

## 長期曝露された各種遮水シートの物性変化

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-20 キーワード (Ja): キーワード (En): geomembrane, Ethylene Propylene Diene Monomer, exposure test, durability, tensile strength, tear strength, elongation at break 作成者: 川邊, 翔平, 森, 充広, 中嶋, 勇, 川上, 昭彦, 金森, 拓也 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/00001160">https://doi.org/10.24514/00001160</a>

© 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

National Agriculture and Food Research  
Organization, Japan

# 長期曝露された各種遮水シートの物性変化

川邊翔平\* 森 充広\*\* 中嶋 勇\* 川上昭彦\* 金森拓也\*

\*施設工学研究領域施設保全ユニット

\*\*企画管理部企画連携室

## 要 旨

農村工学研究部門は、様々な材質の遮水シートの耐久性を評価するための実験池を築造・管理し、各種の物性試験を実施している。本研究では、実験池にて曝露された3種類の遮水シートの引張強さ、破断時伸び、引裂強さなどを求め、劣化の傾向を把握した。18年間曝露された熱可塑性樹脂を主成分とする遮水シートでは、気中の長手方向の引張強さが約60%にまで低下したが、その他の物性は80%以上の保持率を示した。一方、30年間曝露された加硫ゴムを主成分とする2種類の遮水シートは、気中ではいずれも引張強さは約80%、破断時伸びは約40%にまで低下するとともに、引裂強さは約120%に上昇した。この傾向は、喫水、水中と比較して気中で最も進行していた。破断時伸びは、時間の経過とともに低下する傾向が明瞭であり、遮水シートの劣化を診断する上で重要な指標となり得る。

キーワード：遮水シート、EPDM、曝露試験、耐久性、引張強度、引裂強度、破断時伸び

## 1 緒 言

合成ゴムあるいは合成樹脂などの遮水シートは、1930年代後半に当時の西ドイツにおいて地下防水に用いられ、以来、建築物の防水材料あるいは貯水池、廃水池などの遮水材料として欧米諸国を中心に広く利用されている（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、2009）。日本では、屋根の防水材として1957年に試験施工され、その10年後の1967年、農業用貯水池の遮水材として日本で初めて試験的に施工された。農村工学研究部門では、この時期から、遮水シートの耐久性評価を目的とした曝露試験を続けている。

本研究では、長期曝露環境下における遮水シートの耐久性を把握することを目的とし農村工学研究部門内の実験池で施工された、メーカーや主成分が異なる3種類の遮水シートのサンプリングを行い、物性の追跡調査を行った。

## 2 試験の概要

### 2.1 サンプリングした実験池の概要

農村工学研究部門（つくば市、北緯 36.034 度、東経 140.095 度）内には、幅約6m、長さ約8m、深さ約0.8m、法勾配 1:1.5 の小規模な実験池（以降、小池）が7個、幅約10m、長さ約30m、深さ約2m、法勾配 1:0.8 の大規模実験池（以降、大池）が3個（うち1個はすでに遮水機能を失っている）存在している。今回対象とした実験池は、このうちの小池1箇所、大池2箇所の計3箇所（Fig. 1）である。いずれの実験池も、曝露期間中、水位の調整は行っておらず、天候により水位が変化する状況である。目視の限りでは、これら3箇所の実験池では、水を常時補給しなければならないほどの漏水はなく、遮水性は保持されていると思われた。

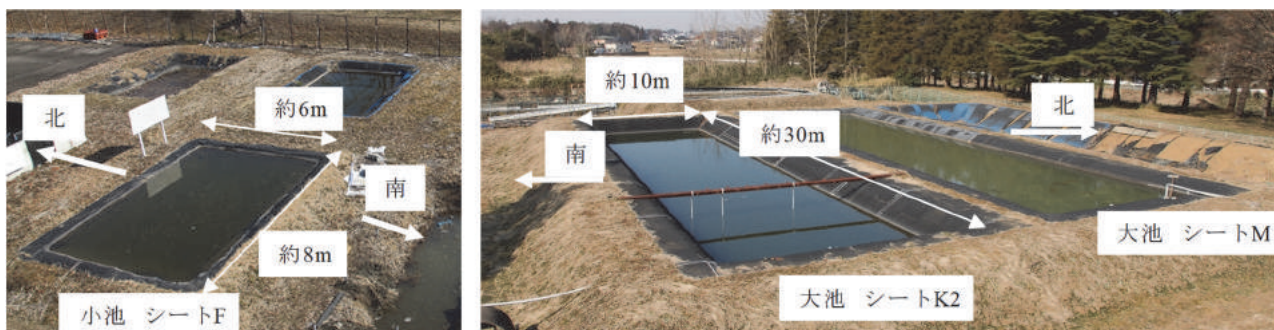


Fig. 1 実験池の外観  
Appearance of test pond

## 2.2 実験池の曝露環境

1978～2017年の約40年間における雨温図をFig. 2に示す。1978～2009年は気象庁気象台(つくば(館野))(気象庁, 2018)に基づいて、また、2010～2017年は降雪深を除き、農村工学研究部門内に設置された総合気象観測・公開システム(吉田ら, 2012)に基づいて作成した。この図より、実験池の曝露環境は、気温の年較差の平均が約20℃、9月に1年で最も多い200mm弱の降雨を受け、冬期にはまれに積雪も観測される環境であったことが分かる。また、年間積算全天日射量の平均値は約55,900MJ/m<sup>2</sup>/year、年次ごとの標準偏差は約5,400MJ/m<sup>2</sup>/yearであった。このことから、実験池が施工された後の積算全天日射量は、曝露年数に対してほぼ線形に増加すると考えられる。なお、実験池近傍には常時日射を遮るものは無く、太陽の日周運動によって一時的に日射が遮られる程度であった。

## 2.3 サンプリングした遮水シートの概要

今回サンプリングした遮水シートは、熱可塑性樹脂系シート1種類(シートF)、加硫ゴム系シート2種類(シートMおよびK2)である。曝露年数、サンプリング位置をまとめた表をTable 1に示す。なお、いずれのシートについても、その化学組成や配合などの情報が企業秘密であり、詳細は不明であった。また、当時のシートの接合方法は書面で残されているが、シートの固定方法、背面土の処理方法等、詳しい施工内容については、不明であった。以下では、各シートの特性とサンプリングの位置について示す。

### 2.3.1 シートFの特性

シートFは、オレフィン系熱可塑性エラストマー(Thermo Plastic Olefin : TPO)を主成分とした遮水シートである。TPO遮水シートには、TPOにポリエチレン成分をブレンドしたものに約2%のカーボンブラック、少量の光安定剤、および熱酸化防止剤を添加したTPO(PE系)と、樹脂成分の主体をポリプロピレンとしたTPO(PP系)とに区分される(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, 2009)。今回調査対象としたシートFは、TPO(PP系)である。メーカーのカタログ資料によれば、このシートの特徴として、耐紫外線性、耐候性、耐熱劣化性、耐オゾン性に優れる、柔軟性があり耐突起抵抗性に優れる、熱膨張率が小さく形状が安定する、熱融着接合ができる、などが挙げられている。農村工学研究部門

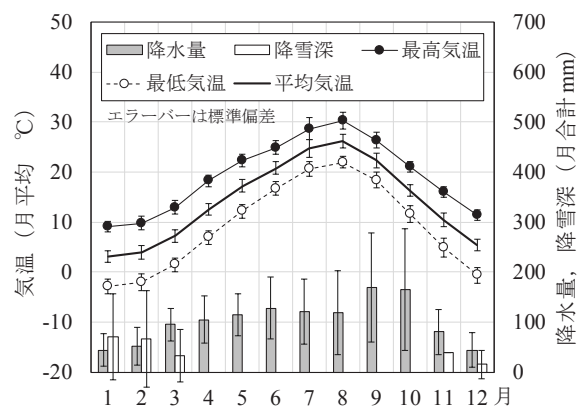


Fig. 2 雨温図(つくば市)  
Hythergraph (Tsukuba city)

の実験池には、1999年に施工され、2017年時点で施工から18年が経過している。

### 2.3.2 シートMの特性

シートMは、ブチルゴム(Isobutylene-Isoprene Rubber : IIR)とエチレンプロピレンジエンモノマー(Ethylene Propylene Diene Monomer : EPDM)を主成分とする加硫ゴム系のシートである。温度依存性が比較的少なく、柔軟で下地によく追従し、耐候性もよいことから、屋上防水などのルーフィングシートや、農業用貯水池の遮水シートとして、広く用いられている(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, 2009)。

