

〈研究発表〉

汚泥脱水工程におけるポリマー注入量制御システムの開発

松井 駿 佑¹⁾, 巖 克 弘¹⁾, 塩 見 浩²⁾吉野 竜 平²⁾, 国 分 剛³⁾¹⁾ 東京都下水道サービス(株) 技術部技術開発課
(〒100-0004 東京都千代田区大手町2-1-1 E-mail: shunsuke-matsuil@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: Hiroshi_Shioimi@member.metro.tokyo.jp)³⁾ 月島機械(株)
(〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 E-mail: t_kokubun@tsk-g.co.jp)

概 要

汚泥脱水工程で用いる高分子凝集剤(以下、ポリマー)の注入量は、従来運転員が汚泥含水率等をみて適宜変更していた。ポリマー注入量を最適値に変更することは経験を要する。また、汚泥性状が急激に変動するときは、迅速に追従して最適な量を注入することは難しく、含水率が安定しない一因となっている。そのため、本研究では汚泥性状等の変動に追従して自動でポリマーの注入量を最適値に変更するシステムの開発を目指した。具体的には投入汚泥の汚泥濃度、脱水汚泥の含水率、脱水分離水のコロイド電荷量を計測する機器を用いた制御システムを考案した。今回、実機を対象にシステムを構築し、制御性などについて評価した。

キーワード：汚泥脱水、高分子凝集剤(ポリマー)、自動化、含水率計、コロイド電荷量計

原稿受付 2018.7.6

EICA: 23(2・3) 115-120

1. はじめに

汚泥脱水工程では高分子凝集剤(以下、ポリマー)を汚泥に添加して脱水処理を行っている。通常、汚泥粒子表面は負電荷を帯びており、汚泥粒子同士が反発するため凝集しづらく、脱水が困難である。ここに正電荷を持つポリマーを添加して汚泥粒子の表面電荷を中和することで汚泥の凝集性が向上し、脱水が可能となる。一般的にポリマー注入率には含水率が最小となる最適値があり、注入不足でも過剰注入でも含水率が増加するとされる^{1,2)}。

従来、ポリマーの注入量は運転員が汚泥性状の変動や脱水汚泥の含水率等を加味して適宜変更していた。ポリマー注入量を最適値に変更することは経験を要する。また、脱水機投入汚泥の性状が急激に変動するときは、迅速に追従して最適な量を注入することは難しく、ポリマー注入量の過不足が生じて脱水汚泥の含水率が安定しないこともあった。脱水汚泥含水率の不安定さは、焼却などの後工程における運転管理に影響を与える。また、含水率の悪化は焼却時の補助燃料使用量の増加を招くこととなる。そのため、汚泥性状等の変動に追従して自動でポリマーの注入量を最適値に変更するシステムの開発を目指した。具体的には投入汚泥の汚泥濃度、脱水汚泥の含水率、脱水分離水のコロ

イド電荷量を計測する機器を用いて制御システムを構築することとした。

2. 調査概要

調査期間：平成28年10月～平成30年11月

調査機場：東京都下水道局東部スラッジプラント
(汚泥処理量 39,590 m³/日, H28年度日
平均値)調査対象機器：遠心脱水機
(定格処理能力 80 m³/時)計測計器：①汚泥濃度計
②含水率計
③コロイド電荷量計

調査は、東京都下水道局東部スラッジプラントにおいて遠心脱水機を対象機器として実施した。本機場は、砂町水再生センター(集水方式：合流式、処理水量 372,182 m³/日(H28年度日平均値、以下同様))内にあり、砂町水再生センターで発生した汚泥に加え、他の水再生センター(中野水再生センター(集水方式：合流式、処理水量 25,299 m³/日)、落合水再生センター(集水方式：合流式、処理水量 334,289 m³/日)、みやぎ水再生センター(集水方式：合流式、処理水量 184,155 m³/日)、三河島水再生センター(集水方式：

