

膨潤抑制剤を利用した除去土壌の 再生資材化技術に関する基礎研究（その 2）

Study of Efficient Reuse Technologies for Removed Soil with Swelling Inhibitors (Part 2)

羽瀨博臣* 清水祐也* 今井亮介*

要 旨

現在、東日本大震災で発生した原子力発電所事故由来の放射性物質に対して除染作業が進められており、その際に除染作業で発生した除去土壌（約 1,400 万 m³）を減容化し、再生資材として利用するために、湿式分級処理する方法が検討されている。一方、中間貯蔵施設における受入分別時の異物除去を効率化するために改質材が用いられているが、改質材には高吸水性樹脂が数%配合されているものがある。

高吸水性樹脂は高い吸水膨潤性があるため、湿式分級処理で回収された土壌の土質特性に影響を及ぼす懸念がある。本研究では、湿式分級処理で回収された土壌を用いて構築した盛土、及び高吸水性樹脂の吸水膨潤性を打ち消す膨潤抑制剤を添加して構築した盛土を設置し、盛土資材に膨潤抑制剤を適用した場合の土質特性や環境への影響に関する基礎的評価を実施した。その結果、膨潤抑制剤の適用は、「土質特性の向上に寄与する」、「周辺環境や人の健康に悪影響を及ぼさない」、「雨水等の浸透性が向上する」こと等を確認した。

キーワード：除去土壌、減容化、湿式分級処理、高吸水性樹脂、膨潤抑制剤

1. まえがき

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故に由来する放射性物質の拡散に対して、広範囲の除染作業は完了したが、帰還困難区域においては特定復興再生拠点を中心に現在も除染が進められている。また、これらの除染で発生した除去土壌が大量であることから、その減容・再生利用についての各種検討が行われている。

環境省が主催する減容・再生利用技術開発戦略検討会等では、放射性セシウム濃度が 1.5 万～6.2 万 Bq/kg（平成 30 年 10 月時点の濃度で約 134 万 m³ が対象）の除去土壌を再生資材として利用するために、湿式分級処理する方法も検討されている。この処理方法は、放射性物質がより吸着されやすい土壌の細粒分²⁾を除去して再利用可能な土壌を得る方法である。

また、湿式分級処理の対象となる土壌には、中間貯蔵施設における受入・分別時の異物除去を効率的に行うために改質材が用いられており、この改質材の中には、数%の高吸水性樹脂（以下、SAP：Super Absorbent Polymer）が配合されているものがある。この SAP は水

と接触すると数百倍に体積膨張し、内部に水を取り込む³⁾。このため、湿式分級処理で回収される土壌の粗粒分（以下、回収粗粒土壌）の含水率が增大することとなり、土木資材として利用する際には転圧作業等の効率低下が生じる可能性がある。さらに、SAP の保水機能については、農林業分野での研究事例はあるが、力学特性についての報告は少ない。

一方、膨潤した SAP に塩化カルシウムなどの多価陽イオンを含む薬剤（以下、抑制剤）を加えると膨張が抑制され、取込んだ水分を放出する特性が知られている³⁾。

そこで本研究では、この特性を利用し、抑制剤を湿式分級処理の解泥処理工程で添加する方法により、SAP の吸水膨潤性を打ち消す抑制剤の適用効果、及び抑制剤添加に伴う土質特性への影響を把握することを目的とした。本報告では、回収粗粒土壌を盛土資材等として再生利用した場合の力学特性及び浸出水水質等の環境への影響評価結果を報告する。

なお、本報告は、中間貯蔵・環境安全事業株式会社（以下、JESCO）が環境省より受託した、平成 31 年度及び令和 2 年度中間貯蔵施設の管理等に関する業務の成果^{4) 5)}の一部であり、奥村組技術研究年報 No.46「膨潤

