

擬似嫌気好気法によるりん除去性能向上効果の検討

水再生水質課 浅野 卓哉
 ○ 折目 孝子
 坂本 俊彦

1. はじめに

横浜市では、東京湾・相模湾の富栄養化対策として、窒素・りん除去向上を目的とした高度処理施設の整備を、既存施設の更新にあわせて進めている。導入までの間、既存の標準法施設では反応タンクの前段の曝気風量を絞ることで、擬似嫌気好気法（以下、擬似法）運転を実施している。この結果、多くのセンターでりん除去率が向上している一方で、全くりん除去が向上しない施設もある。こうした処理状況の違いには、流入水質特性（BOD/T-P比やNO_x-Nなど）が大きく影響していることを昨年度に報告した。

今回は、擬似法6系列と高度処理6系列において反応タンク機能調査およびりん放出回分実験を実施した。それらのデータを解析し、擬似嫌気槽状況や処理性能の比較を試みた。その結果、擬似法の嫌気槽は高度処理と比較してDOやORPに差はないが、りん放出濃度が小さいという特徴があった。また、流入水質条件のよい系列では高度処理と同等のりん放出速度および汚泥りん含有率を保持しており、一方で流入NO_x-N濃度の高い系列では、擬似嫌気槽のORPが高く、りん除去性能は全く向上していなかった。

2. 調査対象・方法

本調査は、本市各センターの擬似法6系列および高度処理法6系列を対象とした。各系列において、平成18～19年の降雨の影響のない秋冬期に反応タンク機能調査およびりん放出回分実験を数回実施した。各系列の処理方式・運転状況（年平均値）および調査期間・回数を表1に示す。

機能調査は、擬似嫌気槽状況と槽内水質挙動の把握を目的として実施した。反応タンク流入水（以下、流入水）、返送汚泥、各セルおよび処理水について各水質項目・溶解性BOD（SBOD、易溶解性有機物の代替）・汚泥りん含有率（P_x）の分析およびDO、ORP計器測定を行った。流入水と返送汚泥を午前10時前後に採水後、実滞留時間に合わせて時間遅れで採水・測定した。

回分実験は、機能調査で採水した試料を用いた。返送汚泥を室温条件で数時間ビーカー内で攪拌した後に、返送率にあわせて流入水を混合し、嫌気状態が保たれるように緩やかに攪拌混合した。酢酸(20mg/L)添加および酢酸と硝酸(10mg/L)同時添加の2条件を行った。一定時間毎に採水し、各態窒素、PO₄-P、酢酸を分析した。分析データを用いて、酢酸存在下および酢酸硝酸同時存在下でのりん放出速度（K_R）を算出した。

各水質項目の分析は下水試験法に準拠した。溶解性試料は孔径1μmのガラス繊維ろ紙を用いて調製した。

表1 調査対象系列の施設概要、運転状況および調査期間

処理法	擬似AO法						高度処理法						平均		
	1	2	3	4	5 ^{*4}	6	A ₂ O	A ₂ O	A ₂ O	A ₂ O	AO	AOAO	擬似AO	高度処理	
系列番号	合	分	分	分	合(返)	合(返)	合(返)	合	合	合	分	分			
合分流別 ^{*1}	合	分	分	分	合(返)	合(返)	合(返)	合	合	合	分	分			
年間平均値 ^{*3}	反応タンク (hr)	5.5	5.2	7.4	6.3	6.3	12	9.8	7.3	7.6	9.1	10	10	7.1	8.6
	(擬似)嫌気タンク (hr)	1.4	0.7	0.9	1.6	1.6	3.0	2.5	0.9	1.9	2.5	3.1	2.4	1.5	2.2
	無酸素タンク (hr)	0	0	0	0	0	0	2	2.7	1.4	2.8	0	2.3	0	1.9
	好気タンク (hr)	4.1	4.5	6.5	4.7	4.7	9.0	5.2	3.7	4.3	3.9	6.5	4.8	5.6	4.6
	SRT (d)	6.9	5.6	8.5	6.9	12	8.2	11	12	13	12	12	14	8	13
	BOD・SS負荷 (kg/kg/d)	0.18	0.24	0.14	0.20	0.09	0.12	0.14	0.10	0.08	0.09	0.08	0.11	0.16	0.09
	循環比 ^{*2} (%)	81	90	83	87	55	72	150	100	160	180	50	68	77.9	111.6
	BOD/T-N比	4.2	4.3	3.6	4.3	1.8	3.0	4.6	2.8	3.3	4.5	3.0	4.6	3.5	3.6
	処理水T-N濃度 (mg/L)	7.1	8.8	12	8.5	20	11	9.0	7.5	6.8	5.6	11	7.4	11	7.7
	T-N除去率 (%)	61	62	54	63	33	54	67	66	60	68	49	70	54	63
	BOD/T-P比	38	37	28	37	10	21	27	21	26	36	29	26	28	28
	処理水T-P濃度 (mg/L)	0.6	1.5	1.2	0.4	3.7	2.3	1.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.7	1.6	0.5
T-P除去率 (%)	69	44	64	85	35	32	68	79	81	87	80	79	55	81	
調査期間	月 H19.9～H20.2						H18.9～H19.2								
調査回数	回 4	4	4	4	10	5	9	5	6	10	3	2			

