

# ため池の底泥固化による放射性物質の流出防止技術

## Runoff Control of Radioactive Material from Irrigation Pond by Solidification of Contaminated Sediments

河 田 直 美<sup>†</sup>  
(KAWATA Naomi)

柴 野 一 則<sup>†</sup>  
(SHIBANO Kazunori)

遠 藤 修<sup>†</sup>  
(ENDO Osamu)

椿 雅 俊<sup>†</sup>  
(TSUBAKI Masatoshi)

### I. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災によって、福島第一原子力発電所は多量の放射性物質の放出を伴う重大な原子力事故を引き起こした。この時に放出された放射性物質の一部は、周辺地域を汚染したため、現在に至るも、住宅や農地などにおいて大規模な除染作業が実施されている。

また、ため池においても原子力発電所の事故に起因して、底泥に放射性物質が蓄積している。このように放射性物質が蓄積したため池について、その水利用や施設管理に支障となる危惧があることから、営農再開・農業復興の観点から実態の把握と対策が望まれている。

福島県は、県内の農業用ダムやため池において放射性物質を含んでいる底泥の除去などを進めるための新技術を2014年6月に公募した。そして、公募案件の審査には農業農村工学会に設置された学識研究者から構成される「福島県ため池等放射性物質対策公募技術審査委員会」が当たった。

筆者らは上記の公募に応募し、この「貯留水の急速浄化排水と底泥固化による放射性物質の流出防止技術」を提案し、それが実証事業として選定され、2014年12月に福島県と契約を締結した。実証事業の工期は、12月から翌年3月までであった。以下、実証事業の概要を示す。

### II. 実証試験の概要

当初、筆者らが提案したため池での実証事業は、図-1に示す手順で行うこととしていた。しかし、提案の採用後に福島県から提示された相双地区のAため池では、池内の貯水が少ない状態になっていたため、第一段階の取水装置による貯水の排除という作業の必要性は認められなかった。そのため、第二段階から現地での検証作業を行った。なお、ため池は、底部対策面積約2,000 m<sup>2</sup>、堤高約5.4 m、堤体の幅約3.0 mの

小規模のため池である。

実証事業を実施するに際しては、セメント系固化材によって表層固化させた底泥からの放射性セシウム（以下、「Cs」という）の溶出を公共の水域への排水基準（<sup>134</sup>Cs濃度 (Bq/ℓ)/60 + <sup>137</sup>Cs濃度 (Bq/ℓ)/90 ≤ 1）以下<sup>1)</sup>にするため、適切なセメント系固化材の種類とその量を定めることが重要である。このため、事前のため池の底泥を用いて室内試験を実施し、配合量を決定することとした。

