

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

土橋聖賢* 道端秀治** 大友啓次*** 阪本廣行****

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災によって、東京電力福島第一原子力発電所より大量の放射性物質が放出された。その量は東京電力の試算では90京ベクレルに上り、旧ソ連チェルノブイリ原発事故での放出量の約17%にあたる膨大なものである。このため福島県を中心に広い範囲が降下放射性物質により汚染された。こうした状況を踏まえ生活圏や農用地の除染を行うため、「放射性物質汚染対処特措法」(略称)が制定されるとともに、除染のための様々な技術開発がなされている。

ハイグレードソイル研究コンソーシアムにおいては、特に、河川・湖沼などに堆積している底質に注目し、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・減容化技術の研究開発を実施している。本報告では、福島県川内村で実施した封じ込め確認実験の結果を報告する。

2. 袋詰脱水処理工法

袋詰脱水処理工法は、透水性を有する袋(ジオテキスタイル製)に高含水の粘性土や河川・湖沼などの軟弱な底質を詰めて脱水し、減容化するとともに、袋ごと運搬・積重ね・貯蔵・保管する工法である。

2.1 原理

放射性セシウムは、多くの重金属やダイオキシン類等と同様、土粒子と強く吸着する性質を有している。したがって、放射性セシウムを含んだ泥土・泥水を袋体に充填し、布材によって土粒子をろ過することにより土粒子に吸着した放射性セシウムは袋体内に封じ込めることができ、脱水することで汚染土の減容化を行える。

2.2 特徴

本工法は、作業および装置が簡単で、特別な技術を要することなく汚染物質の封じ込めを行える特徴を有する。このため、大型の施設を持ち込むことが困難な、ため池などの小規模な底泥の処理に適する。また、ろ過されず排出される土粒子の量は極めてわ

ずかであるので、排出水には、ほとんど放射性物質を含まず、排水基準を満足する。さらに脱水後には、運搬や仮置き場での積み重ねができ、効率よく袋詰脱水処理土を管理でき¹⁾、これまで大阪港のダイオキシン類の封じ込め工事などの実績がある²⁾。

3. 川内村の汚染状況

川内村は、一部が除染特別地域(事故後1年間の積算線量が20ミリシーベルトを超えるおそれがあるとされた「計画的避難区域」と、福島第一原子力発電所から半径20km圏内の「警戒区域」)に、その他の地域は汚染状況重点調査区域(放射線量が1時間当たり0.23マイクロシーベルト以上の地域)に指定されており、汚染状況重点調査区域については川内村による除染作業が進められてきている。しかし、一般の河川・湖沼の底質については、山野に堆積した放射性物質が豪雨の際に土砂とともに流出し、河川や湖沼に再度集積すると考えられていることから、除染作業が行われていない。その一方、農業用水のため池や川魚の養殖用池などでは、農水産物の安全確保の観点から放射性物質の除去が緊急の課題になっている。

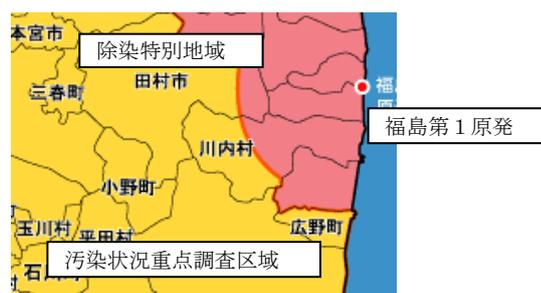


図-1 除染区域(川内村、環境省ホームページ)

4. 放射性物質汚染底泥封じ込め確認実験

本確認実験は、袋詰脱水処理工法による底泥の封じ込め・減容化処理の実施に当たって、①効率的かつ簡便な集泥方法の確立、②袋に充填した放射性物質の封じ込め効果の確認、③充填した袋体の減容化の速さや袋体の取扱等の施工性の確認の3点を主目的に行った。実験は、図-1に示す川内村の重点調査区域内のため池(川内村下川内水上地内)で実施した。



図-2 実験場所(yahooロコより)

