【 論 文 】

室内促進暴露実験と 10 年間実暴露実験による遮水シートの
耐久性評価と遮光性保護による延命効果の確認

原 田 高 志*・今 泉 繁 良**・西 崎 到***

【要 旨】 本研究は、遮水シートの耐久性評価を目的とし、室内促進暴露実験と実暴露実験を実施し、遮水シートの力学特性（硬さ、引張強さ、伸び率）や表面状態の変化を追跡評価したものである。室内促進暴露実験の結果、伸び率は経過時間とともに徐々に低下し 5,000 時間では初期値のおおむね 80% 程度となり、そのとき遮水シート表面には亀甲状の微小亀裂が発生していることが確認された。一方 10 年間の実暴露実験を行った遮水シートの力学特性の変化は小さく、ある種類の遮水シート表面には室内促進暴露実験と同様の亀甲状の微小亀裂が観察されたが、最終処分場の標準的な供用期間である 15 年に対して遮水シートの耐久性は充分余力あるものと推測された。また両実験結果を比較検討した結果、2,000 時間強の室内促進暴露実験の結果が実暴露実験 10 年間に相当することが確認された。さらに遮光性保護材を用いると、遮水シートの劣化の主要因とされる紫外線を遮断することができ、遮水シートの耐久性が大幅に向上することも確認できた。

キーワード：最終処分場、遮水シート、紫外線劣化、暴露試験、遮光性保護

1. は じ め に

高分子材料で製造された遮水シートは、水密性と軽量等の特徴を有するため、廃棄物最終処分場や農業池、水路等様々な土木構造物の遮水材として用いられている。中でも廃棄物最終処分場に用いられる遮水シートは、地下水と廃棄物の接触を防止するための必須の材料として処分場埋立地の底部および斜面の全面に敷設される。そして、廃棄物が埋め立てられていない部分の遮水シートは、日射や風雨に曝され、斜面上部では 15 年もしくはそれ以上大気に曝されることになる。ところで、これらの遮水シートには、温度変化による伸縮や廃棄物の荷重による歪みや応力が発生する¹⁾。このため、遮水シートには高度な耐久性が要求されている。

一般に、高分子材料は、紫外線や熱、風雨等に曝され、徐々に劣化していくが、なかでも紫外線の影響が大きいといわれている²⁾。そこで、屋外で使用される高分子製品に関しては、その耐久性を向上させるために、光安定剤や酸化防止剤、紫外線吸収材などを添加することが一般的であり、製品に見合った処方も研究されている。そして、遮水シートについても適切な処方³⁻⁵⁾がおこなわれるようになってきている。

一方、環境問題への関心が高まる中で、最終処分場の遮水工が損傷した場合には、汚染水が漏洩して周辺環境を悪化させることが懸念されており、遮水シートの耐久性についての不安も生じている。そこで、使用条件に則した長期間の暴露実験を実施して遮水シートの耐久性を検証しておく必要がある。

高分子材料の耐久性を数式で予測することは、それを支配する因子が多く、それらの相互作用もあり困難である。そこで、室内での耐候促進暴露実験や加熱劣化試験、あるいは高濃度の薬液浸せき試験等を実施して、劣化の時間的進行度合いの様子から経験的に耐久性を判断しているのが現状である⁶⁾。たとえば、小池・田中ら⁷⁾は、紫外線と熱の定量的評価による劣化予測手法を提案して

原稿受付 2005. 5. 13 原稿受理 2005. 11. 22

* (株)ブリヂストン 土木・海洋資材開発部

** 宇都宮大学大学院工学研究科 エネルギー環境科学専攻

*** (株)土木研究所 材料・地盤研究グループ

連絡先：〒244-8510 横浜市戸塚区柏尾町1

(株)ブリヂストン 土木・海洋資材開発部 原田 高志

E-mail: harada1-t@bridgestone.co.jp

いる。また、富坂^{8,9)}は、これに、様々な気象データを加味し地域差を考慮した予測マップを作成し、さらに安定剤の失活も考慮した劣化予測手法を提案している。しかし、これらの方法を適用するためには多水準の促進暴露実験や熱劣化試験が必要となる。加納ら¹⁰⁾は、耐候促進試験や加熱劣化試験にて遮水シートの比較試験を実施している。

