

物理学的処理による汚泥の液化特性と溶出有機物質の 生物分解性に関する基礎的研究

Liquefaction Characteristics of Sewage Sludge by Physical Treatment and Biodegradability of the Organic Materials from Liquefied Sludge

西村文武

Fumitake Nishimura*

Abstract; Reduction of sewage sludge is one of the most interested matters in domestic wastewater treatment. It has been reported that incorporation of sludge liquefaction and biological degradation process can reduce excess sludge production. The mechanism is to promote mineralization of sludge by repetition of liquefaction of sludge and metabolism of the organic compounds derived from the liquefaction. Several methods have been devised and applied for sludge liquefaction, however the detail investigation such as the material release associated with the liquefaction and its biodegradability has not been figured out.

In this study, liquefaction characteristics of sewage sludge were firstly investigated. Ultrasonic irradiation and heating treatment were applied as physical treatments, and biodegradability of the organic materials from liquefied sludge by these treatment were also investigated. Sludge was liquefied by ultrasonic irradiation and heating treatment, however sludge component was not a uniform state in these liquefaction methods. About 20% of sludge component was able to be liquefied easily, whereas the other parts was not liquefied. Organic materials from liquefied sludge were also degraded biologically, but some part was not taken in. Most part of the non biodegradable component was carbohydrate, and it is suggested that the removal of the component can be the key part to develop new treatment system which incorporates sludge liquefaction process.

Key words: ultrasonic irradiation, heating treatment, sludge liquefaction, biodegradability

1. はじめに

活性汚泥法は、生物学的排水処理法の中で最も採用例の多い技術であり、排水中の有機物の一部は生物学的作用により水と二酸化炭素にまで分解される。この割合は3-4割程度^[1]であるといわれ、残りの有機物は、余剰汚泥として水処理工程から汚泥処理工程へと移行され処理される。したがって、安全な処理水水質レベルを確保することに加え、この余剰汚泥の処理・処分をも確実に行うことが、下水道による環境保全という観点からは必要不可欠な事項となる。下水道整備の進展、普及率の向上は、余剰汚泥発生総量増大にも繋がることになる。しかし一方で、産業廃棄物最終処分場の残余年数は、平成14年4月時点で全国平均4.3年^[2]であり、汚泥削減をも含めた余剰汚泥対策が

* 愛媛大学大学院理工学研究科

* Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

平成18年11月10日 受付, 平成19年1月31日 受理

緊急の課題となっている。

近年、下水処理場で発生する余剰汚泥そのものを減らす汚泥減量化の技術が様々に提案されており注目を集めている^{[3],[4],[5],[6],[7],[8]}。その原理は、生物体である汚泥を何らかの方法で可溶化または液化し、再度微生物に代謝させ無機化を促進させることである。しかし、処理方法によって溶出する物質、その量、速度、物質構成に差があると考えられる。本研究では加熱、超音波処理により汚泥がどのように変化し液化するのか、定量的に評価するとともに、液化汚泥を有機源とした場合の生物利用性についても検討し、汚泥液化-微生物による再代謝を繰り返すことによる汚泥発生量の削減方法について検討した。

2. 実験方法

2-1. 加熱処理による液化特性把握実験

汚泥を加熱処理し、固形物や溶出物質の経時変化を測定することで評価した。蓋付き試験管、2Lのステンレスカップ、温度調節機、ホットプレートスターラーを用いた。汚泥はM市浄化センターより採取した返送汚泥を使用した。採取した汚泥を遠心分離(3000rpm, 3分間)し、蒸留水で2回洗浄したものを活性汚泥混合液として実験に供した。

まず、それぞれ蓋付き試験管にSS濃度が4000(mgSS/L)程度の活性汚泥混合液を40(mL)分取した。それらを水浴中で加熱し、一定時間間隔毎に試験管を取り出し、冷却後、SS、pH、T-N、S-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、S-P、PO₄-P、DOCの分析に供した。水浴の設定温度は50、70、90(°C)とした。水浴の温度を一定に保つために温度調節機を使用し、その温度が均一になるようホットプレートスターラーにて攪拌した。比較対象として加熱処理していないものを使用した。この実験装置の概要をFig.1に示す。

