

# 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<sup>1)</sup>・関戸知雄<sup>2)</sup>

## Field experiment of solidified excavation sludge of cattle manure

Yutaka DOTE<sup>1)</sup>, Tomoo SEKITO<sup>2)</sup>

### 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 meet the Environmental Quality Standards for Soil Contamination. The concentrations of T-N and NO<sub>3</sub>-N tended to increase with elapsed time, but that of NH<sub>4</sub>-N decrease. The leachate from the field suggested that cement addition rate should be excess of 15% to meet the Se concentration to the standard. Nitrogen load of this field was greater than 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になったが、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<sup>1)</sup>。

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<sup>2)</sup>。本研究では、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466m<sup>3</sup>を固化し、池を含めた面積1334m<sup>2</sup>、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



表2 溶出試験結果

	汚泥	石炭灰	固化物	混合用 土壌	試験区土											
					2005. 4. 19採取				2005. 4. 26採取				2005. 8. 23採取			
					対照	7%	12%	15%	対照	7%	12%	15%	対照	7%	12%	15%
pH	-	-	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( $\mu$ 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( $\mu$ g/L)	-	817	34	0	0	15	10	13	2	5	2	0	1	7	3	3

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が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4 $\mu$ g/L、クロムで9 $\mu$ g/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50 $\mu$ g/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230 $\mu$ g/Lと高く、時間とともに減少し、最後の採水では52 $\mu$ g/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50 $\mu$ g/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

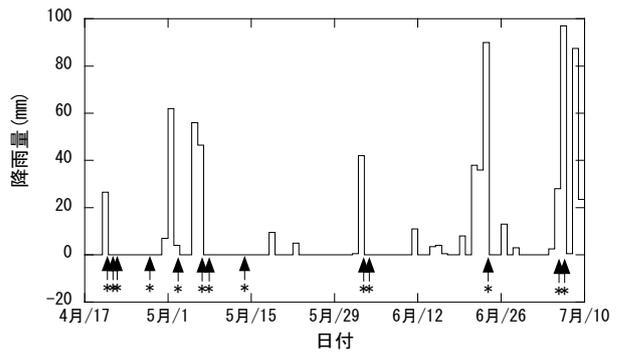


図1 降雨量

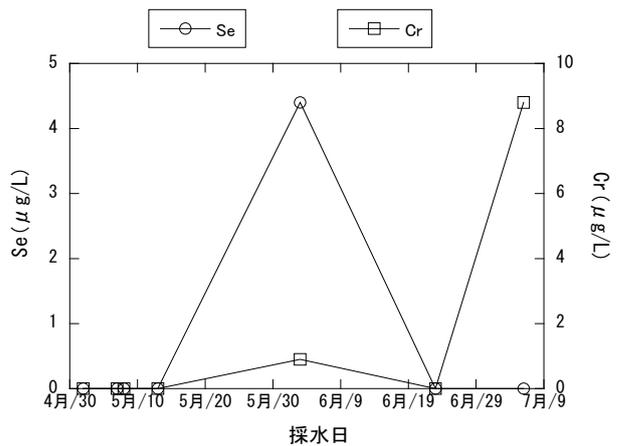
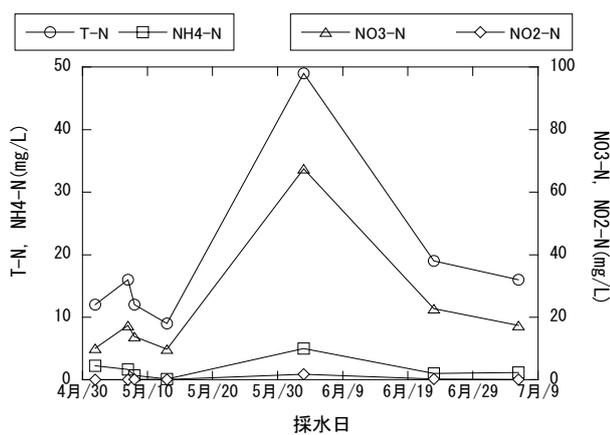


図2 対照区浸透水水質

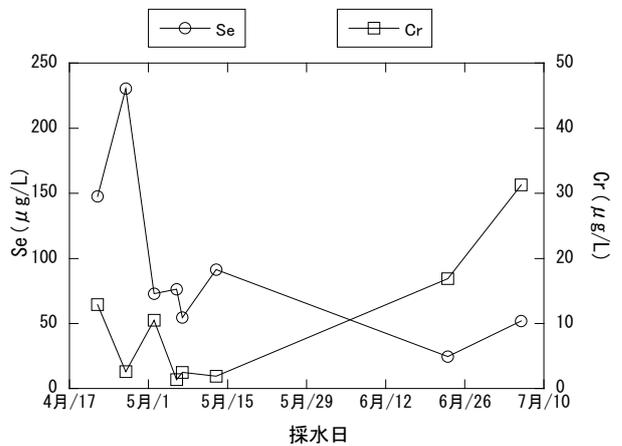
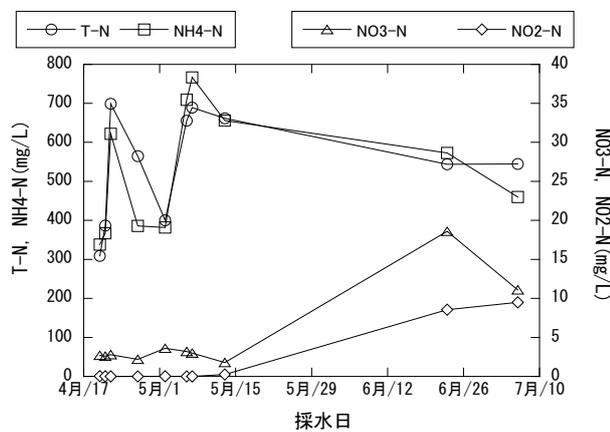