また、施工後の品質を確認するため、固化させた底泥を現地から採取し、Csの溶出量が排水基準値以下であることを確認することとした。

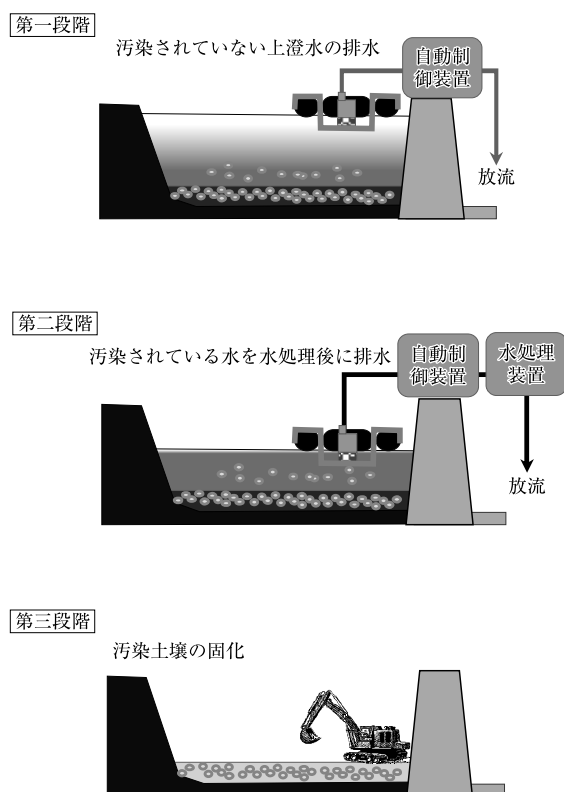


図-1 施工の手順図

<sup>†</sup>東急建設（株）

### III. 事前調査

#### 1. 現地の底泥の状況

施工前の事前調査では、現地から底泥を採取し土質試験などを行った。その結果は表-1に示すとおりである。これによると、強熱減量は18%であり、有機物の含有量が多いことが確認された。またCs濃度は、7,600 Bq/kgであった。

表-1 現地底泥の組成

|     |                   | 測定値                     |
|-----|-------------------|-------------------------|
| (1) | 湿潤密度              | 1.236 g/cm <sup>3</sup> |
| (2) | 土粒子密度             | 2.348 g/cm <sup>3</sup> |
| (3) | 含水比               | 188.2%                  |
| (4) | 砂分                | 16.5%                   |
|     | シルト分              | 59.6%                   |
|     | 粘土分               | 23.9%                   |
| (5) | 強熱減量              | 18%                     |
| (6) | Cs                | 7,600 Bq/kg-Dry         |
|     | <sup>134</sup> Cs | 1,800 Bq/kg-Dry         |
|     | <sup>137</sup> Cs | 5,800 Bq/kg-Dry         |
| (7) | pH                | 6.48                    |

#### 2. 調査方法および結果

(1) 溶出試験 A ため池の底泥を採取し、供試体を作製した。底泥に混合するセメント系固化材は、県が実施した先行研究の結果から宇部三菱セメント(株)の高分子有機質用固化材US-20(以下、「US-20」という)を使用することとした。また、US-20の配合量については、東北農政局がすでに実施していた試験結果などを参考にして、50、100および150 kg/m<sup>3</sup>の3種類の供試体を作製した。供試体の形状は、φ50 mm×100 mmとし、US-20を混合して3日間養生した後にCsと六価クロムの溶出量を測定した。測定に当たっては、JIS-K0058に基づき、供試体をそのまま供試体の10倍量の水に入れ、200 rpmで6時間攪拌する方法をとった<sup>2)</sup>。その結果は、表-2に示すとおりであり、US-20の混合量にかかわらず、Csと六価クロムの溶出量は基準値未満であり、排水基準を満足していた。

表-2 溶出試験結果

| 項目                | 単位   | セメント系固化材配合量          |                       |                       | 検出<br>下限値 |
|-------------------|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
|                   |      | 50 kg/m <sup>3</sup> | 100 kg/m <sup>3</sup> | 150 kg/m <sup>3</sup> |           |
| <sup>134</sup> Cs | Bq/ℓ | <1                   | <1                    | <1                    | 1         |
| <sup>137</sup> Cs | Bq/ℓ | <1                   | <1                    | <1                    | 1         |
| Cs                | Bq/ℓ | <2                   | <2                    | <2                    | 2         |
|                   |      |                      |                       |                       | 基準値       |
| 六価クロム             | mg/ℓ | <0.01                | <0.01                 | <0.01                 | 0.05      |

(2) 固化材添加供試体のコーン貫入試験 コーン貫入試験は、実証工事で使用することを予定しているバケット容量が0.45 m<sup>3</sup>のバックホウが走行可能となる地耐力を満足することを確認するために実施した。このバックホウの場合、必要となるコーン指数( $q_c$ )は500 kN/m<sup>2</sup>以上である。本試験に当たっては、100 mm モールドの供試体を使用した。コーン指数( $q_c$ )は、コーンペネトロメーターを速度1 cm/sで、供試体上端面から連続的に貫入させ、コーン先端が5 cm, 7.5 cm, および10 cm 貫入した時点の貫入抵抗力をコーン先端の底面積で除して求めた。

