

汚泥処理工程における余剰汚泥からの元素類の溶出と分離に関する調査研究

岩手大学工学部 学生会員 ○白岩卓也 舘紳也
（公財）岩手県下水道公社 金郁磨
岩手大学理工学部 正会員 石川奈緒 笹本誠 伊藤歩 海田輝之

1. 背景

下水処理場では、嫌気性消化の過程で下水汚泥中からリンや金属イオンが溶出し、リン酸マグネシウムアンモニウム（ $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ：以下 MAP とする）の結晶が生成し、その結晶が送泥管を閉塞する原因になっている。一方で、リンは生物の必須元素であるが、供給源であるリン鉱石は近い将来枯渇すると予想されている。本研究では、送泥管の閉塞の抑制と元素類の回収のため、汚泥を消化する前の段階で余剰汚泥からリンや金属類を溶出させ、それらの元素類を機械濃縮機で分離する技術の開発を目指している。

そこで、MAP の生成が問題になっている岩手県水沢浄化センターを対象とし、余剰汚泥受槽に余剰汚泥を貯めて嫌気状態にすることにより、元素類がどの程度溶出するのかを調査した。

2. 調査方法

水沢浄化センターは、下水を標準活性汚泥法により処理しており、反応タンクの前段に嫌気槽が配置されている。余剰汚泥は余剰汚泥受槽を経由して機械濃縮され、その後重力濃縮汚泥とともに嫌気性消化される。本調査では、余剰汚泥受槽内の攪拌装置と機械濃縮機への給泥を 48 時間程度停止し、余剰汚泥受槽内を嫌気状態にした。採泥は経時的に行い、その際には受槽内の余剰汚泥濃度を均一にするため攪拌機で 30 秒程度攪拌し、ハイロート採水器を用いて余剰汚泥受槽の上部から行った。採水器内の余剰汚泥をポリ瓶に移し、直ちに溶存酸素(DO)、酸化還元電位 (ORP)、 pH 及び水温を測定した。その後、試料を浄化センター内の水質試験室に運び、余剰汚泥の一部を遠心分離 (3,000 rpm、10 min) し、上澄み液を孔径 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過し、ろ液を2本のポリ瓶に分けて採取した。一方のポリ瓶に金属類の沈殿を防ぐため硝酸を少量加えて、元素濃度分析用とした。もう一方のろ液には何も加えず、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 濃度と全有機炭素 (TOC) 濃度の測定用とした。また、嫌気培養前後での機械（遠心）濃縮汚泥とその分離液も採取した。

余剰汚泥、機械濃縮汚泥、分離液とそれらのろ液にそれぞれ塩酸と硝酸を加え、ホットプレートで加熱分解した。その後、メンブレンフィルター (0.45 μm) でろ過し、このろ液について元素類の濃度を ICP-OES (Shimadzu, ICPE-9000)、ICP-MS (Thermo Fisher, iCAP-Qc) で測定した。また、TS と VS についても測定した。さらに、ろ液の TOC を全有機体炭素計 (Shimadzu, TOC-V CSH)、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は、オートアナライザー (ビーエルテック, AutoAnalyzer2) で測定した。

3. 調査結果及び考察

採取した余剰汚泥の性状は表-1 のとおりである。時間の経過とともに pH と ORP は低下した。DO は 0.2 mg/L 未満であり、ORP は、採泥直後 (0 時間目) の 42 mV から -215 mV 程度まで減少したことから、攪拌機の停止によって受槽内の余剰汚泥が還元的な状態に変化したことがわかる。

表-2 に TS と VS を示す。濃縮汚泥の TS はほとんど変化せず、濃縮操作に及ばず嫌気培養の影響は見られなかった。

表-1 水沢浄化センターの余剰汚泥の性状

日付	測定時刻	経過時間 (hr)	水温 (℃)	DO (mg/L)	ORP (mV)	pH
12月12日	9:00	0	15.5	0.09	42	7.0
12月12日	21:00	12	16.8	0.00	-165	6.8
12月13日	9:00	24	16.1	0.04	-200	6.7
12月13日	21:00	36	16.0	0.05	-215	6.6
12月14日	3:00	42	16.0	0.06	-227	6.6
12月14日	9:00	48	16.0	0.13	-215	6.6

表-2 水沢浄化センターで採取した各汚泥の TS と VS

経過時間	余剰汚泥		濃縮汚泥		分離液	
	0h	48h	0h	48h	0h	48h
TS (g/L)	3.0	5.5	34.8	33.4	0.1	1.3
VS (g/L)	2.1	4.8	28.1	29.9		

キーワード
余剰汚泥、MAP、元素類の溶出、嫌気培養
連絡先：岩手大学(盛岡市上田 4-3-5 TEL:019-621-6449)

図-1 は、余剰汚泥中の元素類の全量濃度及び溶解性濃度を示している。Mg、P および K の溶解性濃度は 36 時間目まで徐々に増加し、それ以降は極めて緩やかな増加となり、48 時間目ではほぼ最大値に達した。一方で、Ca はほとんど溶出しなかった。溶出率（=溶解性濃度÷全濃度×100）に換算すると、Mg で 74%、P で 69%、K で 83%、Ca で 52%であった。Mg、P、K の溶出は、余剰汚泥内のリン蓄積微生物の体内にポリリン酸化合物として蓄えられていたものが、嫌気培養により分解され溶出したためと考えられる。この結果より、受槽の攪拌停止によって余剰汚泥を嫌気化させることは Mg、P、K の溶出操作として有効であると考えられる。

