

## 〈研究発表〉

### 汚泥フロックの画像解析による凝集制御技術の開発

冠城 敏之<sup>1)</sup>、玉本 博之<sup>1)</sup>、曾根 啓一<sup>1)</sup>、廣繁 直治<sup>2)</sup>、河崎 博一<sup>3)</sup>、菅谷 謙三<sup>3)</sup>

1) 東京都下水道サービス(株) (〒100-8699 東京都千代田区大手町2-6-2、E-mail: toshi-kanjyou@tgs-sw.co.jp)

2) 東京都下水道局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1、E-mail: Naoharu\_Hiroshige@member.metro.tokyo.jp)

3) 株式会社石垣 (〒104-0031 東京都中央区京橋1-1-1、E-mail: Hiroichi.Kawasaki@ishigaki.co.jp)

#### 概要

一般に、汚泥脱水における高分子凝集剤の注入管理は、事前のビーカー試験やスッチェ試験などのテーブルテストを行なって凝集剤の種類を選定し、さらに実機テストを行い、脱水汚泥含水率、固形物回収率から凝集剤注入率を決めている。

本研究は、刻々変化する脱水機投入汚泥性状に追従する凝集剤注入システムとして、凝集剤注入直後の汚泥フロックの画像を解析し、連続して適切な凝集剤注入管理を可能とするシステムを構築した。

キーワード： 画像解析 (image processing)、汚泥凝集制御技術 (sludge coagulation control)  
二値化 (binarization)

#### 1. はじめに

地球温暖化ガスの排出削減が叫ばれている中で、汚泥処理においても、省エネルギーで低含水率汚泥の得られる脱水機の導入が検討されており、同時に、適切でより少ない凝集剤の注入管理が求められている。

本研究は、凝集剤注入後の汚泥フロック形状を画像処理することにより、連続した最適注入制御手法を確立するとともに、フロック画像を遠方から監視して、脱水状況を瞬時に把握し、監視業務の効率化を目指すものである。

#### 2. 技術内容

##### 2.1 画像処理の原理

###### (1) 凝集フロック面積の算出

脱水機に投入する、凝集剤注入後の汚泥を CCD カメラで撮影し、その画像を二値化処理する (Fig.1 及び Fig.2)。その後、凝集フロックの「総面積」及びフロックの平均面積を示す「単面積」を算定する。

本研究では、注入率ごとの総面積及び単面積の大小の比較により、最適な注入率を決定していく図-3に示す方式に基づいた2種類の二値化手法を検討することとした。

###### (2) なぜ2種類の二値化データが必要か？

ビーカーテストによる結果から、「総面積」を最小とする一因子の制御では、

①凝集剤過多でも総面積は増加し、凝集剤の過不足が判定できない

②外乱(斜光等)による影響で不安定になるとの課題がこれまでの試験で判明していた。

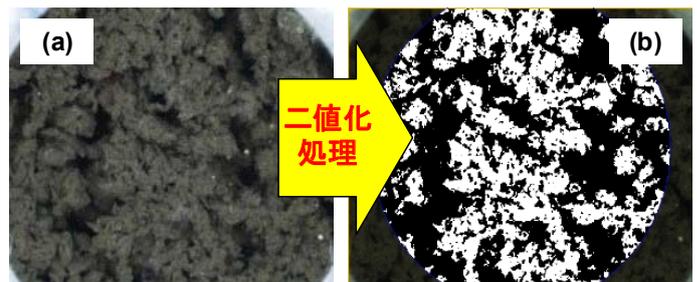


Fig. 1 Photograph of Sludge Flock with (a) CCD camera, by (b) image processing with binarization

○画像処理に用いられる二値化は、画像の各画素の輝度(明るさ)に対してある「しきい値」を設け、この値以下ならば“0”、しきい値より大きければ“1”と評価する方法である。

例) 右図は12×13=156画素の画面を表した模式図である。  
図形の着色部の面積は60画素で面積を60として算出する。



Fig.2 The principle of binarization

他方、新たに「階層処理(濃淡補正)」による画像処理を用いて、この演算で得た「単面積」の二値化データの活用が、これらの課題に対し効果があるのではないかと推察された。本研究では実機の脱水機を用いてこの2種類の二値化データによる制御手法の有効性を検証することとした (Fig.3)。

