

活性汚泥処理における貯留汚泥からのリン溶出と凝集剤による抑制効果

木内浩一 小島博義* (*：千葉県環境生活部水質保全課)

1 はじめに

県の水質汚濁防止法に係る事業場立ち入り検査ではリンの基準超過数が常に上位を占めている。それらの事業所では主に活性汚泥による処理が行われている。

活性汚泥処理におけるリンの除去は増殖した余剰汚泥を引き抜いて系外に排出することによってなされている。かつて、嫌気・好気法による活性汚泥施設でリンの除去¹⁾が試みられたが、実機ではリン溶出の制御が難しく、現在のリンの除去法は凝集沈殿に比重がおかれている。

現在、事業場等における活性汚泥法においては、沈殿汚泥を汚泥貯留槽に貯留し、それを脱水または搬出しており、汚泥に取り込んだリンが放出されることにはあまり注意が払われていない。そのため、汚泥貯留槽から浸出したリンを含む上澄みや汚泥脱水時のろ水が原水槽に戻り、排水処理施設に再びリンの負荷をかけている²⁾。

この対処法として、汚泥貯留槽に凝集剤を注入してリン溶出を抑制する方法が考えられ、その効果を明らかにするため実験を行った。実験は処理方式、業種が異なる事業場の排水処理施設の汚泥を対象とし、貯留汚泥からのリンの溶出量を明らかにするとともに、凝集剤の注入によるリン溶出の抑制効果について検討を行った。

2 実験方法

事業場の排水処理施設の活性汚泥槽の汚泥を硬質性ガラス瓶に密閉保存することで、汚泥貯留槽の状態を再現し、リン溶出の挙動と凝集剤の注入によるリン溶出の抑制効果を実験により検討した。

採取した汚泥はばっ気、攪拌した後、試料の一部を直ちにろ過し、0日目用の試料とした。一部については凝集剤を注入、20分ばっ気して攪拌した後、いずれも500mL瓶に充填し、20℃の恒温

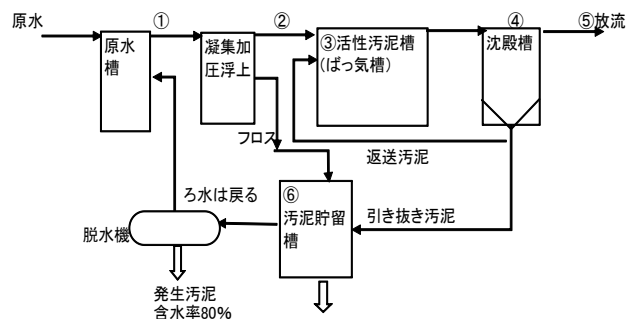


図1 処理工程図

槽に保存した。これらは0, 1, 2, 4, 7, 14, 21日後に1本ずつ取出せる本数を用意した。一定の日数後にこれを取り出して開栓し、GF/C(0.45 μm)のろ紙でろ過し、ろ液のリンを測定した。測定方法はJISK0102.46.3 モリブデンブルー吸光光度法によった。

なお、参考のため窒素についても、JIS K0102.45.5の方法により定量した。

汚泥貯留槽の酸化還元電位は通常0～-200mVである。実験に先立ち硬質性ガラス瓶に汚泥を充填して酸化還元電位を測定したところ、-180mVから-230mVを保つことができ、汚泥貯留槽の状態を再現できると考えた。さらに、分析の際、同一の瓶から複数回にわたって試料を振とう、採取すると、嫌気状態が保てなくなると判断し、所定の分析時ごとに1瓶ずつ開栓した。

実験に使用した活性汚泥は①水産加工業②豆腐製造業、③弁当製造業の排水処理施設から採取した。①水産加工業の汚泥のMLSSは約5700mg/L、汚泥中のリン含有量は26.3mgP/gMLSS、窒素含有量は約57mgN/gMLSSであった。②豆腐製造業で使用した汚泥はMBR槽から採取し、MLSSは13000mg/L、リン含有量10.2mgP/gMLSS、窒素含有量66mgN/gMLSSであった。③弁当製造業で使用した汚泥はばっ気槽から採取し、MLSSは5400mg/L、リン含有量11.6mgP/gMLSS、窒素含有量80mgN/gMLSSであった。