他方、実暴露実験に基づく評価は、膨大な時間を要することもあり、実施された例は非常に少ない。長束ら¹¹⁾は農業池用の加硫ゴム遮水シートについて20年以上にわたり力学特性を追跡しているが、現在、廃棄物最終処分場で主として使用されている熱可塑オレフィン系の遮水シートについての事例は見られない。また、坪井ら¹²⁾は、耐候促進試験と短期の集光実暴露試験を実施して表面状態の観察をおこなっているが、長期の実暴露試験は実施していない。

本研究の実暴露実験は、土木用途に使用される代表的な高分子製品について、その耐久性を把握するために、国内4箇所の暴露試験場を使用して1992年から10年計画で実施したもののひとつである¹³⁾。同時に、室内促進暴露実験を並行して行い、遮水シートの耐久性をより正確に評価した。その結果、10年間実暴露した遮水シートの耐久性には充分余力があること、実暴露実験の10年間が室内促進暴露実の2,000時間強に相当することを確認した。さらに、この長期実暴露実験の実施期間中に、遮水工の構造基準強化の厚生省共同命令が発令され、遮光性保護材による遮水シートの保護が義務付けられた。そこで、遮光性保護材の保護効果についても併せて確認した。

これらの調査結果は、今後、廃棄物最終処分場を計画したり、維持管理を実施していく際に有意義なデータになると考え、以下に報告する。

2. 暴露実験方法の概要

2.1 遮水シートの種類

実験に使用した遮水シートの種類は、一般廃棄物最終処分場に関して実績の多い、熱可塑性エラストマー（以下TPOと略記）、高密度ポリエチレン（以下HDPEと略記）と産業廃棄物処分場で実績の多い塩化ビニル（以下PVCと略記）の3種類である。

表1に実験に使用した遮水シートの種類と特性を示す。

2.2 原位置実暴露実験

日本国内の地域的な気象条件の差を考慮して、図1に示すような北海道、筑波、新潟、沖縄を実暴露地点として選択した。気象条件としては「年平均気温×年平均日射時間」の値を判断指標として考えた。表2に暴露地点ごとの気象条件と実暴露供試体の種類を一覧として示す。

実験に際して、縦30cm、横30cmの遮水シート供試体を木製パネル上に固定し、このパネルを南向き5°に傾斜した暴露台にとりつけた。図2は沖縄地区での実暴露開始直後の状況を示したものである。

実暴露期間中は、1年、2年、3年、5年、10年を目

図1 実暴露実験場所

表1 使用した遮水シートの種類と特性

項目 \ 遮水シート種	TPO	HDPE	PVC
ポリマー種、量（％）	TPO/LLDPE（85＜）	HDPE（95＜）	PVC（55＜）
可塑剤量（％）	0	0	30
充填材量（％）	10＜	2＜	10＜
安定剤添加（微量）	有（HALS/AO）	無	有（複合安定剤）
硬さ（A）	94	98	88
引張強さ（N/cm ² ）	1,156	3,201	1,783
伸び率（％）	710	820	260

（HALS：光安定剤，AO：酸化防止剤）

表2 実暴露供試体の設置場所・気象条件・遮水シート種

気象条件 / 設置場所	沖縄	筑波	新潟	北海道
①年平均気温 (°C)	22.5	14.0	13.3	4.4
②年平均日射時間 (h)	1,759	1,964	1,596	1,534
気象条件指標 (①×②)	39,578	27,496	21,227	6,750
(遮水シートの種類)				
TPO	○	○	○	○
PVC	○	○	○	○
HDPE	○	○		○

図2 実暴露開始直後の状況（沖縄）

処として、これらの期間を経過した後に供試体を回収し、「3. 評価項目と試験方法」に述べる各種試験を実施した。

2.3 室内促進暴露実験

サンシャインウェザーメーターを使用して室内促進暴露実験を行った。廃棄物最終処分場に敷設される遮水シートの表面温度は、夏季には80℃をこえるため、試験条件としてブラックパネル温度を83℃とし、「102分の紫外線照射, 18分の紫外線照射と水噴霧」の120分を1サイクルとして、これを最大10,000時間まで実施した。

