

## 4.2 長期的な荷重に対する遮水シートの挙動

### 4.2.1 目的

現物遮水シートの漏水検知は、関係資料からは平成22年8月以降、遮水工を直接的に損傷させるおそれがある作業は行っていないが、異常検知の前日まで盛土作業を施工していたため発生した可能性があるとされている。したがって、ある一定荷重が作用した状態での遮水シートの挙動(クリープ現象)を検討する必要がある。すなわちある一定荷重下で該当シート部分にくぼみあるいは穴が発生するかを検証することである。

そこで、ここでは遮水シート単体での圧縮荷重保持試験を行い、圧縮荷重が保持されている状態での遮水シートの時間とともに変化する圧縮変位量を測定し、遮水シートのクリープ現象により遮水シートに穴が発生するか検討する。

### 4.2.2 試験方法

島津製作所製材料試験機(最大荷重:250kN)を用いて圧縮保持試験を行う。本試験では、平板に遮水シートを置き直径10mm、高さ15mmの鋼製円筒を用いて遮水シートを圧縮する。したがって、先述した、一對の銅線で遮水シートを挟む方法とは異なる。

目標圧縮荷重は1kN(約100kg)と10kN(約1トン)とし、目標荷重に達した後に、その目標荷重をそれぞれ2時間及び3時間保持する。目標の圧縮荷重までは10N/minの速さで荷重を与える。遮水シートに圧縮荷重を作用させた時の遮水シートの圧縮変位量を測定する。ここでの圧縮変位量は材料試験機のクロスヘッド変位量とする。荷重は材料試験機に設置されたロードセルにより測定する。図14は測定した遮水シートに作用させた圧縮荷重を示す。縦軸は圧縮荷重(N)を示し、横軸は経過時間を示す。

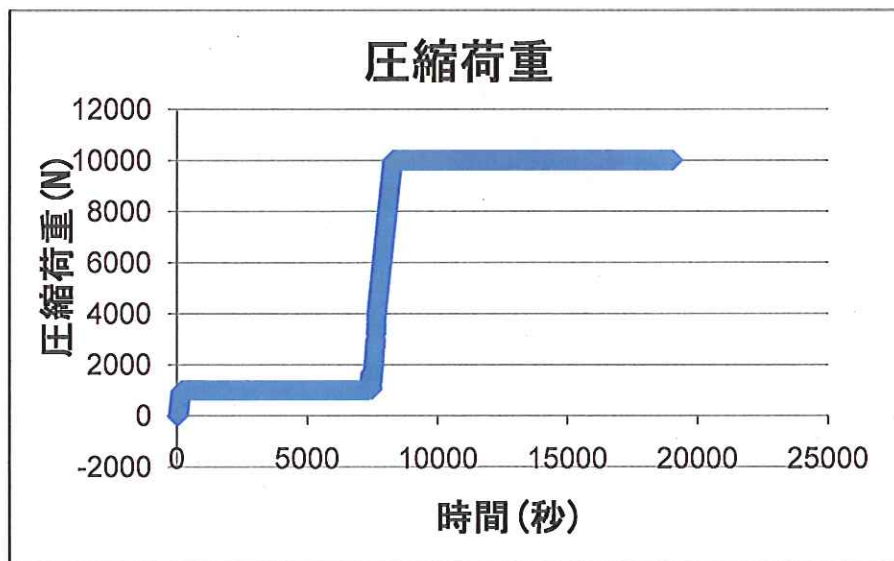


図14 圧縮保持試験中に作用させた圧縮荷重

### 4.2.3 試験結果

図 15 は測定された圧縮変位量を示す。縦軸は圧縮変位量を示し、横軸は経過時間を示す。また、図中の青く囲った部分及び赤く囲った部分は目標圧縮荷重到達後保持しているときの圧縮変位量を示す。この圧縮変位量は材料試験機のクロスヘッド変位量である。正確に言えば遮水シートの圧縮変位量のほかに材料試験機の変形、遮水シートを圧縮する鋼製の円柱の変形等も含まれる。しかし、圧縮荷重保持による鋼の変位量（クリープ）は極めて小さいことが知られている。図より目標圧縮荷重(1kN、10kN)までの経過による圧縮変位量は大きいですが、目標圧縮荷重保持による圧縮変位量はほぼ無いように見える。しかし、実際には圧縮変位量は僅かに大きくなる。

