

土工事における濁水処理に関する研究 (第1報)

—土の酸化・還元が凝集剤の沈降性能に及ぼす影響 (その1)—

喜田大三
辻博和

Studies on Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 1)

—Influence of Oxidation or Reduction of Soil
on Settling Performance of Flocculant (I)—

Daizo Kita
Hirokazu Tsuji

Abstract

Various kinds of muddy water are produced by earthwork performed in construction. These muddy waters are required to be separated into solids and liquids from the standpoint of preventing public nuisances. In such treatment, the surface physical and chemical properties of fine soil particles in the slurries have much influence on the performances of flocculants. The studies herein were thus conducted to investigate the influence of oxidation or reduction of soils on settling performances of organic flocculants (e.g. polyacrylamide). The following results were obtained: (1) soil oxidation or reduction has no influence on the type of flocculant most suitable for accelerating settling, (2) reduced soil requires much more flocculant than oxidized soil to obtain a given initial settling rate, (3) flocs of reduced soil are much more easily broken up than those of oxidized soil, and (4) there is no difference between reduced soil and oxidized soil in regard to turbidity remaining in the liquid after settling.

概要

建設工事において、土工事にもなって各種の濁水が発生している。これらの濁水は公害防止の立場から直接河川・下水道等に排水することが不可能であり、なんらかの濁水処理を行なって、固形分と清澄水とに分離する必要がある。その際、濁水中の懸濁微細土粒子界面の物理化学的性質は使用する凝集剤の各種性能に大きく影響する。そこで、本報では、還元土と酸化土を供試し、海水条件下において、土の酸化、還元が有機系高分子凝集剤の沈降性能に及ぼす影響を検討し、以下のことが判明した。(1) 土の酸化・還元は沈降促進に最適な凝集剤の種類には影響しない。(2) 還元土は酸化土に比べて、所定の初期沈降速度を得るのに非常に多量の凝集剤を必要とする。(3) 還元土から生成するフロックは酸化土から生成するフロックと比較して非常に簡単に破壊されやすい。(4) 上水残留濁度については酸化土と還元土とは差がない。特に、沈降速度が10cm/min~80cm/min の範囲にある場合には常に濁度 50ppm 以下の上水が得られる。

1. はじめに

土木・建築の分野において、土工事にもなって各種の濁水が発生している。表—1には、各種濁水をその直接的発生源である工事種別に分類している。これら各種の濁水は、最近富に問題になってきている環境汚染・水質汚濁等の公害を防止する立場から、そのまま下水道・河川・港湾等に排水することは不可能に近く、これら濁水を処理することによって、固形分と清澄水とに分離し廃棄あるいは再利用する必要がある。そのためには、これら濁水に適切な処理技術の研究開

工事の地域	濁水発生源 工事種名	具体的工事名	濁水処理の主な基準	
			水	土
市街地	都市土木・ 建築工事	場所打ちくい工事 地中連続壁工事 泥水加圧シールド工事	下水道法 河川の環境 基準	廃棄物 処理法
河川・港湾 湖・沼	へドロ処理 工事等	浚渫工事 河川・港湾改修工事 橋りょう基礎工事	河川・海・湖 沼の環境基 準	"
市街地近郊	広域におけ る整地工事	宅地造成工事 ゴルフ場飛行場建設工事	河川の環境 基準	"
山岳地帯	ダム・トン ネル工事	ダム・トンネル工事 採石工事	河川の環境 基準	"

表—1 土工事で発生する濁水発生源の分類

発を行なう必要がある。

著者の一人喜田は表一1中にも示した地中連続壁工事すなわち泥水工法で発生する廃棄泥水の処理方法に関して一連の研究を行ない、廃棄泥水をあらかじめ凝集剤で処理した後フィルタープレスなどを用いて、固形分と清澄水とに分離する処理方式を開発し、先に所報に報告している^{1),2),3)}。この処理方式において、もっとも重要な処理は粘土などの微細な懸濁土粒子から大きな肉眼的フロックを生成させる薬品処理であった。また、著者らは現在までに、工事現場のその他の各種濁水についても、薬品指導を行なってきた。

