

袋詰脱水処理工法によるため池等放射性物質封じ込め効果の検証

土橋聖賢・阪本廣行・道端秀治

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に起因した原子力発電所の事故により放出された放射性物質が農業用ダム・ため池の底に蓄積し、営農再開時においてため池の水利用の際に放射性物質が農地に流出することが懸念されている。このため、福島県では放射線物質に汚染されたため池の底質除去等を行う放射性物質対策技術を公募し、実用可能かつ効率的と判断されるものについての実証事業を実施した。

本稿では、福島県内において放射性物質等対策実証事業として実施した袋詰脱水処理工法による放射性物質汚染底泥の封じ込め・減容化技術の検証結果を報告する。

2. 福島県のため池の汚染状況と実証事業

2.1 汚染状況

平成26年度に行われた農林水産省東北農政局及び福島県農地管理課の調査¹⁾によると福島県の避難指示区域外のため池2,287箇所の水は、その98%の2,234カ所で放射性セシウムが検出下限値の1Bq/L未満であった。水質で検出された53箇所(2%)の放射性セシウムは、主に土粒子等の浮遊物質(濁り成分)に吸着・固定されている懸濁態であった。

ため池底質2,647箇所の底質の放射性セシウム濃度の度数分布を図-1に示す。図に示すように1,000~10,000Bq/kgが60%、10,000Bq/kg超が18%で、最大22万Bq/kgであった。

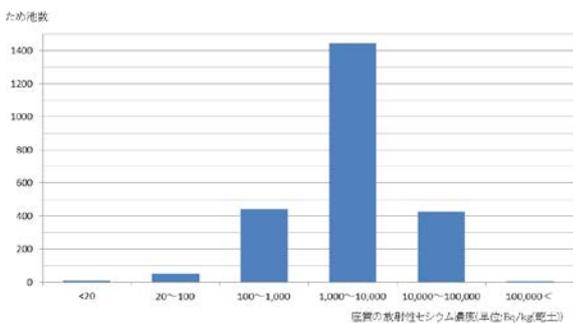


図-1 ため池底質の放射性セシウム濃度の度数分布

The Use of Geo-Tube Method to Retard the Migration of Radioactivity Contaminations in Dredged Soil at a Pond in Fukushima prefecture.

これらの放射性セシウムは底質の表面から10cm以浅の上層に多く、下層になるほど少なくなる傾向にあった。平面的には、放射性セシウム濃度は、ため池底の凹部や集水域からの流入部等に高い値が認められた。営農上、ため池の底質の除去は、不可欠であるが、8,000Bq/kgを超える放射性物質汚染土は指定廃棄物となり、管理型処分場での特別な処理が必要となる。そのため、ため池の土砂上げができない状態にある。

2.2 放射性物質等対策実証事業

福島県では、以上のような背景に、効果的・効率的な底質除去対策が推進させられるよう放射性物質対策技術を公募し、実用可能かつ効率的と判断される技術についての実証事業を実施した²⁾。実証事業では、49件の応募技術があり、本工法以外に底泥の固化技術や水処理プラントによる減容化技術など3技術が採択され、技術の実証が行われた。

3. 封じ込め・減容化技術の概要

本工法の基本となる袋詰脱水処理工法は、国立研究開発法人土木研究所（旧建設省土木研究所）、（一財）土木研究センター及び民間企業が行なった共同研究の成果である。ハイグレードソイル研究コンソーシアムでは、袋詰脱水処理工法による放射性物質汚染底泥の封じ込め・減容化技術（以下、本工法）の研究開発を実施している。本工法は、透水性を有する袋に高含水の粘性土や河川・湖沼などの軟弱な底泥を充填して脱水することにより減容化するものである。

放射性セシウムは、土粒子と強く吸着する性質を有している。このため放射性セシウムを含んだ底泥を袋に充填することで、土粒子に吸着した放射性セシウムを袋内に封じ込めることができるとともに、脱水することで汚染土の減容化を行える。

本工法は、作業及び装置が簡単で、特別な技術を要することなく、さらに脱水後には、運搬や仮置き場での積重ねができ、効率よく袋体を管理できる³⁾。これまで大阪港のダイオキシン類の対策工事⁴⁾や放射性物質汚染底質の封じ込め実験⁵⁾も行っている。

4. ため池等放射性物質対策実証工事

ため池に堆積する放射性物質を含む底質の効果的な除去及び減容化技術の確立を目的に実証工事を実施した。工事に当たっては、①底質の掘削及び袋詰め充填時の放射性物質を含む底質の流出防止、②袋に充填後の脱水による減容の効果。③作業ヤードと貯蔵ヤードが異なる場合を想定し、袋体の移設、④保管ヤードとしてため池の可能性についても確認を行った。

