

高密度ポリエチレン・ライナー材の クリープ特性と長期強度の評価

西形達明¹・西田一彦²・西川隆晴³・蚊野照久⁴

¹正会員 工博 関西大学助教授 工学部土木工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-1)

²正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-1)

³正会員 関西大学大学院工学研究科博士課程後期課程 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-1)

⁴学生会員 関西大学大学院工学研究科博士課程前期課程 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-1)

廃棄物最終処分場におけるジオメンブレンライナーのクリープ特性は、重要な力学的特性の1つである。本研究では厚さの異なる3種類の高密度ポリエチレン(HDPE)製のジオメンブレンシートを試料として、処分場基礎地盤の局所的な沈下にもなるクリープ特性について検討を加えた。また、これらのクリープ特性に対して、土のクリープ式を適用することによって、長期間にわたるクリープ変形の定式化を行うことを試みた。さらに、実験より得られたクリープ特性の適用方法として、クリープの影響を考慮したジオメンブレンの引張り強度の低減率を提示することにする。

Key Words: waste landfill, geomembrane, settlement, multi-axial tensile force, creep, long term strength

1. はじめに

近年、廃棄物最終処理場におけるジオメンブレン(遮水シート)の果たす役割の中では遮水機能が最も重要であり、主にこの機能を担うように構造設計が行われている。そして、外力に対しては基礎材で抵抗させるように設計されている。しかし、施設供用開始後に基礎に生じる局所的な変形や沈下部が起こると、そこへのシートの貫入が生じるため、それに対するジオメンブレンの長期的な強度特性や変形特性などの検討が不可欠となる。このことは、現場においてもジオメンブレンライナー層の下面部に発生する基礎地盤の局所的な沈下変形がジオメンブレンの破壊の原因となることの事例が報告されている¹⁾。野本ら²⁾は、このような条件下でのジオメンブレンの変形挙動について落とし戸を用いた2次元模型実験によって検討を加えている。しかし、このような基礎地盤の局所的な変形部の近傍では、ジオメンブレンには多軸方向の引張り力が作用するものと考えられる。一般に、ジオンセティックスに関する引張り強度試験やモデル試験では、一軸方向の引張り力が作用するような方法によってなされることが多い。一方、長東³⁾はジオメンブレンの引張り強度特性は試験時における荷重の作用状態の影響を大きく受けることを指摘している。したがって、地盤中のジオメンブレンライナーの変形特性を考察するためには、多軸方向に引張り力を受ける場合の検討が必

要である。また、ジオメンブレンのクリープ特性についても Levacher⁴⁾や Soong⁵⁾, Farrag⁶⁾らによって行われているが、いずれも一軸引張り状態におけるクリープ特性を扱ったものであるため、これについても多軸方向の荷重が作用する条件下で検討を行う必要がある。

そこで、本研究では、高密度ポリエチレン(HDPE)製のジオメンブレンシートを対象として、多軸方向の引張り力が作用する条件下におけるクリープ変形特性について検討を加えた。さらに、得られた実験結果を基にして、ジオメンブレンのクリープ特性に対して土のクリープ式を適用することによって、長期間にわたるクリープ変形の定式化を行い、その長期強度の評価を試みる。さらに、クリープ変形に基づいたジオメンブレンの引張り強度の低減率を求めることで、クリープ変形の影響を実設計へ適用する手法について検討する。

2. 実験装置と方法

ジオメンブレンのクリープ試験に用いた実験装置を図-1に示す。これは、内径50cm、高さ45cmの円形土槽で、底面には局所的な沈下部を模した直径20cmの空洞を有している。この空洞部にジオメンブレン試料を固定し、上部より水を介して空気圧によってジオメンブレン試料に一定の上載荷重が作用するようになっ

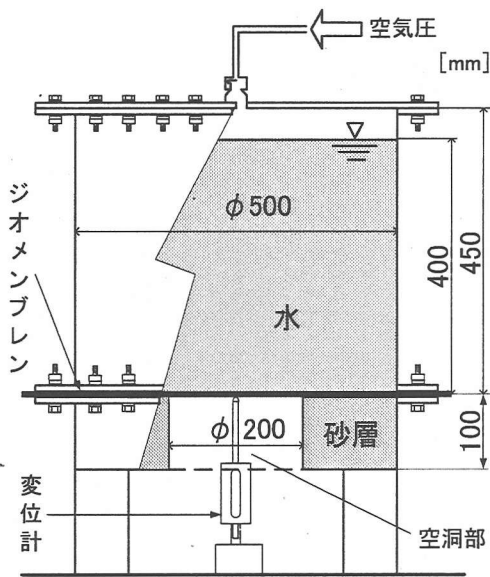


図-1 試験装置

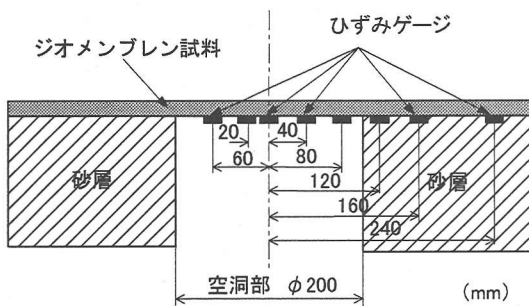


図-2 ひずみゲージの取り付け位置

表-1 ジオメンブレン (HDPE) 試料の引張り強度特性

厚さ (mm)	1.0	1.5	2.0
引張り強度 (MPa)	20.1	23.0	27.0
破壊時伸びひずみ (%)	780	860	940
引張り剛性 (MPa)	160	140	120

