

# 資料4

平成 24 年 3 月 23 日

## ■ 2011 年 12 月 13 日付：坂野助教授からのご意見に対して

### 「P1.3. 垂直応力とせん断応力を同時にかけること、さらに塑性変形及びクリープ破壊をみると」について

シート構造全体の話と銅線交差部のシートの話を分けて問題を整理しました。

#### (1) シート全体について

土圧に起因してシート全体に発生する引張応力は、前回示した計算の通りゼロもしくは非常に小さいものです（詳細は下記）。このため、実験の中で垂直応力とせん断応力を同時にかける必然はないものと判断しております。塑性変形及びクリープ破壊についても、塑性変形に至る変形が認められず、クリープ破壊も起こり得ないと考えます。

#### (2) 銅線交差部のシートについて

銅線交差部の過電流の原因となった微小な穴が常時働いている土圧によってできたとすれば、すべての銅線交差部で同様な現象が発生するはずであり、また本処分場だけでなく全国の処分場でも同様な現象が観測されるはずですが、そのような事実は観測されていません。このことから、今回の微小な穴の発生原因は、常時かかっている土圧ではなく、過電流を計測した地点に特有の現象に起因すると考えるのが妥当と判断しました。特有の原因としては、施工中もしくは埋立中に、重機等によってピンポイントで圧力が加えられたことが想定されます。

このように交差部において過電流を発生させた微小な穴の原因是、常時かかっている土圧ではなく、短期的に集中した応力と判断していますので、クリープ破壊ではないと考えております。

### 「P1.4. 上面と下面にかかる力を合成して打ち消すことについて」

シートにかかる応力については、「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領（社団法人 全国都市清掃協会）p258～261」（添付資料1）に準拠して算定しております。あわせて、廃棄物最終処分場新技術ハンドブック（環境産業新聞社）p208～209（添付資料2）も参考としました。

添付資料1にもありますように、計算式は Drexel University の R.M.Koerner 教授が 1994 年に提示されたもので、同式ではシートには張力が発生しません。一方で、1996 年に応力が伝播し、その割合が 0.3～0.6 であるという報告も小泉教授ら（宇都宮大学）によつても示されていることから、前回の計算では伝播があるケースもあわせて示しました。

シートに対する荷重の伝播の理論については研究例が少なく不明な点も残っていますが、添付資料1では 2000 年に実施された実験において『土圧の増加に伴った張力の増加はほとんど認めらなかつた』とされています（p.261 図 5.3-3）。

# **廃棄物最終処分場整備の 計画・設計・管理要領**

**2010改訂版**

**社団 法人 全国都市清掃会議**

II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

る。さらに、直接基礎地盤と接触する下層保護材には、安全性(保護マットから環境汚染の原因となる物質を溶出しないこと)が必要となる。その他、下層保護材には基礎地盤から湧出する地下水や土壤ガスを排除する通水性や通気性も必要となる。

### 5.3 遮水工の設計・施工

#### 5.3.1 遮水シートを用いた遮水工の設計・施工

##### 1) 遮水シートの設計方針

ここでは、遮水工、特に表面遮水工と遮水システム全体との関係、二重遮水工などの設計の考え方、遮水シートの劣化と設計許容強度の考え方など、表面遮水工の設計に係る基本的な考え方を整理した。

###### (1) 遮水シート設計の基本方針

浸出水による水質汚濁防止は、遮水工、浸出水集排水施設、地下水集排水施設および損傷検知モニタリング施設などが一体となって実現されるものである。したがって、遮水工は、浸出水の貯水頻度や水位に関する浸出水集排水施設、揚圧力の防止やモニタリング施設としても機能する地下水集排水施設、あるいは必要とされる場合には遮水工の機能を担保する損傷検知モニタリング施設と一体となって設計しなければならない。

また、遮水工自体もその機能が十全に発揮できるような万全の対策を講じるべきである。したがって、遮水工の設計は、その損傷要因を極力排除できる設計であることを原則とする。

なお、遮水シートは柔軟な材料であり地震に対しても地盤と一体的に変位することから、特に耐震設計を行うことはないが、下記の点に留意する。

- ① コンクリート構造物と土質地盤との境界部は、両者の地震による固有振動数の相違により異なる振動を起こすことがあることから、緩和盛土等による保護を行う。
- ② 盛土・切土地盤境界において地すべり崩壊が生じやすいので、十分な安定勾配の確保や地下水排水を施す。

###### (2) 遮水シートの設計強度の考え方

遮水シートは、埋立地に敷設された状態で降水、日照、風等の気象による暴露を受けて劣化するとともに、廃棄物や土砂などによる物理的な力も受ける。このような状態の中で、遮水シートは埋立地を長期にわたって遮水することが必要であり、そのため遮水シートの設計は、劣化などを受けた状態を想定して行う。

###### ① 継続応力とひずみを考慮した強度低下

継続ひずみによる強度低下を勘案して、破断時強度の80%程度を設計値とすること(宇佐見ほか、1997)が望ましい。ただし、HDPEシートなどのように、応力-ひずみ曲線の形状からみて弾性範囲を示す降伏点または曲線の変曲点が明瞭な場合は弾性範囲で使用する。

###### ② 劣化による強度低下

紫外線等による強度劣化は、遮水シートの材質によって差異が大きく一概に評価できない面が多いものの、各種材質の遮水シートとも概ね初期強度の80%程度は維持できるようである(宇佐見ほか、1997)。

###### ③ 使用時の温度と設計強度

遮水シートは、温度によって強度が変化する。温度変化の要因としては、外気温、直接日光および廃棄物の保有分解熱がある。設計強度としては、保護マットなどによって直射日光は遮断されていることを前提として、廃棄物層内の温度が40℃程度になることは十分ありうることから、40℃以上の温度における強度を採用することが望ましい(宇佐見ほか、1997)。この場合、強度低下の割合は、遮水シートの材質によって大きく異なるが、表5.3-1に示すように、概ね70~90%の強度となると見込まれる。

## II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

表5.3-1 遮水シートの引張強さの温度依存性(坪井、1999を一部修正)

(単位: MPa)

遮水シート	-20°C	0°C	20°C	40°C	60°C
HDPE	40.7 (127)	39.1 (122)	32.1 (100)	28.4 (88)	24.0 (76)
HDPE 降伏点*	33.7 (158)	26.4 (124)	21.3 (100)	16.7 (78)	11.7 (55)
EPDM	18.7 (191)	15.1 (154)	9.8 (100)	7.9 (81)	5.6 (57)
TPO-PE	25.2 (167)	22.3 (148)	15.1 (100)	10.4 (69)	6.8 (45)
TPO-PP	33.0 (156)	29.2 (138)	21.1 (100)	18.9 (90)	11.7 (55)
PVC	42.6 (232)	30.2 (163)	18.4 (100)	15.2 (82)	10.9 (60)

()は20°Cの測定値を100としたときの比率

\* HDPE シートは、応力-ひずみ曲線において、降伏点を有し、それ以上の応力が働く場合は塑性変形を示すので、降伏点の引張強さも併せて示した。

## ④ その他の要因を考慮した安全率

遮水シートの劣化や実際に働く力の詳細は、未だ不明な点が多い。例えば、上記3項目以外にも酸劣化や微生物劣化なども考慮しなければならないが、どの程度の劣化をみればよいかは今後の研究を待たざるを得ない。

