

(III-63) 敷設されたジオメンブレン内に発生する熱応力の評価

宇都宮大学工学部 学生会員 ○高本賢司 野本哲也
同上 正会員 今泉繁良 坪井正行

1. はじめに

廃棄物処分場では、有害な物質（ゴミや焼却灰から発生する浸出水等）を地盤に浸透させることのないように表面遮水工としてジオメンブレンが用いられる。底面に敷設されるジオメンブレンは、ジオテキスタイル（（不）織布）や覆土によって保護されて使用されるが、法面で敷設されるジオメンブレンは、法面天端や小段で固定されて埋立てされるまでの長期間、直接外気に曝された状態のままで使用される。このため気温差により、ジオメンブレンには大きな温度差が生じ、それに伴いしわなどの発生、もしくは収縮などの変形挙動を示し、シートの破損や固定工の不具合の一因となりうる。そこで、本研究では、ジオメンブレンの種類・敷設長を変化させて、これらが発生するひずみや内部応力（熱応力）に及ぼす影響を調べることを目的とする。

2. 実験概要

実験対象としたジオメンブレンは、HDPE (Smooth, Spike, Grip)、突起付き改質PEの合計4種類である。まず、これら4種のジオメンブレンの幅・長さが一定（50cm・130cm）のもとで、次にHDPE (Grip)を幅は一定（50cm）のもとで、長さを6種に変化させて実験を行った。実験装置の概略を図1に示す。基盤土には、笠間砂（物理・力学特性を表1に示す）を用い、締固め度が90～95%で厚さが10cmとなるように締固めを行った。ジオメンブレンにはひずみゲージを表裏3対、熱電対を上部和下部の2箇所に貼り付けてひずみと温度を、又ジオメンブレンと基盤土との摩擦により変形が拘束されてジオメンブレン端部に生じる力 F_c をロードセルで計測した。計測は、気温が高い午後1時頃から開始し、10分間隔で24時間程度行った。

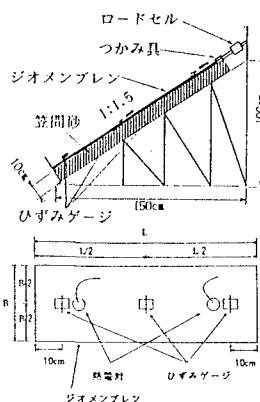


図1 実験装置

表1 材料特性

試料名	土粒子密度 ρ_s	自然含水比 W _n	最大粒径	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	最適含水比 W _{opt}
笠間砂	2.67	8.7	26.5	15.3	2.3	1.95	10.3

ひずみを評価する際、ゲージ自体の温度変化による抵抗特性の変化を考慮した次式を用いた¹⁾。

$$\varepsilon_{t'} = \varepsilon_{mt'} - \varepsilon_{gt'} = \varepsilon_{mt'} - \alpha \cdot t' = \varepsilon_{mt'} - \alpha (t - t_0) \quad (1)$$

$\varepsilon_{t'}$: 規準温度 t_0 からの温度変化に伴い生じる材料の真のひずみ、

$\varepsilon_{mt'}$: 測定値、 $\varepsilon_{gt'}$: ゲージのひずみ、 α : ゲージの線膨張係数

また、ロードセルにより得られた力 F_c （ジオメンブレンの伸張力を正）は、各ジオメンブレンの弾性係数 E を用い、 $\varepsilon_{t'} = F_c / (A_s E (t))$ によってひずみに換算した。ただし、 A_s は断面積（厚さ×幅）、弾性係数は温度依存性を考慮した以下の実験式²⁾を用いた。

$$E(t) = 8180 \times 10^{-0.0125t} \quad E(t) : \text{弾性係数}, t : \text{測定時温度} \quad (2)$$

これを上述の補正によって得られたひずみ $\varepsilon_{t'}$ と重ね合わせることで、ジオメンブレンの変形が全く拘束されていない状態のひずみ $\varepsilon_{t'}$ として評価した¹⁾。

$$\varepsilon_{t'} = \varepsilon_{t'} + \varepsilon_{t'} = \varepsilon_{mt'} - \alpha (t - t_0) + F_c \times 10^{0.0125t} / A_s \times 8180 = \beta (t - t_0) \quad (3)$$

β : ジオメンブレンの線膨張係数

3. 実験結果および考察

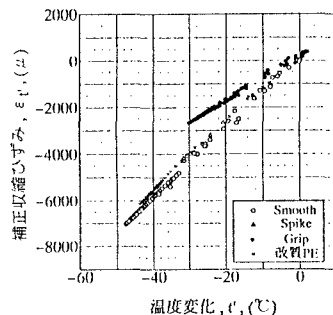


図2 $t' - \varepsilon_{t'}$ 関係

3. 1. 表面形状の影響 (1) 式から得られた補正収縮ひずみ $\varepsilon_{t'}$ 及び応力 $\sigma_{t'}$ と温度変化 t' の関係を図2, 3に示す。HDPE (Smooth) に比べ (Spike) では5%程度、(Grip) では40%程度、突起付き改質PEでは10%程度、補正収縮ひずみが抑えられている。逆に応力は、大きい値となっている。HDPE (Smooth) 及び突起付き改質PEの測定結果では、応力が温度変化-40℃まで直線的に増大し、ピーク値に達した後、少しの温度上昇で、応力緩和される傾向を示している。また、拘束力 F_c はHDPE (Smooth) で1.47kgf、(Spike) で2.5kgf程度、(Grip) で4.5kgf程度、突起付き改質PEで6.0kgf程度で最大に達していることが考えられる。

