

## 〈研究発表〉

汚泥集約処理における分離液処理と凝集沈殿による  
りん除去の実験について和田 寛之<sup>1)</sup>, 羽柴 真人<sup>1)</sup>, 小林 昌平<sup>2)</sup><sup>1)</sup> 横浜市環境創造局 下水道施設部下水道設備課  
(〒231-0017 横浜市中区本町6丁目50番地10 E-mail: ks-setsubi@city.yokohama.jp)<sup>2)</sup> 横浜市環境創造局 下水道施設部下水道施設整備課  
(〒231-0017 横浜市中区本町6丁目50番地10 E-mail: ks-shisetsuseibi@city.yokohama.jp)

## 概要

横浜市では水再生センターの高度処理化の推進により、水環境の改善が図られてきた。一方で、高度処理化した水再生センターから発生する汚泥は、生物学的りん除去に由来するりんが多く含まれることになり、汚泥の集約処理を行っている汚泥処理施設で再放出されたりんの除去が課題となっている。これに対し、修正 Bardenpho 法を用いた分離液処理施設の建設やりん除去対策の研究を行ってきた。今回は分離液処理施設の現状と凝集沈殿によるりん除去の実験について報告する。

キーワード：汚泥集約処理, 修正 Bardenpho 法, 分離液処理, 凝集沈殿, りん除去  
原稿受付 2022.7.1

EICA: 27(2・3) 45-48

## 1. はじめに

横浜市では、さらなる水環境の改善に向けて、各水再生センターの設備更新にあわせて高度処理化を推進している。水処理の高度処理化により、富栄養化の原因となる窒素・りんの除去率は向上し、標準活性汚泥法では約50%の除去率であったものが、窒素は約75%、りんは約80%の除去が可能になった。しかし、その一方で高度処理化された水処理から発生する余剰汚泥には、より多くのりんが含まれることとなった。

横浜市では各水再生センターから発生した汚泥を集約処理しており、送泥や貯留により汚泥処理までに時間を要するため、汚泥処理施設でのりんの再放出が発生し、特に濃縮・脱水分離液中のりん濃度が著しく上昇している。これらの状況から、既存の分離液処理施設での十分なりんの除去が困難になっており、分離液処理施設の処理水にポリ塩化アルミニウム（以下 PAC）を添加することで処理水中のりんを低減する

プロセスの確立を目指し、これまでテーブルテスト等を行ってきた。今回は実設備スケールにおける実用性や施設・設備の諸元等を把握するために現地試験を行った。

## 2. 現地試験の汚泥処理プロセス概要

今回の現地試験は、北部第二水再生センターに隣接する北部汚泥資源化センターで行われた。北部汚泥資源化センターは、横浜市の北部方面5か所の水再生センターから発生した汚泥を集約処理する汚泥処理施設で、送泥された汚泥は濃縮、消化、脱水されて、低温炭化炉により石炭代替燃料に燃料化されるほか、焼却炉で焼却され発生した焼却灰は、地盤改良材やセメント原料等に有効利用されている。このうち、汚泥の濃縮及び脱水の過程で発生する分離液と機械洗浄水等（以下 分離液）を処理するのが分離液処理施設である。

