豚ふん素堀池汚泥固化物のフィールド試験に関する研究

土手 裕¹⁾•関戸知雄²⁾

Field experiment of solidified excavation sludge of cattle manure

Yutaka DOTE¹⁾, Tomoo SEKITO²⁾

ABSTRACT

In order to use excavation sludge of cattle manure and fly ash of coal power generation plant as construction materials, they were solidified with cement and water grass and the solidified materials were investigated in a field. Leaching test of solidified materials in the field indicated that after one week of the start of the experiment the leachate concentrations of Se and Cr meat the Environmental Quality Standards for Soil Contamination. The concentrations of T-N and NO₃-N tended to increase with elapsed time, but that of NH₄-N decrease. The leachate from the field suggested that cement addition rate should be excess of 15% to meat the Se concentration to the standard. Nitrogen load of this field was greater then that of agricultural field. It would be necessary to increase the cement addition or decrease the permeability of the mixture of solidified material, soil, and cement by compaction in order to reduce the nitrogen load.

Key Words:

Field examination, Solidified excavation sludge, Fly ash, Solidification, Nitrogen contamination, Heavy metals

1. はじめに

近年、資源・環境問題の解決方法の一つとして持続 可能な循環型社会形成が目指されている。畜産経営に おいては、家畜ふん尿による地下水汚染が問題視され、 平成16年11月1日家畜排泄物法が完全施行され、家 畜ふん尿の素堀貯留や野積みの解消が図られるような ったが、既存の素堀池の浄化が問題となっている。一 方、国内の石炭火力発電所から発生する石炭灰は約 800万トン(平成11年度)であり、そのうち約80% が再利用(セメント原料やコンクリート用混和材、土地 造成材等)されているにすぎず、石炭灰の新たな利用方 法の開発が求められている。その方法の一つとして、 石炭灰をセメントにより固化して、土木資材として利 用する技術が開発されている¹⁾。

筆者らは、石炭灰を利用して素堀池の汚泥を固化し

て土木資材として利用することにより、素堀池の浄化 及び石炭灰の有効利用を同時に行うことを目的として、 室内実験により固化によるアンモニア、硝酸、重金属 (セレン、クロム)の溶出抑制を評価した²⁾。本研究 はで、室内実験と平行してフィールド試験を行い、窒 素化合物および重金属の溶出濃度の経時変化を測定し、 溶出率に対する処理条件の影響および窒素負荷を評価 した。

2. 実験方法

1) 現場について

宮崎県A町の養豚農家の敷地内にあった素堀り池 466m³を固化し、池を含めた面積1334m²、高さ1m の盛土を施工した。その一部を掘削して実験用のフィ ールド(試験区)を確保した。

¹⁾ 土木環境工学科 助教授

²⁾ 土木環境工学科 助手

2) 固化及び施工について

素堀池汚泥の固化は、汚泥 1m3 と石炭灰 1t、3 号水 ガラス 30kg の割合で添加し、プラント攪拌機でよく混 合した。石炭灰はB社より入手した。固化は 2005 年 3 月 11 日から 2005 年 4 月 11 日まで行なわれ、2005 年 4 月 12 日から 2005 年 4 月 19 日の間、現場にて養生を行 なった。この養生を行った物を固化物と呼ぶこととす る。試験区については、固化物を 2005 年 4 月 19 日に 所定の量の高炉セメントと混合し、これと土を重量比 1:1 の割合で混合後、それぞれの試験区に充塡され、 ホッパーにより転圧された。この充填物のことを試験 区土と呼ぶ。混合に用いた土は素堀池周辺の崖を切り 崩して用いた。

一つの試験区は縦横3m、深さ1mであり、これが 横一列に4つ並んでいる。固化物の充填前に試験区に ベニヤ板を入れて試験区同士を分け、底面および側面 にビニールシートを引いて周辺土と隔離し、底部中央 に採水用のパイプ(耐圧ネトロンパイプ、外径100mm) を設置した。ホース出口に水量計を設置し、その出口 にポリタンクを設置した。

