

# 非ハロゲン素材による 高分子系のり面防護シートの開発

矢口 直幸\* 間々田 祥吾\* 鈴木 実\*  
梶尾 孝之\*\* 三吉 正英\*\*

Development of the Protection Sheet for Embankment Slopes Using Non-halogen Materials

Naoyuki YAGUCHI Shogo MAMADA Minoru SUZUKI  
Takayuki MASUO Masahide MIYOSHI

In Railway Technical Research Institute, a polymeric sheet, which can prevent the luxuriant growth of weeds and the collapse of embankments by the osmosis of rain water, was developed. And it has been used at many places. However, it is problematic to use the sheet made from halogen materials which generate toxic substances when the sheet is burnt for disuse. Recently, due to this problem, the manufacture of the sheet has been difficult. Therefore, we developed a new protection sheet using non-halogen materials.

キーワード：盛土、のり面工、高分子、材料、防護

## 1. はじめに

盛土のり面への雨水などの浸透による盛土耐力の低下、浸食を防止する保護工としてのり砕工、ブロック工、植生工が用いられている。しかし、のり砕工およびブロック工は部材が重量物であり、施工性や地震時における耐震性に課題を有する。植生工では単一植物の維持管理が困難であり、煙草の投捨てや沿線火災に伴う飛び火による火災、害虫の発生及び除草剤散布に伴う環境汚染が懸念される。これらを背景に鉄道総研では、盛土への雨水の浸透、浸食、雑草の繁茂を防止する高分子系遮水防草シート<sup>1)</sup>（以下、従来シート）を開発し、多くの現場で実用されてきた。しかし、シートの構成材としてハロゲン系化合物を含む素材（塩化ビニル、塩化ビニリデン）を用いていたため、焼却による廃棄処分の際に発生する有害物質が課題となり、製造が困難となった。しかしながら、軽量で施工性に優れた高分子系シートの有用性は依然として高い。特に除草作業は、近年の労働者の高齢化、労働者不足及び除草作業で発生した廃棄物の処理に多額の経費が必要となることから高分子系シートの必要性が高まっている。そこで、新たに非ハロゲン素材の試験及び選定結果を基に、廃棄時の環境負荷が小さい非ハロゲン素材による高分子系のり面防護シート（以下、防護シート）を開発した。本稿では、開発した防護シートの基本物性、耐久性及び施工性について報告する。

\* 材料技術研究部 防振材料研究室

\*\* (株)太陽工業 国土環境エンジニアリングカンパニー

## 2. 防護シートの要求性能

長期間屋外で使用される防護シートには、下述の性能が要求される。

- 1) 雑草等の成長により損傷（開穴）しない。
- 2) 雑草等に対し水、光の供給を遮断する。
- 3) 環境温度の変化に対して寸法安定性を有する。
- 4) 火災により延焼しない。
- 5) 耐久性（耐熱性、耐候性、耐アルカリ）に優れる。
- 6) 軽量柔軟で不陸に追従し、施工性に優れる。

## 3. 防護シートの構成

基本的な構成は、図1に示すように従来シートと同様の形態である。従来シートはパイル（芝）と遮水層にハロゲン系化合物を含む素材を用いていたが、本開発品ではパイル（芝）にナイロン製モノフィラメント、遮水層にはオレフィン系エラストマー（サーマルポリオレフィン（TPO（PP））樹脂、パイルを植毛するタフトベースには、片面アクリル樹脂コーティングポリエステル製不織布を用いた。さらに、防草性及び寸法安定性の向上を目的に、ポリエステル製織布を遮水層で挟んだ構造とした。また、各素材を一体化する容易な手法として接着剤を用いる方法がある。しかし、長期間の屋外使用に対して接着界面の剥離が懸念される。そこで、加工条件及び配合等の検討、試験を行い最適な諸条件を見出し、接着剤を用いることなく一体化する構成とした。