2-2. 超音波処理による液化特性把握実験

汚泥を超音波処理し、その経時変化を測定する。実験用具としてスチール缶(直径53.08mm、高さ99.38mm)、2Lのステンレスカップ、超音波発生器(KUBOTA UP200H)、ホットプレートスターラー、温度調節機を使用した。まず、スチール缶にSS濃度が4800(mgSS/L)程度の活性汚泥混合液を100(mL)とり、水浴の中に設置し、超音波処理した。試料の温度は20、30(°C)、処理時間は10、20、30(min)、超音波照射強度は最大出力(200W)に対して20、40、60(%)なるように各々設定した。超音波の周波数は24(kHz)、照射間隔は1(s)[0.5(s)照射 0.5(s)停止]、電流は4(A)で一定とした。比較対象として超音波処理していないものを使用した。この実験装置の概要をFig.2に示す。

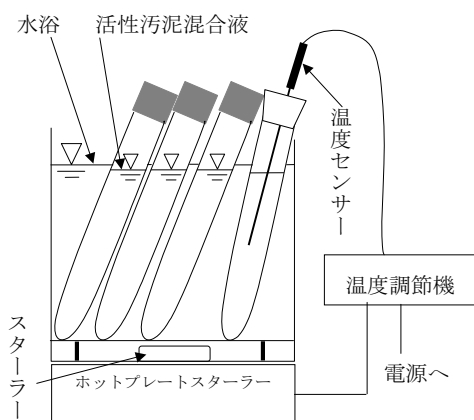


Fig.1 Experimental apparatus of heating treatment

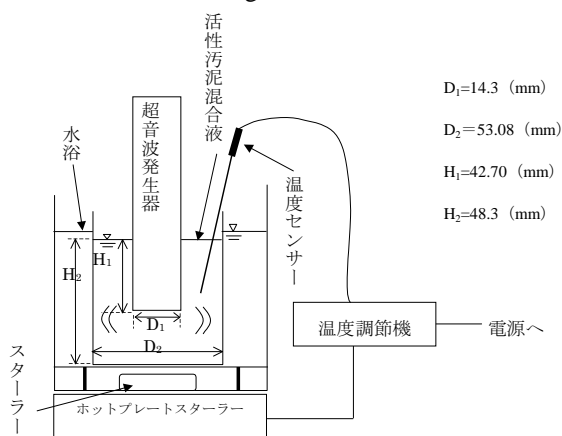


Fig.2 Experimental apparatus of ultrasonic irradiation

2-3. 超音波処理による溶出有機物質の生物分解性把握実験

超音波処理によって溶出する溶出有機物質の生物分解性を調べるために、好気的条件下で処理ろ液の生物分解を回分式実験により実施した。処理ろ液は、SS 濃度が 4800 (mgSS/L)程度の活性汚泥混合液に出力 60(%)、30(min)の条件で超音波処理し、0.2 μ m のメンブレンフィルターでろ過し得た。超音波の周波数は 24(kHz)、照射間隔は 1(s)[0.5(s)照射 0.5(s)停止]、電流は 4(A)で一定とした。また、対象系はグルコース溶液とし、その濃度は処理ろ液の DOC 濃度と同程度になるように調整した。

まず、500mLのビーカーを反応槽とし、ビーカーに超音波処理後のろ液と対照系であるグルコース溶液をそれぞれ 400(mL)入れ、NH₄Cl 溶液(300mgN/L)を 10(mL)、KH₂PO₄溶液(300mgP/L)を 2(mL)、NaHCO₃溶液(2800mgNaCO₃/L)を 10(mL)、活性汚泥をMLSS濃度 3000(mg/L)程度になるように加えて開始した。実験開始後、適時一定量の試料を採取し分析に供した^[9]。反応槽内を好気的条件下にするためにセラミック製散気管を用いて曝気した。また反応槽内が 25°Cに維持されるように、ヒーターと攪拌ポンプを使用した水浴中で実施した。実験装置の概要をFig.3 に示す。