その際、喜田が別紙に総括しているように^{4),5),6)}、凝集剤の種類あるいはその添加量は、単に濁水の濃度とか凝集剤の攪拌状態だけでなく、濁水中の懸濁微細土粒子界面の物理化学的性質、凝集剤の化学的性質そして土粒子と凝集剤との相互反応などに著しく影響される。このような濁水の薬品処理におけるコロイド学的・界面化学的知識は、土工事の濁水処理において非常に乏しかったが、最近これに関する知識が非常に望まれている。

さて、著者らは現在、海底下に堆積している有害ヘドロの処理システムに関して各種の検討を行なっている。その際、2次公害を防止する上で、工事にもなるとして発生する濁水の凝集剤による凝集沈殿処理は非常に重要である。前述のように、濁水中の懸濁微細土粒子界面の物理化学的性質は凝集剤の性能に大きな影響を与えるために、本報では、単に還元土（海底下にある還元状態の土に相当する）だけでなく、還元土とは土粒子界面の性状をまったく異にする酸化土（普通の空気にさらされた酸化状態の土）も供試し、各種有機系高分子凝集剤の沈降性能を検討した。その結果、非常に興味ある知見が得られたので、ここに報告する。

2. 実験概要

2.1. 供試土と供試高分子凝集剤

供試土としては、表一2に示すような物理的性質をもつ粘土質シルトの酸化土と還元土、さらに比較標準物質として日本薬局方のカオリンを使用した。これらの試料の #150 (0.105mm 以下) を人工海水 (NaCl 濃度2.72%) に懸濁せしめ、酸化土・還元土については4.5・9.0・18.0% カオリンについては1・2・4%の濃度の濁水を作成し、実験に供試した。有機系高分子凝集剤としては、強

試料	湿润土色	粒徑分布 (%)			コンシステンシー (%)			比重
		砂	シルト	粘土	LL	PL	PI	
カオリン	白色	0	0	100	75.0	28.2	46.8	2.588
酸化土	オリーブ褐色 (2.5Y ₅ /2)	13.0	49.7	37.3	45.7	21.8	23.9	2.625
還元土	緑灰色 (7.5GY ₅ /1)	12.5	52.8	34.7	37.8	16.4	21.4	2.621

※農林省監修新版標準土色表による

表一2 供試土の物理的性質

アニオン系 (凝集剤A) ・弱アニオン系 (凝集剤B) ・ノニオン系 (凝集剤C) の3種のポリアクリルアミドを用い、いずれも凝集剤濃度が0.01%あるいは0.02%の溶液にして使用した。

2.2. 実験項目と実験方法

(1) 初期沈降速度 所定量の凝集剤を添加した濁水を 100ml のシリンダーにとり、一定速度で一定回数回転倒したのち静置する。静置後上水とフロック層の界面の沈降して行く速度を測定し、これをフロックの初期沈降速度とする。

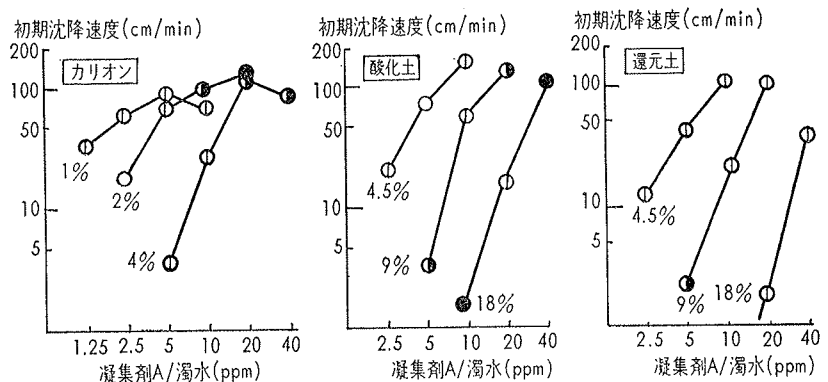
(2) 安定係数 初期沈降速度を測定したときの攪拌エネルギーの2.5倍・10倍のエネルギーで攪拌したときのフロックの沈降速度を測定し、初期沈降速度に対する比をフロックの安定係数とする。