農村工学研究部門の実験池には、1987年に施工され、2017年時点で施工から30年が経過している。

### 2.3.3 シートK2の特性

シートK2は、IIRとEPDMを主成分とする加硫ゴム系のシートである。施工年次および主な特性はシートMと同様であるが、メーカーが異なっている。

### 2.3.4 サンプリング位置

各シートのサンプリング位置をFig. 3に示す。

シートFは、これまで一度もサンプリングは実施されていない。サンプリングは、常時の満水位より上側にある気中からのみであるが、日射の影響を明らかにすることを目的とし、東西南北の各法面からサンプリングを行った。

Table 1 サンプリングした遮水シートの種類  
Specimen type of geomembrane

シート名	材質	対象の池	曝露年数 (年)	サンプリング 法面	サンプリング位置
シートF	TPO <sup>※1</sup>	小池	18	東西南北	気中
シートM	IIR <sup>※2</sup> +EPDM <sup>※3</sup>	大池	30	北	気中, 喫水, 水中
シートK2					

※1 TPO : オレフィン系熱可塑性エラストマー (Thermo Plastic Olefin)

※2 IIR : ブチルゴム (Isobutylene-Isoprene Rubber)

※3 EPDM : エチレンプロピレンジエンモノマー (Ethylene Propylene Diene Monomer)

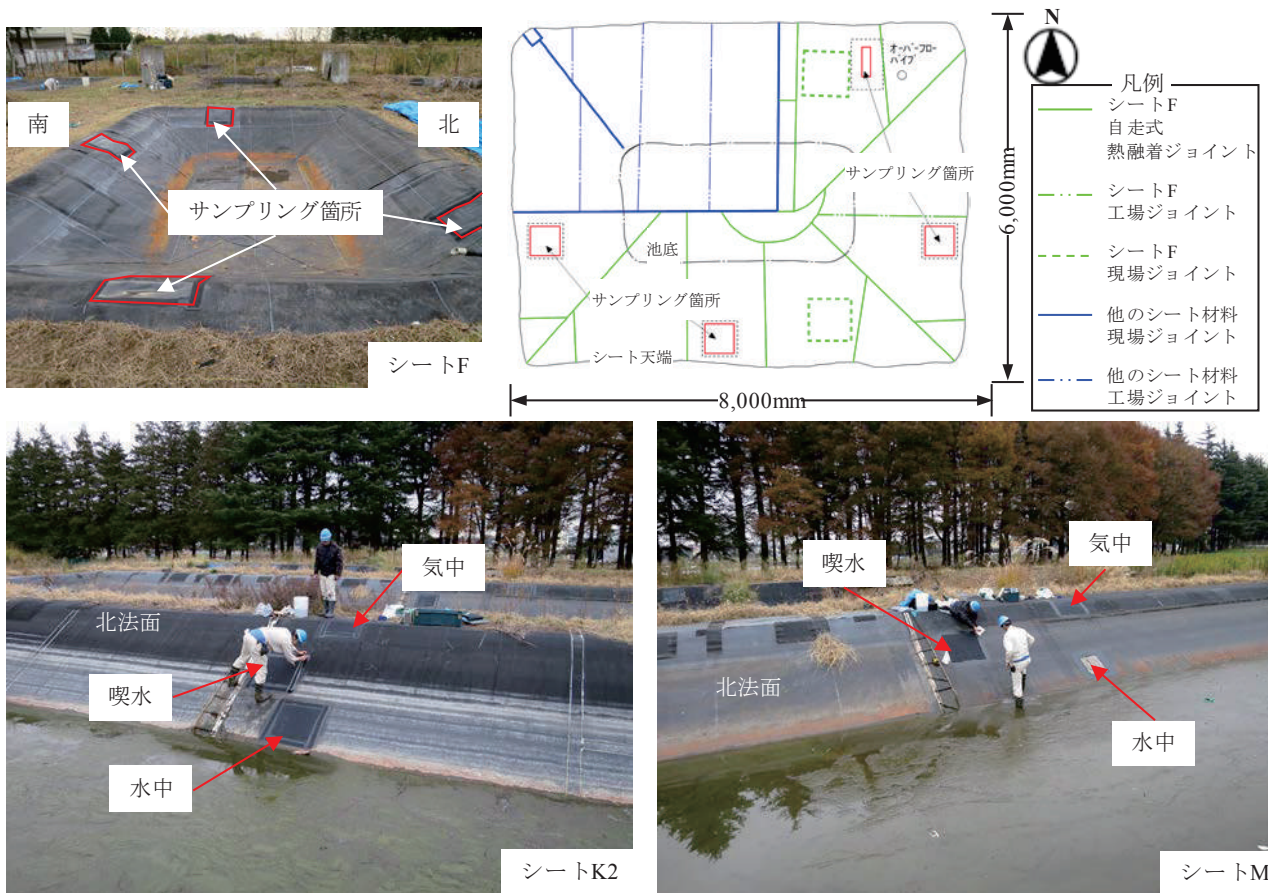


Fig. 3 サンプル位置  
Sampling location

シート M および K2 のサンプリング位置は、最も日射を受ける北法面(南面)の気中、水位の痕跡が見られる喫水、水位の痕跡より底版に近い水中の 3 箇所とした。施工から定期的にサンプリング試験が実施され、公表はされていなかったものの、そのデータが保管されていた。そこで、今回の調査データと併せて物性の経年変化を調査した。

## 2.4 試験項目および試験方法

試験項目は、これまで継続して実施されてきた引張強さ、破断時伸び、引裂強さとした。引張強さおよび破断時伸びは、JIS K 6251 : 2017 (加硫ゴム及び熱可塑性ゴム—引張特性の求め方) に基づき実施した (Fig. 4)。引張試験に用いる試験体の形状はダンベル 3 号とし、500mm/分の変位速度制御で試験を行った。破断時伸びは、あらかじめ試験体中央部に 20mm 間隔の標点を設定し、破断直前の標点間隔を目視で読み取った。引裂強さは、JIS K 6252 : 2017 (加硫ゴム及び熱可塑性ゴム—引裂強さの求め方) に基づき実施した (Fig. 5)。引裂試験に用いる試験体の形状は切り込みを入れないアングル形試験片とし、500mm/分の変位速度制御で試験を行った。各試験に供した試験体数  $n$  は、3 以上を確保するように努めた。

なお、以降で示すシートの長手方向とは、シート製造時の押出し方向 (圧延方向, ロール方向) であり、幅方向と

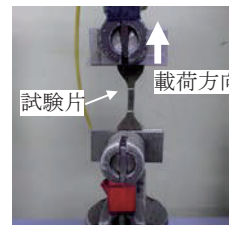


Fig. 4 引張試験  
Tensile test

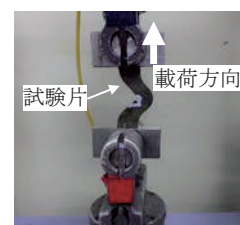


Fig. 5 引裂試験  
Tear test

はその直交方向である。今回調査したシートは、すべて底版から斜面を上る方向と長手方向が一致するよう敷設されている。

## 3 試験結果および考察

以下では、3 種類の遮水シートの試験結果について報告する。各試験によって得られた試験体ごとのデータ (荷重変位関係) は付録として掲載する。なお、各シートの過去の試験結果については、数値データや、気中、喫水、水中の区別は紙媒体に記述として残されていたものの、長手/幅方向の区別、具体的なサンプリング位置、試験体数、各試験における荷重変位関係などの詳細なデータが不明なものもあった。このため、後述する保持率 (経年後の試験

値の初期値に対する百分率)の考察では、詳細データが不明な場合は、長手/幅方向の初期値を同一とする、初期値は平均値とする、初期値が不明なものは、カタログ値を代用することとした。

### 3.1 シートFの試験結果

シートFの気中法面から採取した試験片の引張強さ、破断時伸び、引裂強さの一覧を **Table 2, 3** に示す。長手方向、幅方向の引張強さと破断時伸びについては、施工時に実施した実測データが記録されていたため、これらを初期値とし、試験値平均の初期値に対する百分率を保持率として示している。なお、引裂強さについては、初期データがなかったため、カタログ値を初期値とみなし、保持率を示した。

#### 3.1.1 引張強さ

長手方向の引張強さは、東法面  $14.3\text{N/mm}^2$ 、西法面  $14.8\text{N/mm}^2$ 、南法面  $15.0\text{N/mm}^2$ 、北法面  $13.2\text{N/mm}^2$  であり、長手方向全体平均では  $14.3\text{N/mm}^2$  であった。長手方向については、日射を最も受けると考えられる北法面が最も低い値となった。一方、幅方向の引張強さは、東法面  $17.4\text{N/mm}^2$ 、西法面  $17.3\text{N/mm}^2$ 、南法面  $16.7\text{N/mm}^2$ 、北法面  $15.9\text{N/mm}^2$  であり、幅方向全体平均は  $16.8\text{N/mm}^2$  であった。幅方向についても、北法面が最も低い値となった。初期値は、長手方向  $21.4\text{N/mm}^2$ 、幅方向  $17.1\text{N/mm}^2$  であったことから、長手方向の引張強さは大きく低下し、幅方向の引張強さは、わずかに低下したか、あるいはほぼ初期の性能を維持している結果となった。