*1 合は合流、分は分流、合分は合流・分流混合、(返)は汚泥処理返流水処理施設の処理水を受け入れている系列

*2 循環比=(返送汚泥量+循環水量)/処理水量

*3 系列1～7は平成19年平均値、系列8～12は平成18年平均値、

*4 系列5は、調査期間中りん除去のための凝集剤添加を実施

*5 系列7は、調査期間中りん除去のための最初沈殿池汚泥添加を実施

3. 調査結果

3.1 各系列のりん除去状況

各系列のりん除去率年間平均値（表1）は、高度処理施設では系列7（返流水処理水あり）を除いて、りん除去率は80%前後と良好であった。一方、擬似法のりん除去率はばらつきがあり、系列4では高度処理以上の除去率であったが、系列5、6（返流水処理水あり）では30%台であった。

反応タンク各セル水質測定結果の代表例を図1に示す。りん除去率の高い擬似法①では、高度処理と比較して、りん放出が少なく、りん摂取は好気槽中段で終わっていることが多かった。一方、返流水処理水を受ける擬似法②ではりん摂取・放出反応は全く認められず、脱窒能力も低かった。高度処理ではいずれの系列も嫌気槽りん放出・摂取反応が行われているが、系列7④ではりん放出は高いが、りん摂取が不十分であった。

3.2 擬似嫌気槽状況

各系列調査における（擬似）嫌気槽末端 DO、ORP、りん放出濃度（ C_{PAN} ）、流入 NO_{X-N} 濃度の各平均・最大・最小値を図2に示す。

DO は各系列とも概ね 0.5mg/L 未満で、系列間の差はほとんどない。ORP は返流水処理水を受ける系列 5~7 で高く、変動が大きいことがわかる。他の系列ではほとんど差は認められず、概ね -150 ~ 0mV であった。流入 NO_{X-N} も系列 5~7 で高く、また擬似法は窒素除去を行う高度処理系列と比べて 2~3mg/L ほど高い傾向にあった。

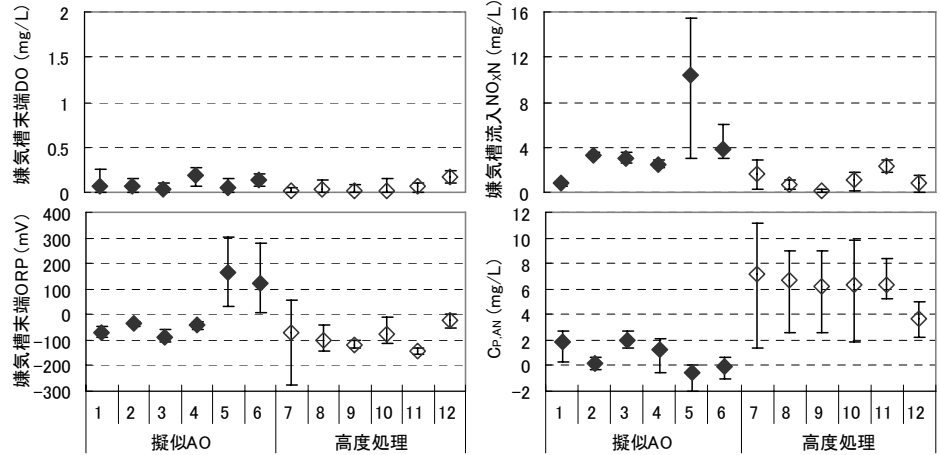


図2 各系列の（擬似）嫌気槽状況

C_{PAN} は擬似法と高度処理で明瞭な差が認められた。擬似法では 0~3 mg/L の範囲に留まっており、変動も小さかった。一方高度処理では平均値は 4~7mg/L であり、変動が大きかった。