なお、実験場所の空間放射線量は、 $0.36 \sim 0.42 \mu \text{Sv/h}$ で、底泥直上で $0.59 \sim 0.64 \mu \text{Sv/h}$ であった。

施工は図-3に示すように底質の集泥（吸引除去）、袋への充填、脱水、運搬および仮置きを行った。

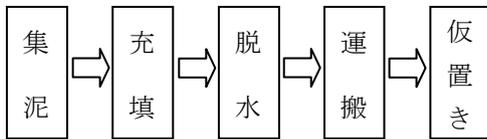


図-3 施工フロー

4.1 集泥方法

放射性物質の放出から1年間程度しか経過していない。その間の河川や湖沼に堆積した底泥の量は限られているために、放射性物質で汚染された底泥は、ため池底面の表面にごく薄く堆積していると考えられる。このために汚染された底泥の集泥には、できる限り底泥表面を薄く集泥する必要がある。底泥の浚渫方法としては、クラムシェルやバックホウ、ポンプ浚渫、泥土吸引圧送等による水中掘削が考えられるが、これらの大型の機械による浚渫は、今回の対象となる工事規模や掘削厚さの関係から不相当である。今回の汚染底泥の除去では、ため池の水を排水後、施工精度の面から除去深さ(厚さ)として10cm程度を目安に、人力でレーキを用いてため池底面の表層土をかき集め、それをバキューム車の吸引により除去を行った。バキューム車はレシーバータンク容量 3m^3 、吸引圧力はMaxで -700mHg のものを使用した。

4.2 袋充填工

バキューム車に吸引した底泥は、バキューム車から吐出し、汚染土対策用の袋に充填した。袋は表-1の3種類を用いた。袋の大きさは、仮置き場への運搬を考慮し、バックホウで吊り上げが可能な 1m^3 の小型袋を使用した。

袋は袋体からの排水の水質・量の計測のために計量枠に設置した。計量枠の大きさは巾 $2\text{m} \times$ 長さ $3\text{m} \times$ 高さ 1m とした。充填量は、袋の高さを計測するこ

とにより管理し、 0.68m を管理高さとした。また、充填土を採取し、放射能濃度測定を行った。



写真-1 集泥・吸引状況とバキューム車

表-1 袋仕様

| 袋種類 | 引張強さ (N/cm) | | 寸法等 |
|-----|-------------|------|--------------|
| | 縦 | 横 | |
| 袋① | 1280 | 1530 | ポリエステル |
| 袋② | 726 | 718 | 織布 |
| 袋③ | 1170 | 1247 | 幅1.5m×長さ2.3m |



写真-2 底泥の袋への充填状況



写真-3 脱水後状況 (28日後)

4.3 脱水

袋は充填後28日後まで型枠内に静置し、脱水養生を行った。また、この間に経時的な袋高さ変化や濁度・浮遊物質(以下SS量という)、排水の放射能濃度測定を行った。



図-4 採水および袋高さ確認状況

土研センター

4.4 運搬撤去工

28日養生後の袋体は、重機で吊り上げ、仮置き場へ運搬し、遮水袋へ詰め替えの後、保管を行った。

5. 試験結果

5.1 集泥・吸引・充填

底質の土質性状は、表-2に示すように比較的砂分が多かった。集泥・吸引は、写真-1に示すように人力作業でレーキ等を用いて集泥し、バキューム車により吸引することで底泥を薄く、簡便に吸引除去できた。その際、底泥の含水比は、現位置での358.7%に対し、底泥とともに表面の水を吸引したため袋への充填状態では589.7%と増加した。また、集土・吸引作業においては、放射性物質をため池に残さないようにレーキでのかき集め・吸引とも汚染底泥の深さよりも深い土砂までも採取するようにした。袋への充填は写真-2に示すようにバキューム車のタンクから直接袋に充填を行った。充填量は、脱水後1m³となるように、1.3m³とした。

表-2 底泥の土質性状

| | | |
|-----------------------------|---------|-------|
| 土粒子の密度 (g/cm ³) | | 2.531 |
| 粒度 | れき分(%) | 4.5 |
| | 砂分(%) | 64.5 |
| | シルト分(%) | 18.0 |
| | 粘土分(%) | 13.0 |
| 含水比 | | 358.7 |
| 土の強熱源量(%) | | 11.3 |