3. 評価項目と試験方法

原位置暴露実験、室内促進暴露実験後の各供試体について、3.1から3.4に示す項目と試験方法で耐久性を評価した。

3.1 表面観察

100倍率のデジタル顕微鏡を使用して、供試体表面の拡大観察をおこなった。

図3 促進暴露時間と供試体表面状態（室内促進暴露）

3.2 硬さ試験

JIS K 6253 に定める加硫ゴムの硬さ試験方法に従って、供試体の硬さを評価した。

3.3 引張強さと伸び率

JIS K 6251 に定める加硫ゴムの引張試験方法に従って、ダンベル状 3 号形試験片で、引張り速度を 500 mm/min として、引張強さと伸び率を評価した。

3.4 表面分析

赤外分光分析 (FT-IR) 機を使用し、全反射 ATR 法¹⁴⁻¹⁷⁾によって供試体表面で全反射する光を測定し、得られた供試体表面の吸収スペクトルを分析し、その変化を追跡することで紫外線劣化の状況を評価した。

4. 暴露供試体の試験結果

4.1 表面観察

図 3 は、室内促進暴露供試体の表面の促進暴露時間に伴う変化を拡大して示したものである。写真より 2,000 時間以下の促進暴露では、すべての遮水シートに関して表面に大きな変化が見られない。しかし、PVC 遮水シートでは 2,500 時間、TPO 遮水シートでは 4,000 時間で亀裂が観察され、5,000 時間ではすべての遮水シートの表面に亀裂が観察されている。

図 4 は、沖縄地区と筑波地区で 10 年間実暴露した遮水シート供試体表面を拡大して示したものである。写真

図 4 10 年間暴露した供試体の表面
(沖縄 HDPE のみ 9 年)

より、両地区とも PVC 遮水シートの表面には亀甲状の微小亀裂が観察されるが、TPO 遮水シートと HDPE 遮水シートでは亀裂が観察されない。両地区の PVC 遮水シートの亀裂状態を比較すると、沖縄地区の実暴露供試体は亀裂が全面に発生しているのに対し、筑波地区の実暴露供試体では亀裂の発生が部分的であり、劣化の度合いは沖縄地区の方が大きいと判断される。なお、PVC 遮水シートで観察される亀裂の形状は室内促進暴露供試体で観察される亀裂に類似しており、室内促進暴露実験で実暴露実験がほぼ再現できたものと考えられる。

図 5 は 10 年間実暴露した PVC 遮水シートの断面の拡大写真を示したものである。この写真から亀裂の深さ方向への進展は極めて浅いことがわかる。

なお、図 3 と図 4 を亀裂の発生状況に着目して比較すると、PVC 遮水シートでは室内促進暴露 2,500 時間で全面に亀裂が発生していることから考えて、室内促進暴露における 2,000 時間強が、日本国内における実暴露時間での 10 年間に相当すると考えられる。

4.2 硬 さ

図 6 は室内促進暴露供試体の硬さの促進暴露時間に伴う変化を示したものである。図 6 より、TPO 遮水シートと HDPE 遮水シートの硬さには大きな変化は見られないが、PVC 遮水シートの硬さは暴露時間とともに著しく上昇していることがわかる。

図 7 は沖縄地区での実暴露実験供試体の硬さ変化を示したものである。図 7 より室内促進暴露供試体と同様、PVC 遮水シートだけに硬さの経年的上昇傾向が認められる。

図 5 PVC 遮水シートの断面 (左が暴露面)
(10 年実暴露供試体)

図 6 促進暴露時間と硬さの関係 (室内促進暴露)

図 8 促進暴露時間と引張強さ保持率の関係 (室内促進暴露)

図 7 遮水シートの硬さの経年変化 (沖縄)

図 9 促進暴露時間と伸び率保持率の関係 (室内促進暴露)