* 土木本部土木部環境技術室

抑制剤を利用した除去土壌の再生資材化技術に関する基礎研究⁶⁾の続報として報告するものである。

2. 試験の概要

本試験では、実際に中間貯蔵施設で分別された除去土壌を用いて盛土を構築し、1年間にわたって盛土の沈下や土質、水質等の実挙動を確認した。

対象とした盛土は、福島県大熊町の JESCO の技術実証フィールド内に構築された3体の盛土である。盛土は、次節に示す提供土壌、及び提供土壌を湿式分級処理して回収した回収粗粒土壌を用いて構築した。なお、提供土壌は、複数回に分けて搬入されたため、均質化を図るためにバックホウで混合・攪拌し、原料土壌とした。盛土構築までの試験フローを図-1に示す。構築した3体の盛土は、表-1の盛土の諸元に示すように、抑制剤添加の有無等の諸条件により各盛土A~Cを仕切板で区切り、ケース1~6に区分した。

盛土の配置図を図-2に、盛土Aの模式図を図-3に、構築した盛土の全景を写真-1に示す。各盛土は崩れや法面を保護するため、盛土全体を透水性のある防塵シートで覆い、盛土Cについては、細粒分が多い土壌であったため、さらに飛散防止のために保護マットで盛土全面を被覆した。土質試験は盛土構築時と解体時に実施し、沈下量等のモニタリングについては1年間実施した。盛土内からの浸出水に対しては、抑制剤を添加することによって生じる放射性セシウム等の溶出の促進や硫酸第一鉄に含まれる鉄分の増加、硫酸イオンによるpHの低下等、浸出水の水質の変化を確認することを目的に、水質モニタリングを行った。その際、盛土の表面を流れて防水堤に入ってきた水による稀釈等が生じないように、防水堤を内外で分ける構造とし、各ケースとも図-4に示す横1m×縦2mの内側防水堤で仕切った範囲(ケース1を例としてハッチング部分)から集水した浸出水を採取した。なお、湿式分級処理試験等の過程については、奥村組技術研究年報 No.46⁶⁾を参照されたい。

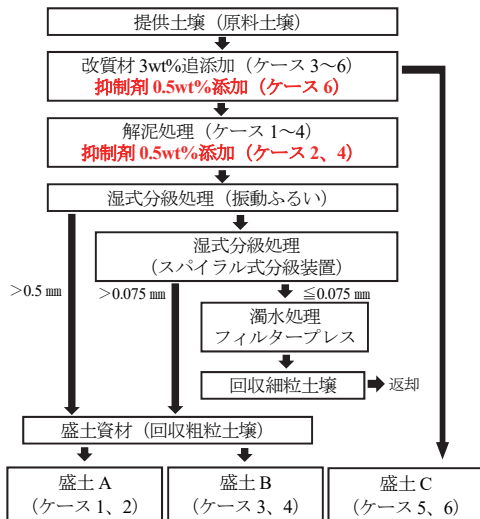


図-1 盛土作成フロー

表-1 構築した盛土の諸元

盛土名	A (盛土を仕切板で区切り2種類の土壌で構築)		B (盛土を仕切板で区切り2種類の土壌で構築)		C (盛土を仕切板で区切り2種類の土壌で構築)	
	1	2	3	4	5	6
ケース番号	1	2	3	4	5	6
改質材 3wt%追加	なし		あり			
抑制剤 0.5wt%添加 ^{※1}	なし	あり	なし	あり	なし	あり
湿式分級処理	あり				なし	
底面寸法 (m) ^{※2}	W:1.5 L:3.0	W:1.5 L:3.0	W:1.5 L:3.0	W:1.5 L:3.0	W:1.5 L:3.0	W:1.5 L:3.0
上面寸法 (m) ^{※2}	W:0.5 L:1.1	W:0.7 L:1.1	W:0.5 L:1.1	W:0.7 L:1.1	W:0.4 L:1.1	W:0.5 L:1.1
高さ (m) ^{※2}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
材料湿潤重量 (t)	5.4	4.7	4.5	5.4	2.7 ^{※3}	3.4 ^{※3}
盛土体積 (m ³)	2.22	2.37	2.21	2.36	2.08	2.23
単位体積重量 (t/m ³)	2.43	1.98	2.04	2.29	1.30	1.53
土質区分	細粒分まじり礫質砂	細粒分まじり礫質砂	細粒分質礫質砂	細粒分質礫質砂	砂まじり細粒土	砂まじり細粒土
細粒分混入率 (%)	13.0	14.0	16.9	16.9	87.7	86.1
含水率 (%)	17.0	18.7	20.1	19.2	42.0	43.7
締固めの方法	<ul style="list-style-type: none"> ・一層のまき出し厚は約35cm ・転圧は各層をバックホウのパケットにて抑え、表面は手作業にて法表面等を仕上 ・ケース1から6の1層目を構築後、ケース1に戻り2段目の構築といった手順で各盛土を構築 					
沈下板	<ul style="list-style-type: none"> ・各ケース2個×6ケース=12個を設置 ・沈下板寸法はロッド(L=0.5m)付き鋼板(40cm×40cm)で、天端より深さ30cmに埋設設置 					

