

テーマ「除去土壌や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究」

除去土壌等保管容器の袋体性能試験

1. 背景・目的

1. 1. 研究背景

現在、東京電力（株）福島第一原発事故に伴った除染により発生する除去土壌等（除去土壌や、草木や汚泥などの除染廃棄物）は「除去土壌等仮置場」において環境省除染関係ガイドライン¹⁾及び福島県仮置場等技術指針²⁾等に基づき保管されている。今後、これら除去土壌等については中間貯蔵施設へ輸送され、中間貯蔵開始後、30年以内に県外最終処分されることとなっており、輸送までの間の安全な仮置場管理が求められている。現在、輸送は本格化しているものの、当初は中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかったこと等から、除去土壌等の発生量が全体で約1,400万m³と推計されているのに対して、2019年3月末時点で中間貯蔵施設への輸送が完了したのは約260万m³にとどまっている³⁾。結果、当初3年間とされていた仮置場での保管期間は長期化しており^{3,4)}、それに伴う技術的課題の一つとして、除去土壌等が封入された保管容器（フレキシブルコンテナ、耐候性大型土のう等）をはじめとする仮置場資材の耐久性に対する懸念がある^{3,5,6)}。これら資材は、多くの場合3年以上の保管を想定していない。一部の仮置場では、運搬時の保管容器の破損や上部シートの破損といった事例が報告されている（図1）。前述の通り除去土壌等の総量は極めて膨大であり、全ての保管容器を検査する・新品と交換する、といった対策を要求することは非現実的である。

以上の研究背景から、本章では今後の円滑な除去土壌等管理に資する知見を収集する為、仮置場資材、特に保管容器の長期的耐久性の調査を実施した。

1. 2. 保管容器について

除染活動によって発生する除去土壌等を封入する保管容器の種類を図2に示す。国が除染を実施する地域（除染特別地域）では、保管容器は主に耐候性大型土のう⁷⁾が使用される。一方で市町村が除染を実施する地域（汚染状況重点調査地域）では、フレキシ



→仮置場管理や保管容器運搬の支障に

図1 仮置場保管の長期化による課題

ブルコンテナ ランニング J 型 1 種⁸⁾をはじめ様々な容器が使用されており、その施工方法は自治体や仮置場によって異なる。これら保管容器の性能は「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル⁷⁾（以下「土のうマニュアル」という。）や JIS Z 1651 「非危険物用フレキシブルコンテナ」⁸⁾（以下「JIS Z 1651」という。）等によって規定されているが、これらの規格は試験項目・試験条件がそれぞれ異なっているため、その耐久性能を一律に比較することは出来ない。実際の仮置場ではフレキシブルコンテナも耐候性大型土のうも除去土壌等保管容器として同様に扱われているのが実情であり、これら保管容器の耐久性を一律かつ網羅的に評価することが求められているが、仮置場の保管容器の耐久性に関する既往の調査報告^{9,10)}はごく少数である。

種類	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 I 種	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 II 種	フレキシブルコンテナ クロススタンダード形 (耐候性)	耐候性大型土のう	一般大型土のう
写真					
容量	1.0 m ³	1.0 m ³	1.0 m ³	1.0 m ³	1.0 m ³
最大充てん質量	1,500kg	1,500kg	1,500kg	2,000kg	1,000kg
材質の例	ポリエステル繊維 +EVAの両面コーティング	ポリエチレン織布 ラミネーション加工有り	ポリプロピレン織布 ラミネーション加工無し	ポリプロピレン織布 ラミネーション加工無し	ポリプロピレン織布 ラミネーション加工無し
製造加工方法	一体成形 《=高周波溶着方式》	一体成形 《=熱風溶着》	非一体成形 《=縫製》	非一体成形 《=縫製》	非一体成形 《=縫製》
繰り返し充填	可能	可能	数回程度可能	数回程度可能	1回程度
除染における 主要用途の例	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除去土壌・除染廃棄物の 保管容器 ※除染の現場などでの保管 が長期にわたり、除去土壌等 中の汚水の環境中への流出が 懸念される場合に限る。	除染廃棄物を処理施設等へ 運搬する際の容器 ※短時間の運搬に限る。 (長時間の運搬や保管には 使用不可。)

※性能に関する規格の例

○耐候性能

JIS Z 1651…JIS B 7753に規定される装置での200時間の暴露試験等を実施し、フレキシブルコンテナJ型は初期強度の少なくとも70%、それ以外は初期強度の少なくとも50%を維持していること。

日本フレキシブルコンテナ工業会の自主規格…900時間の耐候性試験を行い、初期強度の70%を維持していること。

「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル…900時間の耐候性試験を行い、240N/cm以上の引張強度を維持していること等。

○防水性能

日本フレキシブルコンテナ工業会の自主規格…JIS K 6404-7Bによる漏水なきこと。

図2 保管容器の種類（引用：福島県、仮置場等技術指針（第5版）²⁾、p.14）

そこで本章では、仮置場で使用される代表的な保管容器（フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種・2 種、耐候性大型土のう）について、それぞれの試験規格である土のうマニュアルに基づく試験と JIS Z 1651 に基づく試験の両方を実施し、各種保管容器の長期耐久性を調査・比較した。

2. 実施内容及び方法

2. 1. 試験準備

本章の試験対象となる保管容器は、福島県内の県北地域の仮置場一か所（以下「仮置

場 A」という。) 及び県南地域の仮置場一か所 (以下「仮置場 B」という。) において、それぞれ現地で保管されている容器から選定した。仮置場 A 及び仮置場 B の施工イメージを図 3 に示す。仮置場 A は除去土壌等の保管に耐候性大型土のうを使用している一方で、仮置場 B では主にフレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種が使用されている。また、仮置場 A では除去土壌等保管容器と、除去土壌等からの放射線を遮へいする目的で設置された遮へい用土のうの両方が通気性防水シートの下で遮光保管されている一方で、仮置場 B では除去土壌等保管容器のみが遮光保管され、遮へい用土のうは日光曝露された状態で設置されている。