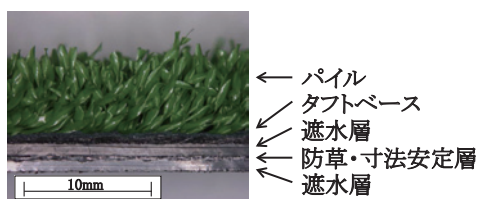


図1 防護シートの材料構成

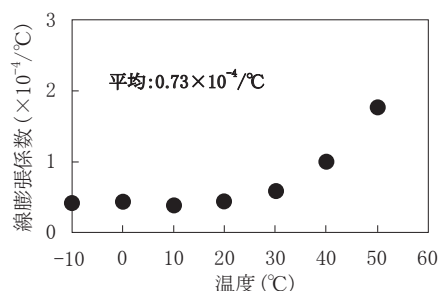


図3 線膨張係数測定結果

#### 4. 基本物性

##### 4.1 基本性能確認試験

##### 4.1.1 寸法安定性試験

屋外で使用される防護シートは、施工温度及び使用環境温度変化の影響を大きく受ける。気温の低い季節に施工を行った場合には、気温の高い季節に大きな皺や弛みが生じ、接合部に剥離が発生する（図2）。また、気温の高い季節に施工を行った場合、気温の低い季節には温度収縮に伴う張力が発生し、シートの破断、あるいは固定杭の抜けや弛みなどの発生が懸念される。そこで、開発品に対して線膨張率試験を実施し、寸法安定性の確認試験を行った。試験はJIS K7197「プラスチックの熱機械分析による線膨張率試験方法」に準拠し、熱機械測定装置を用い、-10～50℃までの線膨張係数（線膨張率）を測定した。測定は引張荷重法とし、昇温速度5℃/min、荷重200mN、窒素雰囲気（40ml/min）で実施した。



図2 皺，弛み及び剥離の発生状況

試験の結果、線膨張係数は図3に示すように雰囲気温度-10～30℃までは比較的安定した値を示したが、その後は急激に増加する傾向を示した。この要因の一つとして、TPO樹脂が30℃以上で軟化したため、試料に付加されている引張荷重により試料が伸ばされたものと考えられる。しかしながら、雰囲気気温度-10～50℃までの平均線膨張係数は $0.73 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ であり、のり面長さを10m、気温差60℃と仮定した場合でも、防護シートに発生する伸縮は約40mmと小さいことから、皺や弛み又は収縮に伴う破損は発生しないものと判断した。

##### 4.1.2 耐延焼性試験

防護シートには、煙草の投げ捨て及び沿線火災の発生に伴い飛来する火災物により、防護シートが延焼しないことが重要な要求性能となっている。そこで、火災物の飛来に対する延焼試験を実施した。

試験は、一般の盛土のり面（勾配：約35度）を模擬し、架台（設置面は耐火性石膏ボード）上に防護シート（幅600mm、長さ900mm）を設置し、図4に示す木製の火種に着火し、防護シート上に静置した後、扇風機で風速2m/secの風を送り火種が完全に燃え尽き、自然消火するまで放置した。

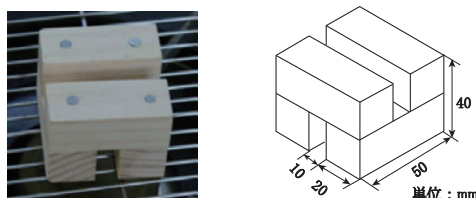


図4 木製火種

その結果、火種を静置直後にパイルは炭化し、その後、図5(a)に示すように火種の直下に炎が認められ、さらに火炎により上部のパイルが炭化した。しかし、図5(b)に示すように火種の自然消火に伴い、火種の下部に引火した炎も消火した。以上の結果から、沿線火災などに伴った火災物が飛来した場合、防護シートには火炎により開穴が発生するが、延焼しないことを確認した。