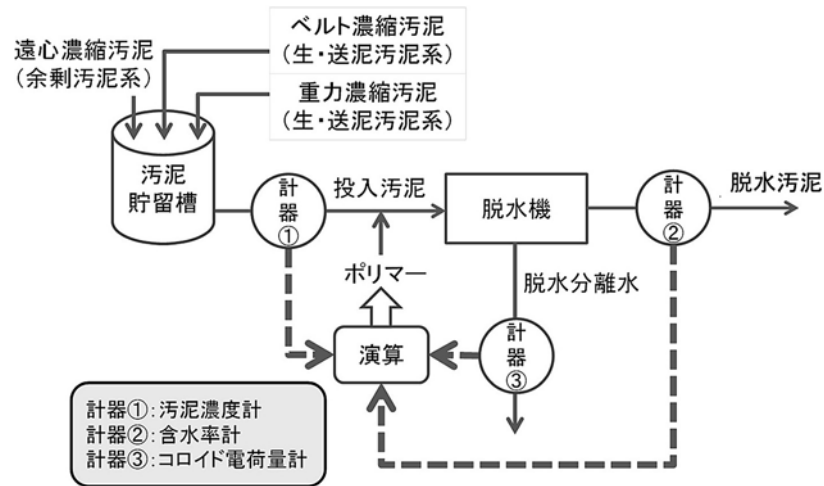


Fig. 1 注入量制御システムのイメージ

Table 1 機器仕様

計器名	方式	測定範囲
①汚泥濃度計	マイクロ波伝播速度式	0.3~40%
②含水率計	マイクロ波周波数測定式	65~85%
③コロイド電荷量計	流動電位滴定式	—

合流式、処理水量 409,292 m³/日)、有明水再生センター（集水方式：分流式、処理水量 15,538 m³/日))から圧送された汚泥を集約処理している。本機場は、主に合流式下水処理場の汚泥を処理するため、降雨時は脱水機投入汚泥の性状の変動が大きい。また、一般的に送泥汚泥は、単独処理場内で汚泥処理を行う機場で発生する最初沈殿池・最終沈殿池引抜汚泥と比べて、脱水処理されるまでの経過時間が長くなるため、腐敗等により汚泥性状が変質し、脱水しづらいとされる。このような要因で本機場の脱水機の運転管理は難しいため、安定的かつ効率的な脱水処理や運転員の負担軽減を目的とした本制御システムの開発・導入を試みた。

ポリマー注入量制御システムのイメージを Fig. 1 に、各計器の仕様を Table 1 に示す。遠心脱水機に対して、脱水機投入汚泥の固形物濃度を測定する汚泥濃度計 (①)、脱水汚泥の含水率を測定する含水率計 (②)、脱水分離水中の電荷量を測定するコロイド電荷量計 (③) を設置し、これらの計器の信号からポリマー注入量を演算・制御した。

3. 調査方法

3.1 各計器の測定精度の確認

汚泥濃度（固形分）、含水率、コロイド電荷量を試験室にて分析し、計測値と比較した。汚泥濃度（固形

分）及び含水率は下水試験方法により分析し、電荷量の測定には AFG Analytic 社製コロイド粒子電荷量計を使用した。

3.2 各制御方式の性能（以下、制御性）確認

設置している各計器の特性から、制御方法は以下の3つの方式が考えられた。

(1) 電荷量一定制御方式

目標となる電荷量範囲を設定し、電荷量の測定値が設定範囲より低い場合にはポリマー注入率を増加させ、高い場合は減少させる制御である。

(2) 含水率一定制御方式

目標となる含水率を設定し、含水率が設定値より低い場合はポリマー注入率を減少させ、高い場合は増加させる制御である。

(3) 最低含水率探索制御方式

一般的にはポリマー注入率には含水率が最小となる最適値があり、注入不足でも過剰注入でも含水率が増加するとされている^{1,2)}。そこで、ポリマー注入率を増減させて含水率が減少する方向を把握することで、良好な制御が行えると考えた。具体的には、Table 2 のように1制御周期前の注入率の動作方向と、その後の含水率の変化方向の2つの情報を基に注入率の動作方向を決定する制御である。例えば、1制御周期前に注入率を増加させた結果、その後の含水率が増加した場合に、動作方向が誤っていたと判断する。したがって、次の制御周期では注入率を減少させる（ケース1）。反対に1制御周期前に注入率を増加させた結果、含水率が減少した場合は、動作方向が正しかったと判断し、次の制御周期でも注入率を増加させる（ケース

