

論文審査の結果の要旨

氏名 廣岡佳弥子

下水道システムから発生する廃棄物である「余剰汚泥」をどう処理・処分するかは、下水道全体の管理にとって大きな問題となってきた。その処理・処分の技術的な難しさに加え、そこに必要な建設および運転のためのコストは大きく、また、最終処分地の切迫が状況をさらに難しくしている。その中で、余剰汚泥を再利用するかあるいは減量化する技術がともに社会的な注目を集めている。本論文で対象としている「余剰汚泥減量型活性汚泥法」とは後者をめざした技術と位置づけられる。一般的な下水処理の一つである活性汚泥法において、汚泥の一部を可溶化処理し曝気槽に戻することで汚泥の消化率を上げ余剰汚泥発生量を減量する手法である。この方法は、大規模な汚泥再利用が難しい中小下水処理場や、内陸部にあって汚泥の処分地がない地域で期待されている方法であり、すでにいくつかの実規模プラントが稼働している。

一方、余剰汚泥減量型活性汚泥法を長期運転したときに下水中の不溶性無機物質が汚泥に蓄積される可能性が指摘されてきた。無機物の含有量が相対的に増えると処理性能へのさまざまな影響が懸念されるのに、活性汚泥プロセス中の無機物の挙動に関してはデータをとるのに時間と労力が必要となるためこれまでほとんど研究されてこなかった。

本論文は、無機物の汚泥内蓄積が予想される余剰汚泥型活性汚泥法中の無機物の收支を、その全量のみならずいくつかの重要な金属元素について個別に測定し、本法における無機物質の挙動を明らかにすることを試みたものである。

本論文は7章からなる。第1章は研究の背景、目的を説明している。第2章では本研究に関連する既存の知見を整理している。第3章では本論文で使用した共通の分析方法を記述している。

第4章以降が実験結果を記述した章である。第4章では、実際の下水処理場内に設置した余剰汚泥減量型活性汚泥法と標準活性汚泥法の実験プラントを用いて約1年にわたって都市下水処理実験をおこない、両者の運転過程での無機物質の挙動を詳細に測定した結果について比較検討した。なお、本章での実験では余剰汚泥減量型活性汚泥法の汚泥可溶化手法としてオゾン処理を用いている。まず、無機物質の全量は標準法に比べて余剰汚泥削減型のほうにより多く蓄積し、長期運転(2~3ヶ月程度)では飽和する傾向が確認できた。個別の金属の汚泥内蓄積量(含有率)を見ると、Al, Ca, Fe, Cu, Znでは、標準法に比べて余剰汚泥減量型で大きくなつたが、ある程度以上はその差が広がらなかつた。Niは測定期間を通じて、余剰汚泥減量型活性汚泥法により多く蓄積される傾向があつた。反対にMnのように余剰汚泥減量型活性汚泥中の蓄積量が通常の活性汚泥法に比べて少なくなる元素があることがわかつた。また、Naは通常の活性汚泥法の場合と違いがなかつた。一方、物質收支を見ると、Na, Caは溶解性で流入したほぼ全量がそのまま溶解性として

処理水に流出した。Al、Fe、Cu、Zn は固形性で流入する割合が大きく、それらは大部分が活性汚泥中に一度蓄積し、処理水中固形分として流出するか余剰汚泥として引き抜かれない場合は系内に蓄積するという傾向がわかった。また Mn は Na・Ca と Al・Fe・Cu・Zn の中間のような挙動をとり、溶解性で流入する割合が大きく、また溶解性で流出する割合も Al、Fe、Cu、Zn に比べて大きかったが、全部が溶解性で流出するわけではなく、一部は活性汚泥に蓄積した。

第 5 章では、流入水として人工的に作成した模擬下水で溶解生の無機物質のみを含むものを用いた室内実験により、オゾンおよび好熱性細菌をそれぞれ汚泥可溶化手法にもちいた余剰汚泥減量型活性汚泥法と標準法における無機物の挙動を解析した。4 章の結果と同様に、余剰汚泥削減型活性汚泥法の活性汚泥には Cr、Fe、Ni、Cu、Zn、P が蓄積され、逆に Mn は蓄積しなくなることがわかった。また、物質収支から、これらの金属元素の挙動は主に 3 つのグループに分類できることがわかった。つまり、余剰汚泥の引き抜きがない場合、Cr や Cu などの元素は活性汚泥中に蓄積を続け固形分あたりの含有量を増やし、処理水中の固形性成分として系外に出ていく分が流入量とつりあいが取れるまで増加を続けた。一方、Mn のように余剰汚泥を引き抜きがない分、処理水中に溶解する分が増加して流出することで流入とのバランスをとる元素があった。また Fe はこれらの中間的な挙動をし、活性汚泥に蓄積して処理水の固形性として出て行く分を増やしつつも処理水中の溶解性濃度も増加させ、両方の効果から流入とのバランスをとった。次に、汚泥可溶化処理としてオゾン処理と好熱性細菌を用いる手法を比較した結果、Cu の蓄積速度や Mn の減少速度に明らかに違いが出た。Cr や Ni、Zn のようにほぼ全く影響がないものもあった。また流入下水中から EDTA を除いたところ Fe、Cu、Zn、Pb の汚泥への蓄積傾向が増加した。特に Zn と Pb に与えた影響は著しかった。しかし Cr、Ni には影響はほとんどなかった。

第 6 章では、自分の取ったデータだけではなく、余剰汚泥減量型活性汚泥法に於いて無機物質の総量を長期間モニタリングした既発表データを集め、その長期的な変化の一般的傾向を解析した。その結果、余剰汚泥減量型運転を続けることによって、活性汚泥中の無機物質の割合が増加し、無機物質の割合が一定値になると増加は止まることを再確認した。この時、固形性無機物質の物質収支の計算をおこなったところ、全ての余剰汚泥削減型活性汚泥法のプラントでは無機物質の流入量に比べて系外に出て行く総量が小さくなつた。これは、固形性で流入した無機物質の一部が固形性以外の形態で流出したという可能性を示唆している、すなわち溶解性形態、は非常に小さな粒子になり、処理水中の SS として捉えられずに流出するようになったという可能性が示唆された。

以上、本論文は、これまで研究事例のきわめて限られていた余剰汚泥削減型活性汚泥法の運転における無機物質の挙動を長期にわたって測定し、個別の金属元素の汚泥内蓄積量や物質収支からそれらの挙動を詳細に記述したもので、研究の少なかつたこの分野に非常に貴重なデータを提供した。そればかりでなく、個別の金属の挙動に対し理由付けを試み、今後の研究に対して有効な指針を示した。その成果は、排水処理技術としての余剰汚泥削減型活性汚泥法の発展と体系化に重要な基礎を与えており、環境学の発展に大きく寄与するものである。したがつて、博士（環境学）の学位を授与できると認める。