

下水汚泥集約過程における汚泥のりん放出挙動に関する研究

横浜市 ○小前 和智
齋藤 秀夫
山下 理絵

1 はじめに

横浜市内 11 ヲ所の水再生センターのうち、北部の 5 ヲ所の水再生センターで発生する下水汚泥は、北部汚泥資源化センター（以下、北セ）へと送泥され、機械濃縮、嫌気性消化、脱水、焼却される。汚泥集約処理は処理の効率化や消化ガスの有効活用では利点があるが、この集約過程において生じる分離液が高濃度の窒素及びりんを含むことが課題となってきた。分離液中の両物質の平均値（平成 23 年度）は、全窒素（以下、T-N）が 370 mg/L、全りん（以下、T-P）が 84 mg/Lとなっている。北部第二水再生センター（以下、北二）では、平成 23 年度に北セ内で稼働した新分離液処理施設（修正バーデンフォ法）により改善を図ってきたが¹⁾、依然としてりん除去に関しては課題が残っている。

本論文では、汚泥集約処理でのりんに関する課題について送泥におけるりん放出過程を取上げて考察している。まず、横浜市北部の 5 ヲ所の水再生センターと北セ間で行われる集約処理の現状を分析し、次に下水汚泥のりん放出挙動についての調査結果を報告する。最後に、実際の送泥ルート・スケジュールに沿って汚泥の滞留時間を算出し、分離液中のりん負荷量軽減に向けた考察をする。

2 汚泥集約処理の現状と課題

2.1 汚泥集約処理方法

送泥は、図 1 の矢印に沿って各水再生センターから一日に 1~3 回に分けて行われる。各センターは送泥管で結ばれ、港北水再生センター（以下、港北）～神奈川水再生センター（以下、神奈川）間の双方向の送泥を除いては、一方向に送泥されるようになっている。汚泥がどの順番で各水再生センターを通るかによって 6 つの送泥ルートが存在する。

2.2 汚泥集約化とりん処理の現状分析

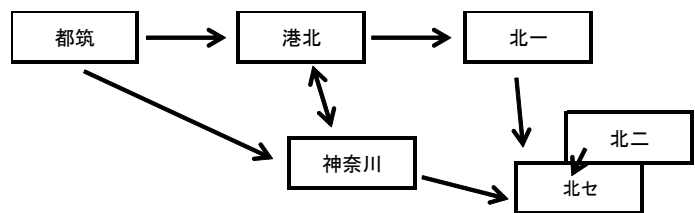


図1. 送泥ルートの模式図

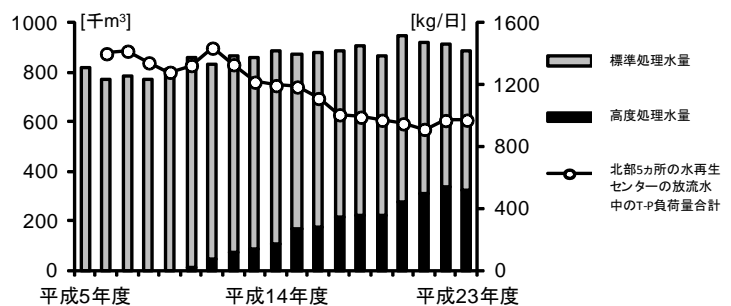


図2. 北部5カ所の水再生センターの高度処理水量（率）の増加と放流水質の改善

汚泥の集約処理におけるりんに関する課題は、下水処理技術の発展とともに変遷している。平成8年に都筑水再生センター（以下、都筑）で高度処理施設（AOAO法）を導入して以後、他センターにおいても高度処理施設の導入を進めてきた。さらに疑似嫌気法を導入することで、放流水中のりん負荷を低下させることができた（図2）。平成6年度のT-P放流負荷量は1,400 kg/日であるのに対して平成23年度では970 kg/日となり、T-P放流負荷量は17年間で約30%軽減された。他方、各水再生センターで高度処理をはじめとしてりん処理が向上するとともに、北セが受ける汚泥（受泥）のT-P、分離液のT-Pは上昇してきた（図3）²⁾。特に、溶解性PO₄-Pの負荷量が高いことは、分離液処理施設の処理とその処理水が流入する北二の処理を難しくさせている。したがって、分離液処理施設及び北二での処理を軽減させるためには、汚泥に溶解性PO₄-Pを閉じ込めたまま（分離液へ移行する量を抑えて）汚泥処理を完了させるよう改善することが重要である。

