒子の表面が通常、プラスあるいはマイナスの電荷を帯びているからであり、となり合う粒

子は同符号であるため互いに反発する。この反発力がファン・デル・ワールス力を上回るため凝集せず浮遊し続けるのである^③。

したがって、凝集法ではこの電荷による反発力を小さくするため凝集剤が投入される。凝集剤は水中でイオンとなる電解質を成分としており、このイオンがコロイド粒子に吸着して表面電荷を中和する。中和されればファン・デル・ワールス力の影響が大きくなりコロイド粒子は凝集して沈降する。

凝集剤には無機凝集剤と有機高分子凝集剤がある。無機凝集剤ではPAC(ポリ塩化アルミニウム)や硫酸バンド(硫酸アルミニウム)などが、有機高分子凝集剤ではポリアクリルアミドなどが知られる。無機、有機高分子の凝集剤ともコロイド粒子の電荷を中和する作用をもつが、有機高分子凝集剤にはコロイド粒子同士を高分子によりつなぐ架橋作用があり凝集力を

高めている。これらの凝集剤はいずれも化学合成物である。反応性がよくあらゆる濁水に効果を発揮する。しかし、多量に使用する場合には処理水に未反応の成分が残り、処理後の沈殿物はアルミニウムや高分子化合物に富むため再利用の支障になることがある。

こうした欠点を補うため、天然鉱物を原料とする凝集剤が開発された。しかし、これらにはアルカリ土類金属を原料とするものが多く、処理水のpHを上昇させ凝集力が低い。また沈殿物がアルカリ性になるなど、再利用に問題が残る。そのため、火山灰土や浮石風化物を摩砕処理した粉末の凝集剤が開発されている。しかし、これらもまた凝集力が低いため数千ppmオーダーの投入量が必要であり実用的ではない。

(注1)コロイド粒子の不規則な運動をいう。粒子をとり囲む溶媒分子(水)が不規則な速さで不規則な方向から粒子に衝突するため生じる。
(注2)分子間に化学結合とは別の普遍的に働く引力をいう。

新しい凝集剤とその凝集メカニズム

前項の課題解決を目的に火山灰土を原料とする凝集剤を開発

した。火山灰土は東北・関東・山陰・九州地方に分布するもので、有機物の少ない下層部のものである。火山灰土の主要な粘土鉱物は含水アルミニウムケイ酸塩である。火山灰土から凝集剤を製造する手順は、①火山灰土をふるいにかける粒度調整する、②粒度調整した火山灰土に数倍の水を加え鉱物粒子を分散させる、③場合によっては②の混合液にpH調整剤を加える、といったものである。

ここで重要なのは、②、③の処理において鉱物粒子を破壊せず、できるだけ単位粒子に近い状態にして分散させることである。原料となる火山灰土に含まれる粘土鉱物の単位粒子の径は数nmのオーダーである。土のなかではこれが数十μmオーダーの集合体をつくっている。摩砕処理ではこの集合体を十分に小さくできない。本凝集剤では単位粒子まで分散させ、単位質量の凝集剤に含まれる粒子数を飛躍的に増加させている。この良好な分散性が天然鉱物による凝集剤と異なる点であり、懸濁粒子との反応性を高め大きな凝集効果をもたらすのである。

得られる凝集剤は褐色を呈する液体状のもので比重は1.1、pH

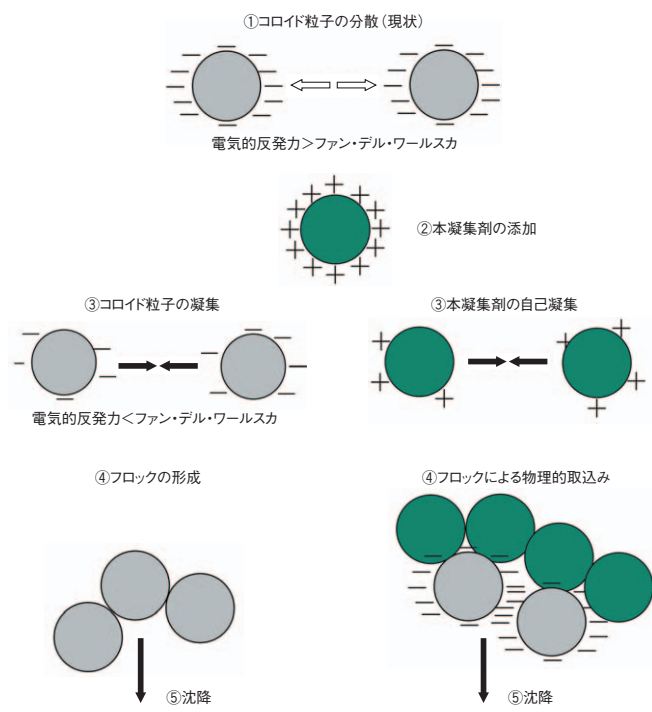


図2 本凝集剤による凝集メカニズム

は4.5~5.5、粘度は約400 mPa・sである。この成分を図1に、写真を写真1に示す。
開発した凝集剤による凝集メカニズムには、①濁りの原因物質であるコロイド粒子の表面電荷の中和、②凝集剤の自己凝集によるコロイド粒子の物理的取込み、の二つが挙げられる。