ている。上載荷重を長期間載荷する場合、本論文ではこの上載空気圧をクリープ荷重 (σ_c) と呼ぶことにする。これによって、空洞部上にあるジオメンブレン試料には半径方向に多軸方向の引張り力が作用することになる。また、ジオメンブレン試料下の空洞部外の容器には砂層を敷設した。さらに、図-1 に示すように、空洞部の下部には変位計を設置し、上載荷重によるジオメンブレンの膨張変形量を測定した。ジオメンブレンの半径方向の伸びひずみの測定は、図-2 に示すよう

に、試料下面の中心部および中心から 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24cm の 8 カ所にひずみゲージ(ゲージ長さ 6.5mm) を取り付けに行った。ただし、中心部および中心部から 2, 4, 6, 8cm までのひずみ測定位置は空洞内に存在し、中心部から 12, 16, 24cm のものは空洞部外の砂層上に位置している。なお、クリープ試験中の室温は 22°C に保った。

用いたジオメンブレン試料は表-1 に示すような、厚さの異なる 3 種類の HDPE シートであり、表中にその一軸方向の引張り試験より求められた力学的性質を示す。なお、表中の引張り剛性の値は 10%ひずみ時の割線係数である。各試料によってわずかに異なっているが、これは破壊時の伸びひずみが非常に大きいため、厚さの影響が現れたものと思われる。HDPE ジオメンブレンシートは強度面に優れていることのほか、透水性が非常に低く ($10^{-11} \sim 10^{-13} \text{cm/s}$)、化学的な耐久性が高いなど、ライナー材として材料的に優れていることから、近年の処分場の建設の大部分において使用されている。

3. 多軸クリープ試験結果

図-3, 4 は、厚さ 1.0mm のジオメンブレン試料におけるクリープ試験結果を示したものである。なお、図中に示す凡例はひずみゲージの取り付け位置(中心部からの距離)を示している。ただし、本実験ではクリープ荷重載荷直後 ($t=0\text{min}$) の変形が微小であり、即時ひずみ量を正確に分離することが困難であったため、ここで示すクリープひずみは全ひずみ量で示している。

いずれの荷重条件においても、全体的に中心部のクリープひずみが一番大きく、端部に向かうほど小さくなっている。しかし、クリープ荷重が小さいときには空洞内(中心から 8cm までの位置)のクリープひずみに大差はない。すなわち、空洞内ではほぼ様なクリープひずみ分布となっているようである。また、空洞外(12, 16, 24cm)では空洞内に比べて極端にクリープひずみは小さくなっている。本試験は通常の一軸方向の引張り試験とは異なり、空洞内のジオメンブレン試料には多軸方向の引張り力が作用し、破裂試験と同様な載荷条件となっている。また、中心より 24cm の位置におけるクリープひずみ量は 1%以下となっており、空洞外では砂層との摩擦によりクリープひずみは緩和されたものと考えられる。したがって、本試験の荷重条件ではジオメンブレン試料の周辺を固定したことによる影響は小さいものと考えられる。

次に、クリープ変形挙動について見ると、図-3 の比較的小さいクリープ荷重 (147kPa) では、クリープひ

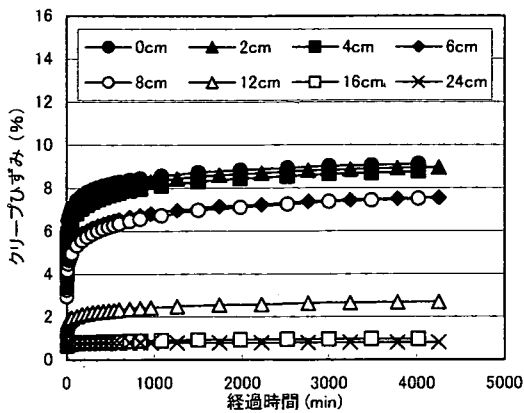


図-3 クリープ試験結果 (HDPE, 厚さ1.0mm, $\sigma_c=147\text{kPa}$)

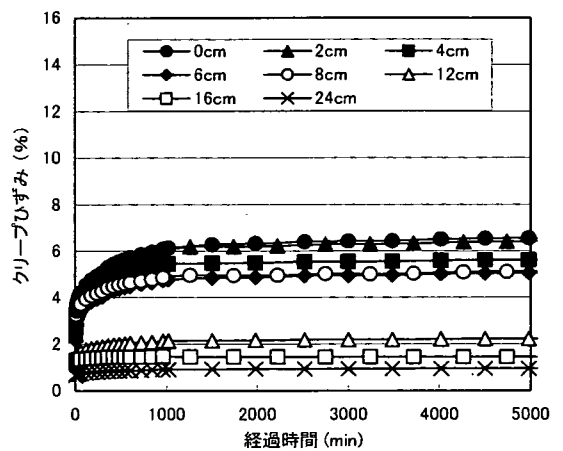


図-6 クリープ試験結果 (HDPE, 厚さ2.0mm, $\sigma_c=245\text{kPa}$)