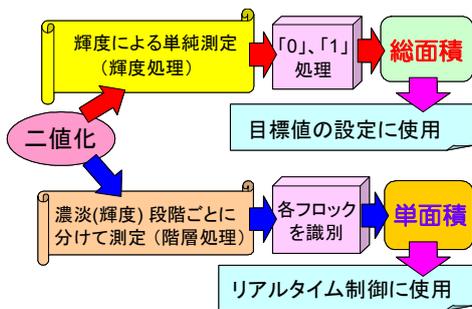


Fig.3 Schematic flow of binarization in sludge coagulation control

## 2.2 撮影システム

撮影にあたっては、安定した静止画像を撮影することが不可欠であることから、検視室への凝集汚泥導入装置を合わせて開発した。イメージ図を Fig.4 示す。

検視室には、検視装置から汚泥フロックの凝集状態を常に良好な状態で撮影できるように、洗浄機能を備えている。スクレーパーにより、検視窓に付着する汚れを内側からかきとる装置と、検視室に洗浄水を流入させ汚れの洗浄を行う装置である。

光源には、リング形状の撮影用光源を検視窓に隣接させた。(Fig.5 の机上実験装置を参照)

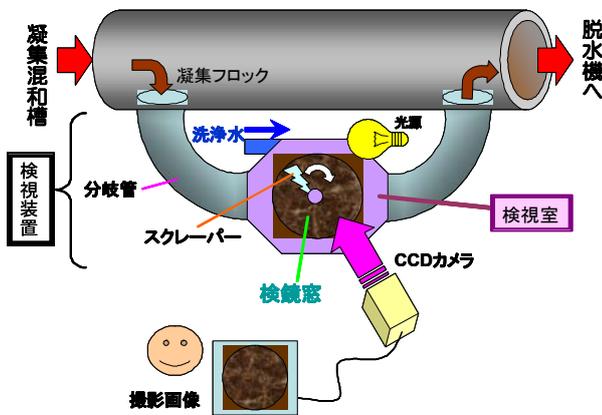


Fig.4 Developed system of image processing in sludge processing

## 3. 基礎試験

### 3.1 試験装置及び方法

机上試験での装置を Fig.5 に示す。装置は、汚泥に凝集剤を添加・攪拌するための角形ガラス容器、CCDカメラを備えた撮影装置及び照明装置から構成されている。

角形ガラス容器に下水汚泥を入れ、凝集剤を数段階に量を変えて添加し、その時のフロックの凝集状態を CCD カメラで撮影した。各段階の凝集剤添加試料をリーフ試験器で脱水し、ケーキ含水率及びろ過速度を算

出した。

各段階の凝集剤注入率における汚泥フロックの面積と脱水性能とを比較しながら、最適薬注率における総面積、単面積のレベルを分析した。

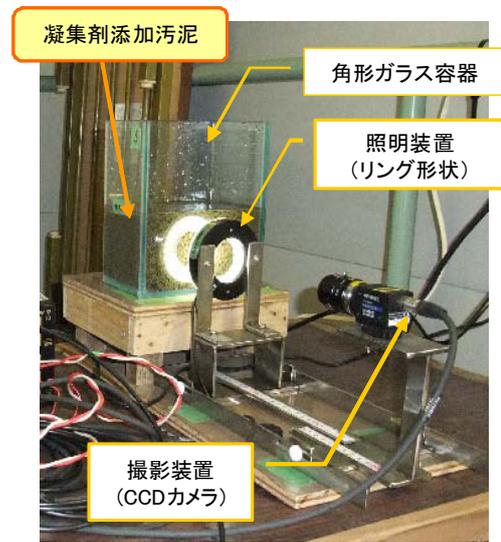


Fig.5 Laboratory scale test of image processing in sludge for binarization

### 3.2 基礎試験結果

2種類の二値化方式で得られた画像を Fig.6 に示す。白色部分の面積から汚泥フロックの面積 (= 総面積) とフロック一つ当たりの平均面積 (= 単面積) が算出できる。各々フロックに対し特徴的な画像を得た。