凝集剤は使用例の多い PAC（ポリ塩化アルミニウム）、塩化第二鉄をそれぞれ 30, 50, 100ppm（PAC は Al_2O_3 として、Fe は単体濃度として）の 3 段階で注入した。

また、凝集沈殿の代わりに MBR（膜分離活性汚泥処理）槽に直接、凝集剤を注入してリンを除去する処理方式がある。この方式で PAC を 30ppm 注入している水産加工業の汚泥を使用し、リン溶出の挙動を通常の活性汚泥の場合と比較した。

3 実験結果

3・1 凝集剤注入の有無によるリン溶出経日変化

図2は①水産加工業の処理施設から採取した汚泥を試料として、PAC 注入によるリン溶出の変化をみたものである。各試料とも時間経過によりリン酸態リン（以下「 $\text{PO}_4\text{-P}$ 」と記す。）濃度は増加する傾向であった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は PAC の注入量によって 0 日目から差がみられ、注入量が多い程リンの溶出は抑制されていた。7 日後まではリン溶出が継続するが、それ以降、溶出量はほとんど増加しなかった。なお、各試料の溶出 TP（全リン）と $\text{PO}_4\text{-P}$ は同値であり、溶出した TP の全てが $\text{PO}_4\text{-P}$ であった。

図3は、図2と同じ汚泥試料を使用し、塩化第二鉄を使って同様な実験を行ったものである。PAC を注入した結果と同様、注入量が多い程リンの溶出は抑制されていた。また、時間経過によりリン濃度が増加する傾向も同様であった。

3・2 溶出速度の測定結果

①の汚泥で PAC30ppm を注入した場合のリン溶出の抑制効果を算出した。凝集剤（30ppm）注入した場合、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、無注入に比べ、実験開始直後で約 20mg/L 低く、その後の経時変化において濃度差は 30 ～ 40mg/L で推移した。また、無注入試料の 7 日間のリン溶出量は、1 週間ごとに 13.4mg/g、1.35mg/g、0.88mg/g となり、実験に使用した汚泥中のりん含有量 26.3mg/g のうち約 51% が最初の 1 週間に溶出したが、PAC30ppm では 23%

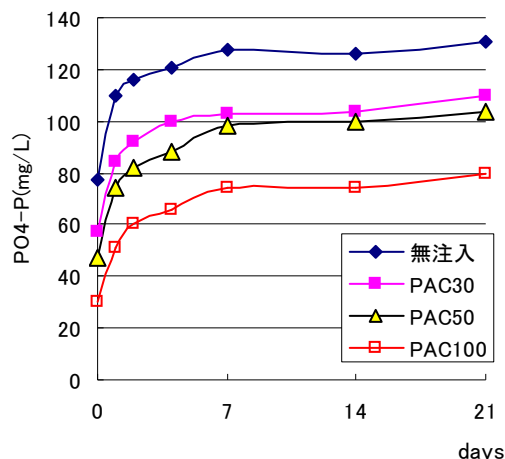


図2 PAC注入での溶出変化
（水産加工業の汚泥）

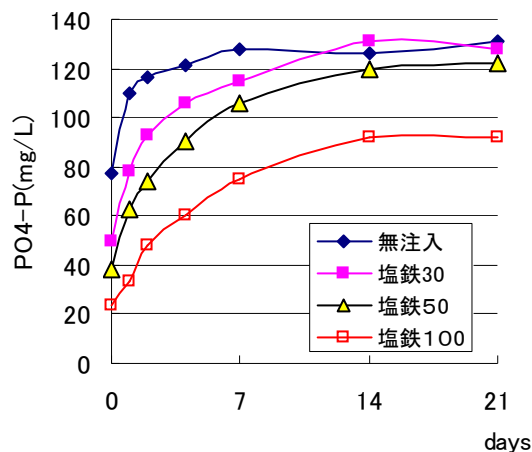


図3 塩化第二鉄注入での溶出変化
（水産加工業の汚泥）

にとどまった。図4に単位汚泥重量あたりのリン溶出速度を示した。溶出速度は各 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の測定値を測定間隔で除した。中央差分としたため、日数に端数が出ている。時間的に初期にあたる 0.5 日後の溶出速度に大きな差がみられ、無注入は 6.4mg/g/日であり、PAC30ppm 注入では 3.2mg/g/日と無注入の半分であった。この 0.5 日後の値は 0 日と、1 日後の平均の溶出量である。1.5 日以降は両者の溶出速度にほとんど差はなかった。

