

技術報文

# 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

地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 西村 正樹、赤井 智幸  
 国立香川高等専門学校 嘉門 雅史

## 1. はじめに

廃棄物最終処分場閉鎖時のキャッピング（最終カバー）や不法投棄された廃棄物の封じ込めにおいては、廃棄物層への雨水の浸透による環境汚染リスク・水処理コストの低減が大きな課題である。また、不特定位置で発生したガスを速やかに排出できる、面的なガス透過性が要求され、それらの要求を満たすジオシンセティックス製キャッピング材料<sup>1), 2)</sup>が求められている。

我々はこれまで、遮水性とガス透過性を併せ持つ微多孔膜と、微多孔膜を保護・補強する不織布から成るガス透過性防水シート、ならびにこれを用いたキャッピング工法（図-1）を開発してきた<sup>3)-9)</sup>。このガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法は、面的な遮水性とガス透過性を併せ持つことに加え、接合部も高度な遮水性を有することが最大の特長であり、平成24年12月に、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<sup>10)</sup>を取得している。

また、上述の特長が評価され、福島第一原子力発電所の事故に係る除染において、腐敗性廃棄物や除染土壌等の仮置場（以下、「除染廃棄物仮置場」と称す）の上部シート<sup>11), 12)</sup>として、福島県にて環境省等の発注工事に採用されている。

ここではまず、ガス透過性防水シートの構成・性能および特長について述べるとともに、キャッピング工法への適用性の実証のために行った3つの屋外実験の概要を示す。次に、ガス透過性防水シートが除染廃棄物仮置場の上部シートとして実適用された事例を紹介する。

## 2. ガス透過性防水シート

### (1) 構成・性能

図-2に示すように、ガス透過性防水シートは、雨水の浸透は防止するが（遮水性）、廃棄物から発生する各種ガスや水蒸気は透過させる（ガス透過性）微多孔膜と、この微多孔膜を保護・補強することで施工耐性を付与する不織布から構成される3層構造の複合材料である（端部構造の詳細については(2)で後述）。

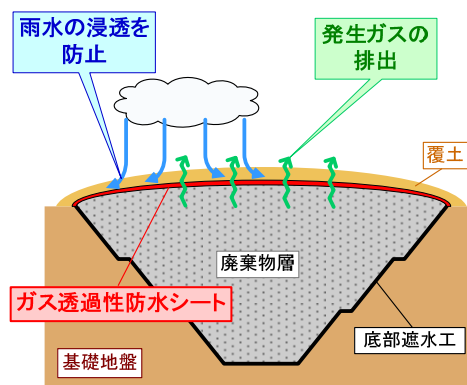


図-1 ガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法の概念図

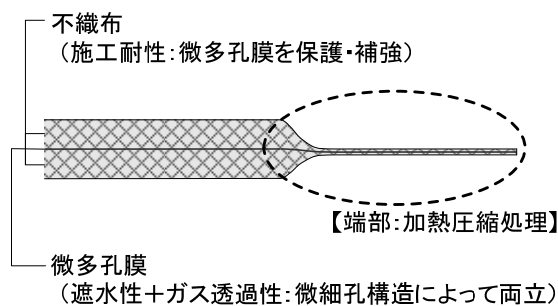


図-2 ガス透過性防水シートの断面構造模式図

ガス透過性防水シートを構成する微多孔膜はポリエチレン（PE）製であり、数 $\mu\text{m}$  オーダーの多数の微細孔が形成されている（図-3）。ガス透過性防水シートの遮水性とガス透過性は、この微細な孔構造によってもたらされる。

一方、ガス透過性防水シートを構成する不織布は、芯部がポリエステル（PET）製、鞘部が PE 製の、PET / PE 芯鞘繊維を素材とするニードルパンチタイプのスパンボンド不織布である。不織布の単位面積あたりの質量は  $300 \text{ g/m}^2$  であり、これを微多孔膜の上下面に配することで、ガス透過性防水シートの施工耐性が確保できる。

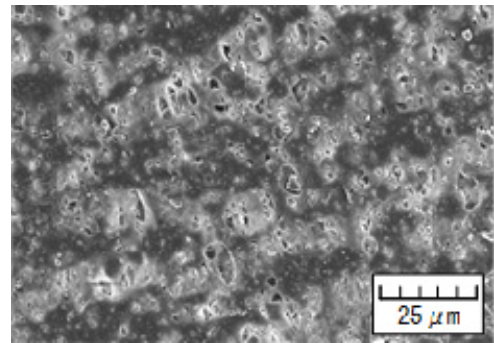


図-3 微多孔膜表面の電子顕微鏡写真

ガス透過性防水シートの主要性能<sup>10)</sup>を表-1に示す。これらのうち、ガス透過性防水シートにおいて根幹となる性能は、遮水性およびガス透過性であり、それぞれ、耐水度、透湿度によって評価される。

