

# 土工事における濁水処理に関する研究 (第3報)

—土の酸化・還元が凝集剤の沈降性能に及ぼす影響(その2)—

—土の酸化・還元が凝集剤による沈殿スラッジの脱水性に及ぼす影響(その2)—

喜 田 大 三  
辻 博 和

## Studies of Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 3)

—Influence of Oxidation or Reduction of Soil  
on Settling Performance of Flocculants (II)—

—Influence of Oxidation or Reduction of Soil  
on Dehydrating Performances  
of Sludges Containing Flocculants (II)—

Daizo Kita  
Hirokazu Tsuji

### Abstract

The studies described herein were conducted to investigate the influence of oxidation or reduction of soil on settling performances of flocculants, and on dehydrating performances of sludges containing flocculants. The following results were obtained: (1) oxidation or reduction of soil has no influence on the type of flocculant suitable for accelerating settling, but reduced soil has a lower settling rate than oxidized soil at equal organic flocculant density, (2) flocs of reduced soil are much more easily broken up than those of oxidized soil, (3) an inorganic flocculant has no effect on the settling rate and turbidity remaining in a fluid of reduced soil, but much effect in case of oxidized soil, (4) variations in permeability and dehydrating rates of sludges due to flocculants are equivalent to those in the settling rates, and (5) compressibilities of sludges are influenced by both oxidation and reduction of soil.

### 概 要

土工事にもなって淡水条件下の各種濁水が発生している。そこで、酸化状態の土(酸化土)と還元状態の土(還元土)とを供試し、淡水条件下表題の内容について検討した結果、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有機系凝集剤の種類には影響しない。そして、酸化土に比べて還元土ではフロックの初期沈降速度が非常に低い。(2)酸化土に比べて還元土のフロックの安定係数は約1/2であり、そのフロックはより一層破壊されやすい。(3)フロックの沈降促進および濁度除去に関して、酸化土の場合無機系凝集剤の添加効果が大きい、還元土の場合その効果がほとんどみられない。(4)酸化土・還元土ともに無機・有機系凝集剤の添加濃度に対応したスラッジの透水係数・脱水速度等の変化はフロックの初期沈降速度の変化とほぼ一致している。(5)酸化土・還元土ともに、スラッジの圧縮性はフロックの初期沈降速度に影響されるが、その間の関係は酸化土と還元土で異なる。

#### 1. まえがき

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。そして、これら濁水は環境汚染・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である。そこで、濁水中の浮遊懸濁物質すなわち SS 成分

は主に凝集剤を用いて沈殿除去し、さらにその結果分離された沈殿スラッジは廃棄するために、なんらかの方法で脱水せねばならない。そのためには、凝集剤の沈降性能そして沈殿スラッジの脱水性等に関する諸現象を明確にする必要がある。

著者らは先の報告<sup>1),2)</sup>において、港湾、海域等に堆積したヘドロの掘削・浚渫工事と関連して、還元土(水

面下にある還元状態の土)だけでなく、還元土とは土粒子界面の性状をまったく異なる酸化土(普通の空気にさらされた酸化状態の土)も供試し、海水条件下において、濁水の凝集沈殿および沈殿スラッジの脱水性状に関して検討した。その結果、上記のような土の酸化・還元が、第1報では<sup>1)</sup>凝集剤の沈降性能に、第2報では<sup>2)</sup>沈殿スラッジの脱水性に非常に大きく影響していることを明らかにした。

ところで、山岳地帯および河川・湖沼さらに市街地とその近郊における土工事に際しても濁水が発生している。これらの濁水は淡水条件の酸化土あるいは還元土のいずれかに大別される。たとえば、山岳地帯および市街地近郊では主として酸化土の濁水が、一方河川・湖沼および市街地では主として還元土の濁水が発生している。このような濁水中のSS成分を能率よく除去するために、近年無機系および有機系の凝集剤を使用する傾向にある<sup>3),4)</sup>。

そこで本報では、淡水条件下において土の酸化・還元がこれら凝集剤の沈降性能および凝集剤による沈殿スラッジの脱水性に及ぼす影響について検討し、この両者の結果をまとめてその2として報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1. 供試土と凝集剤

