

B-9 下水汚泥中の重金属類の制御手法に関する研究

科学技術振興事業団
建設省土木研究所 下水道部 汚泥研究室
同上

○坪井 博和
尾崎 正明
原田 一郎

1. はじめに

下水汚泥の有効利用先のひとつとしてコンポスト化处理などによる緑農地利用がある。

しかし、平成7年度末現在で、その割合は全体の 13%（固形物発生量ベース）に過ぎない。有効利用の促進を妨げている原因のひとつとして、下水汚泥中の重金属含有量が高いことが指摘されている。現在は工場排水規制が厳しく行われていることから、この重金属は生活排水由来、すなわち人々の日常生活から排出されたものが下水中に入り、下水処理の過程で汚泥中に移行したものが多くことが認識されるようになった。

このため、下水中に含まれる重金属の発生源に関して実態調査を実施し、発生機構を検討するとともに、水及び汚泥処理過程における蓄積機構を解明し、重金属の制御あるいは除去方法を一連の処理プロセスの中に構築していく必要がある。

今回、重金属発生源の現状把握、水処理過程における重金属蓄積の実態把握を目的として、処理人口、排除方式、処理区域面積等の異なる下水処理場について、流入下水、最初沈澱池の流入水・越流水、最初沈澱池汚泥、返送汚泥を採取し、重金属存在形態別含有量を調査したので、その結果について報告を行う。

2. 実験方法

2. 1 採取試料と採取方法

排除方式、処理区域面積・人口、工場系排水量の大小を考慮し、主に標準活性汚泥法を採用している処理場を調査対象とした（表1）。各処理場にて、流入下水、最初沈澱池流入水、最初沈澱池越流水、最初沈澱池汚泥、返送汚泥（または余剰汚泥）を採取し、各々を一定の固形分量となるよう遠心分離機を用いて濃縮し、分画試験に供試した。尚、流入下水は2時間毎に採取した12試料を、流入水量比により混合して用いた。また、その他の試料はスポット採取した試料を用いた。

表1 調査処理場

処理場名	排除方式	処理方式	処理区域		晴天日平均下水量(㎥/日)				汚泥処理		薬注				
			面積 (ha)	人口 (人)	合計	生活	工場	その他	消化	コンポスト	塩鉄	石灰	PAC	高分子	その他
A処理場	分流	標準活性汚泥法	1,366	1,812	4,581	3,491	1	1,089					○		
B処理場	分流	標準活性汚泥法	817	31,000	7,526	5,095	248	2,183	○	○	○(※1)			○	
C処理場	分流	標準活性汚泥法	507	38,428	11,715	10,248	0	1,467						○	
D処理場	分流	標準活性汚泥法	132	12,356	4,581	3,491	1	1,089			○	○			
E処理場	分流	標準活性汚泥法 ＋高度処理	4,007	312,112	118,249	87,763	1,408	29,078			○	○		○	
F処理場	分流	標準活性汚泥法	701	42,100	9,429	9,034	325	70						○	
G処理場	分流	標準活性汚泥法	667	22,729	11,092	10,344	409	339	○					○	起泡剤
H処理場	分流	標準活性汚泥法 ＋高度処理	2,084	106,149	47,944	27,262	8,300	12,382	○	○				○	
I処理場	分流	標準活性汚泥法	133	11,432	9,264	5,790	1,310	2,164				○	○		
J処理場	分流	標準活性汚泥法	574	33,100	8,368	5,239	1,213	1,916						○	

※1:ポリ塩化第2鉄

2. 2 分画方法

存在形態分析は、Stover らによる逐次抽出方法を簡略化した方法（表2）により実施した。まず供試料のSS1gに対して抽出溶媒として1M-KNO₃ 50mlを加えて室温で16時間振盪した後、遠心分離により固液分離し上澄液を回収した。更に、分離した固形分中に残存する抽出溶媒を回収するた

表2 形態分画方法

	抽出溶媒	溶媒量 (ml/g-SS)	抽出時間 (hr)	抽出される形態
1	上澄み液	SS濃度に依存	-	水溶態
2	1M-KNO ₃	50	16	交換態
3	0.5M-KF	80	16	吸着態
4	0.1M-Na ₂ P ₂ O ₇	80	16	有機結合態
5	0.1M-EDTA	80	16	炭酸塩態
6	1M-HNO ₃	50	16	硫化物塩態
7	王水分解	-	-	残留態

