

除染廃棄物の適正保管に係る取組み ～ガス透過性防水シートを中心に～



JAG

平成28年11月
ジオシンセティックス技術研究会
Japanese Association of Geosynthetics, JAG

は じ め に

ジオシンセティックス (Geosynthetics) とは、土木用途の高分子材料 (繊維、プラスチック、ゴムなど) を用いた製品の総称です。ジオシンセティックスは、材料が有する種々の機能を活かし、今日ではさまざまな建設工事の場で用いられます。近年では、東北地方太平洋沖地震に起因する福島第一原子力発電所の事故に係る除染廃棄物の適正保管においても、大いに利用されています。

ジオシンセティックス技術研究会は、上述のようなジオシンセティックスの研究開発、普及を目的とした産学官連携の研究会です。当研究会では、これまで、ガス透過性防水シートや一体型複合遮水シートなどのジオシンセティックスの研究開発を行ってきました。

それらの成果は、公益社団法人日本材料学会の「地盤改良」に関わる技術評価証明 第 1013 号 (ガス透過性防水シート) や、一般財団法人沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価 第 06006 号 (一体型複合遮水シート) に認定されています。また、ガス透過性防水シートは、除染廃棄物仮置場の上部シートとして、広く使用されるに至りました。

本冊子は、平成 26 年 9 月に発行した「ガス透過性防水シートの除染廃棄物仮置場上部シートへの適用に向けた取り組み」の改訂版であり、初版発行以降、上述のガス透過性防水シートを中心に、当研究会が除染廃棄物の適正保管に関して取り組んできた内容を増補したものです。ガス透過性防水シートが実際に除染廃棄物仮置場で使用される中で明らかになった新たな技術課題とその対策に関する検討結果も示しています。

本冊子が、除染廃棄物の適正保管をはじめ多方面でお役立ていただき、お気づきの点を遠慮なくご指摘くださるようお願い申し上げます。

平成 28 年 11 月

ジオシンセティックス技術研究会 会長

嘉門 雅史

(一般社団法人環境地盤工学研究所 理事長、京都大学名誉教授)

1. ガス透過性防水シート

- 1.1 ガス透過性防水シートの概要および廃棄物仮置場への適用……………1

2. ガス透過性防水シートの施工

- 2.1 ガス透過性防水シート施工要領……………7
2.2 ガス透過性防水シート補修用接着剤『ミリッドコート』による補修方法……………19
2.3 除染廃棄物仮置場における設計・施工上の留意点……………26
2.4 ゼブラシートの適用について……………33

3. ガス透過性防水シートの適用に関する検討

- 3.1 供用中のガス透過性に関する現地比較実験……………53
3.2 ガス透過性防水シート上に人が載った場合に作用する張力の検討……………61
3.3 風荷重に対するFEM解析による張力検討結果……………63
3.4 除染廃棄物仮置場上部シート張力の現場測定とその数値解析結果……………68
3.5 除染廃棄物の不同沈下によるシートの不陸対策実験……………76
3.6 除染廃棄物仮置場供用中の上部シートの経年物性変化の確認……………78

4. 除染廃棄物の適正保管に関する検討

- 4.1 ジオシンセティックスの耐放射線性評価……………91
4.2 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……………99

参考資料 主な論文・報文

1. ガス透過性防水シート

JAG

1.1 ガス透過性防水シートの概要および廃棄物仮置場への適用

1.1.1 ガス透過性防水シートの構造と特長

ガス透過性防水シートは、遮水性とガス透過性を併せ持つ微多孔膜(厚さ約 100 μm)をガス透過・防水層とし、その上下層に保護・補強層として、長繊維ニードルパンチ不織布を配した 3 層構造(厚さ約 4.5 mm)の複合シート(写真 1.1-1)である。保護・補強層に、熱融着による接合が容易な芯鞘構造糸(写真 1.1-2; 芯部は PET 製、鞘部は PE 製)から成る長繊維ニードルパンチ不織布(エルベス®)を採用することで、シート接合部においても優れた強度と遮水性を確保することに成功しており、これが本シートの最大の特長と言える。

まず、エルベス®を構成する芯鞘構造糸は、芯部の PET の融点が約 260°C、鞘部の PE の融点が約 130°Cであり、この融点差自体が、元来、良好な熱融着性に寄与する。すなわち、PET 単体の糸で構成された不織布よりも低温での熱融着が可能であり、且つ、そのような低温での熱融着時にも、芯部の PET は溶融しないため、熱融着箇所における力学物性のバランスが良いという特長を有している。

加えて、ガス透過性防水シートにおいては、工場においてシートの端部に特殊な加熱圧縮加工を施し(写真 1.1-3)、鞘部の PE を選択的に溶融・固化させることで、不織布層の空隙を潰し、面内方向への通水を遮断できる構造を実現した(図 1.1-1 および図 1.1-2)。この加熱圧縮加工部同士を接合することによって、接合部における遮水性が確保される(50cm の水頭圧が加わっても漏水なし)とともに、母材部同等以上の接合部強度(18.5 kN/m 以上)を発揮することができる。

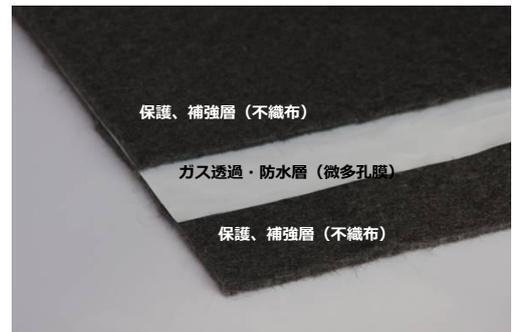


写真 1.1-1 ガス透過性防水シートの3層構造

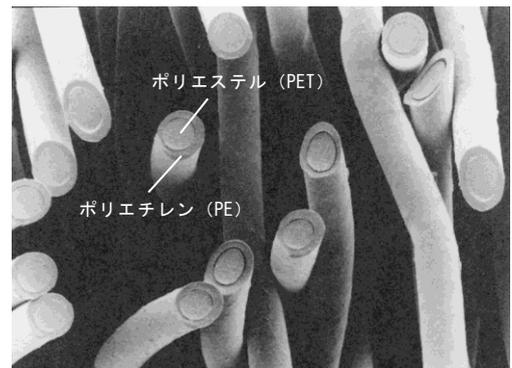


写真 1.1-2 エルベス®の芯鞘構造

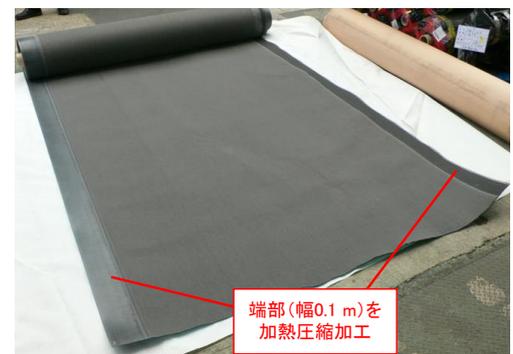


写真 1.1-3 ガス透過性防水シート原反

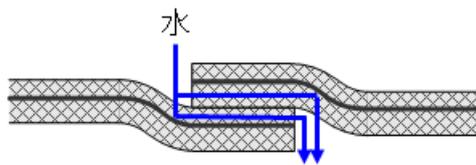


図 1.1-1 端部加熱圧縮加工のない場合の
接合部における水の浸入経路

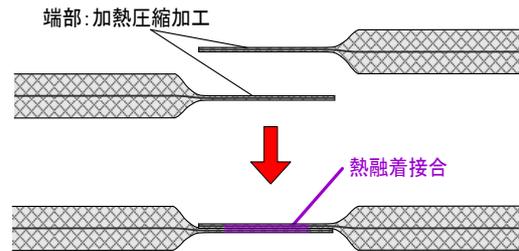


図 1.1-2 端部加熱圧縮加工および
接合部の断面模式図

1.1.2 開発の経緯

ガス透過性防水シートは、廃棄物最終処分場のキャッピング（従来は覆土 50cm 等）向けに開発されたものである（図 1.1-3）。

廃棄物最終処分場の埋立終了後にガス透過性防水シートを敷設することで、廃棄物層への雨水の浸入を防止し、浸出水による周辺環境汚染リスクの低減および、浸出水処理費用の削減を実現するとともに、腐敗性有機物から発生するメタンガス等の排出が可能となる。

なお、ガス透過性防水シートは公益社団法人日本材料学会の技術評価証明（第 1013 号）を受けており、下記の 4 つの項目に対して評価されている。

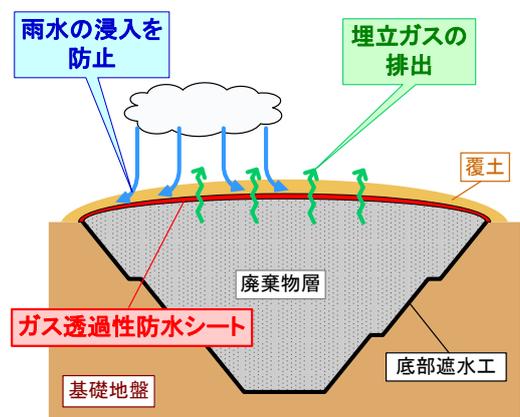


図 1.1-3 廃棄物最終処分場の
キャッピング概念図

- ・ 標準的な接合方法（加熱圧縮処理された端部の自走式熱融着による接合）で構成されたガス透過性防水シート面が、50cm の水頭圧が加わっても漏水しないこと。
- ・ ガス透過性防水シートとその上部の覆土とで構成されるキャッピング層が面的なガス透過性を確保すること。
- ・ 勾配 1:2 の斜面部においても、ガス透過性防水シート上の覆土（厚さ：50cm）の安定を確保すること。
- ・ 重機による覆土施工や降雨等の履歴を受けた後も、ガス透過性防水シートを用いたキャッピングの遮水性、ガス透過性が初期性能と同等であること。

1.1.3 除染に伴う廃棄物仮置場への適用

福島第一原子力発電所の事故に係る除染で発生した廃棄物の仮置場（以下、除染廃棄物仮置場）においては、一般に、底面に遮水シートを敷設した後、フレキシブルコンテナ等に収納された除染廃棄物が仮置きされるが、その上面には、雨水の浸入防止による環境汚染リスクの低減を目的として、上部シートと呼ばれる遮水性のシートが敷設される。また、仮置きされる除染廃棄物が腐敗性除染廃棄物である場合、または腐敗性除染廃棄物が混入している場合、それらの腐敗時にはメタンガス等が発生するため、発生ガスに由来する火災等を防止する観点から、ガスの速やかな排出が極めて重要である。

そのため、仮置場の上部シートには、遮水性とガス透過性が要求される。特に、シート状の材料を使用する場合は、それらを複数枚つなぎ合わせ（接合）、大面積化して仮置場をカバーする必要があるため、シート同士の接合箇所からの水の浸入を防止することは大きな課題である。

このような場合に、上部シートとしてガス透過性防水シートを敷設すれば、雨水の侵入防止とシート全面からのガスの排出を実現できる（写真 1.1-4）。



写真 1.1-4 ガス透過性防水シートを上部シートとして敷設した除染廃棄物仮置場

ガス透過性防水シートの除染廃棄物仮置場上部シートとしての特長を以下に列記する。

- ・ シート全面がガス透過性を有するため、腐敗性除染廃棄物の発酵に伴うガスの排出と発酵熱の蓄熱を防止できる。したがって、遮水シートに必須のガス抜き管等が不要である。
- ・ 遮水シートに比べ軽量で施工性が良い（厚さ 1.5mm の塩ビシートの 1/3 以下の重量。100m² の場合、ガス透過性防水シート 60kg 程度、塩ビシート 200kg 程度）。
- ・ 中弾性遮水シートと同等以上の引張強さを有する。
- ・ 突き破り抵抗（貫入抵抗）が高い。
- ・ 融着部（端部圧縮加工部分）は 50cm 水頭の耐水性がある（母材部は 22m 水頭）。

また、環境省の除染等工事共通仕様書²⁾において、ガス透過性と遮水性の双方を有する上部シート（同仕様書では「通気性防水シート」と表記されている）の要求物性が示されているが、表 1.1-1 に示す通り、ガス透過性防水シートはその要求物性を満足している。

表 1.1-1 ガス透過性防水シートの標準物性

仕様項目		環境省 除染等 工事共通仕様書	ガス透過性 防水シート	試験方法
質量	g/m ²	400 以上	600 以上	JIS L 1908
引張強さ	N/5cm	たて	1200 以上	
		よこ	925 以上	
貫入抵抗	N	500 以上	600 以上	ASTM D 4833
耐候性 (貫入抵抗)	N	500 以上	600 以上	JIS A 1415 (WS 形促進暴露試験 1000hr 暴露後の 貫入抵抗試験値)
耐水度	mmH ₂ O	1000	2000 以上	JIS L 1092
透湿度	g/m ² ・24h	2500	3000 以上	JIS L 1099 A-1 法
遮光性	%	95 以上	95 以上	JIS L 1055
安全性 (溶出性)	—	基準値以下	基準値以下	環境省告示第 13 号

1.1.4 腐敗性除染廃棄物仮置場の形状と発生ガスへの対応

1) 仮置場の形状

「廃棄物関係ガイドライン」では、腐敗性除染廃棄物の仮置場について、火災防止の観点から図 1.1-4 に示す形状が提案されている。また、腐敗性有機物の経時的な圧縮による上部シートの凹凸防止の観点からも、できるだけ高さを抑えることが望ましい。

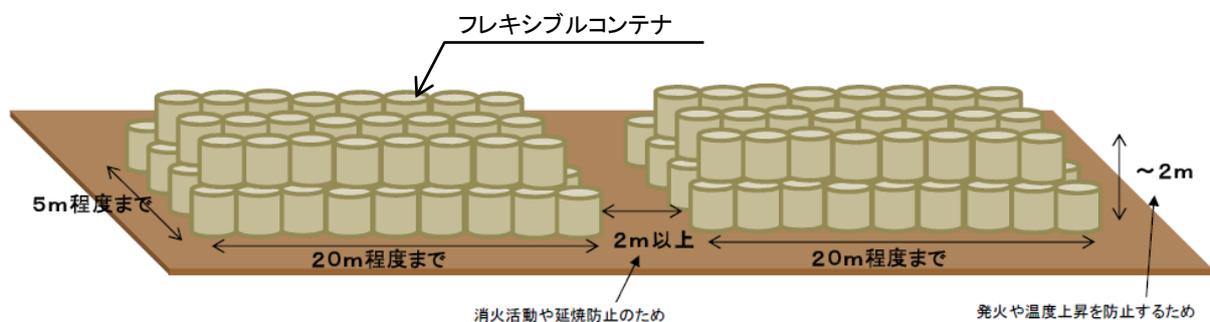


図 1.1-4 仮置場における腐敗性除染廃棄物の積上げ方及び保管イメージ図
(環境省：廃棄物関係ガイドライン，平成 25 年 3 月 第 2 版に一部加筆)

2) 発生ガスへの対応

腐敗性除染廃棄物の仮置場では、メタンガス等の発生が懸念される。そのため、上部シートとして遮水シートを用いた場合には、発生ガスを排出するためのガス抜き管の設置が不可欠である。しかし、遮水シートにガス抜き管を貫通させた構造となるため、遮水シートとガス抜き管の異材料界面が強度や防水上の弱点となり易い。

これに対し、ガス透過性防水シートを用いた場合は、防水性能を有しながら十分なガス透過性能も有することから、ガス抜き管の設置は必要ない。したがって、異材料界面に関する上記の懸念は不要となる。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本材料学会：「地盤改良」に関わる技術審査証明報告書 ガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法,2012.
- 2) 環境省：除染等工事共通仕様書，第8版，p65，2015.

2. ガス透過性防水シートの施工

JAG

2.1 ガス透過性防水シート施工要領

2.1.1 ガス透過性防水シートの概要

1) シート原反

ガス透過性防水シートの原反は、図 2.1-1 に示すとおり、よこ方向両端部が幅約 10cm で熱圧縮加工されている。この熱圧縮加工部同士を重ね、一般的に遮水工で使用する自走式融着機で接合することが可能である。

原反たて方向端部および切断部は、熱圧縮加工されていないため、接合するには現場端部熱圧縮装置等（写真 2.1-3 参照）で熱圧縮加工が必要である。

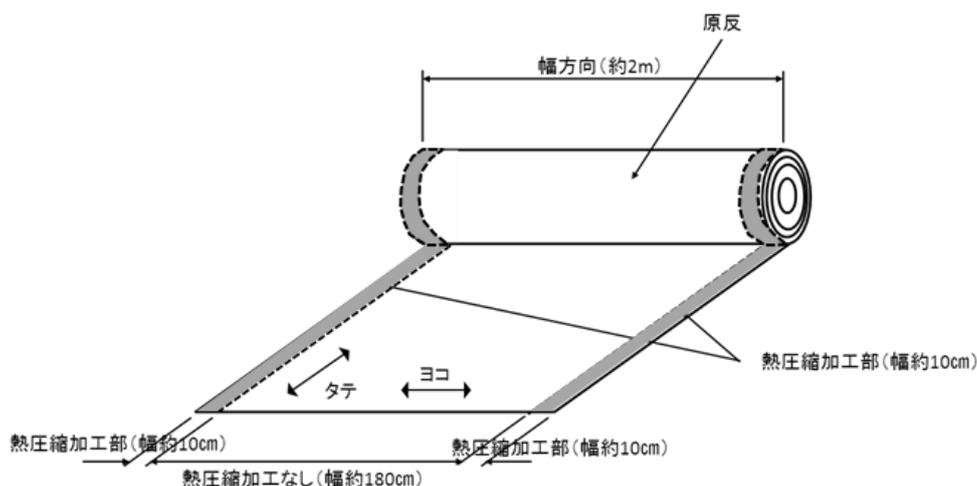


図 2.1-1 シートの原反と熱圧縮加工部の位置

2) 現場接合作業機械

シート接合作業に必要な主要機械一覧を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 主要機械一覧

	機械名	仕様	備考
1	発動発電機	25kVA・220V	融着機稼動電源
2	自走式熱融着機	2200W・220V	ツイニーT、ツイニーS
3	手動式熱風融着機	1150W・100V	ハンドライスター
4	現場端部熱圧縮装置	200/100V	原反未熱圧縮部の加工
5	ユニック車	4t 積み	材料・機材運搬・荷揚げ用
6	ラフタークレーン	25t 吊り	材料荷揚げ用（必要に応じて）

(1) 自走式熱融着機

主に原反継ぎに使用する。



写真 2.1-1 自走式熱融着機

(2) 手動式熱風融着機

自走式熱融着機が使用できない箇所に使用する。



写真 2.1-2 手動式熱風融着機

(3) 現場端部熱圧縮装置

現場において、原反たて方向および切断部などの未熱圧縮部を熱圧縮加工するのに使用する。

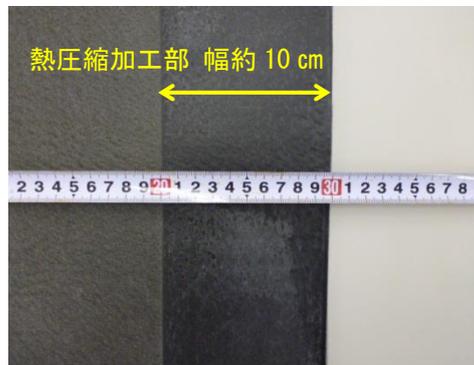


写真 2.1-3 現場端部熱圧縮装置

2.1.2 施工フロー

工事の施工フローを図 2.1-2 に示す。

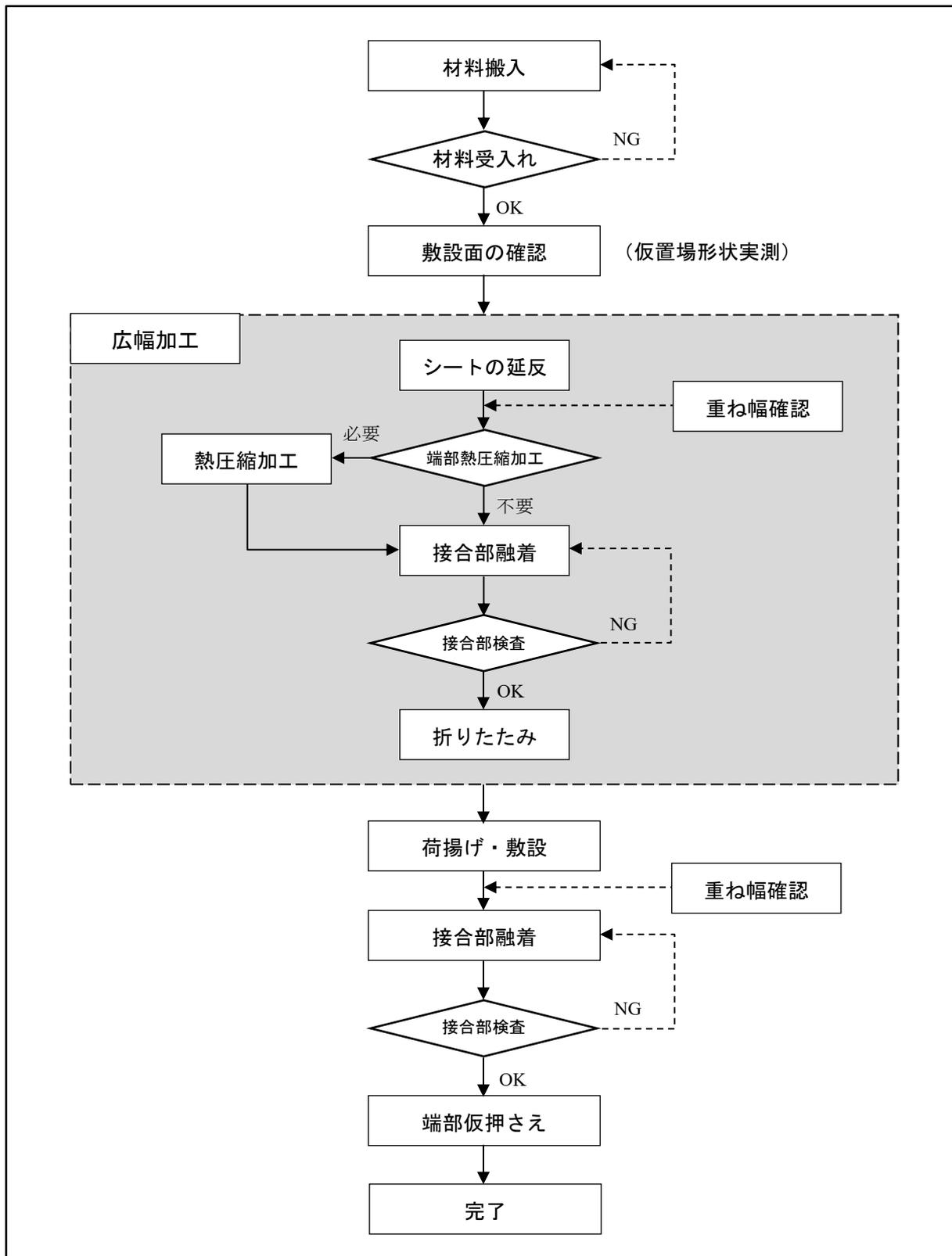


図 2.1-2 シート施工フロー図

2.1.3 施工要領

1) 材料搬入

(1) 出荷

シーートの搬入時は、次の点に注意する。

- ・ 製品の出荷は、搬入ルート、搬入日時、数量等を事前に協議確認の上、手順よく行う。
- ・ 搬入車両は基本的に4tまたは10tトラック等を用いる。
- ・ 積込み時、荷降ろし時、または輸送中に製品に傷が生じることの無いように適切な養生を行う。

(2) ヤード整備

シート等の搬入に先立ち、現地にてストックヤードおよび加工ヤード（図2.1-3）を確保する。

- ① シート等のストックヤードとして、「10m×10m」程度のスペースを確保する。
- ② シートの広幅加工に伴い、加工ヤードとして、「10m×30m」程度のスペースを確保する。

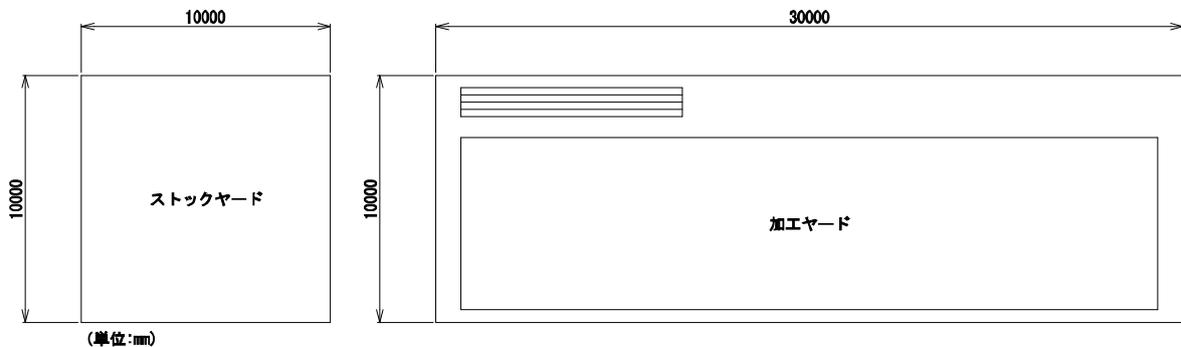


図 2.1-3 スtockヤードおよび加工ヤード（例）

(3) 搬入

シーートの現場搬入（写真2.1-4）の際は、以下の点について受入検査（材料検収）を行う。

① 規定寸法のチェック

シーートの幅が、規定の寸法に達しているか確認する。

② 外観検査・数量確認

シート端部の熱圧縮加工状態や、シート表面の損傷の有無を確認する。

※損傷が著しく使用に支障をきたすと判断される場合は返却する。



写真 2.1-4 シート搬入状況（荷姿）

(4) 荷降ろし

シートの荷降ろしは基本的に人力により行い、必要に応じてクレーン等を用いて行う。なお、クレーンによる荷降ろしの際は、シートに傷がつかないようにナイロンスリング等を使用する。

(5) 養生方法

ストックヤードの下地は著しい凹凸を除去した後、**図 2.1-4** に示すようにブルーシート等で養生し、ストック材料は降雨等で濡れないよう全体をブルーシート等で覆い養生を行う。

なお、積み重ねを行うため、自重による折れや、シート同士の接触部に傷が付かないように注意し、ブルーシート等の飛散には十分留意して保管を行う。

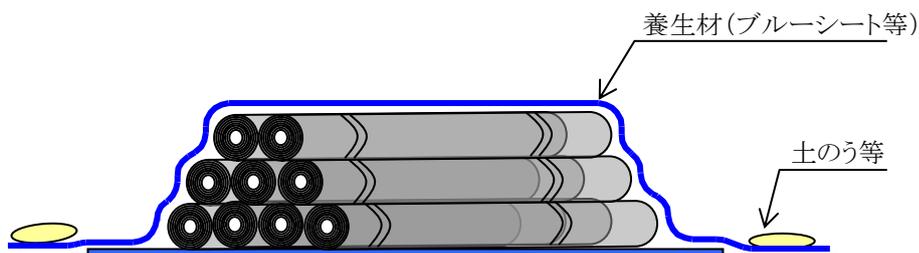


図 2.1-4 ガス透過性防水シートの仮置き状況

2) 敷設面の確認・仮置場形状実測

シート敷設前に以下の項目について確認する。不具合を起す恐れがある場合は協議を行い、敷設面の手直しを行う。

- ・ 天端、法肩部の局部的崩れ状況（フレキシブルコンテナの崩壊等）。
- ・ 表面に局所的凹凸があるか、鋭利な物があるかを目視により確認し、シート破損の原因となるものを除去する。
- ・ シート端部位置の堰堤等の状況（堰堤がない場合、地盤面の凹凸、鋭利なものがないか、水たまりがないか等）。

なお、確認は敷設面の施工業者立会いのもと事前に行い、その後、元請職員およびシート施工業者の双方が最終確認を行い当該部分のシート敷設に着手する。シート敷設着手確認後、ガス透過性防水シート設置面の形状について実測を行う。

3) シートの広幅加工

加工ヤードにおいて、幅寸法は 8m~10m 程度（原反 4~5 本）、長さ寸法は実測値にて広幅パネルに加工し（写真 2.1-5）、仮置場上部に荷揚げできるように折りたたむ。



写真 2.1-5 シートの広幅加工

4) シート接合手順

シートの接合は自走式熱融着機にて行うことを基本とする。以下に手順を示す。

(1) 融着面の清掃

シート融着面のゴミ・ホコリを取り除く。

※雨天時は原則として融着作業を中止する。

(2) シート重ね幅

シートの接合部における重ね幅は、図 2.1-5 に示すように熱圧縮加工部を約 10cm 程度確保する。自走式融着機の熱風ノズル（ウェッジ）がシート本体（未熱圧縮加工部）に接触し損傷する恐れがあるため、シート本体を損傷させないように注意する。

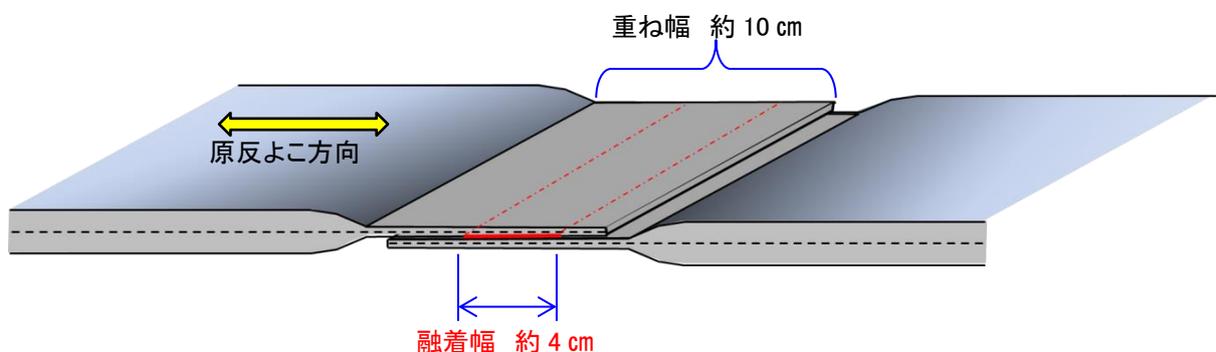


図 2.1-5 自走式熱融着断面

(3) 融着機接合条件設定

自走式熱融着機は、風や気温の影響を受けるため、現場では必ず1日の融着作業前に試融着を行い、適切に融着機の設定（温度・速度・圧力）を行う。

試融着後、直ちに接合部の目視および触診確認を行い、融着部が十分に接合されていない場合は、融着機の条件を調整し、再度確認する。

表 2.1-2 融着機設定条件の目安

機械名	設定条件の目安	
自走式熱融着機	温度	300～560℃
	速度	0.5～2.5m/min
	圧力	500～800N

(4) 本接合

写真 2.1-6 に示すように、シート間に自走式熱融着機の加熱装置をはさみ込み、シート端部の熱圧縮加工部を熱融着する。



写真 2.1-6 自走式熱融着機による融着状況

(5) 接合部検査

熱融着完了後、直ちに目視によりローラー圧着跡を調べる。ローラーの圧着跡が薄くフラットな場合や、ローラーがスリップしたり、止まったりした箇所、あるいはローラーの圧着跡がシート端部から逸脱しているような箇所では融着不良を起すこともあるので、接合部触診確認（写真 2.1-7）や検査棒挿入検査などで確認する。

検査棒挿入検査の検査棒は、図 2.1-6 および図 2.1-7 に示すようにマイナスドライバー、パレットナイフ、またはこれに準じる形状で、先端が幅 4mm 以上、厚さ 1mm 前後の丸みを持たせたものを用い、検査棒先端のシート接合部への侵入、接合部剥離の有無によって融着不良を判定する。



写真 2.1-7 接合部触診確認

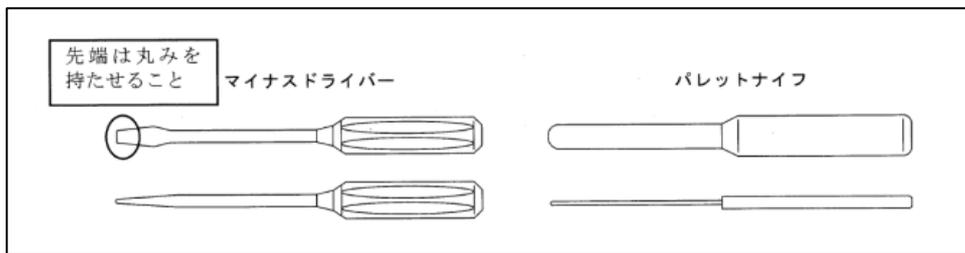


図 2.1-6 検査棒の例

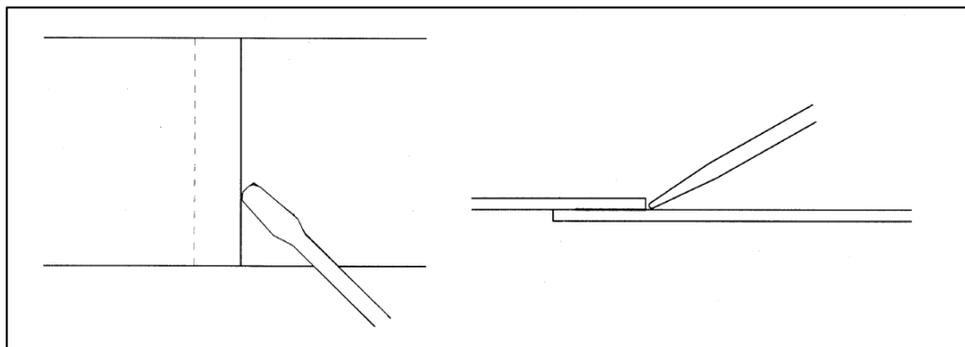


図 2.1-7 検査棒挿入検査例

5) 現場熱圧縮加工

原反の熱圧縮加工されていない部分を接合する際は、現場端部熱圧縮装置にて熱圧縮加工する必要がある。熱圧縮加工は、シートの片面（熱融着面）のみ行う（写真 2.1-8）。