供試土としては、表一1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とを使用した。これらの試料を蒸留水に懸濁せしめ、5%と10%濃度の濁水を作成し、実験に供試した。

無機系凝集剤としてポリ塩化アルミニウム有効酸化アルミニウム10% (以下PACと称す)を用いた。また、有機系高分子凝集剤としては強アニオン(凝集剤A)・弱アニオン(凝集剤B)・ノニオン(凝集剤C)の3種のポリアクリルアミド系の凝集剤を用いて種類間の相互比較を行った。その結果、3.1.1(1)において説明するように、3.1.1(2)以降の実験では強アニオン系の凝集剤Aのみを供試した。

試料	湿潤土土色*	粒径分布			コンシステンシー			真比重
		砂分	シルト分	粘土分	LL	PL	PI	
酸化土	オリーブ褐色(2.5Y4/4)	13.0%	49.7%	37.3%	45.7%	21.8%	23.9	2.625
還元土	緑灰色(7.5GY5/1)	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図による

表一1 供試土の物理的性質

## 2.2. 実験項目と実験方法

### 2.2.1. 凝集剤の沈降性能

(1) フロックの初期沈降速度 濁水を沈降管にと

り、まず所定濃度のPACを添加したのち一定速度で一定回数回転倒する。そしてさらに所定濃度の高分子凝集剤を添加し再度一定回数回転倒したのち、静置し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した。

(2) フロックの安定係数 第1報で説明したように、初期沈降速度を測定の際に高分子凝集剤を添加後に与えた攪拌エネルギーの2.5倍さらに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した。

(3) 上水残留濁度 初期沈降速度測定の際、静置後30分後の上水を採取し、その濁度を濁度計で測定した。

2.2.2. 沈殿スラッジの脱水性 2.2.1(1)で説明したように、初期沈降速度を測定後再度沈降管を一回転倒したのちAPI規格のろ過試験機に濁水を移し、30分間放置後、ろ過圧0.7kg/cm<sup>2</sup>、使用ろ紙No.2、有効ろ過面積45.36cm<sup>2</sup>でろ過試験を行った。そして第2報<sup>2)</sup>に示した方法に準じて、沈殿スラッジの以下の項目について測定した。

- (1) 透水係数 (2) 脱水速度 (3) 間隙比
- (4) 圧縮率

## 3. 実験結果と考察

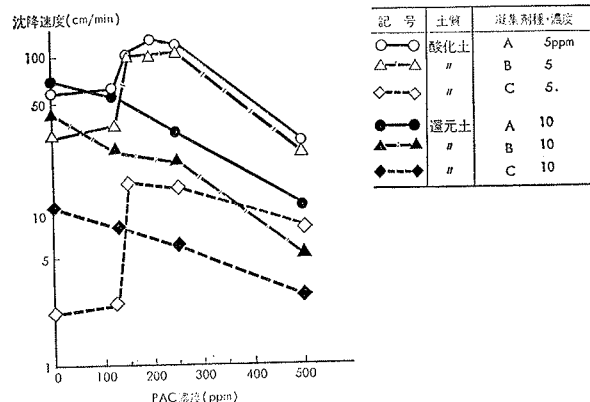
### 3.1. 凝集剤の沈降性能

#### 3.1.1. フロックの初期沈降速度

(1) 有機系高分子凝集剤の種類の影響

酸化土と還元土の5%の濁水に無機系凝集剤PACを0~500ppm添加後、有機系高分子凝集剤A・B・Cをそれぞれ5または10ppm添加したときのフロックの初期沈降速度を図一1に示す。

図から明らかなように、酸化土・還元土とともに、PACのいかなる濃度において、高分子凝集剤A・B・Cの3種のうち、高分子凝集剤Aで生成するフロック



図一1 フロックの初期沈降速度に及ぼす高分子凝集剤の種類の影響(5%濁水)

の初期沈降速度が最も大きく、一方高分子凝集剤Cのそれは最も小さかった。また、フロック沈降後の残留濁度は土の酸化・還元および PAC の濃度の同一条件下で、上記3種の高分子凝集剤の間では差違が認められなかった。