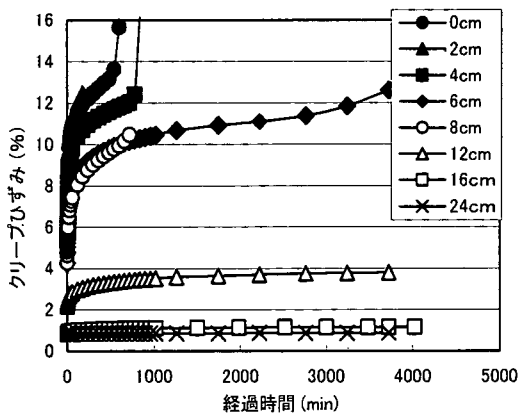


図-4 クリープ試験結果 (HDPE, 厚さ1.0mm, $\sigma_c=196\text{kPa}$)

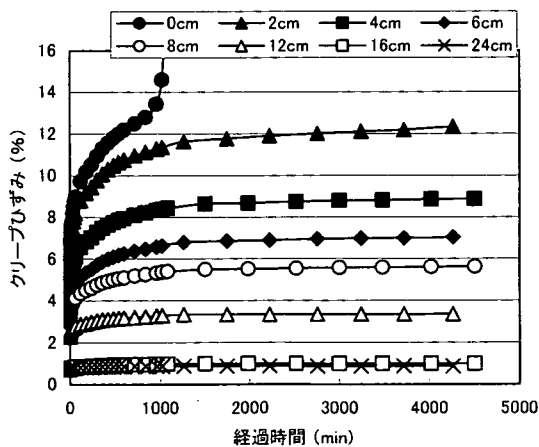


図-5 クリープ試験結果 (HDPE, 厚さ1.5mm, $\sigma_c=245\text{kPa}$)

ずみが最も大きい中心部でも、最終的に9%程度となっており、2次(定常)クリープ領域で安定していることがわかる。しかし、図-4のように、クリープ荷重が196kPa

と大きくなると、中心部に近い点のクリープひずみは試験開始後、急激に大きくなり、3次(加速)クリープ領域に達している。そして、いずれの測定点をみても、3次クリープ領域に至るときのクリープひずみは約12%とほぼ等しくなっている。このように、一度3次クリープ領域に達すると、その後の時間経過によって、やがては破壊に至ることになる。

同様に、図-5, 6は厚さ1.5mmと2.0mmのジオメンブレン試料における、クリープ荷重が245kPaと最も大きい場合の試験結果である。図-5に示す厚さ1.5mmのジオメンブレンでは中心部付近が3次クリープ領域に達して破壊に至っているが、そのときの限界のクリープひずみもやはり約12%程度となっている。したがって、HDPE ジオメンブレンシートでは厚さが異なっても、3次クリープ領域に達して破壊に至る限界のクリープひずみ量は等しく、その値は約12%程度であると推定できる。一方、厚さが2.0mmと厚いシート(図-6)では、今回使用した荷重の範囲ではクリープひずみが約6%付近の2次クリープ領域で安定しているようである。

表-1に示すように、通常の一軸方向の引張り試験ではHDPEシートの破壊時の伸びひずみは数百%もの大きい値を示す。これは、一軸状態の引張り試験では引張り方向に直行する方向の変形を拘束していないことに起因している。しかし、土中の拘束圧下でジオテキスタイルの引張り試験を行うと、多軸方向の張力が発生することによって、破壊時の伸びひずみが小さくなり、見かけ上の伸び剛性が大きくなることが知られている⁷⁾⁸⁾。したがって、本実験のように多軸状態の引張り力が作用するような条件下のクリープ挙動においても、3次クリープ領域に達して破壊に至る限界変形量は一軸方向の荷重で行ったクリープ試験よりも、かなり

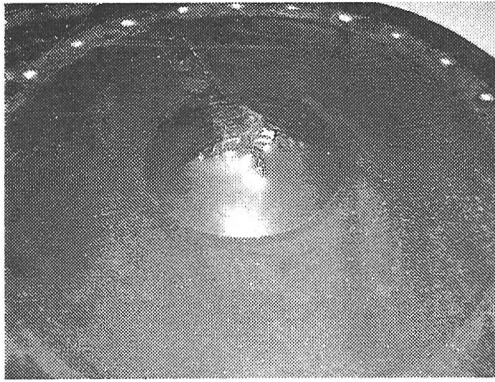


写真-1 HDPE ジオメンブレン(厚さ 1mm)の破壊状況
($\sigma_c=196\text{kPa}$)

