

8. 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

Characteristics on Hybrid Geosynthetics for Capping of Landfill Site

塩浜 圭治*¹

要 旨

廃棄物最終処分場の閉鎖時のキャッピング材料として、ガス透過性と遮水性を併せ持ち、施工耐久性を有するジオシンセティックス材料の開発が求められている。多孔質フィルムと不織布から成る複合シートを新たに開発し、キャッピング材料としての適用を検討した。本報では、この複合シートのガス透過性、施工耐久性、斜面適用性について屋外フィールドで実施した実証実験について報告する。実証実験の結果、開発した複合シートはキャッピング材料として適用が可能であることが確認できた。

キーワード：廃棄物最終処分場／キャッピング／遮水性／ガス透過性／施工耐久性／斜面適用性

1. はじめに

埋め立てが終了した廃棄物最終処分場（以下、「処分場」と呼ぶ）の閉鎖時には、従来、微生物による廃棄物の分解効果や降雨による汚染物質の洗い出し効果を利用して処分場の安定化を促進するため、ある程度の透水性を有する材料が用いられてきた。しかしながら、近年では、減量化のために一般廃棄物の焼却が進み、微生物による分解よりも重金属等の浸出防止に重点が移りつつある。そのため、浸出水による環境汚染リスクおよび浸出水の処理コストを低減でき、処分場への水の浸透を抑制し廃棄物を安全に封じ込むことができるキャッピング工法が求められている。

処分場においては、貯留した廃棄物から、二酸化炭素、メタン、窒素酸化物、硫化水素等のガスが発生するため、ガスを系外に排出するためのガス抜き設備が設置されている。しかし、ガス抜き設備の維持・管理にはコストを要するため、発生ガスの放散をある程度抑制しつつ、発生ガスを系外に排出する機能を持ったキャッピング材料が必要とされている。

そこで、ジオシンセティックス技術研究会 キャッピングワーキンググループでは 2005 年より、キャッピング材料として多孔質フィルムと不織布から構成される複合シートの開発を進め、室内実験および実証実験による機能評価を行ってきた。本報ではこれまでにに行った実証実験の概要について述べる。

2. キャッピング用複合シートの構造

ガス透過性と遮水性を併せ持つ多孔質フィルムをキャッピング材料として用いるには不織布によって保護し、施工耐久性を付与する必要がある。本研究では、多孔質

フィルムとポリエステル系不織布を接着剤で貼り合わせ、積層・複合化させた複合シートを試作し、その機能評価を実施した。複合シートの構造を写真-1 に示す。

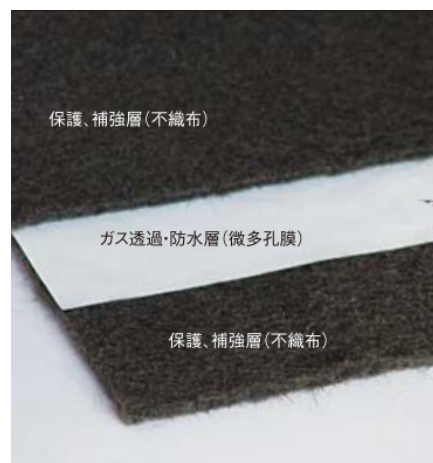


写真-1 複合シートの構造

3. 実証実験

3.1 ガス透過性実験

(1) 実験方法

廃棄物最終処分場のキャッピングの場合、複合シート上部に保護土層(覆土)が設置されるため、複合シートに保護土層が敷設された状態でのガス透過性を検証した。実証実験の断面模式図を図-1 に示す。

屋外にてモデル層を造成した。最下層に単粒碎石を、次いで現場盛土を地表面まで敷設した（下側土層）後、表面を複合シートで覆った。さらに、複合シートの上部には、層厚 0.3m の覆土（上側土層）を設けた。ただし、底面および側面には遮水シートを敷き、基礎地盤へのガスの漏出を防止した。同様にガスの漏出を防止するため