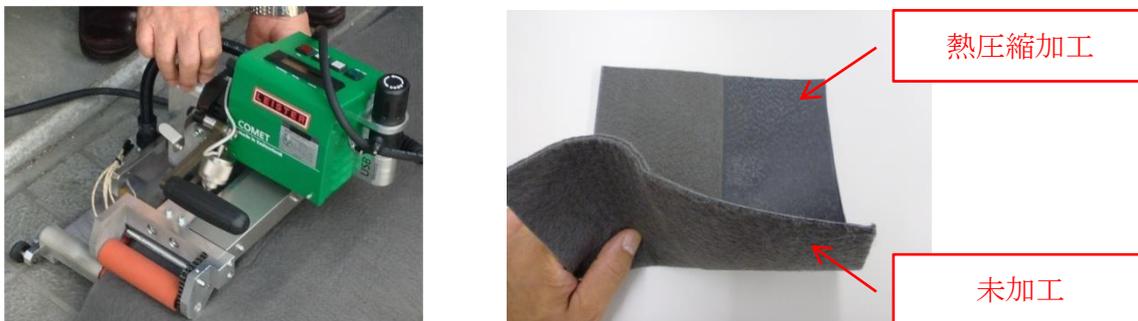


写真 2.1-8 現場端部熱圧縮装置による端部の熱圧縮加工

図 2.1-8 に示すように接合するシートの熱圧縮加工面が向き合うように重ね、前述の要領で現場熱圧縮加工部を自走式融着機にて接合する。

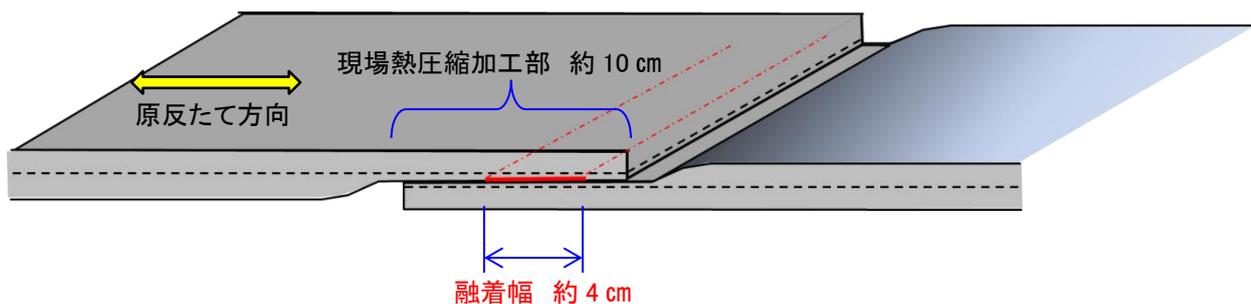


図 2.1-8 現場端部熱圧縮装置による熱圧縮加工後の融着断面

6) 荷揚げ・敷設

加工ヤードにて広幅に加工したパネルを、クレーン・ユニック等を用いて仮置場天端部へ荷揚げし、人力にて重ね幅等を考慮しながら敷設していく。



写真 2.1-9 シート敷設状況

7) 広幅パネル接合

広幅加工時と同様に、熱圧縮加工部を 10cm 程度重ねて、自走式融着機により接合する。

図 2.1-9 に示すように、シートの重ね合わせは水勾配を考慮して瓦重ねとする。

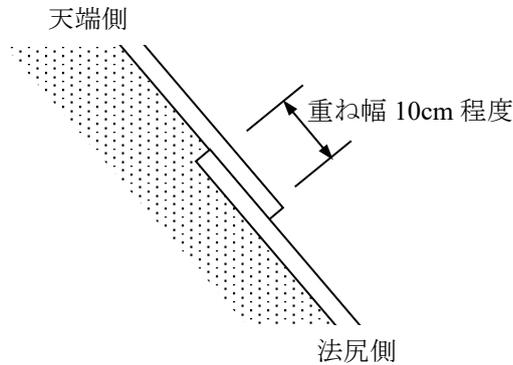


図 2.1-9 現場接合部重ね幅

8) 仮押さえ

敷設した広幅パネルは、原則としてその日のうちに接合を行い、風散養生のために外周端部を大型土のう等で仮押さえを行う。

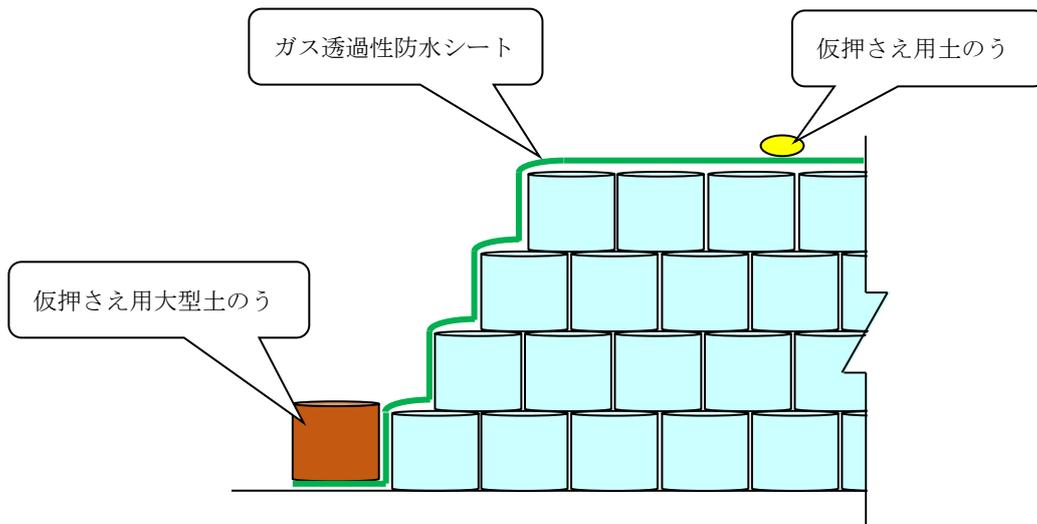


図 2.1-10 外周端部の仮押さえ

2.1.4 各部の処理

1) コーナー凸部の処理

斜面のコーナー凸部に四角形のシートを敷設する場合、図 2.1-11 に示すようにシートの隅部（斜線部分）が余る。この部分を切除し熱融着すると、反って雨水の浸入に対して弱点となるため、シートの余剰部分を折りたたみ、どちらかの斜面のシートに熱融着させる方法が望ましい（写真 2.1-10）。

なお、熱融着時、シート本体の微多孔膜（三層構造の中央）を熱により損傷させないように留意する。

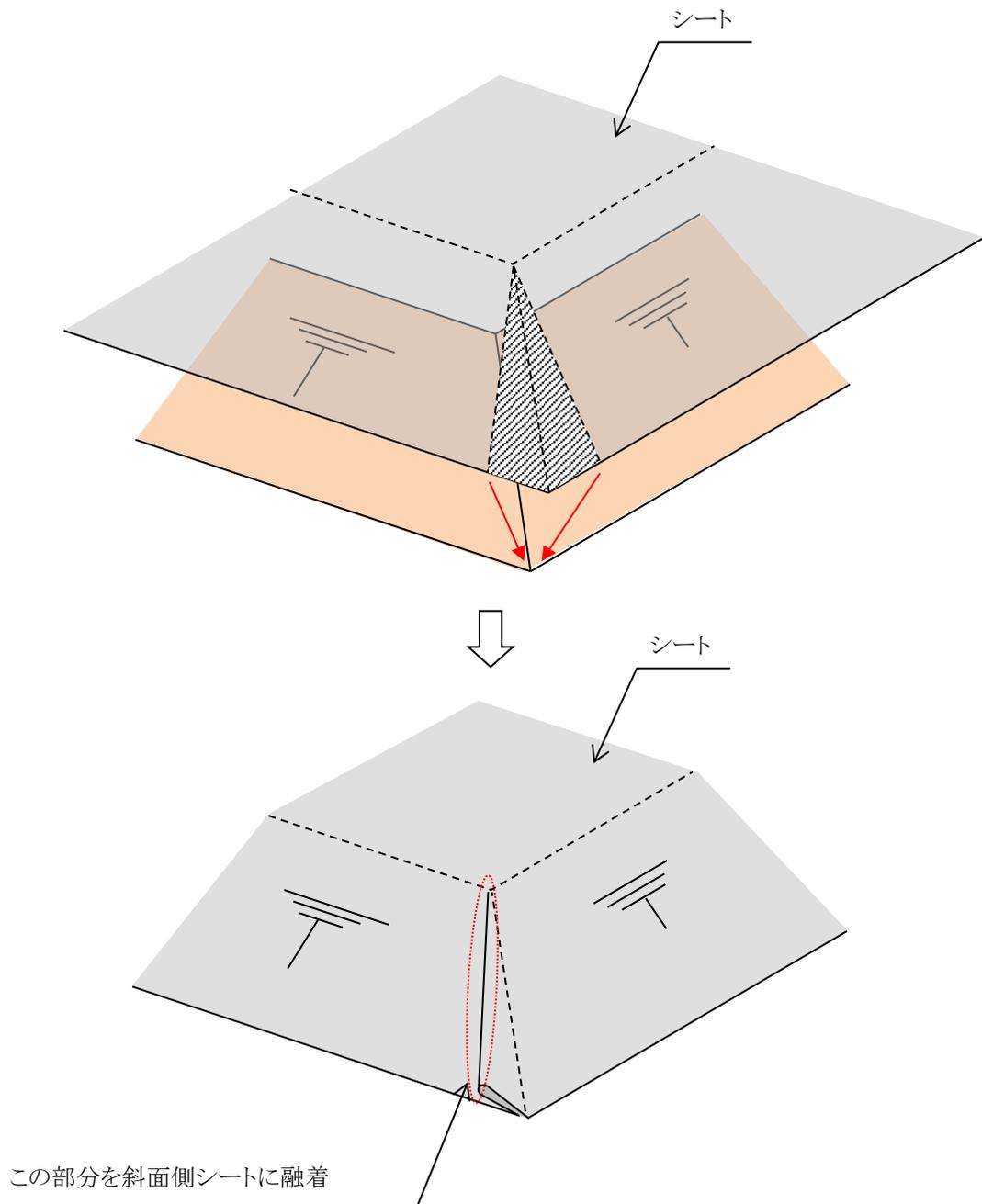


図 2.1-11 コーナー凸部シート処理案

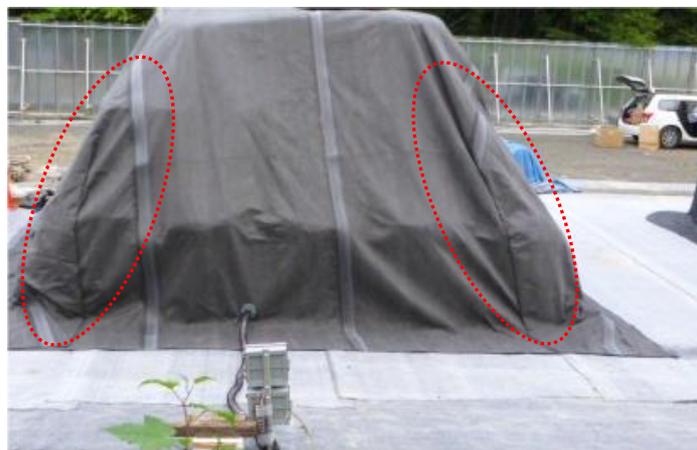


写真 2.1-10 コーナー凸部シート処理状況

2) コーナー凹部の処理

斜面のコーナー凹部に四角形のシートを敷設する場合、シートが不足する。現地で形状にあわせて原反を切断し、立体的に熱融着すると、反って雨水の浸入に対して弱点となるので望ましくない。したがって、ガス透過性防水シートが必要な腐敗性廃棄物仮置場の計画時は、コーナー凹部が発生しない平面形状にする。

3) 管等の貫通部

浸出水管、計測ケーブル用管、排熱管等の PVC 管（塩ビ管）を設置する場合は、以下の方法により取り付ける。

図 2.1-12 に示すように、熱融着前の原反あるいはシート本体の貫通位置に、市販のアイロン等を用いて上面を熱圧縮加工して表面を平滑にした後、フランジを用いて管等を取り付ける。

なお、アイロン等による熱圧縮加工時、シート本体の微多孔膜（三層構造の中央）を熱により損傷させないように留意する。

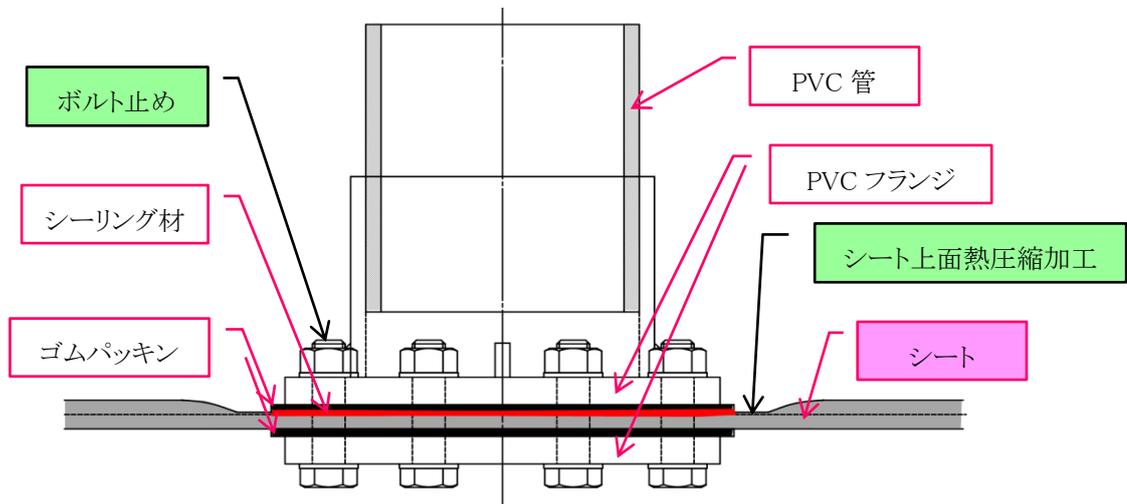


図 2.1-12 管等の直接固定断面

2.1.5 損傷時の補修方法

シートに損傷が生じた場合は、その部分に補修用パッチを当てる等の処理を行う。パッチによる補修方法については、後述の「2.2 ガス透過性防水シート補修用接着剤『ミリッドコート』による補修方法」を参照する。

2.2 ガス透過性防水シート補修用接着剤『ミリッドコート』による補修方法

2.2.1 ミリッドコートについて

ガス透過性防水シート「エルベスキッピングシート CP600」（以下、「本体シート」という）用接着剤である「ミリッドコート TUA-13X」（以下、「ミリッドコート」という）は、二液混合タイプのポリウレタン系接着剤（二液性ポリウレタンエラストマー）である。

以下に、ミリッドコートの塗布量、混合比および塗布時間を示す。

1) 塗布量

ミリッドコートは、塗布が必要な面積に対して表 2.2-1 に示す製作量を標準とする。

製作量とは、塗布量（塗布対象エリアの面積に必要な量）にロス量を加えた量である。なお、ロス量はミリッドコート製作時に二液を混合するカップや刷毛への残分に相当する。

表 2.2-1 塗布量

製作量の目安	内訳	
	塗布量	ロス量
4.5 kg/m ² 程度	3.5 ~ 4.0 kg/m ²	塗布量の 20%

2) 混合比

ミリッドコートは、A 液、B 液の二液混合タイプであり、表 2.2-2 に示す混合比にて混ぜ合わせる。

表 2.2-2 混合比

	A 液	B 液
種類	主剤 (ポリオール類)	硬化剤 (イソシアネート類)
混合比 (重量比)	1	0.27

<注意事項>

硬化剤である B 液が不足すると十分に固まらない可能性がある。

3) 塗布時間の目安

ミリッドコートの塗布時間は、硬化時間を考慮し、A 液、B 液を混合後 5 分程度を目安とする。

貼り合わせるシート同士の重ね面の両面に塗布し、貼り合わせる。

2.2.2 ミリッドコートの塗布手順

ミリッドコートの塗布手順を以下に示す。なお、ミリッドコートの塗布作業（養生期間を含む）は、天候に留意し、雨天時は避けるものとする。

1) 準備

- ① ミリッドコート塗布が必要なシートに、塗布エリアを墨出しする。
- ② 塗布エリアの面積を算出する。（重ね面の幅は 100mm 以上とする）。
- ③ ミリッドコートの製作量を算出する（表 2.2-1 参照）。
- ④ ミリッドコート A 液と B 液の必要量をそれぞれ算出する（表 2.2-2 参照）。
- ⑤ A 液、B 液、デジタル秤、容器および刷毛を準備する。

2) 混合

- ⑥ デジタル秤に容器を置き、0 点（0kg）調整する。
- ⑦ 混合直前に、A 液を十分に攪拌する（A 液缶を十分に振る）。
- ⑧ A 液を計量しながら必要量を容器に投入する。
- ⑨ その状態で、再度、デジタル秤を 0 点（0kg）調整する。
- ⑩ B 液を計量しながら必要量を A 液の中に投入する（混合比 A 液 : B 液 = 1 : 0.27）。
- ⑪ A 液と B 液がよく混ざるように素早く刷毛で混合する。

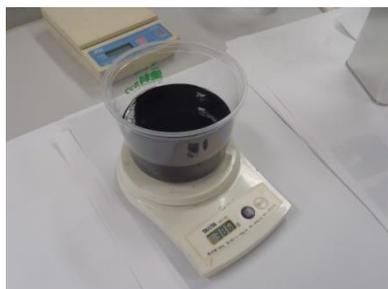


写真 2.2-1 A 液の投入 (手順⑧)



写真 2.2-2 B 液の投入 (手順⑩)



写真 2.2-3 混合 (手順⑪)

3) 塗布

- ⑫ 混合後直ぐ（5 分程度以内）に、貼付ける 2 枚のシートの塗布エリアに、それぞれ刷毛でミリッドコートを塗布する。

本体シートの補修の場合、本体シートと補修シートの両方の塗布エリアに塗布する。

ミリッドコートと硬化時間を考慮し、両シートに塗布する。

ミリッドコートの塗布は、シート（不織布部分）に十分に浸透させる。

この時、ミリッドコートがシート表面に浮き出てくるのが十分量塗布できた目安となる。



写真 2.2-4 塗布 (手順⑫)

4) 貼付け

- ⑬ ミリッドコート塗布エリア同士、シートを貼付ける。
- ⑭ 塗布エリア全体を、重ねられたシート表（上）面から軽く手で押さえる。
この工程は、接着面の隙間をなくすために行う必要がある。
この時、シートを強く押すと塗布したミリッドコートがシートから染み出すため、注意しながら、塗布エリア全体を密着させる。
- ⑮ 両シートを密着させた後、外周端部にミリッドコートが浸透するよう塗布する。
- ⑯ ミリッドコート塗布終了後、塗布部分を静置し、水がかからないよう 24 時間以上養生する。



写真 2.2-5 シートの貼付け
(手順⑬)



写真 2.2-6 外周端部の塗布
(手順⑮)



写真 2.2-7 塗布終了
(手順⑯)

2.2.3 シート破損部のパッチ補修

1) 破損の種類

本体シートが破損した場合、破損部の「最大破損長さ」を定義し、その長さに応じて 2 種類の補修方法を使い分ける。

「最大破損長さ」・・・破損端部間を結んだ最も長い距離
(図 2.2-1 参照)

表 2.2-3 破損の種類

破損の種類	大きい破損	小さい破損
最大破損長さ Z mm	$Z \geq 300\text{mm}$	$300\text{mm} > Z$

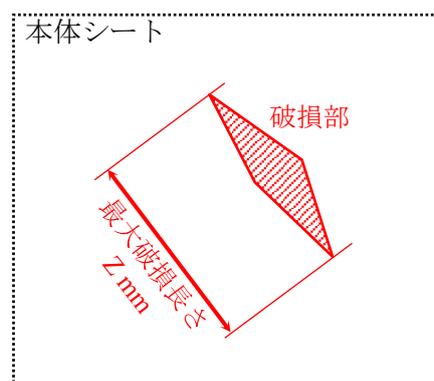


図 2.2-1 最大破損長さ

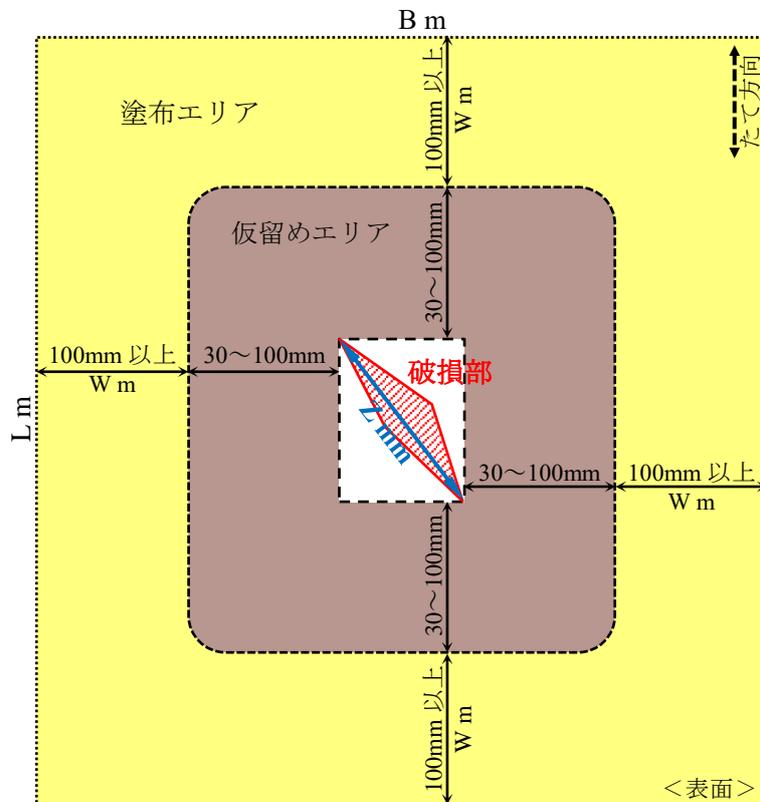
2) 大きい破損の補修方法

大きい破損（最大破損長さ：300mm 以上）についての補修方法を以下に示す。

- ① 本体シートの破損部およびその周囲（塗布エリア）が濡れていないか確認する。
濡れていた場合は強制的に乾燥させるか、シートが乾くまで養生する。
- ② 本体シートの破損部およびその周囲（塗布エリア）にあるゴミなどの異物除去を行い、清掃する。
- ③ 図 2.2-2 に示すように、本体シート破損部から周囲 30～100mm 程度離れた位置に仮留めエリアを表

示し、さらに、その線の外側の周囲 100mm 以上となるよう塗布エリアを表示する。その間がミリッドコート塗布エリアとなり、内枠の線の内側が仮留めエリアとなる。仮留め幅は仮留めの方法によって、適宜、設定する。

- ④ 図 2.2-2 に示す寸法 (L m×B m) の本体シートと同質 (同製品) の補修シートを準備する。
- ⑤ 破れ破損の場合は、必要に応じて手動式熱風溶着機、接着剤、粘着テープなどによって破れ部を仮留め結合する。
- ⑥ 手動式熱風溶着機、接着剤、粘着テープなどによって、本体シートと補修シートの仮留めエリア (図 2.2-2) 同士を仮留めする。なお、補修位置が平坦な場所でミリッドコートによる本体シートと補修シートの接合作業に支障がない場合は、仮留め作業を割愛することもできる。
- ⑦ 前述の「ミリッドコートの塗布手順」にしたがい、本体シートと補修シート裏面 (補修側) の塗布エリアにミリッドコートを塗布し、補修シートをシート破損部 (塗布エリア) に貼付ける。



本体シートの破損部とミリッドコート塗布エリア (補修シートも同形状)
 図 2.2-2 大きい破損の補修

<参考>

ミリッドコート製作量の算出

ミリッドコート塗布エリア総面積 : $\{ B \times L - (B - 2W) \times (L - 2W) \} \times 2 \text{ 枚} = 4W (B + L - 2W) \text{ m}^2$

ミリッドコート製作量 : $4.5 \text{ kg/m}^2 \times 4W (B + L - 2W) \text{ m}^2 = 18W (B + L - 2W) \text{ kg}$

ここに、 B : 塗布エリアのよこ方向長さ (m)

L : 塗布エリアのたて方向長さ (m)

W : 塗布幅 (m) . . . W ≥ 100 mm

3) 小さい破損の補修方法

小さい破損（最大破損長さ：300mm 未満）についての補修方法を以下に示す。なお、小さい破損の補修の場合でも、状況に応じて「大きい破損の補修方法」を適用してもよい。

- ① 本体シートの破損部およびその周囲（塗布エリア）が濡れていないか確認する。
濡れていた場合は強制的に乾燥させるか、シートが乾くまで養生する。
- ② 本体シートの破損部およびその周囲（塗布エリア）にあるゴミなどの異物除去を行い、清掃する。
- ③ 図 2.2-3(a)に示すように、本体シート破損部に、周囲 100mm 以上となるようミリッドコート塗布エリアを表示する。
- ④ 図 2.2-3(b)に示す寸法（L m×B m）の本体シートと同質（同製品）の補修シートを準備する。
- ⑤ 破れ破損の場合は、必要に応じて手動式熱風溶着機、接着剤、粘着テープなどによって破れ部を仮留め結合する。
- ⑥ 前述の「ミリッドコートの塗布手順」にしたがい、本体シートの塗布エリアと補修シート裏面（補修側）全体にミリッドコートを塗布し、補修シートを本体シート破損部（塗布エリア）に貼付ける。

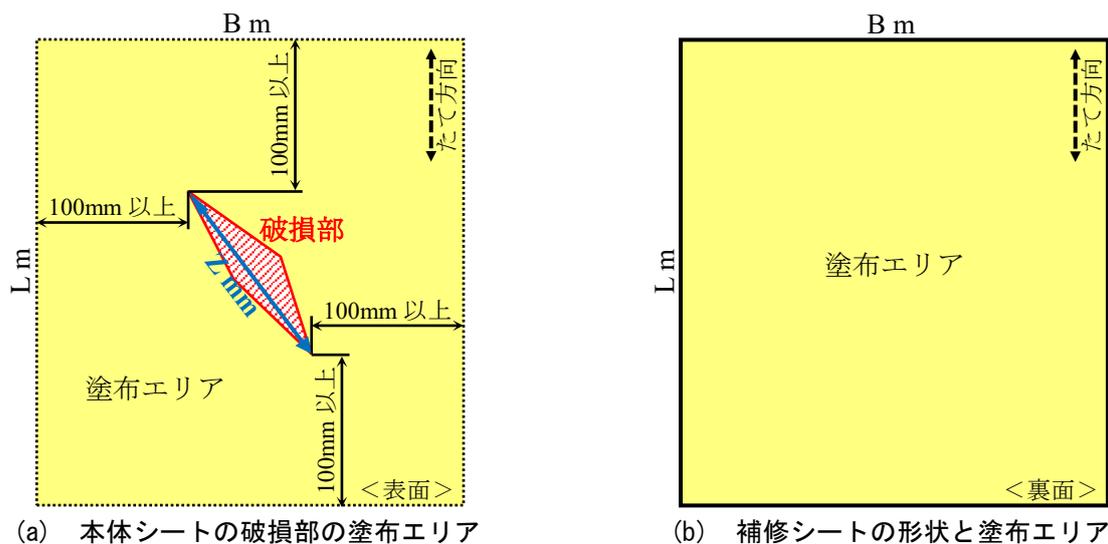


図 2.2-3 小さい破損の補修

<参考>

ミリッドコート製作量の算出

$$\text{ミリッドコート塗布エリア総面積} : B \times L \times 2 \text{ 枚} = 2BL \text{ m}^2$$

$$\text{ミリッドコート製作量} : 4.5 \text{ kg/m}^2 \times 2BL \text{ m}^2 = 9BL \text{ kg}$$

ここに、 B : 塗布エリアのよこ方向長さ (m)

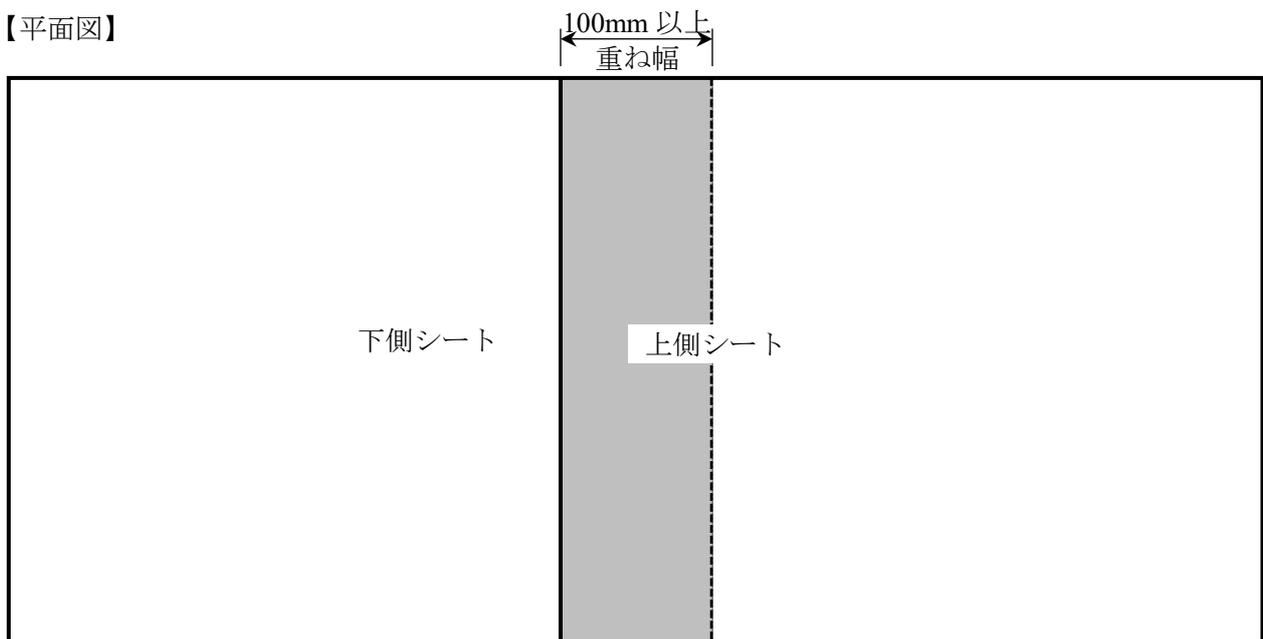
L : 塗布エリアのたて方向長さ (m)

2.2.4 重ね接合

重ね接合について以下に示す。

- ① 下側シートは表面、上側シートは裏面に、重ね幅が 100mm 以上となるようミリッドコート塗布エリアをそれぞれ表示する。
- ② 前述の「ミリッドコートの塗布手順」にしたがい、下側シート表面と上側シート裏面の塗布エリアにミリッドコートを塗布し、上下シートの塗布エリア同士を貼り合わせる。

【平面図】



【断面図】



図 2.2-4 重ね接合



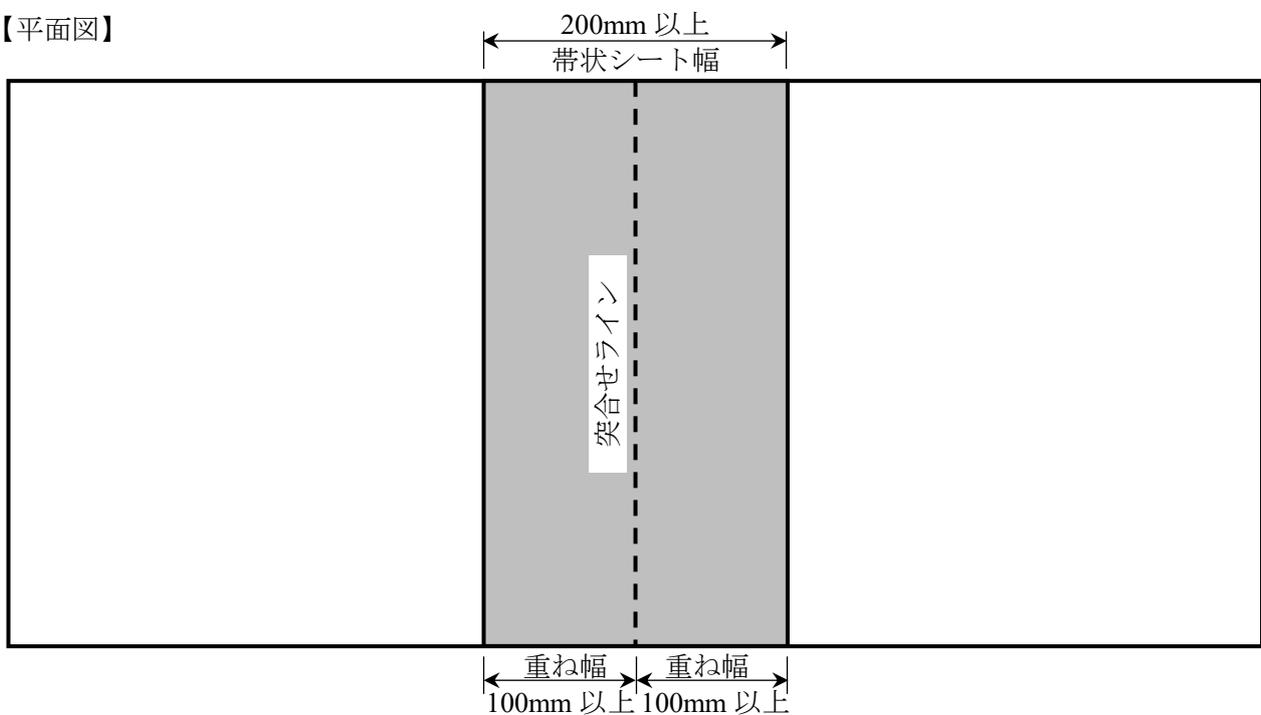
写真 2.2-8 重ね接合

2.2.5 突合せ接合

突合せ接合について以下に示す。

- ① 本体シートと同質（同製品）のシートによって、幅が 200mm 以上となる帯状シートを準備する。
- ② 突合せる 2 枚の本体シートに、帯状シートとの重ね幅が 100mm 以上となるようミリッドコート塗布エリアをそれぞれ表示する。
- ③ 本体シートは塗布前にシート同士を突合せ、前述の「ミリッドコートの塗布手順」にしたがい、突合せた状態の本体シート塗布エリアと、帯状シート裏面（補修側）全体にミリッドコートを塗布する。塗布後、帯状シートを突合せた本体シート塗布エリアに貼り合わせる。

【平面図】



【断面図】



図 2.2-5 突合せ接合

2.3 除染廃棄物仮置場における設計・施工上の留意点

2.3.1 内部に放熱管等が必要な場合

除染廃棄物仮置場の上部シートとしてガス透過性防水シートを用いる場合、ガス透過性防水シートは十分なガス透過性能を有するため、遮水シートのようなガス抜き管は不要であるが、フレキシブルコンテナの設置段数が多く放熱を目的とした管（放熱管）を設置する必要がある場合がある。そのような場合には、沈下による悪影響を防止するため、内部には剛性のある PVC 管（塩ビ管）でなく、変形に追随可能な有孔フレキシブル管を設置することが望ましい。

1) 有孔フレキシブル管を縦方向に設置

有孔フレキシブル管を底面から排出口まで設置し、フレキシブルコンテナの沈下による影響を受けないようにする。

なお、管等貫通部は、前述の「2.1 ガス透過性防水シート施工要領」に示すように施工する。

※有孔フレキシブル管は可とう性があるため、フレキシブルコンテナ設置完了まで、仮設の立ち上げ支持材（棒）等により自立するように内側から支持しておく。設置完了後は立ち上げ支持材を撤去する。