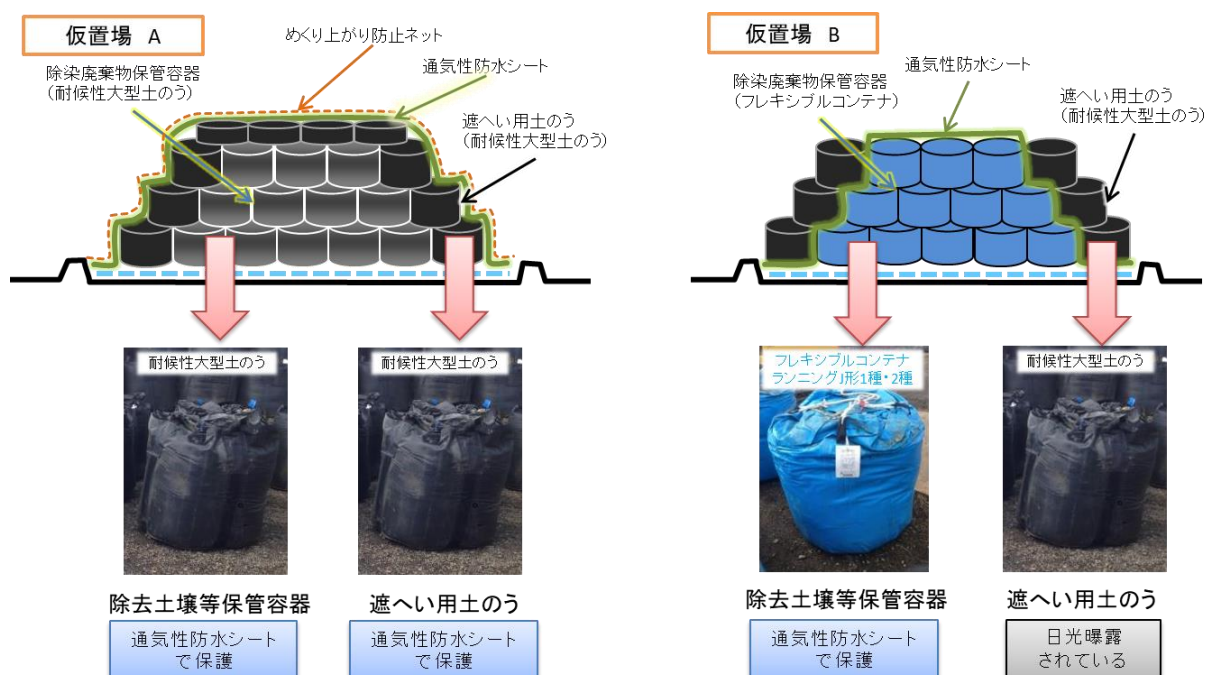


図 3 試験対象の保管容器を回収した仮置場の施工イメージ

2. 2. 「土のうマニュアル」に基づく袋体性能試験

2. 2. 1. 試験内容

2. 1. の仮置場で選定した保管容器 (除去土壌等保管容器及び遮へい用土のう) の袋体を回収し、土のうマニュアルに規定される袋体性能項目の内の 2 つ、吊上げ・吊下ろし試験と落下衝撃試験を実施した。試験内容のイメージを図 4 に示す。

まず、各保管容器の内容物の重量を 1.5t (14.7kN) 前後に調整する。そして、容器に 10kN の錘を載せた状態で吊上げ・吊下ろしを 9 回繰り返し、次に 20kN の錘を載せた状態で容器を吊上げて 5 分間保持する。その後は同じ容器に対して、錘を外して高さ 80cm から落下させることを 3 回繰り返し落下衝撃性能を調べた。ここまでは土のうマニュアルに規定された試験内容と同じ条件であるが、この時点で保管容器に大きな亀裂等が

ない場合は、更に落下試験を合計 10 回まで行い、その後はさらに落下高さを 90cm から 160cm まで 10cm 刻みで高くして 1 回ずつ落下衝撃試験を実施した。なお、保管容器に亀裂等が発生した時点でその容器の試験は終了し、次の試験体に移行することとした。

これらの試験では、保管容器の通常の使用（15～20kN 程度の負荷で容器を数回吊上げる）では起こりえない大きな負荷が発生するため、実使用の条件よりも過大な負荷をかけて安全性を評価する試験であると言える。