3.3 活性汚泥性状と他因子の関係

各系列の P_X および回分実験での K_R （酢酸存在下、 NO_3 非存在下）の平均・最大・最小値を図3に示す。 P_X は擬似法と高度処理で明瞭な差は認められなかった。系列5は凝集剤添加のため高いが、系列6は2%前後と標準法レベルであった。 K_R は擬似法では系列間の差が大きく、系列1、3は高度処理と同等のレベルであった。系列ごとの変動幅は小さかった。一方高度処理では変動幅の大きい系列が多かった。 NO_3 有無による K_R の違いを図4に示す。1つの系列（7）を除いて両者の差は小さく、酢酸が存在すれば NO_{X-N} 濃度に関わらず K_R はほぼ一定であることがわかる。 P_X と K_R の相関を図5に示す。擬似法では K_R が高いほど P_X が大きい傾向にあった。

各系列の回分実験の K_R と C_{PAN} 、流入 NO_{X-N} および SBOD の相関を図6に示す。 K_R と C_{PAN} は、擬似法では高い相関があるが、高度処理とは異なる傾向を示していた。 K_R と NO_{X-N} の間には負の相関が認められた。また、 K_R と SBOD には処理法ごとに概ね相関があった。

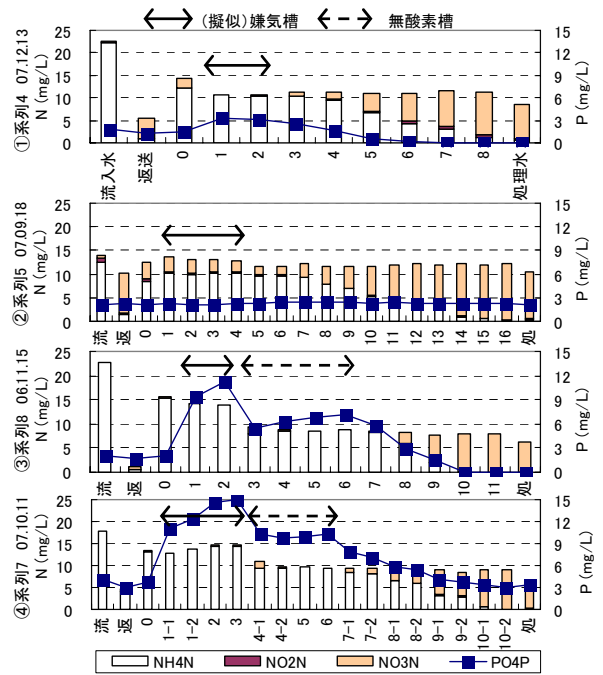


図1 反応タンク各セル水質挙動例

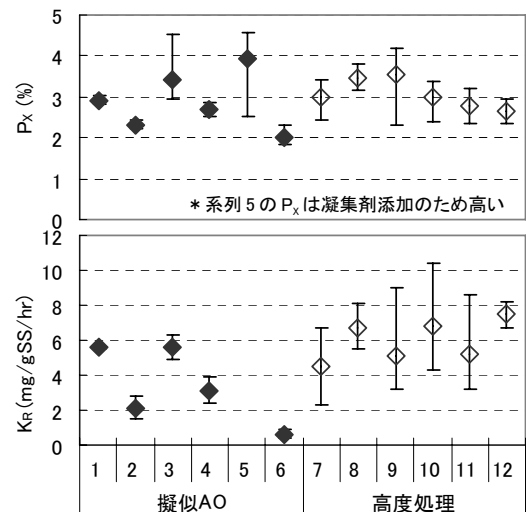


図3 各系列の活性汚泥性状

4. 考察

4.1 擬似嫌気槽の評価

擬似嫌気槽の DO、ORP は、返流水処理水を受ける系列を除けば、高度処理の嫌気槽との差は認められなかった。両者の違いは、微曝気による O₂ 供給と窒素除去の違いに起因する返送汚泥 NO_X-N 濃度の2点が挙げられる。O₂ や NO_X-N は有機物の酸化で直ちに消費されるために DO、ORP 値に差がないと考えられる。一方で嫌気槽での有機物の酸化はりん除去性能に大きく影響するはずである。両法の C_{PAN} の違いはこうした点によるものと考えられる。

4.2 りん除去性能の比較

K_R や P_X は、活性汚泥のりん除去性能を示す指標であり、両者には概ね正の相関が認められた (図5)。

文献¹⁾では BOD/T-P 比から求められる必要 P_X および流入 NO_X-N 濃度がりん除去性能の難易度を表すことを示した。系列4が K_R や C_{PAN} が小さくても高度処理レベルの除去率を達成しているのは、BOD/T-P 比が高く、必要 P_X が低いためだといえる。一方で BOD/T-P 比の低い系列でりん除去を行うには、K_R を引き上げる条件を整える必要がある。