図 16 は青く囲った部分(目標圧縮荷重 1kN での保持部)の拡大図を示す。図 17 は赤く囲った部分(目標圧縮荷重 10kN での保持部)の拡大図を示す。これらの図より圧縮荷重を保持した状態であっても僅かに圧縮変位量が大きくなっていくことが分かる。この現象はクリープ現象である。このクリープ現象により生じる圧縮変位量は、圧縮荷重によって生じる圧縮変位量より極めて小さいことが分かる。また、保持する圧縮荷重の大きさによってもクリープ現象による圧縮変位量が異なることが分かる。保持する圧縮荷重が大きいほど、クリープ現象による圧縮変位量も大きい。

一般的にクリープ現象による破壊は、破壊強度よりも小さい荷重が保持された状態で、一定量の時間経過により破壊が生じることである。あくまで“破壊強度より小さい”であり、単純に“小さい荷重”ではない。その時の雰囲気温度によるが、常温であればクリープ現象のみで破壊が生じるには、その材料の破壊強度に近い荷重を負荷され、その後一定荷重下におかれると破壊へ至る確率はより高い。保持される荷重が破壊荷重より極めて小さい場合、クリープのみで破壊が生じる可能性は極めて低い。

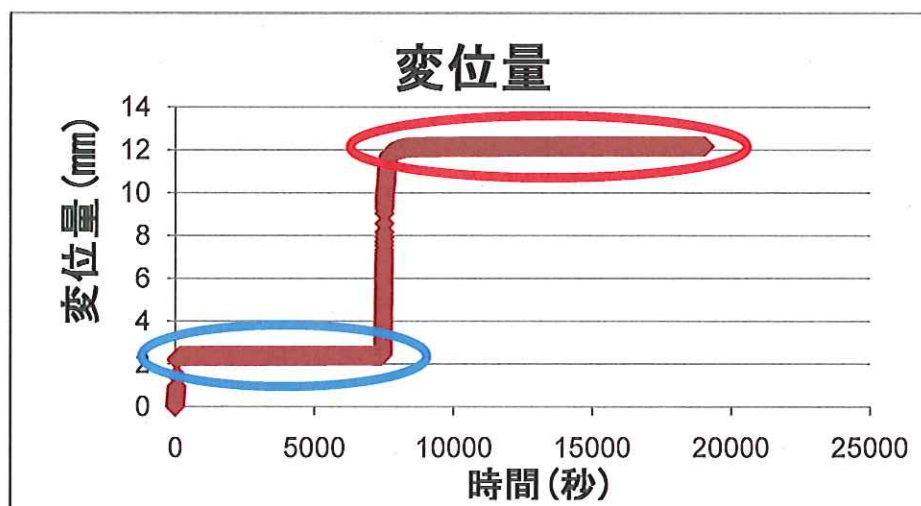


図 15 圧縮保持試験により測定された圧縮変位量

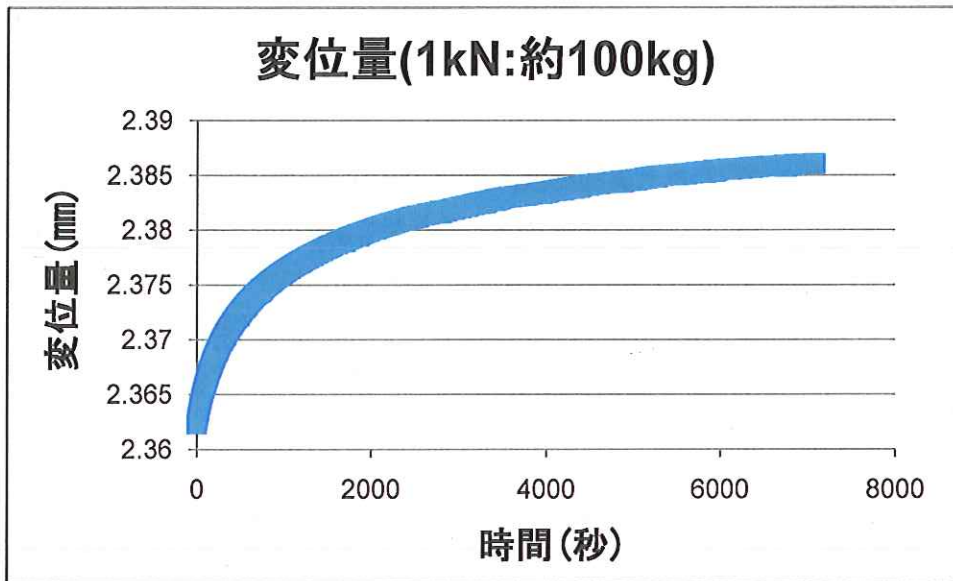


図 16 目標圧縮荷重(約 100kg) における圧縮変位

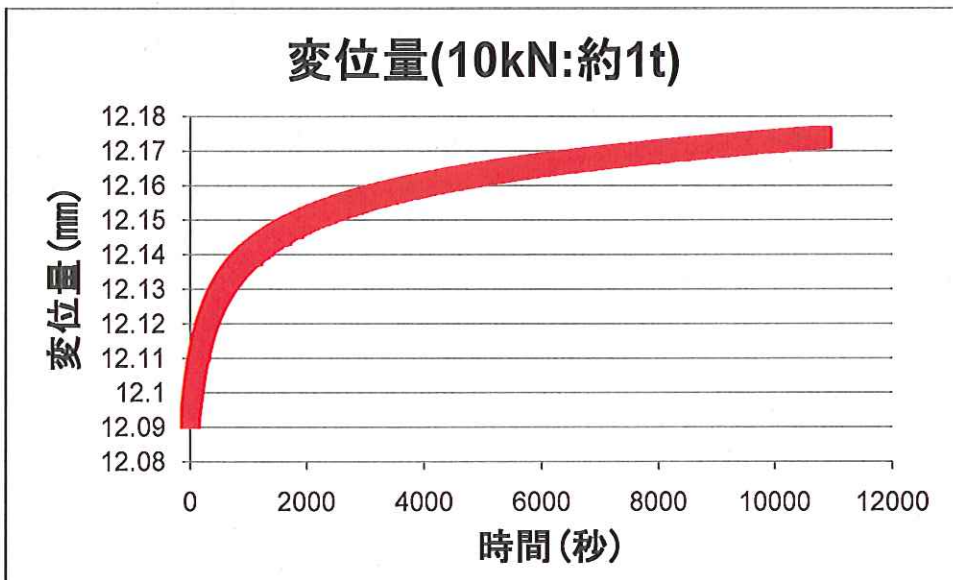