3・3 業種の違いによるリン溶出割合

各業種の汚泥について同様な実験を行い、その結果得られた汚泥重量当たりのリン溶出量 (mg/P/gMLSS) を図5に示した。汚泥重量当たりの

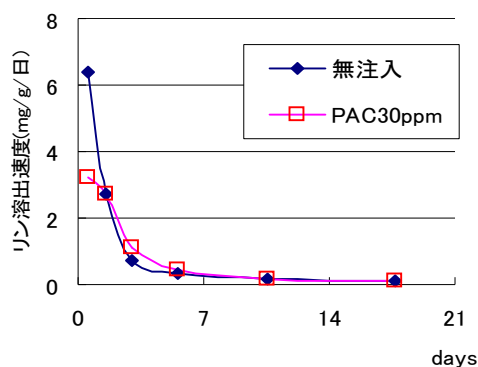


図4 PAC注入によるリン溶出速度

リン溶出量は業種によって異なっていた。

②豆腐製造業で採取した汚泥は日数の経過により $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は上昇するものの、①の実験でみられた 0 日から 1 日までの $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の急激な上昇はなかった。汚泥中の含有リン量 10.1mg/g のうち、7 日で溶出するのは 2.3mg/g で全体の約 23 %、14 日に溶出するリンは 37 %であった。TP 濃度の増加は①水産事業所の実験結果に比べて穏やかであった。

③弁当製造業の汚泥での結果は、②に比べて初期の溶出はあったが、21 日後までの溶出量は②を下回った。

21 日後のリン溶出量は業種①水産加工業は 18.0mgP/gMLSS 、であったが、②豆腐製造業、は 4.44mgP/gMLSS 、③弁当製造業は 3.33mgP/gMLSS となった。溶出量について差が見られた原因として、まず、汚泥中のリン含有量（① 26.3mg/g 、② 10.2mg/g 、③ 11.6mg/g ）の影響が大きいと考えられた。さらに、溶出量を汚泥中のリン含有量で除した結果について図6に示した。これは汚泥中からのリンの溶出割合となる。その結果は①では約 70 %のリンが溶出するのに対し、②では 42 %、③では 30 %にとどまった。

3・4 MBR槽に凝集剤を注入した汚泥の溶出割合

MBR 槽に直接凝集剤を注入している施設の汚泥の汚泥重量あたりのリン溶出量変化を図7に示す。当該事業場は水産食料品製造の事業場で、MBR を 2 系列 (No.1 系, No.2 系) 備え、PAC を流入原水に対して約 30ppm 注入している。汚泥採取日の