*¹ 技術研究所環境・生産研究グループ

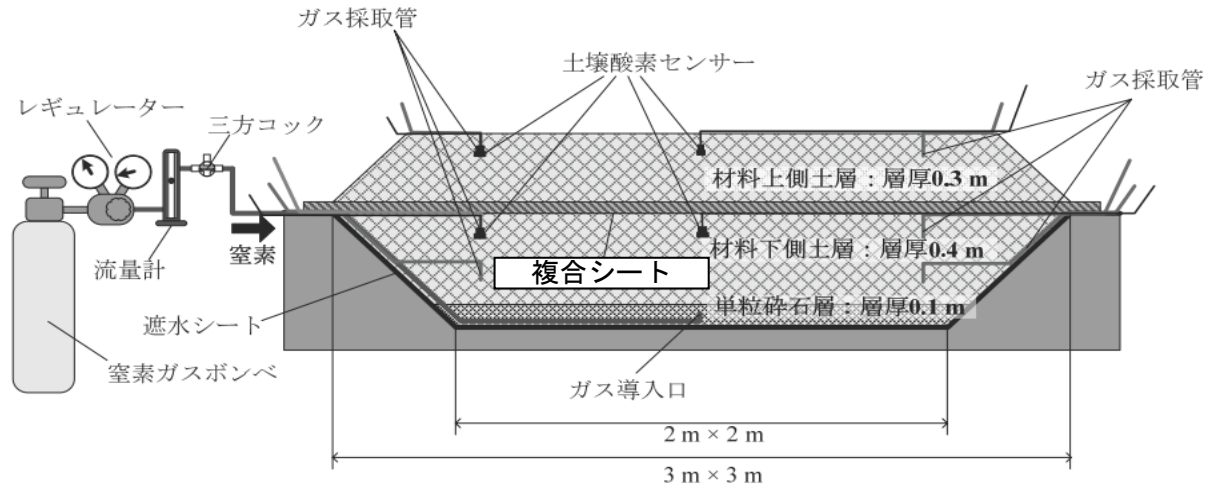


図-1 屋外モデル実験断面模式図

に下側土層上面の外周と配管・センサー設置位置周辺に粘土を塗布した。造成の状況を写真-2に、実験状況を写真-3にそれぞれ示す。

単粒碎石層中央部から窒素を導入し、土壌酸素センサーおよびガス検知管を用いて、敷設材料の上下の土層における酸素体積分率(窒素置換率)を計測した。計測位置を図-2に示す。窒素の供給流量は $8.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ とした。複合シートを設置した場合、土層のみの場合の2つのケースについて測定を行った。

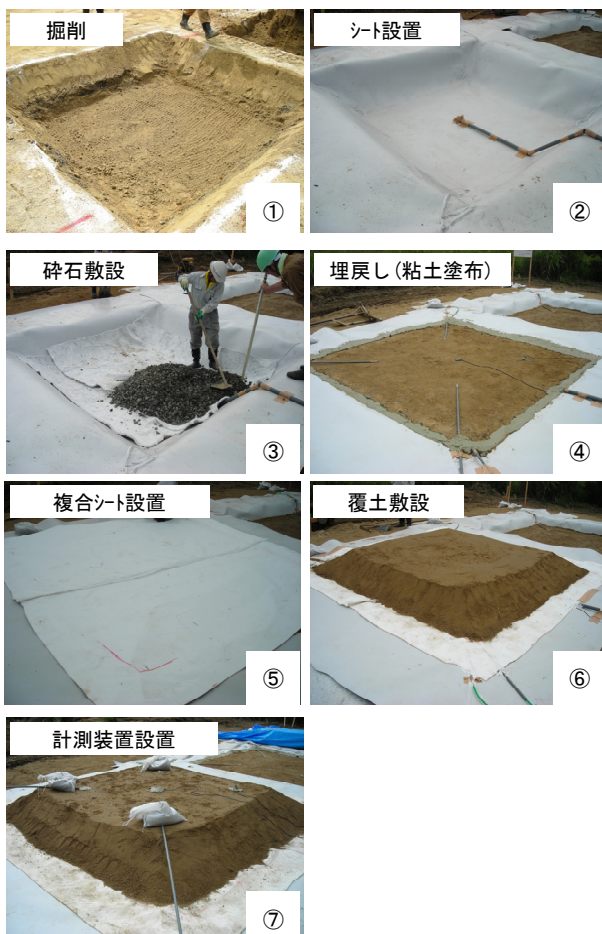


写真-2 ガス透過性実験 造成状況



写真-3 ガス透過性実験状況

(2) 実験結果

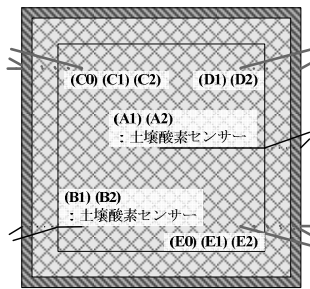
覆土条件化でのガス透過性実験により、土中に複合シートを敷設し、複合シートの下側の土層に窒素を導入したところ、時間的な差はあるものの、土層のみの場合と同様に複合シート上側土層における窒素置換率が経時で増加した。窒素置換率測定結果を図-3、図-4に示す。したがって、複合シートは土中に敷設された状態においてもガス透過性を有していることが実証された。