試験区は、固化物に混合する高炉セメントの割合が 7、12、15%の場合と、混合用の土壌のみを充填した 対照区の4試験区からなる。

3) 分析方法

固化に用いた汚泥については、汚泥を 4000rpm で 20 分間遠心分離後 0.45μmのメンブランフィルターでろ 過したろ液を分析した。固化物、試験区土、混合用土 壌、試験区外土については、環境庁告示 46 号法による 溶出試験を行った。汚泥をろ過したろ液および溶出試 験で得られたろ液について、アンモニア性窒素、硝酸 性窒素、亜硝酸性窒素、全窒素、重金属濃度を測定し た。

試験区の下部に設けたパイプから排出された浸透水

については、0.45μmのメンブランフィルターでろ過 して得られたろ液について溶出試験と同じ分析を行っ た。

試料の分析方法は、アンモニア性窒素がネスラー法、 硝酸性窒素がカドミウム還元法、亜硝酸性窒素はジア ゾ化法にて測定した。水溶性の全窒素はT-C・T-N分析 器(SHIMAZDU TOC-V)を用いて分析した。重金属(セレ ンおよびクロミウム)はフレームレス原子吸光法 (HITACHI Z-2000)により測定した。汚泥および固化物 の全窒素はアルカリ性ペルオキソ二硫化カリウム分解 一紫外線吸光度法にて測定した。汚泥、固化物および石 炭灰中の重金属は硝酸過塩素酸法により固形物を分解 後、上記の方法で測定した。

実験結果と考察

1) 含有量試験および溶出試験結果

実験に用いた汚泥、石炭灰、固化物、混合用土壌、 および施工した各試験区土の含有量試験結果を表1に 示す。全クロムおよびセレンは、汚泥中および混合用 土壌中には低濃度で含まれていた。全クロムについて は、固化物中の方が石炭灰より含有量が多く、セレン については固化物の含有量の方が試験区土よりも少な くなっている。その理由は、分析試料として1gを用 いていることによる試料の不均一性によると考えられ る。

全窒素の含有量については、汚泥に比べて固化物中 の全窒素含有量が約 1/100 になっているが、この理由 として、採取した汚泥の含水率が 90%であることから、 分析用に採取した汚泥が素堀池全体でみると比較的濃 いものであったことや、固化物の pH が高いことから現 場での養生中のアンモニア性窒素の揮散による減少な どが考えられる。森林土壌のN含有量の下限が 0.1%(1000mg/kg)³⁾であるので、固化物、混合用土壌、 試験区土の窒素含有量は比較的低いといえる。試験区

表1 含有量

										試験	(区土		-			
				混合用土		2005.4	.19採目	反		2005.4	.26採耳	۶ ۷		2005.8	. 23採雨	Ż
	汚泥	石炭灰	固化物	壤	対照	7%	12%	15%	対照	7%	12%	15%	対照	7%	12%	15%
全窒素(mg- N/kg)	40100	_	301	683	610	182	298	865	171	431	194	216	992	815	1,710	524
Cr(mg/kg)	8	37	45	2.9	12	12	13	11	-	-	-	-	-	-	-	-
Se(mg/kg)	3	17	3.02	0.14	0	1.00	1.78	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-

					試験区土											
				混合用		2005.4.	19採取			2005.4.	26採取			2005. 8.	23採取	
	汚泥	石炭灰	固化物	土壤	対照	7%	12%	15%	対照	7%	12%	15%	対照	7%	12%	15%
рН	-	-	8.04	10.64	7	11.77	11.73	11.68	11.61	11.39	11.72	11.66	11.2	11.37	11.35	6.53
EC(μ S/cm)	-	-	44	547	42	1,265	1,340	1,107	1,050	1,043	688	1,046	52	748	720	736
全窒素(mg− N/L)	420	_	28	2	5	14	12	11	11	20	12	10	1.4	27	13	16
アンモニア性 窒素(mg- N/L)	415	_	12.7	0.3	0.1	10.6	8.2	14.6	14.6	14.7	8.1	6.4	0.1	10.2	6.6	7.3
亜硝酸性窒 素(mg-N/L)	0	_	0.02	0.05	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.04	0.00	0.01	0.03	0.02
硝酸性窒素 (mg-N/L)	14	_	2.2	1.7	2.9	1.8	1.2	0.6	0.6	1.7	1.7	2.1	1.4	9	4.1	4.9
$Cr(\mu g/L)$	_	157	9	0	0	8	8	12	7	14	65	3	0	2	1	2
Se(μ g/L)	_	817	34	0	0	15	10	13	2	5	2	0	1	7	3	3

