

建設省土木研究所 正会員 安中徳二

〃 〃 京才俊則

〃 〃 〇太田久昭

1. はじめに

リン除去のため下水に硫酸バンドを添加し、凝集沈殿することによって発生する汚泥中には、多量のリン(P)、およびアルミニウム(Al)の反応物が含まれている。このバンド汚泥からP、およびAlが回収できれば、資源の有効利用が図れるとともに、下水処理で大きな問題となってきた汚泥の処理・処分の問題を軽減できる。バンド汚泥中の成分としてはリン酸アルミニウム $[AlPO_4]$ 、水酸化アルミニウム $[Al(OH)_3]$ 、有機物、無機物等が考えられ、 $AlPO_4$ 、 $Al(OH)_3$ は酸性域、およびアルカリ域でともに溶解する性質をもっている。酸性法は、すでに浄水場汚泥からAl回収法として実用化されているが、これをそのままバンド汚泥に適用すると、回収するバンド中に多量のPが含まれる。このため、再生バンドによるP負荷量の回復という矛盾が生じ、バンド汚泥からAl、およびPを酸性法、あるいはアルカリ法で回収する際に、最も大きな問題は溶解したAlとPをいかに分離するかである。この点に関し、酸性法を中心に次に示す4つの実験(1) AlとPの溶出特性、(2) pH調整によるAlとPの分別回収方法、(3) イオン交換樹脂を用いてAlとPを分別回収する方法、(4) 酸性法によるバンド汚泥量の変化について若干の知見を得たのでここに報告する。

2. 実験に使用したバンド汚泥

実験に使用した汚泥は、横須賀パイロットプラント、および京都パイロットプラントにおいて、二次処理水にバンドをそれぞれ6.5、5.2%添加し、凝集沈殿から発生した汚泥を濃縮したものと、西山処理場でエアレーションタンクにバンドを4.0%添加して、発生した余剰汚泥を濃縮したもので、その性状を表一に示す。

表一 バンド汚泥の性状

項目	プラント名	横須賀	西山	京都
pH		6.94	6.87	7.00
SS(mg/l)		9,910	15,950	8,570
VSS(mg/l)		360	590	480
Al(mg/l)		175	90	170
P(mg/l)		32	42	55
Fe(mg/l)		6.2	27	6.7
含水率(%)		98.2	98.2	99.1

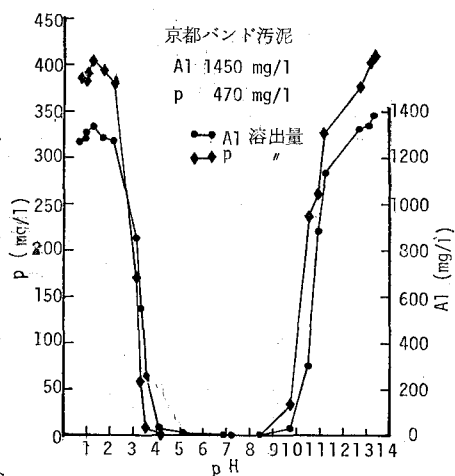
3. 実験結果と考察

(1) AlとPの溶出特性

バンド汚泥に酸、アルカリを加えpH値を変えることによって、AlとPがどのように溶出するかを調べた。京都バンド汚泥に、 H_2SO_4 とNaOHを加えpH調整をした結果を図一に示す。図より、バンド汚泥中のAlは酸性側でpH3~4、アルカリ側でpH10付近で溶出し始め、pH2とpH13でほぼ溶出が終了する。横須賀・西山バンド汚泥についても同じ傾向があり、pH2における溶出率は、原汚泥と比べ京都・横須賀・西山バンド汚泥でそれぞれ87%、97%、75%であった。一方、Pの溶出はAlとほぼ同じ傾向を示し、Alより多少づれて溶出する。これは、 $Al(OH)_3$ と $AlPO_4$ の溶解度の差と思われる。すなわち、 $Al(OH)_3$ の方が中性に近いpHで溶出を開始すると考える。

(2) pH調整によるAlとPの分別回収方法

この方法は、バンド汚泥中に含まれている $Al(OH)_3$ と $AlPO_4$ の溶解度の差を利用して、Alの溶解度がPの溶解度より大きい領域(



図一 AlとPの溶出曲線

pH 3~4) に pH を制御し、Al と P を分別するものである。例えば、pH 3 に制御すると横須賀・西山・京都バンド汚泥では Al/p のモル比は、それぞれ原汚泥の 1.2、1.2、2.1 倍となるが、Al の溶出は原汚泥のそれぞれ 83%、28%、65% である。このことから、pH による溶解度を利用して Al と P を分別すると、Al の溶出量を低くとり、Al の純度を低下させるかしなければならぬのでこの点に大きな問題があると考えられる。