また、複合シートの透気係数に関する試算の結果から、土中に敷設された状態でも、土層のみの状態と比べて遜色のないガス透過性を示すと推測された。

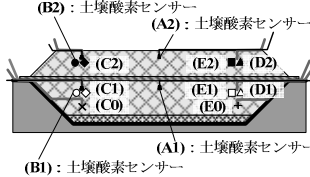
この結果から、多孔質フィルムと不織布から構成される複合シートは、土中に敷設されてもガス透過性を発現することが確認された。そのガス透過性は、廃棄物最終処分場のキャッピング用途にも適用可能であると考えられる。ただ、複合シート上部に設置される覆土の飽和度が高くなると、覆土層内でのガスの移動性が低下するので、実際に廃棄物最終処分場の最終カバー層に適用する際には、覆土層の勾配や排水を適切に設定し、最終カバー層全体としてのガス透過性を確保する必要がある。

複合シート設置

【上面図】

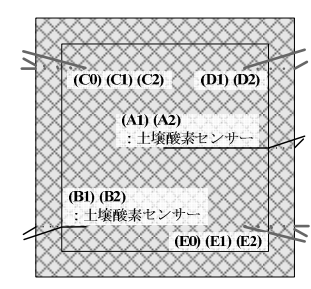


【側面図】



複合シート設置無し

【上面図】



【側面図】

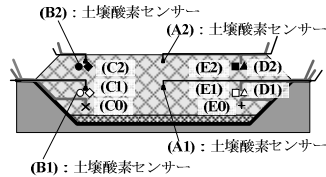


図-2 土壌酸素センサー設置位置図

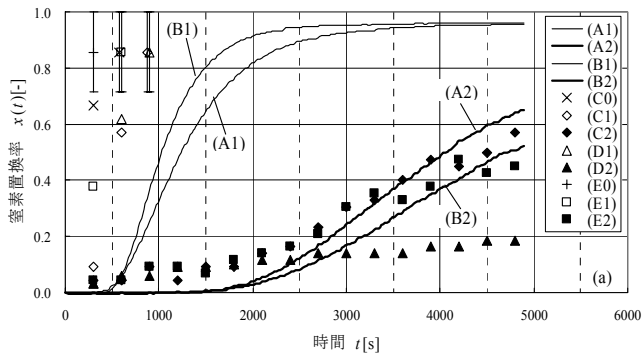


図-3 窒素置換率経時変化(複合シート設置)

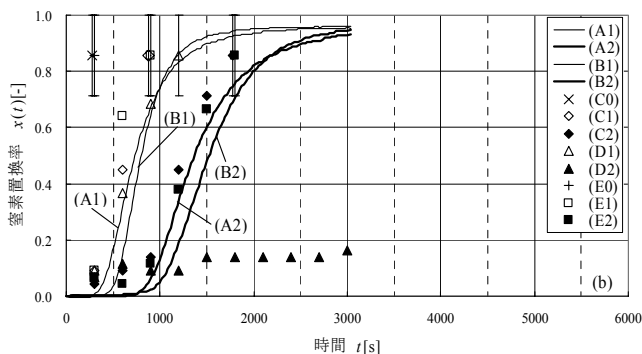


図-4 窒素置換率経時変化(複合シート設置なし)

3.2 施工耐久性の確認

(1) 実験方法

廃棄物最終処分場のキャッピング用途への適用を想定した種々の条件下で施工耐久性実証実験を行った。複合シート上部に覆土層を設け、覆土上を重機走行させた後、複合シートを回収した。施工耐久性の評価は、回収した複合シートの損傷状態を目視で確認するとともに、耐水

度を測定し、事前に行った基本性能評価での耐水度と比較することで評価した。複合シートの構成および実験条件一覧表を表-1に示す。

基礎地盤としては、転圧した真砂土、転圧せずに撒き出しただけの真砂土、RM-30 砕石、RC-40 砕石の4種とし不陸整形の後、その上に複合シートを敷設した。次に、ブルドーザ (6.0×10^3 kg) およびバックホウ (0.7 m^3 級) を用いて材料の上部に2層に分けて覆土を撒き出し、各層毎にブルドーザ (6.0×10^3 kg) および振動ローラー (4.0×10^3 kg) で転圧した。覆土層厚は0.5 mとした。その後、覆土上をバックホウ (0.7 m^3 級) および土砂積載状態のダンプトラック (11.0×10^3 kg) を走行させることで、施工時を模した負荷を与えた。実験は2度に分けて実施し、実験①の試料には、多孔質フィルムの上下の保護層の構造を変化させた複合シート2種類、実験②では6種類の計8種類を用いた。実証実験模式図(実験①)を図-5に、実験状況(実験②)を写真-4に示す。