(3) 上水残留濁度 沈降速度測定の際、静置後2分後の上水の濁度を予め作成した標準液と比色し測定する。

3. 実験結果と考察

3.1. 初期沈降速度

3種の濁水に対して、凝集剤A・B・Cそれぞれの添加量を変化させたときの初期沈降速度の変化のうち代表例として、凝集剤Aについての関係を図一1に示す。図一1は濁水当りの凝集剤量に対する初期沈降速度の関係であるが、さらに濁水中の固形分 (乾土分)



図一1 凝集剤Aの添加量 (濁水当り) と初期沈降速度との関係

但し上水残留濁度 20ppm 以下 : ○, 20ppm~50ppm : ⊙, 50ppm~100ppm : ⊕, 100ppm~200ppm : ●

当りの凝集剤量に対する初期沈降速度の関係にして図示したのが図-2である。そして、図-2から、所定の初期沈降速度を得るのに必要な凝集剤の添加量を算出し、濁水別に図示したのが図-3である。なお、図-3には凝集剤B・Cについても同様の方法で算出した値を示した。勿論、所定の初期沈降速度とは、凝集沈殿処理システムにおける処理水量・沈殿池の容量あるいは大きさ等によって定まる池内平均流速・平均滞留時間・水面積負荷等によって適宜決定されるものであるが、ここでは、一般に凝集沈殿処理に使っている範囲の値として、30cm/min (18m/hr) と 10 cm/min (6m/hr) の沈降速度を所定初期沈降速度として採用した。この図をもとに、以下の各項について考察する。

(1) 濁水濃度の影響について

3種の濁水ともに、濁水濃度が高くなるのに対応して、凝集剤の種類によらずすべて凝集剤の沈降促進効果は低下している。しかしその低下の割合は、濁水の種類・凝集剤の種類によって大きく変化している。

このことから、あるフロックの固有の初期沈降速度 V_{f0} が存在するとすれば、そのフロックの濁水濃度 ω における初期沈降速度 V_f は $V_f = V_{f0} \times \psi(\omega)$ と表わせるような濁水の濃度補正項 $\psi(\omega)$ を導入することによって数量的に表現できることが推定される。この考えは、すでに衛生工学等の分野で導入されているが、この濃度補正項は濁水の濃度ばかりでなく、濁水の種類あるいは凝集剤の種類等によっても変化することが判明した。この点に関する詳しい検討は追って続報で行なう予定である。