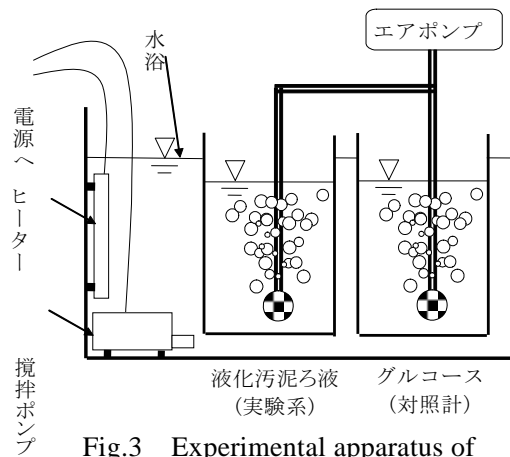


Fig.3 Experimental apparatus of biodegradability test

3. 結果および考察

加熱及び超音波(加熱条件: 30°C)処理時での SS 濃度の経時変化を Fig.4 と Fig.5 に示す。超音波処理の方が加熱処理よりも短時間でより多くの SS が減少する結果となった。加熱処理では、初期に液化が見られるが、それ以降は継続しても著しい変化は期待できなかった。細胞表面を取り巻く高分子物質の溶解が現象のひとつと考えられるが、長時間高温環境中に置かれても細胞壁等は破壊されず、結果として SS の減少には結びつかないものと考えられた。一方超音波処理では、キャビテーションによる細胞壁や細胞膜の破壊ならびに細胞質の微細化が生ずるために、処理時間の経過とともに SS 減少が生じるものと考えられた。

加熱(加熱条件: 90°C)及び超音波(加熱条件/処理電圧: 30°C/60V)処理時でのT-N中の各構成窒素濃度の経時変化をFig.6 とFig.7 に示す。共にNO₂-N、NO₃-Nは検出されなかった。加熱処理ではS-N中の窒素の大半が有機性であったが、超音波処理ではNH₄-Nが検出された。超音波処理では一部窒素分の無機化が観察される結果となった。加熱(加熱条件: 90°C)及び超音波(加熱条件/照射強度: 30°C/60%)処理時でのT-P中の各構成リン濃度の経時変化をFig.8 とFig.9 に示す。窒素化合物の溶出

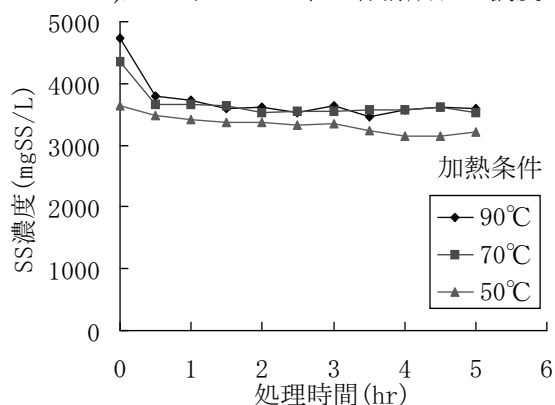


Fig.4 SS change with heating treatment

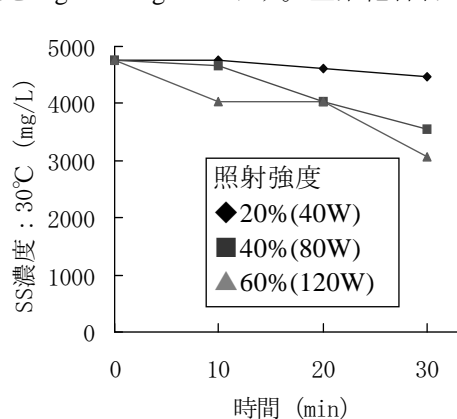


Fig.5 SS change with ultrasonic irradiation

特性とは異なり、加熱及び超音波処理で無機態である $\text{PO}_4\text{-P}$ が検出された。汚泥表面に吸着しているリン酸態リンか細胞膜構成物質であるリン脂質の親水部分の分離や分解が考えられた。