※1: 硫酸第一鉄を原料土壌に対して湿潤重量比で0.5wt%添加

※2: 盛土構築直後の実測値

※3: 追加した改質材と抑制剤量は含まない

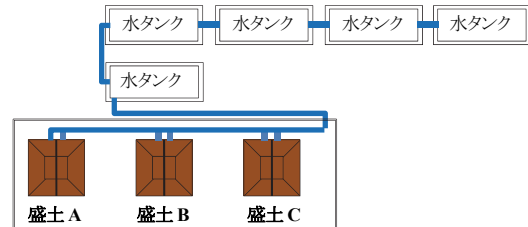


図-2 盛土配置図

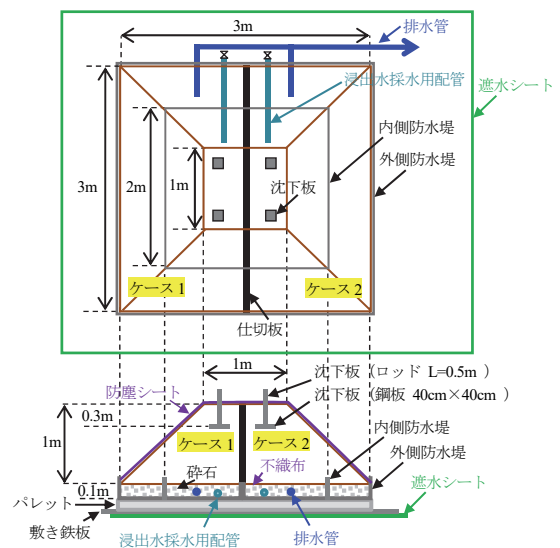


図-3 盛土A模式図

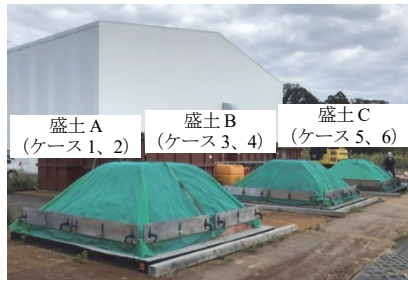


写真-1 構築した盛土

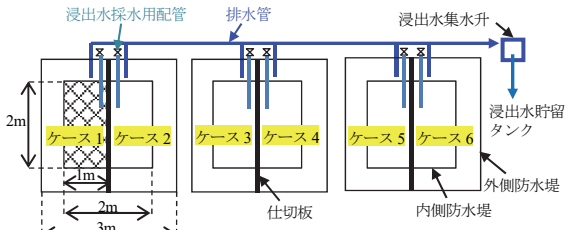


図-4 浸出水排水経路模式図

3. 提供土壌

試験に使用した土壌は、中間貯蔵施設内における異物除去の際に 2wt%程度の改質材が添加された除去土壌であり、提供土壌と称する。ただし、同材に含まれるSAPの配合率については不明である。提供土壌の性状を表-2に、粒度分布を図-5に示す。なお、提供土壌は、ダンプトラック数台に分けて搬入され、下記に示す性状・粒度分布は、そのうち代表試料1検体の測定結果である。