#### 3.1.2 破断時伸び

引張試験時の長手方向の破断時伸びは、東法面 742%、西法面 752%、南法面 743%、北法面 730% であり、長手方向全体平均では 742% であった。長手方向については、北法面が最も低い値となった。一方、幅方向の破断時伸びは、東法面 737%、西法面 747%、南法面 782%、北法面 722% であり、幅方向全体平均では 747% であった。幅方向についても、北法面が最も低い値となった。初期値は、長手方向 823%、幅方向 875% であったことから、幅方向の破断時伸びの低下は、長手方向の破断時伸びよりも著しいことが分かった。

#### 3.1.3 引裂強さ

長手方向の引裂強さは、東法面  $87.9\text{N/mm}$ 、西法面  $84.1\text{N/mm}$ 、南法面  $86.4\text{N/mm}$ 、北法面  $89.0\text{N/mm}$  あり、長手方向全体平均では  $86.9\text{N/mm}$  であった。長手方向については、北法面が最も高い値となった。一方、幅方向の引裂強さは、東法面  $84.3\text{N/mm}$ 、西法面  $76.7\text{N/mm}$ 、南法面  $89.7\text{N/mm}$ 、北法面  $87.5\text{N/mm}$  であり、幅方向全体平均では  $84.6\text{N/mm}$  であった。幅方向については、南法面が最も高い値を示し、北法面は2番目に高い値を示した。引裂強さについては、初期値が計測されていなかったため、カタログ値の  $103\text{N/mm}$  を初期値と見なした場合、長手、幅方向

**Table 2** シートFの引張強さ・破断時伸び  
Tensile strength and elongation at break of geomembrane F

物理特性	長手/幅	方位	2017年	2017年 (平均値)	1990年 (初期値)	保持率 (%)		
引張強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	長手	東	14.6 13.9	14.3	21.4	66.7		
		西	14.3 14.1	14.8				
		南	15.5 14.6					
		北	14.8 15.6					
	幅	東	14.0 12.6			13.2	61.7	
		西	13.0 17.4					
		南	17.8 17.0					
		北	17.7 16.1					
	破断時 伸び (%)	長手	東	17.4 17.8		17.4	17.1	102.0
			西	17.0 17.7				
			南	16.6 16.4				
			北	17.0 17.4				
幅		東	14.8 15.5	15.9	93.2			
		西	750 750			742		
		南	725 765					
		北	730 760					
引裂強さ ( $\text{N/mm}$ )		長手	東	765 730	752			823
			西	760 765				
			南	715 750				
			北	745 725				
	幅	東	720 760	730	88.7			
		西	740 725			747		
		南	775 790					
		北	740 700					
	保持率	長手	東	740 740	742		875	
			西	725 775				
			南	775 780				
			北	740 700				
幅		東	710 740	737	84.2			
		西	725 775			747		
		南	775 780					
		北	740 700					
保持率		長手	東	740 740	742			875
			西	725 775				
			南	775 780				
			北	740 700				
	幅	東	710 740	737	84.2			
		西	725 775			747		
		南	775 780					
		北	740 700					

ともやや低下していたが、長手・幅方向の顕著な相違は見られない、という結果になった。

#### 3.1.4 保持率

引張強さ、破断時伸びについて、初期値に対する保持率を経年的に表示した結果を **Fig. 6** に示す。図に示されるよ

うに、長手方向について、引張強さ保持率は60~70%に低下したものの、破断時伸びの保持率は約90%を維持していた。一方、幅方向の物性値について、引張強さはほとんど初期性能を維持しているか、やや低下した程度であり、破断時伸びの保持率も80%以上を維持していた。なお、今回の結果では、引張強さと破断時伸びの初期値が、長手方向と幅方向で大きく異なっていたため、保持率にすると、長手方向と幅方向との差が大きくなった。

引裂強さに関しては、保持率としてはほぼ80%以上の値が得られている。ただし、この結果は初期値をカタログ値としているため、実際の引裂強さの初期値はこれ以上あったものと推測される。このことから、実際の保持率はさらに低下するものと思われる。

### 3.1.5 方位の影響

シートFに関しては、東西南北の法面上部よりサンプリングを行い、方位の影響を確認することを目的とした。Table 2, 3 および Fig. 6 の結果から、日射を受けやすいと考えられる北法面では、引張強さ、破断時伸び率は最も低い値を示し、引裂強さは高い値を示す傾向が見られた。ただし、方位による性能低下傾向の差は現時点で有意性を示せる程度ではないと思われる。これは、サンプリングした位置が Fig. 3 に示したように法肩の平坦に近い部分であったこと、また周囲に日射を遮るものがなかったことから、方位による日射の影響が生じにくい条件であったためと

考えられる。引き続き、今後の調査結果をもって判断するとともに、日射計や紫外線量計などによる直接測定による確認も必要と考える。

## 3.2 シートMの試験結果

気中、喫水、水中の試験結果を Table 4, 5 に示す。

### 3.2.1 引張強さ

長手方向の引張強さは、気中 7.1N/mm<sup>2</sup>, 喫水 10.0N/mm<sup>2</sup>, 水中 9.1N/mm<sup>2</sup>であった。一方、幅方向の引張強さは、気中 7.3N/mm<sup>2</sup>, 喫水 9.1N/mm<sup>2</sup>, 水中 8.9N/mm<sup>2</sup>であった。初期値は 10.7N/mm<sup>2</sup>との記録が残されていたが、長手方向か幅方向かは不明であった。この結果から、気中では、喫水や水中と比較して引張強さが低下していることが分かった。

### 3.2.2 破断時伸び

長手方向の破断時伸びは、気中 210%, 喫水 308%, 水中 368%であった。また、幅方向の破断時伸びは、205%, 275%, 373%であった。引張強さと同様、喫水および水中と比較して気中の性能低下が進行しているといえる。

### 3.2.3 引裂強さ

長手方向の引裂強さは、気中 41.1N/mm, 喫水 46.4N/mm,

**Table 3** シートFの引裂強さ  
Tensile strength and elongation at break of geomembrane F

物理特性	長手/幅	方位	2017年	2017年 (平均値)	1990年 (初期値)	保持率 (%)
引裂強さ (N/mm)	長手	東	88.2	87.9	103 以上 (カタログ 値)	85.4
			88.7			
			86.9			
		西	82.5	84.1		
			86.5			
			83.2			
	幅	北	88.3	89.0		
			82.1			
			88.8			
		東	92.5	84.3		
			87.2			
			87.5			
西	南	85.0	84.3			
		82.6				
		85.4				
	北	81.9	76.7			
		75.7				
		72.5				
南	88.7	89.7				
	92.1					
	88.3					
東	86.4	87.5				
	89.0					
	87.2					

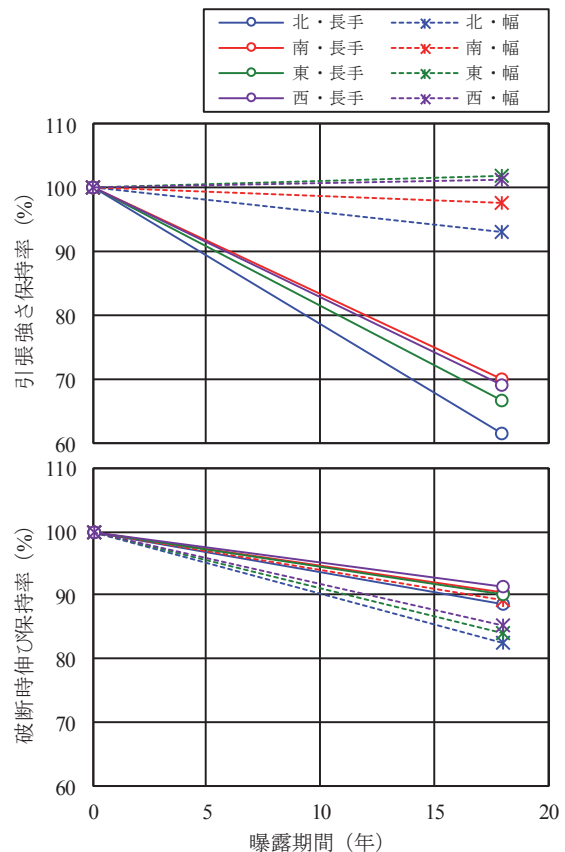


Fig. 6 引張強さおよび破断時伸びの保持率  
Retention rate of tensile strength and elongation at break