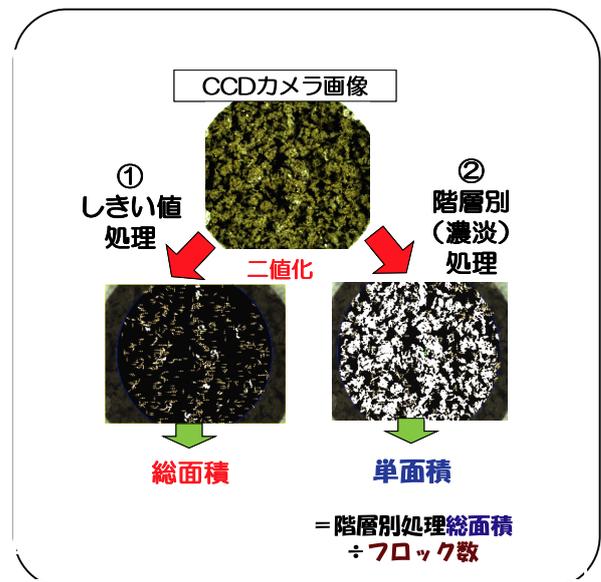
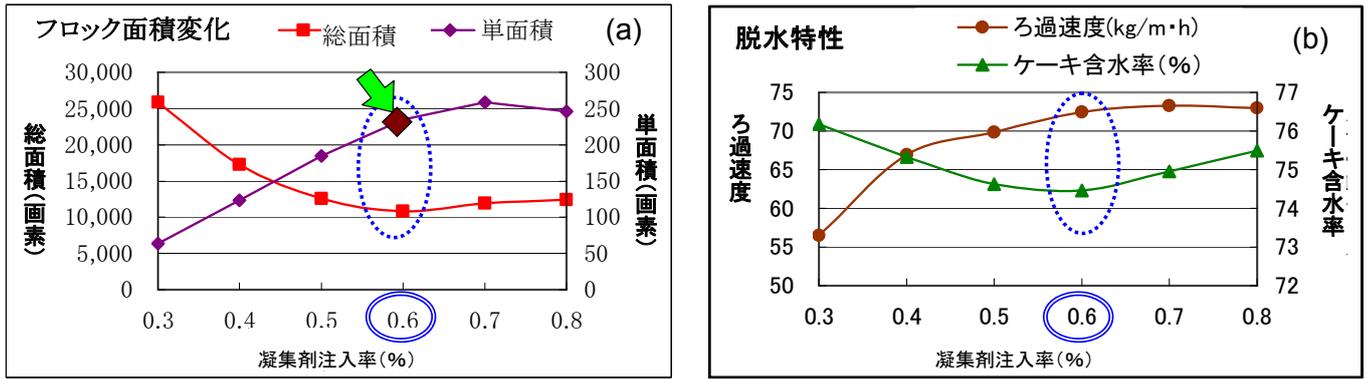


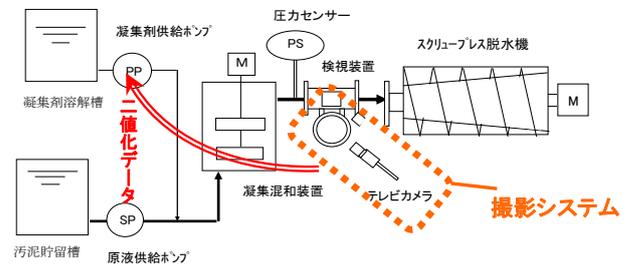
Fig.6 Picture of image processing from two type binarization

Fig.7 (a) に凝集剤注入率と凝集フロックの総面積と単面積の関係を、Fig.7 (b)にその時のリーフ試験器で測定した汚泥の脱水性能との関係を示した。ここで示した「総面積」は Fig.6 の①方式の算出値、「単面積」は②方式で処理した二値化の換算値である。



**Fig.7** a) relation in dose of coagulant and binarized data,  
 b) relation in dose of coagulant and water content of sludge cake