5.2 放射性物質の封じ込め効果

(1)底質の放射能濃度の変化

表-3に底泥の放射能濃度の変化を示す。採取前のため池の底泥の放射能濃度は、池の岸近くで101Bq/kg、中央部分で11,200Bq/kgであった。実験では、濃度の高い池の中心部に近い場所から底泥を採取した。バキューム車により吸引除去した底泥(以後、充填土という)の放射能濃度は4,800Bq/kgであり、元の底泥の11,200Bq/kgと比較して半分以下の値を示した。これは元の底泥が手作業により表面層のみを採取したのに対し、バキューム車での吸引では、吸引口の径が10cm程度を用いたため、放射性物質が多い表面層だけではなく、その下の放射性物質が少ない層からも採取したためと考えられる。袋への充填28日後の処理土の放射能濃度は2,420~3,800Bq/kgで充填土(4,800Bq/kg)と比較して低い値を示したが、吸引場所や吸引深さによる誤差と考えられる。

表-3 土の放射能濃度測定結果

| 採取場所 | | 放射能濃度 (Bq/kg) | | |
|------|-----------------|---------------|----------------|-------|
| ① | 底泥 | 池中央部 | 11,200 (実験に使用) | |
| | | 岸部 | 101 | |
| ③ | 袋体充填泥土 (バキューム車) | | 4,800 | |
| ④ | 排水後の袋体内部 (28日後) | 袋① | 袋② | 袋③ |
| | | 3,000 | 2,420 | 3,800 |

(2)排水の放射能濃度

袋への充填および脱水過程における排水の放射能濃度測定結果を表-4に示す。充填後、0~30分間の排水量は約200Lで、放射能濃度は3.4Bq/L以下であった。それ以降の排水は、いずれも不検出(定量下限値は半減期の関係から測定までの時間により異なる。)であり、検出された濃度も表-5に示した排水基準値(環境省ガイドラインおよび現地(川内村)基準)よりかなり低い値であった。

表-4 排水の放射能濃度 (Bq/L)

| | 袋① | 袋② | 袋③ |
|---------|------------|------------|------------|
| 0~30分 | 2.6 (1.32) | 不検出 (1.48) | 3.4 (1.35) |
| 30分~1時間 | 不検出 (1.46) | — | — |
| 1時間~2時間 | 不検出 (1.45) | 不検出 (1.41) | 不検出 (1.51) |
| 2時間~4時間 | 不検出 (1.39) | — | — |
| 4時間~1日 | 不検出 (1.47) | — | — |
| 1日~7日 | 不検出 (1.27) | — | — |

※ ()内は定量下限値

表-5 排水基準

| | 基準値 | 備考 |
|-----------|--|--|
| 環境省ガイドライン | ¹³⁴ CS 60Bq/L以下 ¹³⁷ CS 90Bq/L以下 | ¹³⁴ CS濃度 (Bq/L) + ¹³⁷ CS濃度 (Bq/L) ≤ 1 60 90 |
| 現地(川内村基準) | 35Bq/L以下 | ¹³⁴ CS濃度 + ¹³⁷ CS濃度 |

また、排水中のSS量の経時変化を図-5に示す。SS量は袋③の0~30分の測定値を除き、排水基準値(200mg/L以下、(日間平均150mg/L以下)、一律排水基準、環境省)以下であった。

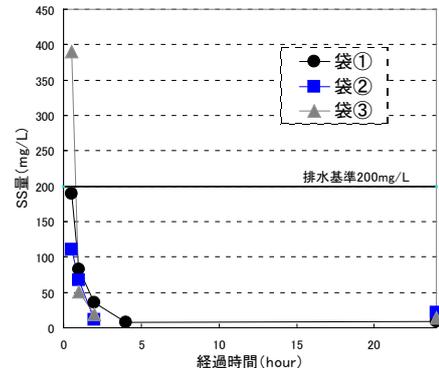


図-5 SS量の経時変化

(3)封じ込め率

袋体に充填された底泥の土量と放射能濃度より袋体の内部には、約1.0×10⁶(Bq)の放射エネルギーが蓄積されたことになる。一方、袋体からの排水に含まれる放射能濃度はSS濃度の比率により換算すると、709(Bq)となり、99.9%の放射性物質が封じ込められ