そこで、これらの未知な強度低下要因に対する安全率として、設計では実際の遮水シート強度の1/2程度を見込んでおくものとする。すなわち、安全率2倍である。なお、遮水シートの接合部の引張強度は、一般部の1/2程度に低下する材質もあるので、接合部に張力が働くような場合は併せて勘案しておこう(原田、2006)。

## ⑤ 設計許容強度のまとめ

以上の考え方をまとめると、以下のとおりとなる。

・設計の前提となる温度 40°C(20°C時強度の70~90%)

・曝露等による強度保持率 80%

・継続ひずみによる強度保持率 80%

・安全率 2

・設計許容強度 = 破断強度 × (1-0.2) × (1-0.2)/2

= 破断強度 × 0.32(20°C時)

= 破断強度 × 0.256(40°C時または接合部、ただし各種材質の中間値)

## 2) 遮水シートの損壊機構と設計要素

遮水シートの損壊機構(メカニズム)は、近年の研究により明らかにされつつあり、かつ必要な対策が事前に講じられるようになってきている。ここでは、遮水シートが損壊する要素(外力)や外部要因を網羅的に抽出し、それぞれの損壊現象に対して設計で考慮すべきものについて整理した。

## (1) 遮水シート損壊機構と設計に求められる要素の前提

II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

表面遮水シートの損壊要因と設計に求められる要素を検討するにあたっては、以下の条件を前提とした。

- ① ここでは遮水工を形成する遮水シートと保護マットとを組み合わせたものについて検討した。
- ② 遮水構造が適用される埋立地は、底面部、法面部および固定工の3つの部位に大きく区分できる。そのため、ここでは、これら3つの部位に分けて、設計への要求条件を検討した。
- ③ 埋立地は、気象による影響、埋立対象物の性状による影響、埋立層内の微生物生息環境による影響、浸出水の性状による影響など、種々の影響を受けやすい特殊な施設である。

#### (2) 遮水シートの損壊要因

遮水シートの損壊の要因は、下記のようなものがあげられる。

- ① 地盤：不陸や突起物、圧密沈下、流水に伴う土砂流出による沈下、陥没、その他
- ② 地下水：地下水による揚圧力、その他
- ③ 埋立作業：作業機械の接触、車両の急旋回、搬入路等の斜面部におけるズレ、その他
- ④ 廃棄物：廃棄物中の鋭利物、廃棄物荷重、その他
- ⑤ 気象：紫外線劣化、熱応力、ストレスクラッキング、その他
- ⑥ 施工：車両等の接触、接合不良

#### (3) 設計に求められる要素

前述した遮水シートの損壊要因のうち埋立作業や施工に伴う損壊は、作業時に十分注意を払い損壊防止に努めることが前提である。気象に関する劣化は、設計上は劣化による強度低下を見込むものの、遮水シート自体が耐久性を有することはもとより遮光性保護マットなどで保護することが前提である。また、地下水は、遮水シートに揚圧力を働かせないように地下水集排水施設を敷設して対処することが基本である。廃棄物中に含まれる鋭利な物質による遮水シートの損傷は、そのような廃棄物を埋め立てないようにするとともに保護マットを敷設して防止することが基本である。したがって遮水シートの設計にあたっては、地盤の沈下・陥没や廃棄物荷重に対する安全性を検討する。

設計における遮水シート損壊防止の考え方は、原則として遮水シートに力をかけないことが基本である。しかし、遮水シート底面部においては、底部地盤の沈下を完全に防ぐことは困難な面もあるので、ある程度は遮水シートの強度に期待せざるをえない。また、法面部においても廃棄物の沈下による引張力などに対しても同様に、保護マットなどで遮水シート上下面の摩擦力を減少させたとしても、ある程度は遮水シートの強度に期待せざるをえない。したがって、遮水シートに過度の期待をかけないことを原則としながらも、沈下などに対して設計上遮水シートの安全性を確認しておくことが重要である。

#### 3) 法面部の遮水シートに働く外力と固定工の必要寸法

遮水シートには気象条件、地盤状態、埋立作業などの周辺環境変化の影響を受けて応力が生じる。遮水シートに圧縮応力が生じると、遮水シートにしわなどの変形が生じるが、遮水シートの安全上何ら問題なく、遮水シート端部に接続された固定工には大きな力は働くかない。しかし、遮水シートに引張応力が生じると遮水シートの破断あるいは固定工に力が伝達され固定工が抜け出そうとする。

遮水シートに引張応力が発生する要因としては、次のようなことがあげられる。

- ・遮水工の自重
- ・遮水シートの温度低下による収縮力(以下、「熱応力」という)
- ・風による負圧揚力
- ・地盤沈下による引き込み張力
- ・埋立廃棄物の荷重や沈下および重機走行による遮水シートの引き込み張力
- ・搬入道路における走行荷重による遮水シートの引き込み張力

## II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

それぞれの要因については、立地条件や断面形状によって影響の大小が異なるが、基本的な評価の方法例を示す。

## (1) 自重の評価

法面の遮水工には自重すべり落ちようとする力が発生し、張力として固定工に作用する(図5.3-1)。

法肩に作用する張力  $T$  は次のように表わされる。

$$W = A \cdot L$$

$$T = W(\sin\theta - \mu \cos\theta)$$

ここで、 $T$  : 遮水シートに働く張力、 $W$  : 自重、 $A$  : 単位面積重量、 $L$  : 法長、 $h$  : 法高、 $\theta$  : 法面傾斜角、

$\delta$  : 廃棄物(保護土)と遮水シートの摩擦角、 $\mu$  : 遮水シートと下部地盤(保護材)との摩擦係数( $=\tan\delta$ )とする。

例えば、法高が5m、勾配が1:1.5の法面に、不織布の上に敷設された遮水シートから発生する引張力を求めると、摩擦角の比較的小さな HDPE シートでは、20~30N/m 程度であるが、遮水工の構造が異なる場合や急勾配の場合( $\theta$  が大きい場合)、法長が長い場合には張力が大きくなる。

一般的に遮水工は、盛土または切土法面に保護マット、遮水シート、中間保護マット、遮水シート、遮光性保護マットで構成されている。小型せん断試験結果による各材料間の摩擦を摩擦角度で示したものが表5.3-2である。これら層間で最も摩擦抵抗が小さい組み合わせは、遮水シートと保護マットである。遮水シートと地盤との摩擦は、実際に使用する土質との摩擦角を用いる。

表5.3-2 遮水シートと他材料間の摩擦角度( $\delta$ )(試験値)(坪井、1999を一部修正)

遮水シート	豊浦砂	長繊維不織布	短繊維不織布
HDPE	23.3	9.1	6.8
TPO	37.5	19.0	17.0
軟質 PVC	40.8	35.8	35.8
EPDM	41.8	25.9	29.7
超軟質 PVC	43.6	34.2	33.0
アスファルト	42.5	38.6*	36.9*

\*アスファルトと不織布は密着しており、アスファルトシート表面滑落状態の値

## (2) 遮水シートに生じる熱応力の評価

遮水シートをはじめとする合成樹脂や合成ゴムは、土、鉄鋼、コンクリートなどの土木材料に比較して線膨張係数が大きく、低温では収縮し、高温では膨張する。また、これら材料の端部を拘束して温度環境を変化させると、熱応力と呼ばれる応力が発生する。

