

II-420

消化脱水汚泥からの鉄酸化細菌による重金属の溶出

岩手大学工学部 学生員 森永晃司

正員 海田輝之 大村達夫 相沢治郎

1. はじめに

現在、下水処理場では消化脱水汚泥が、日々産出されている。また、今後十年間では、更に下水道の普及率の向上が期待されており、汚泥量が増加することは確実である。通常、この汚泥は焼却あるいは埋め立て処分されているが、汚泥は肥料や土壌改良材として有効に利用され得る可能性を十分に有している。しかしながら、汚泥をこれらに利用する場合、汚泥中に含まれる重金属が障害となり、農地等に直接還元するには危険が伴う。そこで本研究では、汚泥中の重金属類を鉄酸化細菌(*Thiobacillus ferrooxidans*)を用いて溶出させることにより汚泥中から除去し、有効資源として利用可能にすることを目的とするものであり、回分実験でCu, Ni, Cd, Pb, Cr, Zn, Mnを対象として、汚泥からの溶出特性を検討した。

2. 実験装置及び方法

鉄酸化細菌は、岩手県旧松尾鉱山跡新中和処理施設より採取した。菌を維持するために9 K培地で通気培養を行った。回分実験には対数増殖期の後半部のものを植種し、そのときの鉄酸化細菌の濃度は 1.1×10^8 cell/mlであった。汚泥は、北上川上流流域下水道都南処理区の脱水ケーキを使用した。表-1にこの汚泥を王水で処理して測定した汚泥乾燥重量1kg当りの各重金属の含有量を示す。溶出実験は、汚泥70g(乾燥重量として13g)に対し、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液(1.474%(W/V))400mlを加え、鉄酸化細菌の接種量を30ml(以下Run1とする)、20ml(Run2)、10ml(Run3)、0ml(Run4)としたものと、蒸留水400mlを加えたものについて(Run5)、初期のpHをN/10 H_2SO_4 あるいは、N/10NaOHで5.0に調整し、25°C 120rpmで振とう培養を行った。経日的に Fe^{2+} 濃度(過マンガン酸カリウム適定法)、pH及びCu, Ni, Cd, Pb, Cr, Zn, Mn濃度を、原子吸光度計により測定した。

3. 実験結果及び考察

図-1, 2に各Runにおける Fe^{2+} 濃度とpHの経日変化を示す。鉄酸化細菌の添加量が多いほど、 Fe^{2+} が消費されるまでの期間が短くなっている。鉄酸化細菌を植種しなかったRun4でも Fe^{2+} 濃度の減少が認められたが、これは初期pHが5であるため、空気酸化によるものと考えられる¹⁾。また、Run1で初期の勾配から空気酸化も含めて Fe^{2+} 酸化速度を細菌数当りに換算して求めると、 $2.95 \times 10^{-9} \text{ mg} \cdot \text{Fe}^{2+} / \text{hr} \cdot \text{cell}$ となった。この値は著者らが鉄酸化細菌の最適条件の下で得た結果とほぼ同じであった²⁾。初期pHをさらに低くした実験でも同様の結果が得られており、本実験の汚泥濃度(2.85%)では鉄酸化細菌の Fe^{2+} の酸化に及ぼす汚泥の影響は少なく、汚泥中でも鉄酸化細菌は十分に増殖できることが分かった。また、pHは Fe^{2+} 濃度の低下にともなって低下し、Run1, 2では2.8程度まで低下し、その後僅かずつ上昇した。pHが各Runで最低値をとるまでのpHの低下量

表-1. 汚泥中の金属含有量

	Cu	Ni	Cd	Pb	Cr	Zn	Mn
含有量(mg/kg)	350	48	3.5	40	35	1576	425

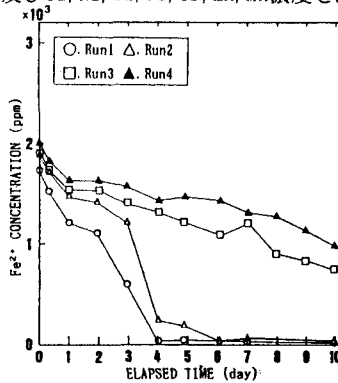


図-1 Fe^{2+} 濃度の経日変化

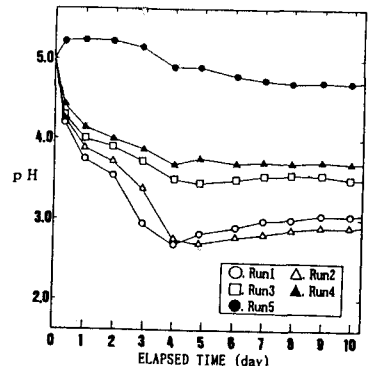


図-2 pHの経日変化

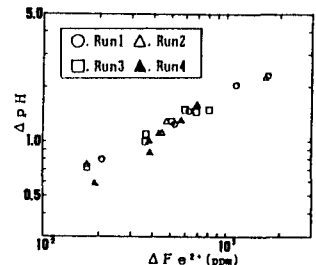


図-3 pHの低下量と Fe^{2+} の酸化量

と Fe^{2+} の酸化量との関係を示したのが図-3であり、両者の関係は両対数上でほぼ直線が得られた。このpHの低下は酸化生成物である $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ が金属硫化物に作用したか、あるいは $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ の加水分解によって硫酸が生成されたためと考えられる。次に、図-4～10に溶液中の各重金属濃度の経日変化を汚泥乾燥重量1kg当りに換算して示す。これより蒸留水のみを加えたRun5でも、NiとZnは緩やかに溶出する傾向が認められる。Niは、汚泥中でイオン交換態及び吸着態として存在するものが20%程度あると報告されており³⁾、これらの形態のものが溶出したと考えられる。しかしながら、Run5での各重金属の溶出速度は他のRunに比べかなり遅くなっている。CuとCdは、鉄酸化細菌の添加量が多いRunほど、短時間で溶出が終了した。