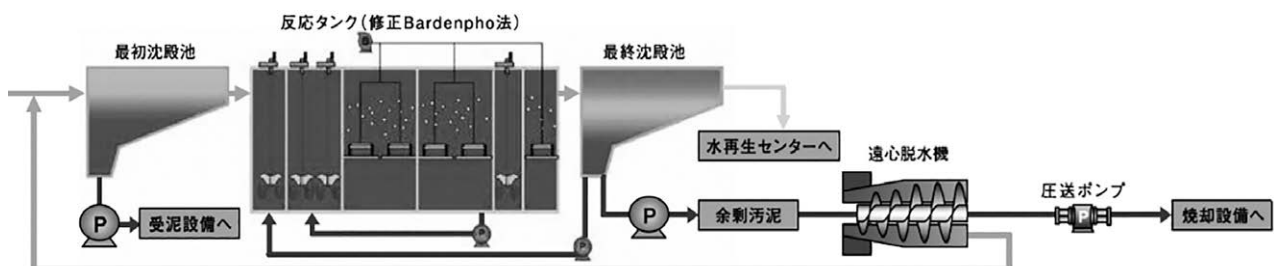


Fig. 1 Modified Bardenpho process flow

分離液処理施設は、生物学的窒素・りん除去を目的とした修正 Bardenpho 法と呼ばれる、A2O 法の後段に第二嫌気槽と第二好気槽を備える水処理プロセスで処理されており、最終沈殿池の汚泥浮上対策と高濃度のりん除去を目的として、反応タンクの後段で PAC を添加する設備を設けている（以下 既存プロセス）。この分離液処理施設で処理した処理水（以下 処理水）は、北部第二水再生センターの水処理設備に流入し市域から流入する汚水と一緒に処理され東京湾に放流される。

分離液処理施設では、前述した近年の分離液中のりん濃度上昇に伴い、反応タンクの後段での PAC 添加が常態化している。また、そのうえでも分離液処理施設での十分な処理が難しく、その処理水が流れ込む北部第二水再生センターの水処理においても、状況により PAC 添加を要する状態になっている。今後も、さらなる高度処理化の進展により、PAC 添加量の増加や処理水中のりん濃度上昇が懸念されている。このことから、より効率的で効果的なりん除去と PAC 使用量削減を目的とし、処理水に PAC を添加するプロセス（以下 本プロセス）を研究してきた。（Fig. 1）

### 3. 本プロセスの特徴とテーブルテストによる予測

既存プロセスと本プロセスを比較した場合、本プロセスには以下の特徴がある（各プロセスのフロー及びプロセス計算を Fig. 2 に示す。）。

- ・ PAC 添加の対象となる水量を少なくすることができ、PAC の使用量を削減できる。
- ・ 活性汚泥に PAC を過剰に添加することで生じる

処理機能障害を回避できる。

これまでのテーブルテストの結果、処理水中のりん濃度を低下させる削減 P 原単位（PAC 1 m<sup>3</sup> の添加に対して削減できるりんの重量）は、既存プロセスの実績値で概ね 35 kg/m<sup>3</sup>-PAC に対して、本プロセスでは 30 ~ 39 kg/3-PAC と実験的に推定され、削減 P 原単位はほぼ同等であると考えられるが、処理対象水量の少ない本プロセスを導入することで約 30 ~ 40% の PAC 使用量が削減されることが予測される。

### 4. 現地試験の概要

現地試験では、処理水供給ポンプの直前に PAC（必要に応じて苛性ソーダ）を注入し、ポンプのインペラで急速撹拌し、供給配管で約 15 分の滞留時間を取り凝集フロックを成長させて、既設の最初沈殿池を転用した凝集沈殿槽で沈降分離することで、凝集沈殿汚泥と凝集沈殿処理水に分離する装置を組み、この装置に分離液を連続供給して試験を行った。なお、現地試験は稼働している設備の一部を使用して試験をするため、全体の処理水質を担保するために反応タンクに PAC