(2) 酸化土と還元土の違いの影響について

まず、酸化土と還元土のそれぞれにおける凝集剤の種類の違いの影響を検討する。沈降促進効果の大きい

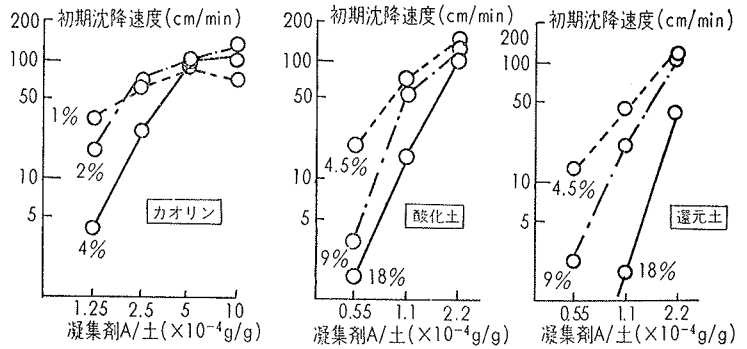


図-2 凝集剤Aの添加量(固形分当たり)と初期沈降速度との関係

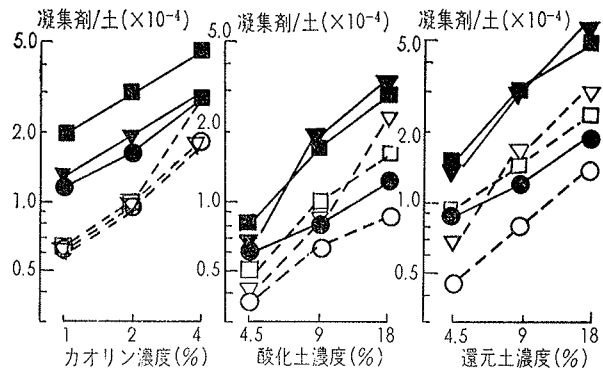


図-3 所定の初期沈降速度を得るに必要な凝集剤量

但し、○：凝集剤A、▽：凝集剤B、□：凝集剤C
●——●：所定初期沈降速度 30cm/min、○……○：所定初期沈降速度 10cm/min

順位は、酸化土と還元土とでは違いがなく、4.5%濃度で凝集剤A>凝集剤B>凝集剤C、9%濃度で凝集剤A>凝集剤B≒凝集剤C、18%濃度で凝集剤A>凝集剤C>凝集剤Bとなっている。全濃度範囲を通じて、凝集剤Aは沈降促進効果が顕著にすぐれている。すなわち、土の酸化・還元は、今回実験に供試した3種の凝集剤のうちで、沈降促進効果に最適な凝集剤の種類には影響しないことが判明した。

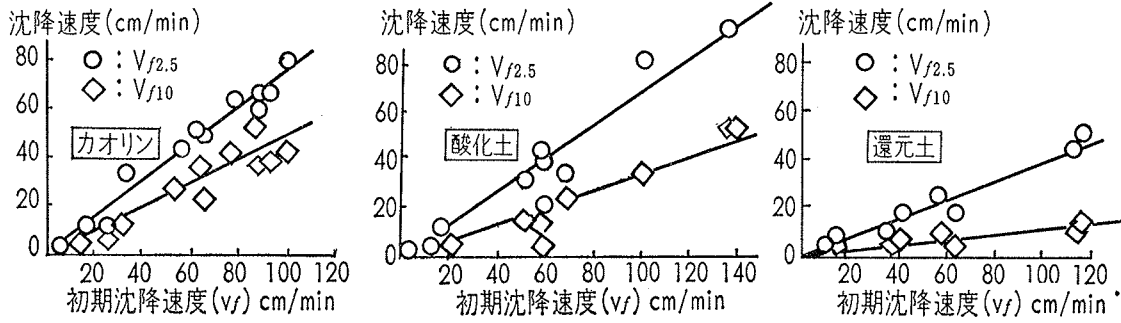
つぎに、酸化土と還元土とについて、所定の初期沈降速度を得るのに必要な凝集剤の量を比較する。濃度別・凝集剤別に、酸化土における凝集剤必要量に対する還元土における凝集剤量の比をとったのが表-3である。凝集剤Aの場合、還元土は酸化土の1.2~1.6倍の添加量を必要とし、凝集剤Bもしくは凝集剤Cの場合、還元土は酸化土の1.4~2.0倍の添加量を必要としている。すなわち、所定の初期沈降速度を得るために、還元土は酸化土に比べて非常に多量の凝集剤を必要とすることが判明した。

3.2. 安定係数

凝集沈殿処理システムで、有機系高分子凝集剤を使用する場合、凝集剤添加後の攪拌条件として、濁水と凝集剤の接触の機会を多くするための十分な攪拌とす

凝集剤種	濁水濃度			
	4.5%	9%	18%	
A	10 cm/min	1.29	1.23	1.56
	30 cm/min	1.31	1.41	1.54
B	10 cm/min	1.89	2.00	1.67
	30 cm/min	2.00	1.75	1.71
C	10 cm/min	1.80	1.40	1.47
	30 cm/min	1.88	1.66	2.00

表-3 所定の初期沈降速度を得るに必要な凝集剤量の還元土と酸化土の比



図一四 各試料の $V_f \sim V_{f2.5}$, $V_f \sim V_{f10}$ の関係 (凝集剤Aの場合)