濁りの原因である多くのコロイド粒子は粘土鉱物からなり、pHが3以上では表面がマイナスの電荷をもち、水中では互いに反発して分散している。また、湖沼や貯水池に発生する藻類もカルボキシ基に

よって表面がマイナスに帯電している。一方、本凝集剤にはpHが中性付近においても表面がプラスに帯電した粘土鉱物が多く含まれ、その製造ではプラスの電荷をさらに付加している。したがって、本凝集剤を対象水に投入すると分散していた粘土鉱物や藻類のマイナスの電荷が中和し、凝集する。他方、本凝集剤は自己凝集性があり通常の天然水であれば自ら凝集する。注目されるのは凝集する際、浮遊するコロイド粒子を物理的に取り込んでフロックを形成することである。形成されたフロック



本凝集剤添加直後(攪拌開始時)



凝集中



凝集終了(攪拌停止10分後)

写真2 赤土濁水に本凝集剤を添加したときの凝集状況(ビーカー1は原水、2は本凝集剤添加)

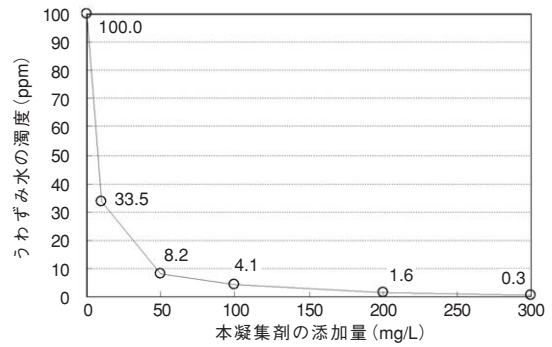


図3 カオリン濁水に対する本凝集剤の添加量とうわずみ水の濁度

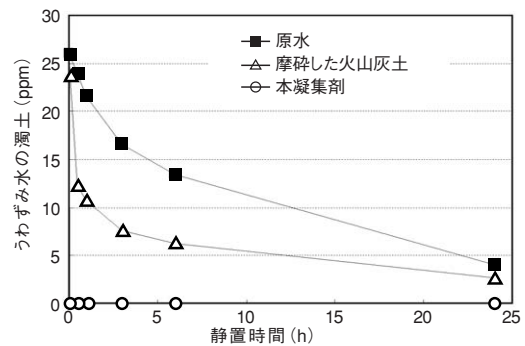


図4 赤土濁水に対する本凝集剤および摩砕した火山灰土による凝集効果の比較(等量添加)

は沈降する。この作用はコロイド粒子の電荷のいかんにかかわらず生じるもので、有機高分子凝集剤の架橋作用とは異なるが同様の物理的な凝集作用である。また、この自己凝集性のため過剰に投入した場合にも未反応の凝集剤が処理水中に残らない。この処理水の安全性については別途実施したヒメダカによる魚類急性毒性試験で確認している。

本凝集剤の凝集メカニズムの模式図を図2に示す。本凝集剤は前述したように弱酸性のpH5の近傍で分散している。これが、汚濁水や環境中の水に投入されると自己凝集し、その際、前述した二つの機能

ダム湖濁水への適用事例

により濁りの原因である物質が凝集するのである。本凝集剤の良好な分散性はこの作用を促進する。

図3にはカオリン(粘土鉱物)の濁水に対する本凝集剤の添加量と濁度の関係を、図4には沖縄県の赤土で作成した低濃度模擬濁水に本凝集剤および摩砕した火山灰土を等量添加した実験結果を示す。これらより、本凝集剤が大きな凝集力をもつことがわかる。写真2には別途赤土濁水に本凝集剤を添加したときの凝集の様子を示す。

(注3) 水中のわずかの電解質濃度に対して敏感に反応して自ら凝集する性質をいう。懸濁物質(コロイド粒子)の少ない水、たとえば対象水をメンブレンフィルターでろ過して得られる水や天然水に投入しても凝集する。

ここで、本凝集剤を使った実証試験を紹介する。対象とした濁水は長期間にわたり濁りが消失しないダム湖水であり、濁りの原因はマイナスの電荷をもつ雲母鉱物、バーミキュライト、クロライト、カオリンなどの微粒子であった。実証試験では貯水池の取水口付近に複数の試験水槽を設置し、濁った湖水をそれぞれに10m³ずつ汲みあげた。各水槽に本凝集剤のほか天然鉱物凝集剤、PACおよび天然鉱物凝集