**Table 4** シート M の引張強さ・破断時伸び  
Tensile strength and elongation at break of geomembrane M

物理特性	長手/幅	採取位置	2017年 (平均値)	1987年 (初期値)	保持率 (%)
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	長手	気中	7.1	7.1	66.4
			6.9		
			7.3		
		喫水	10.2	10.0	93.1
			10.2		
			9.5		
	水中	9.0	9.1	85.4	
		9.2			
		9.2			
	幅	気中	7.1	7.3	68.0
			6.9		
			7.8		
喫水		8.8	9.1	84.8	
		9.1			
		9.3			
水中	9.2	8.9	83.6		
	8.8				
	8.8				
破断時 伸び (%)	長手	気中	210	210	37.0
			200		
			220		
		喫水	315	308	54.4
			315		
			295		
	水中	375	368	65.0	
		370			
		360			
	幅	気中	190	205	36.2
			205		
			220		
喫水		260	275	48.5	
		275			
		290			
水中	385	373	65.8		
	360				
	375				

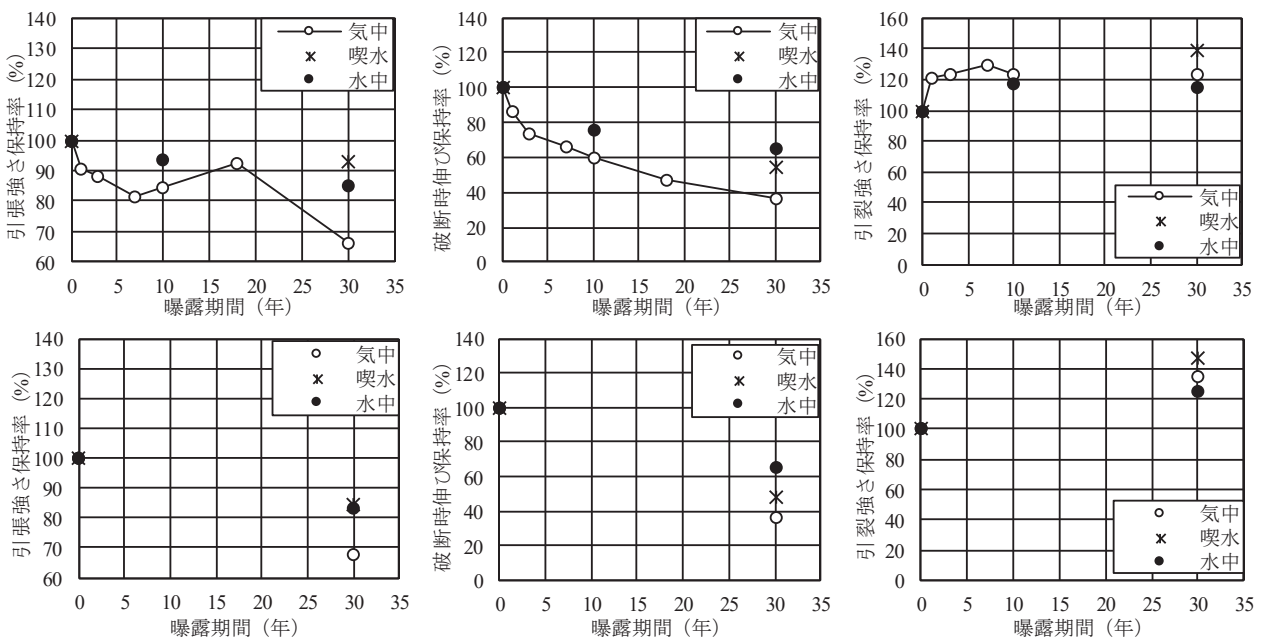
水中 38.4N/mm であった。また、幅方向の引裂強さは、気中 45.0N/mm、喫水 48.8N/mm、水中 41.6N/mm であった。いずれも初期値 33.3N/mm に対して強度が上昇したが、引張強さ、破断時伸びの結果のように、気中部で著しく性能低下が進んでいる傾向は見られなかった。

**3.2.4 経年変化**

シート M の引張強さ、破断時伸び、引裂強さの経年的な傾向を Fig. 7 に示す。なお、曝露初期 10 年までの途中データが無いケースではシンボルのみを示している。シート M の各種保持率は、引裂強さを除いて、経年的に低下する傾向が見られた。特に、長手方向の破断時伸び保持率は、その傾向が明瞭に確認できた。また、データプロット数は

**Table 5** シート M の引裂強さ  
Tear strength of geomembrane M

物理特性	長手/幅	採取位置	2017年 (平均値)	1987年 (初期値)	保持率 (%)
引裂強さ (N/mm)	長手	気中	38.3	41.1	123.5
			40.8		
			44.3		
		喫水	41.8	46.4	139.4
			51.0		
			46.5		
	水中	35.5	38.4	115.2	
		40.7			
		38.8			
	幅	気中	43.6	45.0	135.2
			46.2		
			45.3		
喫水		50.6	48.8	146.5	
		46.1			
		49.7			
水中	41.0	41.6	124.8		
	41.0				
	42.7				



**Fig. 7** シート M の各種物性の保持率 (上段：長手方向，下段：幅方向)  
Retention of physical properties in geomembrane M (upper: machine direction, bottom: cross-machine direction)

少ないものの、この図からも気中よりも水中の方が引張強さ保持率、破断時伸び保持率とも高い値を示し、水中に存在する遮水シートは、気中に比べて劣化の進行は緩やかであることが確認された。

気中に存在する遮水シートでは、設置後 10 年までの間に生じる性能低下が大きい。曝露 10 年後の遮水シートの性能は、引張強さ保持率で約 80%、破断時伸び保持率で約 60%に低下した。一方、引張強さは、曝露期間の増加とともに上昇し、曝露 10 年後では、保持率は 120%となっている。シート M は、経年により硬化し、伸び能力が低下する材質であると考えられる。

曝露 10 年以降では、曝露 18 年で引張強さ保持率が増加しているものの、曝露 30 年の結果では、気中での引張強さ保持率が 70%以下となった。また、破断時伸びは気中で 40%以下となった。

「遮水シートの耐久性評価ハンドブック」によると、破断時伸びの変化率（特性変化率 = |試験時の破断時伸び - 破断時伸びの初期値| / 破断時伸びの初期値）は 0.6 を超

えるあたりでバラツキが大きくなる。これは、特性変化率が 0.6 を超えるあたり物性の変化が急激に大きくなる材料あるいは製品が多いため、特性変化の判断基準のひとつとして、特性変化率 0.6 を許容値の目安と考えることができる、と示されている（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, 2009）。この目安にしたがうと、シート M の 30 年後の破断時伸びの特性変化率は、気中長手方向 0.63、気中幅方向 0.64 となり、許容値を超える結果となった。一方、水中では、長手方向 0.35、幅方向 0.34 であり、この判断基準にしたがえば、水中にあったシートは、まだ 0.6 に達しておらず、物性は安定している状態にあるといえる。

各種試験結果を総合すると、農村工学研究部門で曝露試験されたシート M では、気中の劣化が進行しやすいこと、劣化により引張強さが低下するとともに、破断時伸びがそれ以上に低下する傾向を示すこと、曝露により引張強さが上昇すること、という特徴を示すことが明らかとなった。

### 3.3 シート K2 の試験結果

気中、喫水、水中の試験結果を Table 6, 7 に示す。

Table 6 シート K2 の引張強さ・破断時伸び  
Tensile strength and elongation at break of geomembrane K2

物理特性	長手/幅	採取位置	2017 年	2017 年 (平均値)	1987 年 (初期値)	保持率 (%)
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	長手	気中	8.3	8.2	9.3	88.3
			8.1			
		喫水	8.3			
			9.5			
			10.2			
			10.1			
	水中	9.8	9.7	104.4		
					10.2	
		9.2	9.3		80.4	
						7.5
						7.3
						7.6
幅	喫水	9.6	9.3	99.3		
		9.1				
	9.1	9.3	99.7			
					9.5	
					9.3	
					9.0	
破断時 伸び (%)	長手	気中	240	213	507	42.1
			210			
		喫水	190			
			270			
			265			
			275			
	水中	325	333	65.7		
					340	
		335	228		45.0	
						240
						220
						225
幅	喫水	235	255	50.3		
		260				
	270	312	61.5			
					310	
					325	
					300	

