

初沈濃縮汚泥を混合した余剰汚泥からの P、Mg 及び K の溶出及び回収に関する研究

岩手大学理工学部 学生会員 ○阿部明信 上山雄大

岩手大学理工学部 非会員 笹本誠 正会員 石川奈緒 伊藤歩

1. 概要

下水処理場の嫌気性消化過程において、汚泥中からリン酸イオンやマグネシウムイオンが溶出し、これらのイオンが消化過程で生じるアンモニウムイオンと結合することでリン酸マグネシウムアンモニウム ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) の沈殿が起き、この沈殿物が結晶となり送泥管が閉塞する問題が生じている。一方、リンは農業や工業の分野において有用な元素であるが、原料のリン鉱石は有限の枯渇性天然資源であり、日本国内で生産せず全て輸入に頼っているため、汚泥から効率的にリンを回収し再利用することが望まれている。

本研究では、リン酸マグネシウムアンモニウム生成の抑制とリンの回収を目的として、余剰汚泥に有機炭素源として初沈濃縮汚泥を添加して嫌気培養し、余剰汚泥からリンやマグネシウム、カリウムといった元素を溶出した後、機械濃縮機にて元素類を機械濃縮分離液（以下、分離液）として採取することを試みた。また、分離液に CaCl_2 水溶液を添加し、リンを沈殿物として回収する実験も行った。

2. 実験方法

実験場所として岩手県北上川上流流域下水道都南浄化センターを選定した。こちらの浄化センターではバルキング対策として前段に嫌気槽を有する標準活性汚泥法が採用されている。本研究では機械濃縮機前段に設置されている貯留槽内で余剰汚泥を数時間程嫌気化し、元素類(P、K、Mg)を溶出させることを想定した実験を夏季と冬季に行った。実験では貯留槽への余剰汚泥の供給と機械濃縮機への余剰汚泥の供給を停止し、余剰汚泥量を 28.5 m^3 まで低下させた貯留槽へ初沈濃縮汚泥を 1.5 、 3 または 6 m^3 添加した。添加後は 6 時間嫌気培養し、元素類の溶出の促進を試みた。また、余剰汚泥の採取と水温、pH、DO 及び ORP の測定を嫌気化前と嫌気化後 (0 、 1.5 、 3 、 6 hr) に行い、嫌気化前 (-1 hr) と嫌気化後 (6 hr) に機械濃縮汚泥と分離液を採取した。また、初沈濃縮汚泥も採取した。採取した余剰汚泥を遠心分離 ($3,000\text{ rpm}$ 、 10 min) し、上澄み液を $0.45\text{ }\mu\text{m}$ と $1\text{ }\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターを重ねてろ過し、溶解

性濃度測定用と溶解性有機態炭素 (DOC) 及び $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の濃度測定用に分けてポリ瓶に保存した。溶解性濃度測定用のろ液と全濃度測定用の余剰汚泥は 25 mL ビーカーで 3 連に分け、塩酸と硝酸を加えて加熱分解を行い、 25 mL にメスアップした後、ろ過し、そのろ液をポリ瓶に保存した。以上の保存したサンプルの P、K、Mg の濃度を ICP 発光分光分析装置 (Shimadzu, ICPE-9000) で測定した。ろ液の DOC は全有機体炭素計 (Shimadzu, TOC-V CSH) で測定し、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度はオートアナライザー (ビーエルテック、AutoAnalyzer2) で測定した。また、汚泥試料の全固形物量 (TS) は乾燥機を用いて $110\text{ }^\circ\text{C}$ で 12 h 乾燥させて測定し、強熱減量 (VS) は TS を電気炉で $600\text{ }^\circ\text{C}$ で 2 h 強熱させて測定した。