一般に C_{PAN} が高いほど好気槽りん摂取が促進され、りん除去が向上するといわれている。図6A から、擬似法のほうが少ない C_{PAN} で K_R を確保していることがわかる。このことはりん除去性能向上のためには必ずしも C_{PAN} を高く保つ必要はないことを意味する。高度処理は擬似法よりも概ね嫌気槽 HRT が長く、必要以上のりん放出を行っている可能性がある²⁾。また、図6C から擬似法で K_R の高い系列は、SBOD が高いことが読み取れるが、これは上述のように擬似嫌気槽への DO や NO_X-N の供給が影響しているといえる。なお、擬似嫌気槽では脱りん菌も流入基質を用いた好気呼吸をある程度行っていると考えられ、そうした反応の微妙な違いが擬似法と高度処理の違いに影響しているかもしれない。

4.3 流入 NO_X-N の影響

図4~6から、流入 NO_X-N は K_R や P_X に大きく影響し、その主因は流入部での SBOD の脱窒分解だといえる。返流水処理水を受け流入 NO_X-N の高い系列5、6ではりん放出・摂取反応がほとんど認められず、回分実験による K_R もほぼゼロであった。高度処理の系列7では最初沈殿池汚泥投入により BOD/T-P 比を上げているものの、他の高度処理と比較すると除去性能は劣っていた。このように、流入 NO_X-N の高い系列では擬似法によるりん除去は期待できず、高度処理であっても有機物添加などの追加対策が必要であるといえる。

なお、回分試験において酢酸存在下での K_R は NO_X-N の影響をほとんど受けなかった (図4)。このことは、流入 NO_X-N 濃度が高くりん除去の難しい系列では、嫌気槽への酢酸添加が有効であることを示している。

5. まとめと今後の課題

以上の調査結果から、擬似法におけるりん除去に関して以下のことが示された。

- ① 嫌気槽の DO、ORP 値に高度処理との差は認められなかった。(返流水処理水の影響を除く。)
- ② 擬似法のりん除去性能は BOD/T-P 比、流入 NO_X-N、SBOD 濃度など流入水質に大きく左右されていた。
- ③ 擬似法の C_{PAN} は高度処理よりも低いですが、SBOD が高い系列では高度処理同等の除去性能を保持していた。
- ④ 返流水処理水を受ける擬似法系列では、りん除去性能は全く向上していなかった。

本調査ではりん除去性能に絞って検討を行ったが、窒素除去や省エネ効果の評価や、散気装置への悪影響や攪拌不良による汚泥堆積など課題もある。今後はそうした点についても検討を行ってきたい。

参考文献

- 1) 浅野卓哉他「反応タンク流入水質の違いが窒素・りん除去に与える影響の評価」第44回下水道研究発表会講演集 pp.691
- 2) 小川洋平、浅野卓哉「A₂O法における嫌気槽滞留時間に関する検討」第42回下水道研究発表会講演集 pp.780