表-2 提供土壌の性状

項目	物性
地盤材料の分類名	細粒分質礫質砂
自然含水率	23.4%
放射性セシウム濃度	2,375Bq/kg

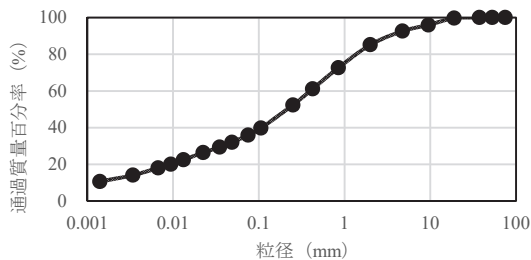


図-5 提供土壌の粒度分布

4. SAP を含む改質材と膨潤抑制剤

本試験では、SAP を含む3種類の改質材(写真-2)の中から、「実証規模以上の使用量に対して調達が可能であること」及び「過去に中間貯蔵事業における実証事業等で評価されていること」を考慮して、シリカ系材料を主材とした市販品の改質材C(以下、改質材)を選定した。また、抑制剤は、4種類(写真-3)の中から、改質材に対し膨潤抑制効果を有し、再生利用土壌への影響がより少ないと考えられる硫酸第一鉄・七水和物(以下、FeSO₄)を採用した。

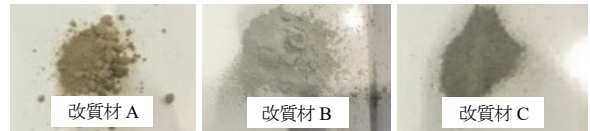


写真-2 改質材

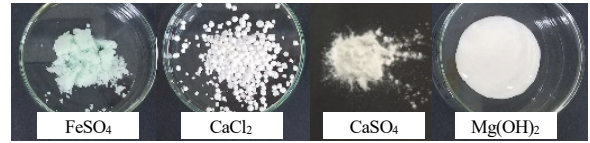


写真-3 膨潤抑制剤

5. 盛土のモニタリング

5.1 モニタリング項目・実施頻度

モニタリング項目を表-3に示す。各項目の実施頻度は下記の通りである。

- i. 原位置測定：月1回 計12回
- ii. 土質試験：盛土構築時と解体時 計2回
- iii. 浸出水の水質分析：月1回 計12回

表-3 モニタリング項目

名称	試験名	試験方法
原位置測定	原位置コーン貫入試験	JGS1431
	盛土沈下量	JGS1712
土質試験	コーン指数試験	JISA1228
	一軸圧縮試験	JISA121
	一面せん断試験	JISA121
	締固め試験	JISA1210
	含水比試験	JISA1203/JGS0122
浸出水の水質分析	電気伝導度	JIS-K-0102.13
	pH	JIS-K-0102.12.1
	強熱減量	JIS-K-0102.14.5
	溶解性鉄	JIS-K-0102.57.4
	硫酸イオン	JIS-K-0102.41.3
	ナトリウム	JIS-K-0102.48.2
	マンガン	JIS-K-0102.56.4
	TOC	JIS-K-0102.22.1
	放射性セシウム	Ge 半導体検出器
浸出水採水量	採取量計測	

5.2 モニタリング方法

表-3で示したモニタリングの各項目のうち、沈下量については、盛土天端に設置した沈下板2箇所の変化量を計測した。土質試験は、盛土構築時と解体時に実施し、浸出水に関しては、各盛土に敷設した採水用配管からの浸出水採水量の計量と水質分析を実施した。また、夏季については植生状況も観察した。

6. 盛土のモニタリング結果

6.1 原位置測定

a. 原位置コーン貫入試験

原位置コーン貫入試験の結果を図-6に示す。原位置コーン貫入試験は、各ケースの盛土天端で解体時に実施し、いずれも抑制剤を添加したケース2、4、6の方が、抑制剤添加なしのケース1、3、5に比べ、それぞれ高い値(14~36%)が得られた。この結果から、抑制剤の添加がコーン貫入抵抗値の増大に繋がったと考えられる。

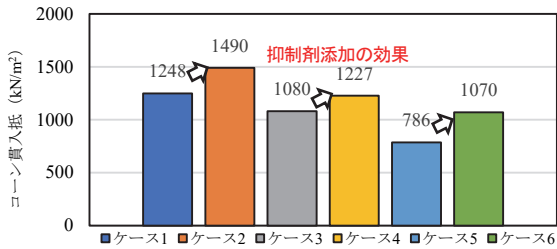


図-6 原位置コーン貫入試験の結果

b. 盛土沈下量

盛土沈下量の結果を図-7に示す。回収粗粒土壌（盛土 A、B）に対して、細粒土壌を含む湿式分級処理をしていない土壌（盛土 C）が大きく沈下した。これは土質の違いによるものと、盛土 C の構築時の含水率（ケース 5：42.0%、ケース 6：43.7%）が、ケース 1～4 の含水率（17.0%～20.1%）に比べ高かったことによるものと考えられる。一方、比較対象のケース 1 と 2、ケース 3 と 4、及びケース 5 と 6 については、抑制剤添加なしのケース（ケース 1、3、5）に比べ、抑制剤添加ケース（ケース 2、4、6）の方が沈下量は小さい結果となった。これらの結果から、SAP を含む改質材含有土壌に抑制剤を添加することで盛土等の沈下を抑制できることが確認できた。