図 17 目標圧縮荷重(約 1t) における圧縮変位量

## 5. 現場における遮水シート部分の荷重負荷実験と通電測定

### 5.1 目的

大学機関の実験室内で行われる実験では、試験装置の測定範囲内に試験片を作成するため、容易に、遮水シートにくぼみを発生させることができた。しかし、この実験は実験室内の環境であり、実際の最終処分場内で起こりえない可能性は十分ある。

したがって、ここでは、実際に最終処分場内にある機材、状況を模擬し、遮水シートに現物遮水シート同様のくぼみを発生させることが可能か検討する。この実験は、公開実験となっている。

### 5.2 試験方法

図 18 は実験方法の概略図を示す。実際に最終処分場で使用される重機、最終処分場にあった石、人により法面(1:1.5)に沿って設置された遮水工一式の銅線が通電するまで圧縮し、通電時の圧縮荷重を測定する。圧縮荷重は遮水工一式の裏側に設置したロードセルにより計測する。銅線の通電は、銅線につながれたテストの抵抗値が無限大から有限値となったとき銅線の通電と判断する。また遮水工一式とは、実際に最終処分場で使用される状況と等しくする。すなわち遮光性不織布、上層遮水シート、自己修復性シート、下層遮水シート、不織布および一対の銅線により構成する。本試験では以下の5つを行う。

1. 重機を用いた圧縮試験を行う。
2. 再現性を確認するため、再び、重機を用いた圧縮試験を行う。
3. 保護土に混入する可能性がある最大クラスの石を腰の高さから落下させ、圧縮する。
4. 人間により力強く踏みつけ、圧縮する。
5. 実際の状況と同じ保護土をかぶせ重機により圧縮する。