次に、採取した分離液中の P を沈殿物として回収するために、分離液を $6\text{ }\mu\text{m}$ のろ紙でろ過し、そのろ液を 4 つの 200 mL ビーカーに注ぎ、ろ液中の P 濃度に対する添加 Ca 濃度のモル比 ($[\text{Ca}]/[\text{P}]$) が 0 、 0.5 、 1 、 1.5 になるように CaCl_2 水溶液をそれぞれ添加した。その後、 NaOH 水溶液を添加して pH を 9 に調整し、スターラーで 60 分攪拌後、 30 分静置し、沈殿物を沈降させた。次に、上澄み液を上記と同様に加熱分解後、Ca も含めた元素濃度を測定した。

3. 実験結果及び考察

図-1 は初沈濃縮汚泥添加と無添加での P、Mg 及び K の全濃度と溶解性濃度の経時変化を示している。余剰汚泥の全濃度の初期値は初沈濃縮汚泥を添加する前、つまり嫌気化前の濃度である。P、K、Mg の初期値の範囲はそれぞれ $172\sim 212\text{ mg/L}$ 、 $34.5\sim 53.9\text{ mg/L}$ 、 $36.9\sim 52.9\text{ mg/L}$ であった。初沈濃縮汚泥の添加後に全濃度が増加したのは浮遊物が速やかに沈降したために、底部に沈降した濃度の濃い箇所を採取したためと考えられる。一方、溶解性濃度は初沈濃縮汚泥を多く添加した後の条件で増加した。これは余剰汚泥中のポリリン酸蓄積細菌が嫌気条件下で有機炭素源が豊富な際に、P 及び対イオンである Mg と K を放出するためと考えられる。