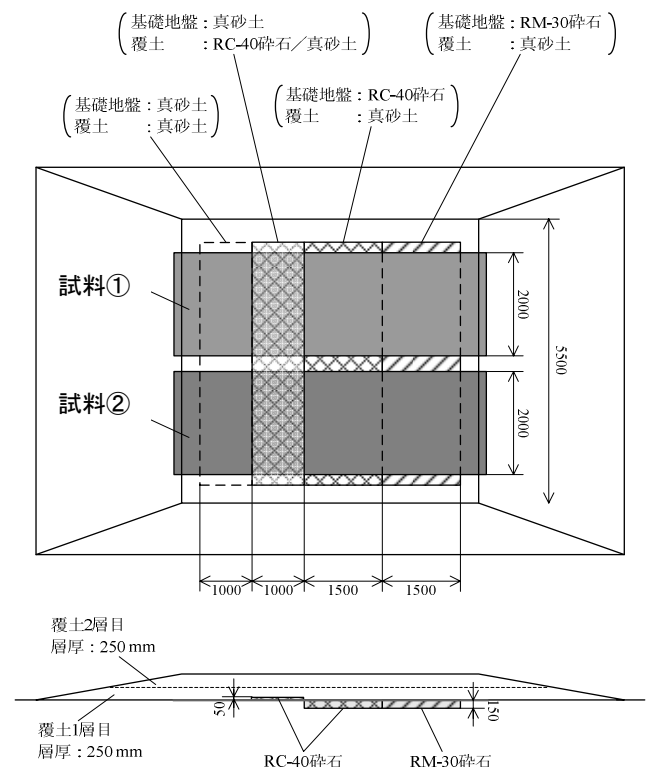
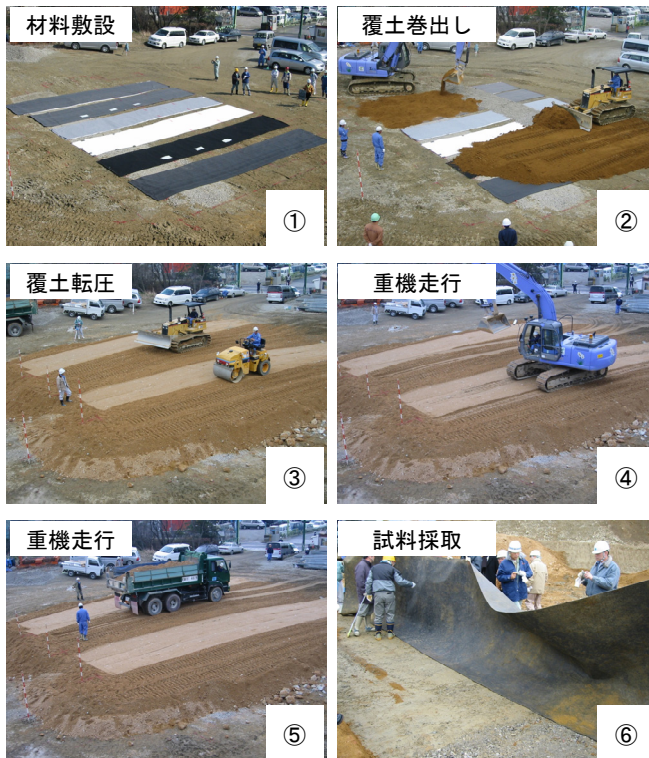


図-5 施工耐久性実験模式図(実験①)



写真－4 施工耐久性実験状況（実験②）

(2) 実験結果

回収した複合シートの耐水度実験の結果を表－1 に示す。多孔質フィルム上下面の保護層の違いにより、実験前後の耐水度に差が生じた。施工時の負荷が作用した場合でも、複合シートの遮水性を保持するためには、少なくとも多孔質フィルムの片面を、単位面積あたりの質量が 300 g/m^2 程度の不織布で保護する必要がある。

また、複合シートの上部に RC-40 碎石を敷設した場合、施工時の負荷によって遮水性が低下しやすくなる傾向がみられた。碎石の尖端が複合シートに接触し、応力が集中するとともに、隣接する碎石が存在することで複合シートが拘束され、面内方向の二軸伸長的な変形が抑制されるためと考えられる。

各施工条件において複合シートに加わる応力の分布を感圧シートを用いて計測した結果、局所的に高い応力が検出された。不陸の影響や碎石の存在によって、複合シートの覆土との接触面において応力が集中的に加わる部分が発生したためと考えられる。

