

遮水シートの温度応力とその緩和特性

宇都宮大学 学生会員 ○ 許 四法
宇都宮大学 正会員 今泉 繁良

廃棄物処分場に使用される種類の遮水材料は主にポリエチレン系シートである．このシートは温度の低下に伴う大きな温度応力が発生する特性と一定ひずみのもとで時間とともに応力緩和を生じるという特性を有する．本研究では，粘弾性理論に基づく応力緩和係数と温度の関係を実験的に明らかにし，これを用いて別途測定した屋外温度応力測定値を解析した結果を示す．

1．熱応力緩和の評価式¹⁾

熱応力緩和の計算モデルは 図-1 に示すように Voigt 模型とスプリング模型を直列に結んだ3要素モデルであり，熱応力緩和評価式は式(1)のようである．

$$s = e^{-\int \frac{E_1+E_2}{h} dt} \left[\int \frac{E_1 E_2}{h} e_0 \cdot e^{\int \frac{E_1+E_2}{h} dt} dt + C \right] = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} e_0 + C \cdot e^{-\frac{E_1+E_2}{h} t} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} e_0 + \left(s_0 - \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} e_0 \right) \cdot e^{-\frac{e_1+e_2}{h} t} \quad (1)$$

ここで， e_0 は初期ひずみである．式(1)において， $a = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} e_0$ ， $b = \frac{E_1^2}{E_1 + E_2} e_0$ ， $m = \frac{h}{E_1 + E_2}$ とおくと，式(1)は次に示すように書くことができる．

$$s(t) = a + b e^{-\frac{t}{m}} \quad (2)$$

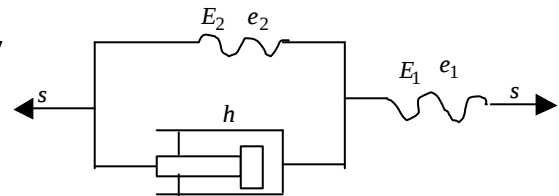


図-1 3要素計算モデル

2．応力緩和実験

2.1 実験装置と実験方法，ケース

実験装置は試験片を取り付けるクランプとクランプ移動ねじ，鉄製フレーム及び張力を計測する荷重計で構成されている．実験に用いる供試体はJIS K 6215に従う1号ダンベル（幅10mm，標線間距離40mm）である．実験では，ダンベル供試体の両端2cmを試験器のクランプに接続した後，約1～2mm/minの速度で引張り，所定の伸びに達したところでクランプを固定し，放置して応力緩和実験を行った．

実験ケースを表-1に示した．本実験で使用した遮水シートは，HDPE（厚さ1.5mm）を使用した．初期ひずみ e_0 として2.5，5，7.5，12.5%を与えた後，張力の計測を最初の30分間は15秒毎，次の90分間は15分毎，2時間以降は1時間間隔で24時間まで，24時間以降は24時間間隔で1ヶ月間計測した．

表-1 実験ケース

項目	
ひずみ(%)	2.5, 5, 7.5, 12.5
計測時間(日)	7
温度(°C)	10, 20, 40

2.2 応力緩和係数 a, b, m の評価

上記三要素モデルの係数 a, b, m を決定するために，時間 t と応力 s に関する回帰分析によって，係数 a, b, m を評価した．図-2によると，係数 $a (= \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} e_0)$ と $b (= \frac{E_1^2}{E_1 + E_2} e_0)$ は，初期ひずみの増加とともに増大していると見られる．また，初期ひずみは一定の場合環境温度の増加に伴い， a と b の値は減少していることが明らかにした(図-2)．係数 m の値は温度の増加とともに増え，20℃の場合は140，40℃の場合は167となった(図-3参照)．

キーワード 熱応力緩和，計算係数，屋外実験

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学研究科 T E L 028-689-6218 E-mail : Dt011201@cc.utsunomiya-u.ac.jp