温度が  $t_a$  から  $t_b$  まで単調に変化するとき、これに伴う熱応力(引張力は)  $T$  は、次式(坪井、1999)で求めることができる。

$$T = \frac{A \cdot \beta \cdot E_0 [e^{-2.30\alpha t}]}{2.30\alpha} \quad (5.3-3)$$

ここで、 $A$  : 遮水シートの断面積、 $\beta$  : 遮水シートの線膨張係数、 $\alpha$  : 遮水シート弾性係数の温度依存指数、 $E_0$  : 温度が0°C時遮水シートの弾性係数、 $t = |t_a - t_b|$  とした。

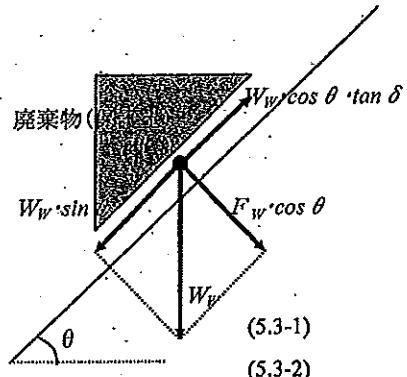


図5.3-1 遮水シートの自重と摩擦抵抗

## II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

長期間にわたる応力は応力緩和などが考えられるため、まずは短期的に発生する熱応力として、一日の温度変化で発生する熱応力を求めておく。季節による一日の温度変化に対応する熱応力を式(5.3-3)に基づいて算出した結果を表5.3-3に示す。また、主要な遮水シートの線膨張係数( $\beta$ )、弾性係数( $E_0$ )、および弾性係数の温度依存指数( $\alpha$ )を表5.3-4に示す。

遮水シートの施工において、温度差によって膨張収縮をする長さは、施工時に余長を確保して温度変化による収縮を吸収することを前提とすると、実際に発生する熱応力は計算値に比較して小さく、かつ応力緩和があることから、設計では表5.3-3に例示される計算値の約70%程度を見込めばよいと考えられる。

表5.3-3 一日の温度変化で発生する熱応力( $T$ )の計算結果例 (単位:N/m)

施工時期	冬季 (-5~35°C)	夏期 (25~70°C)	春秋期 (10~60°C)
HDPE	7,020	3,770	5,650
TPO	2,110	910	1,500
EPDM	99	53	79
PVC	190	18	68
TPU	350	260	340
アスファルト	610	59	200

備考：アスファルトシートは厚さ4.0mm、その他は1.5mmとして算出。

表5.3-4 遮水シートの線膨張係数( $\beta$ )、弾性係数( $E_0$ )、温度依存指数( $\alpha$ )の目安(坪井、1999)

種類	EPDM	TPO(PB)	TPO(PP)	HDPE	PVC	TPU
線膨張係数 ( $\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	1.6	2.0	1.0	1.9	1.8	1.6
1%割線弾性係数(MPa)	14	260	170	840	39	440
温度依存指数	0.010	0.013	0.013	0.010	0.034	0.0056

備考：弾性係数は、温度0°Cにおける値

## (3) 風による負圧揚力の評価

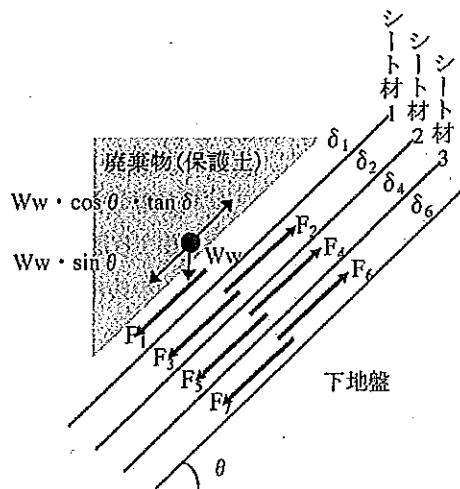
風によって遮水シートが持ち上げられることがある。遮水シートには気密性があるために、通常は、強風時には負圧(減圧)による揚力が作用しても、遮水シートと地盤との間の減圧と釣り合って遮水シートが持ち上げられることはないが、下地に通気性がある場合には大きな張力が作用する。

## (4) 廃棄物の荷重の影響に関する評価

法面に設置された遮水材に作用する荷重の伝播については、研究例が数少なく不明な点が多い。また、実験値と一致しないものもあるが、国内外の研究例によると、遮水材に発生する応力検討手法としては、カーナー氏の提案する無限斜面における摩擦力と張力の釣り合いから求めた『極限つりあいモデル』(Koerner, 1996)、複数の遮水材を並列のばねとみなした『並列ばねモデル』(最終処分場技術システム研究会、2000)、一定の長さの遮水材が下方へ引きずり込まれると仮定した『抜け出し弹性モデル』(最終処分場技術システム研究会、2000)、および『せん断力伝播モデル』(今泉ほか、1996)が提案されている。

基本的には、図5.3-2に示す廃棄物の荷重が遮水工に作用すると考えるが、廃棄物が静止していることから、これらの力が釣り合っているものとする。

## II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工



$$F_1 = Ww \cdot \sin \theta$$

$$F_2 = Ww \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_1$$

$$T_1 = F_1 - F_2 (F_1 > F_2 \text{ の場合})$$

$$E_1 = |F_2| \text{ (方向が逆)}$$

$$F_4 = Ww \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_2$$

$$T_2 = F_3 - F_4 (F_3 > F_4 \text{ の場合})$$

$$E_2 = |F_4| \text{ (方向が逆)}$$

$$F_6 = Ww \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_3$$

$$T_3 = F_5 - F_6 (F_5 > F_6 \text{ の場合})$$

$$E_3 = |F_6| \text{ (方向が逆)}$$

(5.3-4)

ここで、  $F_1$  : 廃棄物による1層目シート材の引き込み力(N/m)

$\delta_1$  : 廃棄物と1層目シート材の摩擦角(°)

$F_2$  : 1層目シート材と2層目シート材との摩擦力(N/m)

$\delta_2$  : 1層目と2層目シート材材間の摩擦角(°)

$T_1$  : 1層目シート材に発生する張力(N/m)

$E_1$  : 2層目シート材の引き込み力(N/m)

$F_4$  : 2層目シート材と3層目シート材との摩擦力(N/m)

$\delta_3$  : 2層目シートと3層目シート材材間の摩擦角(°)

$T_2$  : 2層目シート材に発生する張力(N/m)

$E_2$  : 3層目シート材の引き込み力(N/m)

$F_6$  : 3層目シート材と下地盤との摩擦力(N/m)

$\delta_4$  : 3層目シートと下地盤の摩擦角(°)

$T_3$  : 3層目シート材に発生する張力(N/m)

$E_3$  : 下地盤に伝播される引き込み力(N/m)

図5.3-2 廃棄物(覆土)の荷重モデル

## II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

カーナー氏の提案する極限つりあいモデルでは、上下の材料間の摩擦係数が同じであるので、遮水シートには張力が発生しない結果となる。今泉らによれば、同条件においても遮水シートに引張力が発生し、その負担率(直上の遮水材に発生する張力に対する下層遮水材張力の割合)は0.3~0.6であること(今泉ほか、1996)が報告されている。そこで先の最上層の遮水材に発生する引き込み力が下層遮水材に、ある一定の割合(これを「負担率」という)で伝播されていくと仮定すると、各層遮水材に発生する張力は式(5.3-5)より求めることができる。

$$T_2 = T_1 \cdot \beta \quad (5.3-5)$$

ここで、  $T_1$  : 一層目シート材に発生する張力(N/m)