廃棄物最終処分場閉鎖時のキャッピングに用いる場合、ガス透過性防水シートの上部には、層厚が概ね  $50 \text{ cm}$  の覆土が設置される<sup>13)</sup>ため、覆土が飽和に達した場合、すなわち、ガス透過性防水シートに  $50 \text{ cm}$  程度の水頭圧が作用した場合における遮水性が必要となる。よって、ガス透過性防水シートには最低限、 $5 \text{ kPa}$  以上の耐水度が要求される。これに対し、表-1に示したとおり、本シートの耐水度はそれよりも2桁弱大きな耐水度が確保できている。

また、廃棄物層から発生するガスは基本的に拡散によりシートを透過するので、ガス透過性については、水蒸気の拡散輸送量、すなわち透湿度を指標としている。ここで、焼却残渣の埋め立てを主体とする廃棄物最終処分場、あるいは混合ごみを埋め立てた廃棄物最終処分場において、廃棄物  $1 \text{ m}^3$  あたり、24時間あたりのガス発生量が計測されており<sup>14)</sup>、このガス発生量を参照し、単位面積あたりの水蒸気発生量に換算することで、透湿度と対比することができる。例えば、廃棄物層の平均深さを  $20 \text{ m}$  と仮定すると、換算により得られる水蒸気発生量は、焼却残渣主体の場合で  $10.8 \text{ g/m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、混合ごみの場合でも  $360 \text{ g/m}^2 \cdot 24\text{h}$  となる。よって、それらを上回る透湿度が要求されるが、表-1に示したとおり、ガス透過性防水シートの透湿度は十分大きい。

表-1 ガス透過性防水シートの主要性能<sup>10)</sup>

項目	引張強さ (kN/m)		伸び率 (%)		引裂強さ (N)		貫入抵抗 (N)	耐水度 (kPa)	透湿度 (g/m <sup>2</sup> ・24h)
	たて	よこ	たて	よこ	たて	よこ			
品質保証値	24 以上	18 以上	60 以上	60 以上	185 以上	220 以上	600 以上	220 以上	3000 以上
試験方法	JIS L 1908				JIS L 1096		ASTM D 4833	JIS L 1092 (高水圧法)	JIS L 1099 (A-1法)

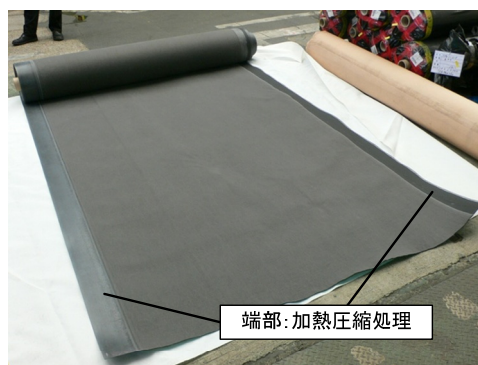
## (2) 特長

ガス透過性防水シートを実際の現場で敷設する際には、シート同士の接合が不可欠である。よって、敷設面全体での遮水性を確保するためには、シート端部同士の接合部における遮水性が最も重要となる。また、接合部の力学強度も要求される。

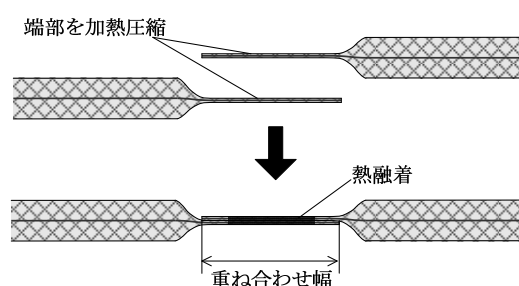
ガス透過性防水シートの最大の特長は、接合部においても遮水性および力学強度を確保できる点にある。前述のとおり、ガス透過性防水シートは、遮水性を有する微多孔膜の上下に透水性の不織布を配した構造となっている。したがって、接合部での遮水性を確保するためには、不織布の空隙を閉塞させ、その面内方向の通水を遮断する必要がある。そこで、本シートにおいては、PET/PE 芯鞘繊維製の不織布を採用し、**図-2** および **図-4** に示すとおり、工場でのシート製造段階で端部に特殊な加熱圧縮処理を施し、芯鞘繊維の PE 部分（鞘部分）を選択的に溶融・固化させることで、あらかじめ不織布層の空隙を潰して面内方向への通水を遮断できる構造とした。

