

図 19(a) 水平に設置された銅線・遮水シートモデル

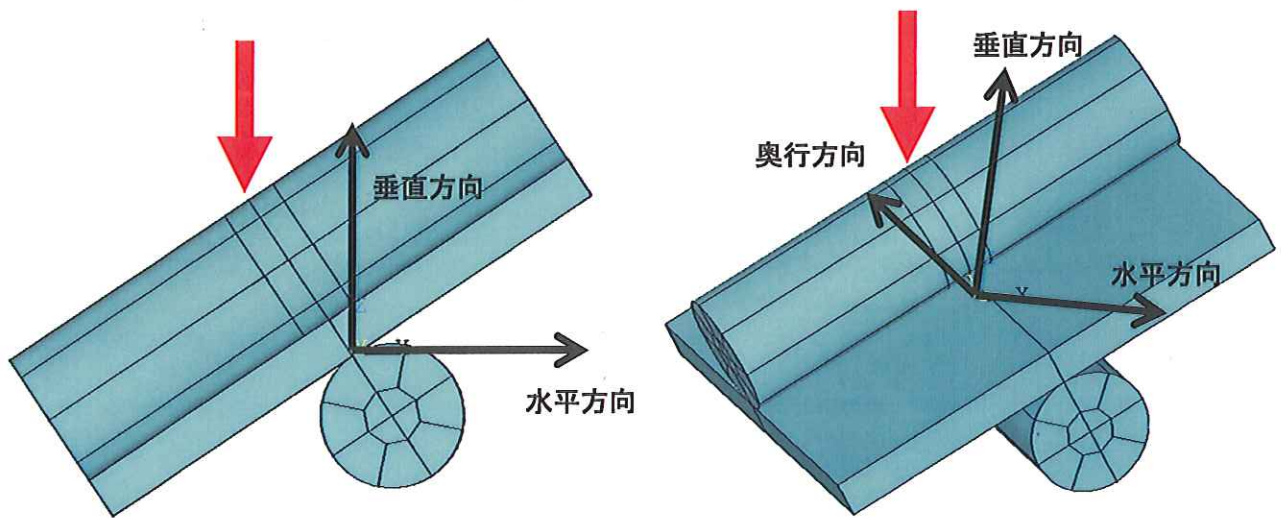


図 19(b) 法面に設置された銅線・遮水シートモデル

#### 6.4 有限要素法による計算結果

図 20 は集中荷重を受ける一对の銅線により挟まれた遮水シートの応力分布を示す。図 20(a)は平面に設置された場合を示し、図 20(b)は法面に設置された場合を示す。応力の大小は、色合いによって区分され赤色は大きく、青色は小さい。

平面に設置された遮水シートの銅線交点部の最大応力は 458.041MPa であり、法面に設置された遮水シートの銅線交点部の最大応力は 587.694MPa である。したがって、同荷重の集中荷重を受けた場合、法面に設置された遮水シートの方がより大きな応力が作用することが分かる。また、高い応力が作用する面積(領域)が、法面に設置された遮水シートの方が広いことが分かる。

逆に法面に設置された遮水シートが平面に設置された遮水シートと同じ応力になる集中荷重値を求める。図 21 は法面に設置された遮水シートに 1.3kN の集中荷重が作用した場合の応力分布を示す。法面に設置された遮水シートの銅線交点部の最大応力は 459.931MPa である。したがって、平面に設置された遮水シートに穴が発生するくぼみが発生するために必要な集中荷重が 1.6kN に対して、法面に設置された遮水シートに穴が発生するくぼみが発生するために必要な集中荷重が約 1.3kN であることが分かった。これは約 20%の差がある。つまり、法面に設置された遮水シートの場合、平面に設置された遮水シートに比べ約 20%ほど小さい荷重で穴が発生するほどのくぼみができることを意味している。