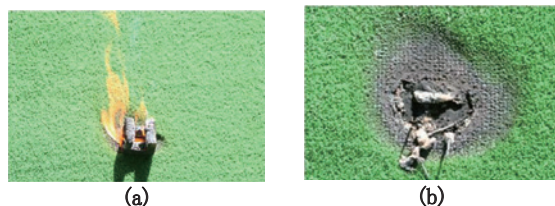


図5 延焼試験状況

##### 4.1.3 遮水性試験

盛土の耐力低下及び雑草の生育を防止する方法として、雨水の浸透を遮断することが重要である。そこで防護シートに対し、遮水性能試験を実施した。遮水性能試験には、図6に示す遮水性試験装置を用いた。試験は雰囲気気温度 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、付加水圧は15kPa（水位1.5m）とし、24時間静置した後、防護シートを透過してくる漏水の有無を防護シート下にセットした感水紙により確認した。

その結果、防護シートを透過して発生する漏水は確認

されず、十分な遮水性を有することを確認した。従って、盛土内部への雨水の浸透に伴う盛土耐力の低下、水の供給を遮断することによる雑草の生育防止効果を有していると判断した。

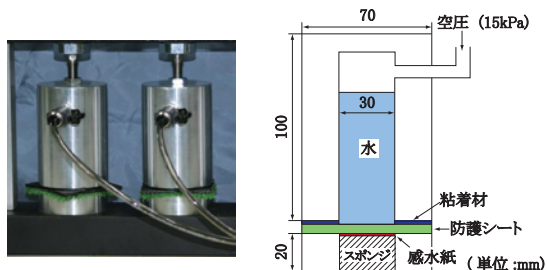


図6 遮水性試験装置

#### 4.2 耐久性試験

耐久性試験では、盛土のり面に防護シートを施工した際に想定される劣化要因に対し、以下の促進試験を行った後、耐久性を評価した。

##### (1) 促進熱老化試験

防護シートは、直射日光に晒されるため、夏期の温度上昇に伴う材料の劣化が懸念される。そこで、促進熱老化試験を実施した。促進熱老化には恒温槽を用い、 $70 \pm 2^\circ\text{C}$ の雰囲気中で20日、40日、60日及び80日間静置した。促進熱老化後、耐摩耗性、引張強度及び貫通抵抗力を評価した。

##### (2) 促進耐アルカリ性試験

コンクリートとの併用あるいは土壌改質材を用いた盛土に適用する場合、防護シートには耐アルカリ性を有することが必要であることから、水酸化カルシウム飽和水溶液浸漬による促進アルカリ性試験を実施した。

水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) 飽和水溶液の温度は  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  とし、20日、40日、60日及び80日間浸漬を行った。促進倍率は RRR 工法材料試験法<sup>2)</sup> に準拠し、常温を  $20^\circ\text{C}$  と仮定し8倍の促進効果があるものとした。浸漬後、引張強度及び貫通抵抗力を評価した。

##### (3) 促進耐候性試験

長期間屋外で使用する防護シートには、劣化要因として紫外線による材料の劣化が懸念され、耐候性が重要な性能の一つである。そこで、防護シートに対し促進耐候性試験機を用い、紫外線照射後、耐摩耗性、引張強度及び貫通抵抗力を評価した。試験は放射照度  $120\text{W}/\text{m}^2$ 、ブラックパネル温度  $63 \pm 3^\circ\text{C}$ 、表面への水噴霧サイクルは102分の照射後、18分の照射及び水噴霧の条件で紫外線を1500時間、3000時間、4500時間及び6000時間照射した。促進耐候性試験における促進倍率は、以下の通りとなる。

例えば照射時間1500時間分の紫外線（波長300～400nm）の積算エネルギーは(1)式で算出される。

$$W(120\text{W}/\text{m}^2) \times T(1500 \times 3600\text{s}) = 648\text{MJ}/\text{m}^2 \dots (1)$$