以上のように、淡水条件下では土の酸化・還元は沈降促進に最適な高分子凝集剤の種類には影響す

ることなく、凝集剤Aが最適であることが判明した。さらに、先報<sup>1),2)</sup>で報告したように、海水条件下でも、酸化土・還元土ともにフロックの沈降促進さらに沈澱スラッジの脱水促進に凝集剤Aが最も適していた。したがって、淡水条件下における以下の各種実験においては凝集剤Aのみを使用した。

(2) 土の酸化・還元の影響

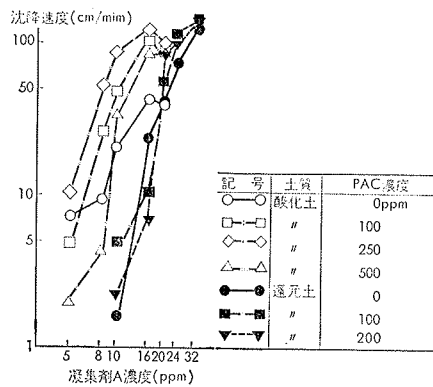
まず、酸化土の場合について説明する。

酸化土の10%濁水について、凝集剤Aを 20ppm まで、そして PAC を 750ppm までの所定濃度添加した場合の実験結果を図一2および図一3に示す。図一2の横軸は凝集剤Aの、図一3のそれは PAC の濃度でそれぞれ表示している。

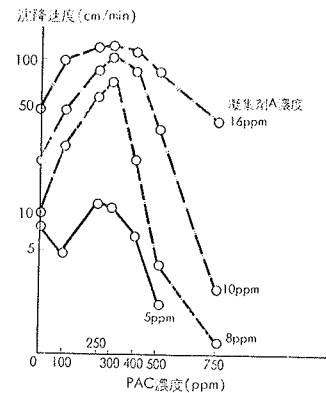
図一2において、フロックの初期沈降速度は、当然のこととして、凝集剤Aの濃度に対応して顕著に増大している。しかし凝集剤Aの濃度が 20ppm と過剰になると、逆に沈降速度はわずかに減少している。この現象は、過剰添加された高分子凝集剤が土粒子の保護コロイド作用をおこし、土粒子が一部分散しはじめたためと考えられる。

つぎに、図一3において、フロックの初期沈降速度は PAC の濃度に大きく影響されている。すなわち、PAC の濃度が 0 から300ppmへと増加するのに対応して、フロックの初期沈降速度は増大し、PAC 濃度が 300ppm 付近で沈降速度は最大となる。そしてこの濃度以上の PAC 添加は逆に沈降速度を減少させている。このように、酸化土ではフロックの初期沈降速度を最大にする PAC の濃度が存在していた。なお、この濃度は、3.1.3に後述するように、フロック沈降後の残留濁度を最小にするための必要添加濃度の範囲 (300~400ppm) にはいっていた。さらに、図一1に例示するように、5%濁水におけるフロックの初期沈降速度を最大にする PAC 濃度は 150~200ppm であり、図示しないけれども、この濃度で上水残留濁度も最小となった。

一般に、PAC等の Al 系の凝集剤の凝集機構は、Al



図一2 フロックの初期沈降速度(10%濁水)



図一3 フロックの初期沈降速度(10%濁水)

イオンによる粘土の動電位の低下とともにさらに正荷電を帯びた加水分解生成物の形式による粘土粒子間の橋わたしによると言われている。したがって、上述の濃度の PAC の添加によって、粘土の動電位が十分に低下し、高分子凝集剤で大きなフロックを生成する際、濁水中の SS 成分がほとんどフロック中に取り込まれる結果、上水中に残留する濁度は低くなり、そして、生成するフロックは大きくさらに重くなりフロックの初期沈降速度は大きくなるものと推定される。

なお、PAC の過剰添加で、フロックの初期沈降速度が低下するのはおそらく PAC によって凝集剤Aの凝集効果が妨害されているためと推察される。

つぎに、還元土の場合について、説明する。

還元土の10%濁水について、凝集剤Aを 32ppm まで、そして PAC を200ppm までの所定濃度添加した場合の実験結果を前掲の図一2中に併記した。図から明らかなように、還元土においても凝集剤Aの添加濃度とともにフロックの初期沈降速度は増大している。そして、今回実験を行った凝集剤Aの最大添加濃度は 32ppm であったが、この濃度においても酸化土にみられたような分散現象は認められなかった。また、この実験結果を特に図一3に掲載していないけれども、10%濁水では、酸化土のような PAC の添加にもなるフロックの初期沈降速度の系統的な変化は認められない。しかも、前掲の図一1に例示されるように、5%の還元土の濁水では、PAC 添加とともにフロックの初期沈降速度は減少している。したがって、酸化土と異なって還元土ではフロックの沈降促進に PAC の添加効果があるとは判定できない。