表2 溶出試験結果

土の全窒素含有量については、時間の経過とともに減 少する傾向は認められなかった。

実験に用いた汚泥、石炭灰、固化物、混合用土壌、 および施工した各試験区土の溶出試験結果を表2に示 す。pH については、固化物は比較的低い値を示したが、 混合用土壌は高い値であった。試験区土のpH は2005 年8月においても15%試験区を除いてpH11以上の高い 値を示した。電気伝導度については経時的に減少する 傾向を示し、降雨による可溶性成分の洗い出しがある ことが示唆された。

重金属については、石炭灰からのセレン濃度が特別 管理廃棄物の基準(0.3mg/L)を超えていたが固化する ことで基準を下回った。混合用土壌にはセレン、クロ ムは検出されなかった。セレンについて、施工した直 後は対照区を除くいずれの試験区も土壌環境基準 (0.01mg/L)をわずかに満たさなかったが、1週間以降 の試料ではいずれの試験区でも土壌環境基準以下の溶 出の濃度になった。2005年4月26日採取試料と8月 採取試料の溶出濃度はほぼ同じであった。セメントの 添加率を変えた影響は見られなかった。クロムについ ては、溶出濃度は低いが、時間の経過とともに溶出濃 度が増加する傾向が見られた。セメントの添加率を変 えた影響は見られなかった。

硝酸性窒素については、時間が経過しても対照区土 ではほぼ一定であるが、対照区以外では増加する傾向 が見られた。8月23日の試料の最大濃度は7%試験区で 9mg/Lであった。

アンモニア性窒素については、すべての試験区で時

間の経過とともに減少する傾向が見られた。8月23日 の試料の最大濃度は7%試験区で10mg/Lであった。

全窒素については、対照区以外の試験区で時間の経 過とともに増加する傾向が見られた。8月23日の試料 の最大濃度は7%試験区で27mg/Lであった。

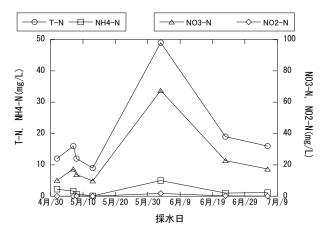
8月23日の試料について硝酸性窒素、アンモニア性 窒素、全窒素いずれについても12%試験区と15%試験区 の結果は同程度の値を示し、7%試験区の値はこれらの 値よりも大きい値を示した。これらの窒素は、降雨に よる洗い出しによって含有量が低下したと考えられる。 加えて、アンモニア性窒素については、固化物のpH が高いことから徐々に大気中への揮散も行われている と考えられる。

2) 浸透水分析結果

図1に現場から最も近い気象観測点での採水期間中 の降水量と採水日を示す。採水は主に大量の降雨のあ った直後に行っている。この期間中の総降雨量は 450mmで、この年の総降雨量(2504mm)の18%であった。

図2に対照区浸透水水質を示す。対照区浸透水中の 重金属は、期間中ほとんど検出されなかった。検出さ れた最大濃度は、セレンで4µg/L、クロムで9µg/L と地下水の環境基準よりも低い値であった。全窒素に ついては6月3日のデータが49mg/Lと高い値を示しそ の後低下した。この日の試料水の他の水質項目も高い 値を示していた。この日の採水量は1Lとわずかであり、 前回の採水日である5月13日から3週間程度試験区内 に貯留していた水を分析したことになるが、この水は 長時間試験区内の土壌と接触していたため、高濃度に なったと考えられる。この日を除いた試料水では全窒 素は10-20mg/Lの間にあった。硝酸性窒素は6月3日 と6月23日で全窒素よりも若干高い濃度になった。こ れは分析上の誤差と考えられる。この両日を除いた濃 度は10-20mg/Lであった。アンモニア性窒素は6月3 日のデータを除いて2mg/L以下であり、低い値であっ た。亜硝酸性窒素は6月3日のデータを除いて0.3mg/L 以下であった。