(3) イオン交換樹脂を用いて Al と P を分別回収する方法

バンド汚泥に、硫酸を加えて pH を 2 まで下げ、Al と P をほぼ 100% 溶出させた酸処理溶液の Al を陽イオン交換樹脂に吸着させ、樹脂が飽和に達したところで食塩水で再生すると、P を含まず純度が高く、しかも高濃度で一定濃度の再生 Al が回収できると考えられる。実験は、強酸性陽イオン交換樹脂 IR-124 を用いて、通液・逆洗・再生・押し出し・洗浄の順で行った。実験条件と結果の総括を表-2 に示した。再生により樹脂中の Al は Na と交換され AlCl₃ の形で溶出する。一方、P はリン酸イオンとして存在すれば、陽イオン交換樹脂に吸着しないが、再生 Al 中に P が検出されるのは、酸処理溶液中の Al・Fe 等の金属で錯体等を形成し、一部は樹脂にイオン交換されて Al とともに再生 Al 液中に溶離してくるためと考えられる。表-2 より、酸処理溶液と Al 濃度が 4,000 mg/l 以上の再生 Al の Al/p のモル比は 5~18 倍になっている。また、Al の濃度は 3~5 倍に濃縮された。以上より、イオン交換樹脂を使用することによって当初の目標である Al と P の分別と Al の濃縮は十分に期待できる。しかし、通液によって交換された Al をすべて再生によって回収することはできない。再生されずに樹脂中に残存する Al 量、交換 Al 量、再生 Al 量がイオン交換樹脂を繰り返し使用することによって、どのように変化するかを調査するため、京都バンド汚泥で 3 回の繰り返し実験を行った。表-2 より、再生されずに吸着している Al 量は減少の傾向があり、再生 Al 量は樹脂を繰り返し利用すると一定レベルに落ち着くものと予想される。平均は 1.79 当量で、これは本来の交換容量 2.2 当量の 81% にあたる。酸性法による Al 回収費用を、薬品費のみ、京都バンド汚泥の結果から横算すると、619 円/kg Al になる(硫酸 15 円/kg、NaCl 30.7 円/kg とした)。これを、購入バンド費用 355 円/kg Al (Al₂O₃ 8% のバンド溶液 15 円/kg とした) と比較すると 74% 高くなる。

表-2 イオン交換による実験結果

プラント名		横須賀		西山		京 都	
項目		1	2	1	1	2	3
実験条件	繰返し回数	1	2	1	1	2	3
	再生液濃度 (%)	10	20	10	10	10	30
	再生レベル (Al/p-R)	220	300	330	250	300	300
	脱イオン時の SV (%)	10	5	10	10	10	10
酸処理液	Al (mg/l)	1990	1860	1020	1470	1610	1470
	p (mg/l)	320	320	310	370	450	390
	Al/p のモル比	7.14	6.67	3.78	4.56	4.11	4.33
	再生						
再生 Al	Al (mg/l)	5880	5710	5300	7080	6050	6400
	p (mg/l)	50	190	330	360	350	340
	Al/p のモル比	135	34.5	18.4	22.6	19.8	21.6
イオン交換	通液によって交換した Al 量 (g)	1.94	1.48	1.92	2.38	1.84	1.78
	再生によって得た Al 量 (g)	1.37	1.29	1.41	1.66	1.87	1.83
	再生できなかった Al 量 (g)	0.57	0.76	0.50	0.72	0.68	0.63

① Al 濃度が 4,000 mg/l 以上を平均したもの

(4) 酸性法によるバンド汚泥量の変化

バンド汚泥に酸を加えると、pH 3~4 で AlPO₄ および Al(OH)₃ 等が溶出を始めるため汚泥は減少するので、汚泥の処理・処分にも利便性がある。結果の一例を示すと、京都バンド汚泥 (SV は 8,300 ml/g) を pH 2 で酸処理すると、SV は 2,900 ml/g になり、酸処理することによって SV は 36% に減少した。このことから、酸処理すれば大幅な汚泥の処理・処分量の減少が期待できる。

4. まとめと今後の課題

以上の結果をまとめると、(1) バンド汚泥の Al と P は pH 2 で、京都・横須賀・西山バンド汚泥では、それぞれ 87%、97%、75% 溶出した、(2) pH 調整による Al と P の分別は、Al の溶出量を低くとり、Al の純度を低下しなければならぬので実用性に欠けると考えられる、(3) 酸処理汚泥をイオン交換することによって、再生 Al の濃度は、酸処理汚泥の 3~5 倍に濃縮され、Al/p のモル比も 5~18 倍になる、(4) バンド汚泥は酸処理することによって、大幅な汚泥の処理・処分量の減少が図れる。今後、アルカリ法による Al と P の回収の検討、酸処理汚泥の脱水性の把握、P の回収と使途等の検討、イオン交換樹脂の繰り返し実験、およびバンド汚泥の濃縮割合の検討する必要がある。