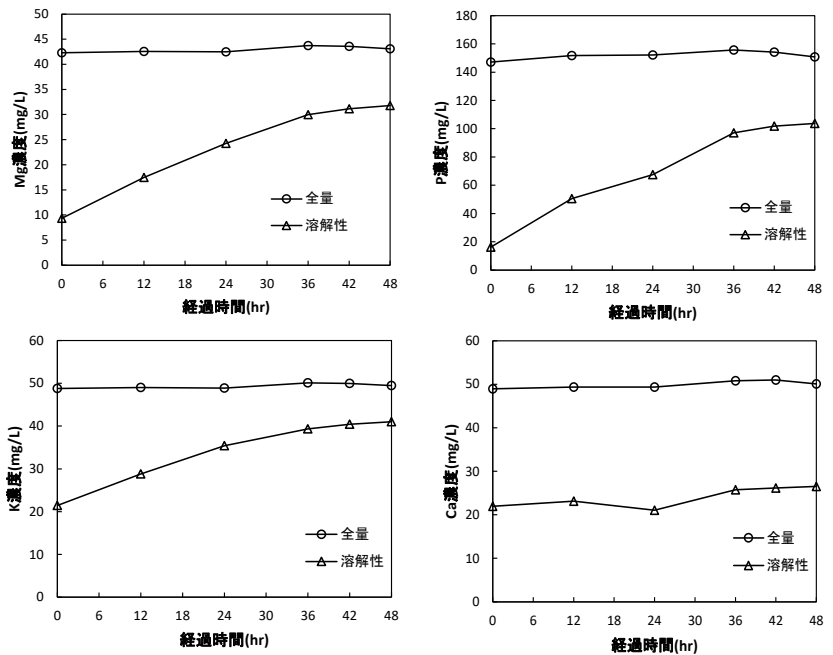


図-1 全量及び溶解性の Mg、P、K、Ca の濃度の時間変化

なお、余剰汚泥中の溶解性重金属（As、Cr、Pb、Cd）の濃度についても分析を行った。表で示していないが、嫌気化前後でいずれの元素についても濃度の変化がほとんど無く、As で 2 µg/L 未満、Cr で 4 µg/L 未満、Pb で 3 µg/L 未満、Cd で 0.4 µg/L 未満であった。

図-2 は、余剰汚泥のろ液の TOC 濃度と NH₄⁺-N 濃度の時間変化を示す。TOC 濃度は時間経過とともに上昇が少しみられ、有機物源の溶出が起きていることが分かった。また、NH₄⁺-N 濃度の大きな濃度変化は無く、嫌気培養により溶出した元素類が MAP として再沈殿することはほとんど無いと考えられる。

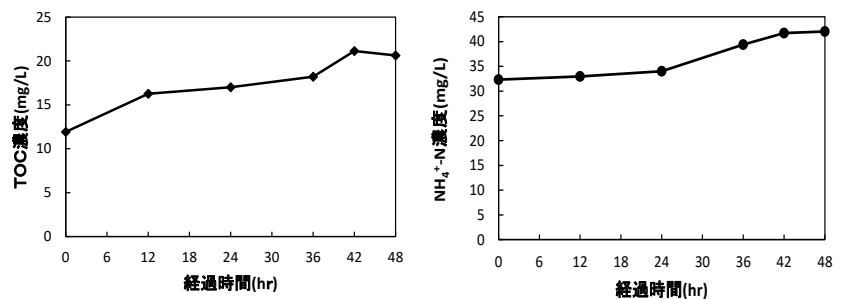


図-2 余剰汚泥中の溶解性 TOC と NH₄⁺-N 濃度の時間変化

表-3 は嫌気化前後における機械濃縮汚泥とその分離液の元素類の濃度と濃縮汚泥からの除去率を示している。嫌気化後に濃縮汚泥の元素類濃度は低下し、元素類が分離液に移行していることがわかる。Mg、P、K の除去率（=（嫌気化前濃度－嫌気化後濃度）÷嫌気化前濃度×100）は 5 割前後であり、上述の溶出率に比べると低い結果になった。これは機械濃縮機が稼動する際に受槽内の攪拌機も稼働して余剰汚泥が好氣的となり、余剰汚泥中のリン蓄積微生物が P、K、Mg を再吸着及び再吸収したためと考えられる。

表-3 嫌気化前後での機械濃縮汚泥及び分離液の元素類濃度と、機械濃縮汚泥からの元素類の除去率

元素		Mg		P		K		Ca	
試料		濃縮	分離液	濃縮	分離液	濃縮	分離液	濃縮	分離液
濃度 (mg/L)	嫌気化前	403	7.4	1590	6.2	398	17.8	342	19.9
	嫌気化後	175	25.5	740	79.9	202	35.5	305	26.1
除去率 (%)		56.6		53.5		49.2		10.8	

4. まとめ

機械濃縮直前の余剰汚泥受槽内を嫌気状態にすることにより、活性汚泥から元素類が溶出することが分かった。元素類を機械濃縮分離液として回収することで、消化工程や送泥管内における MAP の生成の抑制が可能であると考えられる。しかしながら、今回のような余剰汚泥受槽を利用した嫌気培養では時間がかかり、かつ送泥を停止しなければならないので、既存の下水処理場では汚泥処理が間に合わないという問題がある。そこで今後は、機械濃縮前の送泥過程において余剰汚泥から短期的に元素類を溶出できる方法を開発する必要がある。