めイオン交換水 25ml を加え 1 時間の振盪後、固液分離し、得られた上澄液を先の上澄液とあわせ、GF/B でろ過した後、以降の分析に供した。尚、固形分は 1M-KNO₃ 以後、0.5M-KF、0.1M-Na₄P₂O₇、0.1M-EDTA、1M-HNO₃ を抽出溶媒として用いて同様の操作を繰り返した。このとき抽出された画分はそれぞれ、交換態、吸着態、有機結合態、炭酸塩態、硫化物塩態と考えられている。また、採取試料の遠心分離による濃縮時に上澄液中に含まれる画分を水溶態、抽出残滓の王水分解画分を残留態として、全 7 形態に分画した。得られた試料はマイクロウェーブによる王水分解の後、ICP 発光分析により、Cu、Zn、Mn、Na、Al、Ca、Fe、K、Mg、P の 10 元素を、フレイムレス原子吸光光度分析により、Cd、Cr、Pb の 3 元素を測定した。

3. 結果と考察

3. 1 金属類形態別含有量

測定項目の内 Cu、Zn の 2 元素について、SS 1kg 当たりの形態別含有量を測定した結果をそれぞれ図 1、図 2 に示す。Cu は硫化物塩態と残留態の割合が非常に高く、次いで無機炭酸塩態と有機結合態の割合が高い。また、一般に同一処理場では、返送汚泥中の含有量が多く、また硫化物塩態の割合が高くなっており、曝気槽において硫化物塩として活性汚泥微生物中に蓄積されたと考えられる。Zn は一般に有機結合態および無機炭酸塩態が主な形態であった。また、処理場によっては硫化物塩態や残留態が見られるケースもあったが、同一処理場内では採取箇所による存在形態の割合の差はあまりなく、処理場内で比較的安定して存在していると考えられる。この他の元素では、Pb は何れの試料でも有機結合態、無機炭酸塩態、硫化物塩態および残留態が主な形態であった。また、いくつかの試料で残留態の含有量が非常に多かったが、明確な傾向が見られず、Pb は SS 中に偏在していると考えられる。Cd は一般に無機炭酸塩態がもっとも多く、この他吸着態、有機結合態、硫化物塩態が主な形態であった。Cr は何れの試料でも残留態が全体の半分以上を占めており、次いで吸着態、有機結合態、硫化物塩態の含有量が多かった。

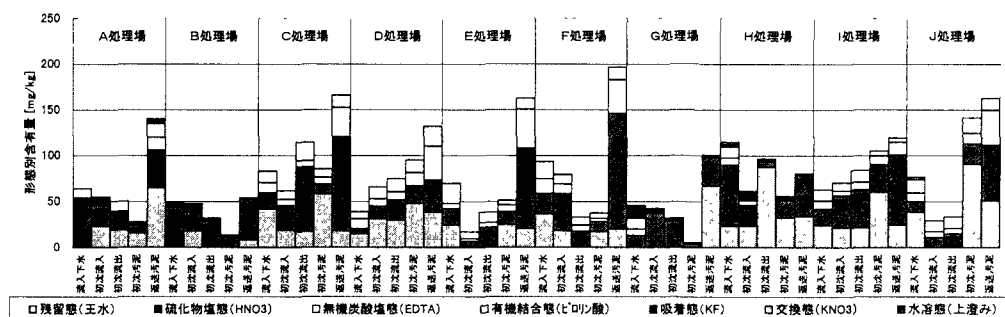


図 1 Cu の形態別含有量

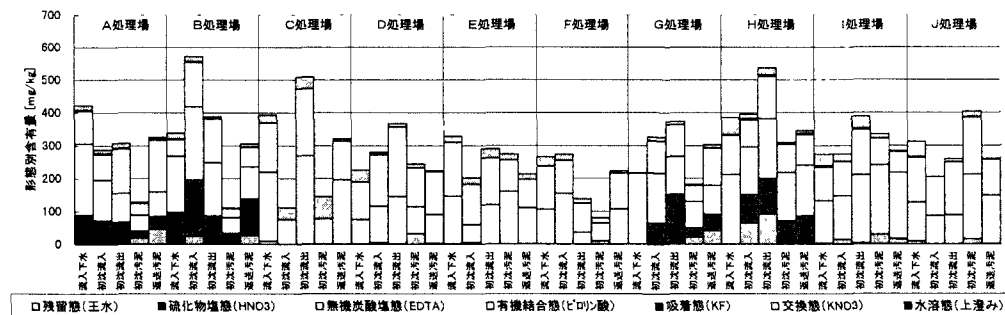


図 2 Zn の形態別含有量

3. 2 金属類の濃縮

初沈汚泥および終沈汚泥への金属類濃縮比を下式のように定義した。尚、曝気槽流入水は初沈越流水と同一であると見なした。

$$\text{初沈汚泥への金属類濃縮比} = \frac{\text{初沈汚泥中の金属類濃度}(\text{mg/g-SS})}{\text{初沈流入水中の金属類濃度}(\text{mg/ml})}$$

$$\text{終沈汚泥への金属類濃縮比} = \frac{\text{返送汚泥中の金属類濃度}(\text{mg/g-SS})}{\text{曝気槽流入水中の金属類濃度}(\text{mg/ml})}$$