以上のように、TPO 遮水シートと HDPE 遮水シートの硬さはほとんど変化しないが、PVC 遮水シートの硬さは経年的に大きく上昇する現象が確認された。この相違の理由として、PVC 遮水シートの中には、表 1 に示されるように TPO 遮水シートや HDPE 遮水シートと比較して可塑剤が多量に含まれており、それが揮散した結果によるものであると考えられる。

4.3 引張強さと伸び率

図 8 は室内促進暴露供試体の暴露時間と引張強さの保持率との関係を示したものであり、図 9 は暴露時間と伸び率の保持率との関係を示したものである。ここに、保持率とは、暴露実験を行う以前の供試体の特性に対する暴露実験を受けた供試体の特性の比率 (%) である。図 8 より、TPO 遮水シートと HDPE 遮水シートは暴露時間とともに引張強さの保持率が徐々に低下して 5,000 時間で 80% 程度を示しているのに対して、PVC 遮水シ

トは逆に上昇する傾向にあることがわかる。PVC 遮水シートの引張強さ保持率が上昇したのは、その硬さが上昇した原因と関連している。図 9 に示した伸び率の保持率は、いずれの遮水シートに関しても暴露時間とともに徐々に低下し、5,000 時間で 80% 程度を示している。

図 10、図 11、図 12 は全国 4 箇所の実暴露実験した遮水シートの引張強さ保持率と実暴露期間との関係を示したものである。図 10 に示した TPO 遮水シートでは、沖縄での暴露試料にはほとんど引張強さの低下が見られずむしろ気象条件の穏やかな筑波や北海道では 80% 程度まで低下した。図 11 に示した HDPE 遮水シートでは全箇所で見張強さが低下したが、70% 以上の保持率を示した。図 12 に示した PVC 遮水シートでは沖縄のみで低下が見られたが、80% 以上の保持率を示した。引張強さの変化からは暴露箇所による明確な差は認められなかった。

図 13、図 14、図 15 は同じく伸び率の保持率と実暴露

図10 TPO 遮水シートの引張強さ保持率
(国内実暴露)

図13 TPO 遮水シートの伸び率保持率 (国内実暴露)

図11 HDPE 遮水シートの引張強さ保持率
(国内実暴露)

図14 HDPE 遮水シートの伸び率保持率 (国内実暴露)

図12 PVC 遮水シートの引張強さ保持率
(国内実暴露)

図15 PVC 遮水シートの伸び率保持率 (国内実暴露)

期間との関係を示したものである。図13に示したTPO遮水シートでは、全箇所伸び率は実暴露期間とともに徐々に低下し、10年間程度の暴露では80%以上の保持率を示した。図14に示したHDPE遮水シートでは、北

海道では低下せず他の箇所ではTPOと同様の傾向を示した。図15に示したPVC遮水シートも全箇所徐々に低下した。伸び率の変化からは、北海道が他の暴露箇所と比べやや変化が小さく気象条件との対応がうかがえた。

以上の国内4箇所での10年間の実暴露後の引張強さと伸び率の保持率を室内促進暴露実験結果と比較対応さ

せた結果、日本国内での実暴露10年間は、室内促進暴露の2,000時間強に相当するものと考えられた。

4.4 表面分析

高分子材料である遮水シートは、紫外線や熱を受け、表面から光酸化劣化が進行する。その反応としては、主鎖の切断や橋かけ、共役二重結合の生成等が考えられる。

図16、図17、図18は、室内促進暴露実験供試体のFT-IR分析結果を示したものである。TPO遮水シート、HDPE遮水シートでは、波数 $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近に、暴露時間に伴う劣化の兆候である二重結合の生成による透過率低下（以下、透過率低下を吸収と表記する。）の成長がみられる。しかし、波数 $1,714\text{ cm}^{-1}$ 付近に現れるカルボニル生成による吸収はそれほど目立っていない。PVC遮水シートは、TPO遮水シートやHDPE遮水

シートに比べて化学組成が大幅に異なり配合も複雑であるが、脱塩酸による二重結合の生成と考えられる吸収が $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近に観察されている。