ここで、加熱処理ならびに超音波処理での液化効率を比較するために消費電力に対する液化量について考察した。加熱処理時における試料 40(mL)中への溶出量を Fig.10 に、超音波処理時における試料 100(mL)中への溶出量を Fig.11 に示す。加熱処理では、混合液の加温に必要なエネルギー量を電力換算した。超音波処理では反応器の形状にも依存する部分があるが、加熱処理と比較しても液化効率が高いことがわかる。超音波処理では消費電力が増加するに従って溶出量は増加する結果となった。しかし、消費電力量が 0.1(Wh)を越える場合ではその増加率は減少し、この範囲では超音波処理量に応じて汚泥液化が進行するわけではなく、また最終的に固形物がすべて液化することもなかった。活性汚泥には液化可能部分と液化が困難な部分があり、超音波処理条件によりそれが規定されているものと考えられた。

超音波処理による溶出有機物質の生物分解性把握実験の結果として、DOC濃度の経時変化をFig.12 に、処理ろ液の有機物質濃度の経時変化をFig.13 に示す。Fig.12 より、液化有機物は、そのほとんどが生物による代謝作用により液中から除去されることが示されているが、同時に代謝されにくい部分も存在することがわかる。その内訳について、分析した一例がFig.13 である。液化有機物中のタンパク質は 80%が除去されたのに対し、糖質は 50%しか除去されていないことが明らかになった。生物難分解性画分は糖質が主要な物質になっていることが示されている。液化に関してはオゾンによる手法も数多く検討されているが、オゾンによる液化有機物の約 30%は生物難分解性であり、その大半は糖質であることが報告されている^[9]。超音波処理においても同様な傾向があることがわかる。汚泥液化-微生物による再代謝による汚泥削減手法において、糖質分の処理が適用においての課題となる。