#### 3.3.1 引張強さ

長手方向の引張強さは、気中 8.2N/mm<sup>2</sup>、喫水 10.0N/mm<sup>2</sup>、水中 9.7N/mm<sup>2</sup> であった。一方、幅方向の引張強さは、気中 7.5N/mm<sup>2</sup>、喫水 9.3N/mm<sup>2</sup>、水中 9.3N/mm<sup>2</sup> であった。初期値は、長手方向と幅方向の区別は不明であったが、9.3N/mm<sup>2</sup> との記録が残されていた。この結果から、喫水や水中の引張強さは、30 年が経過してもほぼ初期値と変化していないものの、気中では引張強さが低下していることが分かった。

Table 7 シート K2 の引裂強さ  
Tear strength of geomembrane K2

物理特性	長手/幅	採取位置	2017 年	2017 年 (平均値)	1987 年 (初期値)	保持率 (%)
引裂強さ (N/mm)	長手	気中	38.2	36.5	28.4	128.6
			36.1			
		喫水	35.3			
			41.9			
			42.9			
			43.7			
	水中	37.9	37.8	132.9		
					39.0	
		36.4	32.4		114.1	
						29.4
						32.9
						34.8
幅	喫水	41.7	40.1	141.2		
		39.1				
	39.5	38.5	135.6			
					37.9	
					40.5	
					37.1	



3.3.2 破断時伸び

長手方向の破断時伸びは、気中 213%、喫水 270%、水中 333%であった。また、幅方向の破断時伸びは、同順に 228%、255%、312%であった。引張強さと同様、気中の性能低下が進行しているといえるが、引張強さと比較すると、性能低下の程度は著しく、気中の破断時伸びは、初期値の 50% 以下となっていることが示された。

3.3.3 引裂強さ

長手方向の引裂強さは、気中 36.5N/mm、喫水 42.8N/mm、水中 37.8N/mm であった。また、幅方向の引裂強さは、気中 32.4N/mm、喫水 40.1N/mm、水中 38.5N/mm であった。いずれも初期値 28.4N/mm に対して強度が上昇した。引張試験の結果は、気中に曝露された部分の強度が小さく、最も劣化が進行していると判断されたが、引裂強さに関しては、喫水や水中と比べると、気中での極端な劣化は確認できなかった。

これらの各種試験結果を総合すると、シート K2 は、シート M と同様、特に気中において、劣化により引張強さが低下するとともに、破断時伸びがそれ以上に低下する傾向を示すことが明らかとなった。

3.3.4 経年変化

シート K2 の引張強さ、破断時伸び、引裂強さの経年的な傾向を Fig. 8 に示す。シート K2 の保持率は、シート M と同様の傾向を示した。すなわち、経年的に保持率が低下する傾向が見られた。特に、長手方向破断時伸び保持率は、その傾向が明瞭に確認できた。ただし、引張強さは、シート M と比較して、保持率が低下しにくい傾向が見られた。また、引張強さ、破断時伸びは、気中よりも水中の方が保

持率が高い傾向も類似しており、シート K2 についても、水中に存在する遮水シートは、気中にくらべて劣化の進行は緩やかであることが確認された。気中では水中に比べて紫外線や温度変化の影響を受けやすい。このことから、農村工学研究部門において施工された遮水シートの主たる性能低下要因は、紫外線あるいは温度変化であると考えられる。

気中の遮水シートの保持率は、曝露 10 年までの間に大きく変化している。引張強さを見ると、曝露 10 年後には保持率で約 90%に、破断時伸び保持率では約 60%に低下する。一方、引裂強さは、曝露期間の増加とともに上昇し、10 年後では、保持率 120%となっている。これらの傾向は、いずれもシート M と同様の傾向を示した。

曝露 30 年後の破断時伸びの変化率を求めると、長手方向 0.58、幅方向 0.55 となり、許容値をわずかに下回ったが、今後急激に劣化が進行する可能性があるかと推測される。

4 結言

本報告では、実曝露環境下で数十年が経過した 3 種類の遮水シートの物性を確認した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ①農村工学研究部門において施工された曝露 18 年が経過したシート F では、気中の長手方向の引張強さが約 60%にまで低下したが、その他の物性は 80%以上の保持率を示している。また、今回の調査の範囲では、法面の方位による差は認められなかった。
- ②農村工学研究部門において施工されたシート M およびシート K2 の引張強さ、破断時伸びは、経年によつ

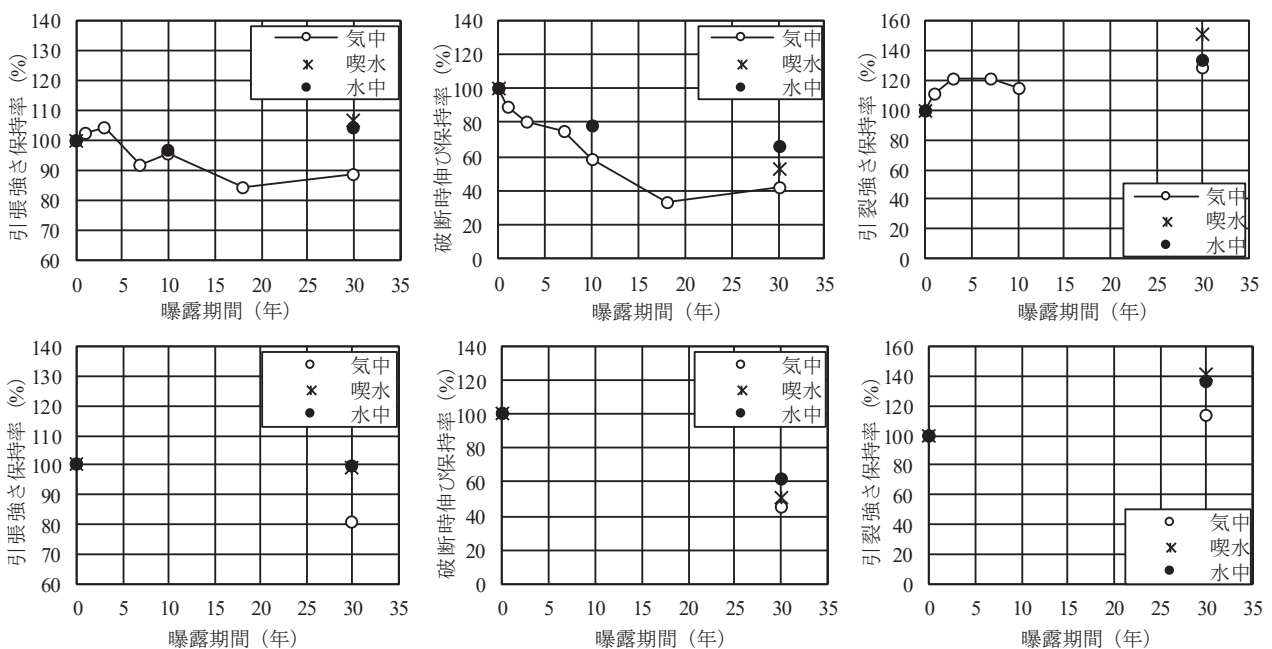


Fig. 8 シート K2 の各種物性の保持率 (上段：長手方向、下段：幅方向)  
Retention of physical properties in geomembrane K2 (upper: machine direction, bottom: cross-machine direction)

て保持率低下の傾向を示したが、引裂強さは増加した。

- ③農村工学研究部門において施工された3種類のシートは、いずれも経年によって破断時伸びが低下する傾向を示した。特にシート M 気中においては曝露期間 30 年間で、破断時伸びは初期の約 40%にまで低下した。また、破断時伸びは遮水シートの柔軟性に対する直接的な指標でもありと考えられるため、遮水シートの劣化を診断する上で重要な指標になると考えられる。
- ④水中での経年に伴う物性変化は、気中に比べると緩やかである。常時気中に位置する遮水シートの引張強さ、破断時伸びの保持率は、水中に比べて低下していることを考慮すると、農村工学研究部門において施工された遮水シートの主たる性能低下要因は、紫外線あるいは温度変化であると考えられる。

なお、本稿で示した実験池は下地処理などに留意して施工されたものであり、シート背面の凹凸、シート敷設、接着等による張力の作用状況によって、実環境では局所的に結果が異なる可能性がある。また、今回調査した3種類のシートに関しては、化学組成や配合などが不明である。このため、あくまで農村工学研究部門内の実験池で施工されたシートの結果であり、一般化できないことに留意されたい。また、今後の課題として、シートの材質によらない、劣化判定、劣化予測方法の確立が望まれる。