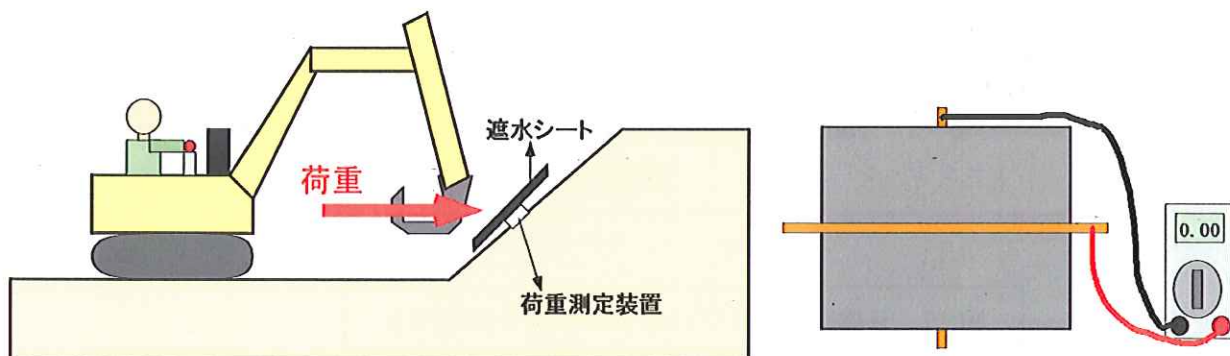


図 18 実験方法の概要図

### 5.3 試験結果

#### 1. 重機による圧縮試験

重機により遮水工一式に圧縮荷重を作用させる。テストにより銅線の通電を確認した。銅線の通電を確認した時、測定された圧縮荷重は約 140kN(約 1.4 トン)であった。写真 15 は、遮水シートに生じたくぼみを示す。同様のくぼみは遮水シートの両面に生じていた。写真 1 の現物遮水シートのかぼみと同様である。



写真 15 重機による圧縮試験によって生じたくぼみ

#### 2. 重機による圧縮試験 (再現性の確認)

再現性の確認のため、1 と同様の試験を行う。銅線通電時の圧縮荷重は約 160kN(約 1.6 トン)である。写真 16 は遮水シートに生じたくぼみを示す。圧縮荷重も同程度と言え、くぼみの形状もほぼ同じである。写真 1 の現物遮水シートのかぼみの形状と同様である。



写真 16 重機による圧縮試験によって生じたくぼみ(再現性の確認)

### 3. 石による圧縮試験

最終処分場では、比較的大きな石は予め除去される。今回使用した石は最終処分場に実際にあったものの中から大きいものを使用した。石を腰の高さから落下させた。この時に通電は確認でなかった。また、落下した時の荷重は 74kg であった。写真 17 は実験後の遮水シートを示す。遮水シートの銅線交点部にはわずかに跡が残っていた(写真 17 中)。くぼみは見られない。

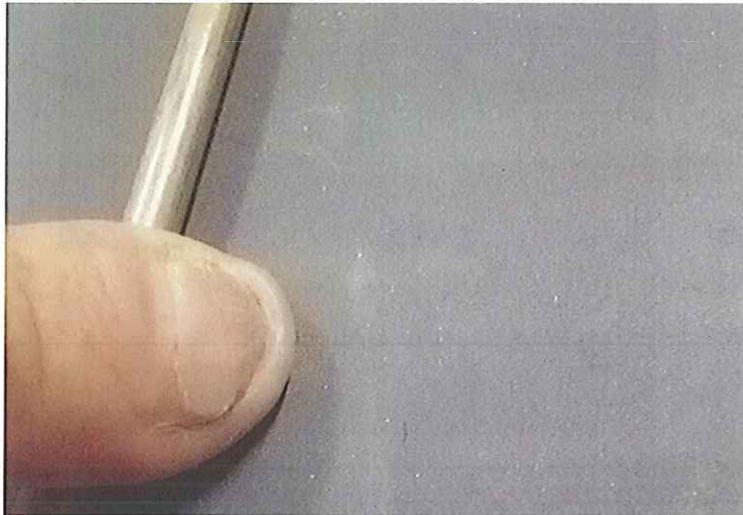


写真 17 石の落下による圧縮試験後の遮水シート

### 4. 人間による圧縮試験

成人男性(100kg)により力強く足で圧縮荷重をかけた。人間により圧縮荷重を加えた場合通電は確認できなかった。この時の圧縮荷重は、226kg であった。写真 18 は実験後の遮水シートを示す。遮水シートの銅線交点部にはわずかに跡が残っていた。