小さくなるものと考えられる。

写真-1は厚さ1.0mmのジオメンブレン試料のクリープ破壊状況を示したもので、試料の下面側を撮影したものである(中央の円形部分が空洞上に存在した部分で、球状にふくらんでいる)。一般に、ポリエチレン樹脂シートは比較的剛性の高い結晶層と柔軟な非結晶層の層構造となっており、長期的な荷重によるストレスクラックによる破壊が重要であることが指摘されている⁹⁾¹⁰⁾。写真を見ると、HDPEシートには載荷面の中心部から放射状に亀裂が発生していることがわかる。さらに、多軸状態の外力が作用することで、剛性の高い結晶部が放射状に破壊し、破壊部近傍では内部の非結晶層が大きく変形して破壊に至った様子を示している。このことは、今後は多軸応力下でのストレスクラックの影響をより詳しく調べる必要があることを物語っている。

4. 土のクリープ式の適用

地盤内に埋設されたジオメンブレンのクリープ変形は、常に地盤材料との相互関係の影響を大きく受けると思われる。また、ジオメンブレンが土と一体となって挙動するものとするれば、土自身のクリープ特性とも密接な関係を有することになり、ジオメンブレンのクリープ特性を土において得られているクリープ式によって表現できれば非常に都合がよいことになる。そこで、Singh と Mitchell¹¹⁾による土のクリープ式の適用を試みる。この基本式は次の2式となっている。

$$\ln \dot{\epsilon} = \ln \dot{\epsilon}(t_1, \sigma) - m \cdot \ln(t/t_1) \quad (1)$$

$$\ln \dot{\epsilon} = \ln \dot{\epsilon}(t, \sigma_0) + \alpha \cdot \sigma \quad (2)$$

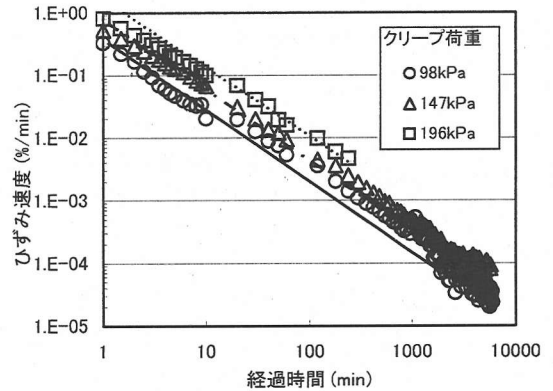


図-7 定数 m の決定 (ひずみ速度と経過時間の関係)

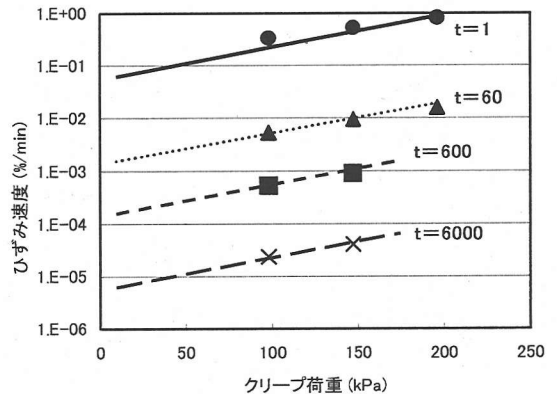


図-8 定数 A および α の決定 (ひずみ速度とクリープ荷重 (σ_c) の関係)

ここで、式(1)は任意時間のひずみ速度と時間の関係を表し、式(2)はひずみ速度とクリープ荷重 (σ) の関係を表しており、 t および t_1 は任意経過時間とクリープ試験における単位時間 (1min) である。また、 $\ln \dot{\epsilon}(t_1, \sigma)$ および $\ln \dot{\epsilon}(t, \sigma_0)$ は単位時間におけるひずみ速度と $\sigma = 0$ における便宜的なひずみ速度であり、 m と α はクリープ試験結果より定まる材料定数である。

まず、式(1)のジオメンブレン材料への適用性を調べるために、各クリープ荷重について、厚さ1mmのジオメンブレン試料の中心部におけるひずみ速度と経過時間の関係を見たものが図-7である。結果は、いずれのクリープ荷重でもほぼ直線関係となっていることから、式(1)がジオメンブレン材料についても十分成立し得ることがわかる。また、これらの直線の勾配から材料定数 m の値を決定することができ、図よりいずれの場合も $m=0.9 \sim 1.0$ の範囲の値となっている。なお、粘性土では一般に $m=0.75 \sim 1.0$ の値が得られている¹¹⁾。

つぎに、式(2)の関係を見るために、片対数上でひず

表-2 クリープ実験により得られた各定数値

HDPE の厚さ (mm)	定数値		
	m	A	α
1.0	0.94	0.10	0.011
1.5	0.92	0.06	0.010
2.0	0.93	0.05	0.008

み速度とクリープ荷重(σ_c)の関係を同様に厚さ 1mm のジオメンブレン試料について調べたものが図-8 である。いずれの経過時間についても、両者の間にはほぼ直線関係が得られていることから、式 (2) がジオメンブレン材料に対して適用可能であることがわかる。また、材料定数 α は図-8 の直線の勾配より求めることができ、図よりどの直線もほぼ傾きが等しいことから、経過時間が異なっても単一の値を取るものと考えてよい。したがって、ジオメンブレンの 2 次クリープ領域までのクリープ特性を表現する基礎式として、式 (1) および (2) が適用可能であるものと考えられる。