ここで、劣化の度合いを数値として表すために次に述べる指数を定義した。すなわち、たとえば、TPO遮水シートのFT-IR分析結果の一部を拡大して示した図19において、まず、波数が $1,700\sim 2,900\text{ cm}^{-1}$ の透過率がほぼ一定となる値をベースラインとして定め、劣化の影響を受けないと考えられる $2,920\text{ cm}^{-1}$ 付近の（ $-\text{CH}_2$ ）の透過率とベースラインとの差を a とする。そして、波数 $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近に観察される二重結合の生成により低下した透過率とベースラインとの差を b として、両者の比（ b/a ）を劣化指数と定義した。

図20は、各遮水シートの劣化指数（ b/a ）と室内促進暴露時間の関係を示したものである。TPO遮水シートに注目してみると、2,000時間から5,000時間の間で劣化指数も大きく変化しており、表面観察の結果とよく対応する。HDPE遮水シートも同様の傾向を示している。PVC遮水シートに関しては、暴露初期（1,000時間）から大きく変化している。4.1～4.3で述べた耐久性

図16 促進暴露実験供試体のFT-IR分析結果（TPO）

図17 促進暴露実験供試体のFT-IR分析結果（HDPE）

図18 促進暴露実験供試体のFT-IR分析結果（PVC）

図19 FT-IR分析結果の拡大図

の大きさは、HDPE 遮水シート > TPO 遮水シート > PVC 遮水シートの順番であり、劣化指数の時間的増大の大きさの順序と対応している。

図 20 遮水シートの劣化指数と促進暴露時間

図 21 沖縄実暴露供試体の FT-IR 分析結果 (TPO)

図 21, 図 22, 図 23 はそれぞれ TPO 遮水シート, HDPE 遮水シート, PVC 遮水シートの沖縄での実暴露供試体に対する FT-IR 分析結果を示したものである。図 21, 図 23 からは, 促進暴露供試体と同様に波数 $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近での二重結合の生成による吸収が成長する様子がわかる。図 22 の HDPE 遮水シートでは, 波数 $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近での二重結合の生成による吸収がほとんどみられないが, 波数 $1,714\text{ cm}^{-1}$ 付近のカルボニル生成の吸収が認められる。TPO 遮水シートでも波数 $1,714\text{ cm}^{-1}$ 付近の吸収は認められており, 促進暴露と実暴露の劣化の過程に多少差があることが考えられる。

図 24 は図 21, 図 22, 図 23 および, 筑波での供試体についても分析を行い, それらに基づき計算した遮水シートの劣化指数の経年変化を示したものである。図 24 より, 実暴露年数 10 年での劣化指数は, PVC 遮水シートは最大 1.5 であるが, TPO 遮水シートと HDPE 遮水シートは 0.3 程度と極めて小さいことがわかる。ま

図 23 沖縄実暴露供試体の FT-IR 分析結果 (PVC)

図 22 沖縄実暴露供試体の FT-IR 分析結果 (HDPE)

図 24 実暴露供試体の劣化指数

た、図20と図24を比較することによって実暴露期間10年が促進暴露の2,000時間強に相当することも判断できる。すなわち、現在実施している促進暴露時間5,000時間という条件が実暴露条件に比べかなり厳しい耐久性評価の条件となっていることがわかる。

5. 遮光性保護材の劣化防止効果の検討

5.1 供試体の概要

遮光性保護材は、厚さ10mmの短繊維不織布表面を、厚さ0.7mmの耐候性アクリル繊維でカバーしたものである。

実暴露供試体は、TPO遮水シートを上記遮光性保護材で覆って10年間供用している東北地区の最終処分場の北側法面と南側法面から、1m×1mを採取したものである。図25に採取直前の外観を示した。

5.2 評価結果

図26は敷設時に採取して室温下で保管してきた遮水シート（以下保管品という）と10年後に保護材下から採取した供試体（以下、採取供試体という）の表面写真を比較して示したものである。両者には肉眼で判別されるような大きな違いはみられない。

図27は保管品と採取供試体の表面状態のFT-IR分析結果を比較して示したものである。北側法面からの採取供試体のFT-IR分析結果には、波数 $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近に小さな吸収が見られるものの、保管品と比べて大きな差は見られず、遮光性保護材により表面の劣化がほとんど進んでいないことが確認された。