この端部同士を熱融着接合することで (**図-5**)、ガス透過性防水シートにおいては、遮水性が確保された強固な接合部が実現できる。すなわち、100 cm 水頭下でも接合部の遮水性を確保できること、そのような接合部においては、接合部強さ（接合方向に対し垂直方向の引張りせん断強さ）が母材の引張強さの 90%以上となることが確認されている<sup>9)</sup>。

さらに、本シートは、工場での熱融着接合による広幅加工が可能であり、これを折り畳むことも可能である。**図-6** に工場での広幅加工状況を示す。また、**図-7** は幅 9.6 m、長さ 25 m に広幅加工されたシートを折り畳んだ状態の荷姿であり、コンパクトに畳んで工場から出荷することができる。



**図-4** 端部が加熱圧縮処理されたガス透過性防水シート



**図-5** 熱融着接合部の断面模式図



**図-6** 工場での広幅加工状況



**図-7** 広幅加工後に折り畳まれたガス透過性防水シート(梱包済)

### 3. 屋外実証実験の概要

我々はこれまで各種の実験を行い、ガス透過性防水シートのキャッピング工法への適用性について検討してきた<sup>3)-9)</sup>。以下では、それらのうち3つの屋外実証実験、すなわち、ガス透過性実証実験、斜面安定性実証実験、施工耐性実証実験の概要を示す。

### (1) ガス透過性実証実験<sup>4)</sup>

覆土下にガス透過性防水シートを敷設し、シート下側の土層に窒素を導入した際の、下側土層および覆土内の酸素体積分率の経時変化を測定することで、シート下側から覆土側へのガスの透過性を評価した。図-8 に実験断面の模式図を、図-9 に実験状況をそれぞれ示す。

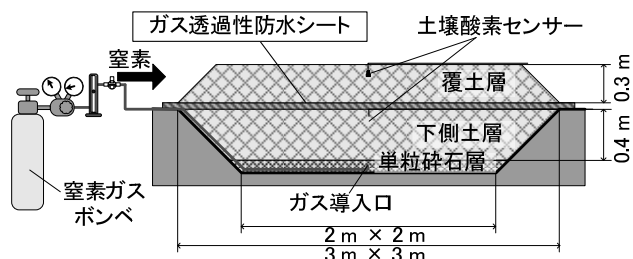


図-8 ガス透過性実証実験の断面模式図



図-9 ガス透過性実証実験の状況

実験の結果、シート下側のみでなく覆土層においても酸素体積分率が経時で低下することが確認され、覆土下にあっても、本シートを介してガスが透過することが実証された。

### (2) 斜面安定性実証実験<sup>7),9)</sup>

ガス透過性防水シートは遮水性を有するので、斜面部に適用する場合、覆土との界面でのすべりが懸念される。そこで、勾配が 1:2 の屋外実験斜面にガス透過性防水シートおよび覆土を設置し、その斜面安定性を長期間確認した。また、覆土内およびシート下側の模擬基層の体積含水率も併せて計測した。図-10 に実験時の状況を示す。



図-10 斜面安定性実証実験の状況

実験の結果、降雨に伴って覆土内の含水比が一時的に上昇しても、勾配 1:2 の斜面部において、ガス透過性防水シートおよび覆土の安定を確保できることが実証された。また、降雨時には覆土内に水が浸透するが、シート下側への漏水は認められず、降雨等の履歴を受けても、本シートの遮水性が土中でも長期間正常に機能していることが確認できた。

なお、施工より 3 年経過時に、覆土を掘り返してガス透過性防水シートを採取し、その基本性能（遮水性、ガス透過性、力学特性）を確認したが、初期性能を維持していることが確認された。

### (3) 施工耐性実証実験<sup>3)</sup>

実際の現場での施工時には、ガス透過性防水シートに礫材等が強く押し付けられることで、微多孔膜が破損して遮水性が低下することが懸念される。そこで、図-11 に示すように、碎石等を含む様々な条件で土中に実際にシートを敷設し、その上を所定条件で重機走行させた後、シートを取り出し、その遮水性を評価した。その結果、単位面積あたりの質量が 300 g/m<sup>2</sup> 程度



図-11 施工耐性実証実験の状況

以上の厚手の不織布で保護することで、施工耐性が確保できることがわかった。

#### 4. 除染廃棄物仮置場の上部シートへの適用事例

1. で述べたとおり、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福島県で実施工されている。ここでは福島県内での2つの適用事例の概要を紹介する。

ガス透過性防水シートが適用された除染廃棄物仮置場の施工状況を図-12および図-13に示す。事例では、平坦部のみならず斜面部を掘削して除染廃棄物仮置場が造成された。したがって、シートは、現場の形状やサイズに合わせて、工場で広幅加工され、折り畳まれた状態で搬入、現場で展張、敷設された。