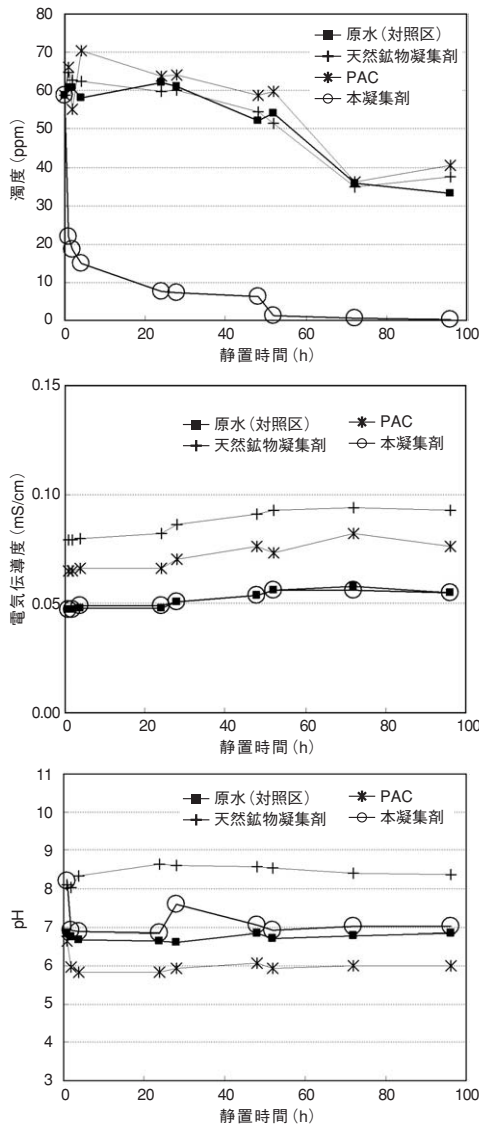


図5 水質測定結果

表1 実証試験で使した凝集剤と添加量

凝集剤	天然鋇物凝集剤	PAC	天然鋇物凝集剤 + PAC	本凝集剤
成分・概要	Ca、Mg、SiO ₂ 塩を主体とした天然鋇物の凝集剤	ポリ塩化アルミニウム(代表的な化学合成無機凝集剤)	天然鋇物凝集剤とPACの併用	火山灰土と水を主体とした凝集剤
性状	白色粉体	無色液体	白色粉体 無色液体	褐色液体
添加量 (mg/L)	10	160	50+200	150

表2 凝集沈殿物分析結果

	項目	単位	原水	天然鋇物凝集剤	天然鋇物凝集剤 + PAC	本凝集剤
溶出量	アルミニウム	mg/L	0.25	0.16	1.04	0.09
	鉛	mg/L	0.002	N.D.	N.D.	0.001
	上記以外の26項目	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
含有量 (全含有)	強熱減量	%	7.8	7.0	10.1	7.8
	全炭素	%	1.24	1.08	0.90	1.50
	全窒素	mg/kg	1900	1930	1380	1880
	全リン	mg/kg	620	540	530	620
	鉄	%	4.7	4.6	3.8	4.7
	マンガン	%	0.08	0.11	0.06	0.08
	含水比	%	189	141	2050	116
	アルミニウム	%	3.0	3.3	8.2	3.2
	銅	mg/kg	13.6	15.2	1.5	5.0
	ヒ素	mg/kg	0.5未満	0.5未満	0.5未満	0.5未満

溶出量分析: 環告18号、含有量分析: 底質調査法

凝集後の処理水(うわずみ水)について、生活環境の保全に関する環境基準(湖沼)5項目、人の健康の保護に関する環境基準26項目および水産用水質基準6項目を分析した。その結果、pHおよびBODのわずかな上昇を除き、水質の悪化や有害物質の増加は認められなかった。

凝集剤+PACをそれぞれ適量投入し、混合してその後の水質を観測した(表1)。比較のため原水の入った水槽を準備した(対照区)。その結果を図5に示す。本凝集剤を投入した濁水では濁度が他に比べて急速に低下している。しかし、電気伝導度、pHはともに原水の場合とほとんど同じ値を示す。本凝集剤が水質を変化させることなく良好な凝集力をもつことがわかる。

凝集沈殿物の溶出量および含有量の分析結果を表2に示す。溶出量の分析項目は処理水と同様の環境基準26項目および銅、アルミニウムであった。その結果、本凝集剤の沈殿物では他と同様に26項目において検出されず、鉛が原水とともにわずかに検出された。しかし、アルミニウムはすべての沈殿物から比較的高濃度で検出された。このうち本凝集剤、天然鋇物凝集剤では原水の場合と同様の濃度であったが、天然鋇物凝集剤とPACの併用では原水の場合の数倍高い濃度を示した。含有量の分析では本凝集剤の沈殿物は各項目とも原水の沈殿物とほぼ同じ含有量であった。それに対し、天然鋇物凝集剤とPACを併用した沈殿物は強熱減量、含水比およびアルミニウムで高い値を示した。

以上、本凝集剤がダム湖水の濁りに対し有効な凝集力をもつこと、および処理水を悪化させず沈殿物にも変化が見られないことを確認した。

参考文献

- (1) 口松愛、森本辰雄、和田信一郎: 粘土鋇物を原料とした高性能凝集剤の開発、第16回環境地質学会シンポジウム、2006年
- (2) 足立泰久・岩田進午編: 土のコロイド現象、学会出版センター、20003年