2007 年から、農林水産省において、ストックマネジメントの取り組みが開始され、数多くの施設で機能診断が行われている。一方、これらのデータは、実構造物の耐久性評価や、将来の劣化予測の精度向上に、非常に意義のあるデータであるにも関わらず、適切に継承されないケースもあると考えられる。機能診断による5段階の健全度結果だけではなく、これらの物性に関する生データを行政、大学、研究機関で共有しつつ保管していくことにより、将来、これらのデータが役立つことになる。本報告が、そのような意識改革の一助となれば幸いである。

**謝辞:** 曝露開始から 35 年間のサンプリング結果について、長束勇 島根大学名誉教授から当時の試験データを提供いただきました。また、サンプリングおよび各種試験について、三ツ星ベルト (株) 関係各位にご協力いただきました。記してお礼申し上げます。

#### 付録 詳細データ

各試験および経年のデータを **Table A1, A2** に、2017 年実施の引張試験および引裂試験の荷重変位曲線を **Fig. A1~A10** に示す。なお、曝露開始から 50 年経過した遮水シート K についても今回サンプリングを行い、各種物性試験を実施し、報告している (森ら, 2018)。このデータも他の試験結果の将来予測のために有効と考えられることから、引張試験および引裂試験結果について、**Table A3** および **Fig. A11** に掲載する。なお、荷重変位曲線の変位は、試験片上下端をつかんだチャック間の変位である。

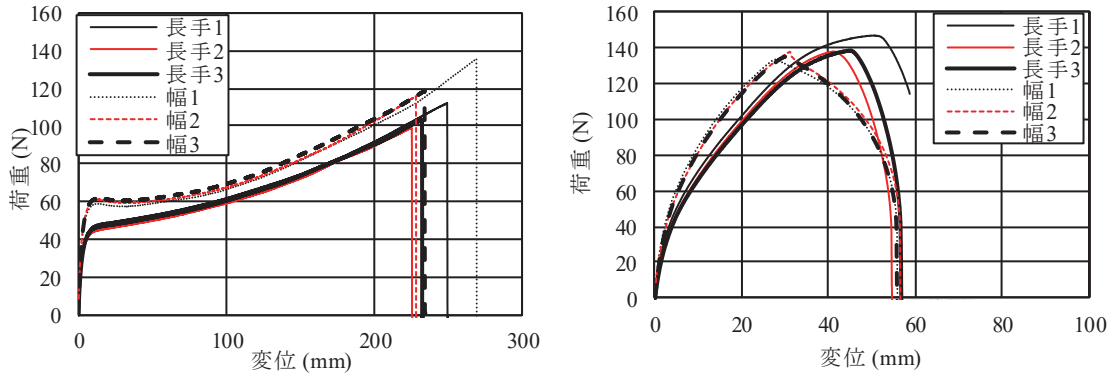


Fig. A1 シートFの荷重変位曲線 (北法面 左: 引張試験, 右: 引裂試験)

Load-displacement curve of geomembrane F (north slope, left: tensile test, right: tear test)

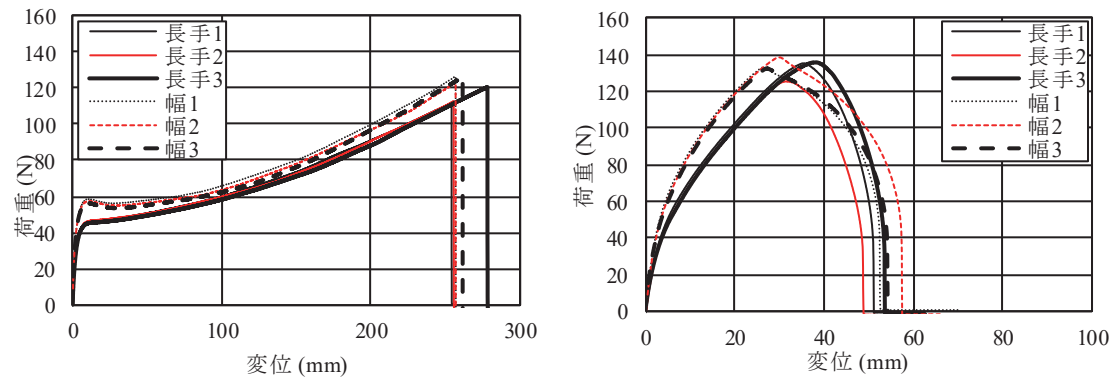


Fig. A2 シートFの荷重変位曲線 (南法面 左: 引張試験, 右: 引裂試験)

Load-displacement curve of geomembrane F (south slope, left: tensile test, right: tear test)

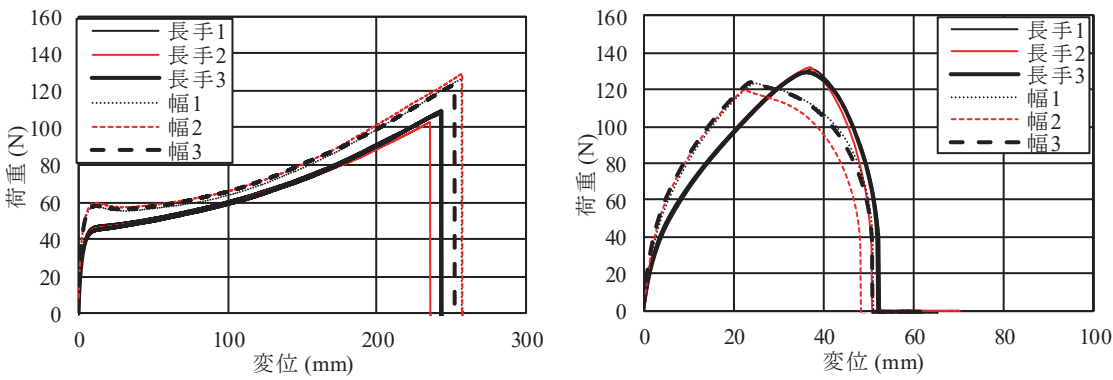


Fig. A3 シートFの荷重変位曲線 (東法面 左: 引張試験, 右: 引裂試験)

Load-displacement curve of geomembrane F (east slope, left: tensile test, right: tear test)

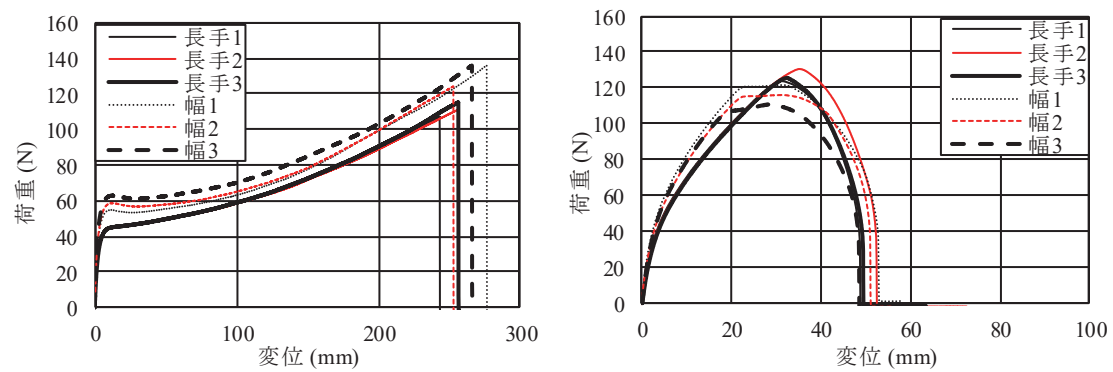


Fig. A4 シートFの荷重変位曲線 (西法面 左: 引張試験, 右: 引裂試験)

Load-displacement curve of geomembrane F (west slope, left: tensile test, right: tear test)

**Table A1** シート M の各種物理特性の経年変化  
Changes of physical properties due to ageing on geomembrane M

物理特性	長手/幅	採取位置	1987年 (初期値)	1988年	1990年	1994年	1997年	2005年	2017年	2017年 (平均値)
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	長手	気中	10.68						7.05	7.09
									6.89	
		喫水							7.33	9.95
									10.19	
									10.16	
									9.49	
	水中	8.96							9.12	
		9.21								
	幅	気中							9.21	7.26
									7.10	
		喫水							6.85	9.06
									7.84	
8.78										
9.14										
水中	9.25	8.93								
	9.17									
破断時伸び (%)	長手	気中	507						210	210
									200	
		喫水							220	308
									315	
									315	
									295	
	水中	375							368	
		370								
	幅	気中							360	205
									190	
		喫水							205	275
									220	
260										
275										
水中	290	373								
	385									
引裂強さ (N/mm)	長手	気中	33.3						38.3	41.1
									40.2	
		喫水							44.3	46.4
									41.8	
									51.0	
									46.5	
	水中	35.5							38.4	
		40.7								
	幅	気中							38.8	45.0
									43.6	
		喫水							46.2	48.8
									45.3	
50.6										
46.1										
水中	49.7	41.6								
	41.0									
								41.0		
								42.7		