Table 2 最低含水率探索制御方式における注入率の動作方向

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
1制御周期前の注入率の動作方向	増加	増加	減少	減少
1制御周期前からの含水率の変化方向	増加	減少	増加	減少
注入率の動作方向	減少	増加	増加	減少

2)。

3つの制御方式の制御性評価は、脱水機に投入される汚泥の性状変化に追従して、含水率又は電荷量が設定の範囲内に収まるかを確認することで行った。制御周期は15分ごと、注入率の変更幅は1回あたり0.05%TSとした。

3.3 制御システムの構築及び制御性の確認

注入量の制御システムは、3.2において良好な制御性が認められた制御方式を組み合わせることで構築した。なお、調査機場における脱水汚泥を焼却施設へと圧送する設備や焼却工程等での制約があったため、本調査においては含水率が75%を大きく下回らないように含水率の制限を設けた。

4. 結果と考察

4.1 計器の精度確認

分析値と各計器の測定値を比較して、各計器の測定精度の確認を行った (Fig. 2)。いずれの計器も分析値と計測値との相関は高く、制御に使用できると判断した。

4.2 各制御方法の制御性の検証

(1) 電荷量一定制御方式

まず、実機において脱水分離水のコロイド電荷量と脱水汚泥の含水率の関係性を調査した。調査の結果、含水率が最低となるコロイド電荷量の範囲は100~150 μeq/Lであると確認できた (Fig. 3)。そこで、コロイド電荷量の最適範囲を100~150 μeq/Lに設定し、電荷量一定制御を行った。結果を Fig. 4 に示す。電荷量値を設定範囲内に収めるよう注入率の増減が行われていた。

一方で、Fig. 4 に示した期間以外において、コロイド電荷量を100~150 μeq/Lに維持した際に、含水率が低下し過ぎてしまい、脱水汚泥を圧送する設備へ大きな負荷がかかることがあった。そのため、電荷量の設定範囲を変更するなど、含水率が低下し過ぎない対策を行う必要が生じた。