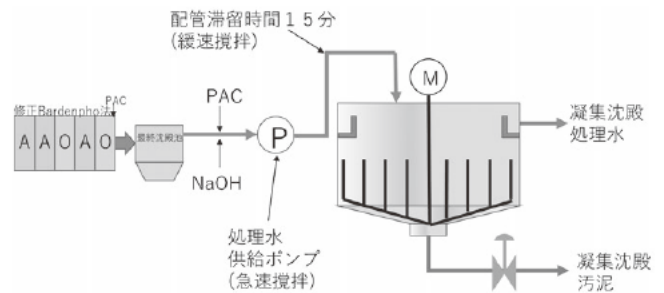


Fig. 3 Experimental flow

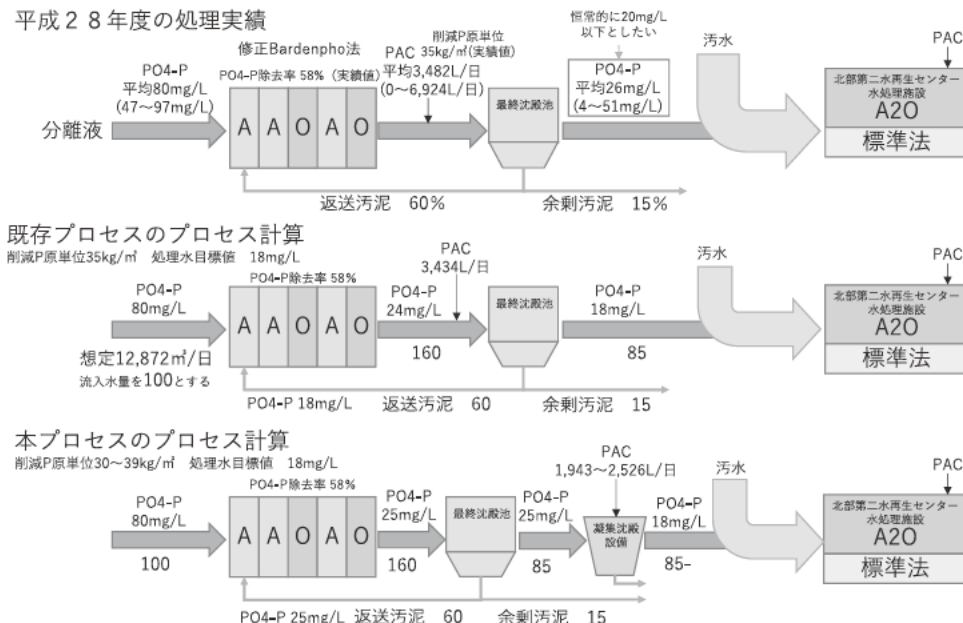


Fig. 2 Treatment of thickener effluents plant processing results and each process calculation

を添加したうえで、その処理水にPACを添加した。実験条件は削減P原単位を $39 \text{ kg/m}^3\text{-PAC}$ として下記の条件でPAC添加量を変化させた。

- 【条件A】りん濃度を $10 \text{ mg/L}$ 低下させるPAC添加量 ( $30 \text{ mg/L} \rightarrow 20 \text{ mg/L}$  想定)
- 【条件B】りん濃度を $20 \text{ mg/L}$ 低下させるPAC添加量 ( $40 \text{ mg/L} \rightarrow 20 \text{ mg/L}$  想定)
- 【条件C】りん濃度を $30 \text{ mg/L}$ 低下させるPAC添加量 ( $50 \text{ mg/L} \rightarrow 20 \text{ mg/L}$  想定)

## 5. 結果

実験結果をTable 1に示す。

### 5.1 処理水水質と削減P原単位

本実験中のりん濃度( $\text{PO}_4\text{-P}$ )は、処理水濃度がほぼ $30 \text{ mg/L}$ 程度に対して、凝集沈殿処理水は条件Aで平均 $20 \text{ mg/L}$ 、条件Bで $11 \text{ mg/L}$ 、条件Cで $5 \text{ mg/L}$ であった。条件Aでは、削減P原単位が平均で $51 \text{ kg/m}^3\text{-PAC}$ であり、実機スケールでも想定値であ

る $39 \text{ kg/m}^3\text{-PAC}$ を十分に達成できることが分かった。一方で、条件BとCでは平均で $30 \text{ kg-P/m}^3\text{-PAC}$ 以下に低下し効率が大きく下がっている。この傾向は過年度のテーブルテスト結果と同等であり、処理水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度目標を $20 \text{ mg/L}$ 程度とすることが効率的な処理方法であることが実機スケールでも実証された。