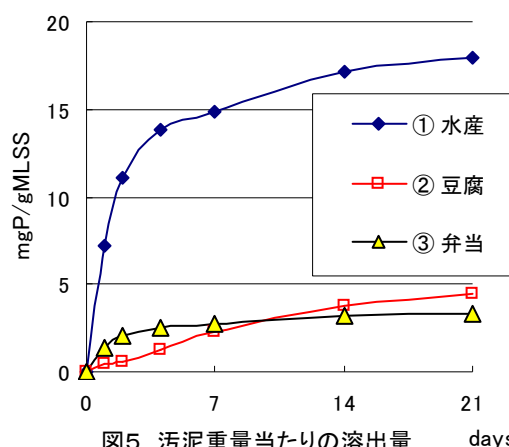


図5 汚泥重量当たりの溶出量

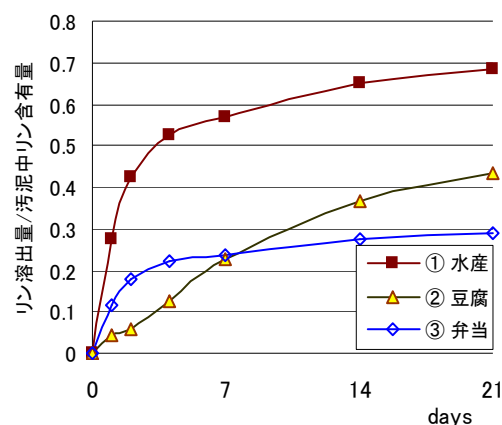


図6 汚泥中のリン溶出割合

MLSS はそれぞれ 15000mg/L 、 12000mg/L 、汚泥中のリン濃度は 23.5mgP/gMLSS 、 24.0mgP/gMLSS であった。濃度のピークは両系列とも 7 日後にあり、終局溶出量はそれぞれ 0.05mgP/gMLSS 、 0.09mgP/gMLSS となり、リンの溶出はほとんどなかった。この結果から MBR に直接凝集剤を注入してリンを除去する方式は貯留後の汚泥の溶出を防ぐこともできるといえる。

3・5 凝集剤注入量とリン溶出削減量の関係

凝集剤の注入量とリン削減量の関係について検討した。①水産加工業の汚泥における凝集剤注入別の 7 日後のリン溶出量を MLSS で除した値について図8に示した。PAC100ppm を上限として注入量と除去量の関係はほぼ直線性を示し、無注入の 22.5mgP/gMLSS から 100ppm 注入の 13mgP/gMLSS

へと 42 %が削減された。塩化第二鉄についてもほぼ同様な結果を得た。

図9は②豆腐製造業の汚泥について同様な実験を行った結果である。PAC100ppm を注入すると無注入の 3mgP/gMLSS から 0.75mgP/gMLSS へ 75 %削減された。①と②は無注入の汚泥のリン溶出割合はかなり相違があるが、両者とも 100ppm 注入の範囲で、リン削減に直線性を保つことから、一般的に注入量に対する効果について推定することが可能と思われる。

4 考察

汚泥はばっ気槽から一定量が毎日引き抜かれて、汚泥貯留槽に入る。中小の事業場や合併浄化槽では、外部委託による汚泥の搬出処分は3週間から1か月に1回の間隔で行われている。通常、汚泥貯留槽から溢れた上澄みは原水槽に戻る構造になっているため、今回の調査から相当量のリンが原水槽に回帰している事が判った。

そのため、脱水機を備えている事業場では、汚泥貯留槽の汚泥を速やかに脱水する必要がある。

また今回の実験から汚泥を引き抜く際に汚泥貯留槽に凝集剤を注入することは、リン溶出の抑制に役に立つことが判った。さらに、MBR 直接注入でリンを除去する方法では、凝集沈殿の代替法としてばかりでなく、汚泥を貯留した後もリンの溶出抑制に効果があることが判った。

5 まとめ

実排水処理施設の活性汚泥槽の汚泥を硬質性ガラス瓶に密閉保存することで、汚泥貯留槽の状態を再現し、リン溶出の挙動と凝集剤の注入によるリン溶出の抑制効果について検討した。

1) ①水産加工業の汚泥によるリンの溶出は7日目までが多く、それ以降はほとんど溶出量の増加はなかった。

2) 凝集剤 PAC (30ppm) 注入の①水産加工業の汚泥中の $\text{PO}_4\text{-P}$ は、無注入に比べ、実験開始直後で約 20mg/L 低く、その後の経時変化において濃度差は 20 ~ 40mg/L で推移した。

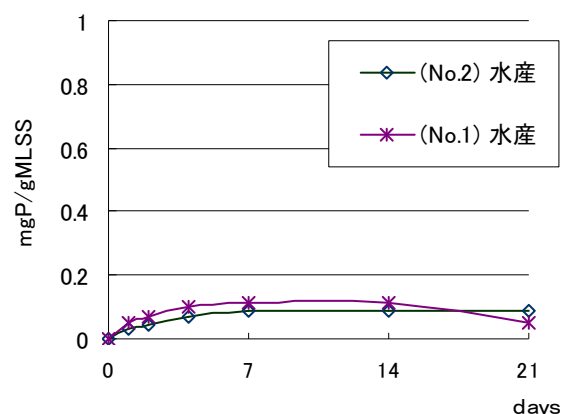


図7 汚泥重量あたりの溶出量
(MBR槽に凝集剤を直接注入)