たことになる。

袋体内の充填土の放射能量：

$$Q_0 = \gamma_t \times V_0 \times (100 / (100 + w_1)) \times B_{q0}$$

$$= 1.096 \times 1295 \times (100 / (100 + 589.7)) \times 4800$$

$$= 1.0 \times 10^6 \text{ (Bq)}$$

γ_t :土の湿潤密度、 V_0 :充填容積 (L)、 B_{q0} :充填土の放射能濃度 (Bq/kg)、 W_1 :袋体充填土含水比

排水中の放射能量： Q_1

$$Q_1 = \text{換算比率}(0.0137) \times \text{SS濃度}(5 \times 10^4)$$

$$= 709 \text{ (Bq)}$$

封じ込め率： A

$$A = (Q_0 - Q_1) / Q_0 = (1.0 \times 10^6 - 709) / 1.0 \times 10^6$$

$$= 99.9 \%$$

(4)減容化効果

底泥土量を100とした場合の原位置での底泥の体積、袋に充填した時点での底泥および28日脱水後の底泥の体積を図-6に示す。図より底泥の体積は掘削に伴って50%程度増加しているが、脱水に伴い底泥中の水分が排除され、原位置の約60%程度まで体積を減じている。28日間脱水させた底泥は、十分な強度を有していたため、袋に充填したままバックホウで吊り上げ、仮置き場までダンプ車により運搬することができた。なお、袋体表面10cmの空間線量は、放射性物質が濃縮されたため0.48~0.59 μ Sv/hと周辺より高くなった。

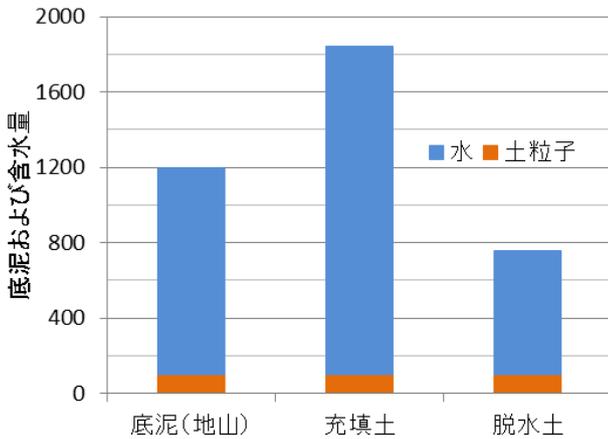


図-6 底泥の体積変化



図-7 脱水後の袋の吊り上げ・運搬状況

6. まとめ

袋詰脱水工法を用いて放射性物質を含む底泥の封じ込め・減容化確認試験を実施した結果、以下のことを確認できた。

- ① レーキによる人力集泥およびバキューム車の吸引により簡便に底泥を集土・吸引・除去が可能なが確認できた。
- ② 放射性物質汚染土を袋に充填することで放射性物質を99.9%以上で封じ込めることが可能であり、袋からの排水は排水基準値を満足しており、そのまま排水可能なことも確認できた。
- ③ 袋へ充填することで、地山と比較して約60%の減容化ができ、袋のままの吊り上げ・運搬・仮置き保管が可能であることが確認できた。

謝 辞

最後になりましたが、実験を行うにあたり現場を提供して下さった川内村役場に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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52巻、第3号、pp.70~74、2009

土橋聖賢*



一般財団法人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

道端秀治**



株式会社ピーエス三菱技術部環境技術G
Hideharu MICHIBATA

大友啓次***



前田工織株式会社水環境保全推進部担当課長
Keiji OOTOMO

阪本廣行***



株式会社フジタ建設本部土木エンジニアリングセンター 技術企画部
Hiroyuki SAKAMOTO