

余剰汚泥からのマグネシウムの溶出除去に関する研究

岩手大学 学生会員 ○伊藤 美穂, 川上 北斗
岩手県下水道公社 佐藤 敦
岩手大学 正会員 石川 奈緒, 伊藤 歩, 海田輝之

1. 序論

下水処理場においてリン酸マグネシウムアンモニウム(MgNH₄PO₄: 以下 MAP とする)の析出による送泥管の閉塞が問題となっている。一方、リン(P)は植物にとって必須元素であるが限られた天然資源であることから、汚泥中の P を再利用することが望まれている。本研究の目的は汚泥中に P を残しつつ、MAP の原因であるマグネシウム(Mg)を除去するための方法を開発することである。

キレート剤を用いることで余剰汚泥から P, Mg の抽出は可能であるが、コストがかかるというデメリットがある。本研究は余剰汚泥の無酸素培養により P, Mg, カルシウム(Ca), カリウム(K)が溶出する性質に着目し、その溶出に及ぼす pH, 温度, 無酸素培養と好気培養の繰り返し操作の影響と、無酸素培養後の凝集剤添加による P の不溶化について実験により検討した。

2. 実験方法

実験は北上川上流流域下水道都南浄化センターから採取した返送汚泥を用いて行った。実験は 1~4 まであり、それぞれ条件を変えて比較、検討を行った。4 つの実験の条件は以下の通りである。なお、実験 3 の 35℃で培養した条件の他は 1 L 振とうフラスコに 1 L の汚泥を採取して 25℃, 120 rpm で振とうした。

実験 1: pH5, pH4 に調整した汚泥と pH 無調整の汚泥をそれぞれ好気状態と無酸素状態(フラスコ内を 5 分間窒素曝気したのちゴム栓で密封)で 48 時間振とうした計 6 条件とした。pH 調整には塩酸を用いた。

実験 2: 温度を 25℃と 35℃に調整し、それぞれ好気状態と無酸素状態で 48 時間振とうした計 4 条件とした。25℃の条件では恒温室内で振とうし、35℃の条件では 50 mL 試験管に汚泥を入れて振とう式恒温水槽を用いて振とうした。

実験 3: 好気あるいは無酸素状態で 48 時間振とうした条件、12 時間無酸素状態で振とうした後に 12 時間好気状態で振とうした条件(1 回切り替え)、12 時間無酸素状態で振とうした後に 6 時間好気状態で振とうし、その後同様の操作を繰り返した条件(繰り返し)の計 4 条件とした。

実験 4: 好気あるいは無酸素状態で 48 時間振とうした条件、無酸素状態で 24 時間振とうした後に塩化アルミニウム(AlCl₃)あるいは塩化鉄(FeCl₃)をアルミニウムあるいは鉄の濃度として 100 mg/L, 200 mg/L, 500 mg/L になるよう添加した後に、好気状態で 24 時間振とうした条件の計 8 条件とした。

分析用の汚泥サンプルは上記の振とうフラスコあるいは 50 mL 試験管から遠沈管に採り、10,000 rpm で 10 分間遠心分離し、上澄み液をメンブレンフィルター(0.45 μm)でろ過した。ろ液を塩酸と硝酸で加熱分解した後、ICP-発光分析装置 (Shimadzu, ICPE-9000) を用いて各サンプルの元素濃度を測定した。

3. 実験結果

実験に用いた汚泥の性状は表-1 の通りである。

表-1 汚泥の性状

	採取日	TS(g/L)	VS(g/L)	pH	Mg(mg/L)	P(mg/L)	Ca(mg/L)	K(mg/L)	Al(mg/L)	Fe(mg/L)
実験1	8月29日	5.0	3.9	6.7	39.8	196	77.1	51.2	23.4	29.4
実験2	10月15日	4.7	4.3	6.8	40.0	185	69.0	261.6	22.7	27.3
実験3	11月6日	4.0	3.1	7.0	54.2	228	65.7	54.5	25.4	54.2
実験4	12月15日	7.9	6.5	6.8	43.6	217	77.3	57.5	21.8	27.2
	平均	5.4	4.4	6.8	44.4	207	72.3	54.4	23.3	34.5

図-1に実験1におけるMgとPの溶出率の変化を示す。

pH無調整では汚泥を無酸素状態にすることによりMgを45%~65%程度まで溶出することができたが、Pも同時に40%程溶出した。pH4への低下によってMgの溶出率が増加したが、無酸素培養による増加はみられなかった。MgとPの溶出した濃度に関する相関を取った結果、非常に高い相関 ($r^2 > 0.989$) がみられた。このことからMgとPは汚泥中で関連して存在し、共に溶出していると考えられる。データは示さないが、無酸素状態では鉄の溶出がほとんど観察されなかったことから、無酸素状態でのリンの溶出は活性汚泥内にポリリン酸として蓄えられたリン酸が嫌気条件となって溶出したものと考えられる。

図-2に実験2におけるMgとPの溶出率の変化を示す。温度を35°Cに設定した場合も無酸素状態にした方がMg、P共に溶出率が高くなったが、24時間目までは温度による溶出率の差はみられなかった。