おだやかな攪拌の両方にもっとも最適な攪拌条件が決められなければならない。そのためには、まずフロックの破壊に対する抵抗力すなわちフロックの安定性を定量的に把握する必要がある。しかし、現在までのところ、この点に関する研究は皆無に等しい。そこで著者らはフロックの安定性の定量的指標として安定係数なる概念を導入した。

すなわち、初期沈降速度を得たときの攪拌エネルギーの2.5倍さらに10倍のエネルギーを与えた場合のフロックの沈降速度 $V_{f2.5}$ ・ V_{f10} の初期沈降速度 V_f に対する比をそれぞれ安定係数 $C_{f2.5}$ ・ C_{f10} とした。これは、代表例として示した凝集剤Aの場合の $V_f \sim V_{f2.5}$ ・ V_{f10} の関係を示し図一六にプロットされた点の外接直線の傾きとして与えられる。この $C_{f2.5}$ ・ C_{f10} の値を各濁水別・各凝集剤別に示したのが表一四である。

カオリンでは、凝集剤の種類によって安定係数はほとんど影響されず $C_{f2.5}=0.75 \sim 0.80$ 、 $C_{f10}=0.45 \sim 0.50$ の値を示したのに対して、酸化土と還元土は凝集剤の種類によって大きく影響している。まず酸化土の場合、凝集剤A・Bでは $C_{f2.5}=0.65 \sim 0.70$ 、 $C_{f10}=0.30$ であるが、凝集剤Cでは $C_{f2.5}=0.50$ 、 $C_{f10}=0.15$ である。また還元土の場合、凝集剤A・Bでは $C_{f2.5}=0.40$ 、 $C_{f10}=0.10 \sim 0.15$ であるが、凝集剤Cでは $C_{f2.5}=0.45$ 、 $C_{f10}=0.20$ である。

つぎに、酸化土と還元土とについて比較する。凝集剤A・Bの場合、酸化土ではかなり高い安定係数が得られているのに対して、還元土では安定係数が著しく低い値を示し、酸化土の約2分の1の値である。すなわち、凝集剤AあるいはB、すなわちアニオン系凝集

剤で生成する還元土のフロックは酸化土と比較して非常に簡単に破壊され易いことが判明した。なお、凝集剤Cの場合、酸化土と還元土とでは顕著な差は認められないけれども両方とも低い値を示した。

以上のことは、還元土を対象とした凝集沈殿処理システムを作成する際、凝集剤の混和、フロックの生成・沈殿の各工程においてフロックに与えられる攪拌およびその他のエネルギーに十分配慮し、初期沈降速度に酸化土の場合と比較して、かなり大きい安全率を見込む必要があることを示唆している。

3.3. 上水残留濁度

フロックの沈降速度測定時には、上水とフロック層との界面は明確な形で沈降して行くが、2分後の上水には多少の残留濁度が認められた。ここでは、その代表例として図一1の凝集剤Aの添加量と初期沈降速度との関係の図中に、残留濁度を記号で表示した。図からも明らかなように、酸化土と還元土とでは明確な違いはなく、両者ともかなり低い残留濁度を得ることができた。上水残留濁度を初期沈降速度との関係からみると、初期沈降速度が $10 \text{cm/min} \sim 80 \text{cm/min}$ の範囲内にある場合には、常に濁度 50ppm 以下の上水が得られている。しかし、初期沈降速度が 10cm/min 以下あるいは 80cm/min 以上の場合には上水が濁ってきて 50ppm 以上になる傾向にある。さらに、初期沈降速度測定時の2.5倍あるいは10倍の攪拌エネルギーを与えてフロックが破壊されて行く過程での上水残留濁度は、今回特に図には示さなかったが、フロックの沈降速度が 10cm/min 以下にならない限り 50ppm 以上になることはなかった。

以上に述べたことは凝集剤Aについてであるが、凝集剤B・凝集剤Cについてもほぼ同様である。このように、酸化土・還元土ともかなり低い上水残留濁度を得ることができたのは、今回の実験では、濁水を人工海水で作成しており、塩化ナトリウムの増感作用によるものと推定される。