表－1 複合シート構成、実験条件および耐水度試験結果

複合シート材料		構成		実験条件					耐水度(kPa)			
		保護層上面	保護層下面	基礎地盤	覆土層	覆土巻出	転圧	重機走行	施行前	施工後		
実験①	試料①	ニードルパンチ 長繊維 (300)	多孔質樹 脂フィ ルム	ニードルパンチ 長繊維 (300)	RM-30碎石	真砂土	バックホウ 0.7m3級	バックホウ 0.7m3級	バックホウ 0.7m3級 および ダンプトラック 11.0×10 ³ kg級	471	432	
					RC-40碎石	真砂土					446	
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石					461	
					真砂土(転圧有)	真砂土					462	
	試料②	ニードルパンチ 短繊維 (330)	多孔質樹 脂フィ ルム	ニードルパンチ 短繊維 (330)	RM-30碎石	真砂土					255	235
					RM-40碎石	真砂土						230
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石						235
					真砂土(転圧有)	真砂土						255
実験②	試料③	ヒートボンド 長繊維 (150)	多孔質樹 脂フィ ルム	ニードルパンチ 長繊維 (300)	RM-30碎石	真砂土	ブルドーザ 片押し	ブルドーザ 6.0×10 ³ kg	バックホウ 0.7m3級	480	463	
					RM-40碎石	真砂土					450	
					真砂土(転圧有)	真砂土					476	
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石					490以上	
	試料④	ニードルパンチ 長繊維 (300)	多孔質樹 脂フィ ルム	ヒートボンド 長繊維 (70)	RM-30碎石	真砂土		ブルドーザ 振動ローラ		ブルドーザ	148	175
					RM-40碎石	真砂土						102
					真砂土(転圧有)	真砂土						141
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石						0
	試料⑤	ヒートボンド 長繊維 (150)	多孔質樹 脂フィ ルム	ヒートボンド 長繊維 (150)	真砂土(転圧無)	真砂土		ブルドーザ		振動ローラ 4.0×10 ³ kg	121	116
					RM-30碎石	真砂土						32
					RM-40碎石	真砂土						143
					真砂土(転圧有)	真砂土						22
	試料⑥	ニードルパンチ 短繊維 (360)	多孔質樹 脂フィ ルム	ニードルパンチ 短繊維 (360)	真砂土(転圧有)	RC-40碎石	バックホウ 0.7m3級	ブルドーザ 6.0×10 ³ kg	ダンフトラック 11.0×10 ³ kg級	126	0	
					真砂土(転圧有)	真砂土					22	
					真砂土(転圧有)	真砂土					30	
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石					39	
	試料⑦	ニードルパンチ 長繊維 (300)+ヒートホ ント長繊維 (150)	多孔質樹 脂フィ ルム	ニードルパンチ 長繊維 (300:2層)	真砂土(転圧無)	真砂土		ブルドーザ		ブルドーザ	480	27
					RM-30碎石	真砂土						36
					RM-40碎石	真砂土						462
					真砂土(転圧有)	真砂土						451
	試料⑧	ニードルパンチ 長繊維 (300)	樹脂加 工織 物	ニードルパンチ 長繊維 (300)	真砂土(転圧有)	RC-40碎石		ブルドーザ		振動ローラ 4.0×10 ³ kg	22	441
					真砂土(転圧有)	真砂土						431
					真砂土(転圧有)	真砂土						471
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石						18
					真砂土(転圧無)	真砂土						17
					RM-30碎石	真砂土						18
					RM-40碎石	真砂土						12
					真砂土(転圧有)	RC-40碎石						18

() 内数値は単位面積あたりの質量 (g/m^2) を示す

3.3 斜面適用性の確認

(1) 実験方法

実際の斜面に複合シートおよび覆土を敷設して、複合シートの斜面適用性実証実験を行い、自然環境に長期間暴露した状態で斜面安定性を評価するとともに、複合シートの上側および下側の土中に土壌水分センサーを設置し、体積含水率の経日変化について調べた。図-6に斜面適用性実証実験の模式図を示す。また、実験状況を写真-5に示す。試料には、事前に行った室内摩擦実験の結果から選別した、複合シート5種(記号:GC-3、GC-5、GC-5-a、GC-5-b、GC-8)を用いた。5種の試料断面模式図を図-9に示す。勾配1:2.0の粘性土斜面上に5種類の複合シートを敷設し、その上には、板状水平排水材を斜面に沿って1.5 m 間隔で6本配置した。さらに、その上部に層厚0.5mの覆土を設けた。また、斜面肩部の粘性土を掘削して溝を作製し、溝の壁面に沿って複合シートを敷設した後、掘削した土を埋め戻し、複合シートを固定した。

なお、斜面中央の複合シート下部および上部には、土壌水分センサー(記号:U1~3、L1~3)を設置した。土壌水分センサーの設置位置を図-7に示す。また、覆土とともに塩化ビニル管を複合シートの上面に設置し、観測孔(記号:A1~3、B1~3)として用いた。変位量計測模式図を図-8に示す。覆土の締固め度は85%となるように重機にて締固めを行った。

また、本実験で用いた5種類の複合シートは、それぞれ、覆土と接触する不織布の表面状態が異なっているため、これらの端部同士を熱融着法によって接合することは困難である。そこで、図-10に示すように、ブチルゴムテープで各複合シートの端部同士を接合した。なお、材料の端面にはシリコン系のコーキング材を塗布し、複合シートの不織布層に水が浸透しても、接合部から複合シートの下側に水が浸透しないように処置した。