\*1978~2005年の値は平均値のみ

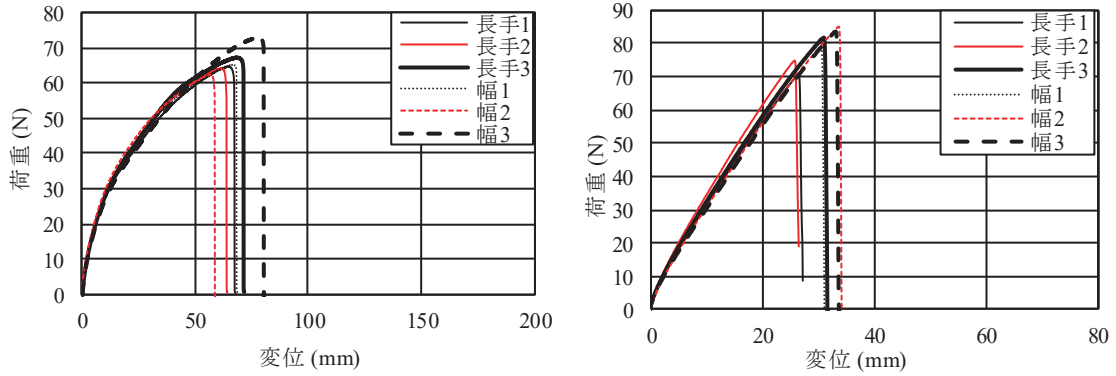


Fig. A5 シートMの荷重変位曲線 (気中, 左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
 Load-displacement curve of geomembrane M (above waterline, left: tensile test, right: tear test)

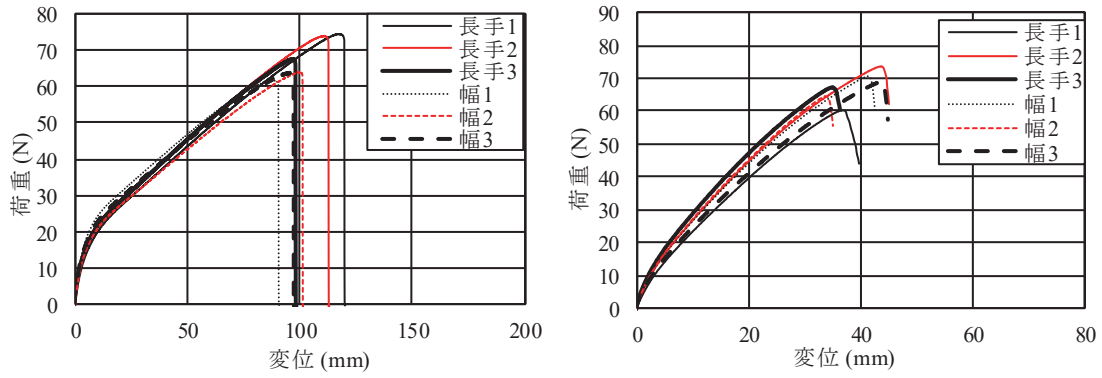


Fig. A6 シートMの荷重変位曲線 (喫水, 左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
 Load-displacement curve of geomembrane M (waterline, left: tensile test, right: tear test)

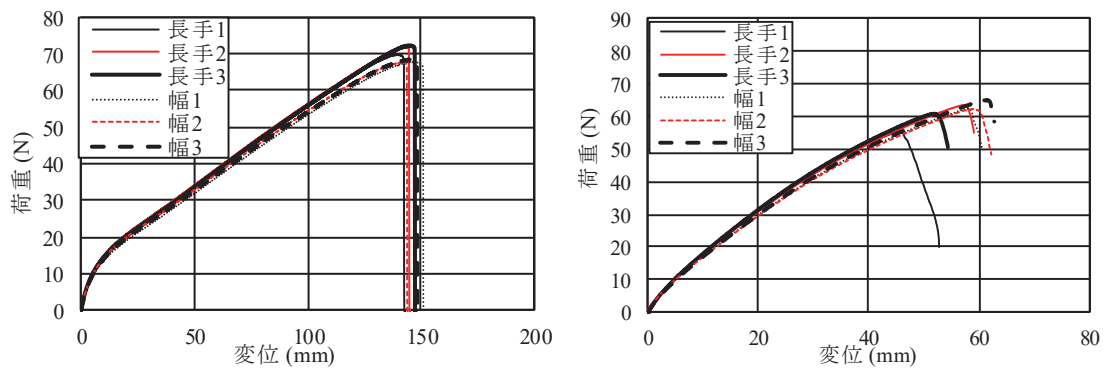


Fig. A7 シートMの荷重変位曲線 (水中, 左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
 Load-displacement curve of geomembrane M (under waterline, left: tensile test, right: tear test)

**Table A2** シート K2 の各種物理特性の経年変化  
Changes of physical properties due to ageing on geomembrane K2

物理特性	長手/幅	採取位置	1987年 (初期値)	1988年	1990年	1994年	1997年	2005年	2017年	2017年 (平均値)		
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )		気中	9.32	9.51	9.71	8.53	8.92	7.85	8.32 8.11	8.23		
		喫水		-	-	-	-	-	9.53 10.21 10.12	9.96		
	長手	水中		-	-	-	9.02	-	9.81 10.18 9.19	9.73		
		気中		-	-	-	-	-	7.51 7.32 7.63	7.49		
	幅	喫水		-	-	-	-	-	9.56 9.07 9.13	9.25		
		水中		-	-	-	-	-	9.48 9.34 9.04	9.29		
	破断時伸び (%)			気中	507	452	407	382	295	170	240 210	213
				喫水		-	-	-	-	-	190 270 265 275	270
		長手		水中		-	-	-	395	-	325 340 335	333
				気中		-	-	-	-	-	240 220 225	228
幅		喫水	-	-		-	-	-	235 260 270	255		
		水中	-	-		-	-	-	310 325 300	312		
引裂強さ (N/mm)			気中	28.4		31.4	34.3	34.3	32.4	-	38.2 36.1	36.5
			喫水			-	-	-	-	-	35.3 41.9 42.9 43.7	42.8
		長手	水中			-	-	-	-	-	37.9 39.0 36.4	37.8
			気中			-	-	-	-	-	29.4 32.9 34.8	32.4
	幅	喫水	-		-	-	-	-	41.7 39.1 39.5	40.1		
		水中	-		-	-	-	-	37.9 40.5 37.1	38.5		

\*1978～2005年の値は平均値のみ

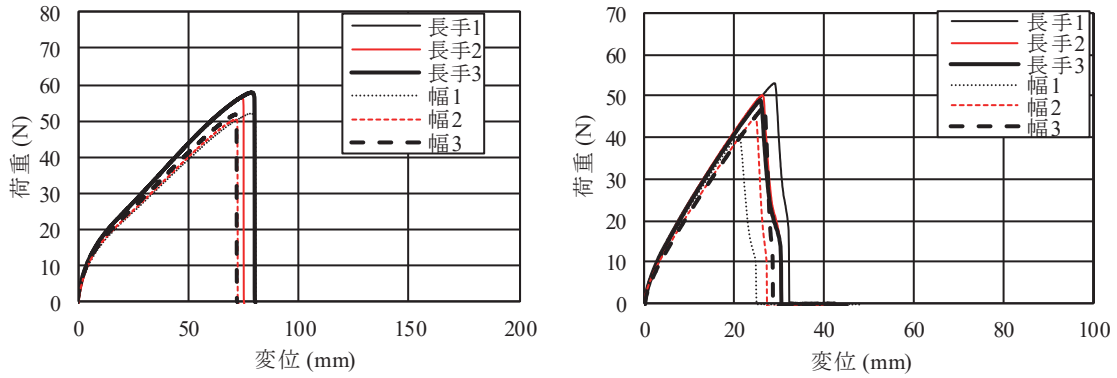


Fig. A8 シート K2 の荷重変位曲線 (氣中, 左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
Load-displacement curve of geomembrane K2 (above waterline, left: tensile test, right: tear test)