W: 放射照度, T: 照射時間

ここで、銚子における1年間（2004年）の紫外線（波長315～400nm）の積算エネルギーを挙げると、その値は約  $325\text{MJ}/\text{m}^2$  である<sup>3)</sup>。この値を用いて(2)式により、1500時間の相当年数を算出する。

$$\text{促進耐候性試験の積算エネルギー} (648\text{MJ}/\text{m}^2) / \text{銚子での積算エネルギー} (325\text{MJ}/\text{m}^2) = 1.99 \dots (2)$$

(2)式より、本試験で実施した1500時間の耐候性試験による積算エネルギーは、銚子での積算エネルギーの約2年分に相当すると考えられる。

#### 4.2.1 引張強度

JIS L1096「織物及び編物の生地試験方法」に準じ、引張強度試験を行った。試験には材料試験機を用い、引張速度  $100\text{mm}/\text{min}$ 、試験環境温度  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  における引張強度及び伸び率を測定した。試料は幅  $30\text{mm}$ 、チャック間隔  $200\text{mm}$  とした。

その結果、図7に示すように促進熱老化試験では著しい低下は認められず、80日後の引張強度が  $0.82\text{kN}/\text{cm}$ （初期値の96%）、伸び率24%（初期値の96%）を示し、十分な耐熱老化性を有していることを確認した。

促進耐アルカリ性試験では、図8に示すようにアルカリ性水溶液浸漬日数の経過に伴い、僅かずつ引張強度及び伸び率ともに低下する傾向を示し、浸漬80日（640日相当）で引張強度  $0.71\text{kN}/\text{cm}$ （初期値の84%）、伸び率が22%（初期値の88%）であった。アルカリ性水溶液浸漬に伴う引張強度及び伸び率の低下要因としては、防護シートを構成する防草・寸法安定層の素材にポリエステル製織布を用いているため、加水分解が進行したことによると考えられる。しかしながら、コンクリート及びアルカリ性改良土の表層部は、空気中の炭酸ガスあるいは降雨により1～2年程度で中性化が進むと考えられる。以上より、防護シートは、のり面における使用に対し、著しい物性の低下は発生することなく強度を維持するものと判断した。

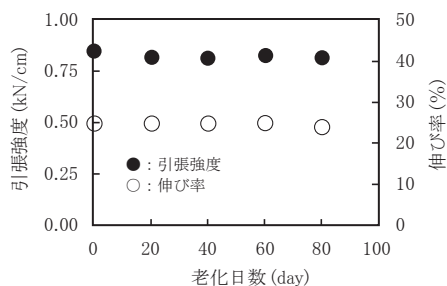


図7 促進熱老化試験に伴う引張強度及び伸び率の経時変化

促進耐候性試験では促進熱老化試験と同様に、図9に示すように、紫外線の照射に伴う引張強度、伸び率の低

特集：材料技術

下は認められず、6000時間照射後（約8年の紫外線量に相当）の引張強度は0.82kN/cm（初期値の96%）、伸び率25%（初期値の100%）を示し、高い耐候性を有していることを確認した。

4.2.2 貫通抵抗力

防草効果は、貫通抵抗力測定装置を用い、貫通抵抗力により評価を行った。貫通針は、図10に示すように雑草の生育に伴う防護シートの損傷を模擬したV型針（φ6mm）を用い、防護シートの貫通抵抗力方向依存性（縦方向、横方向）を確認した。貫通速度は10mm/min、試験環境温度23±2℃とした。

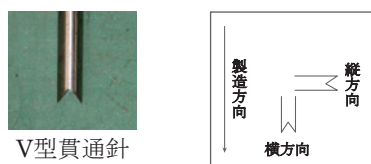


図10 貫通針と試験方向

その結果、図11に示すように促進熱老化試験では、老化時間経過に伴う低下は認められず、80日後の貫通抵抗力は縦方向549N（初期値の99%）、横方向658N（初期値の99%）を示し、初期性能を保持することを確認した。