### 5.2 凝集汚泥フロックの形成状況と汚泥濃度

各条件におけるSV30を比較すると、PAC添加量に比例してSV30も上昇する傾向があり、いずれの場合でも分離不良は認められなかったが、条件Cでは、フロックの膨潤化が認められ過薬注気味であった。また、実験を通じて汚泥界面は $1.1 \sim 1.7 \text{ m}$ で安定しており、凝集沈殿処理水のSSは $5 \sim 20 \text{ mg/L}$ と良好であった。一方で、凝集沈殿汚泥の引抜濃度については、実設備スケールでは圧密による濃度上昇が期待されたが、引抜間隔を長くしても顕著な濃度上昇は見られず、条件にかかわらず $3000 \sim 5000 \text{ mg/L}$ 程度の濃度上昇にとどまりテーブルテスト結果と同程度であった。

Table 1 Experimental result

項目	単位	条件A			条件B			条件C			
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	
処理水	処理量	$\text{m}^3/\text{日}$	3,671	3,701	3,650	3,673	3,686	3,650	3,671	3,701	3,650
処理水水質	$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度	$\text{mg/L}$	33	40	28	27	28	26	25	29	16
	SS濃度	$\text{mg/L}$	12	17	10	10	13	8	7	9	5
PAC	注入量	$\text{L}/\text{日}$	936	936	936	1,872	1,872	1,872	2,880	2,880	2,880
NaOH	注入量	$\text{L}/\text{日}$	0	0	0	240	240	240	412	412	412
凝集沈殿処理水水質	透視度	$\text{cm}$	35	51	10	35	53	15	39	55	25
	$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度	$\text{mg/L}$	20	22	19	11	15	9	5	10	3
	SS濃度	$\text{mg/L}$	5	9	3	20	31	6	14	26	5
凝集沈殿汚泥	SS濃度	$\text{mg/L}$	3,763	4,900	2,800	4,217	5,200	3,300	3,233	3,700	2,700
	SV <sub>30</sub>	%	21	25	10	28	32	18	34	36	32
沈殿池内水位	上澄水	$\text{m}$	3.5	3.6	3.4	3.5	3.6	3.3	3.4	3.6	3.0
	汚泥層	$\text{m}$	1.2	1.3	1.1	1.3	1.4	1.1	1.4	1.7	1.1
削減P原単位	$\text{kg-P/m}^3\text{-PAC}$		51.0			31.4			25.5		

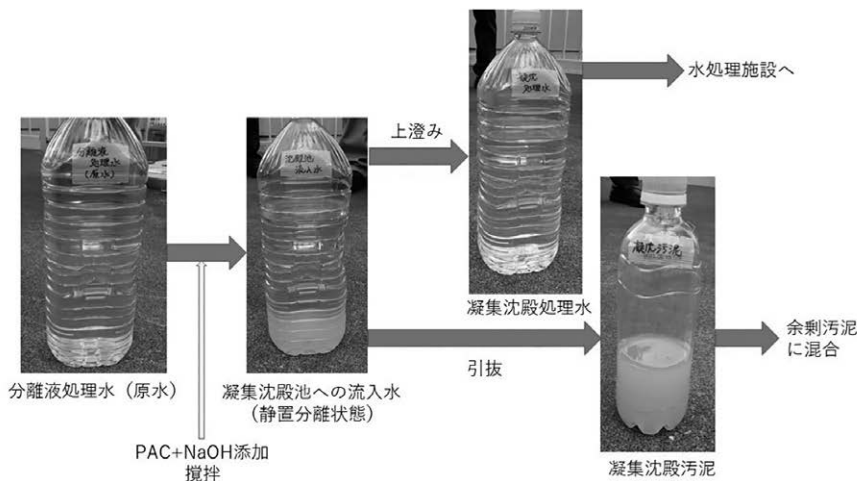


Fig. 4 Water conditions of the experiment

## 6. 考 察

今回の現地試験によって、実機スケールにおいてもテーブルテストとほぼ変わらない効率でりんを除去することができることが分かった。また、テーブルテストでは未知数であった、凝集沈殿汚泥の圧密効果については、ほとんど効果がないことが分かったため、今

後のプロセス設計に活かしていきたい。

今回の現地試験では、反応タンクにPACを添加した処理水に、さらにPACを添加しているため、PAC使用量削減に向けてはさらなる検証が必要である。これらの結果を活用してより良いプロセスを実設備に反映していきたい。