

III - B318

遮水シートの熱応力評価のための模型実験

宇都宮大学工学研究科 学生会員 川又 啓介
宇都宮大学工学研究科 正会員 今泉 繁良
東洋ゴム工業株式会社 宮地 秀樹

1.はじめに

管理型最終処分場における汚染水の漏出防止には、表面遮水工として高密度ポリエチレンである HDPE 等の遮水シートが用いられている。最終処分場の法面部に設置される遮水シートは、埋立完了まで長期間にわたり外気に曝されており、温度低下時に遮水シートに張力が発生することが報告されている。このため固定部の設計においては、気温の変化により遮水シートに発生する熱応力を考慮して設計する必要があるが、坪井ら¹⁾によって、摩擦による拘束を受ける時の評価式が提案されているが、この評価式はシート敷設直後の短期的に発生する熱応力を評価するものであったため、温度が季節的に変化する長期間にわたる熱応力の評価が必要となった。著者らは、冬期にシートを敷設し夏期に至るときの熱応力の変動について報告²⁾しているが、今回は夏期にシートを敷設し、冬期に至る場合の熱応力の変動について紹介する。

2.材料特性

実験に用いる遮水シートとして、厚さ 1.5mm の HDPE（高密度ポリエチレン）シートを使用した。模型処分場斜面土および模型廃棄物として関東ロームを使用した。これらの特性を表-1に示す。

3.実験方法

実験装置の概略図を図-1に示す。実験装置は廃棄物処分場の斜面を想定したものであり、幅 80cm、斜面勾配 1:1.5(H:L)、斜面長さ 150cm の模型斜面に、長さ 200cm、高さ 90cm の土槽を取り付けたものである。斜面および底部基盤となる模型地盤は、関東ロームを厚さ 10cm で湿潤密度 $\rho_s = 1.60 \pm 0.05(\text{g/cm}^3)$ となるように締め固めを行い作成した。基盤土上に不織布を設置後、HDPE 遮水シートを敷設し厚さ 40cm の覆土を行い、模型装置上端のつかみ具に遮水シートを取り付けて温度変化に伴う挙動を調べた。実験は 1998 年 9 月 10 日から 1999 年 2 月 2 日までの期間に行った。シート敷設時の気温は 34.3℃、シート表面温度は 75.1℃であった。センサーとして熱伝対、ひずみゲージ、変位計を図-2に示す位置に取り付け、遮水シートの表面温度、温度変化に伴うひずみ、変位を測定した。遮水シートの上端をつかみ具で固定し、装置との間に容量 200kgf のロードセルを設置して、遮水シートの収縮変形に伴い発生する熱応力を測定した。なお、変位の測定は、遮水シートと覆土の境界部 F、遮水シートの後端部 R の 2 箇所小さなフックを取り付け、ワイヤーロープと変位計を用いて行った。

4.実験結果

図-3に表面温度と張力の経過日数による変化を示す。図-3には計測値の他に、覆土荷重と摩擦係数から算定する遮水シート張力の上限值 F_{max} 、坪井・今泉¹⁾らの提案式に基づく熱応力の計算値も示した。

$$F_{max} = (\mu_V + \mu_L)(N_1 + N_2 \sec \theta) \quad (1)$$

$$\frac{-\beta E_0}{\alpha \log_e 10} [10^{\alpha t_f} - 10^{\alpha t_0}] = \sigma + \frac{2}{3L_2} \left(\frac{t_g}{\gamma_t \sin \theta \cos^2 \theta \mu} \right)^{\frac{1}{2}} \sigma^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

表-1 使用した材料の特性

(a) 関東ローム	
土粒子密度 ρ_s	2.86 g/cm ³
自然含水比 w_n	61.01 %
(b) HDPEジオメンブレン	
線膨張係数 β	1.65×10^{-4} /°C
弾性係数 $E(t)$	$8100 \times 10^{-0.0102t}$ kgf/cm ²
厚さ	1.5 mm
(c) 摩擦特性	
摩擦係数 μ	HDPE-短繊維不織布 0.12
	HDPE-関東ローム 0.443

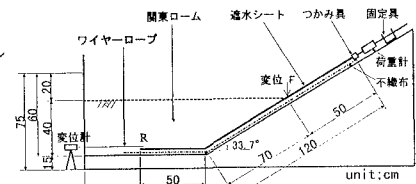


図-1 実験装置概略図

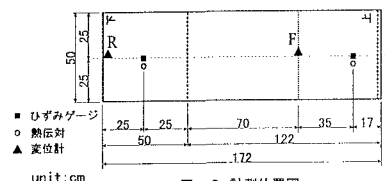


図-2 計測位置図

キーワード：廃棄物処分場、遮水シート、熱応力、応力緩和

連絡先：宇都宮大学工学部地域施設学研究室、〒321-8585 宇都宮市陽東 7 丁目 1 番 2 号 Tel. 028-689-6218

ここに、 μ_U, μ_L :遮水シートの上・下面の摩擦係数(0.12 と 0.443³⁾、 N_1 :斜面部の覆土荷重による垂直抗力(kgf)、 N_2 :水平部の覆土荷重による垂直抗力(kgf)、 α :弾性係数の温度依存定数($=-0.010$ 2)、 β :20℃における線膨張係数($=1.65 \times 10^{-4}$ 1/℃)、 E_0 :0℃における HDPE 遮水シート²⁾の弾性係数($=8.1 \times 10^7$ kgf/m²)、 L_0 :遮水シート露出部分の長さ(m)、 t_g :遮水シートの厚さ($=0.0015$ m)、 t_0 :初期温度 (℃)、 t_t :計測時温度 (℃)である。