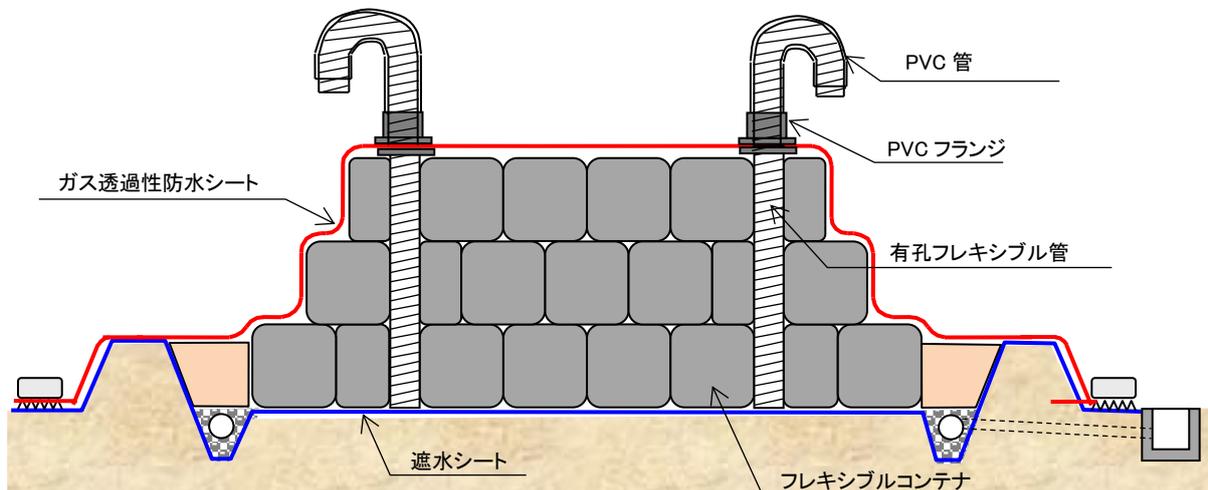


図 2.3-1 有孔フレキシブル管縦方向設置イメージ



写真 2.3-1 PVC 管（塩ビ管）フランジ固定例

2) 有孔フレキシブル管を横方向に設置

シート上面に湛水する場合を考慮して貫通部を天端に設けない方法として、フレキシブルコンテナ上に有孔フレキシブル管を中央部から横方向に配置し、斜面部のシートを貫通させて設置する方法もある。

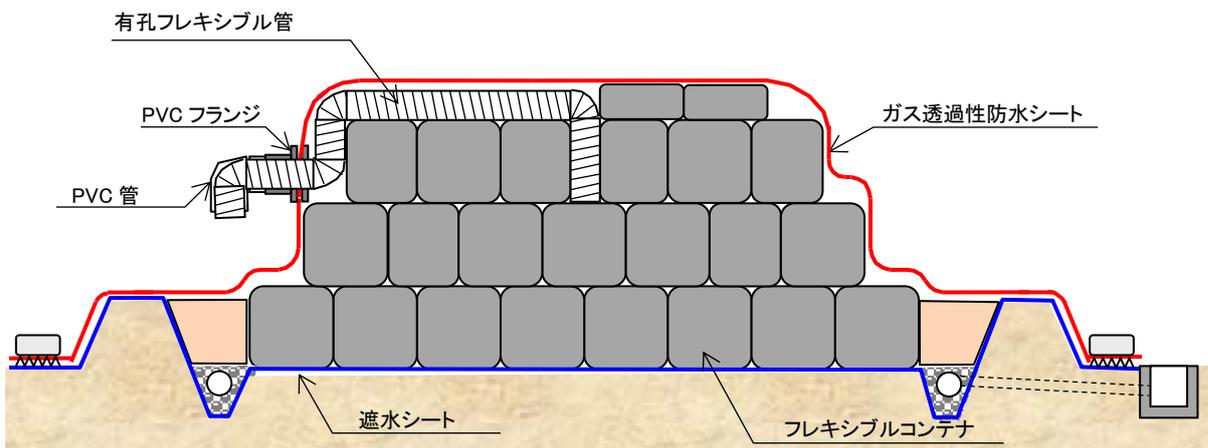


図 2.3-2 有孔フレキシブル管横方向設置イメージ

2.3.2 シート貫通ケーブルの設置

腐敗性除染廃棄物内の温度計測等のために、シートを貫通させてケーブルを設置する必要がある場合は、万一の湛水を考え仮置場の上面に設置するのではなく、**図 2.3-3** に示すように斜面部のシート（熱圧縮部分等）を貫通させて設置することが望ましい。

なお、この貫通部分の防水養生は前述の「**2.1 ガス透過性防水シート施工要領**」に示すように、できるだけ小径のフランジ等を用いるとともに、シール材なども使用する。

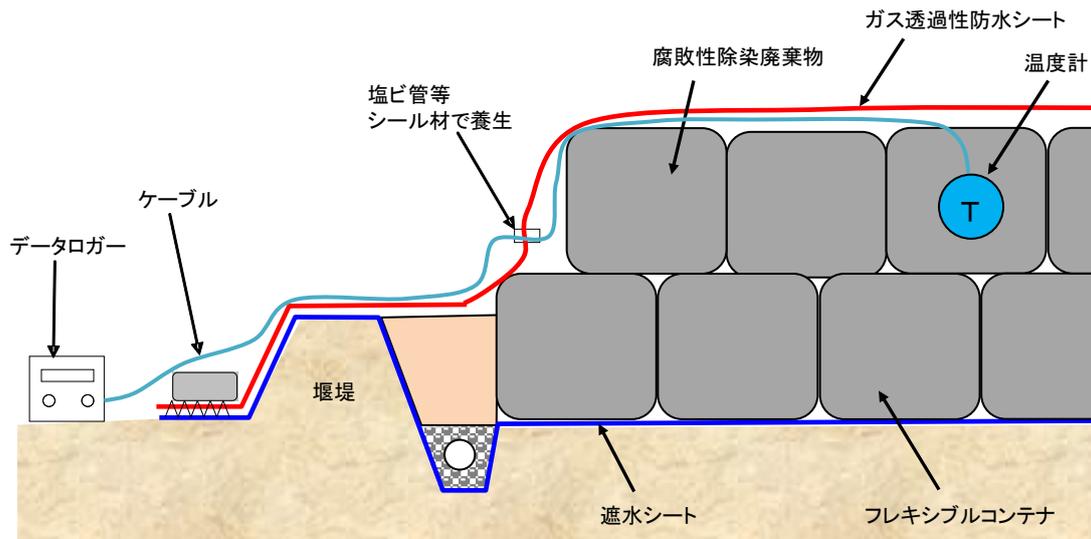


図 2.3-3 シート貫通ケーブル設置イメージ



写真 2.3-2 シート貫通ケーブル設置状況

2.3.3 法尻部養生例（底部遮水シートとの取り合い）

底部遮水シートとガス透過性防水シート接合部からの浸出水の流出防止および、外部からの雨水等の流入防止を目的として、図 2.3-4 に示すように法尻部に盛土や土のう等による簡易堰堤を設置する。底面遮水シートはこの堰堤の上部もしくは外部まで設置し、上部のガス透過性防水シートは堰堤外部まで設置する。端部には風の吹き込み防止のため、コンクリートブロック、土のうを設置する。

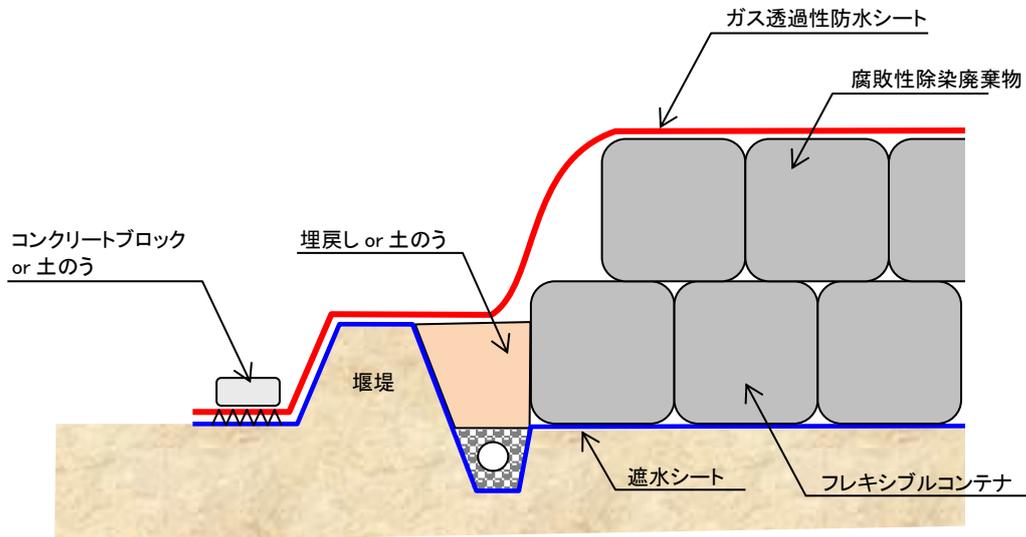


図 2.3-4 法尻部堰堤部遮水シートとの取り合い

2.3.4 浸出水集水柵養生例

浸出水の集水柵は、図 2.3-5 に示すように堰堤外側に設置する方法がある。この場合、底面遮水シートに浸出水排水管を貫通させる必要があるが、ガス透過性防水シートを貫通させてはならない。なお、図 2.3-6 に示すように堰堤内側の一部を掘り下げ、設置する方法の場合は、遮水シートを貫通させる必要はない（ただし、集水柵の取水管のガス透過性防水シート貫通部は前述の「2.1 ガス透過性防水シート施工要領」で示したフランジによる処理を行う）。

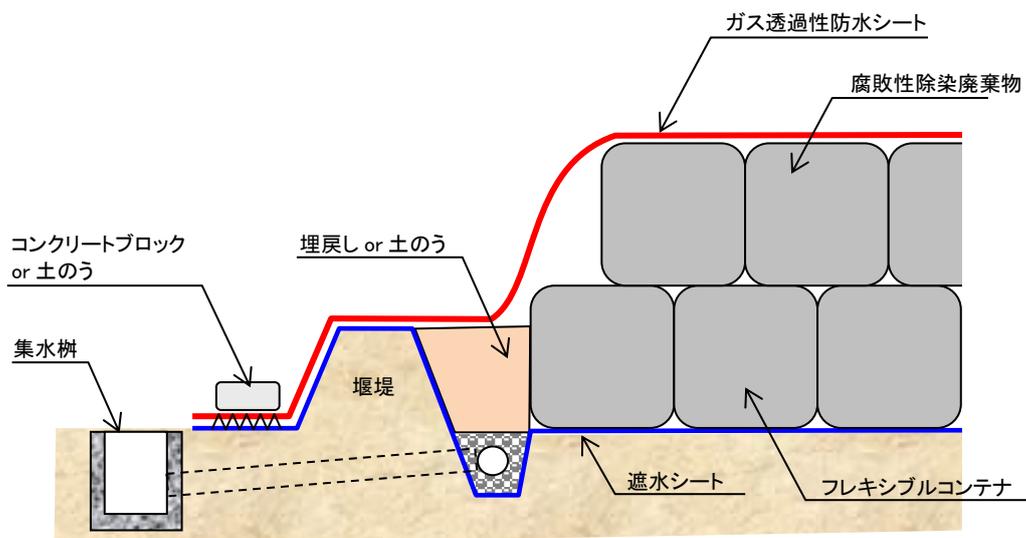


図 2.3-5 集水柵（堰堤外側）

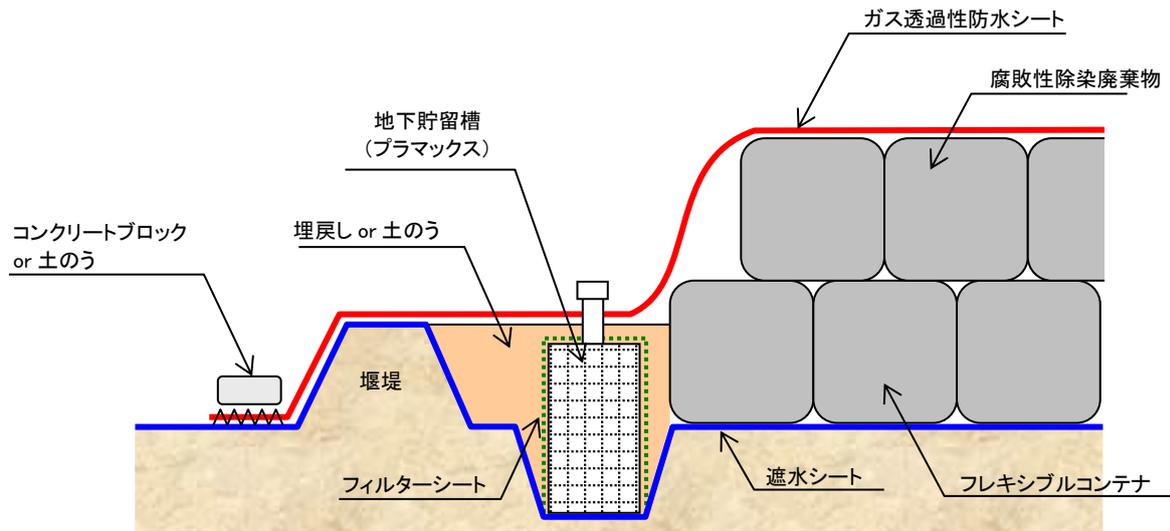


図 2.3-6 集水柵（堰堤内側）

2.3.5 不同沈下対策

フレキシブルコンテナに冬季の雪混じり土や、腐敗性除染廃棄物を収納したものを仮置きする場合は、経時的な体積減少に伴う圧縮により、不同沈下が発生する可能性がある。

ガス透過性防水シートに限らずシート状の材料は、ある程度の変形や沈下に追随するが、凹部に湛水し、過度の張力がシートに作用した場合は破損に至る可能性がある。

その対策としては、①フレキシブルコンテナ上に覆土を実施後、ガス透過性防水シートを敷設する、②腐敗性除染廃棄物を入れたフレキシブルコンテナ設置段数は2段積み（約2m）以下とする、等が挙げられるが、その他の対策工（事例および案）を以下に示す。

1) 鉄筋メッシュ+リサイクルボードによる対策例

図 2.3-7 に示すように、フレキシブルコンテナ上に鉄筋をメッシュ状（D16、30cm ピッチ）に組み上げ、リサイクルボード（幅 1.1m×長さ 2.2m×厚さ 6mm）をインシュロック等で固定し設置する。

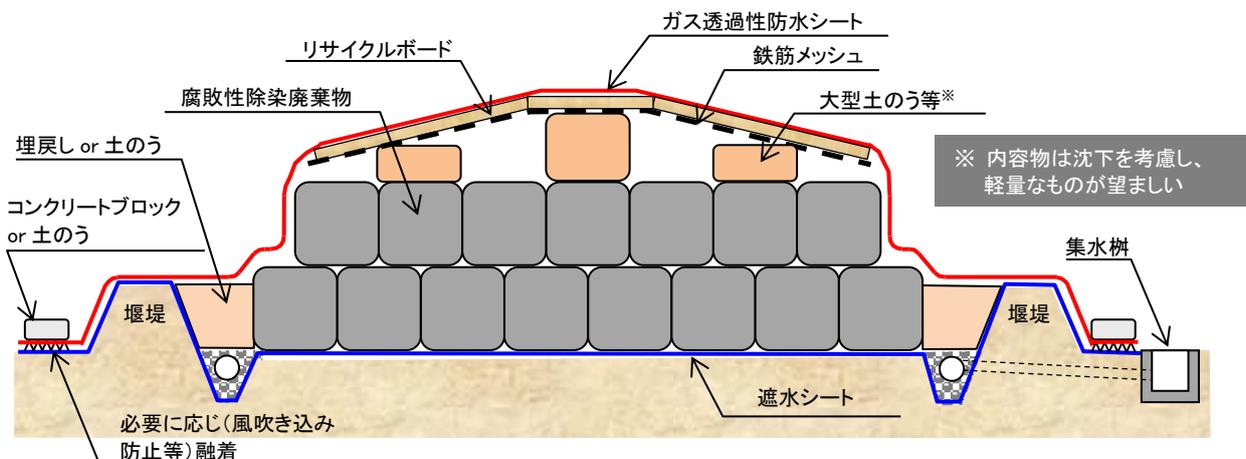


図 2.3-7 鉄筋メッシュ+リサイクルボード設置イメージ



写真 2.3-3 鉄筋メッシュ+リサイクルボード設置状況

2) 除染土壌と腐敗性除染廃棄物の配置による対策案

図 2.3-8 に示すように、中央部に除染土壌あるいは土砂等、周辺部に腐敗性除染廃棄物を配置して腐敗性除染廃棄物が沈下しても中央部が高くなるよう配置する。

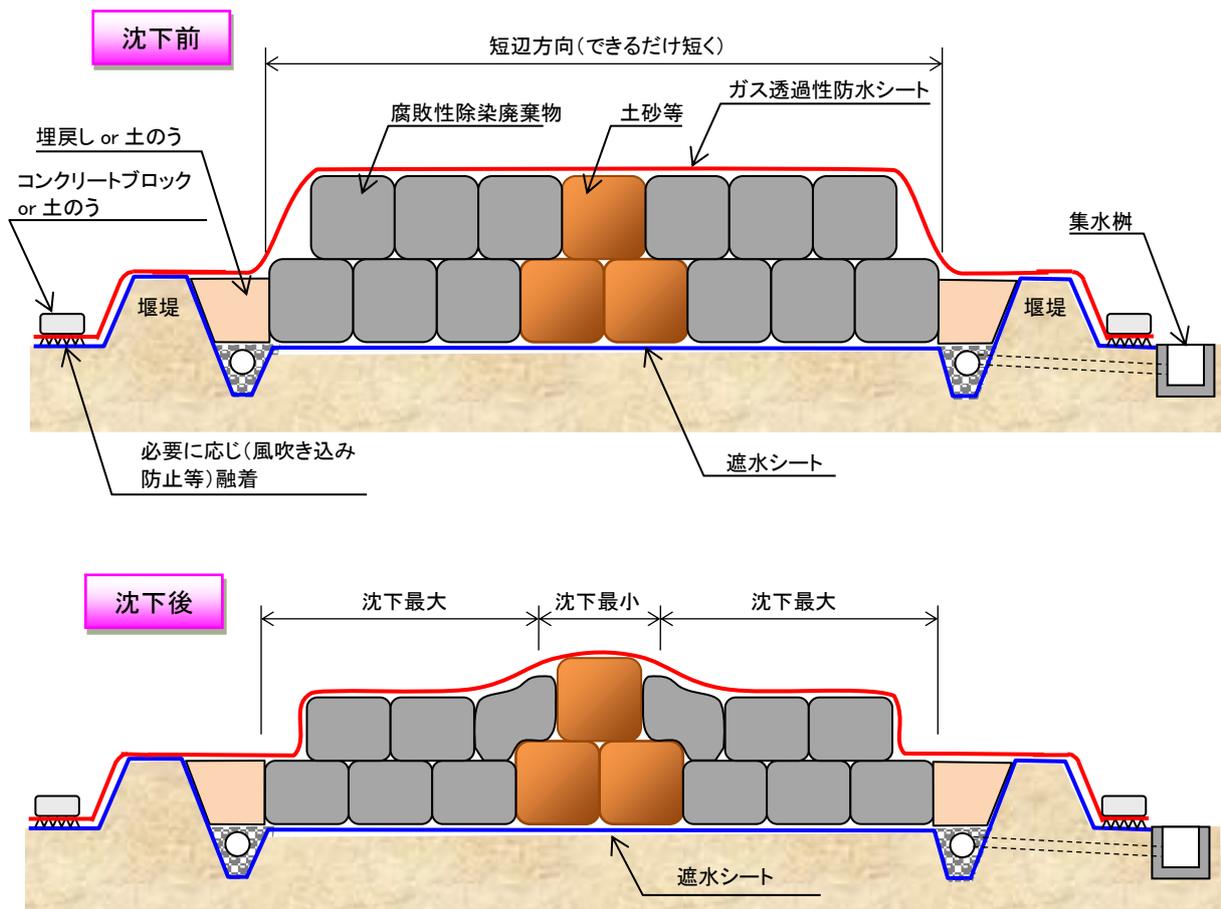


図 2.3-8 除染土壌と腐敗性除染廃棄物の配置イメージ

3) 土のう間詰めによる対策案

図 2.3-9 に示すように、フレキシブルコンテナ同士の間隙に土のう等で間詰めする。

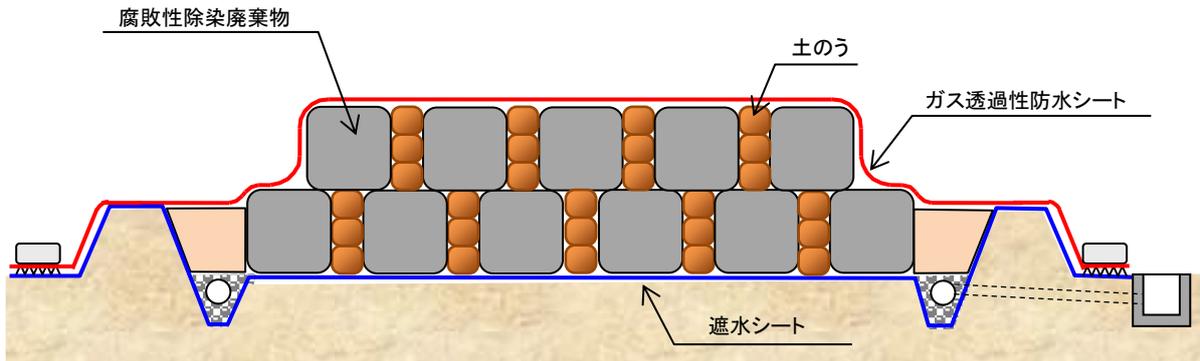


図 2.3-9 土のう間詰めイメージ

4) ジオテキスタイルによる対策案

図 2.3-10 に示すように、あらかじめフレキシブルコンテナ各段上面にジオテキスタイルを敷設する。

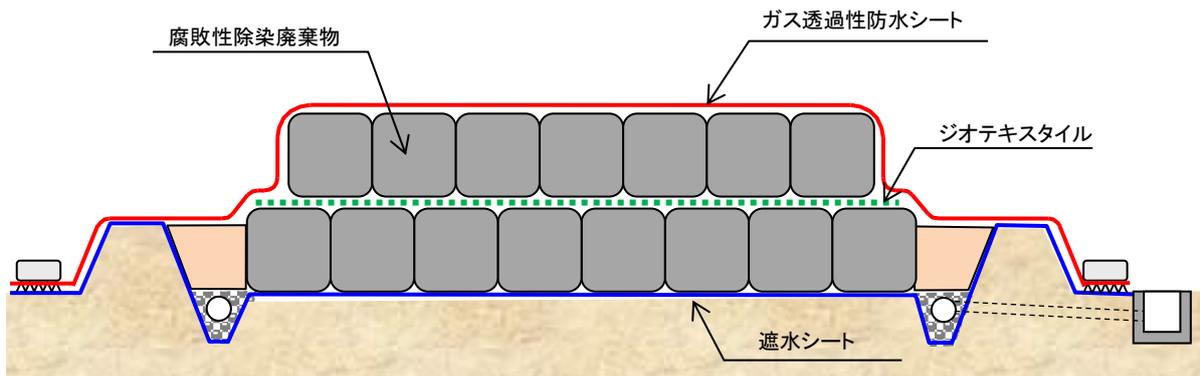


図 2.3-10 ジオテキスタイル敷設イメージ

2.4 ゼブラシートの適用について

2.4.1 はじめに

除染等工事共通仕様書（第9版改定版）には、除染廃棄物仮置場において、「可燃物設置場所については通気性防水シートと遮水シートを組み合わせたもの（通気性防水シートと遮水シートを工場にて溶着したシートであり、両端が遮水シートとなっているもの。複合シートと呼ぶ。）を用い、不燃物設置場所については、遮水シートもしくは通気性防水シートを用いて覆う。なお、景観に配慮し、周辺環境に馴染む色を使用する。」と明記されている。

本稿では、上述の複合シート（以下、ゼブラシートと呼ぶ）について、工場加工時および現場施工時の品質確認方法について述べる。

2.4.2 ゼブラシートの必要物性

表 2.4-1 および表 2.4-2 に除染等工事共通仕様書に明記されているゼブラシートにおいて通気性防水シートとして使用するガス透過性防水シートおよび遮水シートの必要物性値を示す。なお、ガス透過性防水シートおよび遮水シートとも表面色は、周辺環境に馴染むよう緑色を標準としている。

表 2.4-1 ガス透過性防水シート（通気性防水シート）必要物性表

項目		単位	物性値	試験方法
標準物性	質量	g/m ²	600	JIS L 1908 準拠
	引張強さ	N/5cm	925	JIS L 1908 準拠
	貫入抵抗	N	500	ASTM D 4833 準拠
	耐水度	mmH ₂ O	1000	JIS L 1902 準拠
	透湿度	g/m ² ・24h	2500	JIS L 1099 A-1法準拠
	遮光性	%	95	JIS L 1055 準拠

表 2.4-2 遮水シート（中弾性タイプ）必要物性表

項目		単位	物性値	試験方法	
標準物性	厚さ	mm	1.5	JIS K 6250 準拠	
	引張性能	引張強さ	N/cm	140	JIS K 6250 準拠 ダンベル3号または、5号試験片 引張速度:50mm/min
		伸び率	%	400	
	接合部引張強さ	N/cm	80	JIS K 6850 準拠	
	引裂き強さ	N	70	JIS K 6252 準拠 19mm切り込みなしアングル形試験片 引張速度:50mm/min	
安全性(溶出性)			基準値以下	最終処分場遮水シート基準 ¹⁾	

2.4.3 ゼブラシートの標準形状

ゼブラシートの形状は図 2.4-1 に示すように、幅寸法が約 6.2m を標準とし、長さ 40～50m 程度を上限長さとしている。なお、現場接合ラインを削減する目的で、幅寸法を約 12.4m とすることも可能である（図 2.4-2 参照）。

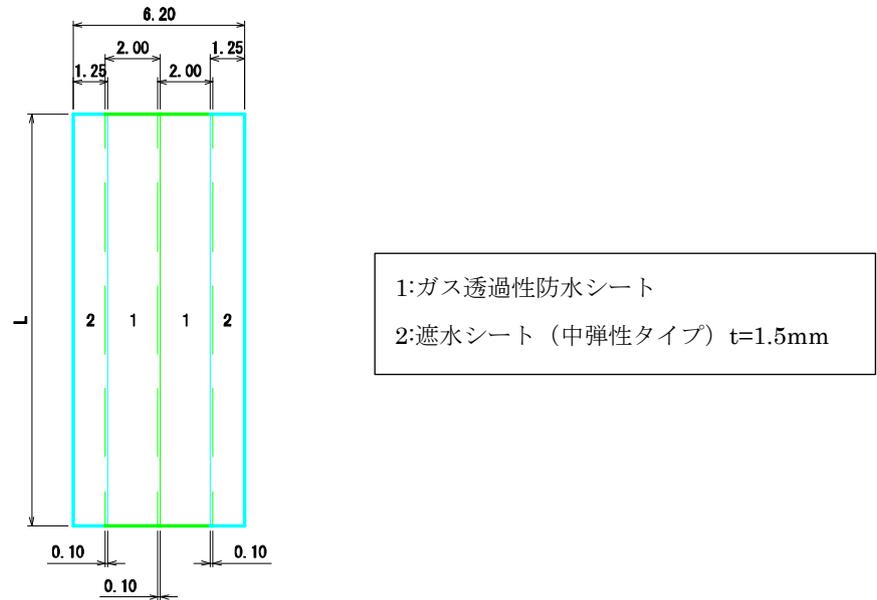


図 2.4-1 ゼブラシート標準形状図（幅寸法＝約 6.2m）

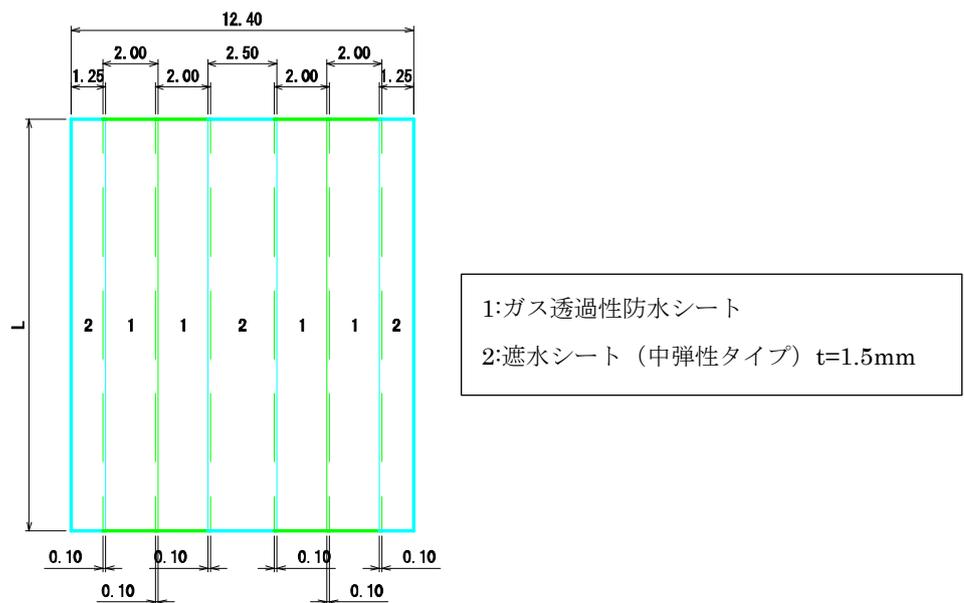


図 2.4-2 ゼブラシート標準形状図（幅寸法＝約 12.4m）

2.4.4 ゼブラシートの工場加工

1) 加工手順

ゼブラシートの工場加工フローを図 2.4-3 に示す。

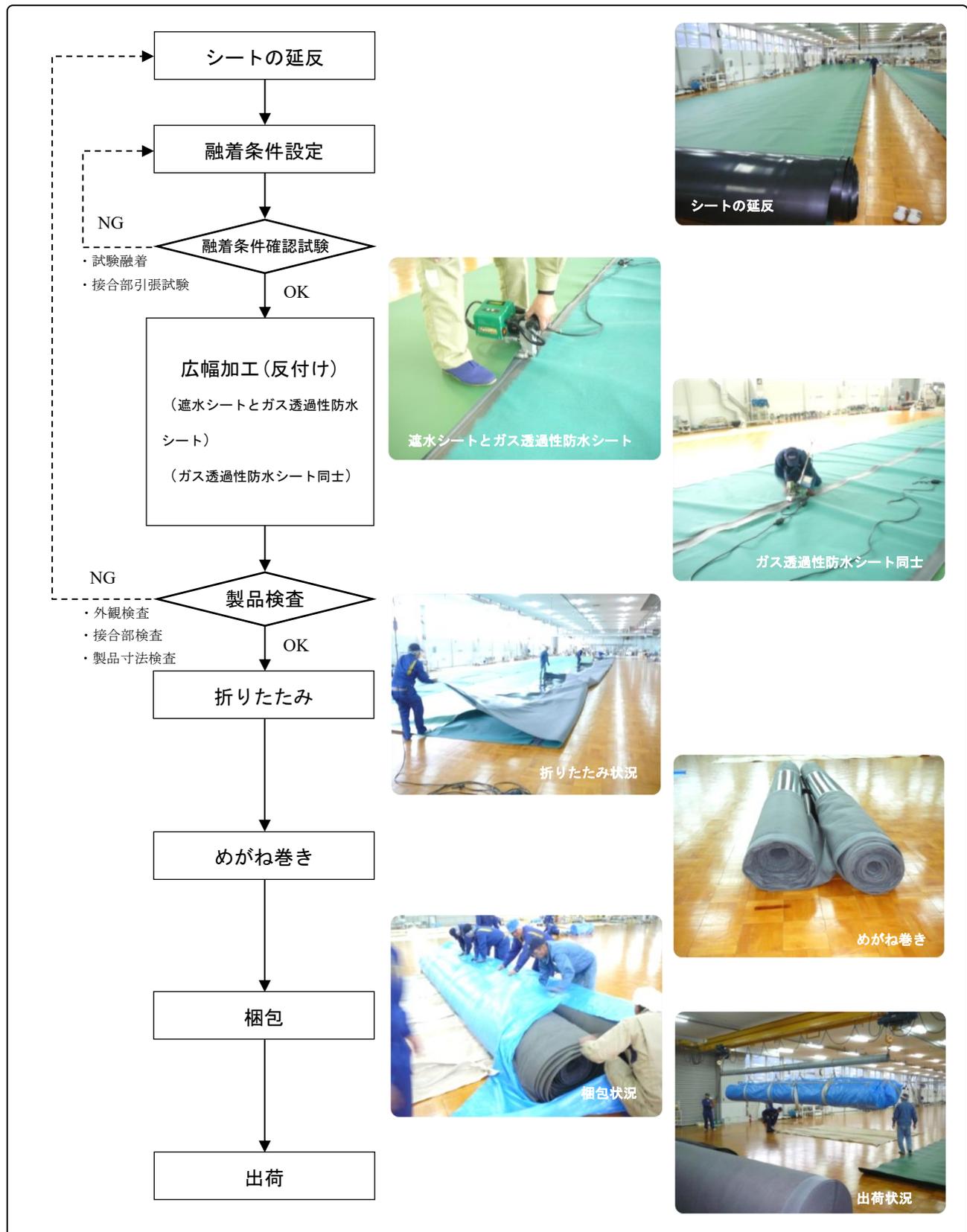


図 2.4-3 ゼブラシート工場加工フロー図

2) 工場検査項目

融着条件確認試験は当日に加工する製品パネルの融着条件を設定する目的で、毎日作業前に一回実施する。製品検査は融着条件確認試験で設定した融着条件で当日に加工した製品パネル毎に実施する。表 2.4-3 に工場加工における検査項目を示す。

表 2.4-3 工場検査項目

検査項目		方法	頻度	報告
融着条件 確認試験	試験融着	接合装置の温度、走行速度、押圧力を調整し、規格値以上となる条件を設定する	作業前、1回/日	融着条件 確認試験 報告書 (図2.4-6)
	接合部引張試験	試験融着した接合部に対し、引張試験(簡易引張試験機でも可)を実施	1回/日、N=3	
製品検査	原反検査	加工毎に展開した原反に対し、目視により傷、変色、損傷の有無を確認	全加工原反	製品検査 成績書 (図2.4-7)
	接合部検査	検査棒挿入検査	全融着部	
		融着による破損の有無を目視確認	全融着部	
製品寸法検査	融着後の製品寸法を測定	各製品(パネル)毎		

なお、表 2.4-3 に記載した検査棒挿入検査は、接合部に検査棒をあて、剥離や接合不具合の有無を検査する方法である。検査用器具としてはマイナスドライバー、パレットナイフ、またはこれに準じる形状で、先端は幅 4mm 以上、厚さ 1mm 以上で先端に丸みをもたせたものを用いる(図 2.4-4)。

検査方法は検査棒を手に持ち、接合部に検査棒の先端を押し当て、先端を接合部に移動させながら接合部への先端の侵入がないことを確認する(図 2.4-5)。

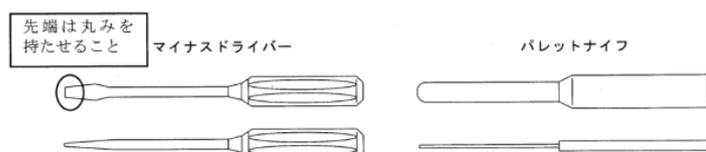


図 2.4-4 検査棒(例)

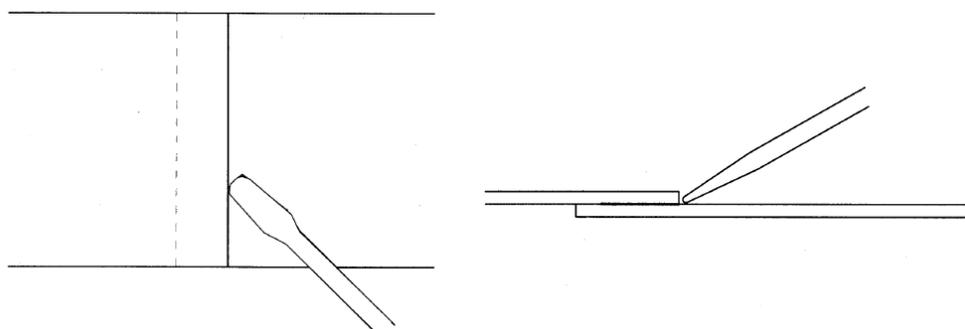


図 2.4-5 検査棒挿入検査(例)