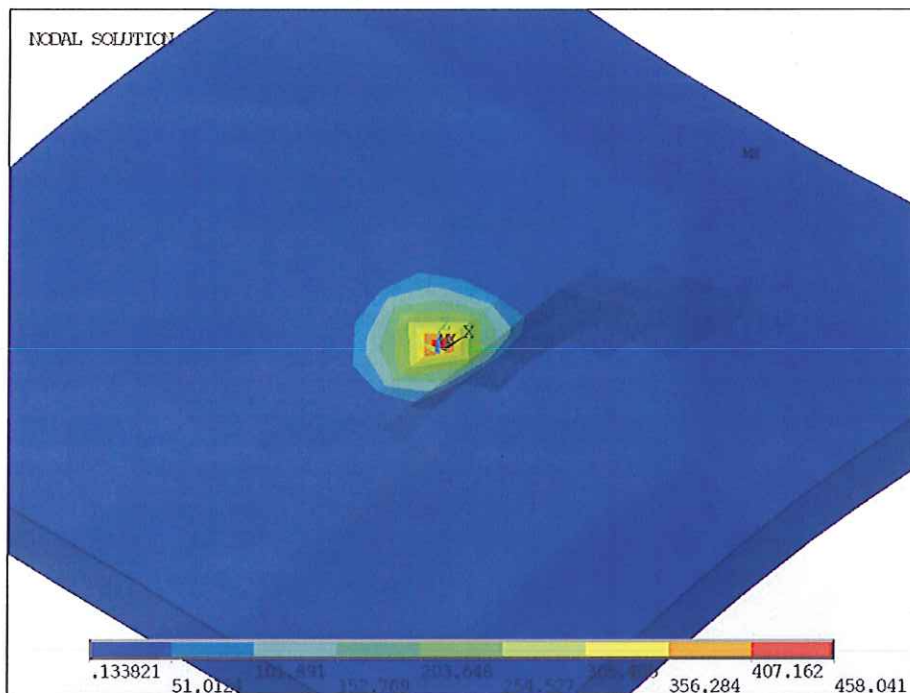


図 20(a) 水平に設置された遮水シートの応力分布

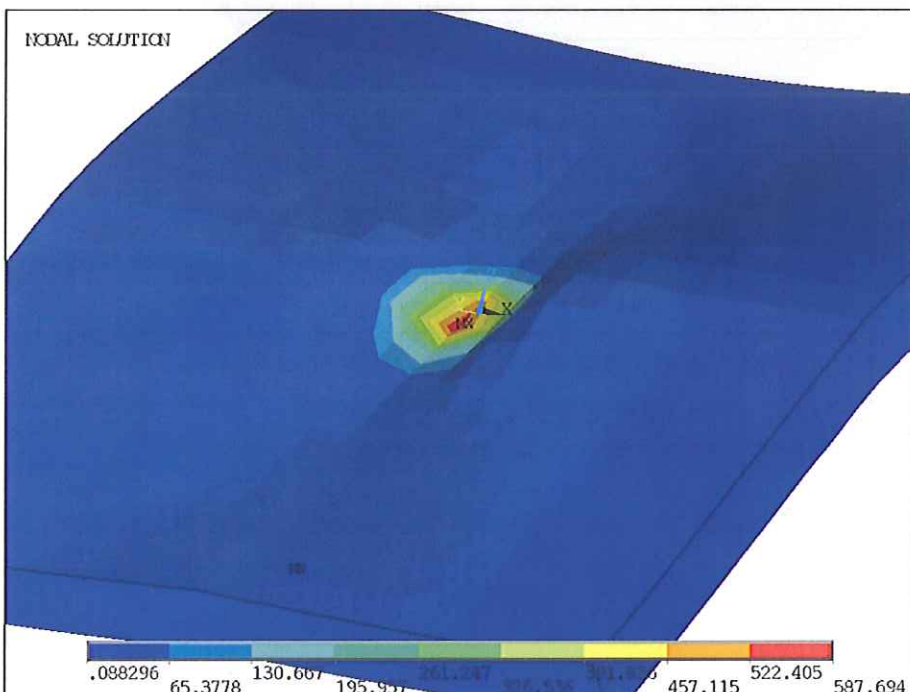


図 20(b) 法面に設置された遮水シートの応力分布

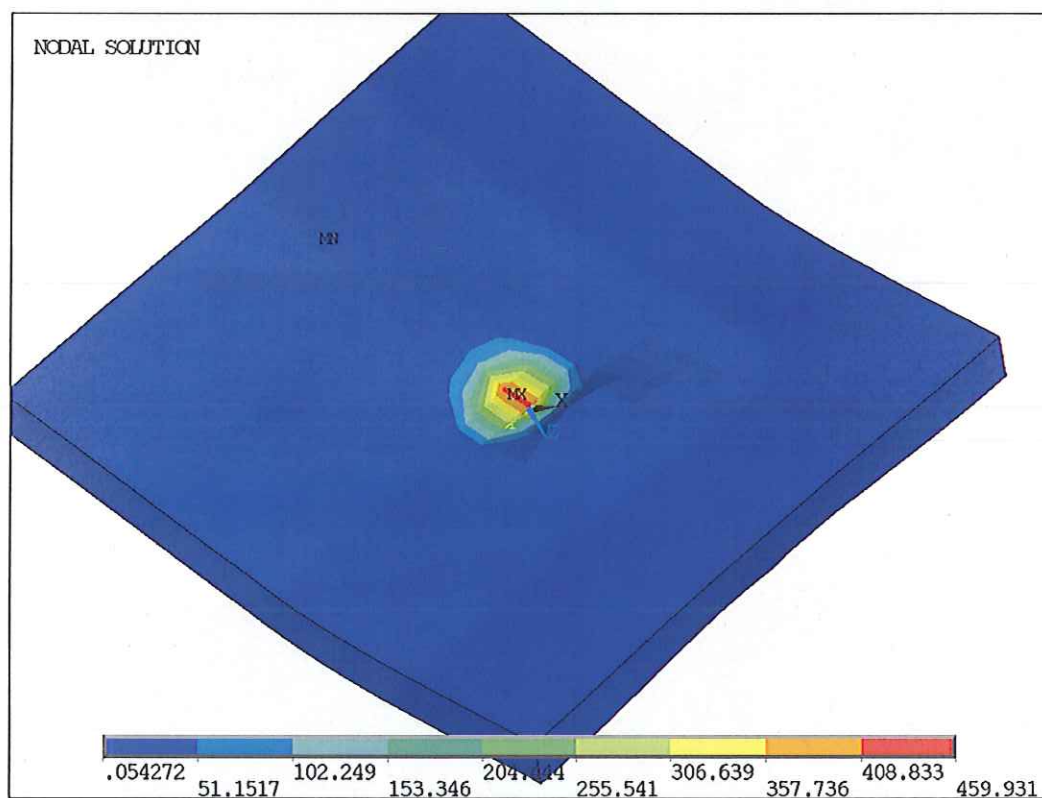


図 21 法面に設置された遮水シートの応力分布  
(集中荷重が 1.3kN の場合)

## 7. 総合評価

7.1 2. 遮水シートの基本材料試験及び3. 遮水シートの耐久劣化試験により以下のことが明らかとなった。

1. 材料試験機により最終処分場で使用される遮水シートの応力-ひずみの関係を測定した(基本材料試験)。その結果から、遮水シートの基本材料特性、特に応力-ひずみの関係に異方性は十分無視出来る。(2)
2. 最終処分場で使用される遮水シートの応力-ひずみの関係は、ひずみ速度依存性を有する。(2)
3. ひずみ速度依存性を考慮し、遮水シートメーカの測定結果は妥当であることが分かった。(2)
4. 10日間の熱、酸、浸出水及びアルカリの曝露後、応力-ひずみの関係を測定した(耐久劣化試験)。その結果、熱、酸及び浸出水の曝露による遮水シートの応力-ひずみ線図への影響は小さいことが分かった。(3)
5. アルカリの曝露による遮水シートの応力-ひずみ線図への影響はあり、遮水シートを軟化させることが分かった。しかし、その影響は遮水シートの材料特性を大きく変化させるものではない。(3)