さて、ここで凝集剤Aの同一添加濃度 (たとえば10あるいは16ppm) におけるフロックの初期沈降速度を酸化土と還元土について比較する。図一2から明らかなように、PAC の濃度によって多少異なるが、還元土のフロックの初期沈降速度は酸化土のその 1/5~1/10である。すなわち、酸化土に比べて還元土ではフ

ロックの初期沈降速度が非常に小さいことが判明した。このことは、第1報<sup>1)</sup>の海水条件下における内容、すなわち、所定の初期沈降速度を得るのに、還元土は酸化土に比較して非常に多量の凝集剤を必要とする事実と一致している。

3.1.2. フロックの安定係数

図-4に、5%の酸化土と還元土の濁水について、初期沈降速度測定時に比べて攪拌エネルギーを2.5倍および10倍与えた場合の沈降速度と初期沈降速度との比すなわちフロックの安定係数  $C_{f2.5}$  および  $C_{f10}$  の値を示す。

$C_{f2.5}$  および  $C_{f10}$  は酸化土では0.56および0.20であるのに対し、還元土では0.27および0.10である。このように、酸化土に比べて還元土のフロックの安定係数は約1/2であり、そのフロックはより一層破壊されやすいことが判明した。この現象は第1報における海水条件下でも認められた。さらに、土の酸化・還元に関係なく、淡水条件下のフロックは海水条件下のそれに比べて弱い傾向にあり、塩分の効果を今後検討する必要があるだろう。

3.1.3. 上水残留濁度 濁水中のSS成分を凝集剤によって沈降除去する場合、フロックの初期沈降速度とフロックの安定係数だけによって凝集剤の効果の良否を判断してはならない。当然のこととして、フロック沈降後の上水中に残留するSS成分の濃度を問題にする必要がある。そこで、PACと凝集剤Aを添加し、生成したフロックが沈降後の上水中の残留濁度を図-

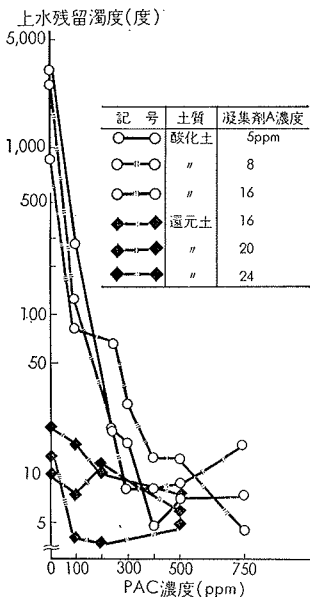


図-5 フロック沈降後の上水残留濁度 (10%濁水)

5に示す。

図-5において、PAC無添加における酸化土と還元土の濁度を比較する際、凝集剤Aの同一濃度(16ppm)においても、またフロックの初期沈降速度がほぼ同じになる凝集剤Aの濃度(たとえば酸化土の16ppmと還元土の24ppm)においても、酸化土の濁度は還元土に比べて極めて大きい。

しかし、酸化土では、PACの添加効果が顕著で、PACの濃度とともに、濁度は減少し、PAC

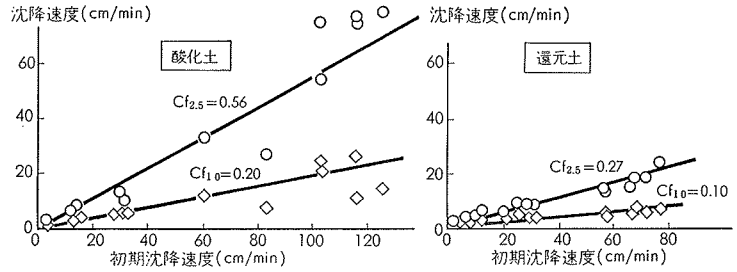


図-4 フロックの安定係数 (5%濁水)