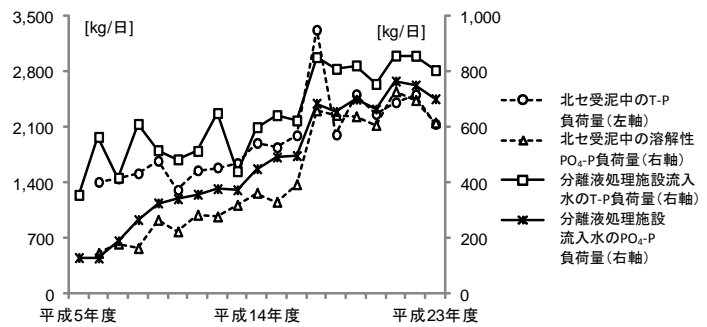


図3. 北セ受泥のりん負荷量と分離液処理施設流入のりん負荷量

3 調整汚泥のりん放出挙動

3.1 りん放出に影響を与える要素について

重力濃縮を行う調整タンク内での滞留時間や汚泥の固形物濃度（SS）と汚泥のりん（溶解性PO₄-P）の放出速度の関係について調査した。手順は次の通りである。調整タンク内での滞留時間が異なる汚泥を採取し、測定開始時のSS、TS、T-P、及び溶解性PO₄-P濃度の経時変化を測定した。溶解性PO₄-Pは、遠心沈降と濾過により固形物と溶液に分離し、得られた溶液を用いて汚泥中の溶解性PO₄-Pの濃度を定刻ごとに測定した。サンプルは20～25℃の条件下で保存した。本稿では2つのサンプルの結果を示した（図4）。両者の比較のために、一方のサンプルのSSをもう一方のサンプルに換算し³⁾、また測定開始時の溶解性PO₄-P濃度が等しくなるように右へ平行移動させた（図中の点線）。ここで右への移動させた幅（約12時間）が両サンプルの滞留時間の差に相当すると考えられる。また、滞留時間が短いサンプルではりんの放出が早く収束しているが、タンク内の滞留時間の差によって放出される溶解性PO₄-P放出速度を表す係数にそれほど大きな差がみられなかった（近似式は図中に記載）。したがって、汚泥のSSは、調整タンク引抜きから初期の段階では汚泥のりん放出速度に影響を与えないと考えられる。

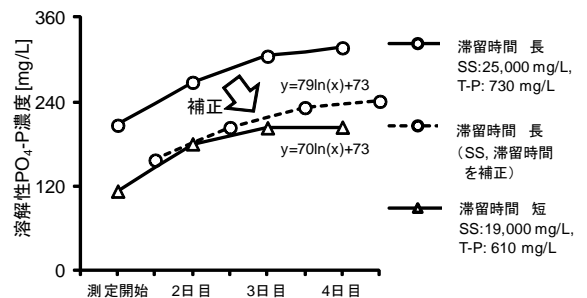


図4. 調整タンク内での滞留時間と溶解性PO₄-P濃度の関係

3.2 各水再生センターの調整汚泥のりんの放出について

続いて、各水再生センターでの調整汚泥のりん放出挙動について実験を行った（図5）。実験の手順は3.1と同様である。ここでも、調整汚泥が嫌気性条件下で時間の経過とともに溶解性PO₄-Pを放出している。また、測定開始から8時間後までの結果より近似式(1)～(4)を導入した⁴⁾。このとき、近似の導入に一日目の測定結果を用いたのは、調整タンク引抜きから北セまでの送泥に要する時間は最長で10時間程度であるためである。

- 北一 $y = 24 \ln(x) + 48$ (1)
- 神奈川 $y = 11 \ln(x) + 69$ (2)
- 港北 $y = 22 \ln(x) + 68$ (3)
- 都筑 $y = 11 \ln(x) + 36$ (4)

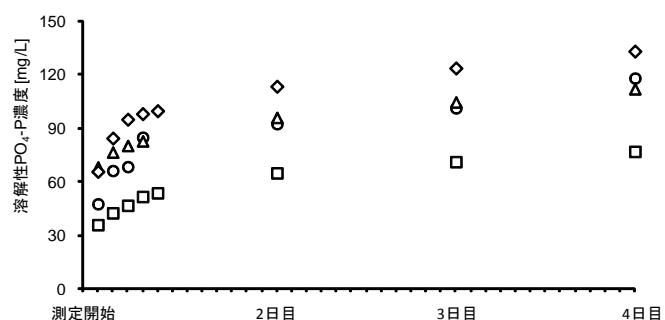


図5. 各水再生センター調整汚泥の溶解性りん酸態りんの推移

ここでxは時間[hr]、yは活性汚泥中の溶解性PO₄-P濃度[mg/L]を示す変数である。

4 送泥スケジュールと汚泥の滞留時間

調整タンク引抜きから北セ到達するまでの所要時間を調査した。送泥管、各施設・設備の容量と実際の運転ルート・スケジュールから概算される滞留時間を表1に示した。北セに送られる汚泥の平均滞留時間は6.1～10時間となった。最も滞留時間の短いルート5では、送泥量の多い神奈川、港北、都筑から北セまでの滞留時間がどのセンターからもバランスよく短い。他方で、ルート6は直列的に送泥を行うために上記の3カ所のセンターの汚泥滞留時間は長い。

式(1)～(4)のxに滞留時間をそれぞれ代入し、水再生センターの送泥量により放出量を加重平均して、各ルートで送泥する際の受泥中の溶解性PO₄-Pを算出した（このとき