6. D型デュロメータを用いて遮水シートの硬さ試験を行い、新品、熱劣化後、酸劣化後、浸出水劣化後、アルカリ劣化後、新品(ロット違い)及び事故発生産品について比較検討した。(3)
7. 各種結果は、新品(45.76)、熱劣化(45.05)、酸劣化(45.45)、浸出水劣化(44.35)、アルカリ劣化(43.8)、新品ロット違い(39.55)及び現物遮水シート(38.04)。(3)
8. 新品と熱劣化、酸劣化、浸出水劣化及びアルカリ劣化の硬さ比較により、各種劣化させた遮水シートは僅かに軟化していることが分かった。(3)
9. 新品と新品(ロット違い)の硬さに差異があり、ロット違いを考慮する必要があった。(3)
10. 新品(ロット違い)と現物遮水シートを比較すると、現物遮水シートの硬さの値が小さく軟化している。しかし、これは新品とアルカリ劣化の差異と同等である。(3)
11. デジタルマイクロスコープを用いて、新品、熱劣化後、酸劣化後、浸出水劣化後、アルカリ劣化後、新品(ロット違い)及び現物遮水シートについて表面観察を行った。(3)
12. 各種劣化により表面に小さなくぼみができることが分かった。アルカリにより劣化させた遮水シートの表面には、最もくぼみが深く深く発生していることが分かった。(3)
13. 現物遮水シートは表面観察から、アルカリにより劣化させた遮水シートよりわずかに表面変化が進んだ程度であると考えられる。(3)