そこで、式 (1)、(2) を積分することにより、最終的に次式のようなクリープひずみと経過時間の関係が導かれる。

$$\varepsilon = A \cdot \exp(\alpha \cdot \sigma) \cdot t_1^m \cdot \left(\frac{1}{1-m}\right) \cdot t^{(1-m)} + C \quad (m \neq 1) \quad (3)$$

ここに、 C は積分定数であり初期条件 ($t = t_1$ のとき $\varepsilon = \varepsilon_1$) より決定できる。また、 A は単位時間における $\sigma_c = 0$ の場合のひずみ速度 (図-8 の縦軸切片) を表している。

以上のようにして決定した 3 定数、 m 、 α 、 A の値を表-2 に示す。表より厚さ 1.0mm のジオメンブレンの定数値がいずれも大きくなっている。これは、厚さの小さいシートほどクリープひずみ速度が大きいことが原因となっている。

図-9、10 は 2 種類のクリープ荷重について、式(3) から求めたクリープ曲線 (計算値) と実験結果との比較を行ったものである。いずれの場合も 2 次クリープ領域においては、実験値と計算値は良い一致を示している。また、図-10 における厚さ 1.0mm のジオメンブレンでも実験値が 3 次クリープ領域に至る 12% 近くまでのクリープひずみは計算値とよく一致している。したがって、式(3)を用いることでジオメンブレンの 2 次クリープ領域までの挙動を表現し得ることがわかる。

以上のようにして求められたクリープ曲線式と、クリープひずみが 12% に達すると 3 次クリープ領域に達して破壊に至るといふ実験結果を使用すると、廃棄物処分場の耐用年数を考慮した限界荷重を試算すること

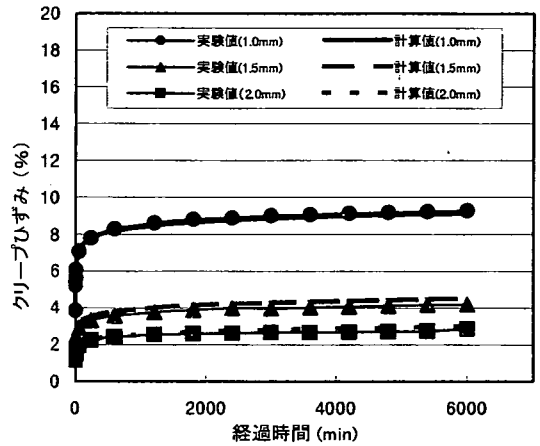


図-9 クリープ式による計算と実験値の比較 ($\sigma_c = 147\text{kPa}$)

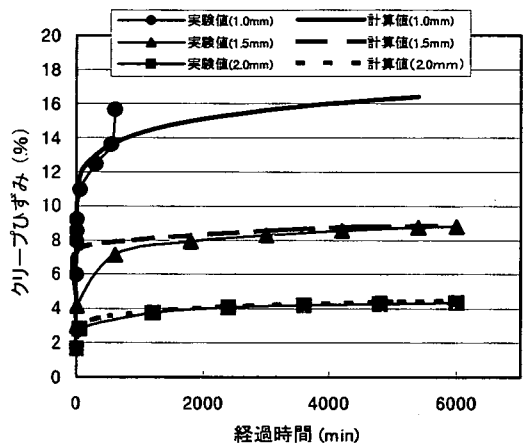
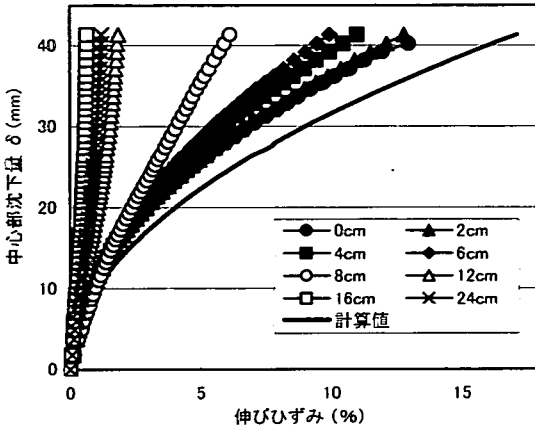
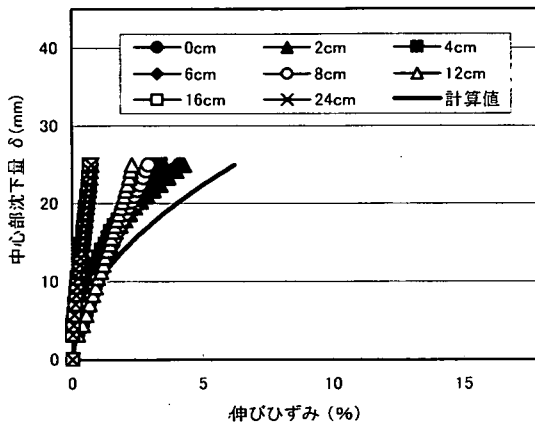


図-10 クリープ式による計算と実験値の比較 ($\sigma_c = 196\text{kPa}$)