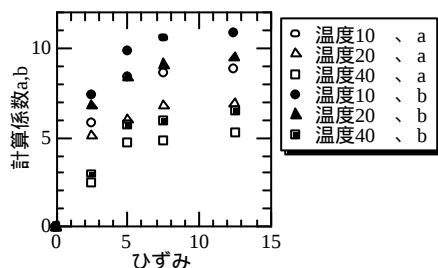


図-2 初期ひずみと計算係数

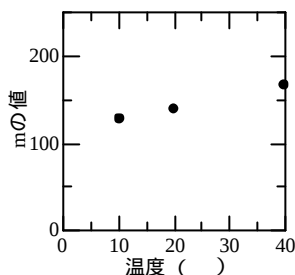


図-3 温度と m の値の関係

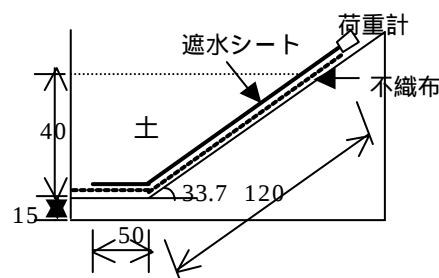


図-4 屋外実験概念図

3. 屋外熱応力緩和評価

3.1 実験方法²⁾

実験装置の概念図を図-4 に示す。実験装置は、廃棄物処分場の法面を想定した木製土槽であり、幅 80cm、法面勾配 1:1.5(H:L)、法面長さ 150cm の模型法面に、長さ 200cm、高さ 90cm の土槽を取り付けたものである。基盤土上に幅 70cm、長さ 190cm の不織布および寸法幅 50cm、長さ 172cm の遮水シートを敷設後、覆土を行い締め固めた。突き固めにより作成した基盤土上に設置する不織布として、厚さ 10mm の短繊維不織布を用い、模擬廃棄物として、厚さ 40cm の覆土を行った。供試体としての遮水シートには厚さ 1.5mm の表面が滑らかな HDPE シートを用いた。

模型装置の法肩とつかみ具との間に容量 2kN のロードセルを設置し、温度低下に伴い発生する遮水シートの熱応力を測定した。遮水シートには、上端から 14cm 部および下端から 25cm 部に熱伝対とひずみゲージを貼り付け、また変位計を覆土表面部および後端に取り付け、遮水シートの表面温度、温度変化に伴うひずみを測定した。

実験ケースを表-2 に示す。実験は、季節的に温度が高くなる場合、季節的に温度が低くなる場合について行い、経過日数に伴う熱応力の変化を調べた。

表-2 実験ケース

ケース	季節条件	計測開始時のシート表面温度
1	温度が高くなる場合	45.0
2	温度が低くなる場合	75.1

3.2 熱応力緩和評価

表-3 温度とひずみ関係

温度 (°C)	ケース 1 (m)	ケース 2 (m)
20	2900	5483
30	1900	3958
40	1600	

表-4 熱応力緩和計算係数

温度 (°C)	ケース 1		ケース 2	
	a	b	a	b
20	0.59	0.79	1.12	1.47
30	0.38	0.49	0.76	0.98
40	0.16	0.19		

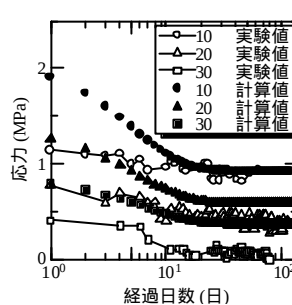


図-5 季節的に温度が高くなる場合の熱応力緩和

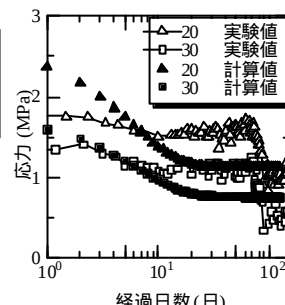


図-6 季節的に温度が低くなる場合の熱応力緩和

各ケースの温度とひずみの関係を表-3 に示す。前に示した応力緩和係数と温度の関係を用いて各計算係数(表-4)を求めた、これらの値を用いて式(2)から熱応力緩和を計算した。計算結果と実験値を図-5および図-6に示す。季節的に温度が高くなる場合(図-5)、初日の熱応力計算値は温度の大きさにかかわらず実験値の約 1.6 倍であり、計測開始後 10 日目の計算値は温度 10 で実験値の約 1.1 倍、温度 20 で約 1.7 倍、温度 30 で約 2 倍となっている。季節的に温度が低くなる場合(図-6)、初日の熱応力緩和の計算値は温度 20 で実験値の約 1.3 倍であり、温度 30 で約 1.2 倍となった。計測開始後 10 日目の計算値は温度の高さにかかわらず、ほぼ実験値の 0.9 である。しかしながら、これらの図から遮水シートに生じる熱応力の経日的緩和傾向は計算値とほぼ一致している。

実験値は計算値より小さい理由としては、実験では遮水シートの下端は土の重量による摩擦力によって固定されているので、温度の低下とともに遮水シートが収縮するとき、土からの抜け出し現象が生じているためと考える。

参考文献

- 1) 許四法, 今泉繁良: 遮水シートの応力緩和特性に関する実験研究 ジオシンセティックス論文集 第17巻 2002年12月 p63-70
- 2) 川又啓介: 覆土で拘束された遮水シートの熱応力評価に関する研究 宇都宮大学学位論文 平成 11 年度