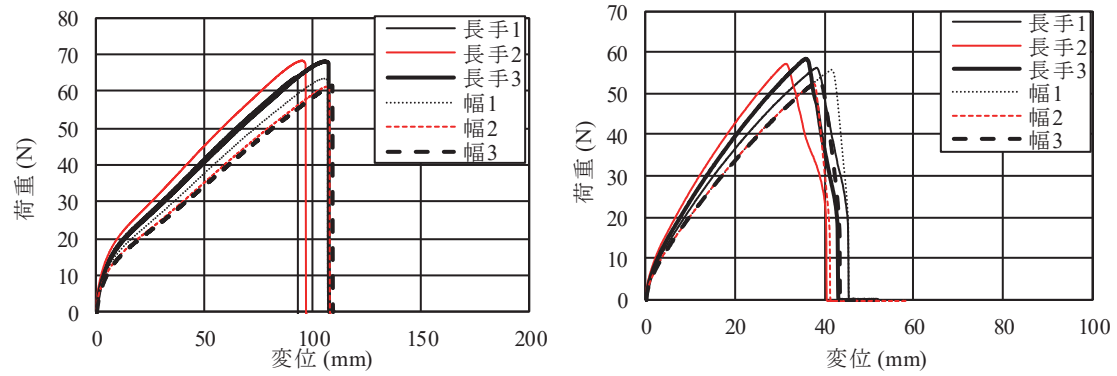


Fig. A9 シート K2 の荷重変位曲線 (喫水, 左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
Load-displacement curve of geomembrane K2 (waterline, left: tensile test, right: tear test)

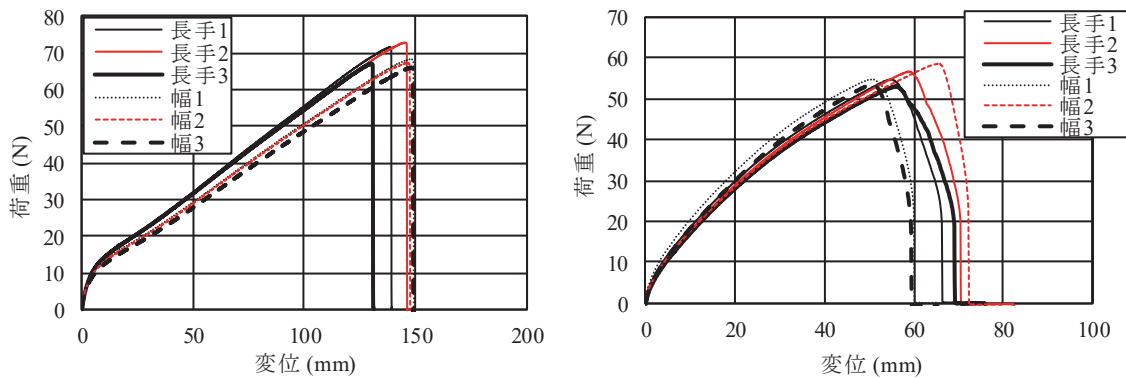


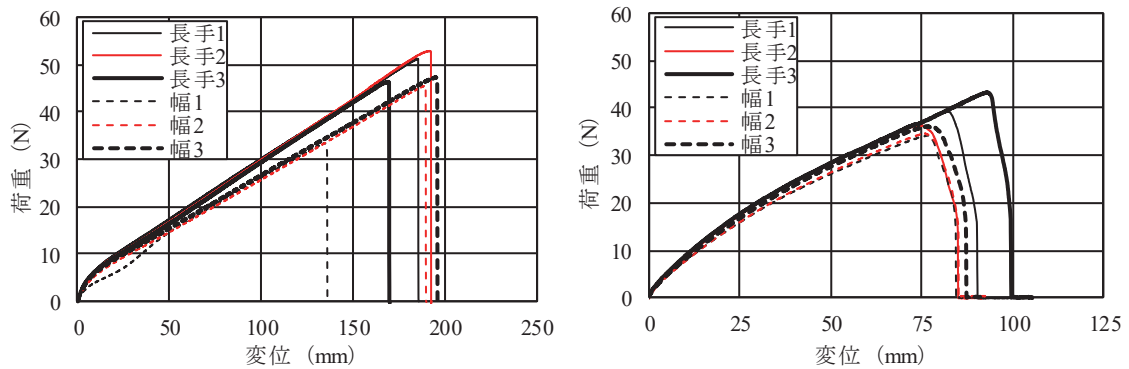
Fig. A10 シート K2 の荷重変位曲線 (水中, 左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
Load-displacement curve of geomembrane K2 (under waterline, left: tensile test, right: tear test)

**Table A3** シート K の各種物理特性の経年変化  
Changes of physical properties due to ageing on geomembrane K

物理特性	長手/幅	採取位置	1967年 (初期値)	1974年	1977年	1982年	1987年	1997年	2002年	2017年
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	長手	気中		9.90	10.40	9.60	9.40	10.50	—	—
		喫水	9.90	9.80	10.00	10.10	9.40	9.70	—	—
		水中		9.50	10.70	9.80	7.70	9.40	8.50	8.0
	幅	気中		9.40	9.90	8.70	8.50	10.20	—	—
		喫水	9.30	9.00	9.50	9.80	9.10	7.90	—	—
		水中		8.90	9.70	9.30	9.10	8.20	9.80	7.60
破断時伸び (%)	長手	気中		495	480	435	370	440	—	—
		喫水	520	495	490	465	405	445	—	—
		水中		535	505	475	390	470	413	412
	幅	気中		510	500	450	380	490	—	—
		喫水	560	500	510	495	430	415	—	—
		水中		540	520	485	475	480	423	423
引裂強さ (N/mm)	長手	気中		27	34	35	37	28	—	—
		喫水	30	27	32	34	34	23	—	—
		水中		27	31	32	27	29	23.4	31.5
	幅	気中		27	34	34	31	29	—	28.0
		喫水	33	27	32	32	34	28	—	28.0
		水中		28	31	32	33	26	27.0	28.4

\*値は平均値 (2002年および2017年の試験値は森ら (2018) を参照)

\*2017年の水中は底版からサンプリングした試験結果



**Fig. A11** シート K の荷重変位曲線 (左: 引張試験, 右: 引裂試験)  
Load-displacement curve of geomembrane K (left: tensile test, right: tear test)



## 引用文献

海老名芳郎, 竹内正一, 岩崎拘巳, 菊岡保人(1970): 薄層舗装材料の貯水池への応用に関する研究—合成ゴムシートの材質と小容量貯水池の施工について—, 農業土木試験場技報 C(造構), **8**, 17-41

気象庁 (2018): つくば (館野) 気象データ <[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\\_no=40&block\\_no=47646&year=&month=&day=&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=40&block_no=47646&year=&month=&day=&view=)> (閲覧日 2018年11月15日)

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 (2009): 廃棄物処分場における遮水シートの耐久性評価ハンドブック, 技報堂出版, 19

森 充広, 浅野 勇, 川邊翔平, 川上昭彦 (2018): 50年曝露された合成ゴム系遮水シートの物性変化, 農業農村工学会誌, **86**(6),

493-496

長束 勇 (1999): 貯水池表面遮水広報に関する研究—主としてジオメンブレンの利用に関して—, 農村工学研究所報告, **38**, 1-131

吉田武郎, 増本隆夫, 堀川直紀(2012): 農村工学研究所内における総合気象観測システムの構築とそのデータ品質管理, 農村工学研究所技報, **212**, 43-52

---

原稿受理 平成31年1月21日

## Physical Properties Change of Various Rubber Geomembrane Exposed for Long Term

KAWABE Shohei\*, MORI Mitsuhiro\*\*, ASANO Isamu\*, KAWAKAMI Akihiko\* and  
KANAMORI Takuya\*

\*Facilities Maintenance and Management Unit, Division of Facilities and Geotechnical Engineering

\*\*Planning and Cooperation Section, Department of Planning and General Administration

### Abstract

Institute for Rural Engineering, NARO constructed several experimental ponds to evaluate the durability of waterproofing geomembrane sheet and has performed various physical property tests. In this study, tensile strength, elongation at break and tear strength of three kinds of geomembranes, which have been exposed at experimental ponds, were obtained and the tendency of deterioration was grasped. In a geomembrane mainly composed of thermoplastic resin exposed for 18 years, test pieces were sampled from part above waterline. The longitudinal tensile strength decreased to about 60% of the initial value, while the other physical properties have been kept 80% or more. On the other geomembranes mainly composed of vulcanized rubber exposed for 30 years, the tensile strength and elongation at break decreased to about 80% and 40%, respectively, while the tear strength increased to 120%. This trend was striking in the part above the waterline, compared with the part at the waterline and underwater. The elongation at break showed a clear tendency to decrease with the passage of time, so the elongation at break is the important index for diagnosing degradation of the geomembrane.

**Key words:** *geomembrane, Ethylene Propylene Diene Monomer, exposure test, durability, tensile strength, tear strength, elongation at break*