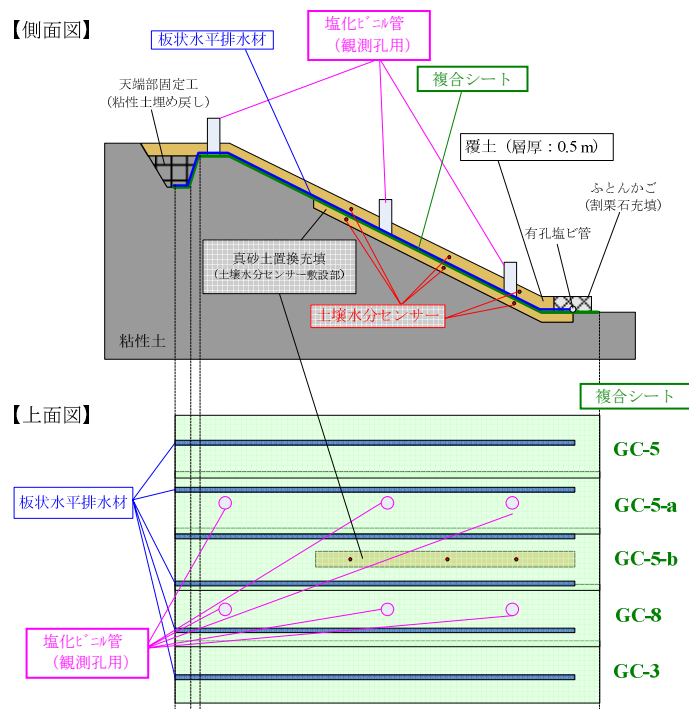


図-6 斜面適用性実験模式図



写真-5 斜面適用性実験状況

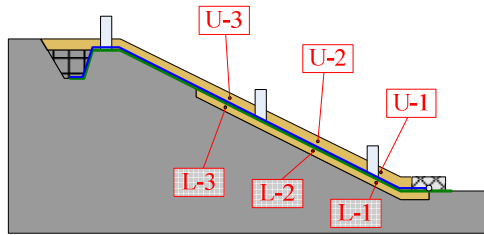


図-7 土壌水分センサー設置位置図

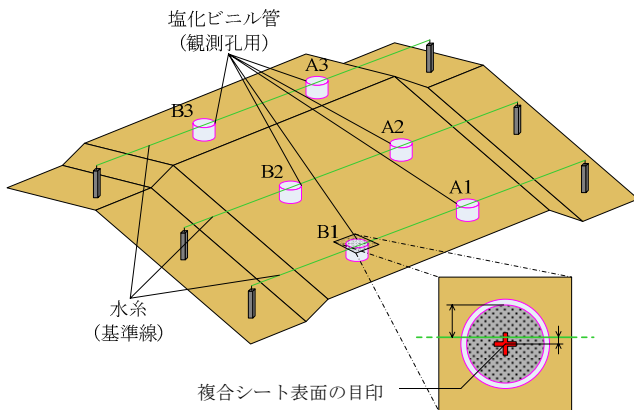


図-8 変位量計測模式図

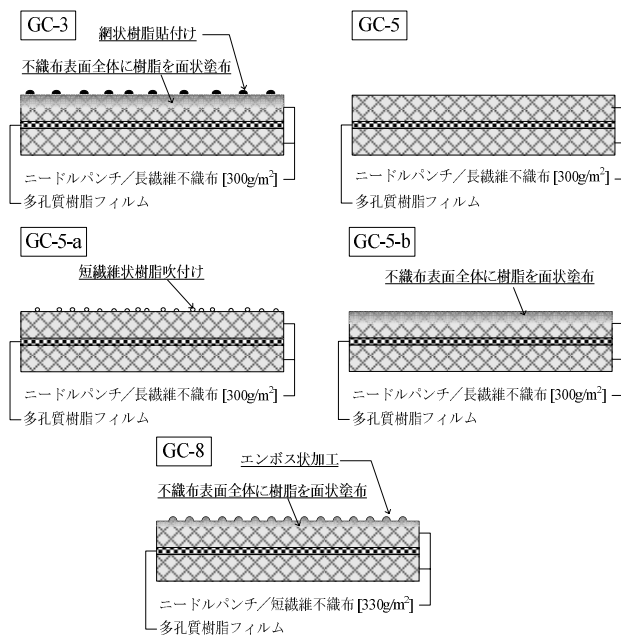


図-9 試料断面模式図

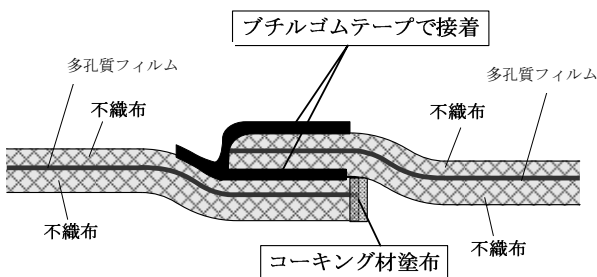


図-10 ブチルゴムテープによる複合シート接合

(2) 実験結果

観測孔を利用した覆土および複合シートの水平方向の移動量計測では、施工後約 150 日経過時点でも全ての計測箇所において変位量は 5mm 以内であった。A2 地点での変位量計測結果を図-11 に示す。屋外での計測であり、風等の影響によって測定誤差が発生し得ることを考慮すると、複合シートおよび覆土の移動量は、実質的にゼロとみなせると考えられる。したがって、この実験斜面において、複合シートおよび複合シートの上部に敷設された覆土は、自然環境下に長期間暴露されても、すべりに対する安定性を有していることが確認された。

実験施工完了後 (2008 年 7 月 16 日) から 2008 年 12 月 31 日までの、168 日間の各土壌水分センサー設置箇所における体積含水率の継続計測結果を図-12 に示す。また、実験斜面付近 (北方 1.2 km) に位置する雨量計測地点における時間雨量データを図-13 に示す。実験施工完了以降、覆土の体積含水率の日内変動や、模擬基層における体積含水率の漸増を除けば、ほぼ順調に体積含水率の推移が確認できていると考えられたが、観測開始後 38 日に最大で時間雨量 15mm/h の降雨が観測された直後に、模擬基層側のセンサーから出力される電圧が異常上昇した。また、その後、模擬基層側に設置したセンサー、特に L-3、L-1 において、出力電圧の特異的な変動が観測されたため、図-12 中に示す対策を行ない、観測開始後 106 日目に計測系を正常状態に復旧させた。