促進耐アルカリ性試験では、図12に示すように縦方向、横方向ともにアルカリ性水溶液浸漬日数の経過に伴い、僅かずつ低下する傾向を示し、浸漬80日（640日相当）で縦方向541N（初期値の97%）、横方向589N（初期値の89%）となった。この低下の要因としては、防草・寸法安定層（ポリエステル製織布）の加水分解が考えられる。しかし、引張強度と同様、防護シートが接触しているアルカリ性土壌の中性化を考慮すると、著しい物性の低下は発生しないものと考えられる。

促進耐候性試験では、図13に示すように照射時間の経過に伴い低下傾向を示し、6000時間の照射で縦方向524N（初期値の94%）、横方向601N（初期値の91%）となった。この要因としては、紫外線の照射を直接受けるパイル及びパイルを植毛しているタフトベースの劣化により、貫通抵抗力が低下したものと考えられる。しかし、防護シートの最も重要な性能である貫通抵抗力（防草効果）は、長期間にわたる耐久性試験の結果から、同構造のシートでは150N以上の貫通抵抗力を有する材料について雑草の生育を抑制することが報告されている<sup>1)</sup>。以上の結果、防護シートは、想定される劣化要因に対する貫通抵抗力の低下程度は小さく、長期間に渡り防草効果を保持するものと判断した。

4.2.3 耐摩耗性

防護シートの使用状況を考慮すると、防護シートの外観（美観）を変状（劣化）させる要因として紫外線の他に、盛土のり面での現場作業における作業員の昇降に伴う損

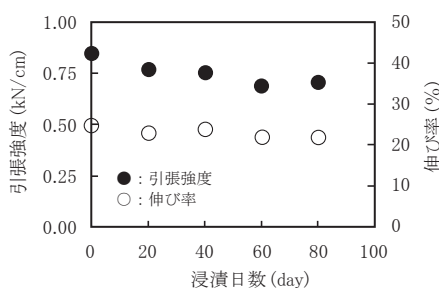


図8 促進耐アルカリ性試験に伴う引張強度及び伸び率の経時変化

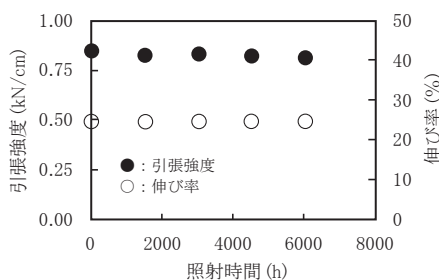


図9 促進耐候性試験に伴う引張強度及び伸び率の経時変化

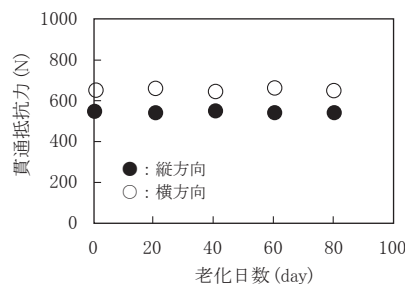


図11 促進熱老化試験に伴う貫通抵抗力の経時変化

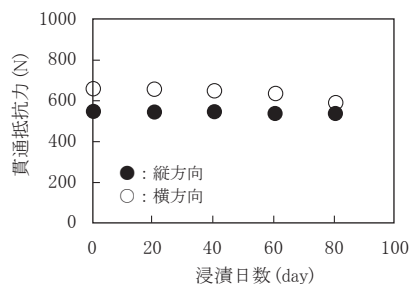


図12 促進耐アルカリ性試験に伴う貫通抵抗力の経時変化

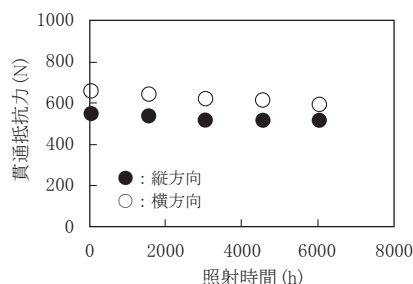


図13 促進耐候性試験に伴う貫通抵抗力の経時変化

傷が考えられる。そこで、作業員の昇降に対するパイルの耐久性を耐摩耗性で評価した。試験は、JIS L0849「摩擦に対する染色堅ろう度試験方法」に準じて実施した。試験は環境温度  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、研磨紙 C-P320、摩擦子質量 200g、3000 往復の条件で行い、摩耗量の測定及び表面状態の確認を行った。なお、促進耐アルカリ性試験後の評価は、パイルが盛土のアルカリ成分と接触する可能性が低いことから非実施とした。