3. 2. 敷設長の影響 図4は、HDPE (Grip) の敷設長 L と単位幅当りの力 F_c/B のピーク値の関係である。敷設長が長くなるにつれ力が大きくなる傾向を示し、この関係は直線で表すことができる。これは、敷設面積の増加に伴って増加するGripと基盤上の摩擦抵抗によるものと考えられる。図4より単位面積当りの摩擦抵抗力は $6.08 \times 10^{-4} \text{kgf/cm}^2$ となる。図5は、全ひずみ $\varepsilon_{t'}$ と温度変化 t' の関係である。敷設長に関係なく全ひずみは、ほぼ一定の値となっている。

3. 3. 層間摩擦試験結果との対応 せん断抵抗力 T は、鉛直応力 σ_n と土とHDPEの摩擦角 ϕ ・粘着力 c ・接触面積 A_t を用いて次式で表示できる。

$$T = (c + \sigma_n \cdot \tan \phi) A_t \quad (4)$$

上載圧がHDPEの自重のみであることから、鉛直応力 $\sigma_n = \rho_H \cdot l_H \cdot \cos \theta$ で求められる。ここに、 ρ_H , l_H はHDPEの密度、厚さ、 θ は装置の傾斜角である。図7はHDPE (Smooth) に対する室内層間摩擦試験の結果であり、 $\tan \phi = 0.472$, $c = 0.01 \text{kgf/cm}^2$ が得られた。この値と $A_t = 6500 \text{cm}^2$, $\rho_H = 0.95 \text{g/cm}^3$, $l_H = 0.15 \text{cm}$ を(4)式に代入すると、 $T = 65 \text{kgf}$ となる。この値は、図3に示したHDPE (Smooth) の拘束力 $F_c = 1.47 \text{kgf}$ の44倍である。そこで、 $c = 0 \text{kgf/cm}^2$ として計算すると $T = 0.37 \text{kgf}$ となる。逆に実測値と計算値が一致する粘着力は $c = 0.0002 \text{kgf/cm}^2$ となり、微少な粘着力が摩擦抵抗の値に影響していることがわかる。

まとめ

- (1) ジオメンブレンの表面形状の違いにより、ひずみ及び応力は大きな影響を受ける。
- (2) ジオメンブレン端部に発生する応力は、敷設長に大きく関係する。
- (3) 拘束力を土とジオメンブレンとのせん断によるものと考えた時、微少な粘着力による影響も考慮する必要がある。

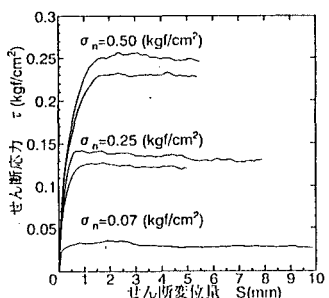


図6 層間摩擦試験結果
(せん断変位量—せん断応力関係)

参考文献 1) 中村大助, 今泉繁良, 横山幸満: 温度変化に伴うジオメンブレンの挙動, 第23回関東支部技術研究発表会, pp504-505, 1994

2) 坪井正行, 田玉吉敬, 宮地秀樹, 津田知英, 今泉繁良: 温度環境がHDPEジオメンブレンの引っ張り特性に与える影響, 第10回国際ジオシンセティックシンポジウム, PP123-133, 1995

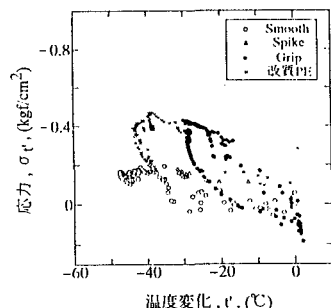


図3 $t' - \sigma_{t'}$ 関係

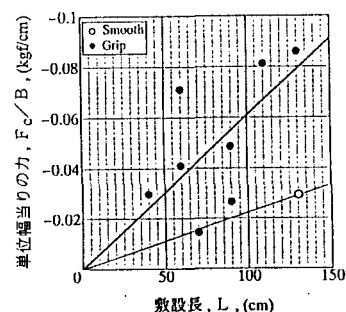


図4 $L - F_c/B$ 関係

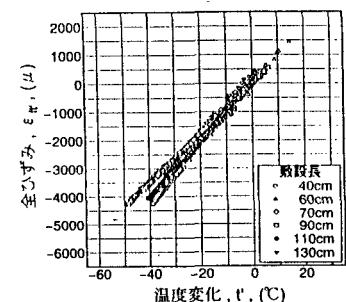


図5 $t' - \varepsilon_{t'}$ 関係

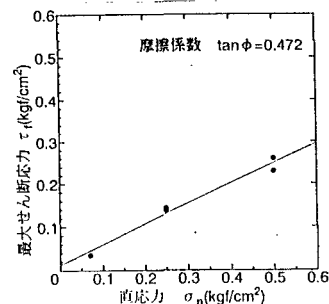


図7 層間摩擦試験結果
(直応力—最大せん断応力関係)