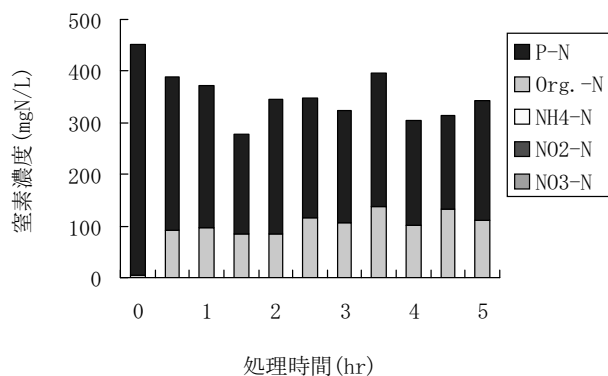


Fig.6 Changes of nitrogenous compounds with heating treatment: 90°C

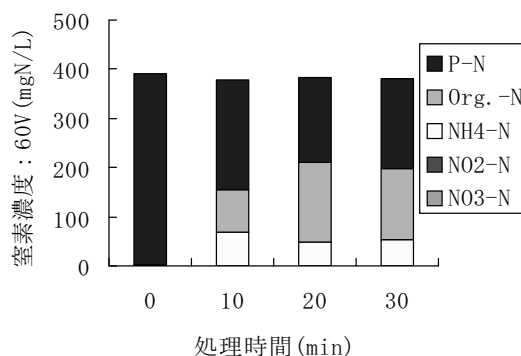


Fig.7 Changes of nitrogenous compounds with ultrasonic irradiation: 30°C/60V

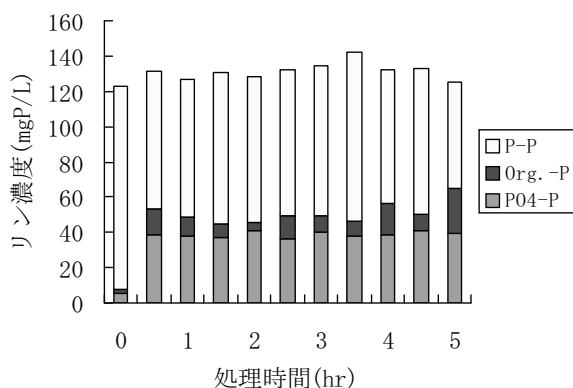


Fig.8 Changes of phosphorus compounds with heating treatment: 90°C

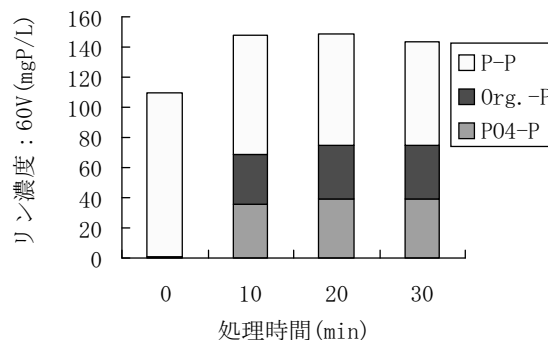


Fig.9 Changes of phosphorus compounds with ultrasonic irradiation: 30°C/60V

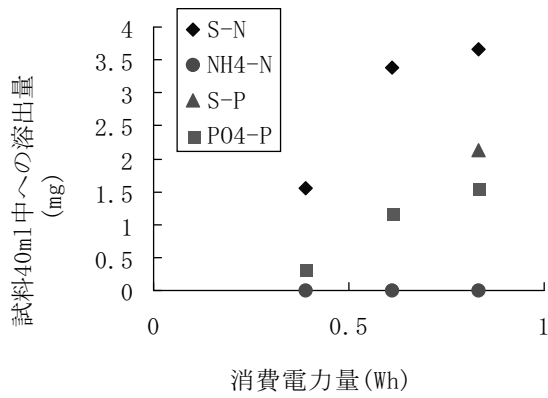


Fig.10 Liquefaction efficiency of heating treatment

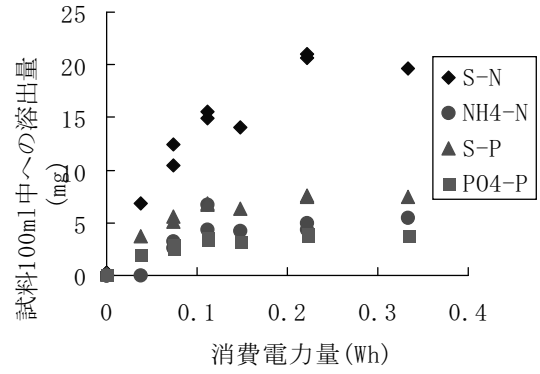


Fig.11 Liquefaction efficiency of ultrasonic irradiation

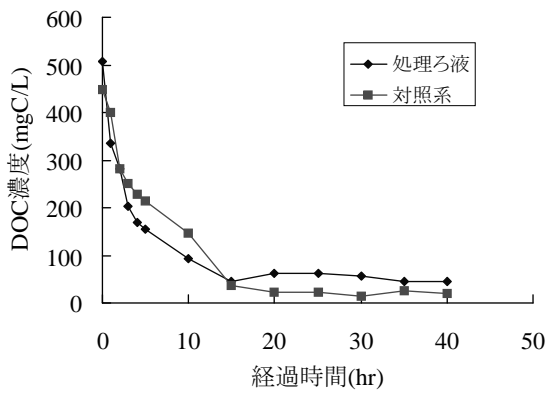


Fig.12 Time course of DOC concentration with biological treatment

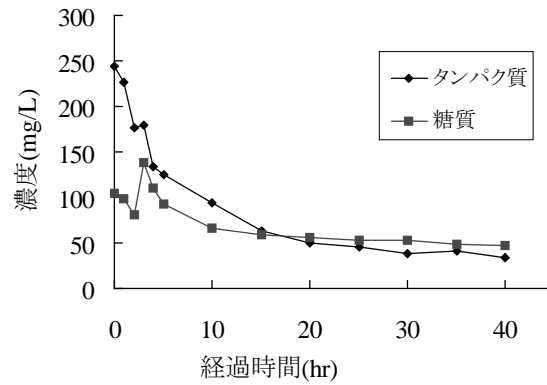


Fig.13 Changes of organic compounds with biological treatment

4. ま と め

本研究では、汚泥液化-微生物による再代謝による発生汚泥削減法の効果と可能性について、実験的に検討した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 加熱及び超音波処理ともに汚泥を液化させる効果があることがわかった。加熱処理では一時間以内での液化が見られたが、それ以降での液化の進行は緩やかであり、SSに対して20%以上の液化は困難であった。