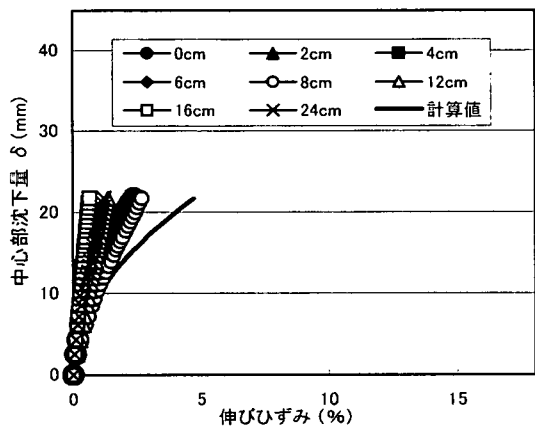
ができる。たとえば、処分場の供用期間を 50 年と仮定して、50 年後にクリープひずみが 12% に達する荷重を限界荷重として試算してみると、厚さ 1.0mm の HDPE シートでは 108kPa となり、厚さ 1.5mm のシートでは 152kPa となった。また、厚さ 2.0mm のシートでは 240kPa という結果が得られた¹²⁾。これらの計算結果より、地盤に局所変形が生じた場合のクリープ変形に対する廃棄物のおおよその限界投棄高さを推定することも可能である。ただし、これらの値はジオメンブレンライナー材が単独で敷設された場合を考えており、同時に施工される保護砂層や下部地盤から局所的に作用すると思われる荷重の影響は考慮されていない。これらの条件については今後、土中のジオメンブレンのクリープ特性として考察する必要がある。



(a) 厚さ 1.0mm の HDPE ジオメンブレン



(b) 厚さ 1.5mm の HDPE ジオメンブレン



(c) 厚さ 2.0mm の HDPE ジオメンブレン

図-11 ジオメンブレン中央部の沈下量と各点の伸びひずみの関係

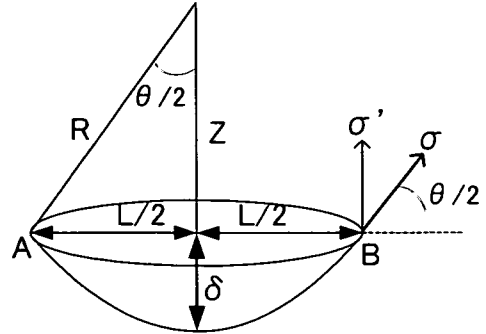


図-12 空洞部上のジオメンブレンの変形形状

5. 多軸引張り状態におけるジオメンブレンの変形特性

本研究で行った実験条件では、ジオメンブレン試料は円形の空洞部から球状に膨張変形を生じることになる。このとき、実験結果で示したように、ジオメンブレン試料に生じる伸びひずみは場所によって異なり、概ね中央部ほど大きな値となる。また、試料に作用する荷重条件や試験の境界条件によってその変形特性は異なるものと考えられる。そこで、本実験のような多軸応力状態におけるジオメンブレンの引張り変形特性を知るために、図-1の試験機を用いて、クリープ変形の影響を無視しうるような急速載荷試験（載荷速度=1kPa/sec）を行った。この結果、ジオメンブレン試料の中心部の沈下量と各点に生じる伸びひずみ量の関係を示したものが図-11である。同様に、図中に示す凡例はひずみゲージの取り付け位置（中心部からの距離）を示している。

一方、円形の空洞上に敷設されたジオメンブレンが上載荷重を受けるとき、空洞上に位置するジオメンブレンの変形状態が図-12に示すような球冠状になるものと仮定することによって、その幾何学的関係からジオメンブレンに生じる半径方向の平均的な伸びひずみと引張り応力が次式のように求められている¹³⁾。

$$\epsilon = \frac{2\pi R\delta}{\pi(L/2)^2} - 1 = \frac{8R\delta}{L^2} - 1 \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{(L^2 + 4\delta^2)}{4Ld \sin(\theta/2)} p \quad (5)$$

ここに、 p ：上載荷重、 d ：ジオメンブレンの厚さ、 L ：空洞幅、 R ：球冠部の半径、 δ ：中心部の鉛直変位であり、 θ は次式で与えられる。

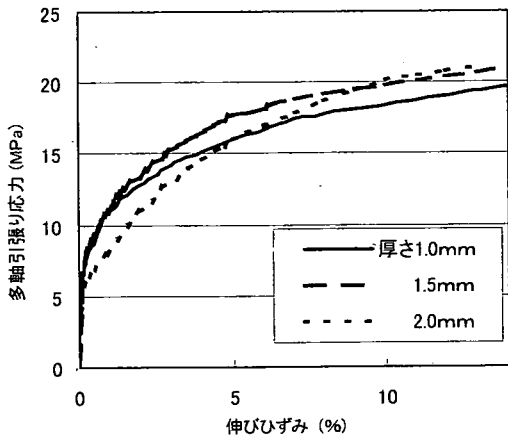


図-13 多軸引張り応力下におけるHDPE ジオメンブレンの応力ひずみ曲線

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{4L\delta}{L^2 - 4\delta^2} \quad (6)$$

図-11には、中心部の鉛直変位量から式(4)を用いて求めたジオメンブレンの伸びひずみ量(計算値)が記されている。図より、式(4)は最大の伸びひずみとなる実測のジオメンブレン中央部の伸びひずみ量よりやや大きい値を示しているが、これは安全側の値であることを考慮すれば、式(4)は円形空洞上のジオメンブレンライナー材の変形予測に対して十分適用可能であると考えられる。