復旧以降の計測データから、覆土側では、降雨の度に体積含水率が急激に上昇し、その後低下する挙動を繰り返すが、模擬基層側では体積含水率が少しずつ低下する現象が観測された。このことから、土中での複合シートの遮水性が確認されるとともに、わずかではあるが、模擬基層内の水分が複合シートを透過して蒸散していると

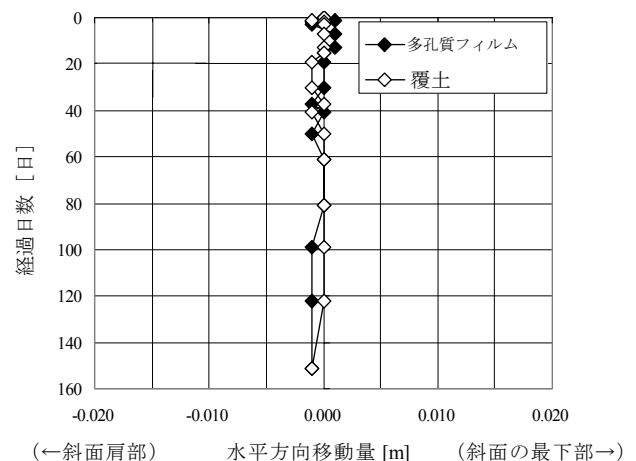


図-11 変位量計測結果 (A2 地点)

推測された。また、体積含水率は斜面の下側の方が高くなる傾向が得られた。

なお、復旧以前は覆土側の体積含水率が日内で変動していたが、覆土側センサーを地表面から 20 cm の深さに埋め直した後は、日内変動はほとんど観測されなかった。当初、覆土側のセンサーは地表面から 12~13 cm の深さに設置していたために、日射による覆土内の温度変化や、それに伴うセンサー表面での水蒸気の凝結等の影響を受けやすくなっていたと推測される。

実際に廃棄物最終処分場の最終カバー層に複合シートを適用する場合には、各現場によって状況や環境が異なるので、それらの条件に応じて斜面部の設計を行う必要がある。

4. まとめ

本報では、ガス透過性と遮水性を併せ持つ多孔質フィルムと不織布から成る複合シートについて、廃棄物最終処分場のキャッピング用途への適用時に必要となる種々の性能を示し、複合シートが廃棄物最終処分場のキャッピング用途に十分適用可能であることを明らかにした。

複合シートは、従来のシート系キャッピング材料とは異なるユニークな材料であり、廃棄物最終処分場の閉鎖時のキャッピング材だけでなく、環境地盤工学に関連する用途を中心に、他用途への展開、適用の可能性があると考えている。