図-3 において、埋立て直後である計測開始 1 日目の張力履歴は、温度が 80～40℃に低下するときの計算曲線の傾きが計測値より小さくなっている。この理由として、線膨張係数を 20℃における値を用いて一定として計算しているが 60℃になると値は約 2 倍になると言われており、このことが影響しているものと考えられる。また、計測開始後 85、140 日目における最大発生張力は評価式(1)による計算値を上回っている。特に 140 日目では計算による上限値より 50kgf 以上も張力が発生する結果となった。原因としては、締固めおよび覆土による長期間にわたる不織布の圧縮ならびに土粒子による目詰まりで摩擦係数が変化したことなどが挙げられる。これらの問題点については今後検討したい。

図-4 に、シート表面温度が 10～50℃に低下したときの張力と経過日数の関係を示す。図より、計測開始後 10 日目までに約 50～70kgf ほど張力緩和が発生していることがわかる。この傾向は、図-5 に示した冬期に敷設し夏期に至るまで計測した時の結果³⁾と同じであり、計測開始後の比較的早い 10～20 日間で急激な張力緩和の傾向が見られる。また、70～90 日の間で張力の大きな低下がみられる。

図-6 に、経過日数と変位の関係を示す。覆土表面部 F の変位は斜面上方への変位を正、後端 R の変位は斜面側への変位を正とした。覆土表面部の変位については、計測開始後 10 日目までに 4mm 程度の変位が発生しており、以後 60 日目まではほぼ一定の値を示した。さらに 60～90 日目では徐々に変位が進展し、その後はほぼ一定の値を示した。後端の変位については、計測開始後 85 日目まで変位はほとんど発生しおらず、85 日目から 90 日目にかけて 2mm 程度の変位が生じており、その後は一定の値を示している。従って、図-3 における 85 日目の急激な張力緩和は、図-4 の覆土表面部および後端の変位と対応していることからシートの抜け出しによる張力緩和であると考えられる。さらに、図-4 と比較した結果、初期段階での急激な張力緩和傾向は、後端の変位がほとんど発生していないことからシート自体のクリープによるものであると考えられる。

5.まとめ

- 1) 埋立て直後における温度下降時の熱応力の評価は、温度 40℃以上での線膨張係数 β の温度依存性も考慮する必要がある。
- 2) 季節的に温度が低下する場合、シートの熱応力は増加し続けるのではなく、経過時間およびシートの上方向への変位により熱応力は明らかな緩和傾向を示す。

参考文献 1) 坪井正行, 宮地秀樹, 野本哲也, 今泉繁良: 廃棄物処分場遮水シートに発生する熱応力の評価, 土木学会論文集 No.603/Ⅲ-4, pp147-155, 1998

2) 川又啓介, 今泉繁良, 坪井正行: 遮水シートの摩擦特性を考慮した熱応力評価, 第 9 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp858-860, 1998

3) 樋渡佳浩, 今泉繁良: 水浸状態における各種ジオメンブレンの層間摩擦特性に与える影響, 土木学会第 26 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp430-431, 1999

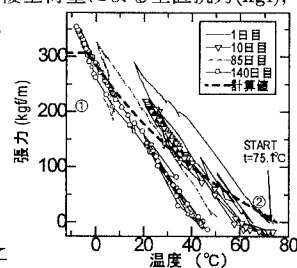


図-3 表面温度と張力の関係

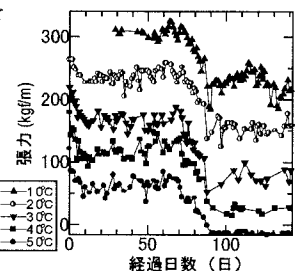


図-4 経過日数と張力の関係

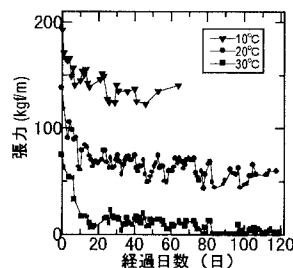


図-5 経過日数と張力の関係
(冬期から夏期)

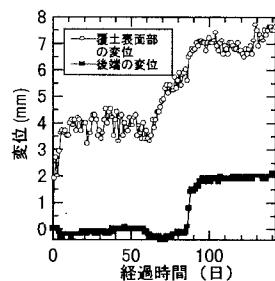


図-6 経過日数と変位の関係