

機械濃縮操作による余剰汚泥からの有用元素類の分離とその回収に関する研究

岩手大学工学部 学生会員 ○石杜優吾 白岩卓也 上山雄大
岩手大学理工学部 正会員 石川奈緒 笹本誠 伊藤歩

1.序論

下水処理場の嫌気性消化過程において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塩(MAP)が析出することにより汚泥処理の送泥管が閉塞する問題が生じている。そのため MAP の生成を抑制することが必要となる。一方、リンは農業や工業等の分野にとって重要な元素であるが、リン鉱石は枯渇しつつあり、限られた天然資源であるため、汚泥から回収し再利用することが望まれる。

本研究では有機炭素源として初沈濃縮汚泥を添加して嫌気培養することで余剰汚泥から P や Mg といった元素類を溶出した後、その元素類を機械濃縮機で分離液に移行させた。また、分離液中の P を回収するために CaCl_2 水溶液を添加した沈殿実験も行った。

2.実験方法

実験場所として岩手県上流流域下水道の都南浄化センターを選定した。本研究では余剰汚泥の機械濃縮機前段に位置する貯留槽内で余剰汚泥を嫌気化して数時間程度で元素類を溶出させることを想定した。2018 年 8 月 1 日に初沈濃縮汚泥を添加する実験を行った。貯留槽への余剰汚泥の供給を停止し、機械濃縮機への余剰汚泥の供給も停止した。その後、余剰汚泥量を 28.5 m^3 まで低下させた余剰汚泥貯留槽に初沈濃縮汚泥 3 m^3 を投入した。投入開始から経時的 (0.75、1.5、2.25、3、4、5、6 hr) に貯留槽内の余剰汚泥を攪拌し、余剰汚泥の採取と水温、pH、DO、ORP の測定を投入前と投入後 (0、1.5、3、6 hr) に行った。また、余剰汚泥の機械濃縮汚泥 (以下、余剰濃縮汚泥) と機械濃縮分離液 (以下、分離液) の採取を投入前と投入後 (6 hr) に行った。初沈濃縮汚泥もどれだけ元素が含まれているかを調べるために採取した。また、日を改めて 2018 年 9 月 26 日に初沈濃縮汚泥を添加しない場合の実験も行った。

採取した余剰汚泥を遠心分離(3,000 rpm、10 min)し、

上澄み液をメンブレンフィルター (0.45 μm と 1 μm を重ね) でろ過し、溶解性濃度測定用と TOC 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。溶解性濃度用のろ液と全濃度測定用の余剰汚泥はビーカー (25 mL×3) に分け、硝酸と塩酸を加えて加熱分解し、メスアップの後、ろ過し、ろ液をポリ瓶に保存した。これらのろ液の P、Mg、K の濃度を ICP 発光分光分析装置 (Shimadzu、ICPE-9000) で測定した。ろ液の全有機体炭素濃度 (DOC) を全有機体炭素計 (Shimadzu、TOC-V CSH) で測定し、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度についてはオートアナライザー (ビーエルテック、AutoAnalyzer2) で測定した。汚泥試料の全固形物量(TS)と強熱減量(VS)も測定した。

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、メンブレンフィルター (0.45 μm と 1 μm を重ね) でろ過した分離液をビーカー (500 mL×4) に注いだ後、 CaCl_2 水溶液を添加し、分離液ごとに水酸化ナトリウム水溶液を加え、pH を 7.5、8.0、8.5、9.0 にそれぞれ調整した後、攪拌子を入れ 60 分間攪拌、30 分静置を行い、沈殿物の析出実験を行った。沈殿物ができた分離液の上澄み液を採取し、溶解性濃度を測定するサンプルはメンブレンフィルター(1 μm)を用いてろ過を行った。上澄み液とそのろ液をビーカー(25 mL×3)に分け、硝酸と塩酸を加えて加熱分解した後、ろ過を行い、上述の ICP 発光分光分析装置で元素濃度を測定した。

3.実験結果

図-1 に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す。-1 hr とは初沈濃縮汚泥の添加 1 時間前を意味している。初沈濃縮汚泥の元素濃度は余剰汚泥と比較した場合、低い。初沈濃縮汚泥添加後の余剰汚泥の元素類濃度は添加前とほとんど変わらない。しかしながら、初沈濃縮汚泥の添加後に全濃度が増加した。これは貯留槽内の余剰汚泥の攪拌時間が短かったため均一に混合できず、底部

キーワード: 余剰汚泥 MAP 抑制 リンとマグネシウムの溶出 リン回収 リン酸カルシウム塩

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

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添加した時の方が無添加の場合よりも高くなり、初沈濃縮汚泥の添加によって余剰汚泥からの元素類の溶出が促進されることが分かった。これは余剰汚泥に含まれるポリリン酸蓄積細菌が嫌気状態の時かつ有機炭素源が豊富な時、P及び対イオンであるMgとKを放出するためである。