また、これらの溶出量の経日変化が図-2に示したpHの低下にほぼ対応していることから、pHに依存する現象であると思われる。Ni、Zn、Mnは、菌添加の影響は認められるものの、 Fe^{2+} のみを加えたRun4でもかなり溶出しており、これらの金属は比較的高いpHでも溶出することを示している。一方、PbとCrはほとんど溶出せず、本実験条件では、鉄酸化細菌の添加の効果は認められなかった。最大溶出率は、MnとZnは80%以上、Ni、Cd、Cuは70%以上であり、鉄酸化細菌を添加することにより特にCdとCuは溶出率が高くなり、有益であることが明らかになった。また、Zn、Cd、Niは汚泥中で炭酸塩や硫化物態として存在する量が60%以上²⁾になるにもかかわらず、前述の溶出率が得られたことは溶出しにくい形態で存在するものも溶出することを示している。

4. おわりに

本実験の条件の下では特にCdとCuの溶出に鉄酸化細菌の添加が効果的であることが分かった。今後は、溶出機構を解明するとともに、初期pH、汚泥濃度、初期 Fe^{2+} 濃度が溶出速度に及ぼす影響を検討したい。

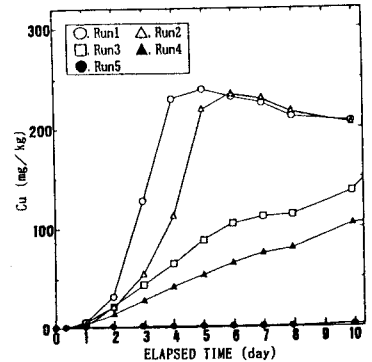


図-3 Cuの溶出量

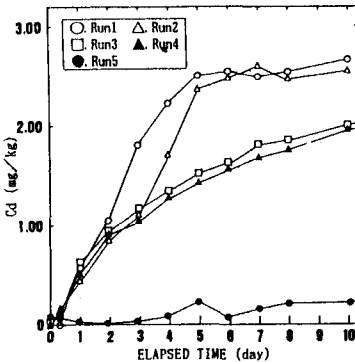


図-4 Cdの溶出量

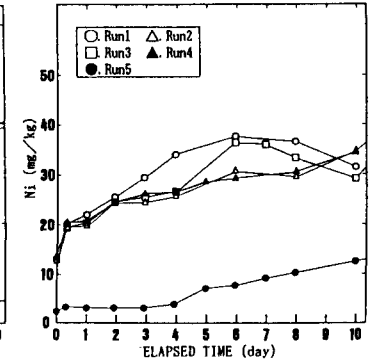


図-5 Niの溶出量

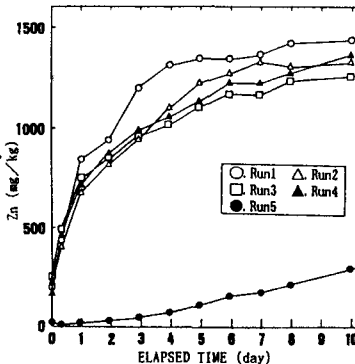


図-6 Znの溶出量

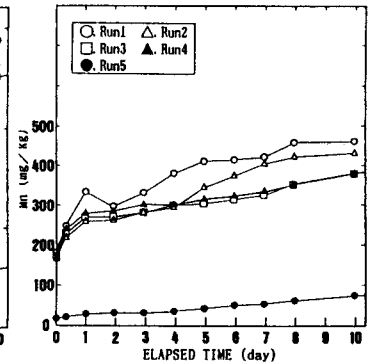


図-7 Mnの溶出量

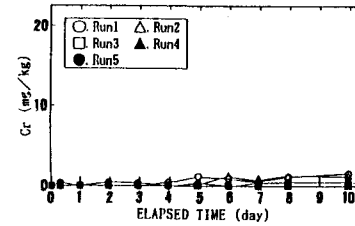


図-8 Crの溶出量

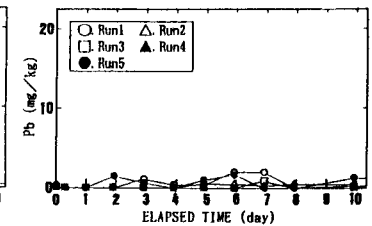


図-9 Pbの溶出量

- 参考文献 1) 小林ら、 $\text{Fe}(\text{II})$ の酸化速度のpHおよびDO濃度依存性 水質汚濁研究・Vol. 13, No. 5(1990)
2) 海田ら、流動床による強酸性含鉄廃水の処理に関する研究 水質汚濁研究・Vol. 12, No. 5(1989)
3) 佐藤ら、発生下水汚泥の質と量に関する研究 土木研究所資料第3030号、平成2年