実証工事は、福島県内のため池(3,800m²)で、池面積の三分の1の底質を除去した(写真-1, 図-2)。

工事の実施規模は、施工面積が1,000m²、掘削厚さが0.15mで、掘削土量150m³(充填土量: 225m³(対地山約1.5倍))で袋は、225袋を用いた。



写真-1 ため池全景

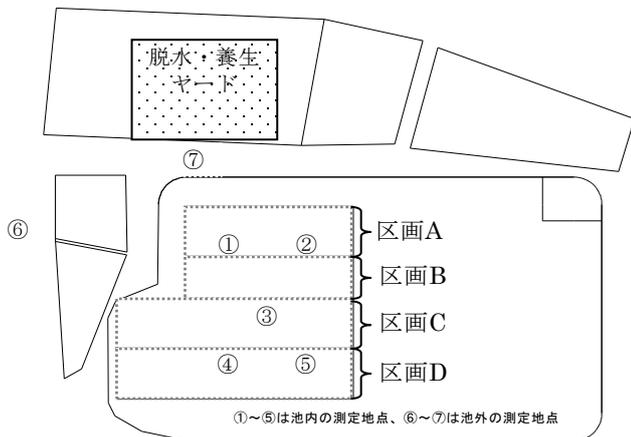


図-2 ため池形状と掘削範囲

4.1 施工

準備工からの作業工程のフローを図-3に示す。

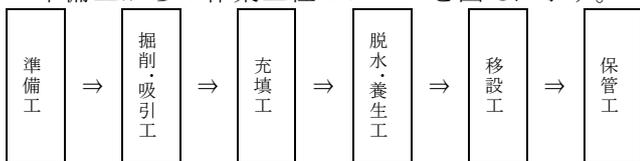


図-3 施工フロー

(1)掘削・吸引工

掘削に先立ち、貯留水を水深30cm程度まで排水した。掘削は放射性物質の存在する表面の薄層の

みを除去するよう泥上掘削機(写真-2)で掘削し、バケット背面の排出口を経由して泥水とともに掘削底泥をバキューム車で吸引した(写真-3)。



写真-2 泥上掘削機による掘削



写真-3 バキューム車による吸引

(2)充填工

吸引した底質をバキューム車の排出装置を用いて袋へ充填した(写真-4)。充填量は、充填管理装置を使用して1m³となるように管理した。



写真-4 充填の状況

(3)脱水・養生工、移設・保管工

充填した袋体を脱水養生ヤードにて1日間脱水養生を行った後、保管ヤードにクレーンを用いて移設した(図-4, 写真-5)。

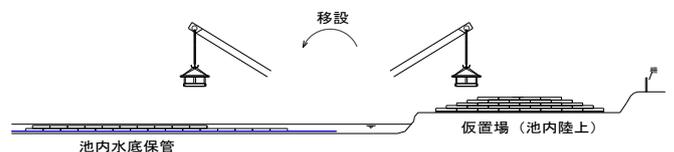


図-4 クレーンでの移設

土研センター

保管は、ため池内での保管の可能性を探るためにため池敷地内ヤードと陸上ヤードで行った。ため池内での保管は、ブルーシート 3 枚を敷き、その上に 75 体の袋体を 2 段積みし、保護シートで覆った。



写真-5 移設状況

4.2 本工法による効果及び影響

(1)底泥の除去

放射性物質の除去状況を調べるため、掘削の前後で同じ個所から底泥の採取を行い、放射性物質濃度を比較した。底泥の放射性物質量の測定結果を図-5に示す。採取は図-2の①～⑤で実施した。除去率は最大99.3%、最低75.5%で平均値93.6%であった。

今回の掘削方法で、効率よく放射性物質を含む底泥の除去できた。

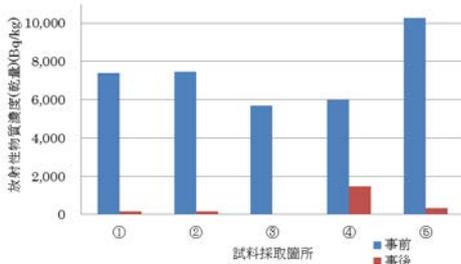


図-5 底泥の放射性物質低減状況

(2)放射性物質の封じ込め率

充填後の袋体の封じ込め効果を確認した。

表-2のように袋に充填した泥土量と泥土の放射性物質濃度から封じ込めた放射性物質量を推計した。また、排水中放射性物質量は、袋体からの排水量と排水中に計測された最大の浮遊物質(SS)濃度に対する換算放射性物質濃度から推計した。推計した封じ込め率はいずれも99.96%以上であった。なお、表中の試料A～Dは図-2のエリアから掘削・吸引した試料である。