このことから、港湾・海域等における浚渫あるいは

凝集剤種	土質					
	カオリン		酸化土		還元土	
安定係数	$C_{f2.5}$	C_{f10}	$C_{f2.5}$	C_{f10}	$C_{f2.5}$	C_{f10}
A	0.75	0.50	0.70	0.30	0.40	0.10
B	0.80	0.55	0.65	0.30	0.40	0.15
C	0.80	0.45	0.50	0.15	0.45	0.20

表一四 各試料の安定係数

掘削工事で発生する濁水すなわち海水を水源とする濁水については、有機系高分子凝集剤を単独で使用した凝集沈殿処理によってかなりの清澄水を上水として得ることができることが判明した。

4. まとめ

まえがきにも述べたように、濁水中の懸濁微細土粒子界面の物理化学的性質は凝集剤の沈降性能に大きく影響するので、本報告では、港湾・海域等に堆積している有害ヘドロの掘削・浚渫工事とも関連して、還元土（海底下にある還元状態の土に相当する）と還元土とは土粒子界面の性状をまったく異にする酸化土（普通の空気にさらされた酸化状態の土）とを供試し、海水中において、このような土の酸化・還元が有機系高分子凝集剤の沈降性能に与える影響について検討し、以下のことが判明した。なお、凝集剤としてはイオン性の異なる強アニオン系(A)、弱アニオン系(B)、ノニオン系(C)の3種のポリアクリルアミドを用いた。

(1) 3種の凝集剤の沈降促進効果の大きい順位は、酸化土と還元土とでは違いがなく、凝集剤Aの沈降促進効果が特にすぐれていた。すなわち、土の酸化・還元は、今回実験に供試した3種の凝集剤のうちで、凝集沈殿に最適な凝集剤の種類には影響しないことが判明した。

(2) 所定の初期沈降速度を得るに必要な凝集剤の量は、凝集剤Aの場合で還元土が酸化土の1.2~1.6倍を、凝集剤Bあるいは凝集剤Cの場合で還元土が酸化土の1.4~1.6倍をそれぞれ必要としていた。すなわち、還元土は酸化土に比べて所定の初期沈降速度を得るのに非常に多量の凝集剤を必要とすることが判明した。

(3) 凝集剤によって生成するフロックの破壊に対する抵抗力すなわちフロックの安定性の定量的指標とし

て著者らが導入した安定係数は、凝集剤Aあるいは凝集剤Bの場合、酸化土で $C_{f2.5}=0.65\sim0.70$ 、 $C_{f10}=0.30$ を示したのに対し還元土で $C_{f2.5}=0.40$ 、 $C_{f10}=0.10\sim0.15$ と著しく低い値を示した。すなわち、凝集剤Aあるいは凝集剤Bで生成するフロックは酸化土のそれと比較して非常に簡単に破壊され易いことが判明した。なお、凝集剤Cについては、酸化土・還元土ともに安定係数が非常に低かった。

(4) 上水残留濁度については、3種の凝集剤の場合すべて、酸化土と還元土とでは明確な差はなく、ともに低い値を示した。特に、沈降速度が $10\text{cm/min}\sim 80\text{cm/min}$ の範囲にある場合には、常に濁度 50ppm 以下の上水が得られた。

さて、表一に示したような建設工事にもなって発生する濁水の懸濁微細土粒子は酸化土か還元土かのいずれかに属するので、本報告で得られた以上の成果はこれらの濁水の処理において非常に有用である。この成果をさらに一般化するために、著者らは現在淡水条件下における土の酸化・還元が凝集剤の沈降性能に及ぼす影響について検討を行っており、その結果は次報で報告する予定である。

参考文献

- 1) 喜田・斎藤：大林組技研所報，No. 6, 157 (1972)
- 2) 喜田・斎藤：大林組技研所報，No. 6, 162 (1972)
- 3) 喜田・斎藤：大林組技研所報，No. 6, 111 (1973)
- 4) 喜田：日本土壤肥料科学雑誌，Vol. 33, No. 8, 397 (1962)
- 5) 喜田：高分子，Vol. 13, No. 143, 306 (1974)
- 6) 喜田：コンストラクション，Vol. 11, No. 3, 43 (1973)