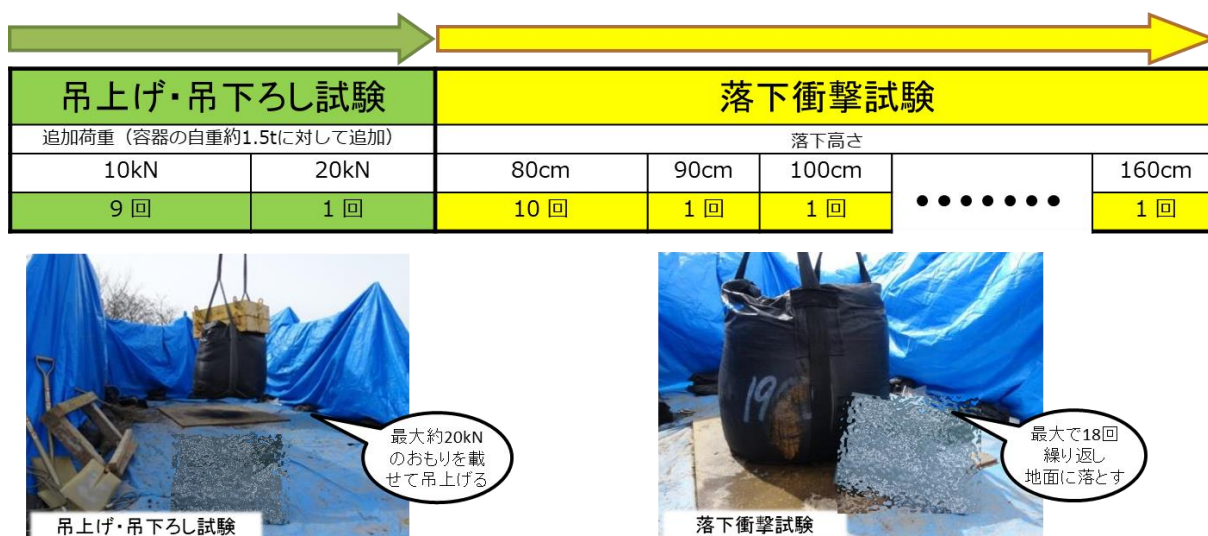


図4 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験のイメージ

2. 2. 2. 試験対象

土のうマニュアルに基づく袋体性能試験を実施した保管容器を表1にまとめる。容器の保管年数は約 1.7～5.2 年で、再現性を確認するための繰り返し試験数は 3 又は 6 とした。また、一部の保管容器については、3 段積層の最上段に設置された容器と最下段に設置された容器で強度に差異があるか比較を行った。

表1 試験対象の保管容器（土のうマニュアルに基づく袋体性能試験）

設置場所	種別	メーカー名 (仮称)	保管状態
仮置場 A	耐候性大型土のう	A 社	遮光保管
仮置場 B	耐候性大型土のう	B 社	日光曝露
	耐候性大型土のう	C 社	日光曝露
	耐候性大型土のう	D 社	日光曝露
	耐候性大型土のう	E 社	日光曝露
仮置場 B	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	S 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	T 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	U 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	V 社	遮光保管
	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 2 種	W 社	遮光保管
	不明※	X 社	遮光保管

※仮置場 B を管理する自治体で保管されていた仕様不明品。外見からフレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種と同等品と推察される。

2. 3. 「JIS Z 1651」に基づく袋体性能試験

2. 3. 1. 試験内容

2. 1. の仮置場で選定した保管容器（除去土壌等保管容器および遮へい用土のう）の袋体を回収し、JIS Z 1651 に規定される 2 種類の性能試験（繰返し頂部吊上げ試験、圧縮・積重ね試験）を実施した。試験内容のイメージを図 5 に示す。なお、土のうマニュアルに基づく袋体性能試験ではひとつの容器に対して 2 つの試験（吊上げ・吊下し試験、落下衝撃試験）を連続的に実施しているが、JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験で実施した今回の 2 つの試験（繰返し頂部吊上げ試験、圧縮・積重ね試験）はそれぞれ異なる容器で評価を行った。

繰返し頂部吊上げ試験においては、模擬内容物を保管容器の本体側面高さの 80～85%詰めた状態で、まず荷重 3.0t (29.4kN) で 70 回吊上げ、次に破袋するまで荷重を増やしていき、破袋時の荷重を計測した。実際の保管容器の運搬・吊上げ時にかかる負荷は 15～20kN 程度であると推察されるため、実使用よりも過大な負荷をかけて安全性を評価した試験と言える。

圧縮・積重ね試験においては、模擬内容物を保管容器の本体側面高さの 80～85%詰め

た状態で荷重 18.9t (185.2kN) をかけて、そのまま破袋に至るまでの時間を計測した。
 (ただし、保持時間は 6 時間を限度とした) 保管容器積層時にかかる負荷は最大でも 76.5kN とされる (土のうマニュアルにおける 6 段積層時の最大鉛直応力の試算値) ため、こちらも実使用の条件よりも過大な負荷をかけた試験である。



図5 JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験のイメージ

2. 3. 2. 試験対象

JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験を実施した保管容器を表 2A 及び 2B にまとめる。
 なお、JIS Z 1651 に基づく袋体性能試験は作業に長い時間を要することから、繰り返し試験は実施せずに各条件一回ずつの評価とした。

表 2A 試験対象の保管容器 (繰り返し頂部つり上げ試験)

設置場所	種別	メーカー名	保管状態	使用年数			
				未使用	2.7 年	3.5 年	4.8 年
仮置場 A	耐候性大型土のう	A 社	遮光保管	未使用	2.7 年	3.5 年	4.8 年
仮置場 B	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	S 社	遮光保管	未使用	—	3.9 年	—
		V 社	遮光保管	—	—	—	4.8 年

表 2B 試験対象の保管容器（圧縮・積重ね試験）

設置場所	種別	メーカー名	保管状態	使用年数			
				未使用	2.7年	3.5年	4.8年
仮置場 A	耐候性大型土のう	A社	遮光保管	未使用	2.7年	3.5年	4.8年
仮置場 B	フレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種	S社	遮光保管	未使用	3.0年	3.9年	—
		V社	遮光保管	—	—	—	4.8年

3. 試験結果及び考察

3. 1. 「土のうマニュアル」に基づく袋体性能試験

土のうマニュアルに基づく袋体性能試験の結果を図 6A、図 6B 及び図 6C に示す。仮置場で約 1.7～5.2 年保管された除去土壌等保管容器は、落下衝撃の耐久性が経年変化によって徐々に低下する傾向が見られるものの、ほぼ全ての容器が土のうマニュアルに規定された性能⁷⁾を満たしており、実用に支障ない水準で強度が保たれていることが確認された（図 6A 及び 6C）。また、日光曝露された遮へい用土のう（耐候性大型土のう）はシートで遮光された除去土壌等保管容器に比べて耐久性が大きく低下しており（図 6B）強度低下の主な要因は直射日光や風雨等による影響であることが示唆された。