$T_2$  : 二層目シート材に発生する張力(N/m)

$\beta$  : 負担率(0.3~0.6)

三層目以降は同様に負担率を乗じることで計算する。この「せん断力伝播モデル」では、負担率の設定根拠が十分に解説されていない。設定する負担率の値によって大きく張力が異なるため注意する。

埋立に伴って遮水シートに発生する荷重、変位、ひずみなどを計測する目的で行われた大規模現場実験(NEDO、1997)におけるHDPEシート(保護マットなし)上部に土砂を(50cm厚)撒き出した状態での遮水シートに働く張力の結果を図5.3-3に示す。埋立作業は、午後1時より土砂を撒き出し、夕方にブルドーザによる転圧を終了している。夕方は遮水シートの温度低下による熱応力が生じるために、熱応力を減じた補正荷重を同時に示した。図5.3-3に示した例では、土砂投入後に荷重の増加は見られなかったが、ブルドーザによる締固め作業後に埋立荷重の増加が見られる。50cm厚さの埋立による荷重の増加は0.53kN/mであった。

土砂を3m厚さに埋め立てた時点における荷重の増加量の合計は6.8kN/mであった。

#### (5) 法面への重機接近による荷重の評価

重機が遮水シートを設置した法面に接近すると荷重が発生する。設計方法としては確立されたものはないが、フィールド実験(接近距離20cm)で測定された結果を表5.3-4に示す。

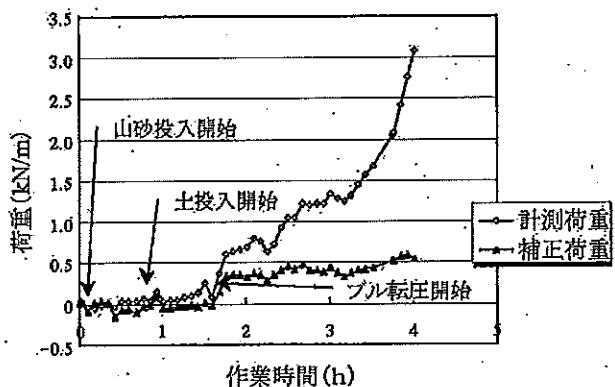


図5.3-3 埋立作業による張力増加(HDPE、埋立50cm)  
(最終処分場技術システム研究会、2000)

表5.3-4 重機接近による荷重増加(N/m)(最終処分場技術システム研究会、1999)

重機の種類	ブルドーザ	バックホウ
HDPE シート	1,040	921
HDPE シート+不織布(上部)	1,030	774
EPDM シート	11	10.8
EPDM シート+不織布(上部)	28	26.5

## II.5 遮水工 5.3 遮水工の設計・施工

## (6) 場内道路部の遮水シートに発生する応力の検討

場内道路部において、廃棄物搬入車両がブレーキをかけた場合を想定し、遮水シート材に発生する応力を考える。

米国環境保護庁(Richardson, 1987)では、以下のように安定検討方法を規定している(図5.3-4参照)。

## ① 起動力

$W_s$ : 補装自重

$W_v$ : 車両自重

$B_R$ : 制動荷重( $=0.1W_v$ )

ただし、制動荷重は、我が国の道路橋示方書等を参考に $0.1W_v$ とした。

## ② 抵抗力

$F_R$ : 補装下面における摩擦力

$$F_R = (W_s + W_v) \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta_{MIN} \quad (5.3-6)$$

ここに、 $\delta_{MIN}$ : 最小摩擦角

$\beta$ : 道路傾斜角

$F_A$ : 粘着力

$$F_A = W \cdot L \cdot C_{MIN} \quad (5.3-7)$$

ここに、 $W$ : 道路幅

$L$ : 道路長さ

$C_{MIN}$ : 最小粘着力

## ③ 安全率

$DR = \text{抵抗力}/\text{起動力}$

$$= (F_R + F_A) / \{(W_s + W_v) \sin \beta + B_R\} \quad (5.3-8)$$

(但し、動的の場合、制動荷重を含む)

設計に求められる最小安全率 $DR_{MIN}$ は、下記のとおりである。

$DR_{MIN} = 3.0$ (静的)、 $2.0$ (動的)

なお、上式は一層の遮水シートを対象としたものであり、多層シートの場合は(4)項で述べた方法などで各層の遮水シートに働く張力を求めるといよい。

## (7) 固定工の寸法の決定方法

## ① 固定工の種類

我が国の最終処分場は、平坦地における用地確保が難しいことから谷間に建設されることが多く、斜面に敷設された遮水シートの滑落を防止するためには遮水シートの天端を強固に固定する必要がある。法面に設置された遮水シートが固定部において外れや破れが生じると、遮水シートが滑落して遮水性能を損うことになるからである。