図3 セメント添加7%試験区浸透水水質

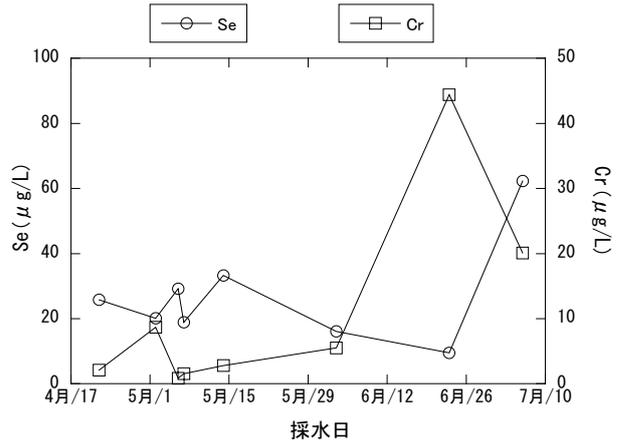
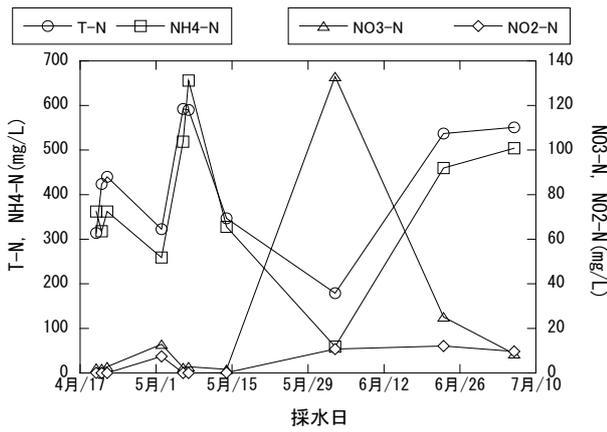


図4 セメント添加12%試験区浸透水水質

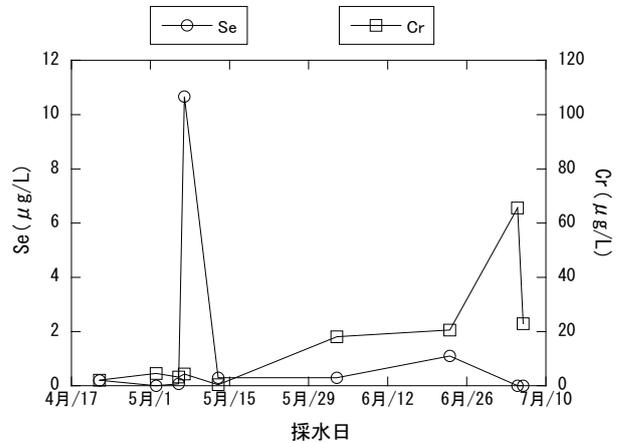
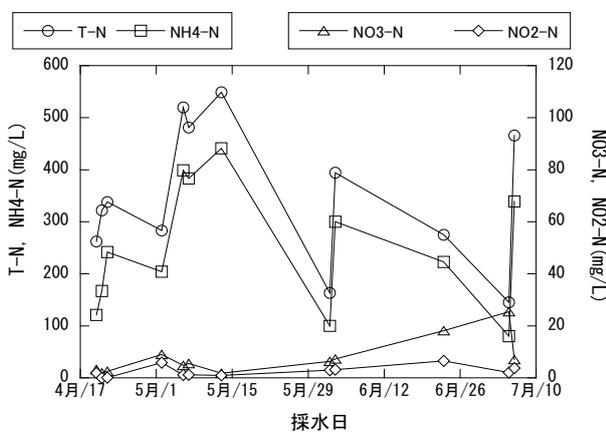


図5 セメント添加15%試験区浸透水水質

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(66µg/L)を除いて採水期間中50µg/L以下であった。セレンについては、5月6日の値(11µg/L)を除いて採水期間中1µg/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/m <sup>2</sup> /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、これを試験区的面積9m<sup>2</sup>で除して求めた。得られた値は96-303g/m<sup>2</sup>/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/m<sup>2</sup>/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<sup>-2</sup>-10<sup>-6</sup>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、試験区的面積が3m×3mと小さいため、重機が十分に締め固めできなかつたためである。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

- 1) 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)
- 2) 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、最新土壌学、朝倉書店、p. 122、1997