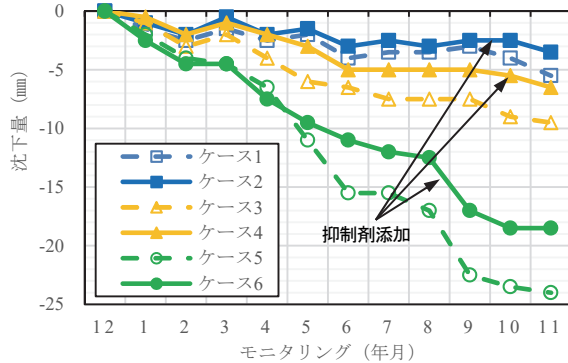


図-7 盛土沈下量の結果

6.2 土質試験

a. 結果概要

表-4 土質試験項目と結果の概要

盛土名		A		B		C	
ケース番号		1	2	3	4	5	6
改質材 3wt% 追添加		なし		あり			
抑制剤 0.5wt% 添加		なし	あり	なし	あり	なし	あり
湿式分級処理		あり					
コーン指数 (kN/m²)	盛土撤去時不攪乱試料	抑制剤を添加したケースで増加した (+4%)		抑制剤を添加したケースで低下した (-2%)		抑制剤を添加したケースで増加した (+35%)	
	盛土撤去時不攪乱試料	ケース 1,5 では試料採取できなかった。ケース 3,4 の比較ではケース 4 が大きな値 (9%) を示した					
一面せん断試験せん断応力 τ (kN/m²)	盛土撤去時不攪乱試料	高い値であった (229~365)				低い値であった (88, 84)	
	盛土撤去時不攪乱試料	抑制剤を添加したケースで低下した (-12%)	抑制剤を添加したケースで低下した (-12%)	抑制剤を添加したケースで増加した (+43%)	抑制剤を添加したケースで増加した (+43%)	抑制剤を添加したケースで低下した (-55%)	抑制剤を添加したケースで低下した (-55%)
締固め試験	盛土撤去時最適含水比 (%)	抑制剤を添加したケース (2, 4, 6) が若干大きな値 (3~8%) を示した					
	盛土撤去時最大乾燥密度 (g/cm³)	湿式分級処理した土壌 (粗粒分) は 1.635~1.731、分級していない土壌は 1.012, 1.004 となった。抑制剤の添加による差異はなかった					
含水比試験	含水率で表記 (%)	湿式分級処理した土壌 (粗粒分) に比べ、分級していない土壌は高い値を示したが、抑制剤の添加による差異はなかった					

実施した土質試験項目とその結果の概要を表-4に示す。なお、表中のコメントは、比較対象のケース 1 と 2、ケース 3 と 4、及びケース 5 と 6 を中心に記載した。

b. コーン指数試験

盛土天端から深さ約 60cm の位置で採取した不攪乱試料によるコーン指数試験の結果を図-8に示す。盛土 A (ケース 1, 2) 及び盛土 B (ケース 3, 4) では、ほとんど差は生じなかった。盛土 C (ケース 5, 6) では、抑制剤を添加したケース 6 が 35% 高い値を示した。この要因として、盛土 C は、元々盛土構築時の含水率が盛土 A、B と比べて高かったことから、抑制剤の効果が顕著に現れた結果と推察される。