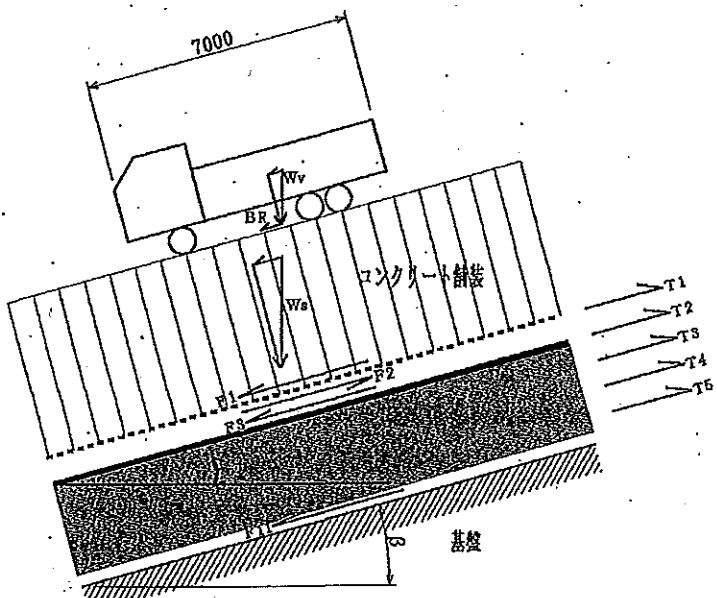


図5.3-4 場内道路における遮水工に働く張力モデル

**廃棄物最終処分場  
新技術ハンドブック**

表2.8-10 保護マット材料の種類と特徴<sup>④</sup>

	長繊維不織布	短繊維不織布	反毛フェルト
原材料	主としてポリエステル、ポリプロピレン	主としてポリエステル、ポリプロピレン、アクリル、ビニロン	合成繊維ステーブル主体であるがリサイクル原料を使用している。
繊維長	連続的に紡糸しているのでエンドレス	主に30~80mmのステーブル	主に30~80mmのステーブル
繊維の配列	縦	縦または横	縦または横
繊維同士の絡み	比較的弱くしている	強い	強い
繊維材料の選定	単一材料に限定	単一材料またはプレンドで製造可能	
製造方法	溶融紡糸した長繊維(フィラメント)を、直接ウェブにし、ニードルパンチ工程で繊維同士を交絡させて布状にしたもの	ニードルパンチ、樹脂接着、熱接着のいずれかを用いる。補強のために織物を挟み込んだものもある。均一なウェブを作るために、繊維には捲縮(クリンプ)が付与されており、圧縮に対する嵩高性、グッショング性が高い。	
目付け量	50~800g/m <sup>2</sup>	50~4,000g/m <sup>2</sup>	50~4,000g/m <sup>2</sup>
強度特性	原料繊維自身の強さによる、縦・横方向性あり	繊維の絡み強さによる、縦・横方向性あり	繊維の絡み強さによる、縦・横方向性あり
伸び特性	繊維自身の伸びによる 縦・横方向性あり	繊維自身の伸びと絡みによる 伸び、縦・横方向性あり	繊維自身の伸びと絡みによる伸び、縦・横方向性あり
特 長	引張、引裂強さが大きい。毛羽が少ない。 圧縮変形率が少ない。裁断面のぼつれが少ない。	繊維特性による使い分けができる。目付量に拘わらず厚みが出しやすく、10~20mm厚さの製品は、そのクッション性、衝撃効果から、保護材として使用されることが多い。締まり具合により圧縮変形率が左右される。	

## (1) ジオコンポジット(合成樹脂複合材)

ジオコンポジットは、合成樹脂製の基材と不織布などの複合材であり、二重遮水シートの中間保護マットとして、または水平排水材として使用される。

本来は排水が主の役割で、底面部や法面部の地下水集排水材、二重シート間の水平排水材、および浸出水集排水管の下面に敷設した浸出水集排水材などに用いられる。

ジオコンポジットは、基材の形状により、エンボス型、立体網状型、およびネット型などに区分される。また、材料の複合化により耐貫通性、通水性、ガス排気性、および圧縮抵抗性などが改善されている。

ただし、基材と不織布などの構成により性能に差異があるので、必要な性能と材料の性能を良く確認をして使用する。特に、法面部に敷設して水平排水材として使用する場合、ジオコンポジットの透水性は、面内方向と垂直方向という透水方向、使用材料の構成や基材の形状、動水勾配や上載荷重の大きさにより変化することに留意する。なお、不織布は上載荷重が増加すると透水性能が減少しやすいが、ジオコンポジットは、不織布に比べ上載荷重が作用しても透水性能の変化は小さい。

## 8.2.4 遮水シートの材料特性

遮水シートに必要な材料特性は、遮水性、耐久性、引張特性(弾性係数、破壊特性など)、温度特性(線膨張係数、引張特性の変化)、および施工性(接合性、下地追従性など)などがあるが、最も基本的な特性である遮水性、温度特性のうち線膨張係数、引張特性、耐久性、および接合性について述べる。

## (1) 遮水シートの遮水性

合成樹脂や合成ゴムを素材とする遮水シートの遮水性は、土粒子のように間隙がないため極めて高い。したがって、土質材料に用いられるダルシーの法則に基づく「JIS A 1713 土質材料の透水試験方法」では、透水係数の正確な測定は困難である。Koemerは、水蒸気透過試験から求めた透湿度を透水係数に換算する方法を提案<sup>⑤</sup>している。すなわち、遮水シートに水蒸気を接触させると、遮水シートの中を水分子が蒸気圧の差によって気体のように拡散・透過する。この現象は、ダルシーの法則が想定している液体状の水分子が水頭差によって土粒子内間

隙を浸透する現象と同一であるといえないが、現時点では簡易的かつ妥当な解を得ることのできる方法である。水蒸気透過試験で得られた透湿度の実験結果から換算した透水係数の例を表2.8-11に示す。

遮水シートの透湿度から求めた透水係数の値は、遮水シートの種類によって違いがみられるが、0.003~0.2pm/秒であり、遮水シートに要求される10pm/秒に比較して約百分の一程度以下である。

一方、土質材の透水係数は、加圧型透水試験機で計測された事例があり、ほぼ同じ結果が出ていることから考えて、いずれの試験法でも遜色ないものと考える。

なお、経年変化した遮水シートの遮水性は、熱伸張処理、酸処理およびアルカリ処理後に水蒸気透過試験を行うと若干の増減がみられるが、処理前と同オーダーを保つことが確認されている。このことから、長期間埋立地の法面に設置された場合も、遮水シートの透水係数の変化は少ないと考えられる。さらに、酸性およびアルカリ性の浸出水に接触する埋立地底盤に設置された場合も、遮水シートの透水係数の変化は少ないといえる。

## (2) 遮水シートの線膨張係数

物質は温度が上がると膨張し、温度が下がると収縮する性質がある。遮水シートは、温度が上がると伸びてしわが生じ、温度が下がると引張りが生じる。

このような温度の上昇とともに物質の寸法が大きくなる現象を熱膨張といふ。熱膨張の温度変化に対する比率を膨張率といい、体積変化を体積膨張率(体積膨張係数)、長さ変化を線膨張率(線膨張係数)といふ。なお、おおむね線膨張率は体積膨張率の1/3である。

線膨張係数(線膨張率) $\beta$ (ベータ)は、次式で表される。すなわち温度が1°C変化したときに、長さが何%変化するかということである。

$$\beta = \frac{\Delta L}{L \cdot \Delta T} \quad (式2.8.1)$$

ここで、 $\beta$ : 線膨張係数、 $L$ : 基準温度での長さ、 $\Delta L$ : 長さ変化量、 $\Delta T$ : 温度変化量

遮水シートの温度は、夜間は気温と大差はないが、日中は、日射を受けて70°C程度まで上昇することがある。したがって、遮水シートの表面温度の変化量は気温の変化量より大きいことに留意する。各種遮水シートの線膨張係数の目安を表2.8-12に示す。

## (3) 遮水シートの引張特性

遮水シートの選定時は、引張強さや伸び率などの限界特性を重要視しがちであるが、いくら強度や伸びが大きくとも、埋立作業機械の接触や大きな地盤沈下には耐えられないことから遮水シートに強度部材としての機能を期待してはならない。

しかし、限界強度が高いことに問題はない。また、遮水シートの品質管理上、重要な試験項目のひとつである。

## (4) 遮水シートの弾性係数

遮水シートは、弾性率によって、高弾性タイプ、中弾性タイプおよび低弾性タイプにおおまかに分類される。弾性率は、硬さ・柔らかさを表すばかりでなく、低温時の収縮力(熱応力)などを決定する要素のひとつであり、固定工の設計などに用いる特性である。

表2.8-11 遮水シートの透水係数測定例<sup>6)</sup>

種類	透湿度 (mg/m <sup>2</sup> /24h)	透水係数 (pm/秒)
HDPE	14.7	0.0025
TPO(PP)	83.3	0.022
LDPE	98.0	0.027
TPO(PE)	284	0.075
AS	284	0.15
EPDM	510	0.13
PVC	608	0.16

表2.8-12 各種遮水シートの線膨張係数の目安 ( $\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )<sup>7)</sup>