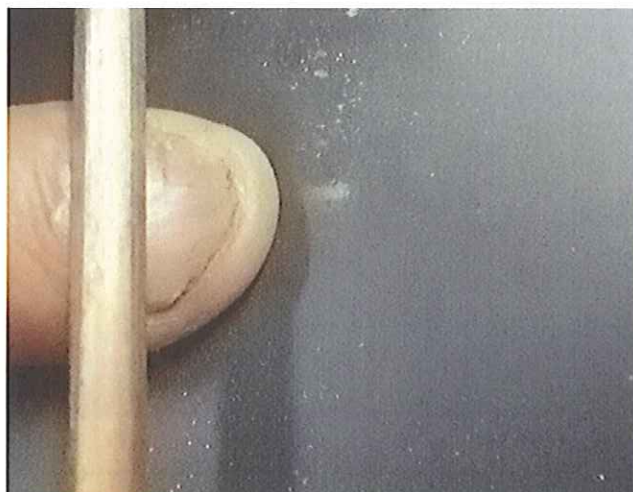


写真 18 人間による圧縮試験後の遮水シート

#### 5. 重機による圧縮試験(保護土有)

実際の最終処分場法面に施工される保護土(厚さ 50cm)を遮水工一式に被せ、重機を用いて圧縮荷重を作用させた。重機のキャタピラーが浮き上がるまで圧縮荷重(重機が持つ最大荷重)を作用させたが、銅線の通電は確認できなかった。この時の圧縮荷重は約 1 トンである。写真 19 は実験後の遮水シートを示す。遮水シートの銅線交点部にはわずかに跡が残っていた。1 回目、2 回目と比較して、重機の限界まで荷重を加えているにもかかわらず測定された荷重が小さい。これは保護土により力が分散されたためである。対象物の間にやわらかいものが介在した場合、荷重は分散される。



写真 19 重機による圧縮試験後の遮水シート(保護土有)

## 6. 有限要素法による遮水シートの応力解析

### 6.1 有限要素法とは

物（物体）に力が作用した時に、物（物体）の内部に生じる力の分布は理論的に計算することができる。物の形が複雑であると、多方向から力が作用し計算が複雑になる。有限要素法とはそこで物（物体）を単純な形に小さく分割し、計算を行う考え方で、数値計算手法の一つである。この方法は計算量が増えてしまうためコンピュータを使って計算する。コンピュータの発展と共に世界で使用が拡大している手法である。

### 6.2 有限要素法を用いた計算を行う目的

遮水シートを法面に設置した場合、遮水シートには平面に設置した場合と異なり圧縮力だけでなく摩擦によるせん断力が作用する。メーカーが提出したせん断力に関する資料中にある計算モデル及び結果は概ね間違いないと言える。しかし、漏水検知の為の銅線については表現できていない。この銅線を考慮し、遮水シートの強度を評価する必要がある。

漏水検知用の銅線は丸線であり、十字を切るように設置されている。この場合銅線同士により遮水シートに作用する力は極めて点に近い。作用する力が点に極めて近いときの、内部の力の分布を求める理論計算はかなり複雑となる。したがって計算を簡略化するため有限要素法を用いる計算を行う。

### 6.3 有限要素法による計算方法

図 19 は有限要素法による計算で用いた銅線-遮水シートモデルを示す。図 19(a)は平面に設置された場合を示し、図 19(b)は法面に設置された場合を示す。図中に示すように銅線交点部に集中荷重を作用させる。これらのモデルを用いて法面に設置された遮水シートに生じるせん断応力の検討を行う。

まずこの両者のモデルに対して、同荷重の集中荷重を作用させる。この時作用させる集中荷重は、くぼみ発生試験によってくぼみが生じた 1.6kN とする。集中荷重を加えた位置及び方向は赤い矢印により示す。

また、くぼみを発生させるために必要な荷重を検討する。