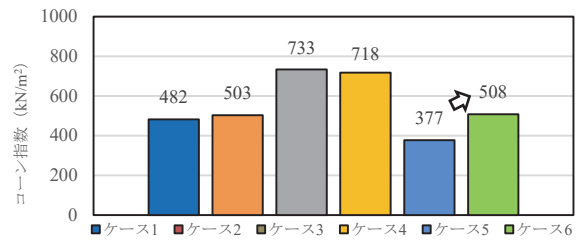


図-8 コーン指数試験の結果

c. 一面せん断試験

一面せん断試験の結果を図-9に示す。せん断応力は、測定値より、垂直応力を 200kN/m² として算出したものである。その結果、盛土 B (ケース 3, 4) において、抑制剤添加ケース 4の方が未添加のケース 3 と比べ約 11% (229→258kN/m²) 高い値を示したことから、抑制剤の添加によりせん断応力が向上したと推察される。一方、改質材を追添加していない盛土 A (ケース 1, 2) では、抑制剤を添加することでせん断応力が低下 (365→323kN/m²) していることから、SAP と結合しなかった過剰な抑制剤は、せん断応力を低下させる可能性が示唆された。

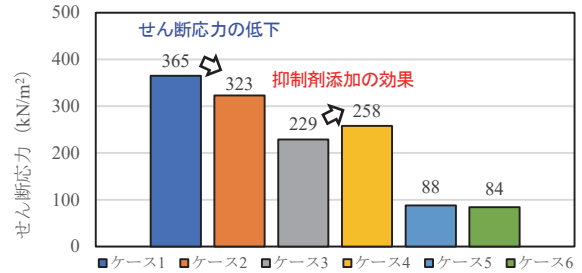


図-9 一面せん断試験の結果

d. 含水比試験

盛土構築時と盛土解体時における含水率の結果を図-10に示す。湿式分級処理した土壌 (粗粒分) ケース 1~4 に比べ、湿式分級処理していない土壌ケース 5~6 の含水率の方が高い値を示したが、抑制剤の添加による差異はなかった。また、盛土解体時の含水率は、全てのケースについて盛土構築時と比べ 2.5~8.2 ポイントの水分脱水が生じる結果となった。この含水率の低下は、試験開始時に比較的高い含水状態で盛土を構築したこと、及び 1 年間の乾湿の繰り返しで土壌中の SAP の保水能力が低

下りしたことによるものと考えられる。盛土構築時に高含水率の土壌を用いざるを得なかった背景としては、工程及びテント施設内空間の制約もあり、湿式分級処理後の土壌に対してわずかな脱水処理しか出来なかったという事情も影響している。

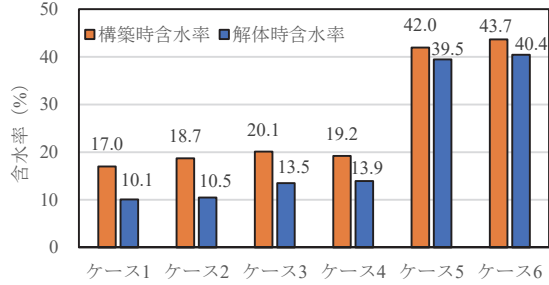


図-10 含水比試験の結果

6.3 浸出水の水質分析

a. 結果概要

浸出水の水質分析結果を表-5に示す。なお、表中のコメントは、比較対象のケース1と2、ケース3と4、及びケース5と6を中心に記載した。これら浸出水の水質分析の結果から、抑制剤添加による周辺環境への悪影響は低いと評価できる。

表-5 浸出水の水質分析

盛土名	A		B		C	
ケース番号	1	2	3	4	5	6
改質材3wt%追加	なし		あり			
抑制剤0.5wt%追加	なし	あり	なし	あり	なし	あり
湿式分級処理	あり				なし	
電気伝導度	ケース2の方が高い傾向		ケース4の方が高い傾向		4月と7月の結果において、ケース6の方が高い傾向	
pH	ケース2の1検体を除き、ケース2の方が若干低い傾向		ケース4の方が若干低い傾向		4月と7月の結果において、ケース6の方が若干高い	
強熱減量	ケース2の方が高い傾向		1月と4月は、ケース3の方が高い値、7月はケース4の方が高い値		ケース6必要量がとの比較1度も確保出来ず	
溶解性鉄	ケース2において、盛土構築後1ヶ月後までは排水基準超過、以降は排水基準以下		ケース4において、盛土構築後1ヶ月後までは検出されていたが、以降は不検出		ケース5の1月に検出されたが、排水基準以下	
硫酸イオン	ケース2の方が高い傾向		ケース4の方が高い傾向		ケース6の方が7月の結果において、高い傾向	
ナトリウム	ケース2の方が高い傾向		ケース4の方が1月と7月において、高い傾向		ケース6の方が4月の結果において、高い傾向	
マンガン	いずれの月も排水基準以下					
TOC	ケース1の方が高い場合が5回、ケース2の方が高い場合が4回と両ケースに顕著な違いは認められない		浸出水採水量の少なかったケース3の1月(0.1L)及び6月(0.05L)において、約40mg/Lと比較的高い数値		ケース6必要量がとの比較1度も確保出来ず	
放射性セシウム	全ての試料において不検出					
浸出水採水量	40.47L	73.46L	4.95L	64.0L	21.7L	1.1L