種類	EPDM	TPO(PE)	TPO(PP)	HDPE	LDPE LLDPE	PVC	TPU	As
線膨張係数	1.6	2.0	1.0	1.9	2.3	1.8	1.6	1.4

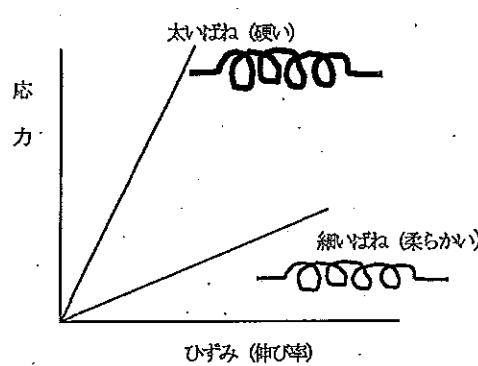


図2.8-4 弾性係数の概要図

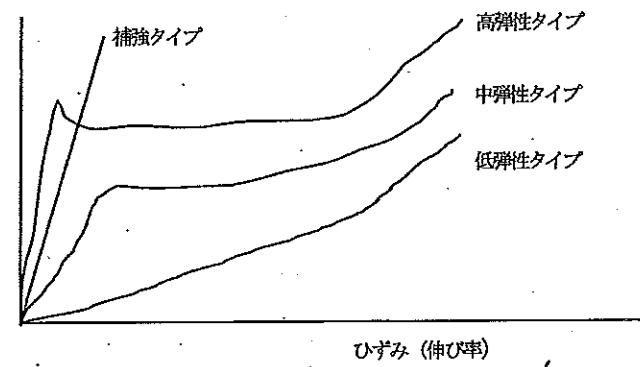


図2.8-5 遮水シートのSS曲線

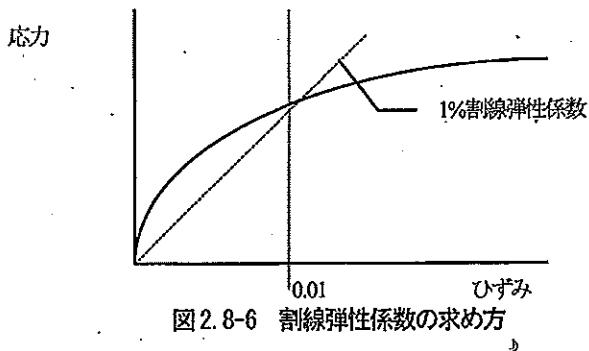


図2.8-6 割線弾性係数の求め方

「フックの法則」とは、重さとバネの伸び量が比例関係にあるというもので、このことから、重さをものさしで測ることができる。工学的にはバネの変形量をひずみと呼び、重さを荷重（正確には応力）といい、図2.8.4に示すように、応力の増分をひずみの増分で割った値（図2.8.4の直線の傾き）を弾性係数という。

図2.8.4に示すように、重いものを測るバネばかりのバネは太く硬く（弾性係数が大きい）、軽いものを測るバネは細く柔らかい（弾性係数が低い）。

遮水シートの引張試験を行ったときの応力とひずみ（伸び率）の関係を図2.8.5に示す。応力・ひずみ曲線をSS（Stress-Strain）曲線という。HDPEやMDPEなどの高弾性タイプと呼ばれる遮水シートは太いばねに相当し、EPDMやPVCなど低弾性タイプと呼ばれる遮水シートは細いばねに相当する。また、TPOやLDPEなど中

弾性タイプと呼ばれるシート遮水シートは、中間的な太いばねに相当する。なお、高弾性タイプと呼ばれる遮水シートのSS曲線には、ピーク（降伏点）が顕著にみられる特徴がある。

金属などのように応力とひずみが比例関係（線形関係）にあると、SS曲線は直線的となり、弾性係数もひずみに関係なく一定であるが、遮水シートのSS曲線は、図2.8.5に示したように、必ずしも比例関係（線形）ではない。このため、図2.8.6に示すように、遮水シートを1%伸ばした時の応力と原点を結んだ直線の傾きから求めた弾性係数を1%弾性係数（または1%割線弾性係数）と呼んでいる。

なお、後節で述べるように、地盤が局所沈下するような場合の遮水シートの許容伸び量は数%であるから、限界伸び時の弾性係数ではなく、伸びが小さい時の弾性係数が必要となる（表2.8-13）。

表2.8-13 遮水シートの1%割線弾性係数E(MPa)の目安<sup>7)</sup>

種類	EPDM	TPO	HDPE	LDPE/LLDPE	PVC	TPU	As
1%割線弾性係数	11	137 (54)	480	110 (70)	12	28	12

( )内は特に柔軟なもの

### (5) 耐久性

遮水シートの耐久性は、埋立地内環境下における耐性・寿命を意味する。遮水シートは、埋立地底面のように埋立て開始前より保護土中に埋没し浸出水に常時接触する環境下におかれる部分と、埋立地法面の最上段のように約15年後の埋立て終了直前まで自然環境に曝される部分がある。前者は、耐候性より耐浸出水性(対薬品性)が求められる。後者は、耐候性や温度変化、あるいは酸性雨(pH=4程度)に対する耐性が求められる。さらに、コンクリート構造物に接触する部分は、コンクリートの強アルカリ(pH=12程度)に曝される。このように、遮水シートは使用される部位によって異なる耐久性を有することが求められる。

土中に埋設された遮水シートの耐久性は、系統的に追跡されたデータはないが、劣化が起こりにくい状態であり、微生物に対する耐性も比較的良好な材料であるため、まず問題はないと考えられる。

一方、法面上部に敷設された遮水シートは、長期にわたり日射を受ける。遮水シートを構成する高分子材料は紫外線により劣化するので、遮水シートには十分な耐候性を付加する材料が配合されているが、それでも長期的には表面から徐々に劣化していく。日本における15年相当以上の太陽光による劣化を想定した促進曝露試験(EMMAQUA試験機を使用した米国アリゾナ州における16ヶ月の促進曝露実験)結果では、遮水シートの材質により表面劣化状態に差がでているものの、概ね15年程

度の日射を受けても実用上支障となる劣化は生じていない。

### (6) 接合性

遮水シートの接合性能は、最終処分場の遮水性を確保する上で最も重要な特性である。同一遮水シートの接合は、各メーカーともに十分研究している。しかし、異種の遮水シートを法面と底面に分けて、または、二重シートの上下に分けて使用する場合がある。また、既設の最終処分場を増設する場合に、既設の遮水シートと異なる遮水シートを用いる場合もある。このような異種遮水シートの接合は、十分な検討を要する。異種遮水シートを熱融着接合する場合の望ましい組合せを表2.8-14に示す。

熱融着不適当な組合せは粘接着などで対応するが、その場合は密着による遮水効果を期待するためコンクリート固定工下で固定する方法が望ましい。

### 8.2.5 遮水シートの試験と評価

遮水シートの試験と評価は、高分子ルーフィングの評価基準を使用するケースが多かった。しかし、最近では、最終処分場の遮水シートに必要な特性を考慮した日本遮水工協会の自主基準を用いた前節表2.8-7による評価が中心となってきている。

また、最終処分場に使用する保護マットの目安を前節表2.8-9に示す。

表2.8-14 異種遮水シート熱融着接合における望ましい組合せ例

シート 材 料	EPDM	PVC	TPO(PE)	TPO(PP)	HDPE	LDPE LLDPE	TPU
EPDM							
PVC		○					
TPO(PE)			○	○ <sup>*2</sup>	○	○	
TPO(PP)			○ <sup>*2</sup>	○		○ <sup>*2</sup>	
HDPE			○	○ <sup>*2</sup>	○ <sup>*1</sup>	○	
LDPE			○	○ <sup>*2</sup>	○	○	
LLDPE							
TPU							○ <sup>*3</sup>