次に、実験より得られた上載荷重 p と中心部の鉛直変位量 δ の値から式(4)、(5)を用いて引張り応力と平均伸びひずみを求め、この両者の関係を示したものが図-13である。試料の厚さに関係なく、ほぼ同じ応力ひずみ曲線が得られている。さらに、これらの関係を多軸引張り応力状態下にあるジオメンブレンの応力ひずみ曲線と考えると、その引張り剛性は10%ひずみ時の割線係数がほぼ $E_{10}=200\text{MPa}$ となり、初期引張り剛性では $E_0=3700\text{MPa}$ となる。これらの値を表-1の一軸引張り試験における引張り剛性と比較すると、多軸引張り状態の方が大きい値を示すことがわかる。したがって、ジオメンブレンの引張り変形特性はその境界条件によって異なることに留意する必要がある。

6. クリープ特性を考慮した引張り強度低減率

実験により材料のクリープ特性が実験より明らかにできれば、そのクリープ特性を現実にもどのような形で設計に導入するかが重要な課題となる。一般に、ジオメ

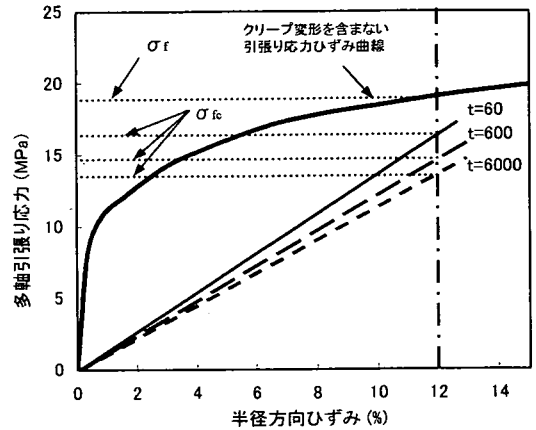


図-14 クリープ変形を考慮した引張り強度の定義

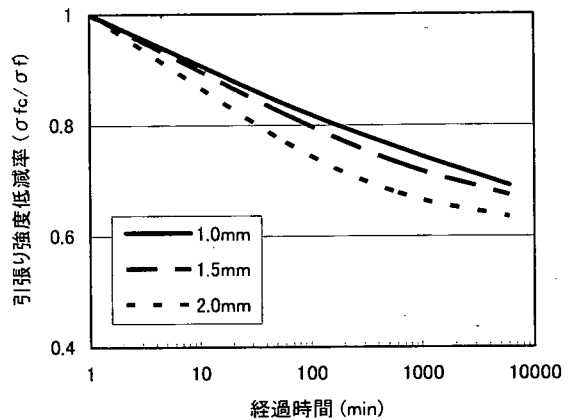


図-15 クリープによる引張り強度低減率

ンブレン材料の強度は引張り強度が基本的なものである。したがって、ジオメンブレンのクリープ特性の適用方法としては、引張り強度の低減率として導入するのが最も便利であろう。

そこで、前節までに得られた、多軸引張り応力下における応力-ひずみ曲線(図-13)と、3次クリープ領域に達して破壊に至る限界のクリープ伸びひずみ量が約12%程度であるという結果を用いて、クリープ特性による引張り強度の低減率について検討を行うことにする。図-14は厚さ1mmのジオメンブレン試料についてその方法を示したものである。図の3本の直線は、クリープ試験において得られた各経過時間(60, 600, 6000min)の沈下量(δ)より、式(4)、(5)を用いて、半径方向ひずみと半径方向の引張り応力を求め、この点と原点を結んだものである。これらの直線はジオメンブレン試料の各経過時間における見かけの引張り剛性を表しているものと考えることができ、時間の経過とともに引張

り剛性が低下していく様子が見て取れる。そして、図に示すように、これらの見かけの引張り剛性を表す直線が、クリープ試験結果による限界ひずみ(12%)に達したときの引張り応力を、クリープを考慮した HDPE シートの見かけの引張り強度(σ_e)とする。

次に、図-14 中には図-13 で示された厚さ 1mm の HDPE ジオメンブレンの応力ひずみ曲線が記されており、同様にこの曲線の 12%ひずみに相当する引張り応と原点を結んだものである。これらの直線はジオメンブレン試料の各経過時間における見かけの引張り剛性を表しているものと考えることができ、時間の経過とともに引張り剛性が低下していく様子が見て取れる。そして、図に示すように、これらの見かけの引張り剛性を表す直線が、クリープ試験結果による限界ひずみ(12%)に達したときの引張り応力を、クリープを考慮した HDPE シートの見かけの引張り強度(σ_e)とする。次に、図-14 中には図-13 で示された厚さ 1mm の HDPE ジオメンブレンの応力ひずみ曲線が記されており、同様にこの曲線の 12%ひずみに相当する引張り応力を多軸応力下における引張り強度(σ_p)と定義する。これらの2つの引張り強度の比(σ_e/σ_p)を HDPE シートのクリープ特性を考慮した引張り強度の低減率と定義する。