図3にセメント7%試験区浸透水水質を示す。浸透水 中の重金属は、クロムについては採水期間中50µg/L 以下であったが、時間とともに濃度が増加する傾向が 見られた。セレンについては実験開始当初は230µg/L と高く、時間とともに減少し、最後の採水では52µg/L であった。全窒素およびアンモニア性窒素は同じ挙動 を示し、実験開始後5月7日の採水まで増加傾向を示 し、その後減少した。5月7日で全窒素で690mg/L、ア ンモニア性窒素で780mg/L であった。全窒素よりもア



ンモニア性窒素の値が高くなっているのは、分析上の 誤差によると思われる。硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素 濃度は時間の経過とともに高くなる傾向が見られた。

図4にセメント12%試験区浸透水水質を示す。浸透 水中の重金属は、クロムについては7%試験区と同様に、 採水期間中50µg/L以下であり、時間とともに濃度が 増加する傾向が見られた。セレンについては、最後の 採水を除いて減少する傾向が見られた。また、初期濃

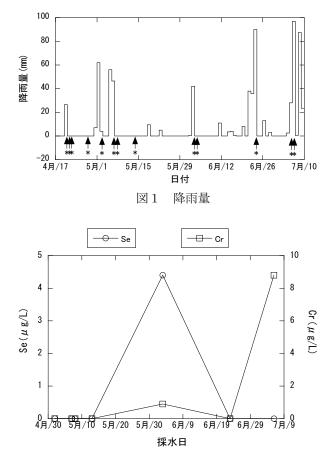


図2 対照区浸透水水質

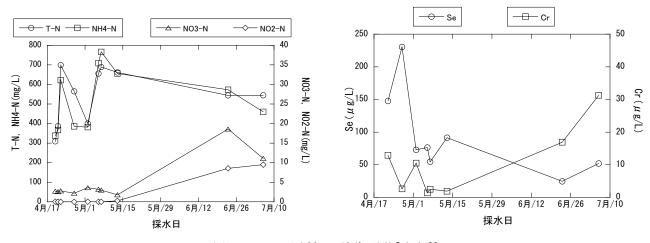


図3 セメント添加7%試験区浸透水水質

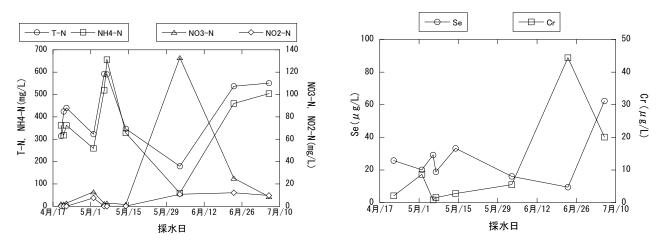


図4 セメント添加 12%試験区浸透水水質

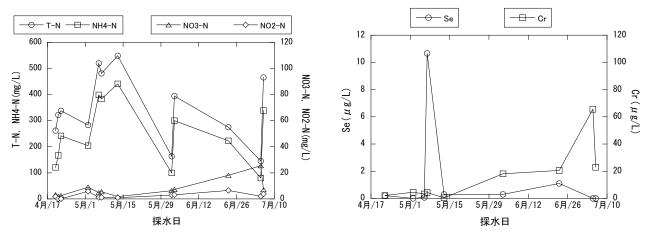


図5 セメント添加15%試験区浸透水水質

度は26mg/Lであり、7%試験区の初期濃度と比較してか なり低い値であった。全窒素については実験開始初期 は増加し、4月22日から6月3日まで途中5月6、7 日を除いて減少し、その後増加した。アンモニア性窒 素も同様の挙動を示した。硝酸性窒素は6月3日に 130mg/Lと高い値を示した以外は25mg/L以下であった。 亜硝酸性窒素濃度は時間とともに増加する傾向が見ら れた。