キーワード: 余剰汚泥 嫌気培養 初沈濃縮汚泥 リン・カリウム回収

連絡先: 岩手大学 岩手県盛岡市上田 4-3-5 TEL: 019-621-6449

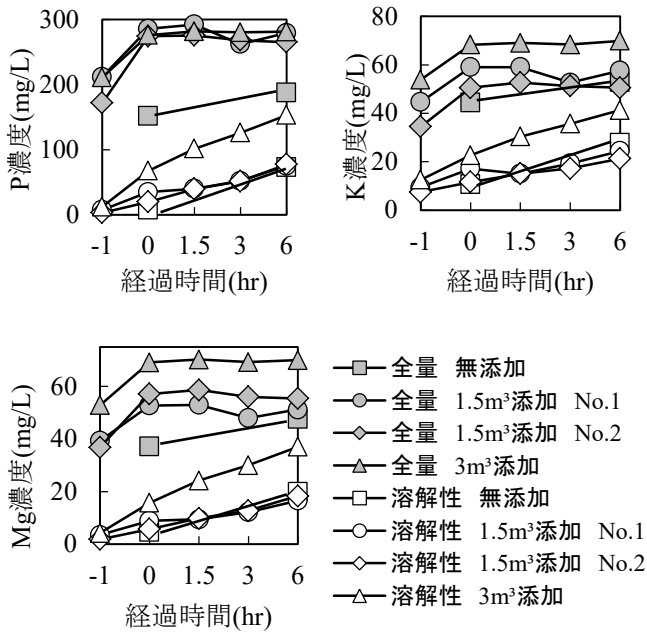


図-1 余剰汚泥の P、K、Mg 濃度の経時的変化（20℃～24℃）

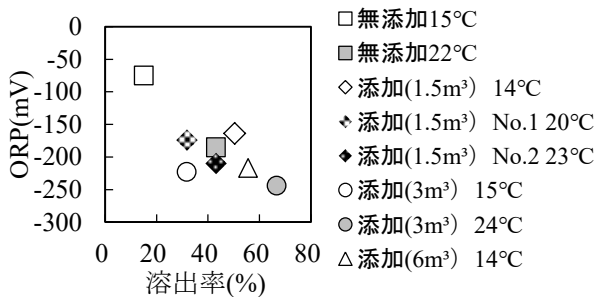


図-2 余剰汚泥の ORP と P 溶出率の関係

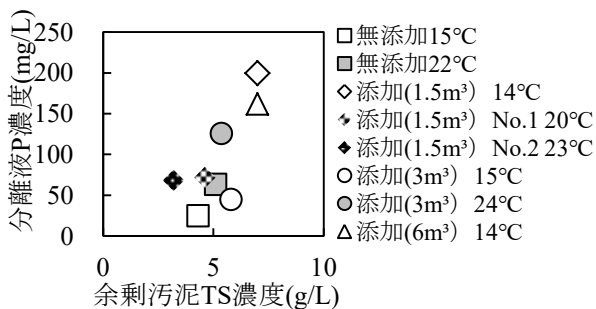


図-3 嫌気化前での余剰汚泥の TS 濃度と分離液 P 濃度の関係

図-2 は嫌気培養後での余剰汚泥の ORP と P 溶出率の関係を示している。なお、溶出率は嫌気培養前後での余剰汚泥中の溶解性 P 濃度の差を嫌気培養前の全 P 濃度で除し、それを百分率にして算出した。余剰汚泥の水温がより高く、ORP がより小さい場合に P が多く溶出する傾向がみられた。水温が高い条件において元素

濃度が高くなった理由としては微生物の働きが促進されたためと推察される。

図-3 は嫌気化前の余剰汚泥の TS 濃度と嫌気化後の分離液 P 濃度の関係を示している。余剰汚泥の TS 及び初沈濃縮汚泥添加量が多いほど分離液中の P 濃度が高くなることが分かった。

表-1 に分離液のろ液の pH 調整前の元素類の濃度を示す。pH 調整前の pH は 6.4 であった。図-4 は CaCl_2 水溶液をモル比 $[\text{Ca}]/[\text{P}]$ の条件を変えて添加したときの上澄み液中の元素濃度を示している。 $[\text{Ca}]/[\text{P}] = 0$ での濃度は pH を 9 に調整した後の濃度である。Ca を $[\text{Ca}]/[\text{P}] = 1.0$ 、1.5 の条件で添加した場合、P の濃度は 80 mg/L 以上除去できた。しかし、 $[\text{Ca}]/[\text{P}] = 1.5$ の添加条件では Ca の濃度は大きく増加した。これら二つの条件で P の除去量はほぼ変わらないため、Ca の添加費用も考慮すると $[\text{Ca}]/[\text{P}] = 1.0$ の条件が好ましいと考えられる。また、Mg の濃度が増加している点については、Ca 添加量の増加による Ca との競合で沈殿が起きづらくなっていることが原因と考えられる。K は濃度の低下はみられず、沈殿は起きなかった。

表-1 pH 調整前の分離液（ろ液）中の元素類濃度

	P	K	Mg	Ca
初期濃度(mg/L)	179	44.1	35.8	27.2

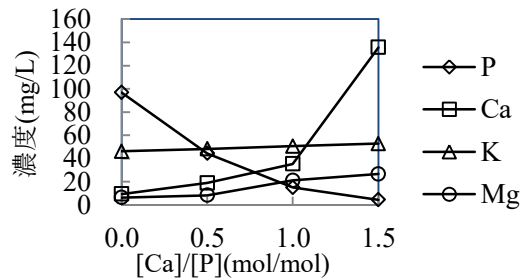


図-4 Ca 添加比と P、K、Mg、Ca 濃度の関係

4. まとめ

有機炭素源として初沈濃縮汚泥を余剰汚泥に添加し、水温がより高く ORP がより低い条件において元素類の溶出を促進できた。今後は初沈濃縮汚泥の最適添加条件や余剰汚泥から元素類をより効率的に溶出できる手法を検討する必要がある。また、分離液中の P を沈殿物として回収できたが、中性付近の pH で沈殿するための条件を検討する必要がある。

謝辞：本研究の一部は（一財）フソウ技術開発振興基金、並びに、国土交通省下水道応用研究からの補助を受けて実施した。ここに謝意を表す。