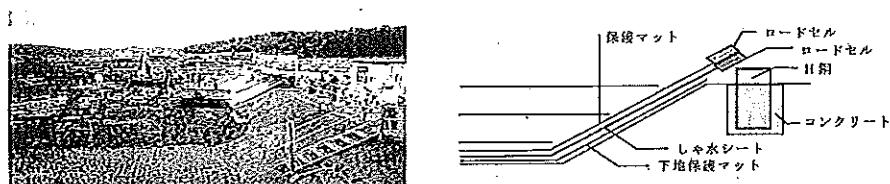
<sup>\*1</sup> 硬いため同材質同士でもハンド融着は避ける。<sup>\*2</sup> 融着条件に特に留意する。<sup>\*3</sup> 表面の経時変化に留意する。

図2.8-7 遮水シートに発生する外力の計測例

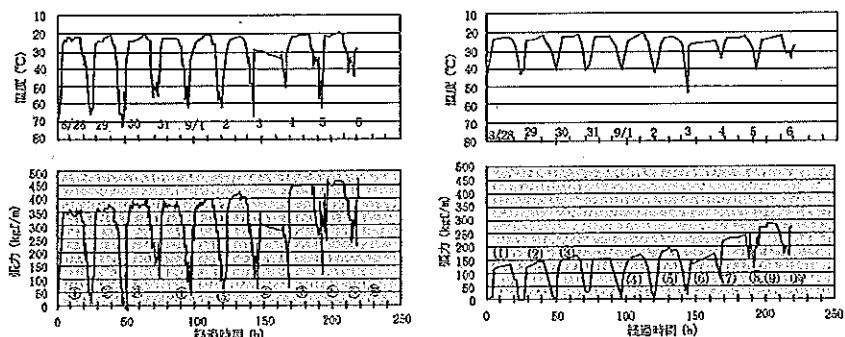
図2.8-8 HDPE遮水シートの温度と張力の経時変化例<sup>⑨</sup>

表2.8-15 遮水シート損壊原因と対策

	損壊要因	現在考えられる対策
地盤	不陸や突起物、圧密沈下、土砂流出による沈下・陥没、その他	・下地地盤の施工管理の徹底、軟弱地盤改良工を施す。
地下水	地下水による揚圧力、その他	・地下水集排水施設を設け、揚圧力の減少に努める。
埋立作業	重機の接触、車両の急転回、その他	・作業中に十分注意を払い、損壊防止に努める。
廃棄物	廃棄物の荷重、廃棄物中の鋭利物、その他	・鋭利物を含む廃棄物を入れさせない。 ・保護マットを敷設し保護する。
気象	紫外線による劣化、熱応力、ストレッスクラッキング、その他	・設計で劣化による強度低下を見込む。 ・遮光性保護マットで保護する。 ・遮水シート自体が耐久性を持つ。
施工	接合不良、車両などの接触	・作業中に十分注意を払い、損壊防止に努める。

### 8.3 シート系表面遮水工の設計

#### 8.3.1 遮水シートの損壊要因

設計における遮水シート損壊防止の原則は、シート自体に力をかけないことがある。NPO・LS研では、実際の最終処分場で遮水シートにどの程度の外力が働くかを把握するため、フィールド実験において法面に敷設した各種遮水シートの張力や温度などの計測を行った(図2.8-7,8)。

この実験結果より、各種遮水シートに発生している最大外力は、破断荷重の約1/10程度であることが判明した。

しかしながら、表2.8-15に示すように、様々な損壊要因が遮水シートに影響している。埋立作業で発生する遮水シート損壊の人的要因は、管理の徹底により排除することが可能であるが、沈下などに対しては設計上で安全性を確保することが重要である。

#### 8.3.2 法面部遮水シートに生じる応力

法面部遮水シートには周辺環境の変化に伴い様々な応力が生じる。その応力が圧縮応力の場合、遮水シートには“しわ”などの変形が生じるが、その安全性には何ら問題はない。しかし引張応力が生じる場合は、遮水シートの破断や固定工の抜出などの問題が発生する。

遮水シートに引張応力が発生する要因は、以下の事象がある。

- ・遮水シートの自重
- ・温度低下による収縮力
- ・風による負圧揚力
- ・廃棄物の荷重や地盤沈下および重機走行による引込み力
- ・場内道路における重機走行による引込み力

##### (1) 遮水シートの自重

法面部の遮水シートは、廃棄物が埋め立てられる前には、常に自重により引張力が発生し、その力は張力として固定工に作用している(図2.8-9)。

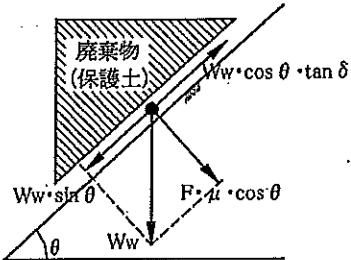


図2.8-9 遮水シートの自重による張力

法肩に作用する張力Tは以下の式で表される。

$$W_w = A \cdot L \quad (\text{式2.8-2})$$

$$T = W_w \cdot (\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta) \quad (\text{式2.8-3})$$

ここでT:遮水シートに働く張力、W<sub>w</sub>:自重、A:単位面積あたりの重量、L:法長、θ:法面傾斜角、δ:廃棄物(保護土)と遮水シートの摩擦角、μ:遮水シートと下地地盤(保護物)との摩擦係数( $=\tan \delta$ )

##### (2) 温度低下による収縮力

遮水シートをはじめとする合成樹脂や合成ゴムは、他の土木材料と比較して線膨張係数が大きいため、低温では収縮し、高温になると膨張する。そのため遮水シートの端部を固定した場合、シート内部には収縮・膨張により熱応力が発生する。

温度環境が $t_a$ から $t_b$ まで上昇(または下降)する時に、これに伴う熱応力Tは、以下の式により算出される。

$$T = \frac{A \cdot \beta \cdot E_0}{2.30 \cdot \alpha} [e^{-2.30 \alpha t}] \quad (\text{式2.8-4})$$

ここで、A:遮水シートの断面積、β:遮水シートの線膨張係数、α:遮水シート弾性係数の温度依存指数、E<sub>0</sub>:温度が0℃時の遮水シートの弾性係数、t = | $t_a - t_b$ | /

遮水シートの施工では、熱応力を伸び縮みする長さ分は、施工時に余長を確保して緩和させる。したがって、実際に発生する熱応力は計算値に比べ小さく、また応力緩和もあることから、設計では計算値の約70%程度を見込める。

##### (3) 風による負圧揚力

遮水シートは気密性に優れるため、強風時には負圧による揚力が発生する。通常は遮水シートと地盤の間の減圧効果により、シート自体が持ち上がるのではない。しかし下地に通気性がある場合には大きな張力が働くので注意する。

## (4) 廃棄物の荷重

法面に敷設された遮水シートに作用する力の伝播については、研究例が少なくまだ不明な点が多い。検討手法として「極限釣合いモデル」、「並列ばねモデル」、「抜出し弾性モデル」、および「せん断力伝播モデル」などが提案<sup>10)</sup>されている。