図5にセメント15%試験区浸透水水質を示す。浸透 水中の重金属は、クロムについては7月5日の値(66 μ g/L)を除いて採水期間中50 μ g/L以下であった。セ レンについては、5月6日の値(11 μ g/L)を除いて採水 期間中1 μ g/L以下であった。5月13日までは増加傾 向が、それ以降は減少傾向が見られた。アンモニア性 窒素も同様の傾向を示した。硝酸性窒素および亜硝酸 性窒素については時間の経過とともに増加する傾向が 見られた。

すべての試験区で、全窒素の大部分がアンモニア性

窒素であった。全窒素の増加がみられることから、固 化物中の不溶性全窒素が一部可溶化していると考えら れる。

3) 考察

セメント添加率を高くするにつれて、セレンの溶出 濃度は抑制された。セメント添加率15%では1試料を 除いてすべて地下水環境基準以下の値を示したことか ら、セメントを15%以上混合する必要がある。今回ク ロムは原子吸光で測定しているため6価クロムを含む 全クロムを意味しているが、1試料を除いてすべて6 価クロムの地下水環境基準である50µg/L以下であっ たので、クロムについては環境保全上の問題はないと いえる。

セメント添加率を高くするにつれて、全窒素とアン モニア性窒素の最大値および最終採水時の値が低くな った。このことから、セメント添加は全窒素及びアン モニア性窒素の溶出濃度を抑制する効果がみられた。

表3 面積負荷と浸透率

	試験区					
	7%	12%	15%			
面積負荷(mg- N/m2/y)	111	96	303			
浸透率(-)	0.08	0.08	0.40			

しかし、全窒素濃度が最終採水日でも450mg/L以上で あり、その効果は大きくはないといえる。また、全窒 素の溶出率(溶出窒素量/試験区中の充填時窒素量)を 求めると、セメント7%で10%、セメント12%で5%、 セメント15%で2%となり、セメント添加率が高くなる につれて溶出が抑制されることがわかった。

表3に以下の方法で計算した窒素の面積負荷を示す。 面積負荷は、4月19日から6月23日までの全窒素の 累積溶出量に、1年間の降水量(2504mm)をこの期間の 降水量(450mm)で除した値を掛けて1年間の溶出量を 推計し、これを試験区の面積 9m²で除して求めた。得 られた値は96-303g/m2/年の範囲であり、文献3にお ける広域畑からの窒素負荷量の28g/m²/年と比較して3 ~10 倍高い値であった。よって、本実験では、窒素負 荷量を畑程度に低減することは困難であった。本試験 区での浸透率(浸透水量/降水量)はセメント7、12% で 0.1、セメント 15% で 0.4 であった。通常の盛土の浸 透率は10-2-10-6であるので、今回の試験区は締め固め が十分ではなかったと言える。その理由は、試験区の 面積が 3m×3m と小さいため、重機が十分に締め固めで きなかったためである。通常の締め固めが行うことで、 窒素の面積負荷率は大きく削減できると思われる。

4. 結論

試験区土壌の溶出試験から、セレン及びクロムにつ いては、施工後1週間以降の試料では土壌環境基準を 満足した。全窒素及び硝酸性窒素は時間の経過ととも に増加する傾向が見られ、アンモニア性窒素は減少す る傾向が見られた。

試験区からの浸透水を分析した結果、セレンについ て地下水環境基準を満足させるためには、セメント添 加15%以上が必要であることが分かった。クロムにつ いてはどの試験区でも概ね地下水環境基準を満足した。 全窒素については、セメント添加率が増えるにつれて 濃度は減少したが、実験終了時でも高い濃度であった。 そのため、窒素の面積負荷は畑の面積負荷よりも大き くなった。面積負荷を減らすためには、セメント添加 率を増やしたり、十分な締め固めにより浸透率を下げ ることが必要であることが分かった。

謝辞

本研究で行ったフィールド試験地の作成については アースアイプラッツ株式会社の協力を得た。ここに記 して感謝申し上げます。

参考文献

小口深志、重金属汚染土の原位置不溶化処理に関する研究、資源処理技術、Vol. 41、No3、pp. 107-113 (1994)

 土手 裕、関戸知雄、高階卓哉、後藤吉史、豚ふん 素堀池汚泥の固化に関する基礎的研究、宮崎大学紀要 (投稿中)

3) 久馬一剛、最新土壤学、朝倉書店、p. 122、1997

²¹⁶