濃度が300~400ppm以上で、濁度はほぼ一定値5~20度になっている。すなわち、酸化土の場合、濁度を最も低くするためのPACの最小必要濃度が存在することが明らかになり、この濃度は3.1.1(2)に説明したようにフロックの初期沈降速度を最大にする濃度範囲と一致していた。

これに反し還元土では、PAC無添加でも濁度は10~20度と非常に小さい値を示し、そしてPACの添加効果がほとんど認められない。また、3.1.1.で述べたように酸化土と異なって還元土ではフロックの沈降促進にPACの添加効果があるとは判定できなかった。したがって、還元土では濁水中のSS成分を沈殿除去する際有機系高分子凝集剤に無機系凝集剤(PAC)を併用する必要がないと判断される。

以上のように、PACの効果が酸化土と還元土で顕著に相違していた原因として土中に含まれる鉄の存在形態が大きく関与していると推察されるので、これに關しては今後検討する予定である。

3.2. 沈殿スラッジの脱水性

3.2.1. 沈殿スラッジの透水係数および脱水速度

3.1.1(2)において初期沈降速度を測定した各種濁水の沈殿スラッジの透水係数と脱水速度を測定し、それらの結果をそれぞれ図-6、図-7に示す。両図から明らかなように、酸化土、還元土いずれにおいても、PACと凝集剤Aの濃度に対応して、透水係数と脱水速度はほぼ同じ傾向に変化していた。そこで、透水係

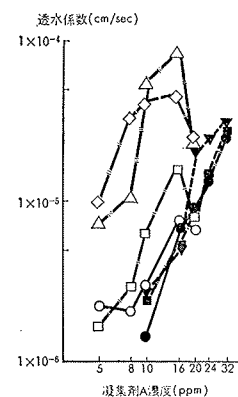


図-6 沈殿スラッジの透水係数 (10%濁水)

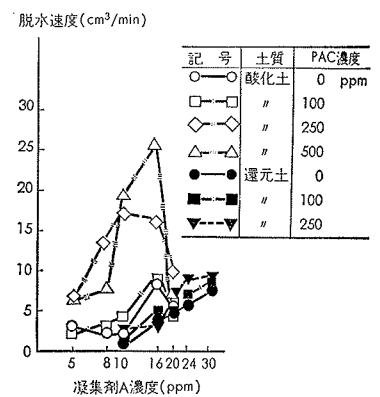
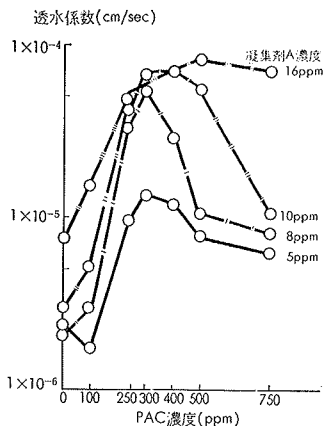


図-7 沈殿スラッジの脱水速度 (10%濁水)



数についてのみ以下に説明する。

図一6に示すように、酸化土・還元土ともに、凝集剤Aの濃度とともに透水係数は増大している。しかし、酸化土における凝集剤Aの過剰添加では逆に透水係数は減少している。

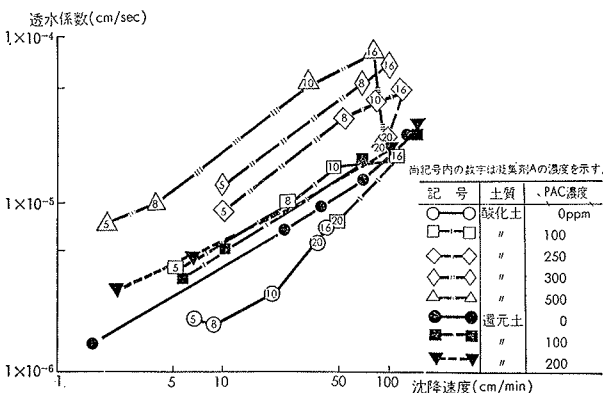
つぎに凝集剤Aの濃

図一8 PAC 濃度と沈殿スラッジの透水係数との関係(10%酸化土濁水) 元土では PAC の添加によって透水係数はほとんど変化していないが、これに反して酸化土では PAC の添加効果が認められるので、図一8に PAC 濃度と透水係数との関係を図示した。同図によれば、酸化土においては透水係数を最大にするような PAC の濃度(300~400ppm)が存在していた。