図 2. 4-6 に融着条件確認試験報告書、図 2. 4-7 に製品検査成績書の例を示す。ただし、図中の「CP600」とはガス透過性防水シートの品番である。

工事名： ○○○○○○仮置場				検査日： 2016/○○/○○				
＜融着条件確認試験＞								
項目		設定値(測定値)		規格値	判定 (○or×)	確認者	承認者	備考
試験融着	CP600同士	走行速度:	1.6 (m/min)	***	○	西村	長田	
		設定温度:	450 (°C)	***	○	西村	長田	
		押圧力:	400 (N)	***	○	西村	長田	
	CP600と 遮水シート	走行速度:	1.7 (m/min)	***	○	西村	長田	
		設定温度:	470 (°C)	***	○	西村	長田	
		押圧力:	530 (N)	***	○	西村	長田	
接合部 引張試験	CP600同士	引張強さ:	200 (N/cm)	185(N/cm)以上	○	西村	長田	
			214 (N/cm)		○	西村	長田	
			203 (N/cm)		○	西村	長田	
	CP600と 遮水シート	引張強さ:	206 (N/cm)	150(N/cm)以上	○	西村	長田	
			203 (N/cm)		○	西村	長田	
			204 (N/cm)		○	西村	長田	



試験融着状況
(CP600同士)



引張試験状況
(CP600同士)



引張試験結果状況
(CP600同士)



試験融着状況
(CP600と遮水シート)



引張試験状況
(CP600と遮水シート)



引張試験結果状況
(CP600と遮水シート)

図 2. 4-6 融着条件確認試験報告書 (例)

工事名: ○○○○○○仮置場				検査日: 2016/○○/○○				
製品NO. ⑤								
項目		検査内容		規格値	判定 (○or×)	確認者	承認者	備考
原反検査		傷、変色、損傷の有 無(目視)		左記の事象が無いこと	○	西村	長田	
接合部検査	検査棒挿入検査	先端の接合部への侵入有 無		左記の事象が無いこと	○	西村	長田	
	溶着による損傷有無(目視)	溶着による損傷、有 無		左記の事象が無いこと	○	西村	長田	
製品寸法検査	長さ(L)	実測値	38.10 (m)	38.0 (m) (-0m,+0.5m)	○	西村	長田	
	幅(W)		6.34 (m)	6.20 (m) (-0m,+0.5m)	○	西村	長田	



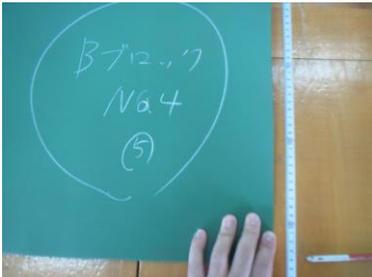
幅寸法測定状況



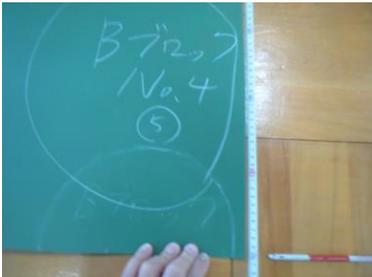
長さ寸法測定状況



検査棒挿入検査状況
(CP600と遮水シート)



同上(測定値)



同上(測定値)



同上
(CP600同士)



同上(測定値)



同上(測定値)

図 2.4-7 製品検査成績書 (例)

2.4.5 現場施工

1) 施工手順

ゼブラシートの現場施工フローを図 2.4-8 に示す。

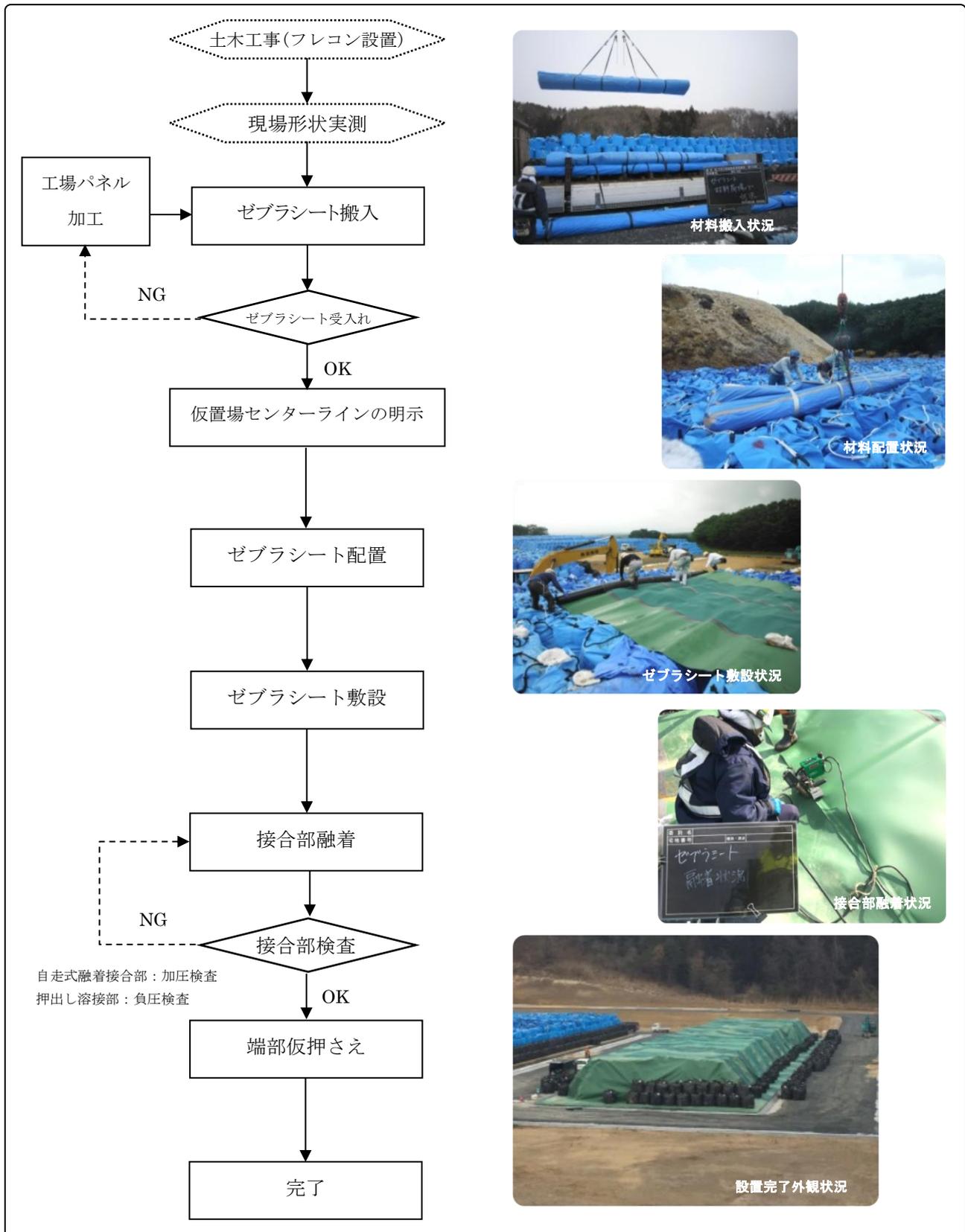


図 2.4-8 ゼブラシート現場施工フロー図

2) 施工要領

(1) 材料配置 (荷揚げ)

まず、仮置場天端部にゼブラシート配置場所をトラロープ等で明示する。

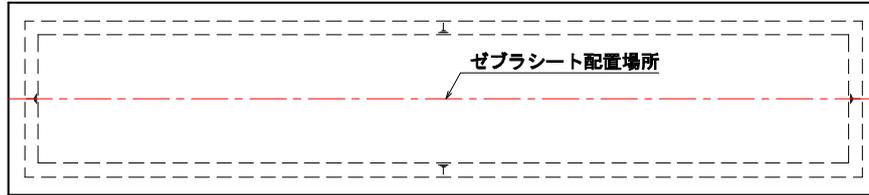


図 2.4-9 ゼブラシート配置場所の明示

次に、クレーンを用いて仮置場天端中央部に材料を荷揚げする。

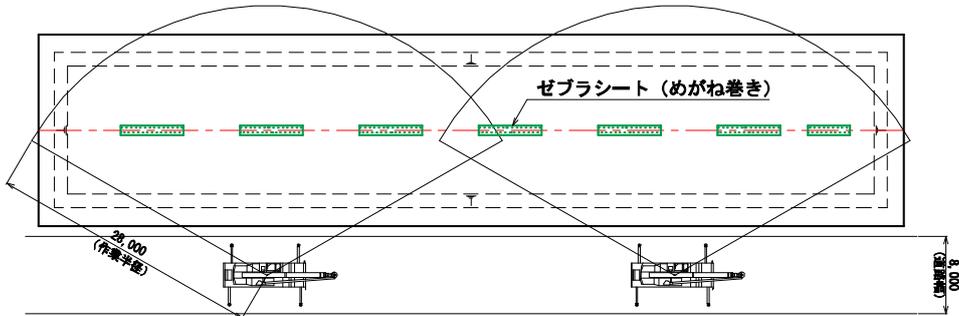


図 2.4-10 材料配置状況

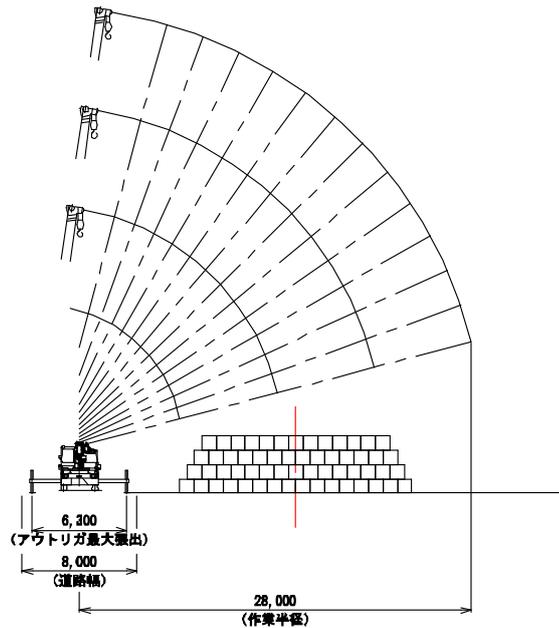


図 2.4-11 重機 (25t ラフター) 計画図 (例)

(2) ゼブラシート敷設

a. 展張

めがね巻きにて梱包されたゼブラシートを人力にて転がし展張する。展張する際は、重ね幅等を考慮し、足元を十分に注意する。なお、斜面部については、アルミ梯子を設置し足場を確保する。

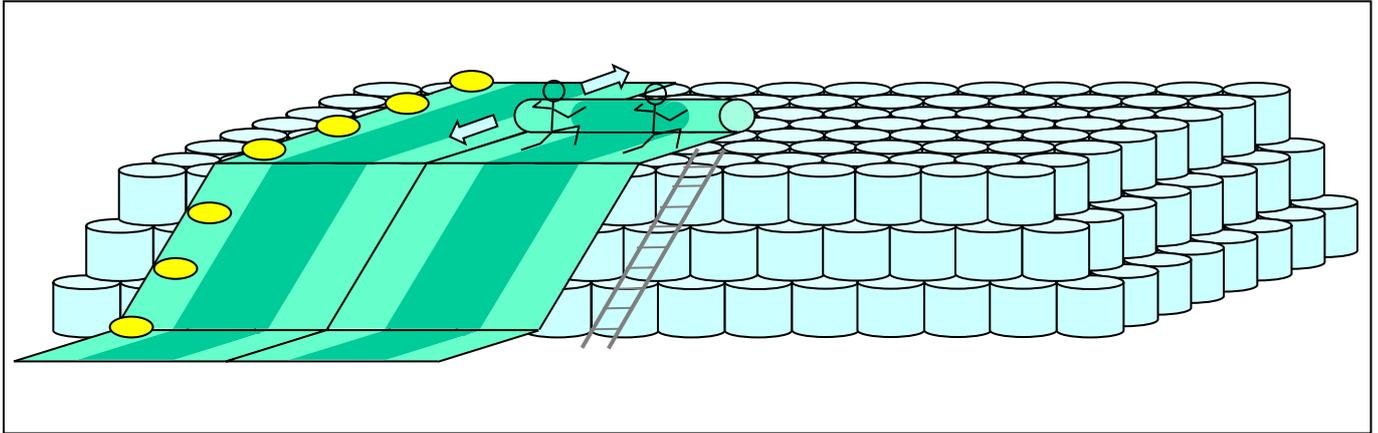


図 2.4-12 展張状況（概要図）

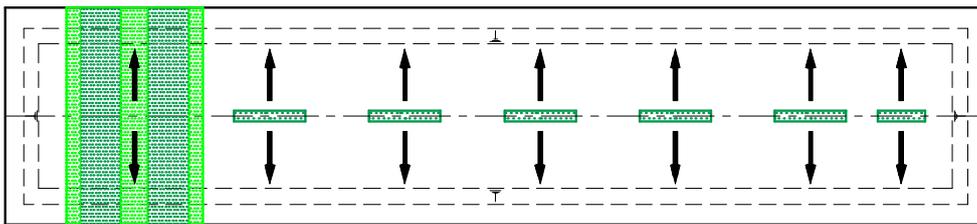


図 2.4-13 ゼブラシート展張イメージ（平面図）



写真 2.4-1 ゼブラシート展張状況

端部パネルについては、一度仮置場天端部にて展張した後、所定の位置に移動させる。



図 2.4-14 端部パネル設置イメージ



写真 2.4-2 ゼブラシート端部パネル展張状況

b. シートの重ね代

接合前のシートの重ね代は、接合機械を考慮して 10cm を確保し、接合後の仕上がり寸法は 5cm 以上を確保する。

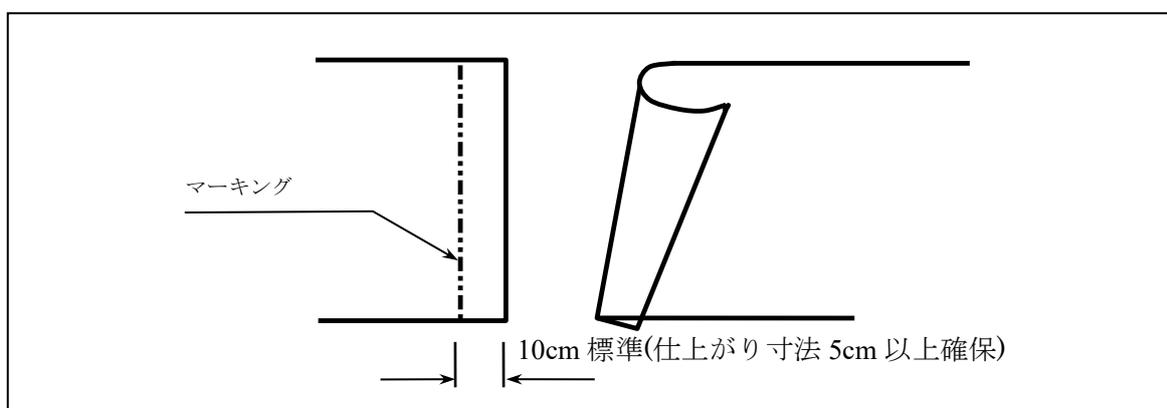


図 2.4-15 遮水シート重ね代

(3) 遮水シート融着

遮水シートの接合は、熱融着により行う。融着方法には、自走式融着、押出し溶接の2通りがあり、一般的な接合は自走式融着にて行い、自走式融着による接合が困難な箇所（構造物廻り、立体加工部等）については、押出し溶接により接合を行う。以下に各接合方法について述べる。

a. 自走式融着

自走式融着は、シート同士に圧力をかけながら、温度管理された熱板をはさみ込み、母材を溶かし融着するものである。熱をかけた状態で圧力をかけるので、シートのズレがなく、安定した状態で接合できる。また、重ね部において2箇所圧着する（図2.4-16）ことにより、加圧検査による水密性の確認を実施できる。

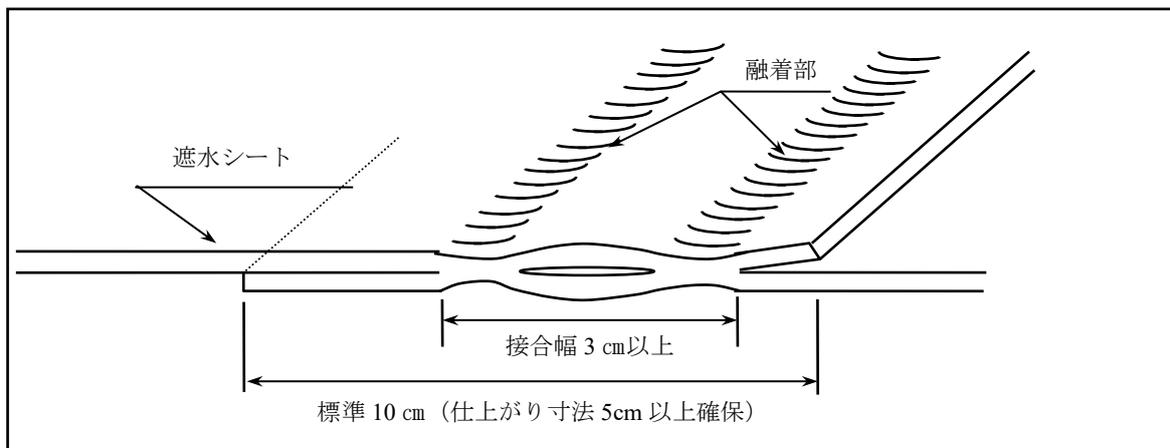


図 2.4-16 自走式融着断面

【手順】

- ① 融着面のゴミ・ホコリ等をウエス等で取り除く。
- ② 重ね代を均一化（標準 10cm）する。
- ③ 自走式融着機により融着する。なお、本融着前には試運転を行う。走行速度は、1.0～2.0 (m/min) 程度の範囲で、現場状況により調節する。



写真 2.4-3 現場接合部自走式融着状況

b. 押し溶接

押し溶接とは、専用の押し溶接機を用いて、遮水シート母材と同材質の溶接棒を融着して一体化させるものである。

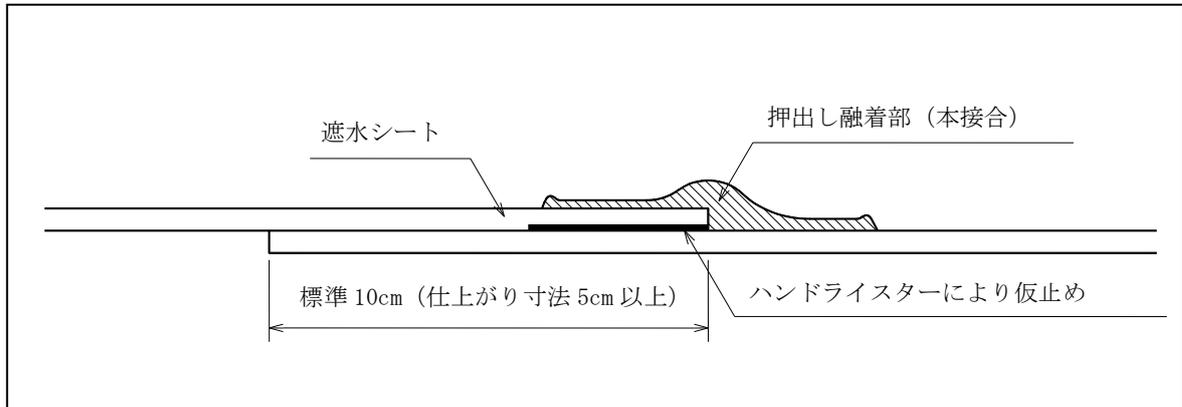


図 2.4-17 押し溶接断面

【手順】

- ① 溶接面のゴミ、ホコリ等をウエス等で取り除く。
- ② ハンドライスターにより仮止めを行う。
- ③ グラインダーにより溶接面をこすり、目荒らしを行う。
- ④ 押し溶接機により融着する。



写真 2.4-4 押し溶接機 (例)



写真 2.4-5 押し溶接状況

c. 遮水シート接合前試運転

本接合前には、接合機械の融着条件設定（温度、速度、圧力）を行い、試験融着を行う。

試験融着を行ったサンプルから試験片を採取し、ハンドバイスを用いて接合部を剥離し、剥離モードにより合否を判定する。

【手順】

- ① 機械の融着条件を設定（温度・速度・圧力）し、試験接合を行う。
- ② 試験接合作業終了後、接合部が常温になってから、試験片（25mm 幅短冊形）を3ピース抜き取る。
- ③ ハンドバイスを用いて接合部を剥離し、剥離モードにより合否を判定する。（図 2.4-19、図 2.4-20 参照）なお、試験の合格の判定は、3ピース全てが規定を満足することとする。

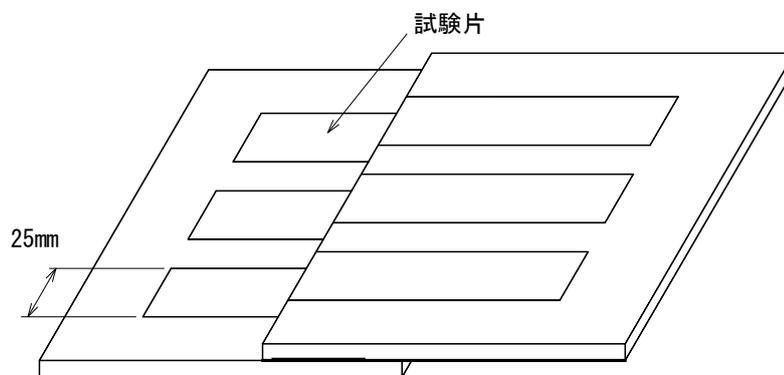


図 2.4-18 試験片採取

(4) 仮押さえ

ゼブラシート敷設後、風による飛散防止のために、土のう等で仮押さえを行う。外周端部は、大型土のうを設置する。ゼブラシート敷設後、パネル同士の接合は原則、敷設日に行い、仮押さえは端部のみ実施する。

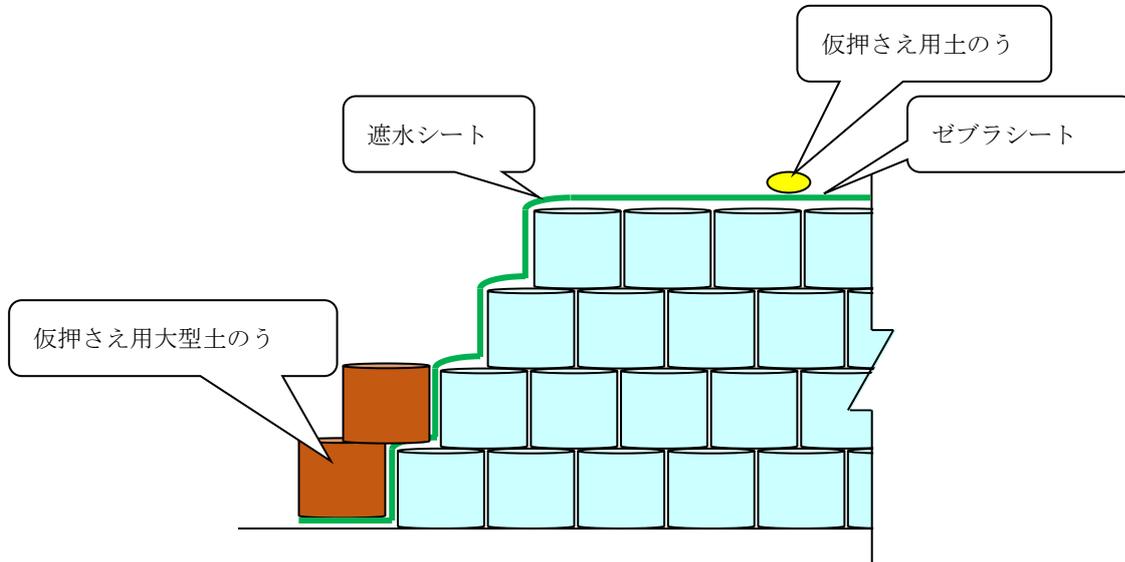


図 2.4-21 敷設完了部の仮押さえ



写真 2.4-6 大型土のうによる仮押さえ状況

3) 現場検査項目

(1) ゼブラシート現場自主検査基準

表 2.4-4 にゼブラシート現場自主検査基準を示す。なお、立会い確認は、監督員と協議のうえ決定する。

表 2.4-4 ゼブラシート現場自主検査標準

No.	項目	検査方法	基準値	検査頻度
1	シート傷等の有無	目視	著しい汚れがないこと	敷設時全面
			裂けた箇所、切断箇所、異常な折れしわ、貫通した穴等がないこと	
2	水密性	加圧検査 (自走式融着接合部)	初期 0.10MPa 加圧 30 秒後:減圧 20%以下	全接合部
		負圧検査 (押し出し溶接接合部)	負圧 6.7kPa 10 秒間:気泡なし	全接合部

(2) ゼブラシート検査方法

a. 加圧検査

- 検査箇所
自走式融着接合部

検査方法

両端の検査孔を塞いで、検査孔内部に加圧空気を挿入し、漏れがないかを検査する。
加圧検査には専用の加圧試験器を用いる。

- 接合部の両端部を密閉して、空気注入口を検査孔に挿入する。
- 加圧試験器をセットして 0.10MPa (=100kPa) 程度迄加圧し、バルブを閉じる。
- 30 秒後の圧力値を確認し、減圧量が 20%以内であれば、合格とする。

表 2.4-5 加圧検査規格²⁾

シート種類	初期ゲージ圧	検査時間	許容値
中弾性タイプ	0.10MPa (=100kPa)	30 秒	0.08MPa (=80kPa)

b. 負圧検査

- 検査箇所
押し溶接接合部
- 検査方法
 - ① 接合部周囲に石鹼水を塗布し、検査器をセットする。
 - ② 検査器を十分にシートに密着させる。
 - ③ 約 6.7kPa (=0.0067MPa) 程度の負圧が作用した状態を保持し、10 秒間において、検査機内のシート接合部より、漏気による気泡が無い場合を合格とする。



写真 2.4-9 負圧検査状況

- 不具合対処方法
気泡が出た場合は、その箇所を両端約 50mm ずつの重ね代を含み、再融着を行う。
また再融着が出来ない場合、パッチ補修を行う。

3. ガス透過性防水シートの適用に関する検討

JAG

3.1 供用中のガス透過性に関する現地比較実験

3.1.1 はじめに

除染廃棄物仮置場の上部シートは現在、遮水シートまたは、ガス透過性防水シートが使用されている。ガス透過性防水シートの材料性能としてのガス透過性能に関しては、多くの室内実験や現場実験がなされ、その結果が報告^{1)、2)}されている。しかし、日射による温度変化や風速等、供用中の気象変化による影響について検証した報告は少ない。そこで、実際の仮置場に実験ヤードを設け、上部シート内の温度と酸素濃度を測定して、それらの影響について検討した。その結果、ガス透過性防水シートは気象変化による大きな影響を受けることなく、仮置場上部シートとして十分な性能を維持しうることが確認できた。

3.1.2 実験概要

福島県内の実際の仮置場にて図 3.1-1 に示すように設置地盤に下部シート（LLDPE 製遮水シート 1.5 mm）を敷設後、除染廃棄物（1 段目、2 段目には汚染土壌、最上部に腐敗性廃棄物）を入れたフレコンを 3 段積みにした実験山 2 か所（実験山①および②）を設置した。その後、表 3.1-1 に示す温度

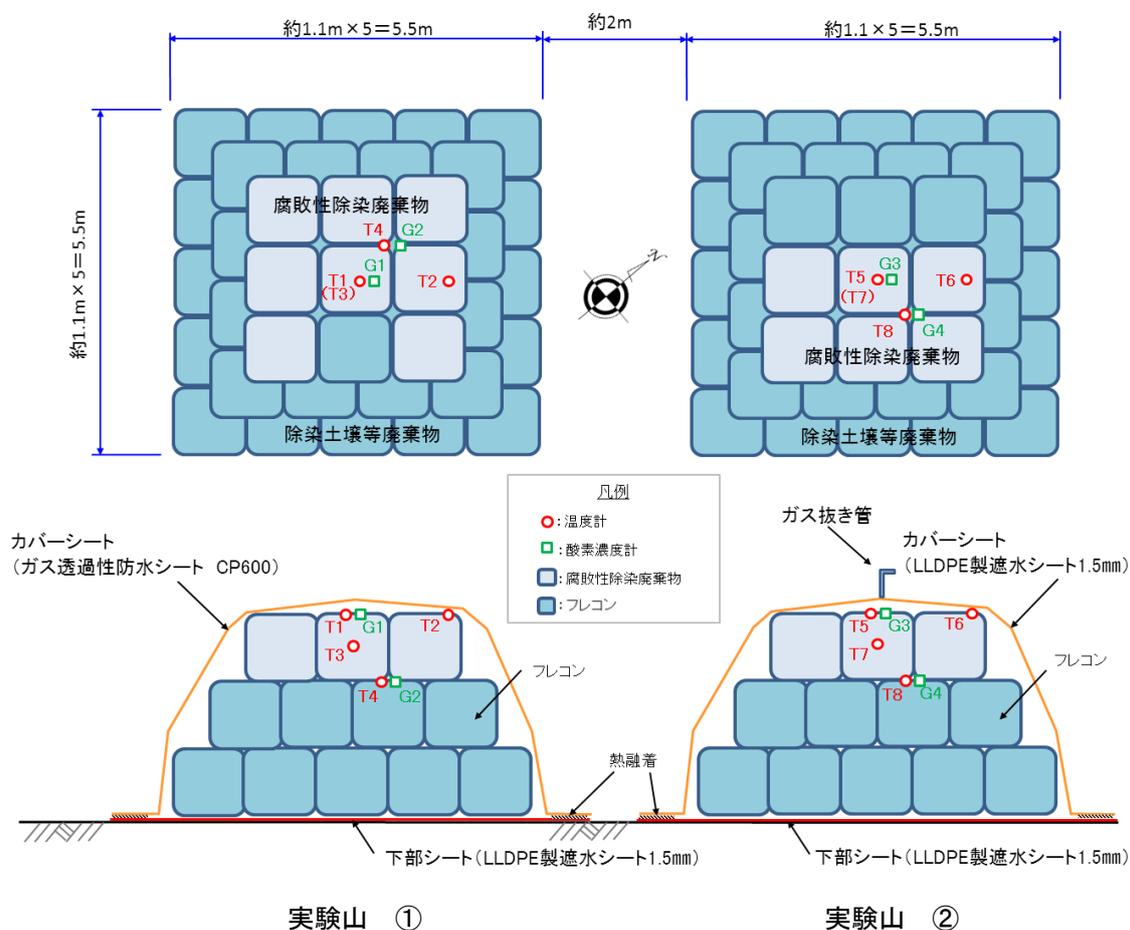


図 3.1-1 フレコンと測定装置の位置

表 3.1-1 測定装置と設置位置

項目	上部シート	測定装置NO.	設置位置
温度計	ガス透過性防水シート	T1	最上段中央フレコン上部(上部シート直下)
		T2	最上段端部フレコン上部(上部シート直下)
		T3	最上段フレコン内部(腐敗性除染廃棄物 深さ30cm位置)
		T4	2段目フレコン上部(1m深さ)
	遮水シート	T5	最上段中央フレコン上部(上部シート直下)
		T6	最上段端部フレコン上部(上部シート直下)
		T7	最上段フレコン内部(腐敗性除染廃棄物 深さ30cm位置)
		T8	2段目フレコン上部(1m深さ)
酸素濃度計	ガス透過性防水シート	G1	最上段中央フレコン上部(上部シート直下)
		G2	2段目フレコン上部(1m深さ)
	遮水シート	G3	最上段中央フレコン上部(上部シート直下)
		G4	2段目フレコン上部(1m深さ)

計、酸素濃度計に示す温度計、酸素濃度計を設置し、上部シートとして①ガス透過性防水シート(CP600、2成分長繊維不織布 300g/m²×2層間にポリエチレン製微多孔膜を挟んだ複合構造)、②遮水シート(LLDPE製 1.5mm、中央頂部にガス抜き管φ150設置)を設置した。また、それぞれの上部シートの周囲は浸水や空気の入りが無いよう、下部遮水シートと熱融着して閉じた。なお、実験場所が実際の仮置場であり、搬入状況に応じて実験山を築いたため、①の実験山では腐敗性廃棄物入りフレコンは8袋、②の実験山で6袋となっている。設置状況を写真3.1-1に示す。



写真 3.1-1 フレコン段積み状況(左)と上部シート設置(右)

なお、実験場所は福島県伊達市霊山町であり、測定期間は2013年8月28日～2013年10月15日である。

また、本実験では、日中の日射による温度変化、腐敗性廃棄物の腐敗熱による影響を把握するために温度計(日置電機株式会社製 温度センサーLR9604)を設置した。さらに、酸素濃度を測定することで腐敗や発酵に伴うガス発生の有無を間接的に把握するために、酸素濃度計(日本環境計測株式会社製 土壌酸素センサーMIJ-03)を設置した。それぞれの外観を写真3.1-2に示す。



写真 3.1-2 温度計（左）と酸素濃度計（右）

3.1.3 実験結果

写真 3.1-3、写真 3.1-4 にそれぞれ設置 1 ヶ月後および、1.5 ヶ月後の状況を示す。また、温度変化および酸素濃度の測定結果について、以下に述べる。



写真 3.1-3 設置 1 ヶ月後（9 月 27 日）



写真 3.1-4 設置 1.5 ヶ月後（10 月 15 日）

1) 温度測定結果（上部シート直下）

図 3.1-2 は各々の上部シート直下（最上段中央フレコン上部 T1・T5）の温度測定結果である。なお、参考として当該実験場所（山間部）から約 18km 東に位置する福島地方気象台の最高・最低気温データ³⁾を付記したが、当該実験場所は山間部であり実際の最高気温、最低気温は福島地方気象台の気温データより若干低いと考えられる。図 3.1-2 より、上部シート（ガス透過性防水シート、遮水シート）直下では日中の温度が気温に比べてかなり高くなり、この測定期間中、最大 67℃程度まで上昇し、夜間の温度は気温近くまで低下する。各上部シートの比較では、日中で遮水シートが 2~3℃高くなるが、夜間は 4℃程度低くなる。これは両者の材質（色調や熱伝導率）の違い、腐敗性廃棄物のボリュームの違い等が影響しているものと考えられる。