供試体は、養生1日後( $\sigma_1$ )、3日後( $\sigma_3$ )のものを使用した。図-2にコーン指数の結果を示しているが、US-20の配合量が増加するとコーン指数も増加していることが確認できる。

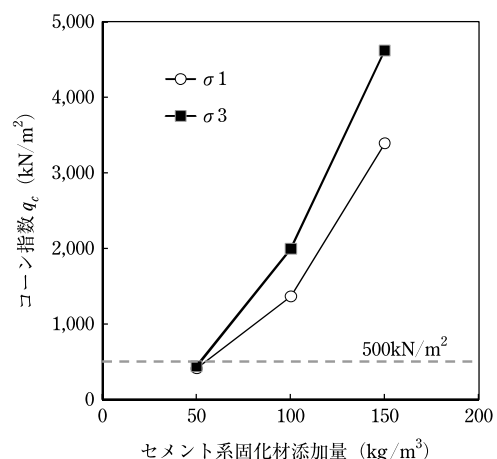


図-2 コーン貫入試験結果

汚染土壌の固化を行うためには、地表に重機を乗り入れる必要がある。このため、セメント系固化材による改良により、溶出の抑制とともに、重機作業を行う際に求められる地盤の支持力を確保する必要がある。

溶出試験およびコーン貫入試験の結果から実証工事でのセメント配合量は、以下の条件を満足するように決定した。

- ① Csの溶出がないこと
- ② 六価クロムの溶出が基準値以下であること
- ③ 使用する重機の走行が可能な支持力を確保すること

以上のことを満足させ、さらにバックホウによるセメント系固化材の不均一さを考慮すると、US-20の混合量は、100 kg/m<sup>3</sup>とし、改良深さは0.5 mまで確保することとした。

### IV. 実証事業の検証方法と結果

(1) 検証位置 前述したようにAため池は、対策

面積約 2,000 m<sup>2</sup>の小規模のため池であり、改良深さが 0.5 m、改良土量は、約 1,000 m<sup>3</sup>である。地盤改良の品質試験頻度は、1,000 m<sup>3</sup>ごとに 1 検体と設定されている<sup>3)</sup>ため、本工事の品質試験では、品質確保の観点から 3 カ所 (A, B, C) を設定した。試験地点の位置を図-3 に示す。

具体的な作業としては、セメント系固化材の混合をバケット容量が 0.45 m<sup>3</sup>のバックホウを用いてフレコバック 1 袋 (1 t) を 1 区画 (4 m×5 m=20 m<sup>2</sup>) に散布し、深さ 0.5 m までを混合するものであった。

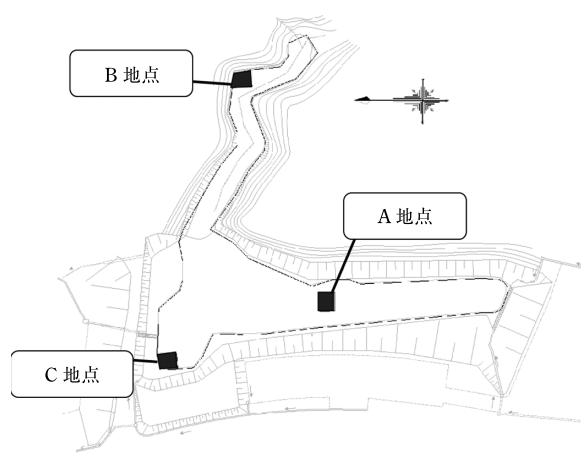


図-3 品質試験の位置図

(2) 溶出試験 所定の配合量で底泥と固化した後、採取した改良土を養生 3 日後において溶出試験 (JIS-K0058) を行った。測定項目は、Cs 濃度および pH である。