そこで、この低減率と経過時間との関係を調べたものが図-15 である。図より、いずれの厚さのシートにおいても最終的に低減率は 0.6 程度に収束するようであり、材料が同じであれば引張り強度の低減率にはさほど違いがないものと考えられる。したがって、ジオメンブレンの引張り強度に、ここで得られた低減率(=0.6)を掛けることによって、多軸応力下におけるクリープ特性の影響を考慮したジオメンブレンの長期強度として設計に導入することができるものと考えられる。

7. 結論

本研究では、廃棄物最終処分場において、ジオメンブレンライナーの下面に局所的な変形あるいは空洞が生じた場合、すなわち、ジオメンブレンに多軸引張り力が作用する場合を想定して、そのクリープ特性を検討した。得られた結果をまとめると以下のようである。

- (1) HDPE ジオメンブレンはその厚さに関係なく、クリープひずみが約 12%を越えるとひずみ速度が急激に大きくなって 3 次クリープ領域に達し、クリープ破壊に至る。
- (2) 多軸応力状態にある HDPE ジオメンブレンの引張り強度特性は一軸引張り試験から得られた結果とは異なる。とくに多軸応力状態では引張り剛性が大き目の

値を示し、かつ脆性的な破壊挙動を示す可能性がある。

(3) Singh, Mitchell らによる土のクリープ式はジオメンブレンのクリープ変形特性に対して適用しうものと考えられる。これによって、クリープ変形の長期予測を行うことが可能である。

(4) クリープ特性を考慮した引張り強度の低減率を求めた結果、HDPE ジオメンブレンではその厚さに関係なくほぼ 0.6 程度の値が得られた。したがって、引張り強度の約 60%を、クリープ変形を考慮した長期強度とすることができる。

謝辞： 本研究を行うに当たり、太陽工業㈱の岡部慎之氏には実験試料その他、多大のご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。また、本研究には、関西大学学術フロンティア・センターの研究費を使用したことを明記する。

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概説, pp.32-35, 1995.
- 2) 野本哲也, 今泉繁良, 阿部秀司, 坪井正行, 二見智子：基盤の局所沈下に伴う敷設高密度ポリエチレン(HDPE)の伸び挙動評価の模型実験, 土木学会論文集, No. 652/III-51, pp. 35-45, 2000.
- 3) 長東勇：ジオメンブレンの貯水池表面遮水工法への合理的な適用法, ジオシンセティックス論文集, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, pp.370-379, 1999.
- 4) Levacher, D. and Blivet, J.C.: Tensile and creep behavior of geotextiles, *Proc. of Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp.1131-1134, 1994.
- 5) Soong, T.Y.: Effects of four experimental variables on the stress relaxation behavior of HDPE geomembranes, *Proc. of Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp.1139-1147, 1994.
- 6) Farrag, K.: Prediction of long term strain of geosynthetics from accelerated creep tests, *Proc. of Geosynthetics '97 Conference*, pp.267-269, 1997.
- 7) Ling, H.L., Wu, J.T. and Tatsuoka, F.: Short-term strength and deformation characteristics of geotextiles under typical operational conditions, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.11, No.2, pp.185-219, 1992.
- 8) 西形達明, 山岡一三：土中拘束圧下における不織布の引張り試験, 第 24 回土質工学会研究発表会, pp.1871-1872, 1989.
- 9) Thomas, R.W. and Woods-DeSchepper, B.: The environmental stress crack behavior of coextruded geomembranes and seams, *Proc. of Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp.945-948, 1994.
- 10) Apse, J.I.: Polystyrene Resins for Geomembrane Applications,

Durability and Aging of Geosynthetics, Elsevier Applied Science, 1988.

11) Singh, A. and Mitchell, J. K.: General stress-strain-time functions for soils, *Jour. of the Soil Mechanics and Foundations*, ASCE, Vol.94, No.SM1, pp.21-46, 1968.

12) 西田一彦, 西形達明, 岡部禎之, 蚊野照久: ジオメンブレンライナー材のクリープ特性, 第4回環境地盤シンポジウム, 地盤工学会, pp.307-310, 2001.

13) 長束 勇: 貯水地表面遮水工法に関する研究, 農業工学研究所報告, 第38号, pp.59~65, 1999.

(2001.11.7 受付)

CREEP CHARACTERISTIC AND ESTIMATION OF LONG TERM STRENGTH OF HDPE GEOMEMBRANE LINER IN WASTE LANDFILL

Tatsuaki NISHIGATA, Kazuhiko NISHIDA, Takaharu NISHIKAWA
and Teruhisa KANO

Geomembrane sheets come to be commonly used for liners in waste landfill and are subjected to many kind of long term loads, and their function must be kept the sufficient safety during their serviceable term. In this study, creep characteristics of geomembrane made from High Density Poly Ethylene (HDPE) were experimentally investigated with considering the condition that the embedded geomembrane liners are subjected to differential settlement in base ground of waste landfill. The creep characteristics equation for soil material was applied to geomembrane materials to estimate their long term strength. Furthermore, the decreased factor in tensile strength of geomembrane liner due to creep deformation is proposed for actual design.