また、保管容器の積層位置（上段・下段）によって耐久性能に差異があるか比較した結果を図 7A 及び 7B に示す。上段に比べて下段の方が積層負荷により袋体に作用する荷重が大きい⁷⁾ため、当初は下段の容器が上段の容器と比べてより強度低下が著しいと予想された。しかし、比較の結果では、上段の容器と下段の容器で明確な差は見受けられなかった。

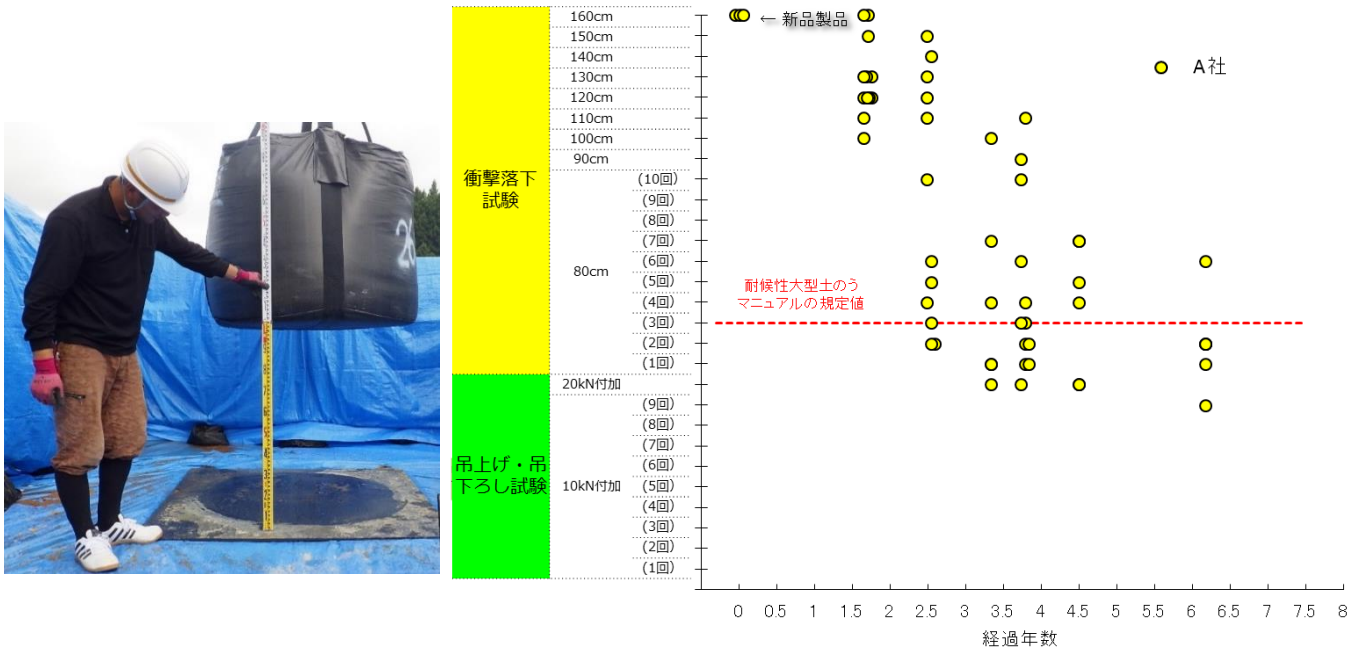


図 6A 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験結果（耐候性大型土のう、遮光保管）

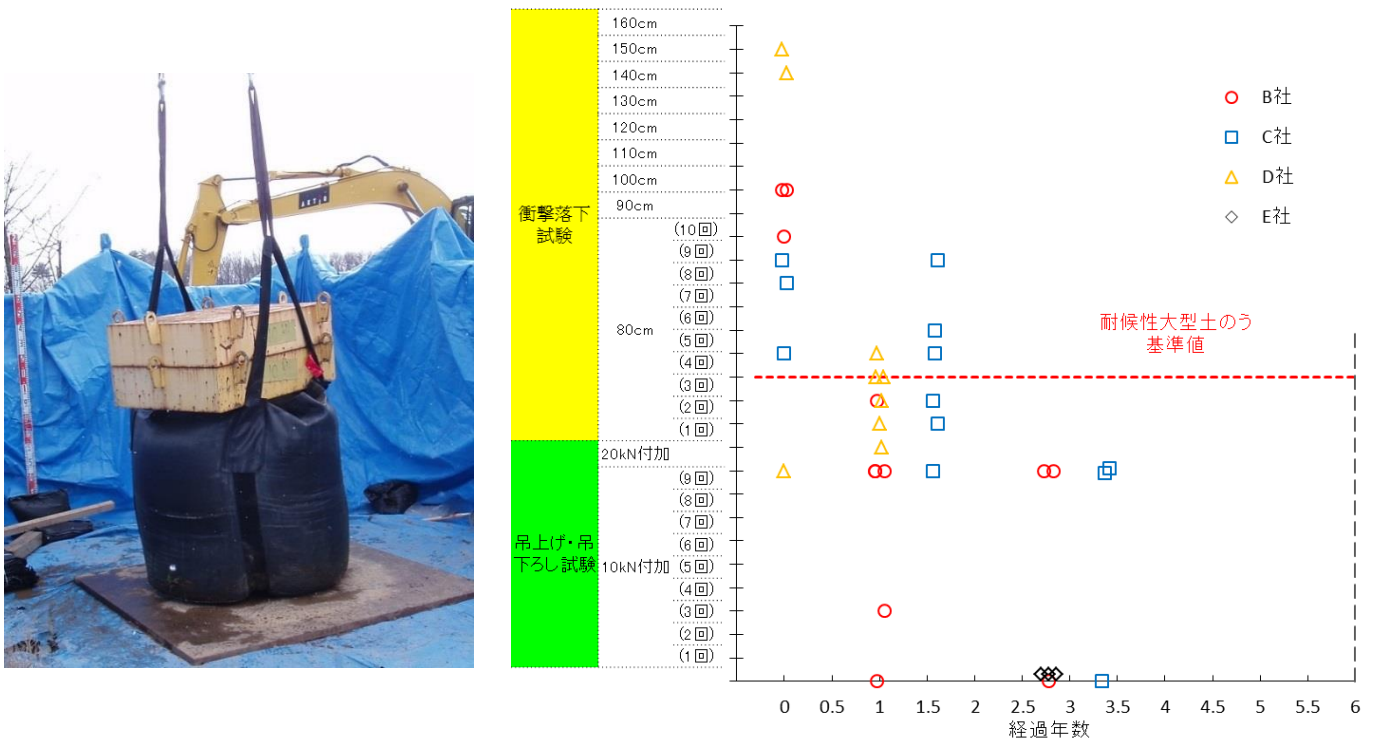