これらの結果から、本制御方式は、制御性は良好であるが、コロイド電荷量を最適範囲に保った際に含水率が低減し過ぎることに対する対策を講じる必要があると評価した。

(2) 含水率一定制御方式

目標となる含水率を設定して制御を実施したところ、ポリマー注入量の増減に脱水汚泥の含水率が追従するケースと追従しないケースが確認された (Fig. 5)。

ポリマー注入量の増減に含水率が追従したケースでは、含水率の設定値を77.0%として制御を実施して

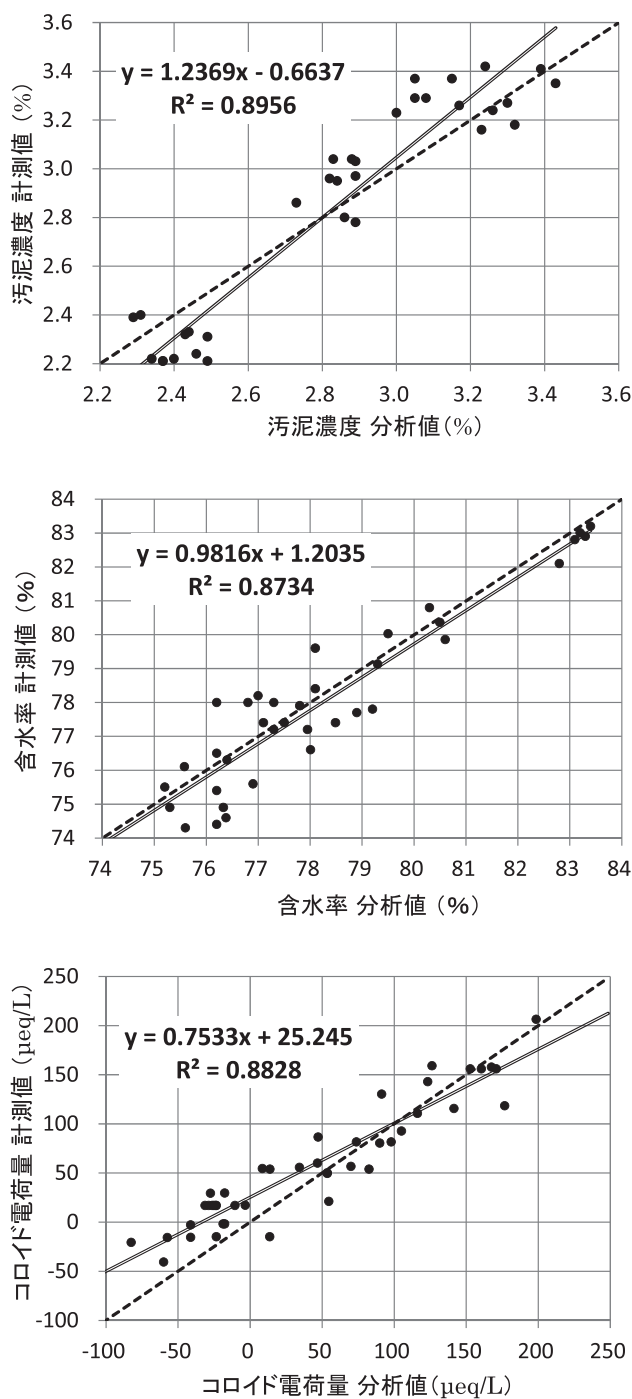


Fig. 2 各計器の測定精度の確認

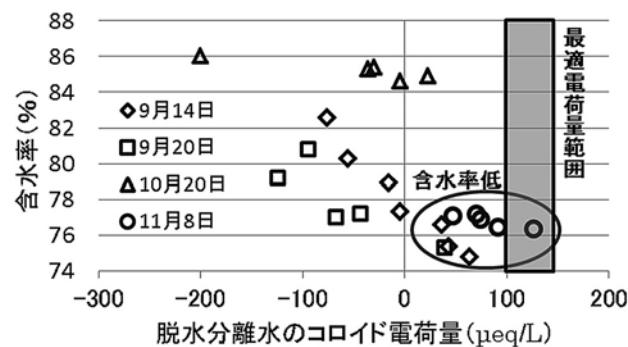


Fig. 3 最適電荷量範囲についての事前調査の結果

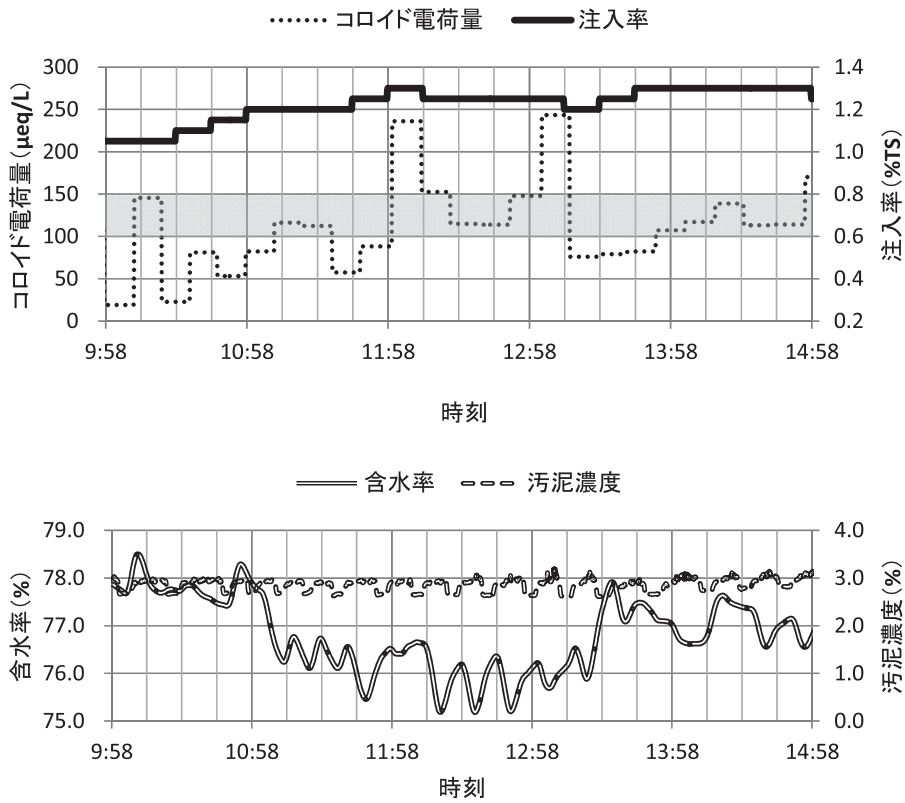


Fig. 4 電荷量一定制御方式での制御状況

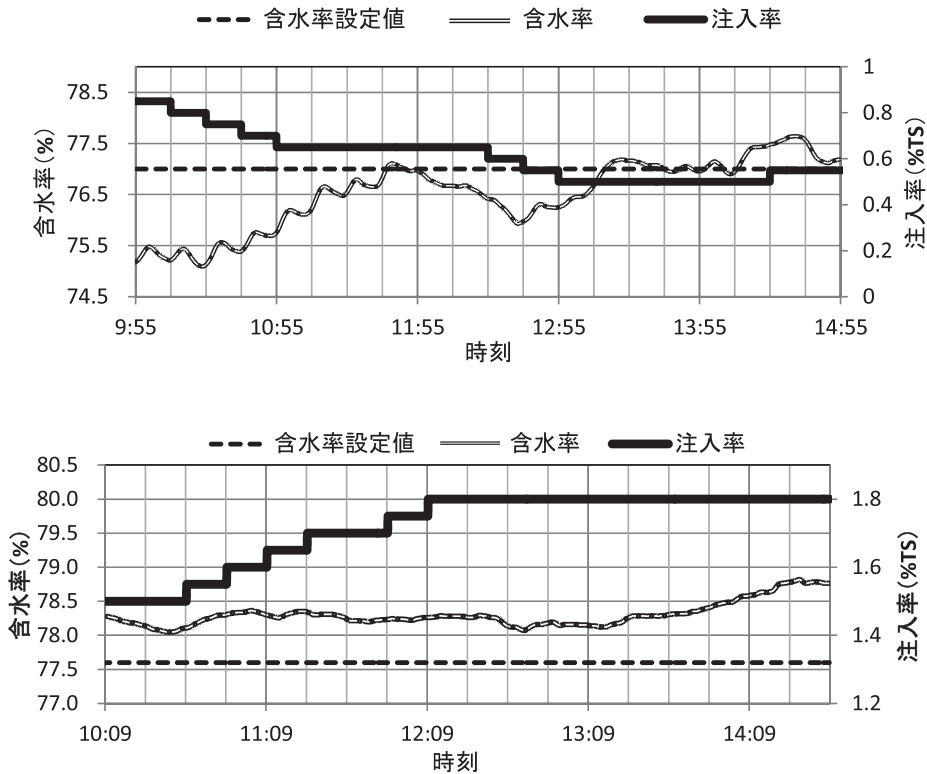


Fig. 5 含水率一定制御方式での制御状況 (上図：制御性良, 下図：制御性不良)

いた。調査期間を通じて含水率が設定値より低い場合はポリマー注入率が減少し、設定値より高い場合は増加した。また、時間の経過とともに設定の含水率に収束していることから、制御性は良好であると評価した。一方、ポリマー注入量の増減に含水率が追従しな

かったケースでは、含水率の設定値を 77.6% として制御を実施していた。制御を開始した 10:09 においては、含水率は設定値より高いためにポリマー注入率が増加したが、その後の含水率は低下しなかった。そのため、注入率をさらに増加させる判断となり、結果

的に過剰注入となってしまった。

ポリマー注入量の増加に対して含水率が低下しない要因として、脱水が難しい性状の汚泥に対してはポリマーを注入しても脱水汚泥の含水率が一定までしか低下しない可能性や、制御開始時点で既にポリマー注入量が過剰となっている可能性が考えられる。