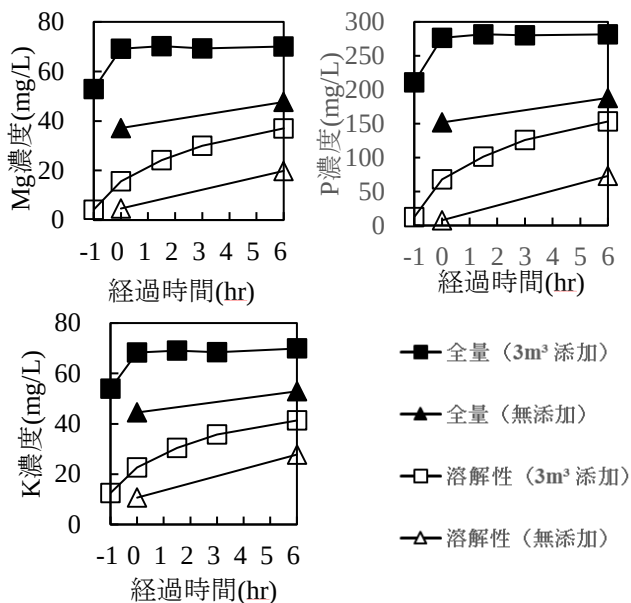


図-1 余剰汚泥のMg、P、K濃度の経時変化

表-1 に余剰濃縮汚泥の TS 当たりの元素量及び元素類の除去率と分離液中の元素類濃度を示した。なお、除去率は嫌気培養前後での余剰濃縮汚泥の元素量の差を嫌気培養前の元素量で除し、それを百分率にして算出した。初沈濃縮汚泥無添加の場合はMg、P、Kのそれぞれの除去率は15.9%、23.6%、33.7%であったが、添加した場合は51.2%、52.5%、57.6%と除去率が上昇した。一方、分離液の濃度は4.14 mg/L、8.79 mg/L、11.6

表-1 余剰濃縮汚泥の元素量及び元素類除去率と分離液の元素類濃度

元素	初沈濃縮汚泥	試料	嫌気化前	嫌気化後	除去率 (%)
Mg	無添加 2018年9月	濃縮汚泥 (mg/g TS)	7.36	6.19	15.9
		分離液 (mg/L)	4.42	17.6	
	3 m³添加 2018年8月	濃縮汚泥 (mg/g TS)	10.5	5.13	51.2
		分離液 (mg/L)	4.14	31.62	
P	無添加 2018年9月	濃縮汚泥 (mg/g TS)	32.8	25.1	23.6
		分離液 (mg/L)	5.63	63.4	
	3 m³添加 2018年8月	濃縮汚泥 (mg/g TS)	45.0	21.4	52.5
		分離液 (mg/L)	8.79	126	
K	無添加 2018年9月	濃縮汚泥 (mg/g TS)	7.64	5.07	33.7
		分離液 (mg/L)	9.35	25.6	
	3 m³添加 2018年8月	濃縮汚泥 (mg/g TS)	9.48	4.02	57.6
		分離液 (mg/L)	11.6	36.7	

mg/L から31.6 mg/L、126 mg/L、36.7 mg/L に上昇し、溶出した元素類が分離液に移行したことが分かる。

図-2 にCaCl₂溶液を分離液に添加し、pHを調整した場合での上澄み液中の元素類の全濃度及び溶解性濃度を示す。上澄み液とそのろ液の濃度に違いが無かったため、析出した化合物はほぼ沈降したことが分かる。なお、CaCl₂溶液を添加せずにpHのみを調整した場合は、沈殿は生じず、濃度に変化はなかった。pH 6.9が分離液の初期値であり、ここではCaCl₂溶液を添加していない。その後、CaCl₂溶液を添加し、pHを上昇させていくとPとCaの濃度が減少した。一方、MgとKの濃度も測定したが、K濃度は変化しなかったのに対し、Mg濃度はわずかに減少した。この結果より、この実験で析出した沈殿物はMgの化合物もわずかに存在するが、PとCaから成るリン酸カルシウム塩がほとんどであると推察でき、Pを沈殿物として回収できることが分かった。

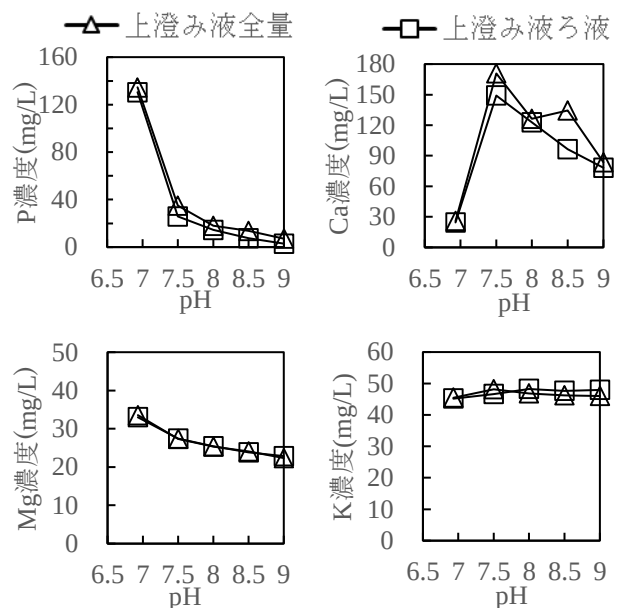


図-2 pHに対する分離液のP、Ca、Mg、K濃度

4.まとめ

有機炭素源として初沈濃縮汚泥を使用することにより余剰汚泥から元素類の溶出を促進できた。今後は初沈濃縮汚泥の添加量を変えて元素の溶出に必要な初沈濃縮汚泥の最適添加量を明らかにする必要がある。また、分離液中のPを沈殿物として回収できた。今後は分離液中に析出したリン酸カルシウム塩がどのような化合物として存在しているかを同定することや、分離液の液肥としての利用可能性について植物の栽培実験を行い検討する予定である。