両グラフを見ると、凝集剤注入率を増加させると、フロック総面積の減少に伴いケーキ含水率が低下し、両データの関連性が明らかとなった。汚泥性状の異なる(余剰汚泥の混合比率等)数種の下汚泥を調べたが同様の傾向を示した。これらのことから、「総面積」が最低になるときに凝集剤の最適注入率とする判断が可能であることが示唆された。また、凝集剤注入率の上昇により凝集フロックが大きくなり、「単面積」も増加することから、この時の単面積を過剰注入の抑制因子にすることで、最適な凝集剤注入の制御が可能となった。(Fig.7の点線円)



**Fig.8** In field test, schematic diagram of the developed regulation system

#### 4. 検証試験

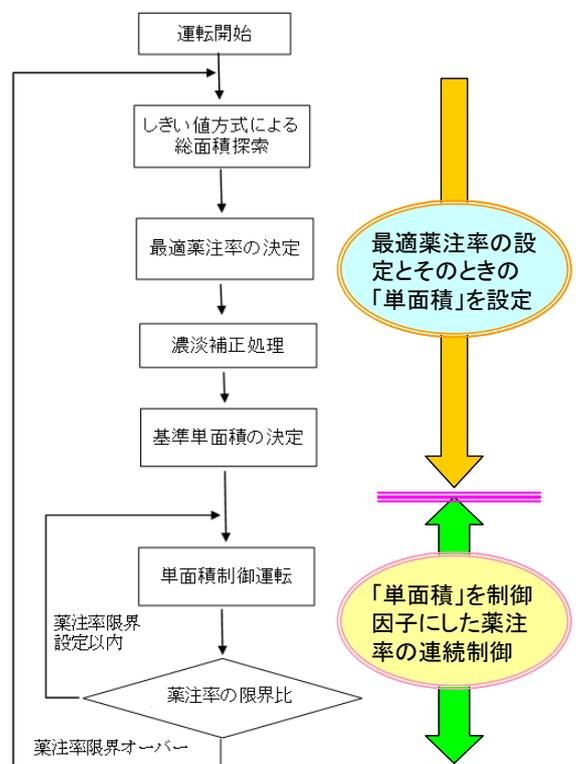
##### 4.1 実機への設置と制御方法

実機での連続実証試験に用いた実験装置は、Fig.8に示すように、スクリーン内径600φの圧入式スクロープレス脱水機に、中継パイプを介して検視装置を組み入れ、この検視装置内の汚泥フロックを撮影・解析するCCDカメラや画像処理装置など制御に関わる装置を設置し、今回の制御システムを構築した。

本システムの制御方法を Fig.9 に示す。「3. 基礎試験」で得られた結果から、総面積による凝集剤注入率の設定とその時の単面積を基準単面積(目標値)として、この基準単面積が一定の誤差範囲に収まるよう凝集剤注入ポンプの回転数を制御するシステムとした。

##### 4.2 実機検証結果

本制御システムを稼動させたときの総面積と単面積を Fig.10 に、その時の注入率と脱水ケーキ含水率を Fig.11 に示した。



**Fig.9** Schematic flow of binarization in field test

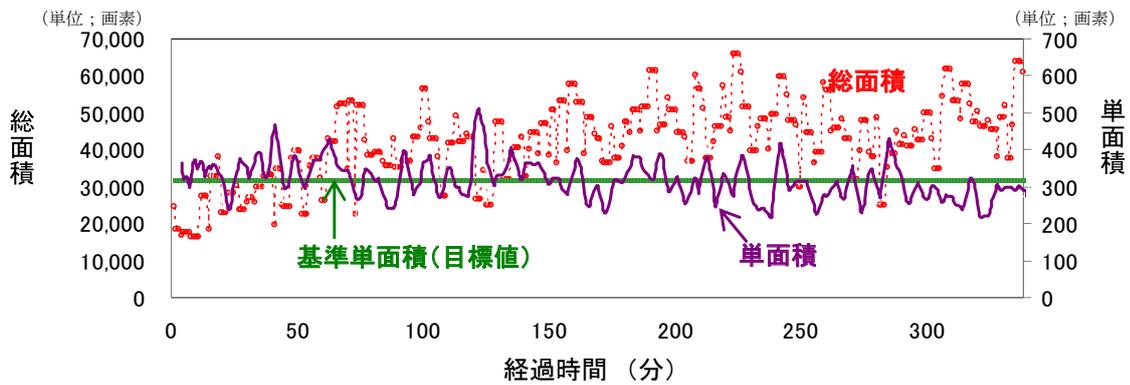


Fig.10 Attainable performance to target value, binarized standard, in the field test