b. pH

pHは、各ケース7.2~8.7の範囲であった。ケース2の1検体のみ8.7を示し、排水基準(pH:5.8-8.6)を満

たさなかったものの、添加した抑制剤は酸性であり、その添加によるpHの低下は確認されなかったことから、pH低下の要因となる可能性は低いと考える。

c. 溶解性鉄

盛土構築から1ヶ月後までは盛土Aの抑制剤添加ケース2で溶解性鉄が排水基準を超過した。これは抑制剤に見合うSAP量がなく、過剰に抑制剤を添加したことが要因であると推察される。この点から、湿式分級処理した回収粗粒土壌の埋戻し直後に土壌に付着した鉄を含む洗浄水が流出する可能性があることは留意点の一つと考える。ただし、一旦低下した鉄の濃度が再び上昇することは確認されておらず、長期的に鉄の流出が続く可能性は低いと推察される。

d. 硫酸イオン

硫酸イオンは、抑制剤を添加した各ケースで高い値が確認された。盛土構築直後のケース2では、最高1300mg/Lで検出されているものの、海水の硫酸イオン濃度が約2600mg/L⁸⁾であることから、周辺環境への悪影響は低いと考える。

e. マンガン

福島県内の土壌には鉄やマンガンが含まれることがあるとの知見から、マンガンはモニタリングの対象としている。実際、マンガンは盛土構築直後にケース2及び4で若干高い濃度で検出されたが、全ての試料で排水基準(溶解性マンガン:10mg/L以下)以下あるいは不検出であった。このことから、抑制剤添加により土壌中のマンガンの溶出が促進される可能性は低いといえる。

f. 放射性セシウム

放射性セシウムは、全ての試料において不検出であったことから、湿式分級処理や抑制剤添加により放射性物質の流出が促進されることはないと考えられる。

g. 浸出水採水量

浸出水採水量を図-11に示す。浸出水採水量は、月1回の水質分析の際に、浸出水採水用配管から浸出水を採水し計量した累積値であり、発生浸出水の全量ではない。なお、盛土C(ケース5、6)に関しては、保護マットで覆ったことで雨水が浸透しづらかったため検討の対象外とする。ケース1~4においては、抑制剤添加ケース(ケース2、4)の方が、浸出水採水量が多い結果となった。比較対象のケース1と2、並びにケース3と4では、細粒分混入率はAとBの差異はほとんどなく(ケース1~4でそれぞれ13%、14%、16.9%及び16.9%;前述の表-1より)、抑制剤添加ケース(ケース2、4)の浸出水採水量が多いことから、抑制剤添加によりSAPの保水能力が低減され、浸出水採水量の増大に繋がったと考えられる。また、盛土Bは、盛土Aと比べ細粒分混入率が若干高いことに加え、改質材を追加している。そのため、ケース3はSAPの吸水により浸出水採水量がさらに少なく、ケース4は抑制剤に

よって SAP の吸水機能が抑制され、盛土中の余剰水が下方流下し易くなった可能性が考えられる。すなわち、抑制剤の添加によって、雨水等の浸透性が向上し、浸出水量が増大したことが推定される。また、抑制剤の添加の有無により、土壤周囲の水分の保持形態（自由水と非自由水）が変化している可能性等も推察される。