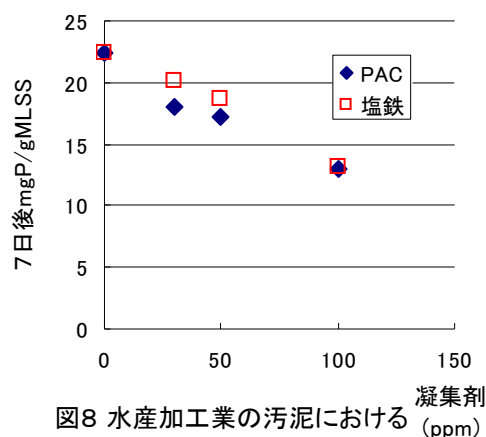


図8 水産加工業の汚泥における凝集剤の効果

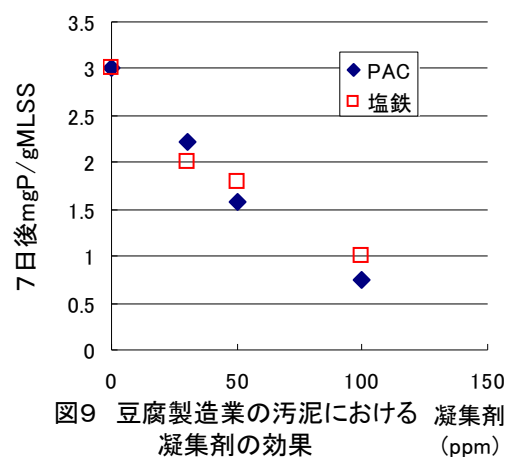


図9 豆腐製造業の汚泥における凝集剤の効果

3) 0.5 日後における単位汚泥重量あたりリン溶出速度は無注入で 6.4mg/g/日, PAC 注入で 3.2mg/g/日であった。

4) 各業種の汚泥について同様の実験を行ったところ、汚泥から溶出するリン量、汚泥含有量に対する溶出の割合は業種によって違いがみられた。

5) MBR 直接注入の汚泥の溶出量は 0.10mgP/g MLSS となり、①に比べて極端に低く、貯留汚泥に対する MBR 直接注入の効果が確認できた。

6) 業種によらず PAC、塩化第二鉄凝集剤注入の増加に伴いリン溶出量は直線的に減少する傾向がみられ、凝集剤の注入によるリンの溶出の抑制効

果が推定できると考えられた。

参考文献

1) Barnard, J.L. : a Review of Biological Phosphorus Removal in the Activated Sludge Process. Water S.A., 2(3) 136 (1976)

2) 落合寿昭：嫌気好気活性汚泥法の余剰汚泥の処理技術，用水と廃水，Vol30, No.1 (1988)

Phosphorus Release from Sludge in Activated Sludge Process and the Restriction of its Release Using Metal Salts and Polymers

Koichi KIUCHI Hiroyoshi KOJIMA

千葉県では水質汚濁防止法により事業場からリンの排出濃度を規制している。有機汚濁排水の処理には活性汚泥処理法を使うが、貯留汚泥からリンが溶出するため、排水中のリン除去は容易でない。

この対処法として汚泥貯留槽に凝集剤を注入してリンの溶出を抑制することが考えられ、そのための実験を行った。汚泥貯留槽に入った汚泥の嫌気状態を再現するために、水産食料品製造業、豆腐製造業や弁当製造業の処理施設で採取した活性汚泥を密栓して瓶に詰め、時間をおいて溶出したリンの濃度を測定した。さらに、凝集剤である PAC や塩化第二鉄を汚泥に注入し、無注入の場合とリン溶出量を比較した。

その結果、凝集剤を注入することにより、大幅に汚泥からリン溶出を抑制できることがわかり、活性汚泥の汚泥貯留槽に注入することで事業場のリン削減に役立てることができることがわかった。

キーワード； 活性汚泥処理，貯留汚泥，リン溶出，凝集剤，塩化第二鉄，PAC（ポリ塩化アルミニウム）