その溶出試験結果を表-3 に示す。3 地点において Cs 溶出量は検出下限値 (2 Bq/ℓ) 未満となっており、排水基準を満足していた。pH はセメント系固化材の影響により高アルカリ性を示した。

表-3 溶出試験結果

| 項目                | 単位   | 地点   |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|
|                   |      | A    | B    | C    |
| <sup>134</sup> Cs | Bq/ℓ | <1   | <1   | <1   |
| <sup>137</sup> Cs | Bq/ℓ | <1   | <1   | <1   |
| Cs                | Bq/ℓ | <2   | <2   | <2   |
| pH                |      | 11.5 | 12.1 | 12.0 |

(3) 現地コーン貫入試験 コーン貫入試験は、試験位置 A, B, C において 9 カ所で行った。表-4 に各区画の 3 日養生後の表層から 0.05~0.10 m の測定結果を示す。改良前の  $q_c$  は、46~92 kN/m<sup>2</sup>とそのままの状態では人が歩行できない状態であった。しかし、改良後の  $q_c$  は 587~649 kN/m<sup>2</sup>となり、重機走行が可能で目標値の 500 kN/m<sup>2</sup>を確保することができた<sup>4)</sup>。

表-4 コーン指数  $q_c$  の試験結果

| 地点 | 条件      | $q_c$ 平均値 (kN/m <sup>2</sup> ) | $q_c$ 標準偏差 (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----|---------|--------------------------------|---------------------------------|
| A  | 改良前     | 46                             | 28                              |
|    | 改良 3 日後 | 604                            | 25                              |
| B  | 改良前     | 72                             | 19                              |
|    | 改良 3 日後 | 649                            | 31                              |
| C  | 改良前     | 92                             | 46                              |
|    | 改良 3 日後 | 587                            | 29                              |

(4) 底泥固化による流出防止の模擬試験 固化により底泥が流出しないことを確認するため、改良後の現位置よりコアを採取し、JIS-K0058 に準拠し、採取した試料をそのままの状態では、回転数 200 rpm で攪拌を行い、溶出試験を実施した。ここでは、改良前と改良後の現地の底泥をそれぞれ攪拌し濁度を測定した。濁度の測定は、上水試験方法に準拠し、濁度標準液として、5 種混合ポリスチレン系粒子懸濁液を用いた。

試験結果を表-5 に示す。改良前の底泥の場合、攪拌開始から終了まで濁度は、4,000~5,500 度程度の高い値を示した。それに対し、改良後の底泥の濁度は <1~9 度と、改良前の底泥と比較し、大幅に低い値を示した。この試験結果からセメント固化材によって底泥を固化させると、洪水時においても流出防止が可能となるといえる。

表-5 濁度の変化

| 攪拌時間  | 濁度 (度) |        |
|-------|--------|--------|
|       | 改良前の底泥 | 改良後の底泥 |
| 5 分   | 4,000  | 6      |
| 10 分  | 4,900  | 8      |
| 30 分  | 5,000  | 9      |
| 1 時間  | 5,200  | 9      |
| 6 時間  | 5,400  | 9      |
| 24 時間 | 5,500  | <1     |

(5) ため池貯水の pH 変化 ため池の貯水を施工前、施工中、施工後に採水し、pH を測定した。その結果を図-4 に示す。底泥改良工事施工前のため池貯水の pH は 7.0 であった。底泥改良を実施すると、セメント系固化材の影響により pH 12.0 まで上昇した。

改良 2 週間後には pH は 10.5 にまでわずかに低下した。その後、2 カ月後の 2 月 24 日には pH 7.2 まで低下している。さらに、約 70 日後の 3 月 11 日以降は、pH 6.8 になり安定している。