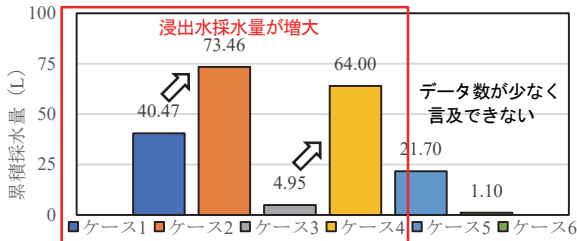


図-11 浸出水採水量

6.4 植生状況

浸透水への影響を考慮し、盛土表面の植生の刈り取りを実証試験期間中に3回行い、概略の植生量を測定した。例として、2020年9月10日（盛土構築後約10ヶ月）の刈り取り量は、ケース1～4でそれぞれ3.5kg、3.7kg、3.3kg、及び2.8kgである。盛土の位置関係や日当たりの差があるため、定量的な評価をすることはできないが、写真-4に示すように、抑制剤を添加したケース2及び4でも植生の繁茂が観察されている。加えて、前述の浸出水の水质分析においても抑制剤添加による環境への悪影響は低い結果が得られたことから、これらの添加材による植生環境への影響は生じていない結果といえる。なお、ケース5及び6については、細粒分が多い土壤であったため、飛散防止のために保護マットで盛土全面を被覆していたこともあり、盛土表面の植生自体が観察されていない。



写真-4 盛土南面の植生（2020年9月10日）

7. まとめ

回収粗粒土壌を盛土資材として SAP を含む可能性のある土壌や SAP を追添加した土壌の特性と、それに抑制剤を適用した時の効果と土質特性の変化及び抑制剤添加に係る環境への影響評価を行った。その結果を以下にまとめる。

- i. 土壌中の SAP の膨潤性が認められる場合、抑制剤の添加はコーン貫入抵抗値や沈下抑制など、土質特性の向上に寄与する
- ii. 土壌中の SAP 量に見合う適正な抑制剤の添加量であれば、周辺環境や人の健康に悪影響を及ぼさ

ない

- iii. 抑制剤を適用した盛土では雨水等の浸透性が向上する

以上の結果から、湿式分級処理を経て回収された粗粒土壌について、SAP の存在は土質特性に著しい影響を及ぼすものではないが、沈下量等を増大させる可能性があること、またそれに抑制剤を添加することで沈下量を抑制する効果が期待できること等を明らかにした。しかしながら、SAP による浸透水挙動への影響や抑制剤の効果等については十分な検討をすることが出来ておらず、今後の課題としてさらに検討を進めていく。

【謝辞】

本研究の遂行、及び実証事業推進に際して、環境省、JESCO の関係者各位ならびに国立研究開発法人国立環境研究所廃棄物・資源循環研究室の遠藤和人室長に指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 環境省、「減容・再生利用技術実証の現状と今後の予定一大熊分級技術実証事業一」、中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第11回）、2019
- 2) 伊藤健一、「放射性 Cs の土壌粒度別分布傾向と分級による減容化への取り組み」、粘土科学、Vol.54、No.1、pp.36-42、2015
- 3) 東 貴宏、宮田貴光、星野由雅、森下浩史、「新素材・高吸水性ポリマーを用いた授業実践」、教育実践総合センター紀要、No.10、pp.205-210、2011
- 4) 株式会社奥村組、「平成31年度除去土壌等の減容等技術実証事業（その7）膨潤抑制剤添加処理により除去土壌の再生利用を効率化する技術報告書」、<http://www.jesconet.co.jp/interim/information/josenjisho.html>
- 5) 株式会社奥村組、「令和2年度除去土壌等の減容等技術実証事業（その3）膨潤抑制剤添加処理により除去土壌の再生利用を効率化する技術報告書」、<http://www.jesconet.co.jp/interim/information/josenjisho.html>
- 6) 清水祐也、今井亮介、小西正郎、山田正彦、「膨潤抑制剤を利用した除去土壌の再生資材化技術に関する基礎研究」、奥村組技術研究年報、No.46、pp.103-108、2020
- 7) 高橋正通、柴崎一樹、仲摩栄一郎、石塚森吉、太田誠一、「高吸水性高分子樹脂を添加した土壌の物理・化学・生物特性」、公益財団法人国際緑化推進センター、森林立地62(1)、51～59、pp.4-5、2020
- 8) 国土交通省、水文水质データベース、7.地質環境その他項目、<http://www1.river.go.jp/100308.html>