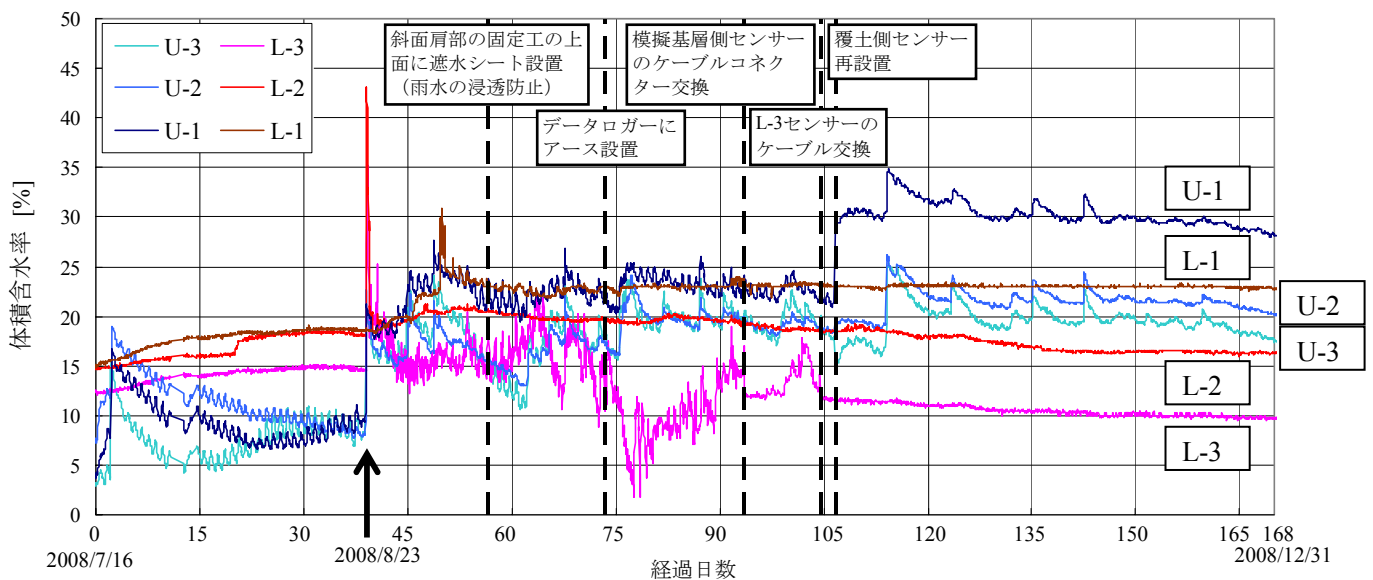


図-12 体積含水率の計測結果

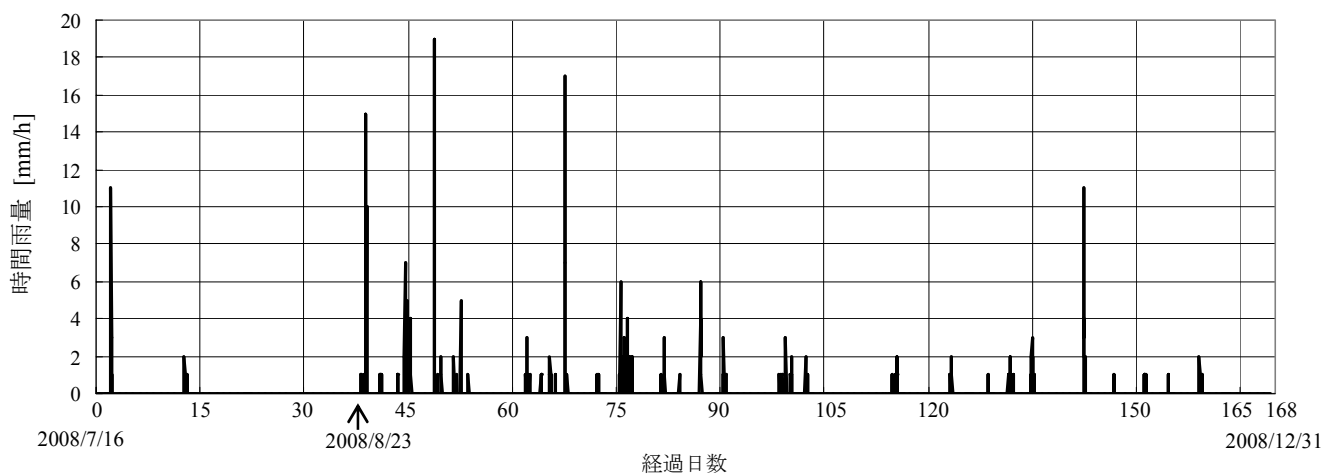


図-13 実験斜面付近の時間雨量データ

[謝 辞]

本報はジオシンセティックス技術研究会キャッピングワーキンググループでの活動により得られたものであり、本報の作成にあたっては、大阪府立産業技術総合研究所西村正樹氏に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

[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) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.