(3)袋からの排水中の放射性物質濃度

袋から排水された水の放射性物質濃度を直接測定した結果は表-3に示すように1例を除き排水の放射性物質濃度は検出値以下で、検出された1例も、

放射性物質は極わずかで、放流水の排水基準値以下であることが確認された⁶⁾。

表-2 放射性物質の封じ込め率

項目	試料A	試料B	試料C	試料D
①放射性物質濃度(乾量)(Bq/kg)	2,740	2,065	3,105	576
②放射性物質濃度(湿量)(Bq/kg)	652	622	829	267
③湿潤密度(g/cm ³)	1.21	1.23	1.19	1.39
④充填土質量(kg) ③×1,000	1,210	1,230	1,190	1,390
⑤充填土の放射性物質量(Bq) ④×②	788,920	765,060	986,510	371,130
⑥SSmax(mg/L)(充填から1時間)	450	160	100	220
⑦7日間の排水量累計(m ³)	0.25	0.35	0.49	0.46
⑧浮遊物質量(kg)⑥×⑦	0.113	0.056	0.049	0.101
⑨排水中の放射性物質量(Bq)* ⑧×①	309.62	115.64	152.15	58.17
⑩封じ込め率(%)100-(⑨/⑤)×100	99.96	99.98	99.98	99.98

*)初期濁りが7日間続いたと仮定したものであり、実際の排水中の放射性物質濃度を示すものではない。

表-3 水槽の放射性物質濃度

試験No.	放射性物質濃度(Bq/L)*			計算結果**
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計	
1	5.20	N. D. (4.8)	5.20	0.09
2	N. D. (4.7)	N. D. (4.9)	N. D.	N. D.
3	N. D. (5.9)	N. D. (6.5)	N. D.	N. D.
4	N. D. (5.0)	N. D. (4.2)	N. D.	N. D.

※)N. D. は検出下限濃度未満で、()内の数値は検出下限濃度
 ※※) ¹³⁴Cs/60+¹³⁷Cs/90≦1

(4)充填土の脱水減容化率

図-6に示す袋詰後の袋の高さから袋内の充填量(表-4)を求め、表-5のように地山体積からの減容化率を6.1%と推計した。目標減容化率を30~40%としていたが、寒さによる凍結と養生期間の短さにより、目標より低かった。

表-4 袋の高さと充填量

	試料A		試料B		試料C		試料D	
	高さh (cm)	充填量 V (m ³)	高さ	充填量	高さ	充填量	高さ	充填量
充填直後	50	1.00	50	1.00	50	1.00	50	1.00
7日後	31	0.75	26	0.65	20	0.51	21	0.54

V = -1.4428h² + 2.8597h、V:袋の充填量(m³)、h:袋高さ(m)

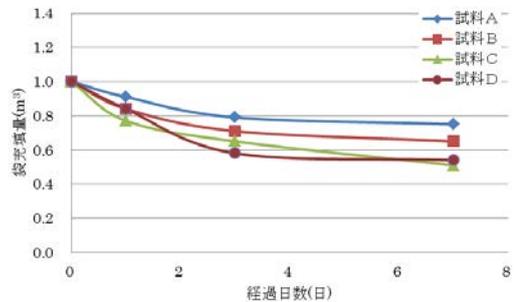


図-6 袋の充填量の経時変化

表-5 減容化率の計算

項目	計算値
⑪地山体積(m ³)	150
⑫充填土体積(m ³)*	228
⑬7日後の1袋あたり平均体積(m ³)	0.6125
⑭7日後の充填土の体積(m ³)*	140.84
⑮地山に対する充填土の増加率(%) (⑫-⑪)/⑪×100	52
⑯地山に対する脱水土の減容化率(%) (⑫-⑭)/⑫×100	6.1

※)バキューム車残渣3m³を含む

(5)ため池保管の袋詰土からの放射性物質の拡散

ため池に保管した袋体からの放射性物質の拡散を調べるために、袋体をため池内に保管後、2回の水質調査を行った。水質調査の結果、ため池の貯留水から放射性物質は検出されず、袋詰脱水処理土を池内保管による放射性物質の拡散はなかった。