図 6B 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験結果（耐候性大型土のう、日光曝露）

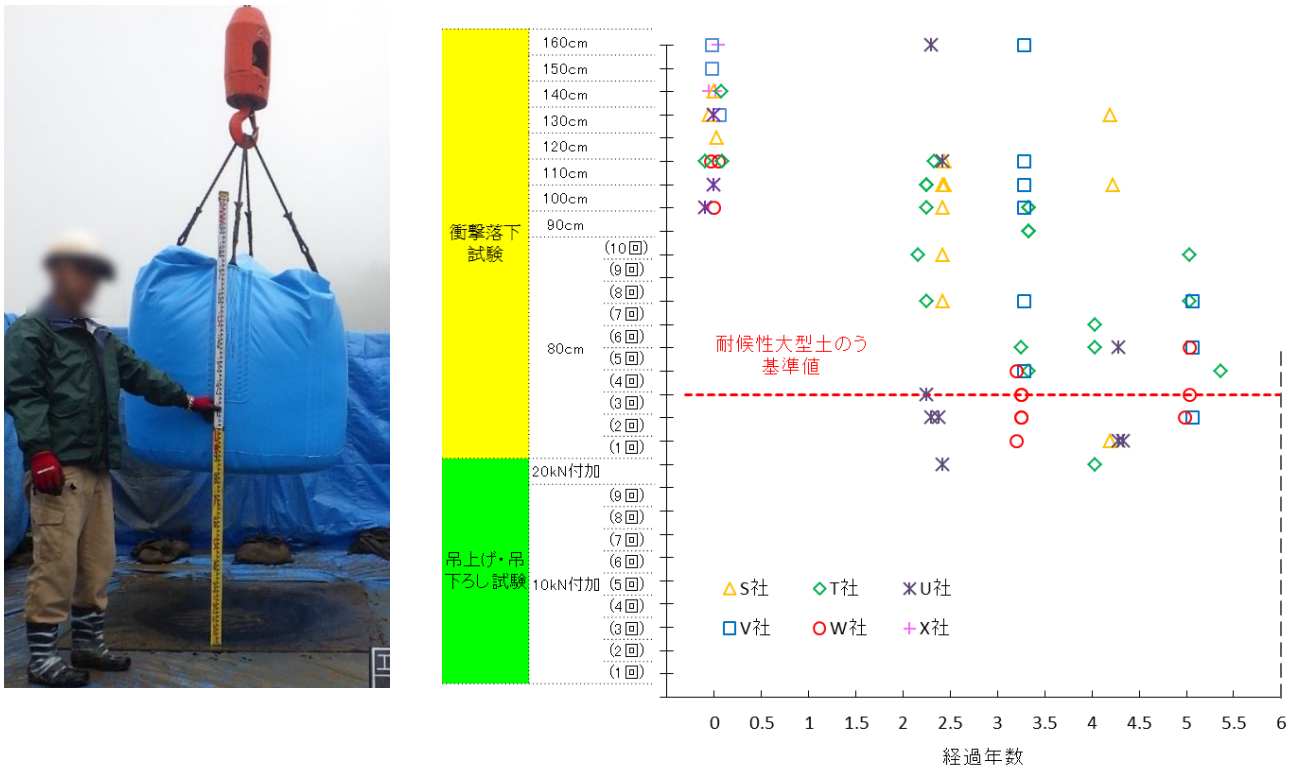


図 6C 土のうマニュアルに基づく袋体性能試験結果（フレキシブルコンテナ、遮光保管）

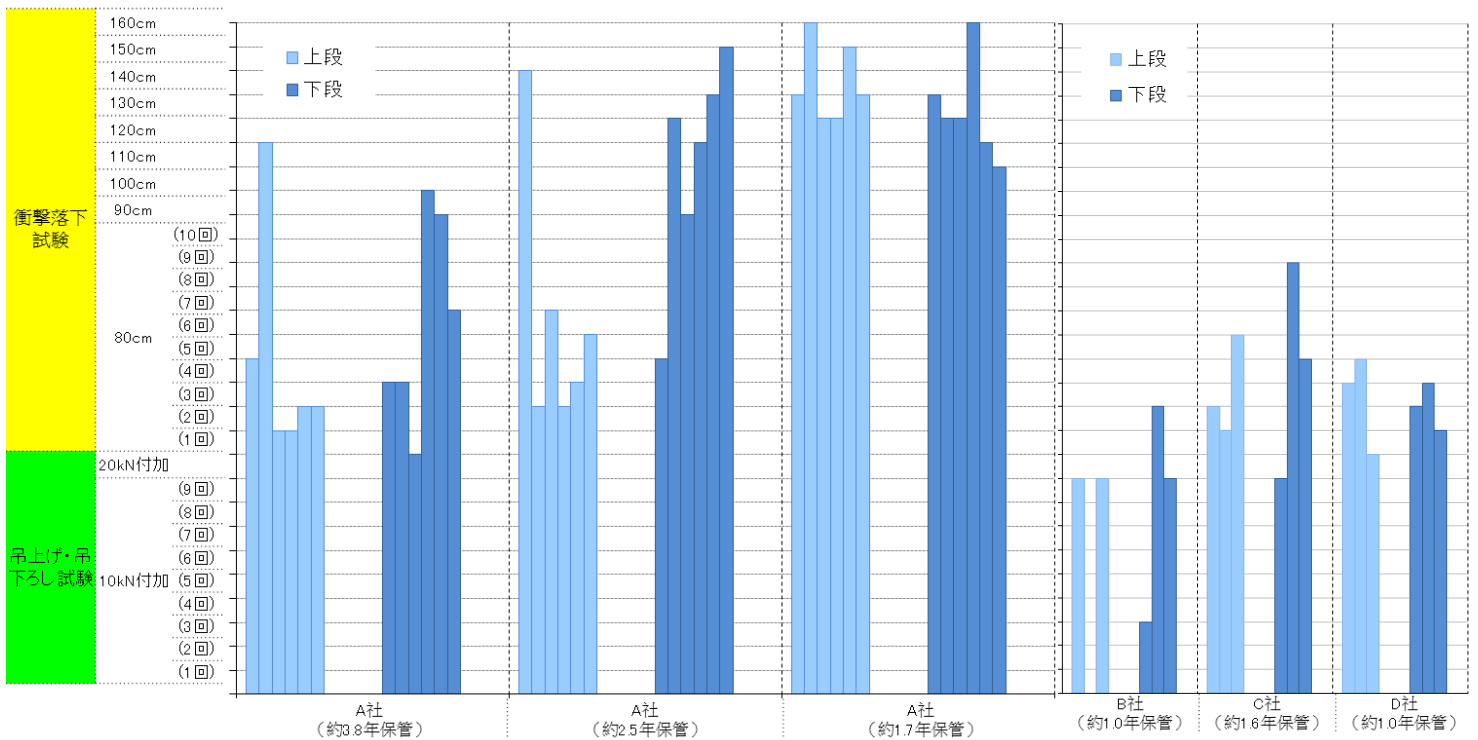


図 7A 積層位置による耐久性能の比較結果（耐候性大型土のう）
（A社：遮光保管、B/C/D社：日光曝露）

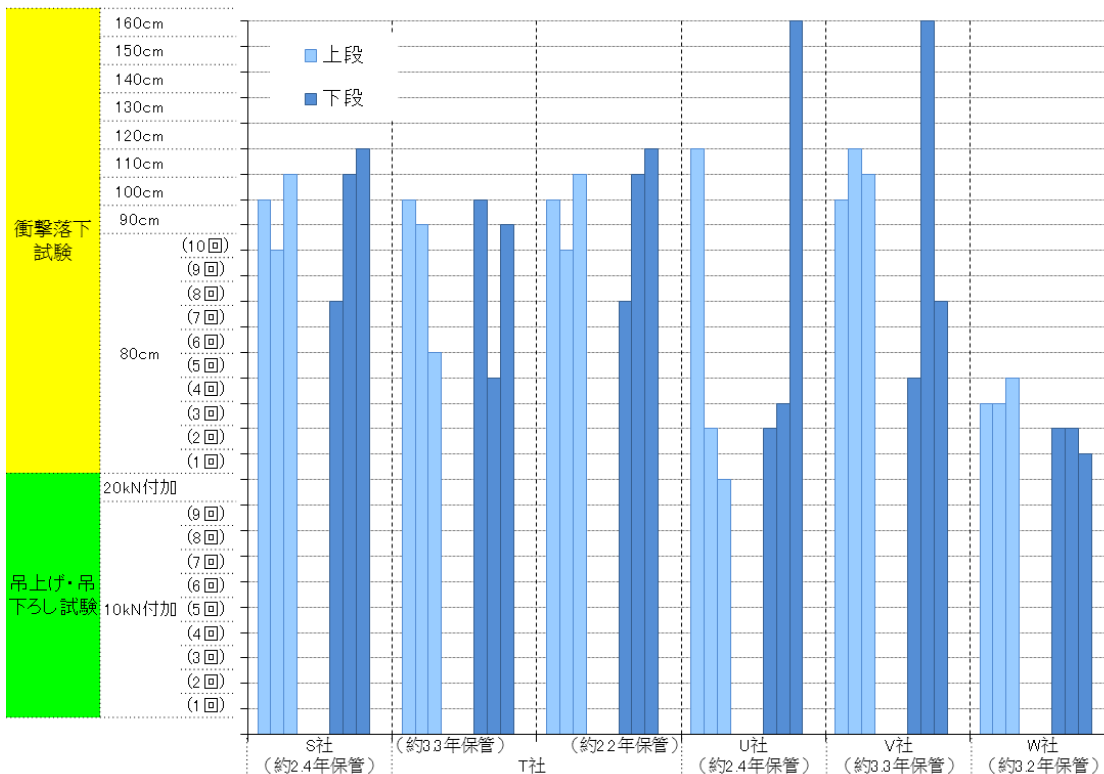


図 7B 積層位置による耐久性能の比較結果 (フレキシブルコンテナ、すべて遮光保管)

3. 2. 「JIS Z 1651」に基づく袋体性能試験

試験結果のイメージの一例を図 8A 及び図 8B に、試験結果の一覧を表 3A 及び表 3B に示す。

繰り返し頂部吊上げ試験については 3.0t 吊上げ×70 回で破袋する容器は無かったことから、保管容器の通常の使用 (15~20kN 程度の負荷で容器を数回吊上げる) に十分な強度を保持していることが確認できた (表 3A)。また、破袋に至るまでの最大荷重の経年変化を図 9A にまとめた。保管 3 年~5 年の間で吊上げ性能の明確な低下は見られなかった。