ここでは基本的には図2.8-10に示すように、廃棄物が静止した状態で遮水シート間の力が釣り合っているものと考え、(式2.8-5)により算出する。

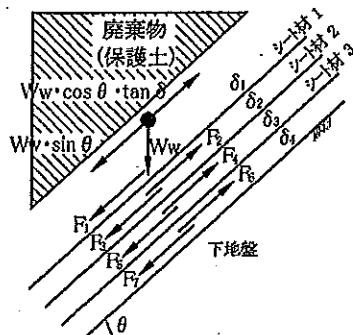


図2.8-10 廃棄物(覆土)の荷重モデル

表2.8-16 遮水シートと他材料との摩擦抵抗角<sup>9)</sup>

遮水シートの種類	豊浦砂	長繊維不織布	短繊維不織布
HPPE	23.3	9.1	6.8
TPO	37.5	19.0	17.0
軟質PVC	40.8	35.8	35.8
EPDM	41.8	25.9	29.7
超軟質PVC	43.6	34.2	33.0
アスファルト	42.5	—	—

表2.8-17 遮水シートの線膨張係数β、弾性係数E₀、温度依存指数αの目安<sup>9)</sup>

種類	EPDM	TPO(PE)	TPO(PP)	HDPE	PVC	TPU
線膨張係数 (×10 <sup>-4</sup> /°C)	1.6	2.0	1.2	1.9	1.8	1.6
1%割線弾性係数(MPa)	14	260	170	840	39	440
温度依存指数	0.010	0.013	0.013	0.010	0.034	0.0056

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= W_w \cdot \sin \theta \\ F_2 &= W_w \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_2 \\ T_1 &= F_1 - F_2 (F_1 > F_2 \text{ の場合}) \\ F_3 &= |F_2| \text{ (方向が逆)} \\ F_4 &= W_w \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_4 \\ F_5 &= |F_4| \text{ (方向が逆)} \\ F_6 &= W_w \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_6 \\ T_3 &= F_5 - F_6 (F_5 > F_6 \text{ の場合}) \\ F_7 &= |F_6| \text{ (方向が逆)} \end{aligned} \right\} \quad \text{(式2.8-5)}$$

ここで、  
 $F_1$ : 廃棄物による1層目シート材の引き込み力(N/m)  
 $\delta_1$ : 廃棄物と1層目シート材との摩擦角(°)  
 $F_2$ : 1層目と2層目シート材との摩擦力(N/m)  
 $\delta_2$ : 1層目と2層目シート材との摩擦角(°)  
 $T_1$ : 1層目シート材に発生する張力(N/m)  
 $F_3$ : 2層目シート材の引き込み力(N/m)  
 $F_4$ : 2層目と3層目シート材との摩擦力(N/m)  
 $\delta_3$ : 2層目と3層目シート材との摩擦角(°)  
 $T_2$ : 2層目シート材に発生する張力(N/m)  
 $F_5$ : 3層目シート材の引き込み力(N/m)  
 $F_6$ : 3層目シート材と下地盤との摩擦力(N/m)  
 $\delta_5$ : 3層目シート材と下地盤との摩擦角(°)  
 $T_3$ : 3層目シート材に発生する張力(N/m)  
 $F_7$ : 下地盤に伝播される引き込み力(N/m)

ただし、(式 2.8-5) では、遮水シート上下の保護マットが同一種類であり摩擦係数が同じ場合は、遮水シートに働く引張力と摩擦力が等しくなり、遮水シートに引張力は生じない結果となる。実際の実験では、このような場合も遮水シートに引張力が生じる<sup>11)</sup>。したがって、実験結果から上層のシート材に働く引張力の約60%の引張力が下層シートに伝搬すると見なす「せん断力伝播モデル」を用いるとよい。

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = W_w \cdot \sin \theta \\ F_2 = W_w \cdot \cos \theta \cdot \tan \delta_2 \\ T_1 = F_1 - F_2 (F_1 > F_2 の場合) \\ T_2 = 0.6T_1 \\ T_3 = 0.6T_2 \\ T_4 = T_3 \end{array} \right\} \quad (式 2.8-6)$$

### (5) 重機接近による引込み力

遮水シートを敷設した法面に埋立作業機械等が接近すると、その引込み効果により遮水シートに応力が発生する。設計方法として確立されたものはないが、フィールドでの実験結果を以下の表に示す。

表 2.8-18 重機接近による荷重の増加(N/m)<sup>11)</sup>

	ブルドーザー	バックホウ
HDPE	1,040	921
HDPE+不織布(上部)	1,030	77
EPDM	11	10.8
EPDM+不織布(上部)	22	26.5

※近接距離20cm

### (6) 場内道路部での重機走行により発生する応力

場内道路部において、廃棄物運搬車両がブレーキをかけた場合を想定し、遮水シートに発生する応力を考える。

#### 1) 起動力

機動力  $F_I$  は、次式で求めることができる。

$$F_I = (W_S + W_V) \sin \beta + B_R \quad (式 2.8-7)$$

ここで、  $W_S$ :舗装自重、  $W_V$ :車両自重、  $B_R$ :制動荷重( $=0.1W_V$ )

制動荷重は、道路橋示方書を参考に  $0.1W_V$  とした。

#### 2) 抵抗力

抵抗力  $F_2$  は、すべり面の摩擦力  $F_R$  と粘着力  $F_C$  の和

で求められる。

$$F_2 = F_R + F_C \quad (式 2.8-8)$$

ここで、

$F_R$ :舗装下面における摩擦力( $= (W_S + W_V) \cos \beta \cdot \tan \delta_{min}$ )

$\delta_{min}$ :最小摩擦角

$\beta$ :道路の傾斜角

$F_C$ :粘着力( $= W \cdot L \cdot C_{min}$ )

$W$ :道路幅

$L$ :道路長さ

$C_{min}$ :最小粘着力

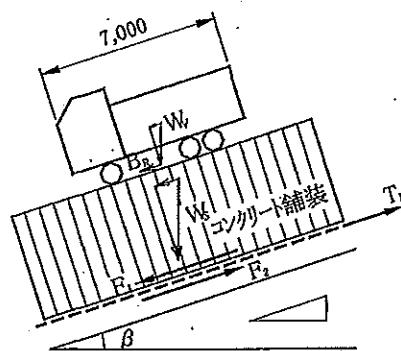


図 2.8-11 場内道路における遮水工に働く張力モデル<sup>12)</sup>

#### 3) 安全率

安全率は、抵抗力と起動力の比とする。

$$D_R = \text{抵抗力} / \text{起動力} = (F_R + F_C) / ((W_S + W_V) \sin \beta + B_R) \quad (式 2.8-9)$$

(ただし、動的な場合は制動荷重を含む。)

計算で求められる最小安全率  $D_{Rmin}$  は、 $D_R=3.0$ (静的)、2.0(動的)とする。なお、この計算式は1層の遮水シートを対象にした場合であり、多層シートの場合は(式 2.8-6)用いて遮水シートに働く応力を求めるよ。

### 8.3.3 固定工の考え方

#### (1) 固定工の種類

##### 1) スライド式固定工

スライド式固定工は、シート端部にすべりが生じてシート自体に発生する応力を軽減できるため、欧米ではこの方式が基本とされている。代表的なスライド式固定工の構造を図 2.8-12 に示す。固定部は土やコンクリートが用いられ、固定工のずれや変形による不都合を避けるた