試験の結果、促進熱老化試験では、図 14 に示すように促進熱老化試験に伴う摩耗量の増加は認められなかった。また、摩耗試験前後の状態（パイル）について状態確認を行ったが、老化時間の経過に伴う大きな変化は認められず、十分な耐熱老化性を確認した。

促進耐候性試験では、図 15 に示すように紫外線の照射時間の経過に伴って摩耗量が増加（パイル残量が減少）し、6000 時間の照射で摩耗量は未使用品と比較して約 3 倍となった。また、摩耗試験前後のパイルの状態確認を行った結果、表 1 に示すように摩耗前では、紫外線照射に伴うパイル長の顕著な変化は認められなかった。しかし、摩耗試験後は、紫外線の照射時間の経過に伴い、パイル長さが減少し、紫外線照射 6000 時間後には初期の 1/2 程度に減少した。そこで、従来シートとの比較を行うため、開発品と同条件で促進耐候性試験を実施した。その結果、従来シートは表 2 に示すように 3000 時間（開発品に対し、1/2 の照射時間）の紫外線照射で劣化が進行し、摩擦によりパイルはほぼ完全に消失した。促進耐候性試験における促進効果については、様々な議論がなされており、従来シートでは、促進耐候性試験 300 時間、放射照度  $60\text{W}/\text{m}^2$ （本試験条件の 1/2 の照射エネルギー）を 1 年に相当すると仮定し、3000 時間の紫外線照射が屋外暴露 10 年相当として物性評価が行われた。さらに、5000 時間の促進耐候性試験が屋外暴露 15 年に相当するという知見も示されている<sup>4)</sup>。

以上のことを考慮すると、防護シートは、従来シートと比較すると高い耐候性を有しており、使用環境の著しい変化が生じない限り、屋外における使用 8 年程度では、著しいパイルの消失は発生することなく美観を保持するものと考えられる。

### 5. 施工試験

鉄道総研盛土実験場において、施工性及び敷設後の状態を確認した。盛土のり面への施工寸法は、敷設長さ 14700mm とし、上部及び下部 600mm は固定のため盛土頂部と底部に埋め込んだ。防護シートの接合には改質アスファルト系粘着シートを用い、ラップ幅は 150mm とした。さらに接合後、帯鋼 (W50mm × t6mm) 及び固定杭 (長さ 500mm) を用いて固定した。

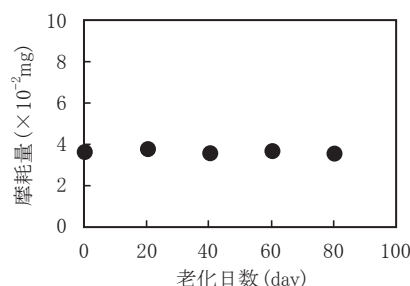


図 14 促進熱老化試験に伴う摩耗量の経時変化

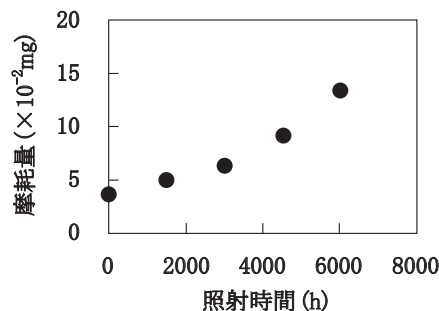


図 15 促進耐候性試験に伴う摩耗量の経時変化

表 1 摩耗試験前後の状態（開発品）

	摩耗前	摩耗後
新品		
紫外線 6000時間照射後		

表 2 摩耗試験前後の状態（従来シート）

	摩耗前	摩耗後
新品		
紫外線 3000時間照射後		

本試験に用いた施工前の盛土のり面は、図 16 に示すように雑草が繁茂した状態であった。基本的に防護シートは、雑草が繁茂した状態でも敷設可能である。しかし、本敷設では、のり面の表面状態を確認するため、除草作