表3は採取供試体の力学特性の評価結果と劣化指数の計算結果を示したものである。表3から、北側法面からの採取供試体の伸び率の保持率が若干低いものの、その

図25 試料採取直前の外観

他の項目の保持率はすべて100%近い値を示している。これらは遮光性保護材の効果を示しているものと考えられる。また、計算した劣化指数は非常に小さく、10年間程度の実暴露では、遮水シートの表面劣化が進んでいな

図26 保管品と採取供試体の表面比較

図27 遮光性保護材の効果（実暴露）

表3 力学特性の評価結果と劣化指数

評価項目 試料評価方向	硬さ (A)	伸び率(%) 長手 / 幅	引張強さ(N/cm²) 長手 / 幅	劣化指数
保管品 (保持率)	97	677 / 700 (100)	1,332 / 1,270 (100)	0.02
北側法面 (保持率)	95	600 / 620 (89 / 89)	1,290 / 1,227 (97 / 97)	0.03
南側法面 (保持率)	96	657 / 653 (97 / 93)	1,335 / 1,334 (100 / 103)	0.07

いと判断できる。

6. ま と め

廃棄物最終処分場に使用される代表的な3種類の高分子遮水シートについて、その耐久性を把握するために、国内4箇所の暴露試験場を使用して10年間の実暴露実験を実施し、同時に、室内促進暴露実験を並行しておこなった。また、厚さ10mmの短繊維不織布表面を厚さ0.7mmの耐候性アクリル繊維でカバーした遮光性保護材の保護効果についても確認した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 室内促進暴露実験の結果、いずれの遮水シートも伸び率は経過時間とともに徐々に低下し、5,000時間では初期強さの約80%となり、そのとき遮水シート表面には亀甲状の微小亀裂が発生していた。
- (2) 約10年間実暴露したTPO遮水シートとHDPE遮水シートの硬さはほとんど変化しないが、PVC遮水シートの硬さは経年的に大きく上昇する現象が確認された。この理由として、PVC遮水シートの中にはTPO遮水シートやHDPE遮水シートに比較して可塑剤が多量に含まれており、それが揮散したためと考えられた。
- (3) 約10年間実暴露したTPO遮水シートとPVC遮水シートは80%程度の引張強さ保持率を、HDPE遮水シートは70%以上の引張強さ保持率を示していた。また、伸び率は、10年間程度の曝露では若干の低下はあっても80%程度の保持率を示していた。
- (4) 約10年間の実暴露実験は気象条件の異なる国内4箇所で実施されたが、引張強さの変化には明確な地域差は認められなかった。伸び率の変化については、明確とはいえないが、気温の低い北海道地域での変化が小さく気象条件との対応がうかがえた。
- (5) 約10年間実暴露した遮水シートのFT-IR分析結果には、波数 $1,622\text{ cm}^{-1}$ 付近に二重結合の生成による吸収が観察された。
- (6) 劣化の度合いを数値として表すために定義した劣化指数は、約10年間実暴露したPVC遮水シートでは1.5であるが、TPO遮水シートとHDPE遮水シートでは0.3程度と極めて小さいことがわかった。
- (7) 遮水シート表面の亀裂の発生状況、引張強さや伸び率の変化、そして分析の結果から導いた劣化指

数について、室内促進暴露実験と実暴露実験を比較した結果から、日本国内における約10年間の実暴露が、ブラックパネル温度 83°C での室内促進暴露2,000時間強に相当することが確認できた。

- (8) TPO遮水シートを遮光性保護材で覆って10年間供用した最終処分場から採取した遮水シートの力学特性と表面分析の結果は保管品の結果とほとんど変わらないものであり、遮光性保護材が遮水シートの耐久寿命を大幅に延命化することを確認できた。