圧縮・積重ね試験については、最大圧縮荷重 (18.9t) に到達するまでに破袋する容器は無かった。ただし、3 年を超えて保管されていた容器については最大圧縮荷重を 6 時間保持する前に破袋に至った (表 3B)。また、最大圧縮荷重に到達してから破袋に至るまでの荷重時間を図 9B にまとめた。特に A 社の 4.8 年使用した耐候性大型土のうについては最大圧縮荷重に到達した直後に破袋しており、未使用品と比較して明確な強度低下が確認された。これは遮光保管された容器であっても積層負荷等によって徐々に生地強度低下が進行しているためと考えられる。

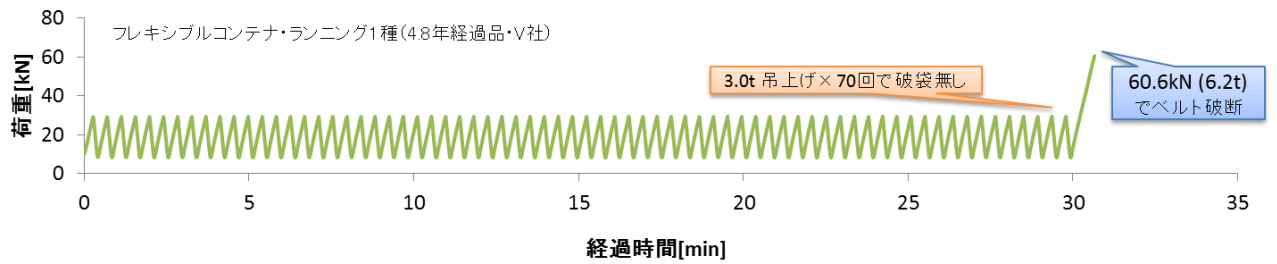


図 8A JIS Z 1651 に基づく繰り返し頂部吊上げ試験結果の一例

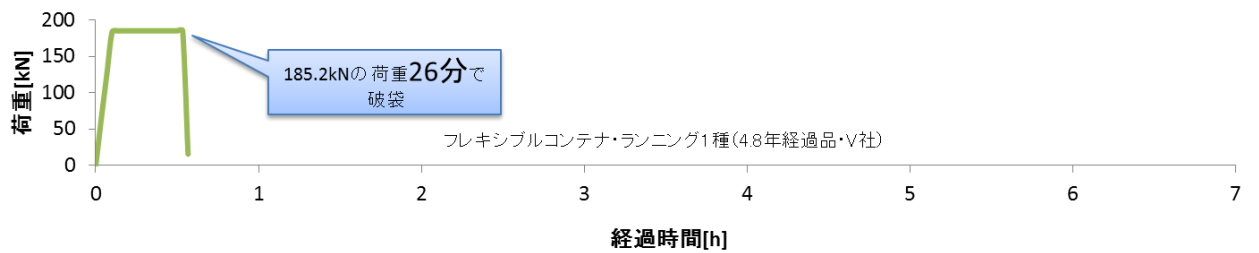


図 8B JIS Z 1651 に基づく圧縮・積重ね試験結果の一例

表 3A JIS Z 1651 に基づく繰り返し頂部吊上げ試験結果

種別	メーカー名	使用年数	繰り返し荷重 (3.0t 吊上げ×70回)	破袋時の荷重	破袋の様子
耐候性大型土のう	A社	未使用	破袋なし	39.4kN(4.0t)	縫製部から破袋
		2.7年	破袋なし	60.5kN(6.2t)	縫製部から破袋
		3.5年	破袋なし	65.3kN(6.7t)	縫製部から破袋
		4.8年	破袋なし	54.1kN(5.5t)	縫製部から破袋
フレキシブルコンテナ ランニングJ形1種	S社	未使用	破袋なし	75.7kN(7.7t)	本体生地から破袋
		3.9年	破袋なし	63.3kN(6.5t)	ベルト破断
	V社	4.8年	破袋なし	60.6kN(6.2t)	ベルト破断

表 3B JIS Z 1651 に基づく圧縮・積重ね試験結果

種別	メーカー名	使用年数	最大荷重	最大荷重の保持時間	破袋の様子
耐候性大型土のう	A社	未使用	185.2kN (18.9t)	360分	破袋なし
		2.7年	〃	360分	破袋なし
		3.5年	〃	34分	ベルト縫製部より破袋
		4.8年	〃	< 10秒	ベルト縫製部より破袋
フレキシブルコンテナランニングJ形1種	S社	未使用	〃	360分	破袋なし
		3.0年	〃	360分	破袋なし
		3.9年	〃	243分	本体生地（胴接合部以外）より破袋
	V社	4.8年	〃	26分	本体生地（胴接合部以外）より破袋