図-3に実験3におけるMgとPの溶出率の変化を示す。MgもPも無酸素状態で溶出率が増加し、その後の好気状態では低下した。Pのみ溶出率が低下することはなかった。

図-4に実験4におけるMgとPの溶出率の変化を示す。無酸素状態で12時間振とうしたことで約50%のMgが溶出した。この状態に凝集剤を加えたことによって、65%~85%程度まで溶出率が増加した。Pは無酸素状態で12時間振とうしたことにより約46%が溶出した。その後、凝集剤を加えたことによって殆どの条件で10%以下まで溶出を抑えることが出来た。

図-5に実験4における48時間目のMgとPの溶出率とpHを示す。AlCl₃を500mg/L添加したものは、他の条件と比べるとPの溶出率が高い。このときpHは3.2であり、他のAlCl₃条件よりも低い値であった。このことから、pHが下がりすぎたことによりAl³⁺とPO₄³⁻との沈殿が起これず、溶出率が高くなってしまったのではないかと考えられる。またpHの低下は施設にも悪影響を及ぼすためFeCl₃を500mg/L添加する場合はpH調整が必要である。よって本条件ではFeCl₃を200mg/L添加したものが最適であると考えられる。

4. まとめ

好気状態よりも無酸素状態の方がMgとPの溶出率は増加する。無酸素状態のときpHを下げることによりMgは溶出率が増加したが、温度の上昇によるMgとPの溶出率の増加はみられなかった。好気状態、無酸素状態を繰り返す振とうよりも、好気状態あるいは無酸素状態で48時間振とうの方が溶出率は高かった。しかし、MgとP

は汚泥中で関連して存在し、共に溶出していると考えられることから本研究の目的を達成出来ていない。一方、無酸素培養後に凝集剤を添加することによりPの溶出を抑えつつMgの溶出を高めることが出来た。凝集剤の過剰添加はpHの低下を引き起こしてしまうため、塩化鉄を200mg/L加えたものが最適であると考えられる。

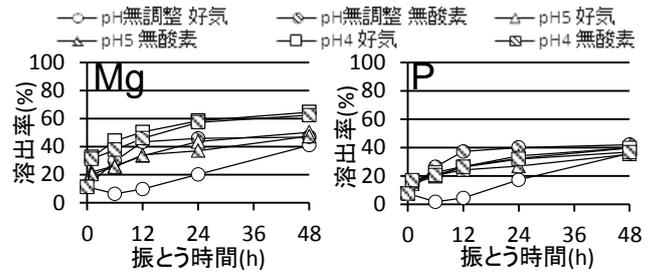


図-1 実験1のMgとPの溶出率の変化

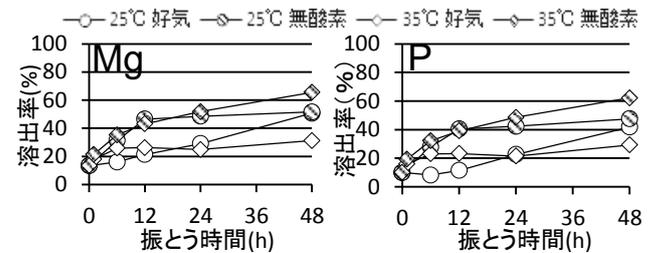


図-2 実験2のMgとPの溶出率の変化

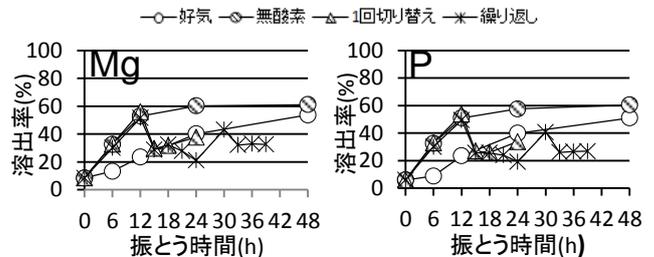


図-3 実験3のMgとPの溶出率の変化

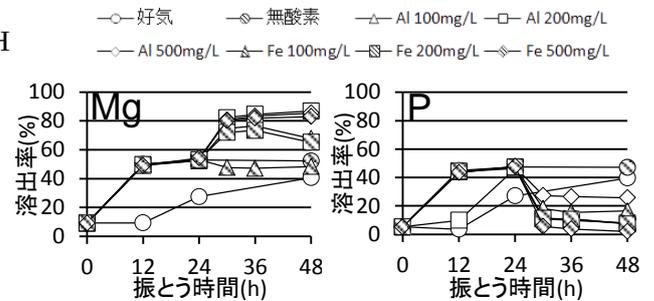


図-4 実験4のMgとPの溶出率の変化

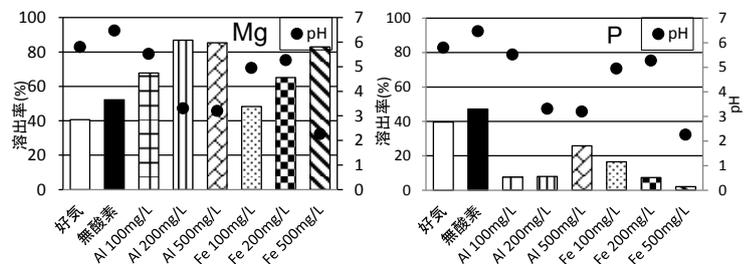


図-5 48時間目のMgとPの溶出率とpH