これらの結果から、本制御方式はポリマー注入量の増減に対して含水率が追従する脱水性のよい汚泥性状時に有効な制御であると分かった。

(3) 最低含水率探索制御方式

最低含水率探索制御方式での制御例を Fig. 6 に示す。例えば 12:58 においては、1 制御周期前 (12:43) より含水率が増加しているため、1 制御周期前の注入率減少の判断 (0.55 → 0.50%TS) が誤りであったと認識され、注入率増加の判断 (0.50 → 0.55%TS) が正しくなされている。一方、13:13 においては、含水率が大幅に増加して注入率を増加させるべき状況であったが、1 制御周期前 (12:58) の注入率増加の判断 (0.50 → 0.55%TS) が誤りと認識され、注入率減少の判断 (0.55 → 0.50%TS) がなされてしまった。このように、本制御方式では注入率の動作方向が正しく判断されないケースが多かった。

なお、Fig. 4, 5, 6 において含水率の一部が周期的な変化をしているが、これは重力濃縮槽から汚泥貯留槽への間欠引抜に伴い、余剰濃縮汚泥との混合比や投入汚泥濃度が変化するためだと考えられる。

4.3 制御システムの構築と制御性の検証

(1) 制御システムの構築

各制御方式の特性を踏まえ、制御システムを構築した。4.2 に示したように、最低含水率探索制御方式については注入率の動作方向が正しく判断されないケースが多く、今回は適用が難しいと判断した。電荷量一定制御方式は、制御性自体は良好であったが、含水率が低下し過ぎてしまい、設備に悪影響を与えることがあった。この不都合については含水率を測定して含水率が低下し過ぎないように注入量を制御することにより

解消できる。また、含水率一定制御方式はポリマー注入量の増減に含水率が追従する汚泥性状の場合は良好な制御ができたが、ポリマー注入量の増加に対して含水率が低下しない汚泥性状の場合に過剰注入となった。この不都合については電荷量を測定して、高くなり過ぎないように注入量を制御することにより解消できる。そこで電荷量一定制御と含水率一定制御を組み合わせる制御システムの構築し、両制御のデメリットを解消することを試みた。具体的には以下のような方法である。なお、含水率設定値は設備的な制約や後工程での処理性など各機場で求める含水率を考慮して決定する。

- ・含水率計測値 ≤ 含水率設定値 ⇒ 含水率一定制御
- ・含水率計測値 > 含水率設定値 ⇒ 電荷量一定制御

まず、含水率計測値が含水率設定値以下では含水率が低下し過ぎないように制限をかける必要があるため、含水率一定制御を行う。一方で、含水率計測値が含水率設定値以上では、含水率の低下を目指す制御で支障がないため、コロイド電荷量を脱水に適した範囲で制御する電荷量一定制御を行う。これにより電荷量一定制御の含水率が低下し過ぎて設備影響が生じる課題と、含水率一定制御のポリマー注入量を増加させても含水率が一定以上は低下しない汚泥性状時に過剰注入となる課題の両制御方式のデメリットを解消することができる。

(2) 制御システムの制御性の検証

電荷量設定範囲を 100~150 μeq/L、含水率設定値を 75.0±0.5% とし、構築した制御システムにより、注入量の制御を行った (Fig. 7)。

制御を開始した 10:00 においては、含水率計測値が含水率設定値を上回っているため、電荷量一定制御によりポリマー注入量が制御され、注入率が増加した。その後、11:00 から 16:00 までは電荷量がほとんど設定範囲内であったため、ほぼ一定の注入率であった。16:00 に含水率計測値が含水率設定値の上限である 75.5% を下回ったため、制御が電荷量一定制御から含水率一定制御に切り替わった。その後、17:00 過ぎまでは含水率計測値が含水率設定範囲内であるため、