ここで、除染廃棄物仮置場の施工においては、作業者の被ばく線量を低減・管理することが非常に重要である。これに対し、上述のように、本シートは、現場での敷設サイズに合わせてあらかじめ工場で広幅加工し、大面積化した状態で現場に搬入できる。加えて、本シートの単位面積あたりの質量は一般的な遮水シートと比べて1/3～1/4程度と軽量である。したがって、ガス透過性防水シートを用いることで、遮水シートよりも敷設作業に要する時間を大幅に短縮することが可能であり、優れた現場作業性、施工性を示す。



図-12 ガス透過性防水シートが適用された  
除染廃棄物仮置場の施工状況 (1)



図-13 ガス透過性防水シートが適用された  
除染廃棄物仮置場の施工状況 (2)

#### 5. おわりに

廃棄物最終処分場閉鎖時のキャッピングや不法投棄された廃棄物の封じ込めに用いるガス透過性防水シート、ならびにこれを用いたキャッピング工法を開発した。ここでは詳細を示さなかったが、本工法は岐阜県内で不法投棄された産業廃棄物の対策工事において実施工に供されている。

また、ガス透過性防水シートの遮水性とガス透過性ならびに最大の特長である接合部の高度な遮水性により、除染廃棄物仮置場の上部シートとして採用された。本シートは、その性能、特長に加え、遮水シートに比べて軽量であることや、工場での広幅加工により大面積化された状態で現場に搬入できるなど、現場作業性にも優れる。

東日本大震災からの復興において、除染は極めて重要かつ喫緊の課題である。廃棄物最終処分場の閉鎖や不法投棄された廃棄物の封じ込めのみならず、ガス透過性防水シートの除染廃棄物仮置場への適用は、今後ますます増大するものと考えられる。

## 謝辞

ガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法は、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キャッピング工法グループ〔ユニチカ(株)、東洋紡(株)、錦城護謨(株)、ダイワボウプログレス(株)、太陽工業(株)、(株)田中、(株)大林組、(株)鴻池組、(株)浅沼組、(株)奥村組、鳳コンサルタント(株)、(一財)地域地盤環境研究所〕との共同開発工法である。本研究開発に多大なご協力を頂きました同グループのメンバー各位に深謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 国際ジオシンセティックス学会日本支部 ジオメンブレン技術委員会：ごみ埋立地の設計施工ハンドブックーしゃ水工技術ー，オーム社，pp. 119-122，2000.
- 2) 廃棄物最終処分場跡地形質変更に係る基準検討委員会：最終処分場跡地形質変更に係る施工ガイドライン，環境省，pp. 3.52 -3.53，2006.
- 3) 西村正樹，赤井智幸，和田昭太，楠部義夫，嘉門雅史：廃棄物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.
- 4) 西村正樹，赤井智幸，和田昭太，楠部義夫，浅田毅，嘉門雅史：土中に敷設された廃棄物最終処分場キャッピング用複合シートのガス透過性実証実験，ジオシンセティックス論文集，第 22 巻，pp. 133-138，2007.
- 5) 西村正樹，赤井智幸，嘉門雅史：廃棄物最終処分場キャッピング用ジオコンポジットの摩擦特性評価，ジオシンセティックス論文集，第 23 巻，pp. 247-252，2008.
- 6) 西村正樹，赤井智幸，嘉門雅史：廃棄物最終処分場キャッピング用ジオコンポジットにおける不織布の保護性能，*Journal of Textile Engineering*，Vol. 55，No. 5，pp. 129-137，2009.
- 7) 西村正樹，赤井智幸，和田昭太，新開千弘，浅田毅，嘉門雅史：廃棄物最終処分場キャッピング用ジオコンポジットの斜面部への適用に関する研究，ジオシンセティックス論文集，第 24 巻，pp. 31-36，2009.
- 8) 西村正樹，赤井智幸，嘉門雅史：廃棄物最終処分場キャッピング用ジオコンポジットの引張り変形時における遮水性評価，ジオシンセティックス論文集，第 25 巻，pp. 241-246，2010.
- 9) 西村正樹，赤井智幸，嘉門雅史：ガス透過性防水シートの耐久性評価および接合部性能評価，ジオシンセティックス論文集，第 27 巻，pp. 47-54，2012.
- 10) 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.
- 11) 環境省：平成 25 年 除染等工事共通仕様書，第 4 版，2013.
- 12) 環境省：廃棄物関係ガイドラインー事故由来放射性物質により汚染された廃棄物の処理等に関するガイドラインー，第 2 版，2013.
- 13) 総理府令・厚生省令：一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部を改正する命令，第 1 条 2 十七，1998.
- 14) 田中信壽：環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理，技報堂出版，pp.75-76，2000.