Al, Fe, Ca, Pb, Cd, Cr, Cu, Zn について、各汚泥への金属類の平均濃縮を表2に示す。表2より、各金属類は $10^3 \sim 10^4$ のオーダーで汚泥中に濃縮されることが確認された。また、初沈汚泥と終沈汚泥の比較では、終沈汚泥への濃縮比は、初沈汚泥への濃縮比と同等かそれよりも高いことが分かった。図3にCuとZnについて、初沈流入水中濃度に対する初沈汚泥中濃度、曝気槽流入水中濃度に対する終沈汚泥中濃度を示す。図3からも終沈汚泥への濃縮比が初沈汚泥への濃縮比よりも高いことが分かる。

表2 汚泥中への金属類の平均濃縮比

汚泥	元素							
	Al	Fe	Ca	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
初沈汚泥	6	12	4	4	5	6	9	5
終沈汚泥	7	36	6	6	9	6	20	6

単位：1000(mg/g-SS)/(mg/ml)

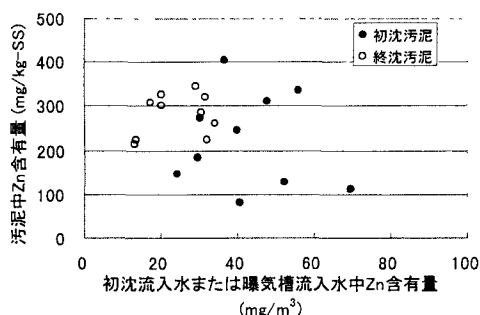
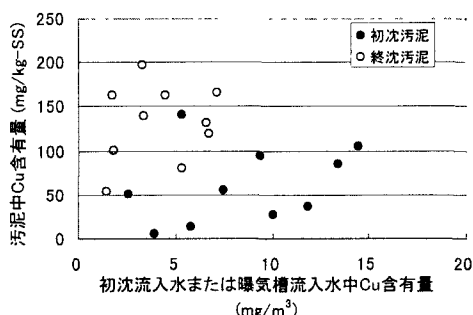


図3 汚泥中含有量

3. 3 下水流入源

晴天時日平均下水中の工場系排水割合に対する初沈汚泥、返送汚泥中のCuおよびZnの濃度を図4に示す。

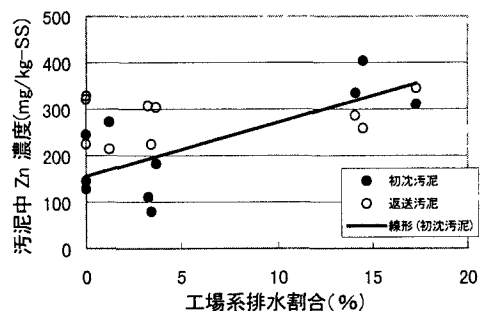
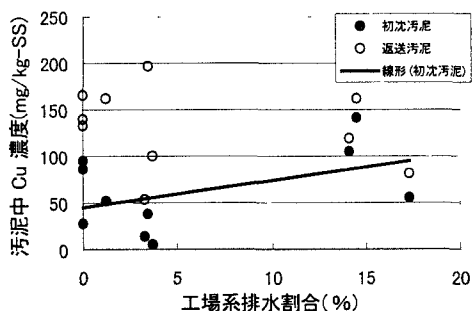


図4 汚泥中Cu, Zn濃度の工場系排水割合の影響

図4より、Cu, Znともに工場系排水割合に対して、初沈汚泥中の濃度は正の相関があった。一方で、返送汚泥では、工場系排水割合に依存せず初沈汚泥よりも比較的高濃度であった。

4. 今後の予定

今回の調査により処理場における重金属等の汚泥中への濃縮の傾向などの定性的な実状が把握できたが、定量的な検討を行うには不十分である。そこで、今回の調査対象結果より数カ所の処理場をピックアップし、収支把握・季節間変動等を目的として、より詳細な調査を実施する予定である。また、詳細調査では、消化、脱水の汚泥プロセスを含めることで、汚泥処理過程における重金属類の形態変化も対象とする予定である。