一方、超音波処理でも液化しやすい部分とそうでない部分が存在し、処理時間に応じてSS分の液化が同効率で進行するわけではないことがわかった。液化特性を成分別に調査した結果、NH₄-Nは超音波処理では検出したが、加熱処理では検出されなかった。共にNO₂-N、NO₃-Nは検出されなかった。PO₄-Pは加熱・超音波処理共に検出した。両処理を比較すると、エネルギー効率の観点からは、超音波処理が加熱処理よりも優れていることがわかった。
- 2) 超音波処理による溶出有機物質の生物分解・利用性把握実験により、液化有機物は生物による代謝がなされるものの、一部は代謝されにくい物質が含まれることがわかった。難分解性物質は主として糖質であることが示された。無機化の促進を図るためには、この部分の処理についての検討が必要であることが考えられた。

5. 引用・参考文献

- [1] 宗宮功: 下水処理システムの機能評価表に関する研究, 下水道協会誌, Vol. 41, No. 504, pp.131-141, 2004.
- [2] 環境省: 平成 16 年度版 環境白書, p.110, 2004.
- [3] 日立造船株式会社: 排水処理における汚泥減容化技術: 下水汚泥減量化・利用促進事業共同研究報告書, pp.1-10, 2004.
- [4] 香山和久, 石田隆一, 小川悟志: 超音波を利用した汚泥減量化システム, 社団法人農業土木学会資源循環研究部会, pp.89-96, 2004.
- [5] 見手蔵幸雄, 古崎康哲, 奥田友章, 甲斐智子, 笠原伸介, 石川宗孝: 超音波を用いた余剰汚泥削減メカニズムに関する研究, 環境工学論文集, Vol.40, pp.11-21, 2003.
- [6] 藤田昌史, Kim Kyoungrean, 大門裕之, 藤江幸一: 高温高压水反応による余剰汚泥可溶化処理液を利用した生物学的リン除去の安定化に関する基礎的研究, 下水道協会誌, 42(516), pp.117-125, 2005.
- [7] 松本幹治, ケイ新会: 媒体攪拌ミル破碎による有機性汚泥の可溶化と再利用技術(特集 2 有機性廃棄物の可溶化技術とその応用), 環境技術, Vol. 30, No.11, pp.872-877, 2001.
- [8] 長谷川進, 桂健治, 三浦雅彦: 好熱性微生物による有機性汚泥の可溶化, 下水道協会誌, Vol. 34, No. 408, pp.76-82, 1997.
- [9] 西村文武: オゾンによる下水汚泥の可溶化特性と溶出物質に関する基礎的研究: 愛媛大学工学部紀要, 第 20 巻, pp.167-172, 2001.