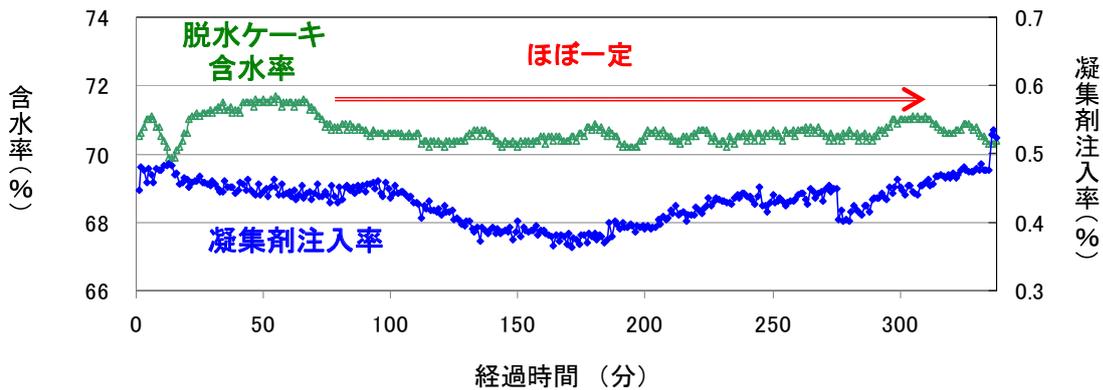


Fig.11 Response of coagulant dose and water content in sludge cake

- (1) Fig.10 には、本システム運転により「基準単面積(目標値)」を、321 画素に自動設定した後、制御因子である「単面積」をもとにして薬注率を細やかに調整・制御(約 1 分間隔)を続けた結果、実験中の総面積は変化していたが、単面積は目標値である基準単面積に沿うように一定の推移を保っていた。
- (2) Fig.11 から、凝集剤注入率は 0.4~0.5 の範囲で細やかな変化をしており、単面積が一定になるよう、凝集剤注入率を細やかに制御していることが分かる。これに伴い、脱水ケーキの含水率もほぼ一定した結果が得られていることが確認できた。その結果として、本システムの実機での有効性が検証できた。  
この間、投入汚泥濃度は 2.2% から 2.8% へと時間とともに増加傾向にあったが、ケーキ含水率はほとんど変化せず安定性を保っていた。

5.2 本制御システム導入のメリット

- ①制御時の目標値として「基準単面積」を設定し、リアルタイムで計測する単面積を、この目標値に追従させるように、凝集剤の注入率を細やかに調整できることを確認した。
- ②その結果、安定した凝集制御が実現でき、脱水ケーキ含水率もほぼ一定の運転が可能となる。
- ③最適な状態での自動制御が可能なることから、汚泥脱水工程を中央監視室で集中制御することが期待できる。

5. まとめ

5.1 脱水汚泥含水率の安定性

脱水ケーキ含水率の安定性を、他の既存の制御方式と比較したものを Table.1 に表す。安定性はケーキ含水率の標準偏差で比較した。

本システム導入前の標準偏差は、0.6~1.16(%) の値であった。導入後は、0.24~0.37(%) と明瞭な差が確認できた。本システムによるケーキ含水率の安定性が高い結果が得られた。

Table.1 Standard deviation of water content in sludge cake

比較	標準偏差(%)
【導入前】 汚泥流量一定制御 (⇒ 注入率一定)	0.6
圧入圧一定制御 (⇒ 注入量一定)	1.16
【導入後】	0.24 ~ 0.37