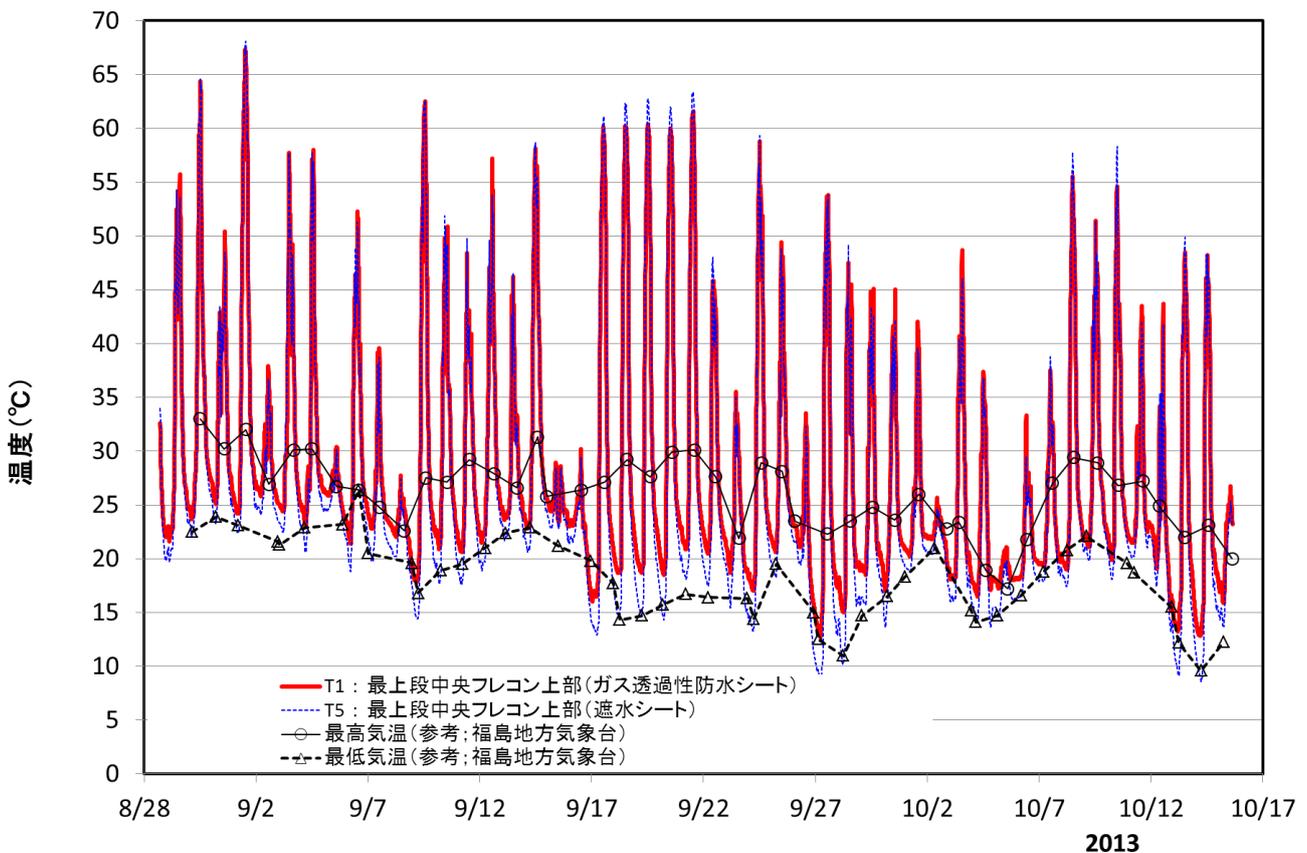


図 3.1-2 温度測定結果（上部シート直下）

2) 温度測定結果（内部）

図 3.1-3 は腐敗性廃棄物を入れた最上段フレコン内部（T3・T7）、2 段目フレコン上部（上端から 1m 深さ、T4・T8）の温度測定結果である。また、図 3.1-2 と同様に福島地方気象台の最高・最低気温を付記した。T3、T7 は期間後半の一部を除き、最高気温より高い傾向にあり、腐敗熱の影響が考えられるが、各上部シートの実験山の内部温度（T3・T4・T7・T8）は概ね 20~40 °C の範囲となっており、期間中の気温低下とともに内部温度も低下する傾向にあることから、腐敗による過剰な蓄熱は発生していない。また、T3 は T7 より、T4 は T8 より 2~4°C 程度高い傾向にあるが、これは上部シート直下の温度測定結果と同じく、上部シートの材質（色調や熱伝導率）の違い、腐敗性廃棄物のボリュームの違い等が影響しているものと考えられる。

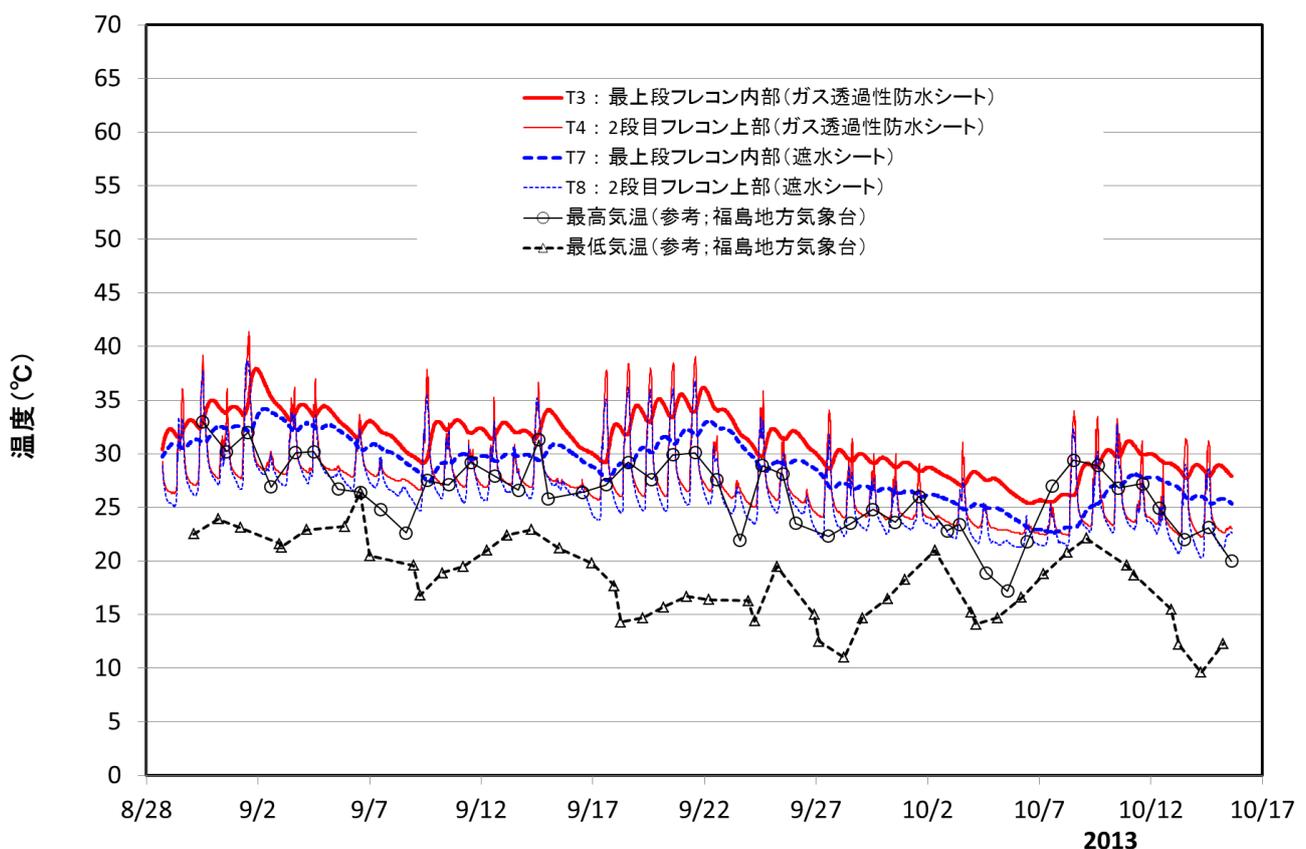


図 3.1-3 温度測定結果(内部)

3) 日射量の温度への影響

図 3.1-4 に 2013 年 9 月 13～18 日の期間における日射量と温度の関係を示す。ただし、日射量は福島地方気象台のデータである。これらより、上部シート直下 (T1・T5) の温度は日射量と高い相関性を示す。腐敗性廃棄物を入れた最上段フレコン内部 (T3・T7) は日射量に直接影響しないが、高い日射量ピークの半日程度後に若干温度上昇する傾向にあり、これは腐敗熱でなく日射による腐敗性廃棄物自体の温度上昇の影響と考えられる。

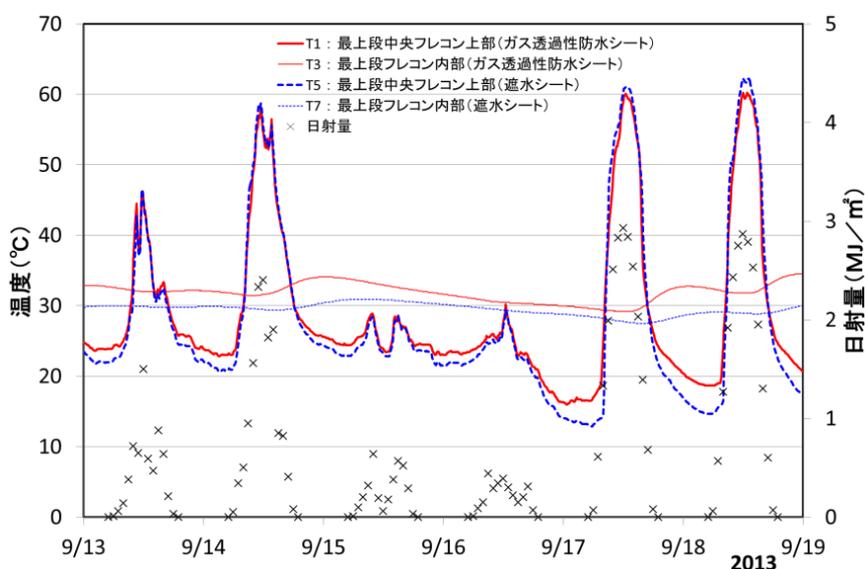


図 3.1-4 日射量と温度の関係

4) 酸素濃度測定結果

図 3.1-5 は各々の上部シート直下 (最上段中央フレコン上部、G1・G3)、2 段目フレコン上部 (上端から 1m 深さ、G2・G4) の酸素濃度測定結果である。空気中の酸素濃度は 21%程度であり、ガス透過性防水シートは期間を通して 18.5～20.8%の範囲で安定している。遮水シートは 12～20.5%と経時的な変化が大きい。これは腐敗性廃棄物が腐敗や発酵によりガスが発生しており、ガス透過性防水シートは全面からガスが透過するのに対し、遮水シートはガス抜き管のみから排出されているためと考えられる。

図 3.1-6 に 2013 年 9 月 13～18 日の期間 (9 月 16 日正午前後に台風 16 号が福島県に最接近) における風速と酸素濃度の関係を示した。ただし、風速は福島地方気象台のデータである。各上部シートの周囲端部は下部遮水シートと熱融着にて接合しており、この部分からの風の吹きこみはない。ガス透過性防水シートにおいては、酸素濃度と風速との相関はなく、ほぼ一定に推移するが、遮水シートの場合、風速が大きいほど酸素濃度も高くなる傾向が顕著に表れている。風速が大きくなるほど、中央頂部に取り付けたガス抜き管から空気の流入量が増え、酸素濃度が上昇したためと推察される。

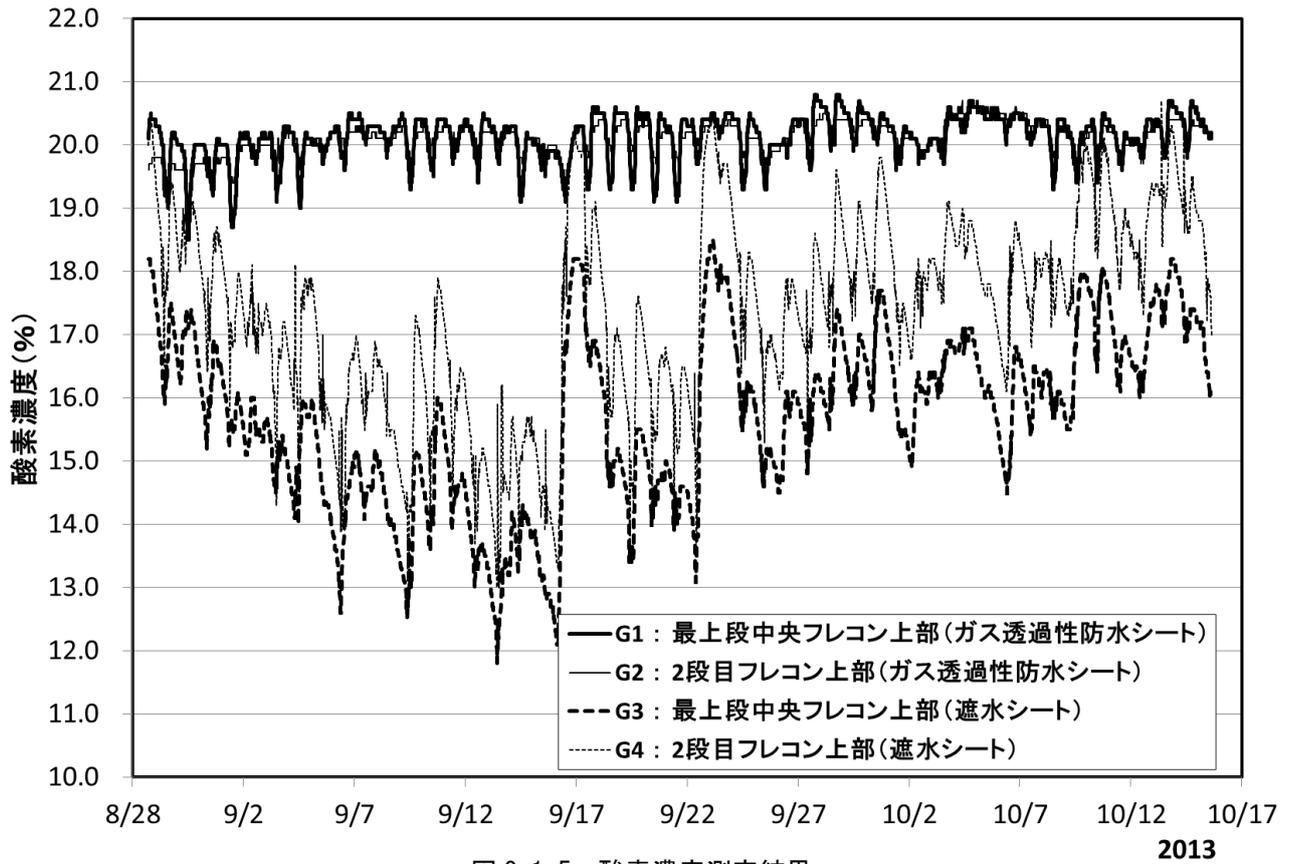


図 3.1-5 酸素濃度測定結果

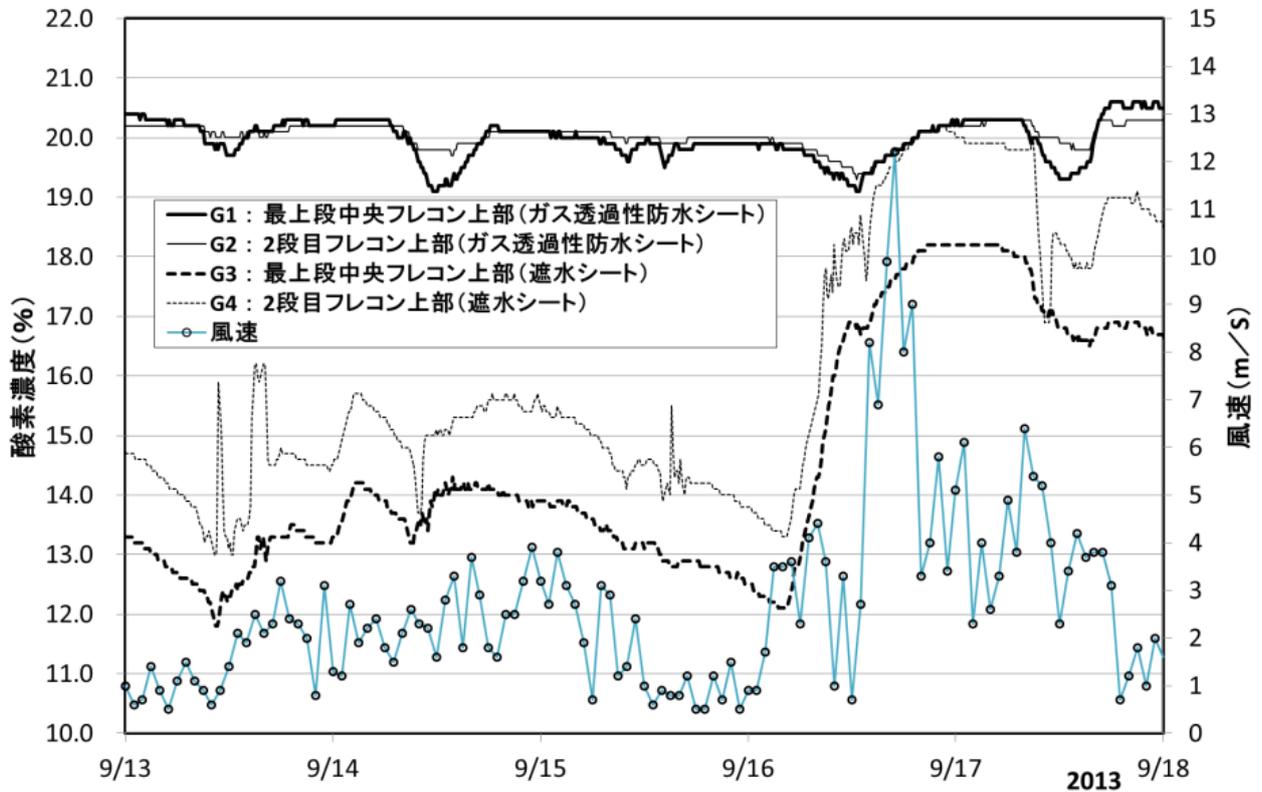


図 3.1-6 風速と酸素濃度の関係

3.1.4 まとめ

実際の除染廃棄物仮置場にてガス透過性防水シートと遮水シート（中央頂部に φ150 ガス抜き管設置）の2種類の上部シートを設置し、上部シート内部の温度と酸素濃度を測定した結果、以下の結果が得られた。

- ・ 測定期間中、各上部シートともシート直下の温度は、日中で最大約 67℃まで上昇するが夜間は気温近くまで低下する。日中の温度上昇は気温より日射量の影響を大きく受けていると考えられる。
- ・ 腐敗性廃棄物を入れたフレコン内部温度は各上部シートとも気温低下とともに低下し、過剰な蓄熱は認められなかった。
- ・ 2 段目フレコン上部、腐敗性廃棄物を入れたフレコン内部の温度はガス透過性防水シートのほうが遮水シートより 2～4℃高くなる傾向を示したが、これは上部シートの材質（色調や熱伝導率）の違い、腐敗性廃棄物のボリューム（ガス透過性防水シートの実験山の方が多）の違いが影響していると考えられる。
- ・ 測定期間中、上部シートとしてガス透過性防水シートを用いた場合の酸素濃度は 18.5～20.8%で安定して推移し、遮水シートの場合では 12～20.5%の範囲で上下した。これは腐敗性廃棄物が腐敗や発酵によりガスが発生しており、ガス透過性防水シートは全面からガスが透過するのに対し、遮水シートはガス抜き管のみから排出されているためと考えられる。ただし、遮水シートの場合でも、酸素濃度は低下したままでなく、ガス抜き管からの一定のガス放出効果が認められる。ガス透過性防水シートでは全面からガスが透過するために、酸素濃度が安定すると考えられ、ガス抜き管を設置せずとも十分なガス透過性能を発現することが確認できた。
- ・ 上部シートが遮水シートの場合、風速が大きいほど酸素濃度が高くなる傾向にある。これは風速が大きいほど中央頂部に取り付けられたガス抜き管からの空気の入出力量が大きくなるためと考えられる。

本実験の実施に際しては福島県伊達市役所様、大沼林産工業株式会社様には多大なご協力をいただきました。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 西村正樹, 赤井智幸, 和田昭太, 楠部義夫, 嘉門雅史: 廃棄物最終処分場キャッピング用複合シートの機能評価と施工耐久性評価, ジオシンセティックス論文集, 第 21 巻, pp.285-290, 2006.
- 2) 公益社団法人日本材料学会: 「地盤改良」に関わる技術評価証明報告書ーガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法ー, pp.43-45, 2012.
- 3) 気象庁: 福島地方気象台ホームページ, < <http://www.jma-net.go.jp/fukushima/>>.

3.2 ガス透過性防水シートに人が載った場合に作用する張力の検討

3.2.1 概要

除染廃棄物仮置場において、上部シートとして用いるガス透過性防水シート（以下、シート）上に人が載った場合にシートおよびシート接合箇所作用する張力を想定した。

3.2.2 検討モデル

図 3.2-1 に示すようにフレキシブルコンテナが配置された場合について、検討を行った。フレキシブルコンテナの直径を 1.1m としたとき、フレキシブルコンテナ間の空隙の最大スパンは 1.1m となる。この最大スパンの中央に体重 100kg(足のサイズ 30cm として、載荷幅 B=0.3m とする)の人が一人載った場合を想定した。

図 3.2-2 に示すように、人が載ったことによりシートが変形し、水平面に対し θ の角度で変形した場合、シート及びシート接合箇所に作用する張力 T は式-1 で求めることができる。

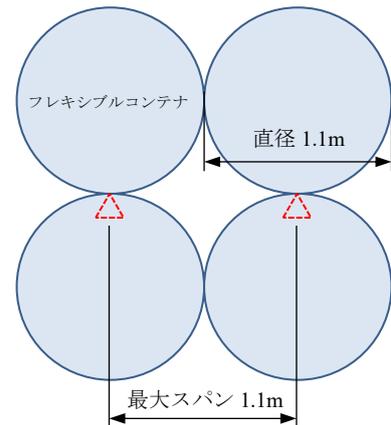


図 3.2-1 フレキシブルコンテナの配置平面

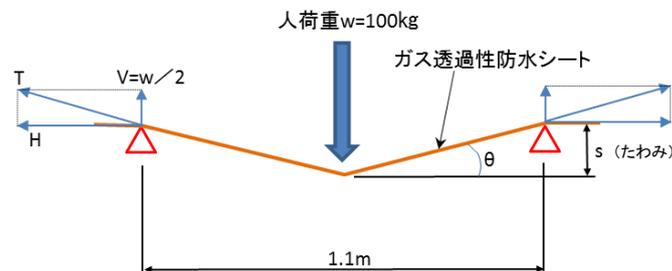


図 3.2-2 張力の検討モデル

$$T = \frac{V/B}{\sin \theta} \quad \dots\dots\dots \text{式-1}$$

$V = \frac{W}{2}$ を代入すると、

$$T = \frac{W}{2 \cdot B \cdot \sin \theta} \quad \dots\dots\dots \text{式-2}$$

- ここに、
- T : 張力 (kN/m)
 - W : 人荷重 (kN) (= 100kg \approx 0.98kN)
 - θ : 変形角度 (°)
 - B : 載荷幅 (m) (= 0.3m)

3.2.3 検討結果

任意の θ に対し、式-2より算出した張力 T およびたわみ S を表3.2-1に示す。 $\theta=10\sim 45^\circ$ の範囲において、シートおよびシート接合箇所には最大9.41kN/mの張力が発生することになる。

表 3.2-1 θ と張力 T 、たわみ S の関係

θ (°)	T (kN/m)	S (m)
10	9.41	0.10
15	6.31	0.15
20	4.78	0.20
25	3.87	0.26
30	3.27	0.32
35	2.85	0.39
40	2.54	0.46
45	2.31	0.55

上記の結果を踏まえ、体重100kgの人が一人載った場合に発生する張力に対し、安全率を2.0とした場合、シート及びシート接合箇所においては18.8kN/m以上の強度があることが望ましいと考えられる。

また、実現場においては、安全面やシートの耐久性の観点から、足場板等により、歩行場所を制限することが望ましく、その場合シートに対する影響も大幅に低減できる。

3.3 風荷重に対する FEM 解析による張力検討結果

3.3.1 はじめに

除染廃棄物仮置場において、風荷重に対する応力解析結果から、上部シート（ガス透過性防水シート）の最大発生膜張力と押さえブロック必要重量を算出した。以下にその結果を示す。

3.3.2 解析条件

1) 外力

外力は以下の風速による風圧力とした。なお、風力係数は排熱パイプ等からの風の吹きこみによる正、負圧の影響を考慮し、 ± 0.2 の値を加味した。

風速 $V=10、30、50\text{m/s}$ 、風向は $+X、+Y$ 方向

2) 解析ケース

仮置場のガス透過性防水シートの形状は図 3.3-1 および図 3.3-2 に示す 2 モデルとした。

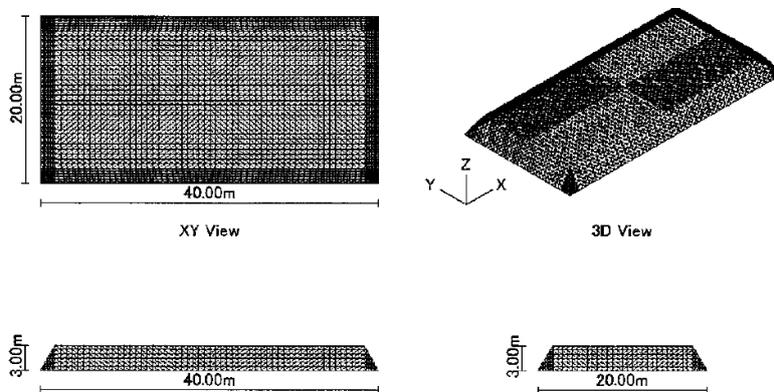


図 3.3-1 モデル A (20W×40L×3H)

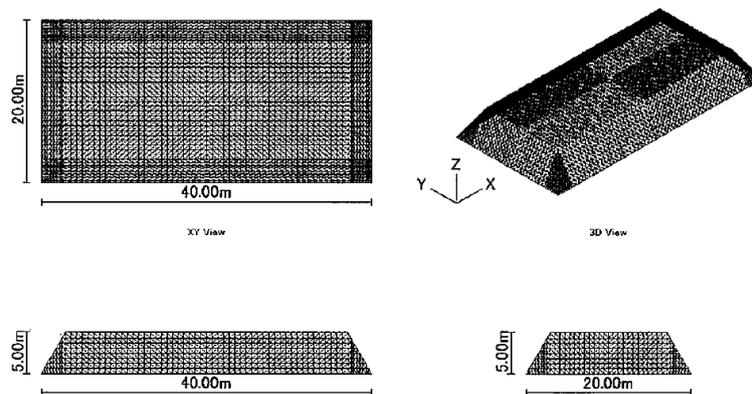


図 3.3-2 モデル B (20W×40L×5H)

3.3.3 解析結果

FEM 解析の一例を図 3.3-3 に示す。

Membrane Nodal Warp Stress
Load Case : 30V-WLX0

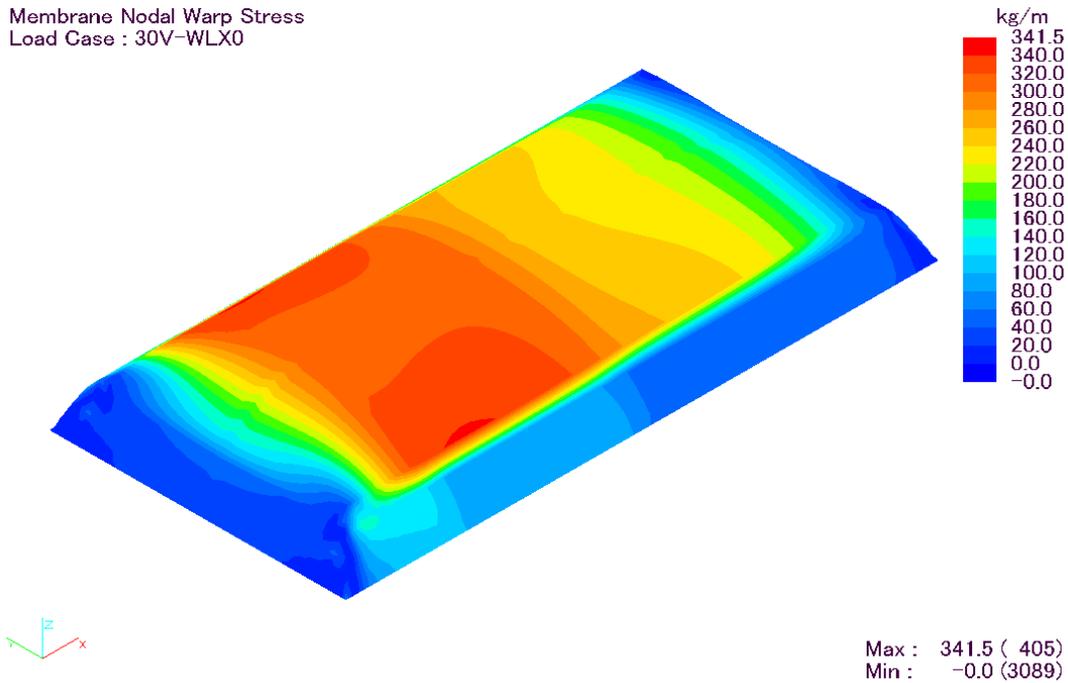


図 3.3-3 解析結果の一例 (v=30m/s、風向 X)

1) 最大発生膜張力

表 3.3-1、表 3.3-2 に各モデルの解析結果を示す。各種条件での最大膜張力をまとめて示す。なお、表中の赤字は最大値である。また、図 3.3-4 に各モデルの風速と最大発生膜張力の関係を示す。

表 3.3-1 最大発生膜張力 (モデル A)

case NO.	風速 (m/s)	風向	風力係数	最大発生膜張力 (kN/m)	
				たて (Y)	よこ (X)
case1	10	+X		0.65	0.55
case2		+Y		0.72	0.47
case3		+X	内圧+0.2	0.51	0.44
case4		+Y	内圧+0.2	0.55	0.37
case5		+X	内圧-0.2	0.79	0.65
case6		+Y	内圧-0.2	0.87	0.57
case7	30	+X		3.35	2.75
case8		+Y		3.74	2.75
case9		+X	内圧+0.2	2.67	2.26
case10		+Y	内圧+0.2	2.95	1.92
case11		+X	内圧-0.2	4.08	3.21
case12		+Y	内圧-0.2	4.48	2.86
case13	50	+X		7.23	5.85
case14		+Y		8.14	5.04
case15		+X	内圧+0.2	5.68	4.76
case16		+Y	内圧+0.2	6.33	4.02
case17		+X	内圧-0.2	8.94	6.90
case18		+Y	内圧-0.2	9.91	6.10

表 3.3-2 最大発生膜張力 (モデル B)

case NO.	風速(m/s)	風向	風力係数	最大発生膜張力(kN/m)	
				たて(Y)	よこ(X)
case1	10	+X		0.64	0.50
case2		+Y		0.67	0.48
case3		+X	内圧+0.2	0.50	0.40
case4		+Y	内圧+0.2	0.50	0.41
case5		+X	内圧-0.2	0.77	0.60
case6		+Y	内圧-0.2	0.83	0.56
case7	30	+X		3.21	2.49
case8		+Y		3.43	2.26
case9		+X	内圧+0.2	2.57	2.00
case10		+Y	内圧+0.2	2.65	1.80
case11		+X	内圧-0.2	3.84	2.94
case12		+Y	内圧-0.2	4.16	2.68
case13	50	+X		6.84	5.25
case14		+Y		7.40	4.71
case15		+X	内圧+0.2	5.40	4.19
case16		+Y	内圧+0.2	5.62	3.73
case17		+X	内圧-0.2	8.29	6.26
case18		+Y	内圧-0.2	9.12	5.66

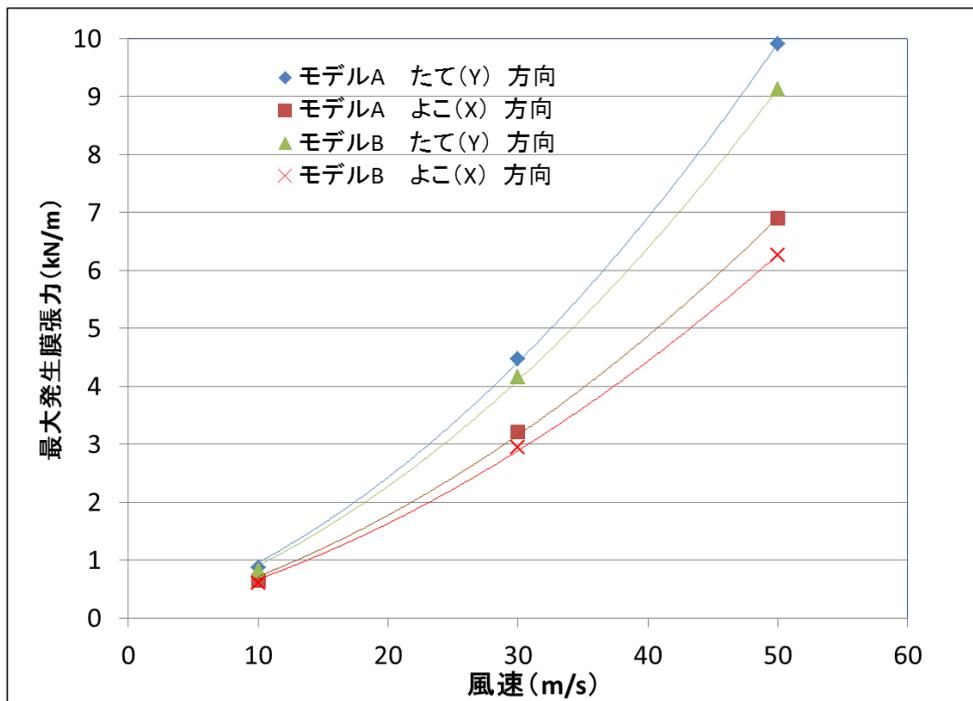


図 3.3-4 風速と最大発生膜張力の関係

2) 押さえブロック必要重量

ガス透過性防水シート端部（四方の各辺、L1・L2・L3・L4）の反力を整理し、各風速毎に押さえブロックの最大必要重量をまとめた。図 3.3-5 に風速と押さえブロックの最大必要重量の関係を示す。

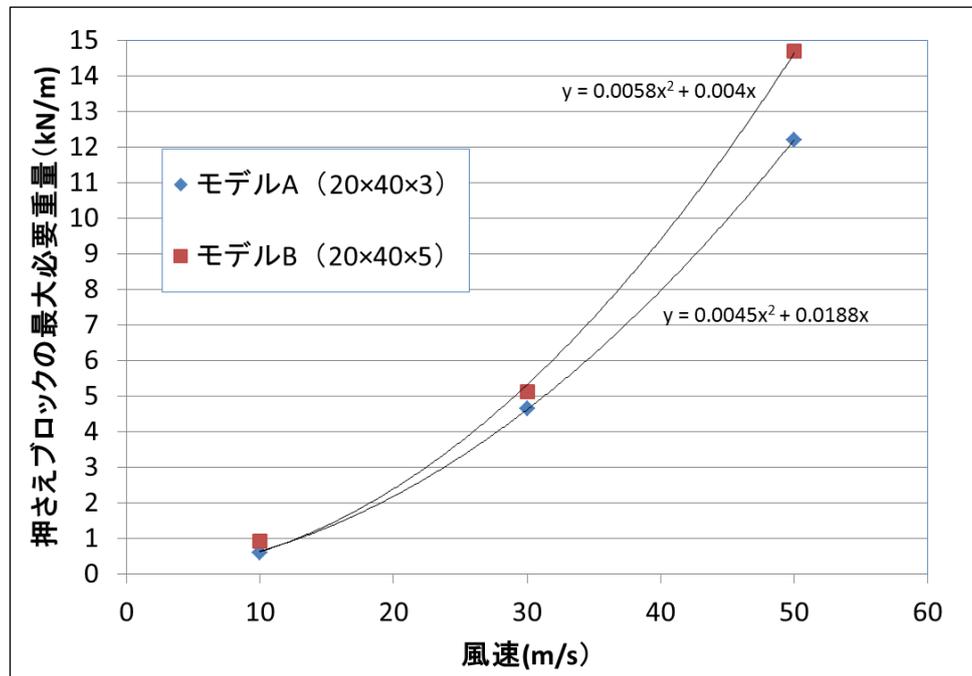


図 3.3-5 風速と押さえブロックの最大必要重量

3.3.4 まとめ

本解析結果から、ガス透過性防水シートの必要強度（接合部強度も含む）と押さえブロック重量について考察する。

1) ガス透過性防水シートの必要強度（接合部強度も含む）

どの程度の風速に対して耐久性を持たせるか議論があるところであるが、人が居住する構造物ではないことから、30m/s程度が妥当と考える。風速 30m/s 時の最大発生膜張力はモデル A のたて (Y) 方向がもっとも大きく、4.5kN/m となる。

[提案]

- ・ 実際の仮置場では紫外線劣化等があることから、安全率 4¹⁾を考慮するものとする、ガス透過性防水シートの必要強度（接合部強度も含む） T は 18.0kN/m となる。なお、ガス透過性防水シートとして CP600 を用いる場合、CP600 同士の接合強度は 18.5kN/m（規格値）、CP600 と遮水シート（LLDPE1.5 mm）の接合強度は 20kN/m（実測値）である。
- ・ 供用後の維持管理時、ガス透過性防水シートをサンプリングして引張試験実施後に継続使用可否判断をする場合、その安全率 2 を考慮するものとする、9.0kN/m となる。

2) 押さえブロック重量

本検討では下部シートに遮水シートを想定し、その上にガス透過性防水シートを敷設する構造としている。よって、下部シートとガス透過性防水シートの摩擦係数は 0.35 と低めの値を入力した（直接地盤に敷設する場合、摩擦係数は 0.5～0.6 となり、押さえブロック重量は本検討結果より小さくなる）。

押さえブロック重量は風速 30m/s の場合、5kN/m 程度となる。多数の実現場ではこれより小さなものが使用されているのが現実である。

[提案]

- ・ 押さえブロック重量は、実用上風速 10～15m/s 程度を想定した大きさとし、万一押さえブロックが滑動、転倒してもガス透過性防水シートが飛散しないような対応（ロープやベルト等による養生）を採る方が現実的と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術総合研究所・独立行政法人建築研究所監修：膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説, pp.51-52, 2003.