以上の酸化土と還元土における沈殿スラッジの透水係数の変化は3.1.1(2)の図一2に説明したブロックの初期沈降速度の変化とほぼ一致していた。そこで、ブロックの初期沈降速度と沈殿スラッジの透水係数との関係について次項で検討する。

### 3.2.2. ブロックの初期沈降速度と沈殿スラッジの透水係数との関係

前掲の図一2および図一6は同一の濁水についての測定結果であるので、この両図のブロックの初期沈降速度と沈殿スラッジの透水係数との関係を図一9に示す。図から明らかなように、酸化土・還元土ともに、ブロックの初期沈降速度の増大とともに沈殿スラッジの透水係数は増大している。その際、沈降速度(対数値)と透水係数(対数値)の間には、PACの濃度別に、凝集剤Aが過剰添加にならない範囲で、直線関係が成立している。



図一9 ブロックの初期沈降速度と沈殿スラッジの透水係数との関係(10%濁水)

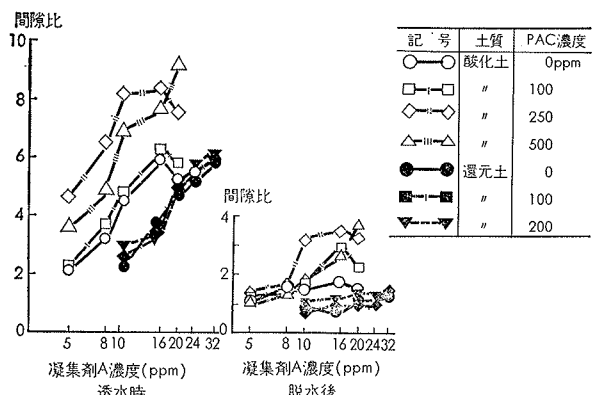
そして、酸化土においては、上記の直線のグラフは PAC 濃度の増大とともに上方に平行移動している。すなわち、同じブロックの初期沈降速度に対する沈殿スラッジの透水係数は、PAC 濃度が大きいもの程、大きいことが判明した。ところで、先の3.1.3で報告したように、酸化土では PAC 濃度とともにブロック沈降後の上水残留濁度は減少していた。したがって、同じブロックの初期沈降速度に対する沈殿スラッジの透水係数は、上水残留濃度が低い程大きくなるものと推定される。

これに反して還元土では、上記の直線のグラフは、PAC 濃度が変化してもほとんど移動しない。これは、先の3.1.3で報告したように、還元土の上水残留濁度が PAC 濃度によってほとんど変化しなかったことによるものと思われる。

3.2.3. 透水時の沈殿スラッジの間隙比 図一2のブロックの初期沈降度および図一6の沈殿スラッジの透水係数は同じ濁水についてそれぞれ測定しているが、ここではこれら濁水について透水時の沈殿スラッジの間隙比を測定し、その結果を図一10に示す。

さて、図一10を図一2および図一6と比較検討した結果、間隙比は初期沈降速度および透水係数と正の対応関係が観察された。ところで前項の図一9において初期沈降速度の増大ともなって透水係数が増大していることを報告した。したがって、ブロックの初期沈降速度によって、沈殿スラッジの間隙比が決定され、ひいてはこの間隙比によって沈殿スラッジの透水係数も決定されるものと推定される。しかし、今回の沈殿スラッジの間隙比からみると透水係数は小さい値を示している。この理由に関しては今後究明する予定である。

3.2.4 脱水時の沈殿スラッジの圧縮性 沈殿スラッジの間隙比は脱水によって著しく減少する。そこで、脱水終了時の間隙比を図一10に併記し、その減少の程度を圧縮率として算出した。ところで、前項で透水時の間隙比はブロックの初期沈降速度によって決定され



図一10 沈殿スラッジの間隙比(10%濁水)