一般的にセメント改良土の場合、改良した表面は、空気中の炭酸ガスによる炭酸化や降雨などによるアルカリ成分の溶脱などによりしだいに中和していくことが知られている<sup>5)</sup>。また、2 月以降は降雨が定期的であり、ため池の貯水が増加したことも pH 低下の要因

と考えられる。

したがって、将来の営農を考慮するとセメント改良後、60～90 日程度までは、継続して pH の低下を確認することが必要であると考えている。

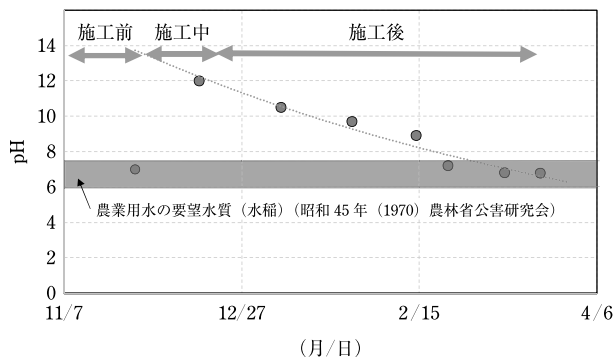


図-4 ため池貯水の pH 変化

## V. まとめ

以上のことから、放射性物質によって汚染されたため池において本工法の有効性が確認された。

最後に、本工法を採用する場合の留意点を以下に示すこととする。

- ① 事前調査による固化材の種類や混合量を決定することが重要である。
- ② 施工後の品質試験において Cs の溶出の有無や pH の変化を調査することによって営農に悪影響を与えないか検証する必要がある。
- ③ 底泥固化の施工面積が小さい場合には、進入路の整備費などの仮設費の比率が高くなるため経済性の面から今回実証に用いたため池より大きな規模のため池に対して本工法を適用すべきである。

なお、本工法については、平成 27 年 4 月に公表された、福島県の実施結果報告書<sup>6)</sup>において以下のような評価を得ている。

- ① バックホウによる施工が可能であり、多くのため池で実用可能な技術である。
- ② 底泥の放射性廃棄物の発生、搬出が少なく施工できるため、仮置き場が確保できない場合に有利である。

また、現地適用上の制約条件などについては、以下のように指摘されている。

- ③ 底質土が大量にたまっていて浚渫により貯水容量の改善が必要な状態のため池には不適である。
- ④ 水処理装置の設置場所 40 m<sup>2</sup>とため池の上部に

バックホウなどの置き場が必要であり、進入路の幅は 3 m 以上必要である。

**謝辞** 本実証工事の実施に当たっては、福島県農地管理課および相双農林事務所から地元の調整とともに助言をいただきお礼申し上げます。また、本技術を共同で開発したみらい建設工業（株）およびアマナス真和（株）に感謝する次第である。

## 引用文献

- 1) 環境省：放射能濃度等測定方法ガイドライン（第 2 版），pp.43～46（2013）
- 2) 国立環境研究所：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料：第四版），p.32（2014）
- 3) （社）セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 4 版），pp.138～139（2012）
- 4) 同上，p.117（2012）
- 5) （社）セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 3 版），pp.55～56（2003）
- 6) 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，pp.9～10（2015）  
[2015.10.7.受理]

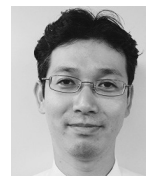
## 略 歴

### 河田 直美（正会員・CPD 個人登録者）



1976年 京都大学卒業  
農林水産省  
2008年 （財）日本水土総合研究所  
2012年 東急建設（株）  
現在に至る

### 柴野 一則



1994年 日本大学大学院修了  
東急建設（株）  
2008年 土木本部環境技術部  
現在に至る

### 遠藤 修



1984年 東北大学大学院修了  
東急建設（株）  
2008年 土木本部環境技術部  
現在に至る

### 椿 雅俊



1990年 武蔵工業大学卒業  
東急建設（株）  
2008年 土木本部環境技術部  
現在に至る