3.4 除染廃棄物仮置場上部シート張力の現場測定とその数値解析結果

3.4.1 はじめに

ガス透過性防水シートは多くの室内実験や現場実験等で評価確認されている¹⁾。また、除染工事共通仕様書²⁾では廃棄物最終処分場の事例等を参考にしてガス透過性防水シートの仕様等が示されている。しかし、ガス透過性防水シートに作用する主な外力である風圧力による影響を検討した事例は少ない。風圧力によるガス透過性防水シートに発生する張力が把握できれば、仮置場での設計風速に応じて適切なガス透過性防水シートの選定が可能になり、かつ、維持管理上、継続使用可否判断基準の目安とすることができる。本検討では実際の仮置場にて風向風速および、ガス透過性防水シートに作用する張力を間接的に測定³⁾し、その測定値を数値解析により再現し比較した。ここではその結果を報告する。

3.4.2 ガス透過性防水シートに作用する風向風速と張力の測定

1) 測定場所・期間

測定場所、測定期間について以下に示す。

測定場所；福島県双葉郡楡葉町下小墾 仮置場

測定期間；2014.6.26～2015.3.20（約9ヶ月）

上部シート；ガス透過性防水シート（エルベスキャッピングシート CP600）

使用されているガス透過性防水シートの標準物性を表3.4-1に示す。

表3.4-1 ガス透過性防水シートの標準物性

型式	項目		物性値	試験方法
CP600	質量(g/m ²)		600以上	JIS L 1908
	引張強さ(N/5cm) (本体・接合部)	たて	925以上	
		よこ	925以上	
	貫入抵抗(N)		600以上	ASTM D 4833
	耐水度(mmH ₂ O)		2000以上	JIS L 1092
	透湿度(g/m ² ・24hr)		2500以上	JIS L 1099 A-1法

測定は福島県浜通りに位置する上記仮置場で行った。当仮置場では1ブロック毎に除染廃棄物を入れた大型土のうが2段積みされておりガス透過性防水シートでカバーされている。測定対象ブロックは幅21m×長さ38m×高さ2m程度の長方形で、長辺方向が真北から西へ20°傾いている(図3.4-1)。また、ガス透過性防水シートの固定目的で上面四隅に各1個、周囲地盤面端部上に約5mピッチで大型土のうが設置されている。写真3.4-1は仮置場の全景と測定対象ブロック(赤線範囲)である。

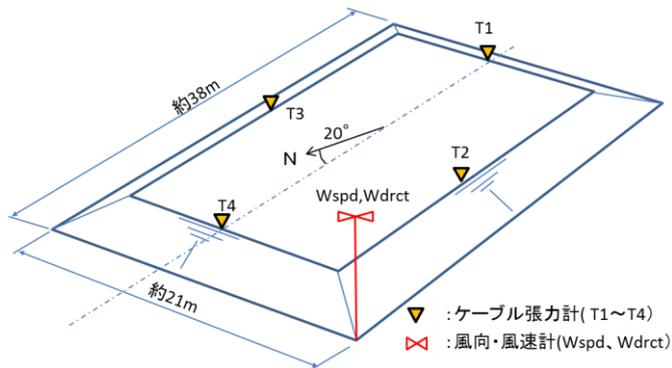


図 3.4-1 測定対象ブロックの形状と測定装置の位置



写真 3.4-1 仮置場全景
(赤線範囲が測定対象ブロック)

2) 測定項目と方法

測定項目は風向風速、ケーブル張力である(表3.4-2)。電源は測定対象ブロック近傍に設置した太陽光発電装置から供給した(写真3.4-2)。

表 3.4-2 測定項目と装置

測定項目	測定装置	記号
風向・風速	風車型風向風速計 (KONA,KDC-54)	W_{drct} 、 W_{spd}
ケーブル張力	ロードセル(10kN)	T1、T2、T3、T4



写真 3.4-2 太陽光発電装置

風向風速計は測定対象ブロック北西角の地盤面から約7mの位置に設置した。また、ガス透過性防水シートの構造上、作用する張力を直接測定することは難しいため、ガス透過性防水シートにワイヤーケーブルを取り付け、そのワイヤーケーブルに作用する張力(以下、ケーブル張力)を測定した。図3.4-2はケーブル張力測定方法の概略図(図3.4-1のケーブル張力計T2部分に相当)であり、1t土のうとH型鋼をアンカーとして反力をとる構造とした。

なお、ワイヤーケーブルのたるみがなくなる程度に初期張力をかけた状態をロードセルの初期値(0)とした。

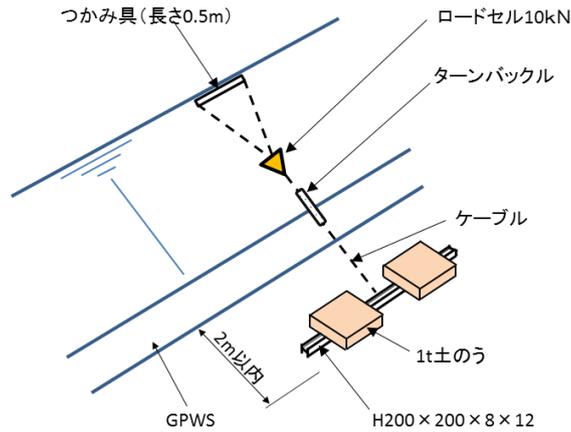


図 3. 4-2 ケーブル張力測定方法の概略

写真3. 4-3、写真3. 4-4、に各測定装置を示す。



写真 3. 4-3 ケーブル張力測定装置

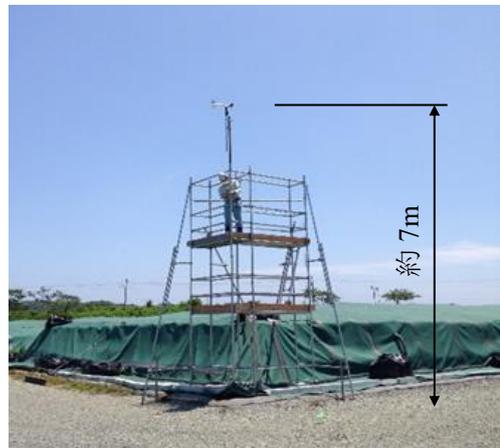


写真 3. 4-4 風向風速計

3) 測定結果

目視観察によると平均風速が10m/s程度まで上昇するとガス透過性防水シートが**写真3. 4-5**のように膨らんでケーブル張力が発生することがわかった。とりわけ、太平洋上を北上して急激に発達した低気圧が通過した2014年11月3日には顕著なケーブル張力が発生した。**図3. 4-3**に11月3日am6:00の天気図⁴⁾を示す。



写真 3. 4-5 風によるガス透過性防水シートの変形
 (北東角より)



図 3. 4-3 天気図
 (2014. 11. 03 6:00am)⁴⁾

図3.4-4に測定時間0～450minの10分間平均風向を、図3.4-5に10分間平均風速を、図3.4-6にT3のケーブル張力を示す（いずれも横軸原点は11月3日am2:44）。強風は一定風向（西北西、約280°）で10分間平均風速は約9.4m/s（最大瞬間風速は約23m/s）であった。

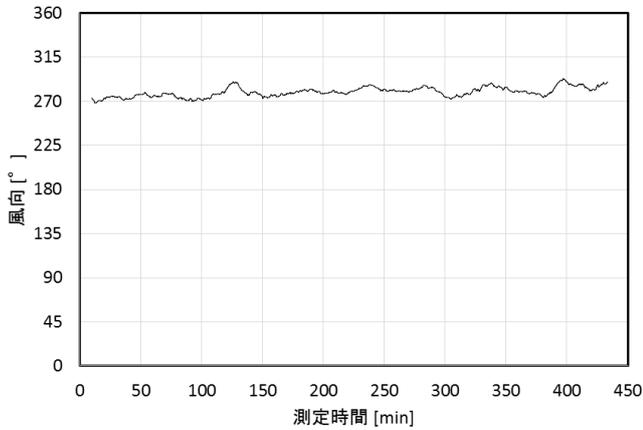


図 3.4-4 10分間平均風向

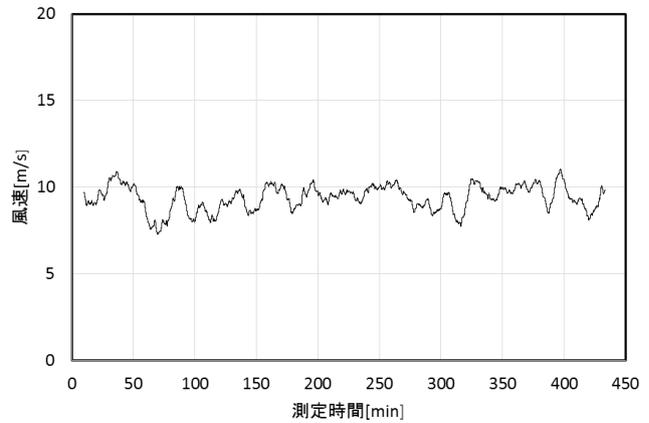


図 3.4-5 10分間平均風速

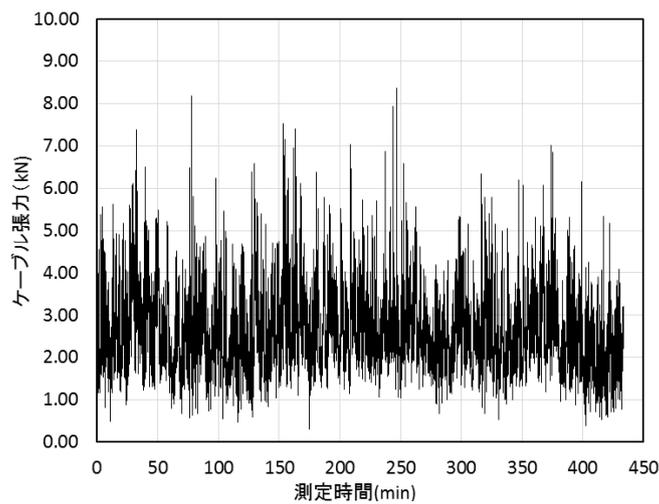


図 3.4-6 ケーブル張力 (T3, 20Hz)

表 3.4-3 に最大ケーブル張力が発生した時刻(246min)でのケーブル張力とガスト影響係数を示す。なお、ガスト影響係数は同時刻における 10 分間平均ケーブル張力に対する 0.05 秒毎(20Hz) で計測したケーブル張力との比とした。

表 3.4-3 ケーブル張力とガスト影響係数

ケーブル	ケーブル張力(kN)		ガスト影響係数 $G_f(a/b)$
	(a)測定値(20Hz)	(b) 10分間平均	
T1	2.18	0.37	5.94
T2	6.93	2.77	2.50
T3	8.36	2.87	2.92
T4	0.71	0.52	1.35

3.4.3 ケーブル張力の数値解析値と実測値の関係

ガス透過性防水シートは風圧力を受けると変形し、その変形したガス透過性防水シートは逆に風圧力に影響を与える。このような現象を考慮して、流体解析(CFD解析)と構造解析(SA解析)の繰り返しにより、計算前後で変形量が収束する状態となった5回目の計算値を解析結果とした⁵⁾。

なお、流体解析はレイノルズ平均ナビエ-ストークス式に基づく計算手法(RANS)を用いて定常解析とし、有限体積法で平均風圧係数を求めた。乱流モデルにはRNGk-εモデルを用いた。構造解析は幾何学的非線形を考慮した太陽工業㈱製有限要素法ソフトMAGESTICを用いた。ガス透過性防水シートの引張剛性やせん断剛性は一軸引張試験結果とポアソン比から算定した。

表3.4-4に解析に用いたガス透過性防水シートとケーブルの諸元を示す。図3.4-7は解析時のグリッド形状と境界条件である。外力は前述の測定で得られた風向280°(西北西)、10分間平均風速9.4m/sとした。

表 3.4-4 ガス透過性防水シートとケーブルの諸元

ガス透過性防水シート	引張剛性(N/cm)	たて	360.6
		よこ	285.7
	ポアソン比	たて	0.30
		よこ	0.24
	せん断剛性(N/cm)	124.3	
単位面積重量(N/m ²)	5.88		
ケーブル	ヤング係数(N/mm ²)	137000	
	断面積(mm ²)	39.4	
	単位長さ重量(N/m)	3.2	

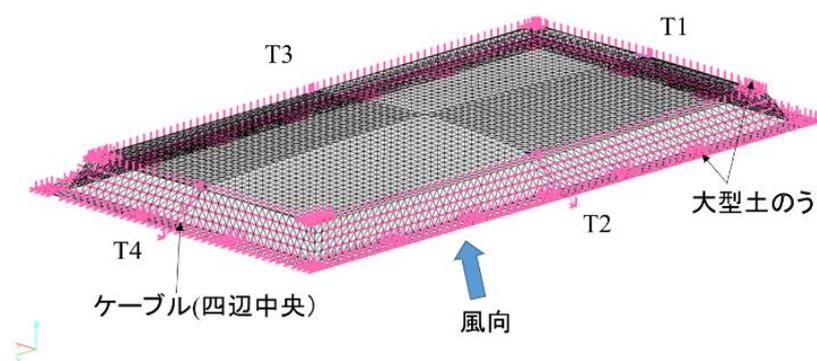


図 3.4-7 解析の境界条件

図3.4-8にガス透過性防水シートの変形図、図3.4-9にケーブル張力の解析結果の一例を示す（ともに5回目SA解析結果）。解析は10分間平均風速を外力としているため、解析値と測定値の比較に際しては測定値(20Hz)をガスト影響係数 G_f で除した値との比、 α_1 (補正前)で評価した。

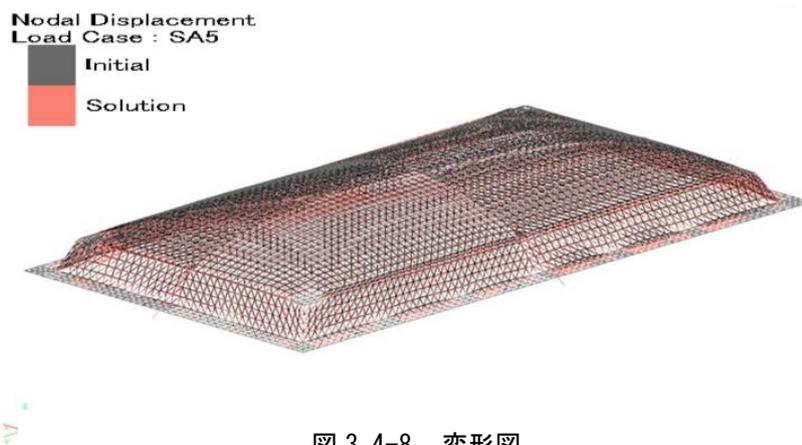


図 3.4-8 変形図

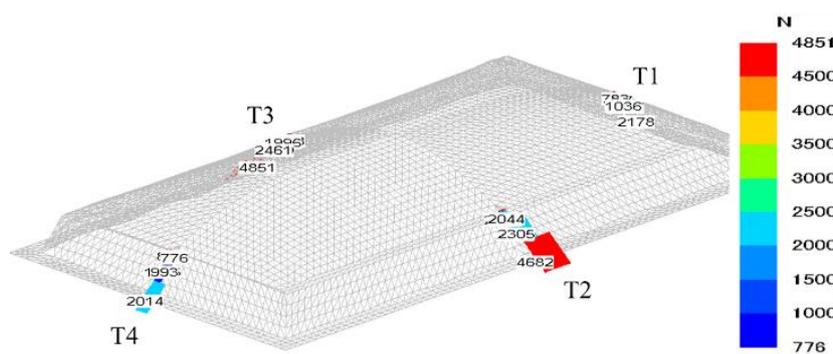


図 3.4-9 ケーブル張力

表3.4-5に比較結果を示す。風上、風下側である短軸方向のT2、T3はそれぞれ、 $\alpha=0.9$ 、 0.8 と比較的一致するが、長軸方向のT1、T4では $\alpha=2.9$ 、 7.4 と差が大きい結果となった。

表 3.4-5 解析値と測定値の比較

ケーブル	補正前	補正後	b.測定値(20Hz)/ G_f ※	補正前	補正後
	a_1 .解析値(kN)	a_2 .解析値(kN)		$\alpha_1(a_1/b)$	$\alpha_2(a_2/b)$
T1	2.18	1.32	0.75	2.9	1.8
T2	4.68	3.68	4.95	0.9	0.7
T3	4.85	3.98	5.97	0.8	0.7
T4	2.01	0.94	0.27	7.4	3.4

※ G_f は解析対象測定値のうちの最小値

この差の要因としては以下が考えられる。

- ・ 北西隅角部に設置した風向風速計設置足場による風圧力への影響
- ・ ガス透過性防水シート四隅に設置されていた大型土のうの風圧力への影響
- ・ 内圧の変動による影響（ガス透過性防水シート側面に設置された放熱管から風の吹き込み等に起因）
- ・ 経時的なケーブルの緩み
- ・ 周辺地形の影響（写真3.4-1に示すとおり、近傍に他ブロック群が存在）

写真3.4-5でもわかるように実際のガス透過性防水シートはブロックの風上北西側で変形が抑えられた状態にあることが確認されている。一方、解析では図3.4-7に示したように全体的に膨らんだ結果となる。この変形の違いがT1、T4ケーブルで測定値と解析値の差が大きくなった一因と考えられる。そこで、図3.4-10に示すように北西、南東側のガス透過性防水シートの一部節点に鉛直下向きの荷重を与え、補正解析を行った結果、表3.4-5に示すとおりT2、T3では $\alpha_2=0.7$ となり差は若干増えるが、T1、T4ではそれぞれ $\alpha_2=1.8$ 、 3.4 となりその差は縮小する結果となった。

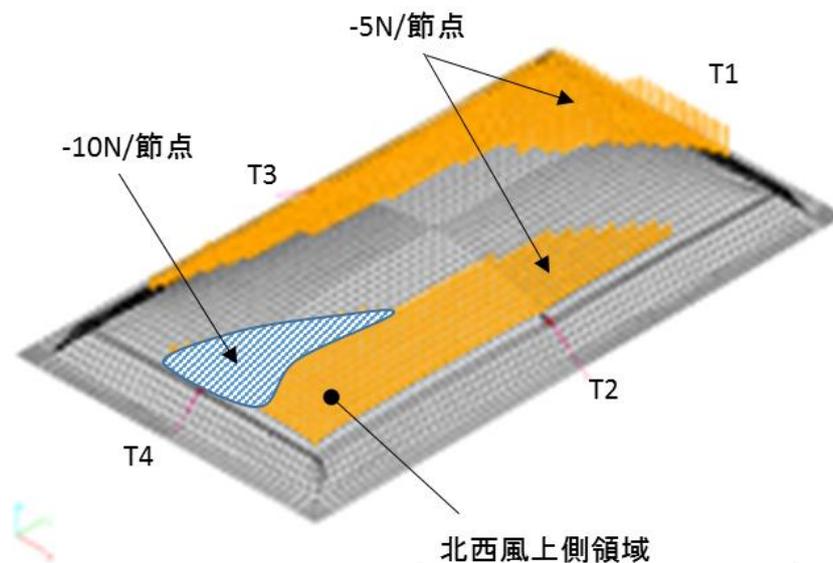


図 3.4-10 補正解析での鉛直下向き荷重

3.4.4 まとめ

実際の仮置場のガス透過性防水シートに計測装置を取り付け、風向・風速とシートに取り付けたケーブルを介して間接的な張力（ケーブル張力）を測定した。数値解析の結果は長軸方向（概ね風向に直角方向）で解析値が測定値より大きくなる傾向を示したが、短軸方向（概ね風向。風圧力が大きく張力も大きい）では、ほぼ測定値と一致した。なお、長軸方向解析値が測定値より大きくなる要因としては、周辺環境やケーブルの緩み等が考えられる。

本検討結果から、本数値解析（流体解析・構造解析）方法を用いれば、仮置場の上部シートに作用する張力を概ね再現できると考えられ、仮置場での設計風速に応じたガス透過性防水シートの必要強度の見積もりや、供用後の維持管理上、継続使用可否判断基準の目安とすることができると考える。

参考文献

- 1) 例えば、公益社団法人日本材料学会：「地盤改良」に関わる技術審査証明報告書ーガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法ー, 2012.
- 2) 環境省：除染等工事共通仕様書, 第9版（改訂版）, p70, 2016.
- 3) 石田正利・小嶋淳・西村正樹・赤井智幸・山本正人・遠藤和人・嘉門雅史：除染廃棄物仮置場上部シートの風による張力測定, 土木学会第70回年次学術講演会論文集, pp.63～64, 2015.
- 4) 気象庁：福島地方気象台ホームページ, < <http://www.jma-net.go.jp/fukushima/>>.
- 5) 武田文義・吉野達矢・石田正利：仮置場上部シートに作用した風力推定の試み, 日本建築学会大会(九州)学術講演会梗概集, 構造 I, 2016

3.5 除染廃棄物の不同沈下によるシートの不陸対策実験

3.5.1 はじめに

除染廃棄物仮置場において、保管物が腐敗性廃棄物の場合、内容物の腐敗に伴い不同沈下が発生する場合が多い。上部シート（遮水シート、ガス透過性防水シート等）を設置後、この不同沈下が発生した箇所に雨水等が滞留し（写真 3.5-1）、衛生害虫や異臭が発生し、周辺環境に影響を与えることが懸念されている。また、現場接合部に雨水等が滞留することにより、局所的に応力が生じ、漏水につながる可能性も考えられる。ここでは上部シートの不陸対策について実験を行った内容を報告する。



写真 3.5-1 腐敗後の不同沈下の様子

3.5.2 実験概要

福島県楡葉町の除染廃棄物仮置場にて、上部シートの不陸対策（図 3.5-1）を行い、対策ありと対策なしの沈下状況を比較した。以下に不陸対策の施工手順を示す。

【手順】

- ① 天端に設置されている遮蔽土のうの上面にジオネットを敷設する（写真 3.5-2）。
- ② ジオネットの周囲に単管パイプを設置し、ロープにて張力を付与して遮蔽土のうへ仮止めする（写真 3.5-3）。
- ③ 上部シートを敷設し、外周囲に押さえ土のうを設置する。設置後、上部シートの周囲からロープを貫通させ表面に出し、押さえ土のうへ接続して、再度ロープに張力を付与する（写真 3.5-4）。

※ 施工後、時間が経過して張力が弱まった際は、再度ロープにて張力を付与する。

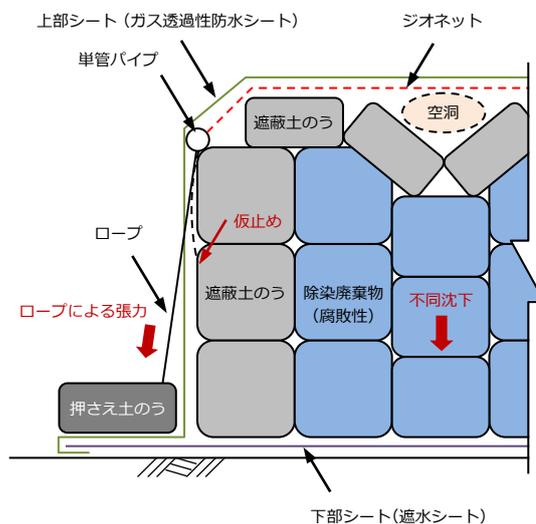


図 3.5-1 不陸対策の概念図



写真 3.5-2 ジオネットの敷設



写真 3.5-3 ロープの仮止め



写真 3.5-4 ロープの固定

3.5.3 実験結果および考察

写真 3.5-5、写真 3.5-6 に、不陸対策ありと不陸対策なしの沈下状況を示す。

施工完了して7日後（2014年8月4日）の調整で、不陸対策を行ったほうが、沈下および雨水滞留の低減が見受けられ、本対策の効果が確認できた。なお本方法は、ロープやジオネットの経時的なゆるみが発生することから、定期的に雨水排除、ロープの増し締め等の維持管理が必要と考える。



写真 3.5-5 不陸対策あり



写真 3.5-6 不陸対策なし

3.6 除染廃棄物仮置場供用中の上部シートの経年物性変化の確認

3.6.1 はじめに

除染廃棄物仮置場の上部シートに対し、その継続使用の判断基準とするためのデータ取得を目的とし、福島県内の除染廃棄物仮置場において、約24ヶ月間、実際に上部シートとして使用されたガス透過性防水シート（エルベスキッピングシートCP600）の湛水部および気中部から試料を採取し、主要物性の経年変化を評価した。なお、経年変化の評価にあたっては、供用後の維持管理や、上部シートの継続使用の可否判断のために提案・策定した維持管理基準値(案)と比較した。また、室内での促進暴露試験ならびに(地独)大阪府立産業技術総合研究所(産技研)内での屋外暴露実験の結果とあわせ報告する。

3.6.2 試料の採取

試料の採取場所、採取日について以下に記す。

採取場所；福島県田村市内

供用開始日；平成25年5月

第1回目採取；平成26年7月30日（約14ヶ月経過）

第2回目採取；平成27年5月14日（約24ヶ月経過）

図3.6-1、図3.6-2に試料採取箇所図を示す。

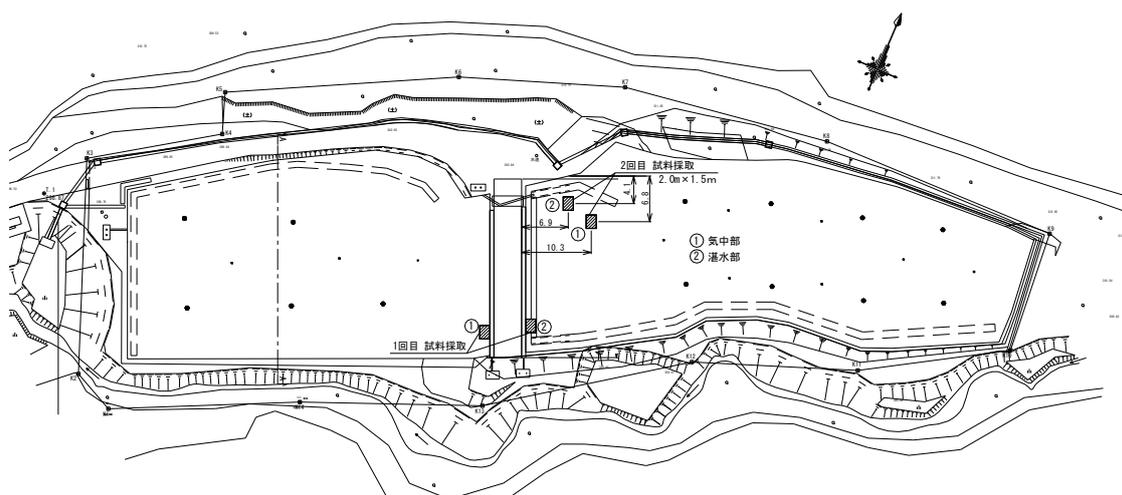


図 3.6-1 試料採取箇所図

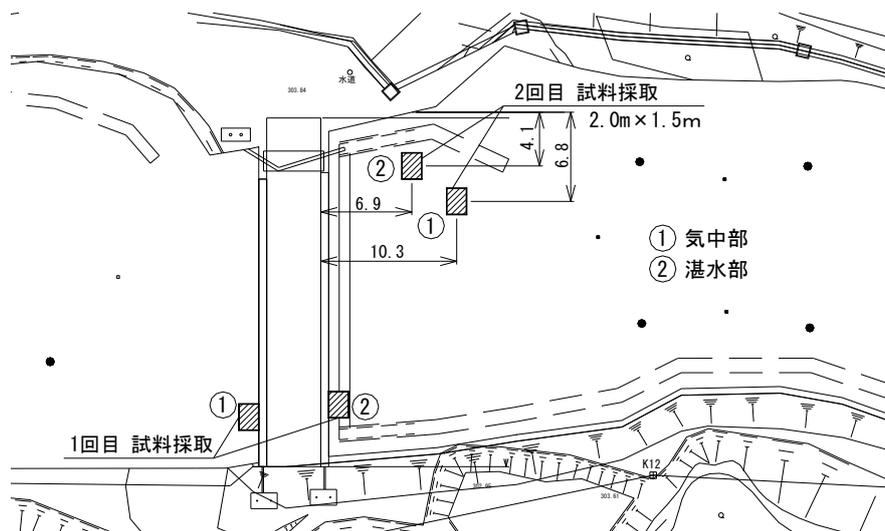


図 3.6-2 試料採取箇所図 (拡大)

試料は2.0m(たて)×1.5m(よこ)の寸法で現場接合部が中心になるようにして、気中部および湛水部において各1箇所採取した。写真3.6-1～写真3.6-4に試料採取状況を示す。



写真 3.6-1 サンプル採取前 (気中部)



写真 3.6-2 サンプル採取後 (気中部)



写真 3.6-3 サンプル採取前 (湛水部)



写真 3.6-4 サンプル採取後 (湛水部)

3.6.3 試験項目と試験方法

表 3.6-1 に試験項目および試験方法を示す。

表 3.6-1 試験項目および試験方法

NO.	試験項目	試験部位	試験方法
1	引張強さ	母材部	JIS L 1908 準拠
2		接合部	JIS K 6850 準拠
3	貫入抵抗	母材部	ASTM D 4833 準拠
4	耐水度	母材部	JIS L 1092 準拠
5	透湿度	母材部	JIS L 1099 A-1 法 準拠
6	透水試験	接合部	JIS A 1218 準拠

図 3.6-3 に各試験片の採取イメージを示す。

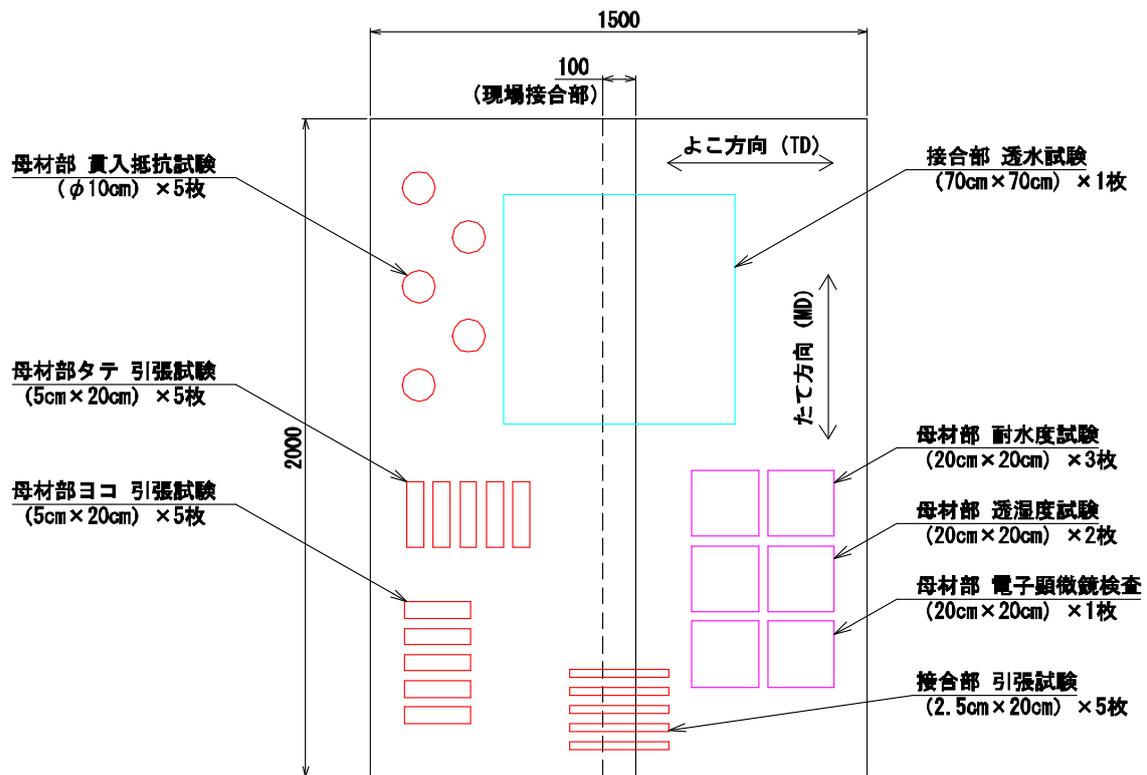


図 3.6-3 試験片採取イメージ

3.6.4 仮置場上部シートの維持管理基準値の提案

除染等工事共通仕様書^リより、除染廃棄物仮置場における上部シート（通気性防水シート）の必要物性（初期値）は表 3.6-2 のとおりに記されている。

表 3.6-2 上部シート(通気性防水シート)の必要物性（初期値）

NO.	試験項目	単位	要求値
1	引張強さ (母材部)	N/5cm	925
2	貫入抵抗	N	500
3	耐水度	mmH ₂ O	1,000
4	透湿度	g/m ² /24h	2,500