なお、本実験で評価した遮水シートは、実際の最終処分場においても10年以上の使用実績がある。したがって、今後それらの最終処分場から供試体を採取して、その評価を積極的に行っていきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) (財)全国都市清掃会議編：廃棄物最終処分場の計画・設計要領、第5章 pp. 218-219 (2001)
- 2) 大澤善次郎：合成樹脂の耐候性、機能材料、第3巻、第6号、pp. 10-19 (1983)
- 3) 山口哲夫、福田加奈子：高分子材料の安定剤（熱安定剤）、日本ゴム協会誌、第68巻、第5号、pp. 318-325 (1995)
- 4) 吉川和美：高分子材料の安定化（光安定剤）、日本ゴム協会誌、第68巻、第5号、pp. 327-333 (1995)
- 5) 車田知之：光安定剤の研究開発の展望、マテリアライフ、第5巻、第4号、pp. 96-105 (1993)
- 6) 早川 浄：高分子材料の寿命とその予測、アイビーシー、pp. 149-153 (1989)
- 7) 小池迪夫、田中亨二：合成高分子防水層の耐候性（その6）、日本建築学会論文報告集、第289号、pp. 1-10 (1980)
- 8) 富板 崇：気象因子に基づく高分子材料の劣化因子および耐候性予測マップ、ポリファイル、第29巻、第344号、pp. 43-48 (1992)
- 9) 富板 崇：発展型アレニウスモデルと環境劣化因子データベースを結合した特性変化シミュレーション手法、マテリアルライフ学会誌、第14巻、第3号、pp. 134-140 (2002)
- 10) H. Kano and E. Uenoyama: Long Life Durability of Several Geomembranes, Proceedings of the 2nd Asian Pacific Landfill Symposium, pp. 317-320, Seoul (2020)
- 11) 長束 勇、中島賢二郎：合成ゴムシートの遮水性能、防水ジャーナル、第21巻、第12号、pp. 56-67 (1990)
- 12) 最終処分場技術システム研究会編：平成11年度研究報告書（設計グループ）、pp. 13-23 (2000)
- 13) 片脇 清、西崎 到：土木用高分子系新素材の長期暴露試験（1）、土木研究所 内部資料 (1993)
- 14) 錦田晃一、岩本令吉：赤外法による材料分析、講談社、pp. 91-199 (1986)

- 15) 日本分析化学会編：分析化学便覧，丸善，pp. 23 - 28 (2001) pp. 1 - 23 (1997)
- 16) 泉 美治，加藤俊二：機器分析の手引き 1，化学同人，pp. 127 - 138 (1995)
- 17) 日本分析化学会高分子分析研究懇談会編：高分子分析ハンドブック，紀伊国屋書店，pp. 127 - 138 (1995)

Durability Evaluation of Geomembrane Liners Using an Indoor Accelerated Exposure Experiment and an Outdoor Exposure Experiment for 10 years: Effects on Durability of the Protective Covering

Takashi Harada*, Shigeyoshi Imaizumi** and Itaru Nishizaki***

* Marine/Civil engineering Products Development Dept., Bridgestone Corporation

** Energy and Environmental Science Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

*** Materials & Geotechnicneering Research Group,
Public Works Research Institute Engineering Research Group,
Public Works Research Institute

† Correspondence should be addressed to Takashi Harada :
Marine/Civil engineering Products Development Dept., Bridgestone Corporation
(1 Kashiwao-cho Tostuka-ku, Yokohama-city Kanagawa, 244 - 8510 Japan)

Abstract

An indoor accelerated exposure experiment and an actual exposure experiment were undertaken to assess durability of geomembrane liners. This study specifically examined mechanical properties and surface profile changes.

Mechanical properties declined little by little concomitant with the progress of the exposure time. Cracks were observed in the indoor accelerated exposure experiment on the surface of all evaluated geomembrane liners before 5000 h.

Nevertheless, changes in mechanical properties of geomembrane liners in an exposure experiment for 10 years were slight. Similar cracks to those of indoor accelerated exposure experiments were observed on the surfaces of some geomembrane liners, but the geomembrane liners' durability was determined to be more than sufficient.

An indoor accelerated exposure experiment, conducted for slightly more than 2000 h, was inferred to be equivalent to 10 years of an actual exposure experiment. Its results were used for comparison, which confirmed that the durability of geomembrane liners was improved greatly by the protective covering. It shielded the geomembrane from ultraviolet rays, which are a main cause of deterioration.

Key words : final landfill, geomembrane, ultraviolet rays, exposure experiment, covering protection