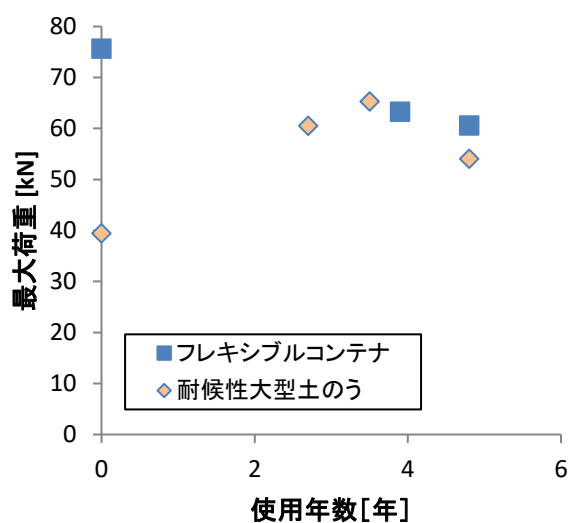


図 9A 繰り返し頂部吊上げ性能の経年変化

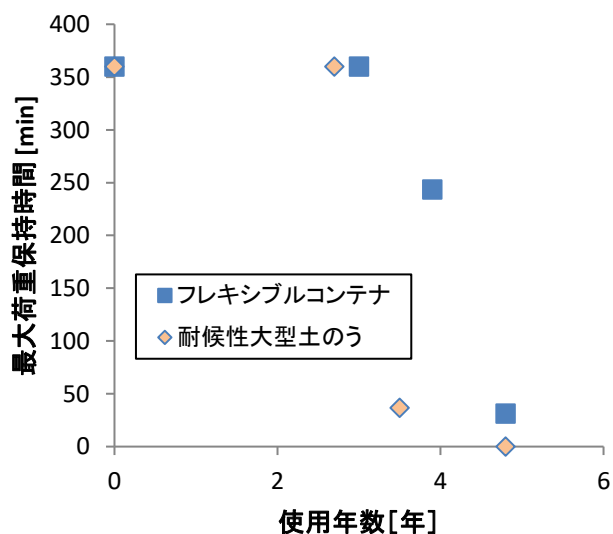


図 9B 圧縮・積重ね性能の経年変化

繰り返し頂部吊上げ試験及び圧縮・積重ね試験による破袋の様子を図 10 及び図 11 に示す。

繰り返し頂部吊上げ試験では、年数が経過したフレキシブルコンテナは吊ベルトが主な破袋要因となっていた。しかし、保管容器は遮光保管されているため、吊ベルトの耐候劣化が進行したとは断定できない。仮置場での運搬中にベルトにねじれが発生し、試験

時にベルトに偏荷重がかかっていた可能性も考えられる。一方で、耐候性大型土のうは使用年数によらず、ベルト縫製部から破袋した。

圧縮・積重ね試験では、年数の経過したフレキシブルコンテナは胴接合部（比較的強度が低いとされる）ではない生地から破袋した。これは、除去土壌等に含まれる木の枝や碎石等の突起物が原因で、局所的な強度低下が起きたと推測される。一方で、耐候性土のうは使用年数によらず（比較的強度が低いとされる）ベルト縫製部から破袋した。最大荷重の保持時間は年数経過ごとに短くなっており、縫製部近辺を含む容器生地全体の強度が徐々に低下していると推測される。



フレキシブルコンテナ ランニングJ形1種、左から 未使用品（S社）、3.9年使用（S社）、4.8年使用（V社）
（未使用品はベルト下部の本体生地から破袋、他は吊ベルトが破断）



耐候性大型土のう（A社）左から 未使用品、2.7年使用、3.5年使用、4.8年使用
（全て、吊ベルト縫製部から破袋）

図10 繰返し頂部吊上げ試験による保管容器破袋の様子



フレキシブルコンテナ ランニング J 形
1 種・3.9 年使用 (S 社) (本体生地 (胴
接合部以外) より破袋)

フレキシブルコンテナ ランニング J 形
1 種・4.8 年使用 (V 社) (本体生地 (胴
接合部以外) より破袋)

耐候性大型土のう・4.8 年使用 (A 社)
(吊ベルト縫製部から破袋)

図 11 圧縮・積重ね試験による保管容器破袋の様子

4. まとめ

福島県内の仮置場で 2～6 年程度使われた保管容器 (除去土壌等保管容器及び遮へい
用土のう) について、長期耐久性を調査した。約 6 年間遮光保管された容器 (耐候性大
型土のう又はフレキシブルコンテナ ランニング J 形 1 種・2 種) について、実使用に
十分な強度を保持していることが確認された。本章では土のうマニュアルと JIS Z 1651
の二つの規格に基づいて袋体性能評価を実施したが、耐候性大型土のうとフレキシブル
コンテナ ランニング J 形 1 種・2 種との間に明確な性能の差異は見られなかった。一
方で、日光曝露された容器については強度低下が比較的早い傾向が見受けられ、今後の
経年変化をより注視する必要があると考えられる。当センターでは、今後も継続的に保
管容器の耐久性調査を実施する予定である。

謝辞

本章に掲載した袋体性能試験の実施にあたっては、仮置場を管理する市町村の方々に
大変お世話になりました。また、保管容器の評価方法の検討については福島県ハイテク
プラザより助言を受けながら実施しました。末筆ながら、ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 環境省：除染関係ガイドライン (平成 25 年 5 月 第 2 版 (平成 30 年 3 月追補))、
2018、
http://josen.env.go.jp/material/pdf/josen-gl-full_ver2_supplement_1803.pdf
(令和 2 年 3 月 5 日最終閲覧)。

- 2) 福島県：仮置場等技術指針（第5版）、2017、
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/kariokiba-gijutsushishin.html>
（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 3) 環境省：中間貯蔵施設情報サイト、除去土壌等の輸送について
<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/transportation/>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 4) 環境省：除染特別地域（直轄除染地域）における除去土壌等の保管状況について（環境回復検討会（第14回））、2015、<http://josen.env.go.jp/material/session/pdf/014/mat03.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 5) 川崎興太：福島県における市町村主体の除染の実態と課題 2012年から2016年までの市町村アンケート調査の結果に基づいて一。環境放射能除染学会誌，Vol. 5， No. 4， pp. 267-304 (2017)。
- 6) 環境省：第17回環境回復検討会議事録、p. 30、2016、
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/17-gijiroku.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。
- 7) 財団法人土木研究センター「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル、2012。
- 8) JIS Z 1651:2008「非危険物用フレキシブルコンテナ」ほか
- 9) 斎藤卓、ほか：除染廃棄物仮置場で使用中のフレキシブルコンテナの長期耐久性能確認、2016、土木学会第71回年次学術講演会、講演要旨集 pp. 893-894。
- 10) 環境省：仮置場の管理について（環境回復検討会（第15回））、2015、
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/15/mat02-1.pdf>（令和2年3月5日最終閲覧）。