5. 今後の課題と対策

底質の除去・流出の防止、汚染物質の封じ込めなどについて一定の成果を得たが、底質の薄層掘削技術や工法全体としての経済性、適用条件について課題が残った。今後、以下の点に改善・工夫を行うこととしている。

(1)掘削時の細粒分拡散防止

今回のように貯水したままの底泥の除去では掘削時に細粒分が池内に拡散する。これを防止するには、貯留水を底質上面まで落水し、釜場で掘削時の排水を回収する対策を取る必要がある(図-7)。

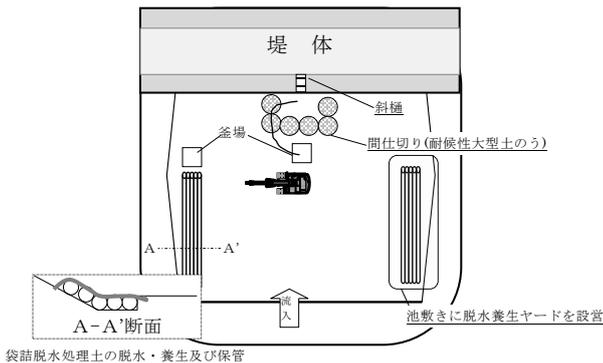


図-7 落水して掘削を行う施工例

(2)脱水の促進

今回は、気温が低く、袋体の表面が凍結したため減容化が目標に届かなかった。そのため、池の水が凍るような時期の施工は避ける、もしくは脱水・養生時に袋体を積重ねて袋の表面の凍結を防ぐとともに、脱水期間を通常より長くとり、その後保管場所へ移動する対策を取ることがなど脱水を促進させる方法を採用する必要がある(図-8)。

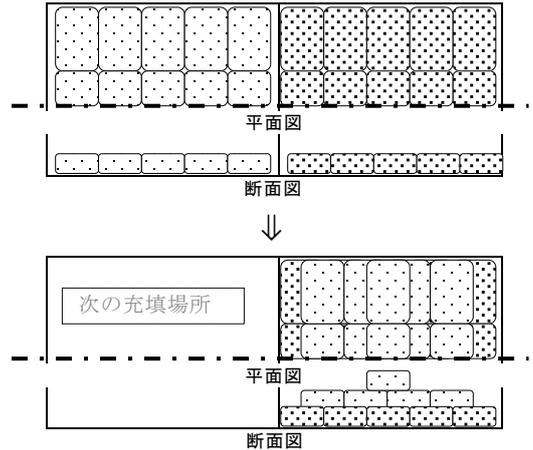


図-8 段積みによる脱水促進例

(3)施工ヤードの縮減

今回の実証事業では、池の外に脱水・養生ヤードを設置した。図-7の池敷きに脱水・養生ヤードを設け施工ヤードを縮減する方法がある。

謝 辞

最後になりましたが、実証事業を行うにあたり、ご助言下さった「福島県ため池等放射性物質対策公募技術審査委員会」をはじめ、現場を提供くださった福島県の関係者の方々、技術的に協力いただいたHGS研究コンソーシアムの方々に感謝申し上げます。

参考文献

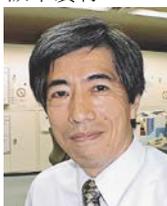
- 1) 東北農政局整備部・農村計画部、福島県農地管理課：平成26年度福島県内のため池等における放射性物質の調査結果について、平成27年3月
- 2) 福島県農林水産部：平成26年度福島県ため池等放射性物質対策公募技術実証事業実施結果報告、平成27年4月
- 3) 土木研究所資料第3902号：袋詰脱水処理工法による高含水比ダイオキシン類汚染底質・土壌封じ込めマニュアル(案)、平成15年7月
- 4) 土橋聖賢、藤井二三夫他1名：袋詰脱水処理工法の底質ダイオキシン類浄化への適用例、土木技術資料、第51巻、第3号、pp.56~59、2009
- 5) 土橋聖賢、阪本廣行他2名：袋詰脱水処理工法による放射性物質汚染底泥の封じ込め実験、土木技術資料、第55巻、第3号、pp.58~61、2013
- 6) 環境省：「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則」、平成25年6月

土橋聖賢



(一財)土木研究センター
技術研究所地盤・施工
研究部 主任研究員
Kiyomasa DOBASHI

阪本廣行



(株) フジタ建設本部
エグゼクティブコンサル
タント
Hiroyuki SAKAMOTO

道端秀治



(株) ピーエス三菱
技術部環境技術G
Hideharu MICHIBATA