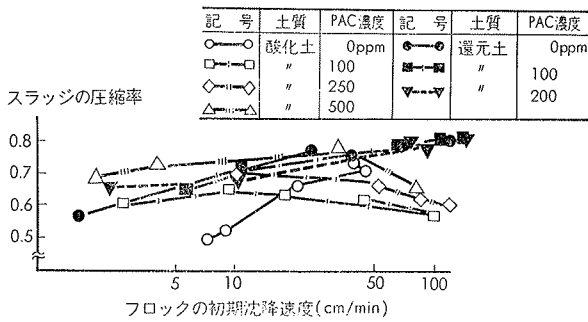


図-11 フロックの初期沈降速度と沈殿スラッジの圧縮率との関係 (10%濁水)

ると推定されたので、ここでも間隙比の変化の程度すなわち圧縮率をフロックの初期沈降速度と関係させて検討するために、その関係を図-11に示した。

図から明らかなように、還元土では PAC の濃度に関係なく、フロックの初期沈降速度が 2~100cm/min の範囲を変化するのに対応してスラッジの圧縮率は、0.6から0.8まで増大した。これに対し酸化土では PAC の濃度ごとに、スラッジの圧縮率は異なり0.5~0.8の範囲内で変動している。しかし沈降速度が 30~50cm/min 以上になると PAC 濃度に関係なくスラッジの圧縮率は減少する傾向が認められた。このように沈殿スラッジの圧縮率は、酸化土・還元土ともに、フロックの初期沈降速度に影響されるが、その間の関係は酸化土と還元土で異なることが判明した。

#### 4. まとめ

まえがきにも述べたように、土工事に際して淡水条件下の酸化土あるいは還元土の濁水が多数発生している。そこで、淡水条件下において、土の酸化・還元が凝集剤の沈降性能および凝集剤による沈殿スラッジの脱水性に及ぼす影響について検討した結果、以下のことが判明した。

なお、無機系凝集剤としてはポリ塩化アルミニウム (PAC) を、有機系高分子凝集剤としては強アニオン・弱アニオン・ノニオンの3種のポリアクリルアマイド系の凝集剤を用いた。

(1) フロックの初期沈降速度は高分子凝集剤の濃度の増加とともに増大する。その際、酸化土、還元土と

もに強アニオン系高分子凝集剤が最も優れている。そして、酸化土に比べて還元土では、フロックの初期沈降速度が非常に低い。

(2) 酸化土に比べて還元土のフロックの安定係数は約 1/2 であり、そのフロックはより一層破壊されやすい。

(3) フロックの沈降促進および濁度除去に関して、酸化土の場合高分子凝集剤に PAC を併用する効果が非常に大きいのにに対し、還元土ではその併用効果がほとんど認められない。

(4) 酸化土・還元土ともに、凝集剤の濃度に対応した沈殿スラッジの透水係数および脱水速度の変化はフロックの初期沈降速度の変化とほぼ一致している。

(5) 特に、フロックの初期沈降速度 (対数値) と沈殿スラッジの透水係数 (対数値) との間には、PAC の濃度別に直線関係が成立する。そして同じ沈降速度に対する透水係数は、PAC 濃度が大きい程すなわち上水残留濁度が低い程大きい。

(6) 沈殿スラッジの圧縮性はフロックの初期沈降速度に影響されるが、その間の関係は酸化土と還元土では異なる。

(7) 上述の淡水条件下で得られた諸結果のうち、(1)・(2)・(4)に述べた諸現象は先の第1報<sup>1)</sup>・第2報<sup>2)</sup>の海水条件下でも認められた。

さて、土工事にともなって発生する濁水中の懸濁土粒子は酸化土か、還元土かのいずれかに属するので、第1・2・3報で得られた成果はこれらの濁水処理に非常に有用である。著者らは、これらの成果をさらに一般化するために、今後日本全国に存在する各種の代表内酸化土および還元土についても検討して行く予定である。

#### 参考文献

- 1) 喜田・辻：大林組技研所報, No. 10, 121 (1975)
- 2) 喜田・辻：大林組技研所報, No. 11, 147 (1975)
- 3) 喜田：コンストラクション, Vol. 11, No. 3, 43 (1973)
- 4) 喜田：基礎工, Vol. 3, No. 5, 2 (1975)