上部シートに限らずほとんどの人工材料は、外部環境（応力、紫外線、温度変化、気象等）の影響により長期的に劣化する。仮置場上部シートは、3年以上の使用が予定されており、供用後の維持管理時において、引続きの使用可否を判断することが必要である。そこで本項では、これまでの研究成果から上部シートの維持管理基準値を提案し、表 3.6-3 に示した。なお、仕様書に明記のない接合部についても自主基準として定めた。例えば、この維持管理基準値を参考にして、供用中の仮置場上部シートの評価（引続きの使用可否）が可能となると考える。

表 3.6-3 上部シート(通気性防水シート)の維持管理基準値(案)

NO.	試験項目	単位	要求値	出 展
1	引張強さ (母材部)	N/5cm	450	FEM 解析による張力検討結果のまとめ ²⁾ より、安全率を 2 として設定
2	引張強さ (接合部)	N/5cm	450	接合部においても、母材部同等の引張強さを確保
3	貫入抵抗	N	500	除染等工事共通仕様書における上部シートの必要物性（初期値）と同値 ¹⁾
4	耐水度	mmH ₂ O	1,000	除染等工事共通仕様書における上部シートの必要物性（初期値）と同値 ¹⁾
5	透湿度	g/m ² /24h	360	推定ガス発生量 ³⁾ より設定
6	透水試験 (接合部)	mmH ₂ O	500	自主基準：接合部においても防水性を確保

3.6.5 試験結果

以下に各試験結果を示す。各試験結果のグラフには、促進暴露試験データ、産技研での屋外暴露実験データ、そして、前述の維持管理基準値(案)を併記した。

なお、促進暴露試験のデータに関しては、試験時間 300h を屋外暴露 1 年 (12 ヶ月) 相当として換算している。

1) 引張強さ (母材部)

図 3.6-4 および表 3.6-4 に母材部の引張試験結果を示す。24 ヶ月経過後においても維持管理基準値(案)を満足する結果が得られている。産技研での屋外暴露実験データとほぼ一致する結果が得られた。また、促進暴露試験結果とも概ね同じ傾向がみられ結果となっている。

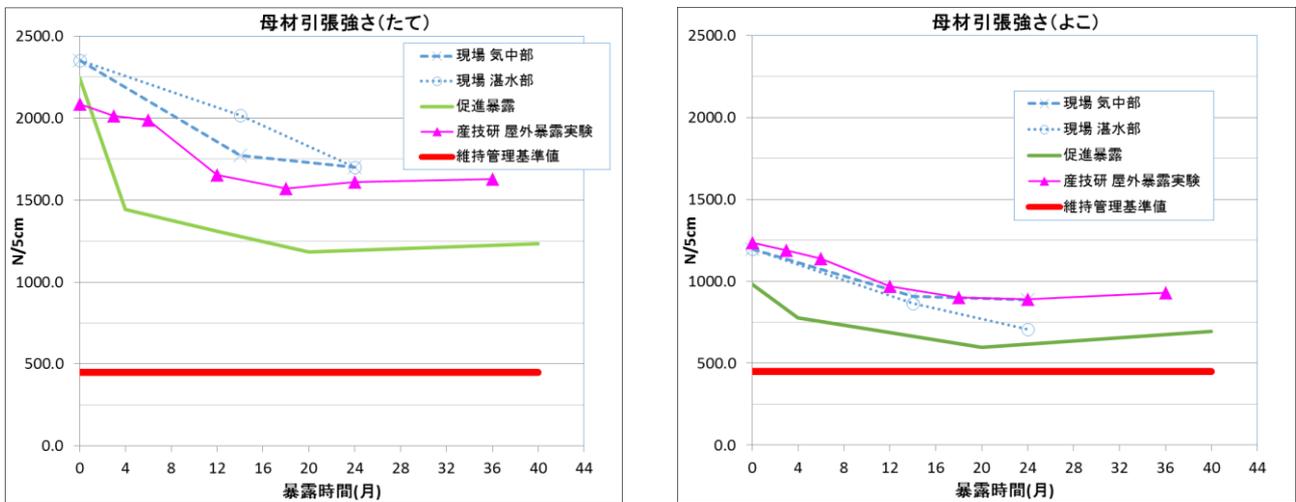


図 3.6-4 引張試験 (母材部) 結果

表 3.6-4 引張試験 (母材部) 結果

暴露時間 (月)	現場 潜水部		現場 気中部		促進暴露		産技研 屋外暴露実験		維持管理基準値 (案)
	測定値	強度保持率	測定値	強度保持率	測定値	強度保持率	測定値	強度保持率	
0	2352.4	100%	2352.4	100%	2245.7	100%	2085.0	100%	450
3							2015.0	97%	
4		0%		0%	1443.0	64%		0%	450
6							1990.0	95%	
12		0%		0%	1310.5	58%	1655.0	79%	450
14	2017.0	86%	1772.0	75%		0%		0%	450
18							1570.0	75%	
20		0%		0%	1182.1	53%		0%	450
24	1700.0	72%	1700.0	72%		0%	1610.0	77%	450
36							1630.0	78%	
40		0%		0%	1235.6	55%		0%	450

暴露時間 (月)	現場 潜水部		現場 気中部		促進暴露		産技研 屋外暴露実験		維持管理基準値 (案)
	測定値	強度保持率	測定値	強度保持率	測定値	強度保持率	測定値	強度保持率	
0	1196.8	100%	1196.8	100%	983.0	100%	1235.0	100%	450
3							1190.0	96%	
4		0%		0%	777.9	79%		0%	450
6							1140.0	92%	
12		0%		0%	687.6	70%	970.0	79%	450
14	866.0	72%	910.0	76%		0%		0%	450
18							900.0	73%	
20		0%		0%	597.6	61%		0%	450
24	706.0	59%	888.0	74%		0%	890.0	72%	450
36							930.0	75%	
40		0%		0%	694.7	71%		0%	450

2) 引張強さ (接合部)

図 3.6-5 および表 3.6-5 に引張試験結果を示す。24 ヶ月経過後においても維持管理基準値(案)を満足する結果が得られており、促進暴露試験結果と比較し、若干低めの値となっている。

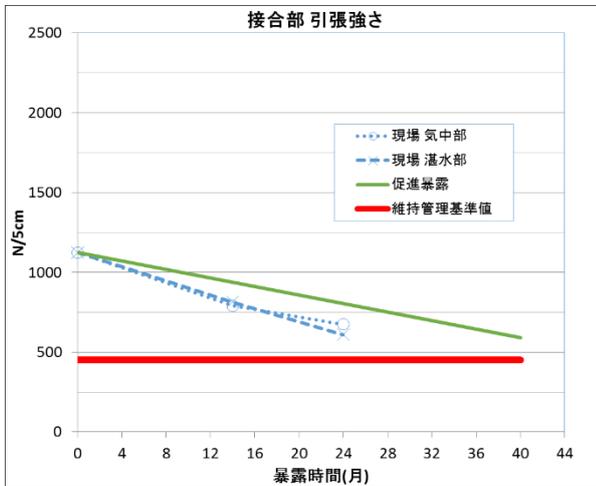


図 3.6-5 引張試験 (接合部) 結果

表 3.6-5 引張試験 (接合部) 結果

暴露時間 (月)	現場 湛水部		現場 気中部		促進暴露		維持管理 基準値 (案)
	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	
	0	1124	100%	1124	100%	1124	
4		0%		0%		0%	450
12		0%		0%		0%	450
14	815	73%	790	70%		0%	450
20		0%		0%		0%	450
24	610	54%	675	60%		0%	450
40		0%		0%	590	52%	450

3) 貫入抵抗

図 3.6-6 および表 3.6-6 に貫入抵抗試験結果を示す。24 ヶ月経過後においても維持管理基準値(案)を満足する結果が得られており、促進暴露試験結果と比較し、若干高めの値となっている。

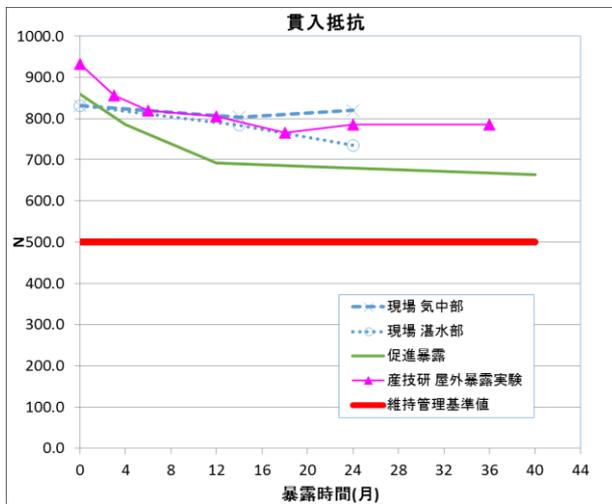


図 3.6-6 貫入抵抗試験結果

表 3.6-6 貫入抵抗試験結果

暴露時間 (月)	現場 湛水部		現場 気中部		促進暴露		産技研 屋外暴露実験		維持管理 基準値 (案)
	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	
	0	831.0	100%	831.0	100%	858.4	100%	933.0	
3							856.0		
4		0%		0%	785.3	91%		0%	500
6							819.0		
12		0%		0%	692.4	81%	806.0	97%	500
14	783.7	94%	803.6	97%		0%		0%	500
18							766.0		
20		0%		0%	683.9	80%		0%	500
24	735.0	88%	820.0	99%		0%	785.0	94%	500
36							785.0	94%	
40		0%		0%	663.3	77%		0%	500

4) 耐水度（母材部）

図 3.6-7 および表 3.6-7 に耐水度試験結果を示す。24 ヶ月経過後においても維持管理基準値(案)を十分に満足する結果が得られている。試験結果の 2000mmH₂O は、試験装置にてシートに作用させることのできる最大水圧（装置性能上の上限値）であり、その最大水圧を加えても漏水が発生しなかったことを意味している。

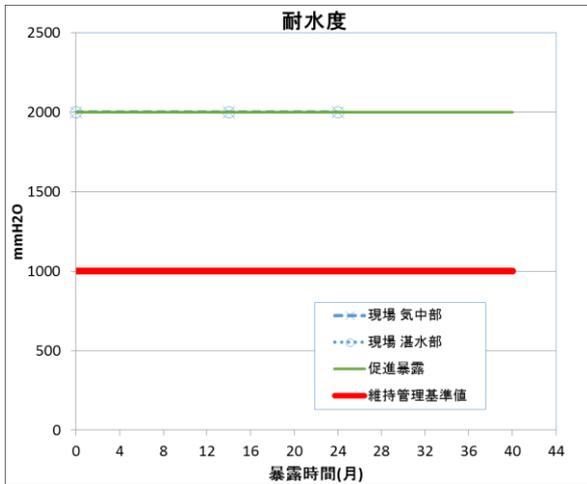


図 3.6-7 耐水度（母材部）試験結果

表 3.6-7 耐水度（母材部）試験結果

暴露時間 (月)	現場 湛水部		現場 気中部		促進暴露		維持管理 基準値 (案)
	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	
	0	2000	100%	2000	100%	2000	
4		0%		0%	2000	100%	1000
12		0%		0%	2000	100%	1000
14	2000	100%	2000	100%		0%	1000
20		0%		0%	2000	100%	1000
24	2000	100%	2000	100%	2000	100%	1000
40		0%		0%	2000	100%	1000

5) 透湿度

図 3.6-8 および表 3.6-8 に透湿度試験結果を示す。実測データ、促進暴露データとも低下傾向がみられるが、24 ヶ月経過後においても維持管理基準値(案)を満足する結果が得られている。

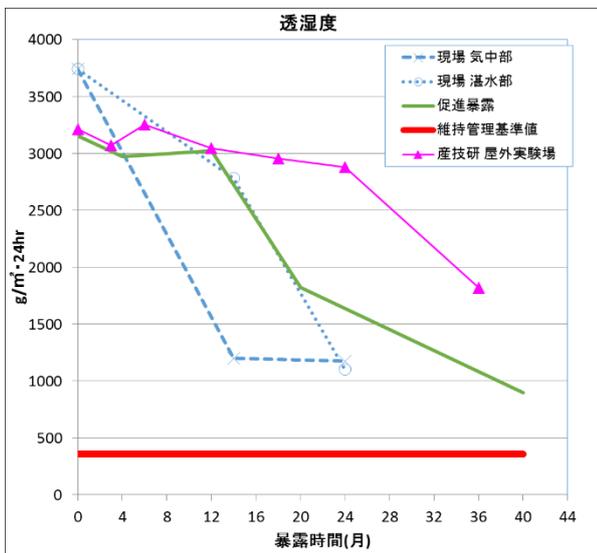


図 3.6-8 透湿度試験結果

表 3.6-8 透湿度試験結果

暴露時間 (月)	現場 湛水部		現場 気中部		促進暴露		産技研 屋外暴露実験		維持管理 基準値 (案)
	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	測定値	強度 保持率	
	0	3744	100%	3744	100%	3156	100%	3215	
3							1707		
4		0%		0%	2976	94%		0%	360
6							3256		
12		0%		0%	3024	96%	3049	95%	360
14	2784	74%	1200	32%		0%		0%	360
18							2959		
20		0%		0%	1824	58%		0%	360
24	1104	29%	1176	31%		0%	2880	90%	360
36							1822	57%	
40		0%		0%	900	29%		0%	360

なお、写真 3.6-5 に示すとおり、微多孔膜部分は上面の不織布で覆われており直接、紫外線には暴露されないため、透湿度の低下に紫外線が直接的に関与している可能性は極めて低いといえる。透湿度の低下原因として、以下の点が考えられる。

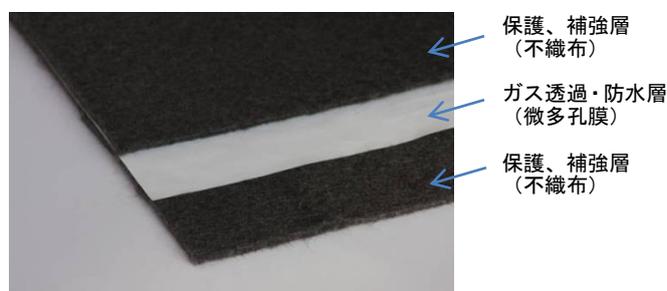


写真 3.6-5 エルベス CP600 の断面構成

- ① 不織布と微多孔膜の貼り合わせに用いるホットメルト量のバラツキによる影響
- ② 不織布繊維表面のポリエチレン成分が紫外線劣化により親水化し、透湿度試験結果に影響
- ③ 降雨により空気中の微細物質が微多孔膜に付着し微孔を塞いだ
- ④ 紫外線による不織布繊維のポリエチレン劣化物が微多孔膜に付着し微孔を塞いだ
- ⑤ 微多孔膜のホットメルト成分が暴露により移動し、微孔を塞いだ
- ⑥ 日射によるシート温度の上昇に伴い、微多孔膜が熱収縮し、微孔が狭くなった

そこで、上記原因のうち、試験室で評価可能な③、④、⑤項および、⑥項について追加試験を実施し、調査した。

(1) 微細物質による影響の検証（③、④、⑤項）

微多孔膜への微細物質付着の影響を調査するため、現場採取試料（暴露面および非暴露面）、未使用試料の3点についてエタノール中で超音波洗浄を1時間実施し、抽出物の成分分析を実施した。表 3.6-9 に各試料から抽出された物質を示す。

表 3.6-9 各試料からの抽出物質

NO.	試料	抽出物質
1	現場採取試料（暴露面）	白状粉体(粘着質)、繊維、土粒子
2	現場採取試料（非暴露面）	糊状膜、白色板状粉体
3	未使用試料	糊状膜

ガス透過性防水シートの不織布および微多孔膜を構成している素材と超音波洗浄により抽出された物質を比較した結果、抽出された白色粉体（粘着質）および、糊状膜はホットメルト成分である可能性が高いことが分かった。一方、白色板状粉体についてはガス透過性防水シートの構成素材には含まれない成分のため、現場供用中に付着したものと考えられる。また、未使用品からの抽出物である糊状膜は超音波洗浄時のエタノールの温度上昇（約 60℃）によりホットメルト成分が抽出されたと考えられる。

以上より、超音波洗浄により微細物質が抽出されたことから、これら微細成分が微多孔膜の微孔を塞ぐこと等により、透湿度が低下した可能性が考えられる。

(2) 微多孔膜の熱収縮による影響の検証 (⑥項)

供用中のガス透過性防水シートは日射や腐敗性廃棄物の腐敗熱等により温度上昇する可能性がある。そこで、微多孔膜の温度上昇に伴う熱収縮が、透湿度に影響を及ぼす可能性について調査した。ガス透過性防水シートを 60°C 恒温室に所定時間静置し、室温にて透湿度を調べた。図 3.6-9、図 3.6-10 に透湿度とその保持率を示す。

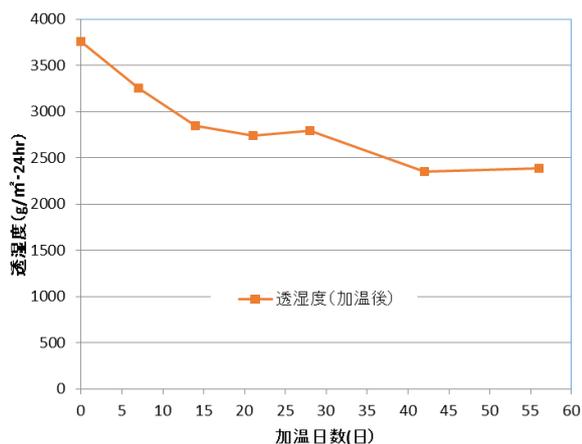


図 3.6-9 加温後 (透湿度)

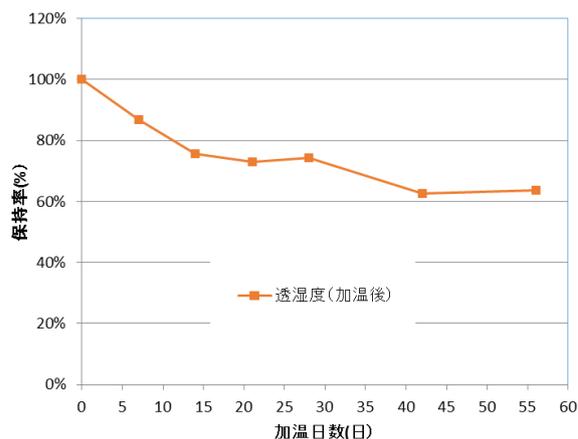


図 3.6-10 加温後 (透湿度保持率)

60°C に所定日数加温した場合、透湿度保持率は 60% 程度に低下するが、40 日以降は平衡に達する。このことから、微多孔膜が熱収縮により微孔が小さくなったことも透湿度の低下に影響すると考えられる。

上記の検証より、約 14 ヶ月使用したガス透過性防水シートの透湿度が低下した原因としては、以下が考えられる。

- A. 長期間の屋外使用により、暴露面のホットメルト成分が移動し、微多孔膜の微孔の一部が閉塞した
- B. 土粒子やホットメルト成分等の微粒子が微多孔膜面に付着し、透湿試験に影響した
- C. 微多孔膜の熱収縮により、微孔が小さくなった。

上述 C の影響は室内試験により、透湿度保持率 60%程度低下することがわかった。約 24 ヶ月使用後の現場採取試料の透湿度保持率は 30%程度であることから、A~C の要因が複合したことが原因であると考えられる。

(3) 実用に対する影響

屋外 24 ヶ月使用後の透湿度は、約 $1100\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$ である。また、促進暴露試験 1000hr 以降では $900\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$ 程度である。これらの値は、腐敗性廃棄物から発生すると予測されているガス発生量を多めに試算した値 ($360\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$)³⁾ を大きく上回っている。

さらに、除染廃棄物仮置場のガス発生量は搬入から経時的に低下することから、透湿度が $360\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$ を下回らない限りは実用上問題ないといえる。

6) 透水試験（接合部）

現場接合部（気中部、湛水部）に対し、産技研にて図 3.6-11 に示す透水試験装置により透水試験を実施した結果、50cm 水頭で 24 時間経過しても透水は認められなかった。したがって、24 ヶ月経過後においても、現場接合部は所要の防水性を有するといえる。（維持管理基準値(案)を満足する結果が得られている。）

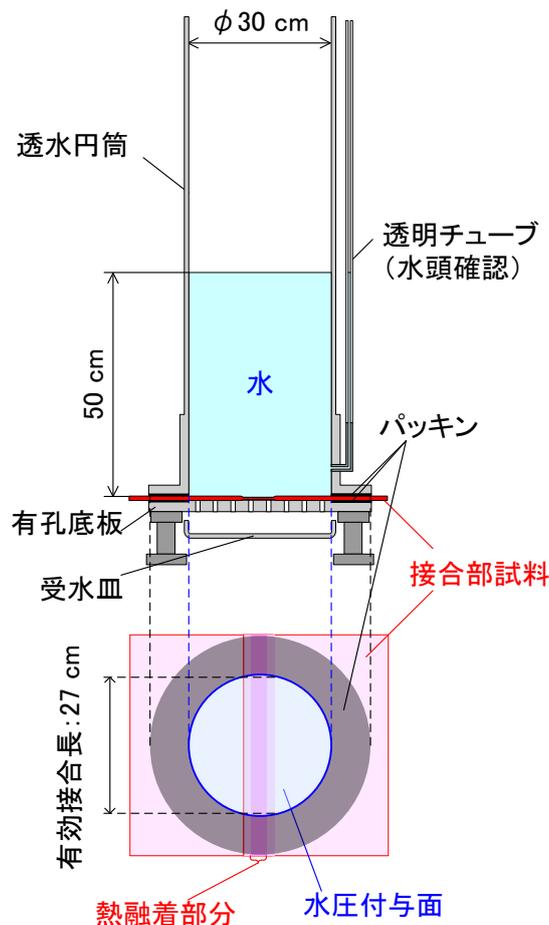


図 3.6-11 透水試験装置

7) 電子顕微鏡観察 (SEM 観察)

電子顕微鏡により採取した試料の表面観察を行った。観察箇所は、補強布表面 (暴露面)、微多孔膜直上の補強布、微多孔膜表面の 3 箇所を実施した。図 3.6-12 に模式図を示す。

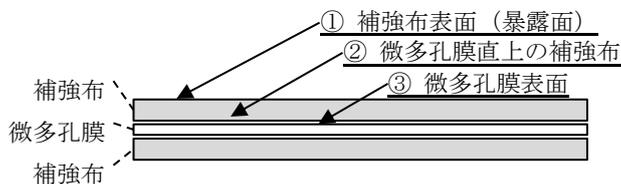


図 3.6-12 電子顕微鏡観察箇所

表 3.6-10 に各撮影箇所の電子顕微鏡写真を示す。

表 3.6-10 電子顕微鏡写真

観察箇所	未使用の試料 (オリジナル)	使用后 24 ヶ月		促進暴露
		気中部	湛水部	1000h 処理後
①				
②				NO DATA
③				

補強布表面の繊維については、未使用品の試料 (オリジナル) と比較すると、表面の剥がれなど、繊維自体の劣化が進行している様子が確認された。なお、気中部と湛水部とでは、若干、気中部のほうが劣化の度合いが大きく、これは、太陽光 (紫外線) から受ける影響に違いがあるためと推測される。

一方、微多孔膜直上の補強布の状態については、繊維表面の損傷等の劣化はほとんど認められなかった。また、本シートの主要機能 (防水性・通気性) を担う微多孔膜表面についても、ひび割れ等の損傷は見られず、ガス透過性と防水性は維持できていると思われる。

3.6.6 考察

除染廃棄物仮置場において、上部シートとして約 24 ヶ月間使用されたガス透過性防水シート（エルベスキャッピングシート CP600）は、表 3.6-3 に示す維持管理基準値(案)を満足していることが分かった。

引張強さ（母材部、接合部）、貫入抵抗、耐水度の実暴露での試験結果については、促進暴露による試験結果と概ね一致していることから、促進暴露の試験データが、今後の経年劣化を推測する目安になると思われる。

透湿度の試験結果については、必要物性（初期値）との保持率は約 30%と低下はしているものの、維持管理基準値(案)は十分に満足する結果となっており、実用上問題ないといえる。

今後も、供用開始後の上部シートについて実暴露された試料を評価することで、上部シートの引続きの使用が可能かの判断材料とし、除染廃棄物の適正保管に役立てればと考える。

参考文献

- 1) 環境省：除染等工事共通仕様書，第 8 版，p65，2015.
- 2) ジオシンセティックス技術研究会：ガス透過性防水シートの除染廃棄物仮置場上部シートへの適用に向けた取り組み，pp.61～65，2014.
- 3) 公益社団法人日本材料学会：地盤改良に関わる技術評価証明報告書ーガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法ー，p11，2012.

4. 除染廃棄物の適正保管に関する検討

JAG

4.1 ジオシンセティックスの耐放射線性評価

4.1.1 はじめに

福島第一原子力発電所の事故に係る除染において発生した除染土壌等は、除染現場近傍の仮置場に保管されており、順次、中間貯蔵施設に搬入されつつある。仮置場においては、下部シートとして、不織布で上下面を保護された遮水シートが、可燃物設置場所の上部シートとして、ガス透過性防水シート（「通気性防水シート」とも呼ばれる）と遮水シートを工場にて溶着した複合シート等が、それぞれ使用されている¹⁾。一方、中間貯蔵施設のうち、8,000 Bq/kg 超（～100,000 Bq/kg 未満）の除染土壌等を貯蔵する土壌貯蔵施設（Ⅱ型 A タイプ）においては、遮水シートならびに保護マットの適用が予定されており^{2),3)}、さらに、その被覆工にガス透過性防水シートが適用される可能性もある。したがって、これらのジオシンセティックス（繊維・高分子系の土木建設資材の総称）の耐放射線性を評価することは極めて重要である。

しかし、繊維・高分子系材料の耐放射線性に関しては、原子力発電所内等での使用を想定した大過剰量の放射線（MGy オーダー）に対する検討事例⁴⁾はあるものの、土壌貯蔵施設供用時に相当する比較的低線量（10 kGy 程度と推定；詳細は後述）の放射線に対する耐放射線性の評価については、ほとんど報告されていない。

そこで本研究では、土壌貯蔵施設に貯蔵される除染土壌等の放射線セシウム濃度が上限値の 100,000 Bq/kg となった場合を想定し、上記の各種ジオシンセティックスの耐放射線性を評価した。

4.1.2 積算放射線量の設定

耐放射線性の評価においては、どの程度の積算放射線量に曝されるかを推定することが重要である。しかし、現在のところ、土壌貯蔵施設に供用されるジオシンセティックスが曝される積算放射線量について、統一的な算定基準は存在しない。

そこで本研究では、図 4.1-1 に示すような手順に従い、土壌貯蔵施設においてジオシンセティックスが曝されると考えられる積算放射線量を設定した。

まず、面線源の表面汚染密度の算定においては、式-1⁵⁾を用いた。式-1 においては、右辺各項の値が大きいほど表面汚染密度が大きく見積もられ、より厳しい条件となることから、右辺の各項に対し、想定される最大値を採用した。具体的には、まず、汚染物の密度が大きいほど表面汚染密度が大きく見積もられることから、一般的な土質材料より高密度のコンクリート塊を想定し、その密度を $2.7 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ とした。また、コンクリートの 10%透過率の寄与まで⁶⁾を有効厚さ（それ以遠はほぼ遮蔽）と見なし、汚染物の厚さを 30

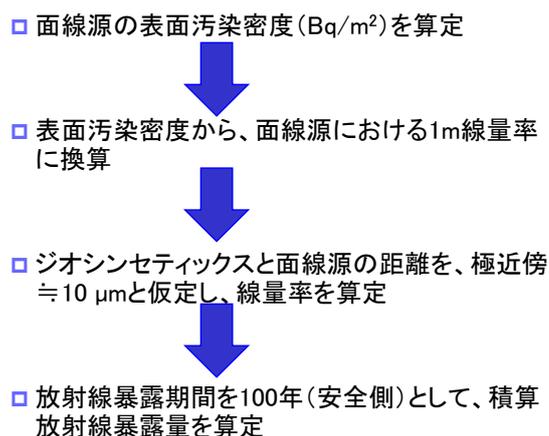


図 4.1-1 積算放射線暴露量の設定手順

cm に設定した。さらに、放射性核種濃度として、上記の 100,000 Bq/kg を採用し、式-1 に代入することで、表面汚染密度を $8,100 \text{ Bq/cm}^2 = 81,000 \text{ kBq/m}^2$ と算定した。

【表面汚染密度 (Bq/cm²)】

$$= \text{【汚染物の密度 (kg/cm}^3\text{)]} \times \text{【汚染物の厚さ (cm)]} \times \text{【放射性核種濃度 (Bq/kg)]} \dots\dots \text{式-1}$$

次に、式-2⁷⁾に従い、式-1 で算定した表面汚染密度を面線源における 1 m 線量率に換算したところ、178 $\mu\text{Sv/h}$ となった。なお、中間貯蔵施設のうち、最も高濃度の廃棄物を対象とした廃棄物貯蔵施設では、廃棄物を封入した容器の 1 m 線量率が 100 $\mu\text{Sv/h}$ 以下となるように管理を実施することとなっており⁹⁾、この管理値を上回るという意味で、算定した 1 m 線量率 (178 $\mu\text{Sv/h}$) は、より過酷な安全サイドの設定値であると考えられる。

【面線源における 1m 線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)】

$$= \text{【} 2.2 \times 10^{-3} \text{ [(}\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\text{)/(h}\cdot\text{Bq)]}] \times \text{【表面汚染密度 (Bq/m}^2\text{)]} \dots\dots\dots \text{式-2}$$

ここで、ジオシンセティックスと面線源との距離が近いほど、線量率は指数関数的に増加するが、完全に密着した状態 (距離がゼロ) を考えた場合、線量率が無限大に発散してしまう。そこで、両者が極めて近接している状態として、ジオシンセティックスと面線源との距離を 10 m に設定した。この場合、極近傍 (距離 : 10 m) における線量率は、上で求めた 1 m 線量率 (178 $\mu\text{Sv/h}$) の 49.7 倍⁸⁾、すなわち 8.8 mSv/h となる。さらに、 $1 \text{ Sv} \cong 1 \text{ Gy}$ と仮定すると、1 時間あたりの放射線量は 8.8 mGy/h と算定される。

以上の結果から、本研究では、1 時間あたりの放射線量を 8.8 mGy/h と見積もった。さらに、中間貯蔵施設における除染土壌等の貯蔵期間は 30 年とされているが、より過酷な条件として、約 4 倍強の安全率 (暴露期間増 ; 130 年相当) を見込み、積算放射線量を約 10 kGy とした。なお、実際には、時間経過とともに放射線量は減衰するので、その面でも、算定した積算放射線量は、安全側の設定値であると考えられる。

4.1.3 実験方法

1) 試料

本研究では、表 4.1-1 に示す 6 種類のジオシンセティックスを試料とした。なお、不織布 A および不織布 B は、ともにニードルパンチタイプの長繊維不織布である。また、不織布 B および微多孔膜は、ガス透過性防水シート^{10), 11)}の構成材料である。ガス透過性防水シートは、ガス透過性と遮水性を併せ持つ微多孔膜の上下面に、微多孔膜を保護・補強する不織布 B を貼り合わせた三層構造の複合材料であるが、本研究では、ガス透過性防水シートの構成材料ごとに耐放射線性を評価した。

また、2) で述べる放射線照射実験では、遮水シートおよび不織布については 180 mm 角に切り出した照射用試験片を各 1 枚、微多孔膜については同サイズにカットした照射用試験片を 5 枚使用し、それらを全て重ね合わせ (以下、「照射用積層試験片」と称す : 総厚約 10 mm)、実験に供した。

表 4.1-1 試料の概要

試料	素材	諸元
遮水シート A	LLDPE(直鎖低密度ポリエチレン)	厚さ : 1.5 mm
遮水シート B	PVC(ポリ塩化ビニル)	厚さ : 1.5 mm
遮水シート C	PU(ポリウレタン)	厚さ : 1.5 mm
不織布 A	PET(ポリエステル)繊維	単位面積当たりの質量 : 300 g/m ²
不織布 B	PET/PE(ポリエステル/ポリエチレン)の芯鞘繊維	単位面積当たりの質量 : 300 g/m ²
微多孔膜	PE(ポリエチレン)	厚さ : 0.1 mm

2) 放射線照射実験

写真 4.1-1 に示す ¹³⁷Cs- γ 線照射装置 (ポニー工業株式会社製 PS-3200T) を用い、放射線照射実験を行った。



写真 4.1-1 ¹³⁷Cs- γ 線照射装置

まず、¹³⁷Cs- γ 線照射装置の回転照射台上に、照射用積層試験片を設置した。照射用積層試験片の設置状況および設置位置を、写真 4.1-2 および図 4.1-2 に示す。

次に、照射用積層試験片を毎分 1 回転で回転させながら、回転照射台上方の ¹³⁷Cs- γ 線源より γ 線を照射した。なお、照射用積層試験片の厚さ方向 (総厚 : 10 mm) および面内方向 (180 mm 角の照射用積層試験片の中心から頂点まで距離 : 127 mm) の双方で放射線照射強度の変動を 10 % 以下に低減するために、照射用積層試験片の厚さ方向の中心部と線源との距離を 500 mm に設定した。本設置条件において、照射用積層試験片の平面方向の頂点 (平面方向で最も放射線照射強度が小さい箇所) 且つ厚さ方向中央位置における照射強度は 53.8 Gy/h である。また、照射用積層試験片の頂点において、4.1.2 で設定した積算放射線量 (10 kGy) を確保できるように、総照射時間は 186 h とした。なお、上述のとおり、本実験条件において、放射線照射強度の厚さ方向の変動は 10 % 以下であるが、積算放射線量に関しても厚さ方向の差異を低減させるために、総照射時間の半分である 93 h が経過した時点で一旦照射を停止し、照射用積層試験片の上下を反転させた後、さらに 93 h の照射を行った。