## 特集：材料技術

業を行った後に防護シートを敷設した。

本試験における防護シートの施工では、3人で作業を行い約2日間で完了（除草、階段設置は除く）した。同面積の盛土のり面に張ブロックを用いた場合と比較すると、施工日数は1/5程度となることが考えられ、新たに開発した防護シートは、施工性に優れることを確認した。さらに、柔軟性を有するため、のり面の不陸（凹凸）にも追従することを確認した（図17）。また、施工後の防護シートの状態調査を行った結果、雑草の成長が著しい初夏から晩夏においても開穴などの発生は認められず、高い防草性能を有することを確認した。さらに、施工約2年後の調査でも開穴、接合部の目ズレ、開き及び皺や弛みの発生は認められなかった（図18）。以上のことから、防護シートは、施工性に優れ、雑草の成長に伴う損傷、寒暖による皺や緩みが発生することなく十分な性能を有していることを確認した。



図16 のり面防護シート敷設前後の状況



図17 不陸の状況

図18 敷設2年後の状況

## 6. まとめ

焼却処分の際、有害物質が発生し難い非ハロゲン素材による高分子系のり面防護シートを開発した。基本性能確認試験、耐久性試験及び施工性試験の結果、以下の知見を得た。

- (1) 基本特性試験を行った結果、環境温度の変化(夏,冬)に伴う皺や緩みの発生原因となる線膨張率は小さいことを確認した。また、火炎による延焼は発生せず、十分な遮水性を有することも確認した。

- (2) 促進熱老化試験の結果、引張強度、伸び率及び貫通抵抗力の著しい低下及び摩耗量の増加は認められず、初期の性能を保持することを確認した。
- (3) 促進アルカリ性試験の結果、引張強度、伸び率及び貫通抵抗力の著しい低下は認められず、アルカリ性土壌の中性化を考慮すると強度の著しい低下は発生しないことを確認した。
- (4) 促進耐候性試験機の結果、引張強度、伸び率及び貫通抵抗力の著しい低下は認められず、性能を保持することを確認した。また、摩耗試験では、紫外線照射時間に伴いパイルの劣化は進行し、摩耗量が増加（パイル残量が減少）するが、8年程度は美観を損なうような消失に至らないことを確認した。
- (5) 施工試験の結果、開発品は軽量で施工性に優れ、盛土の不陸にも追従することを確認した。さらに、敷設2年後の調査でも開穴、接合部の目ズレ、開き及び皺や弛みは発生しないことを確認した。

## 7. おわりに

廃棄時の環境負荷が小さい非ハロゲン素材を用い、従来の高分子系遮水防草シートと比較して長期耐久性に優れるのり面防護シートを開発した。本開発品の敷設により、のり面への雨水の浸透及び侵食に伴う盛土耐力の低下、崩壊及び雑草の繁茂の防止が可能となることから、メンテナンス経費節減の一助となれば幸いである。

今後は、表層（人工芝）の劣化が進行した際に必要となる安価で簡易な補修材料の開発、施工方法を確立して行きたいと考えている。

## 文献

- 1) 矢口、鈴木、御船：高分子系遮水防草シートの開発、鉄道総研報告、VOL.11, No.9, pp.35-40, 1997
- 2) RRR 工法協会：補強盛土工法・材料マニュアル, p.131, 1999
- 3) 環境因子側定表：(財)日本ウェザリングテストセンター, 2004
- 4) 日本遮水工協会：遮水シート規格解説, <http://www.nisshakyo.gr.jp/syurui.html> (2014年11月11日確認)