表1. 各センターの調整タンク引抜きから北セ受泥までの平均滞留時間

		各センターの平均値※1	北一	神奈川	港北	都筑	《参考》送泥パス
ルート1	滞留時間 [hr]	7.7	3.0	4.7	8.3	14	都筑→港北→北一→北セ 神奈川→北セ
	溶解性PO ₄ -P[mg/L]	87	82	87	116	66	
ルート2※2	滞留時間 [hr]	8.5	17	2.0	8.4	14	都筑→港北→神奈川→北セ 北一→北セ
	溶解性PO ₄ -P[mg/L]	89	119	81	117	66	
ルート3	滞留時間 [hr]	8.5	2.9	12	6.5	12	都筑→港北 神奈川→港北 港北→神奈川→北セ
	溶解性PO ₄ -P[mg/L]	88	81	96	112	65	
ルート4	滞留時間 [hr]	7.5	6.1	3.9	13	9.3	港北→北一→北セ 都筑→神奈川→北セ
	溶解性PO ₄ -P[mg/L]	89	95	85	126	62	
ルート5	滞留時間 [hr]	6.1	8.2	2.8	6.3	10	都筑→神奈川 港北→神奈川 神奈川→北セ 北一→北セ
	溶解性PO ₄ -P[mg/L]	86	102	83	111	63	
ルート6※2	滞留時間 [hr]	10	3.4	14	9.1	19	都筑→神奈川→港北→北一→北セ
	溶解性PO ₄ -P[mg/L]	92	84	97	118	70	

※1 北部の5つの水再生センターから送泥される汚泥の単位量あたりの滞留時間。送泥時間と各センターの送泥量を加重平均し算出。

※2 港北→神奈川の送泥は洗浄水の送水を用いない。

汚泥のSSを平成23年度実測値の平均15,000 mg/Lとした）。結果は86 mg/L（ルート5）～92 mg/L（ルート6）となり、平成23年度における受泥中のPO₄-P濃度実測値の平均値79 mg/Lと概ね一致する。また、滞留時間の最も短いルート5と最も長いルート6には約4時間の滞留時間差が存在するが、この間に放出される溶解性PO₄-Pは約6.4 mg/Lであり、これはルート5により送泥した際の溶解性PO₄-P濃度（計算値）の約7%にあたる。図5からもわかるように嫌気性条件下に置かれてから初期の段階では溶解性PO₄-P濃度の上昇が急激であるので、裏を返せば、この段階での時間短縮は北セでの受泥、分離液の溶解性PO₄-P濃度を低下させるのに効果的である。

調整タンク引抜きから北セの受泥・機械濃縮工程までに放出される溶解性PO₄-Pを下げるための具体策としては、各水再生センターでの調整タンク内での汚泥の沈降を促進すること、その間汚泥からのりん放出を抑制すること、送泥量の多い神奈川、港北、都筑からの送泥に要する時間を短くすることなどによる改善が挙げられる。

5 まとめと今後の課題

汚泥集約処理でのりんに関する課題に対して次の知見を得た。

- (1) 各センターでの高度処理の導入によって北セでの溶解性PO₄-Pの負荷量が増している。
- (2) 机上の実験結果と、送泥管、各施設・設備の容量、実際の運転ルート・スケジュールから汚泥集約処理の過程で放出されるりんの量を概算した。

以上から、汚泥に溶解性PO₄-Pを閉じ込めたまま（分離液へ移行する量を抑えて）汚泥処理を完了させることが重要であり、具体的には、送泥にかかる滞留時間を短くすること、滞留中の汚泥のりん放出を抑制するための検討が重要である。

今後は、汚泥のりん放出の挙動をより正確に検証するため、北二の調整汚泥を継続的に測定し、硝酸イオン濃度などのりん放出速度と因果関係にある要素を探っていきたい。そのうえで、一連の汚泥集約処理に係る運用方法についてより正確に検討し、横浜市が抱えるりん処理に関する課題の解決を図りたい。

注釈・参考文献

- (1) 阿部光裕他「横浜市北部下水道センター新分離液処理施設の立ち上げと初期稼働について」：第49回下水道協会研究発表会講演集p916

- (2) 紺野は、機械濃縮供給汚泥のりん固形物のうち40%は分離液へ移行することを示している。紺野繁幸「汚泥処理返流水の影響を受ける水再生センターのりん除去対応法について」：第46回下水道協会研究発表会講演集p646
- (3) SS 25,000mg/Lのサンプルを19,000 mg/Lに換算するために、溶解性PO₄-Pの濃度に25分の19をかけた。
- (4) 図5中の近似式ではx（横軸）を「日」にしており、式（1）～（4）ではx（横軸）を「時間」にしているため対数にかかる係数が大きく異なる。また、すべてのセンターの調整汚泥のSSを 15,000 mg/Lに換算して図5を作成した。

問合せ先：横浜市環境創造局 小前和智 電話045-503-0894 e-mail: ka00-komae@city.yokohama.jp