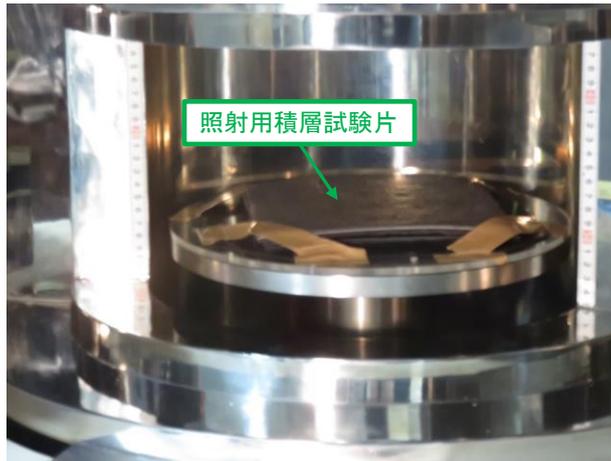


写真 4. 1-2 照射用積層試験片の設置状況

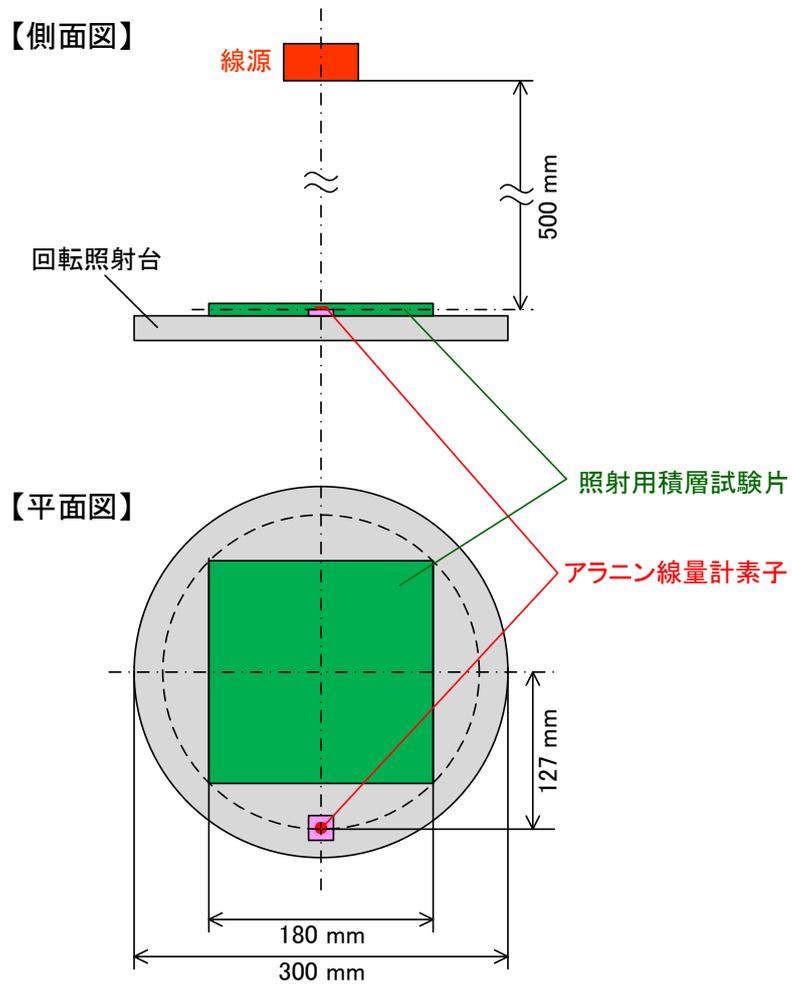


図 4. 1-2 照射用積層試験片の設置位置

また、図 4. 1-2 に示すとおり、照射用積層試験片の平面方向に対して中心から 127 mm 離れた位置で、照射用積層試験片の厚さ方向中央位置に、アラニン線量計素子を設置し、実際の積算放射線量を計測した。

3) 耐放射線性の評価

2)に示した放射線照射実験により 10 kGy の積算放射線に暴露された試料（以下、「照射試料」と称す）と、無照射試料（以下、「オリジナル」と称す）との物性比較により、耐放射線性を評価した。具体的には、遮水シートおよび不織布について、引張試験を行い、オリジナルと照射試料の引張強さおよび伸び率を比較した。また、微多孔膜については、オリジナルと照射試料の耐水度試験を実施した。

(1) 遮水シートの引張試験

社団法人全国都市清掃会議編集の「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010 改訂版」に準じ、3 種類の遮水シートのオリジナルおよび照射試料から試験片を切り出し、10 kN 材料試験機（株式会社島津製作所製 AG-10kNG）を用いて引張試験を行った。試験条件を表 4.1-2 に示す。なお、引張試験はたて方向についてのみ 3 回ずつ実施し、3 回の試験で得られた引張強さおよび伸び率の中央値で評価した。また、伸び率については、鋼尺を用いて標線間距離を目視計測し、標線間の変位量から算定した。

表 4.1-2 遮水シートの引張試験条件

試験片形状	ダンベル状 3 号形 (JIS K 6251)
	平行部の幅 : 5 mm
	標線間距離 : 20 mm
全長 : 100 mm	
つかみ間隔	60 mm
引張速度	50 mm/min

(2) 不織布の引張試験

JIS L 1908 に準じ、2 種類の不織布のオリジナルおよび照射試料から試験片を切り出し、10 kN 材料試験機（株式会社島津製作所製 AG-10kNG）を用いて引張試験を行った。試験条件を表 4.1-3 に示す。なお、引張試験はたて方向についてのみ 3 回ずつ実施し、3 回の試験で得られた引張強さおよび伸び率の平均値で評価した。

表 4.1-3 不織布の引張試験条件

試験片形状	短冊状
	幅 : 50 mm
	全長 : 180 mm
つかみ間隔	100 mm
引張速度	20 mm/min

(3) 微多孔膜の耐水度試験

JIS L 1092（高水圧法）に準じ、耐水度試験機（株式会社大栄科学精器製作所製 WP-1000K）を用いて微多孔膜の耐水度試験を行った。耐水度試験機の主要部模式図を図 4.1-3 に示す。なお、試験は 3 回実施し、3 回の試験で得られた耐水度の平均値で評価した。また、水圧による試験片の膨張を防止するために、試験片の上面をステンレスメッシュで保護し、試験に供した。

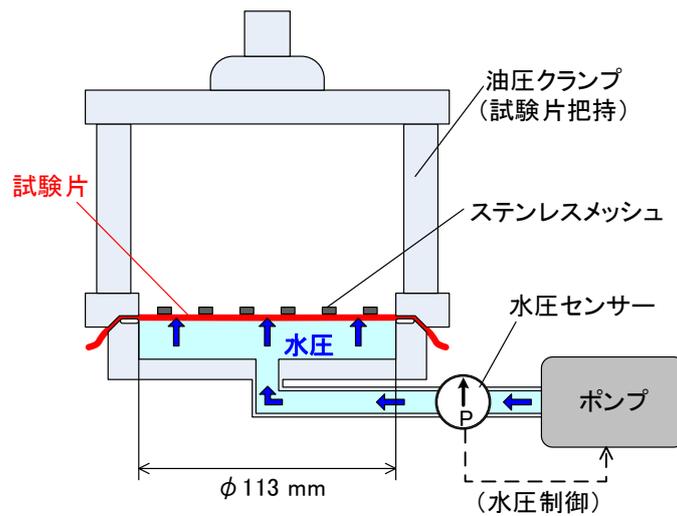


図 4.1-3 耐水度試験機の主要部模式図

4.1.4 実験結果と考察

1) 放射線照射実験

アラニン線量計素子による積算放射線量の実測結果は 10.18 kGy であった。したがって、照射用積層試験片全体が、10 kGy 以上の積算放射線に暴露されたと言える。

2) 耐放射線性の評価

(1) 遮水シートの引張試験

遮水シートの引張試験結果を表 4.1-4 に示す。

表 4.1-4 より、3 種類の遮水シートのいずれにおいても、オリジナルと照射試料の引張強さおよび伸び率は同等（保持率：96%以上）であった。したがって、少なくとも 10 kGy の積算放射線量に曝されても、各遮水シートの引張強さおよび伸び率は、初期性能を維持していると考えられる。

表 4.1-4 遮水シートの引張試験結果

試料	引張強さ (kN/m)		伸び率 (%)	
	オリジナル	照射試料	オリジナル	照射試料
遮水シート A	50.2	50.4	7.4×10^2	7.4×10^2
遮水シート B	27.7	27.5	3.1×10^2	3.1×10^2
遮水シート C	92.0	88.4	5.7×10^2	5.5×10^2

(2) 不織布の引張試験

不織布の引張試験結果を表 4.1-5 に示す。

表 4.1-5 より、2 種類の不織布のいずれにおいても、オリジナルと照射試料の引張強さおよび伸び率は同等（保持率：98 %以上）であった。したがって、少なくとも 10 kGy の積算放射線量に曝されても、各不織布の引張強さおよび伸び率は、初期性能を維持していると考えられる。

表 4.1-5 不織布の引張試験結果

試料	引張強さ (kN/m)		伸び率 (%)	
	オリジナル	照射試料	オリジナル	照射試料
不織布 A	22.2	21.7	84.4	82.7
不織布 B	13.9	13.8	94.2	92.2

(3) 微多孔膜の耐水度試験

微多孔膜の耐水度試験結果を表 4.1-6 に示す。また、耐水度試験後の試験片の状況を写真 4.1-3 に示す。

表 4.1-6 より、微多孔膜の耐水度はオリジナルと照射試料で同等（保持率：99%）であった。したがって、少なくとも 10 kGy の積算放射線量に曝されても、微多孔膜の耐水度は初期性能を維持していると考えられる。

なお、写真 4.1-3 に示すとおり、微多孔膜の耐水度試験においては、微多孔膜の微細孔からの水滴の漏出は認められず、試験片の膨張破裂により、漏水が発生した。よって、表 4.1-6 に示した耐水度は、上述した微細孔からの水滴の漏出ではなく、微多孔膜の巨視的な膨張破裂に対する臨界水圧に相当する。

表 4.1-6 微多孔膜の耐水度試験結果

試料	耐水度 (kPa)	
	オリジナル	照射試料
微多孔膜	113	112

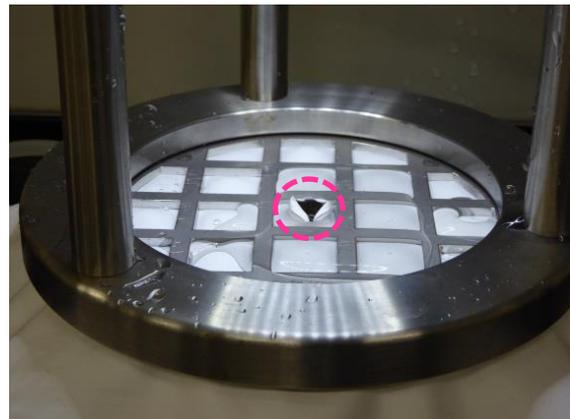


写真 4.1-3 耐水度試験後の試験片の状況

4.1.5 まとめ

土壌貯蔵施設への適用が考えられるジオシンセティックス（遮水シート、不織布、およびガス透過性防水シートの構成材料である微多孔膜）について、耐放射線性を評価した。

まず、上記の各ジオシンセティックスが曝される積算放射線量を設定した。すなわち、土壌貯蔵施設において貯蔵される除染土壌などの放射線セシウム濃度の上限値として 100,000 Bq/kg の面線源を想定し、1時間あたりの放射線量を 8.8 mGy/h と見積もった。さらに、中間貯蔵施設における除染土壌等の貯蔵期間は 30 年とされているが、約 4 倍強の安全率（暴露期間増；130 年相当）を見込み、積算放射線量を約 10 kGy とした。

次に、³⁷Cs- γ 線照射装置により、各ジオシンセティックスに 10 kGy の積算放射線量を照射し、オリジナルと物性を比較することにより、耐放射線性を評価した。

その結果、本研究で対象とした 6 種類のジオシンセティックスに関しては、10 kGy の積算放射線量に曝されても、初期性能を維持していることが確認された。

参考文献

- 1) 環境省：除染等工事共通仕様書，第 9 版（改定版），2016.
- 2) 復興庁，東北地方環境事務所，福島環境再生事務所：土壌貯蔵施設工事要求水準書，2016.
- 3) 環境省：除染土壌などの中間貯蔵施設について，p24，2014，<http://josen.env.go.jp/material/pdf/dojyou_cyuukan.pdf>.
- 4) 例えば，ATOMICA：高分子材料の放射線劣化と改質 I (08-04-02-12)，<http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=08-04-02-12>.
- 5) 日本原子力研究所：クリアランスレベル検認に係る技術的事項について（補足説明資料），2014，<<http://www.meti.go.jp/committee/downloadfiles/g40510a20j.pdf>>.
- 6) 日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳，1989.
- 7) 田崎晴明：ベクレルからシーベルトへ，p14，2011，<<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/docs/BqToSv.pdf>>.
- 8) 田崎晴明：ベクレルからシーベルトへ，p15，2011，<<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/docs/BqToSv.pdf>>.
- 9) 環境省 中間貯蔵施設等福島現地推進本部：除去土壌等の中間貯蔵施設の案について，p25，2014，<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/action/acceptance_request/pdf/aggregate_draft.pdf>.
- 10) 西村正樹，赤井智幸，嘉門雅史：ガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法の開発と除染廃棄物仮置場への適用，ジオシンセティックス技術情報，Vol. 29, No. 2, pp. 9-14, 2013.
- 11) 公益社団法人日本材料学会：「地盤改良」に関わる技術評価証明報告書ーガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法ー，2012.

4.2 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

4.2.1 はじめに

福島県伊達市内の除染廃棄物仮置場において、除去土壌等を収納、保管するフレキシブルコンテナ（以下、除染バッグと称す）をサンプリングし、長期耐久性能について評価・確認した結果を報告する。

また、当該仮置場では、除染バッグを保管後、最初の約6ヶ月間は上部シート等の敷設がなく、暴露（屋外にさらされた）状態であった。なお、当該除染バッグは耐候性、防水性に優れたランニング形のフレキシブルコンテナ（J形1種）である。

4.2.2 供試袋の採取

伊達市内仮置場に保管されている除去土壌等を収納した除染バッグから、内容物を別途準備した除染バッグに移して、空にした除染バッグ2袋（物性試験用、性能試験用）を供試袋とした。なお、2袋の供試袋は、同等の設置環境であることが望ましいため、できるだけ近傍で、かつ日当たりが同等の場所から採取した。供試袋の採取は3回行い、使用後22ヶ月、27ヶ月、35ヶ月、40ヶ月、43ヶ月の5通りについて評価した。供試袋の経過月及び試験内容（詳細は後述）について表4.2-1に示す。

表 4.2-1 供試袋の経過月及び試験内容

採取年月	2014年2月		2015年2月		2016年3月		
使用開始年月	2012年4月	2011年11月	2012年4月	2011年11月	2012年8月		
経過月	22ヶ月	27ヶ月	35ヶ月	40ヶ月	43ヶ月		
試験内容	物性	物性	性能	物性	性能	物性	性能

写真4.2-1に現場全景、写真4.2-2に供試袋採取状況を示す。



写真 4.2-1 現場全景



写真 4.2-2 供試袋採取状況

4.2.3 試験項目

除去土壌等の保管を目的とする除染バッグは、JIS Z 1651:2008（非危険物用フレキシブルコンテナ）に示されている規格を満たし、さらに仮置場での使用を踏まえた厳しい条件を課した仕様となっている。

2袋の供試袋のうち、1袋から試験片を切り出して物性試験を行い、もう1袋はそのまま性能試験を行った。

1) 物性試験

表 4.2-2 に物性試験項目を示す。

表 4.2-2 物性試験項目

NO.	試験部位	試験項目	要求値 (初期値)	試験方法
1	本体胴部	引張強さ	1270N/30mm	JIS Z 1651 準拠
2		引裂き強さ	200N	
3	本体胴部の接合部	引張強さ	1080N/30mm	
4	つりベルト		14.71kN	
5	つりロープ		29.42kN	

図 4.2-1 に物性試験に関する各試験片の採取イメージを示す。物性試験用の除染バッグ本体胴部の試験片（引張・引裂き強さ用）は、除染バッグの吊り上げの際に最も負荷がかかるつり部下付近とし、本体胴部の接合部試験片（引張強さ用）は、内容物充填、段積みの際、最も張力が発生する底部より高さの2割程度の位置から採取した。

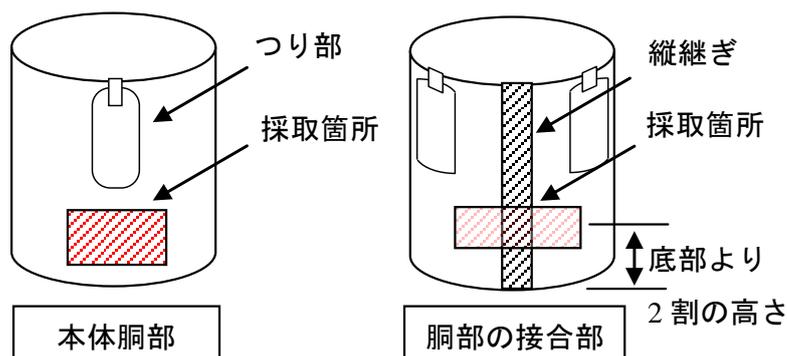


図 4.2-1 試験片の採取箇所

2) 性能試験

表 4.2-3 に性能試験項目を示す。

表 4.2-3 性能試験項目

NO.	試験項目	試験条件	試験方法
1	繰返し頂部 つり上げ試験	最大充填質量の2倍×70回および5倍× 1回の荷重を加え、各部の異常の有無を確認 (29.42kN×70回+73.55kN×1回)	JIS Z 1651 準拠
2	積重ね試験	4段積み相当の荷重を加え、5分間保持し、 各部の異常の有無を確認 (79.43kN×5分)	

(1) 繰返し頂部つり上げ試験

以下に試験手順を示す。また、**図 4.2-2** に繰返し頂部つり上げ試験概要図、**写真 4.2-3** に試験状況を
示す。

- ① 供試袋に模擬内容物（樹脂）を充填し、**図 4.2-2** に示すようにセットする。
- ② 吊るされた供試袋を、上方から固定円盤によって、下向きの力を徐々に負荷させる。
- ③ 負荷、除荷を交互に繰り返す、全ての吊り具の損傷、その他の損傷、内容物の漏えいについて観
察する。（最大充填質量の2倍×70回繰り返す）
- ④ 最大充填質量×5倍の負荷を加えて、各部異常の有無を確認する。

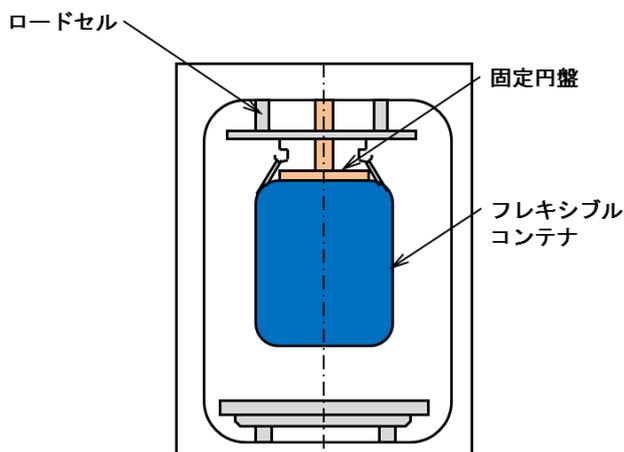


図 4.2-2 繰返し頂部つり上げ試験概要図



写真 4.2-3 繰返し頂部つり上げ試験状況

(2) 積重ね試験

以下に試験手順を示す。また、**図 4.2-3** に積重ね試験概要図、**写真 4.2-4** に試験状況を示す。

- ① 供試袋に模擬内容物（樹脂）を充填し、**図 4.2-3** に示すようにセットする。
- ② 供試袋上部に押え板を置き、圧縮試験機にて規定の試験荷重を負荷する。
- ③ 供試袋の内容物の漏えい及び輸送、保管の安全を損なう本体側面及び本体下面の劣化を確認する。

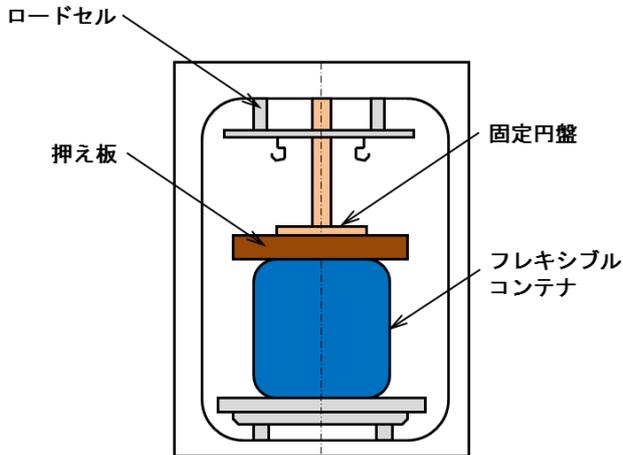


図 4.2-3 積重ね試験概要図



写真 4.2-4 積重ね試験状況

4.2.4 除染バッグの長期使用管理値

除染関係ガイドラインに沿った除染バッグの部材耐候性能は、初期強度の70%以上となっている。そこで、要求性能（初期値）の70%を長期使用管理値と設定し、各供試袋を評価した。

表 4.2-4 物性試験項目（除染バッグの長期使用管理値）

NO.	試験部位	試験項目	長期使用管理値	試験方法
1	本体胴部	引張強さ	890N/30mm	JIS Z 1651 準拠
2		引裂き強さ	140N	
3	本体胴部の接合部	引張強さ	890N/30mm	
4	つりベルト		10.30kN	
5	つりロープ		20.60kN	

一方、性能試験に関しては、元来の繰返し頂部つり上げ試験の結果では数値化できないことから、最大充填質量の2倍×70回の繰返し荷重を加えた後、頂部つり上げ限界荷重（除染バッグが破壊するまで荷重を増大させた際の最大荷重）にて評価した。なお、初期試験条件である最大充填質量×5倍（73.55kN）の70%の荷重（51.49kN）を長期使用管理値と設定した。

積重ね試験も同様に数値化できないため、各部の異常の有無を評価した。

表 4.2-5 性能試験項目（除染バッグの長期使用管理値）

NO.	試験項目	長期使用管理値	試験方法
1	繰返し頂部 つり上げ試験	最大充填質量の2倍×70回繰り返した後、 51.49kN (73.55kN×70%)	JIS Z 1651 準拠
2	積重ね試験	4段積み相当の荷重を加え、5分間保持し、 各部の異常無し	

4.2.5 試験結果

以下に各試験結果を示す。試験結果は、前述の長期使用管理値についても附記してグラフ化した。なお、各グラフの初期値は、各経過月の平均初期値とした。繰返し頂部つり上げ試験の初期値においては、社内評価試験の頂部つり上げ限界荷重値とした。

1) 物性試験

(1) 本体胴部引張強さ

図 4.2-4 および表 4.2-6 に引張試験結果を示す。使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を十分に満足する結果が得られている。

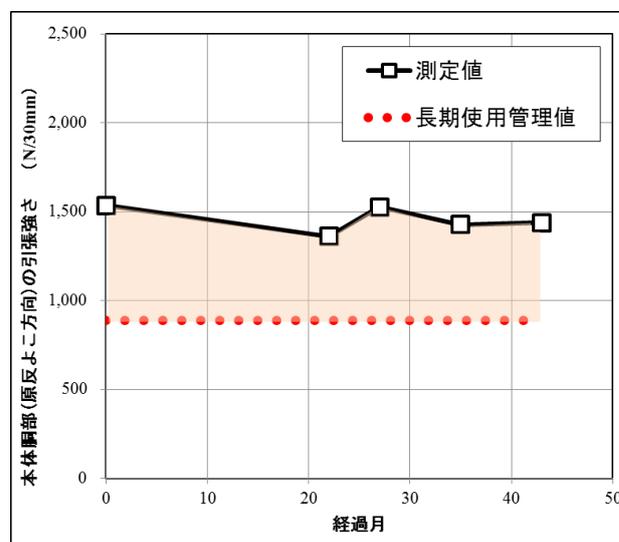
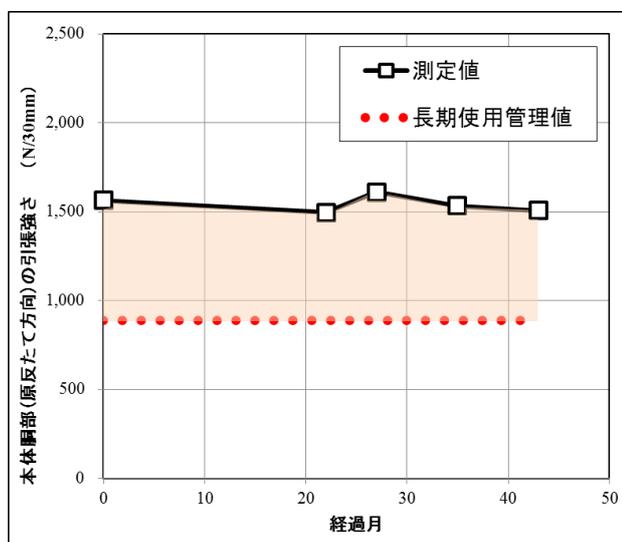


図 4.2-4 本体胴部引張試験結果

表 4.2-6 本体胴部引張試験結果

本体胴部（原反たて方向）の引張強さ

経過月	測定値 (N/30mm)	初期値 (N/30mm)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (N/30mm)
22	1496.1	1519.0	98.5%	890
27	1609.7	1593.0	100.0%	890
35	1532.5	1593.0	96.2%	890
43	1505.9	1552.0	97.0%	890

本体胴部（原反よこ方向）の引張強さ

経過月	測定値 (N/30mm)	初期値 (N/30mm)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (N/30mm)
22	1360.8	1474.0	92.3%	890
27	1526.9	1559.0	97.9%	890
35	1426.9	1559.0	91.5%	890
43	1439.4	1545.0	93.2%	890

(2) 引裂き強さ

図 4.2-5 および表 4.2-7 に引裂き試験結果を示す。使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を十分に満足する結果が得られている。

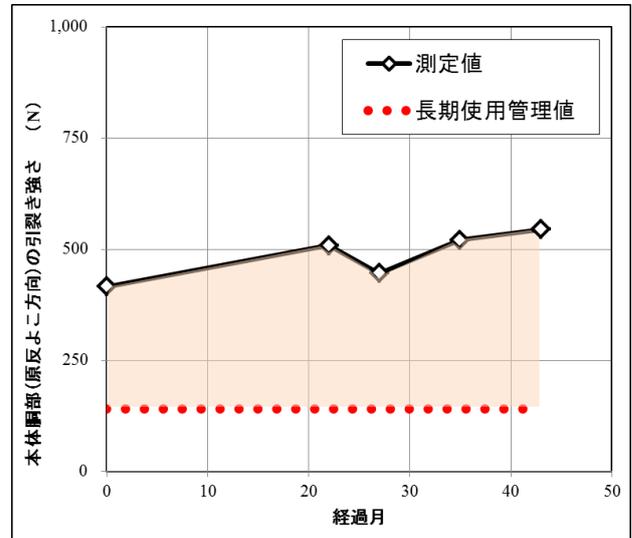
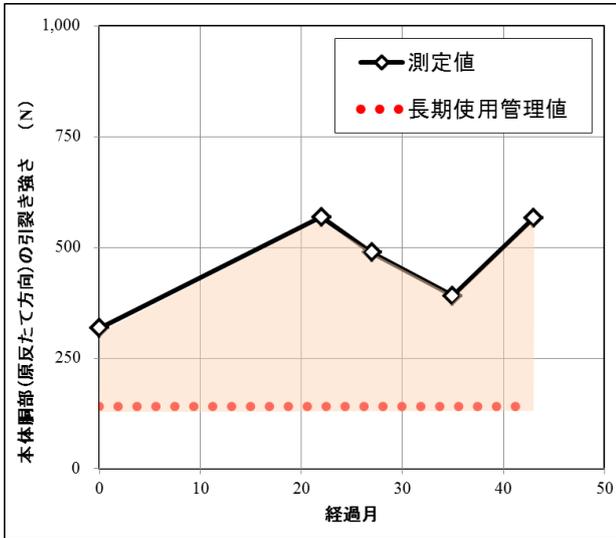


図 4.2-5 引裂き試験結果

表 4.2-7 引裂き試験結果

本体胴部（原反たて方向）の引裂き強さ

経過月	測定値 (N)	初期値 (N)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (N)
22	568.1	277.0	100.0%	140
27	488.5	324.0	100.0%	140
35	390.4	324.0	100.0%	140
43	565.9	345.0	100.0%	140

本体胴部（原反よこ方向）の引裂き強さ

経過月	測定値 (N)	初期値 (N)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (N)
22	508.8	407.0	100.0%	140
27	446.0	412.0	100.0%	140
35	520.9	412.0	100.0%	140
43	544.5	433.0	100.0%	140

(3) 本体胴部の接合部引張強さ

図 4.2-6 および表 4.2-8 に本体胴部の接合部引張試験結果を示す。使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を十分に満足する結果が得られている。

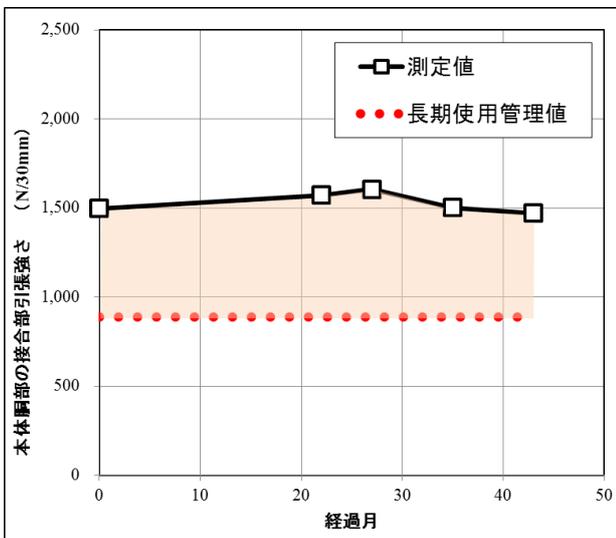


表 4.2-8 本体胴部の接合部引張試験結果

経過月	測定値 (N/30mm)	初期値 (N/30mm)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (N/30mm)
22	1573.6	1443.1	100.0%	890
27	1604.6	1513.4	100.0%	890
35	1502.8	1513.4	99.3%	890
43	1471.5	1521.0	96.7%	890

図 4.2-6 本体胴部の接合部引張試験結果

(4) つりベルトの引張強さ

図 4.2-7 および表 4.2-9 につりベルトの引張試験結果を示す。使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を十分に満足する結果が得られている。

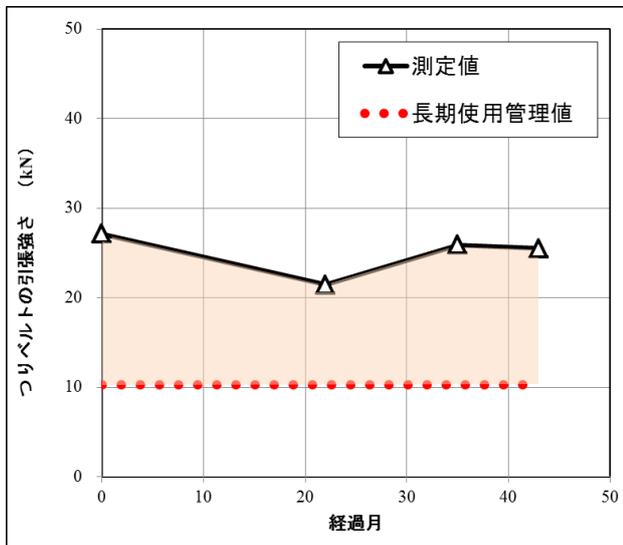


図 4.2-7 つりベルトの引張試験結果

表 4.2-9 つりベルトの引張試験結果

経過月	測定値 (kN)	初期値 (kN)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (kN)
22	21.46	24.24	88.5%	10.30
27	-	-	-	10.30
35	25.90	24.24	100.0%	10.30
43	25.50	32.90	77.5%	10.30

(5) つりロープの引張強さ

図 4.2-8 および表 4.2-10 につりロープの引張試験結果を示す。使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を十分に満足する結果が得られている。

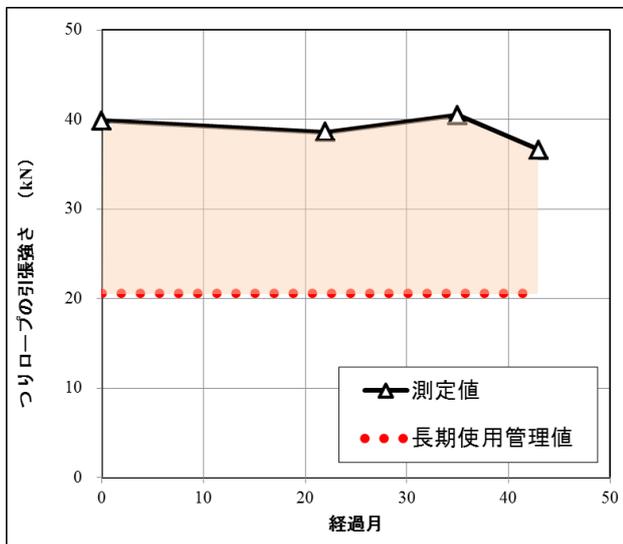


図 4.2-8 つりロープの引張試験結果

表 4.2-10 つりロープの引張試験結果

経過月	測定値 (kN)	初期値 (kN)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (kN)
22	38.60	38.56	100.0%	20.60
27	-	-	-	20.60
35	40.46	38.56	100.0%	20.60
43	36.60	42.40	86.3%	20.60

2) 性能試験

(1) 繰返し頂部つり上げ試験

図 4.2-9 および表 4.2-11 に繰返し頂部つり上げ試験結果を示す。測定値は頂部つり上げ限界荷重を示す。若干の強度低下はみられるが、使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を満足する結果が得られている。

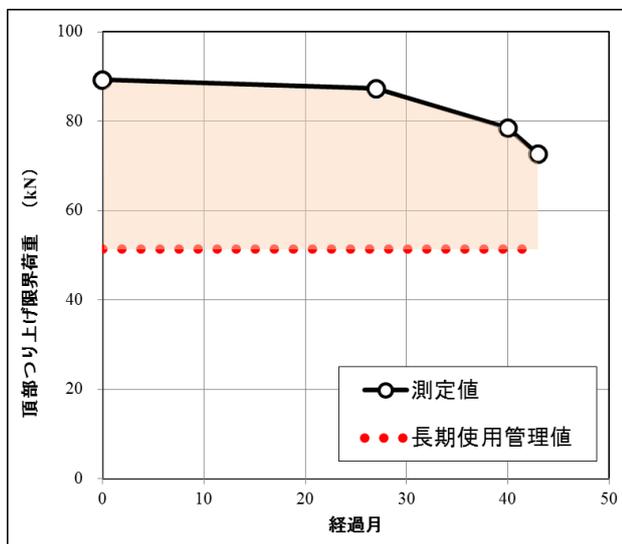


図 4.2-9 繰返し頂部つり上げ試験結果

表 4.2-11 繰返し頂部つり上げ試験結果

経過月	測定値 (kN)	初期値 (kN)	強度保持率 (%)	長期使用管理値 (kN)
27	87.28	-	97.8%	51.49
40	78.45	-	87.9%	51.49
43	72.57	-	81.3%	51.49

(2) 積重ね試験

表 4.2-12 に積重ね試験結果を示す。使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、異常はみられない。

表 4.2-12 積重ね試験結果

経過月 (ヶ月)	測定結果
27	異常なし
40	異常なし
43	異常なし

4.2.6 考察

伊達市内の除染廃棄物仮置場で使用されている除染バッグについて、長期耐久性を評価した結果、使用後約 43 ヶ月経過した状況においても、長期使用管理値を十分に満足することが明らかになった。

この結果から、除染廃棄物仮置場において、長期間の上部シート等の敷設がない場合を除き、3 年経過しても安全に使用できることが確認できた。

今後も評価を継続し、仮置場における除染バッグの維持管理に役立つデータの蓄積・提供を行う予定である。

ジオシンセティックス技術研究会
Japanese Association of Geosynthetics, JAG
キャッピング工法開発部会

JAG

除染廃棄物の適正保管に係る取組み ～ガス透過性防水シートを中心に～

監修 嘉門雅史(ジオシンセティックス技術研究会 会長・一般社団法人環境地盤工学研究所 理事長・京都大学名誉教授)

会員 (株)浅沼組・(株)大林組・(株)奥村組・(株)鴻池組・錦城護膜(株)・太陽工業(株)・(株)田中・東洋紡(株)・ダイワボウプログレス(株)・ユニチカ(株)・鳳コンサルタント(株)・(一)地域地盤環境研究所・(地)大阪府立産業技術総合研究所

連絡先 太陽工業(株)東北支店: TEL022-227-1364 ユニチカ(株): TEL06-6281-5360