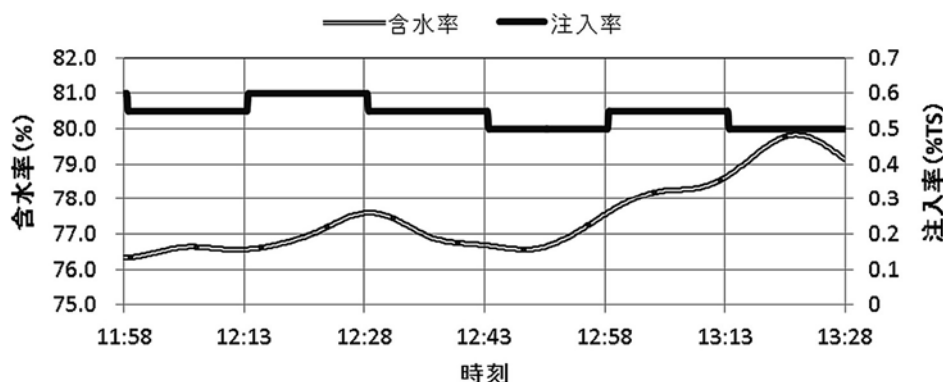


Fig. 6 最低含水率探索制御方式での制御状況

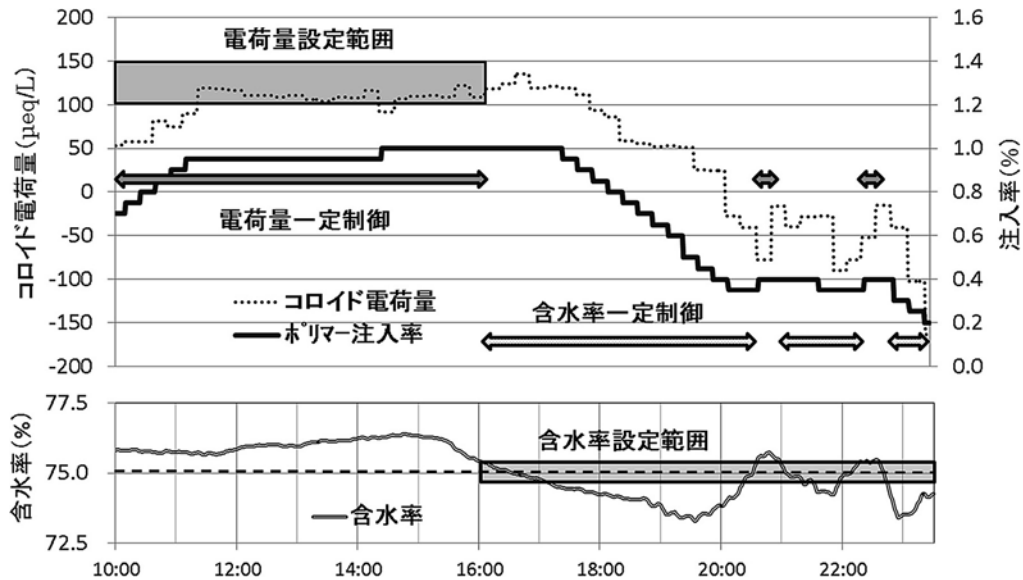


Fig. 7 電荷量一定制御と含水率一定制御を組み合わせた制御での制御状況

注入率は変更されなかった。17:00 過ぎに含水率計測値が含水率設定値の下限である 74.5% を下回ったため、ポリマー注入率が減少した。その後も含水率の変動に合わせて制御が切り替わることが確認できた。

以上のように、設備的制約の範囲内で含水率を低下でき、含水率の変動にあわせて両制御方法の移行がスムーズに行われたことから、本制御システムが良好な制御性を有していることが確認できた。

5. まとめと今後の予定

5.1 まとめ

汚泥濃度計、含水率計、コロイド電荷量計を用いたポリマー注入量制御を検証したところ、以下の知見が得られた。

- (1) 各計器の計測値は手分析値との相関が高く、良好な精度で測定できた。制御に活用できる測定精度を有していると評価された。
- (2) 含水率一定制御方式と電荷量一定制御方式は、

一定の条件を除いて良好な制御性を有していた。

- (3) 構築した制御システムは、良好な制御性を有していた。

5.2 今後の予定

調査現場には遠心脱水機が7台あり、これらのうちの1台に本制御システムを導入した。今後は、本制御システムにより長期間運転を行い、従来どおりの運転員による注入量の変更を行っている脱水機と、含水率やポリマー注入量などのコストの比較を行い、本制御システムの有用性を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 東京都下水道サービス(株), 下水汚泥処理の維持管理 (2005)
- 2) 田中一成ら, 汚泥脱水工程における高分子凝集剤添加量の適正判断指標について, 第43回下水道研究発表会講演集 pp. 944-946