### 7.1 のまとめ

以上のことから、現物遮水シートは表面の劣化が生じているが遮水シートの材料特性を顕著に低下させるものではないと言える。すなわち、機械的な観点から見れば現物遮水シ-

トは、新品の遮水シートと材料特性は同等品であると言える。

**7.2 4. 遮水シートに対するくぼみ発生実験、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及び6. 有限要素法による遮水シートの応力解析により以下のことが明らかとなった。**

1. 圧縮荷重により、事故が発生した遮水シートにあるようなくぼみが生じるか検討するため、くぼみ発生試験を行った。集中荷重、分布荷重ともに事故が発生した遮水シートのようなくぼみを発生させることができた。(4)
2. くぼみ発生実験では、銅線の通電により遮水シートに穴が発生する瞬間の荷重値を測定し集中荷重では1.6kN(約160kg)、分布荷重で20kN(約2トン)(約6.4kg/cm<sup>2</sup>)であった。(4)
3. 1.6kN(約160kg)より大きな集中荷重(5kN:約500kg)を作用させた時、遮水シートには完全な貫通穴が発生することが分かった。これは、作用する荷重によりくぼみの形状が変化することを示し、さらに、再荷重による再通電に必要な荷重が変化することを示している。つまり、くぼみ発生時の荷重が大きいほど、再通電に必要な荷重は小さい。(4)
4. くぼみ周辺も含めて考慮すると事故が発生した遮水シートは、分布荷重によって発生している可能性が高い。(4)
5. 事故が発生した法面に埋め立てられていた廃棄物の荷重は約0.65kg/cm<sup>2</sup>とされている。今回の実験で得られた荷重の約10分の1の値である。したがって、適切に使用されていた場合、遮水シートに銅線を通電させるようなくぼみは発生することはない。(4)
6. 一定荷重(1kN及び10kN:約100kg及び約1トン)が保持される場合の遮水シートの挙動(クリープ現象)について検討した。(4)
7. 一定荷重保持時の遮水シートの圧縮変位量は、荷重が作用した瞬間の遮水シートの圧縮変位量に比べ極めて小さいことが分かった。(4)
8. 保持する荷重が大きいほど、保持によって進行する圧縮変位量は大きいことが分かった。したがって、クリープ現象のみにより遮水シートに銅線を通電させるほどのくぼみを発生させるためには、遮水シートの限界荷重に近い荷重で保持する必要がある。(4)
9. 現場における荷重負荷実験を行った。重機、石の落下、人間による荷重及び保護土の有無に対して検討を行った。(5)
10. 石の落下、人間による荷重のような日常的に起こりうる荷重では、決して遮水シートにくぼみを発生させることができないことが分かった。重機のような大きな荷重を作用させれば十分に遮水シートにくぼみを発生させることができる。(5)
11. 保護土を被せた場合では、重機でも遮水シートにくぼみを発生させることはできなかった。保護土を被せた場合では、重機以上の負荷を作用させる必要がある。(5)
12. 有限要素法により法面に設置された遮水シートの応力解析を行った。同荷重の集中荷重を作用させた場合、法面に設置された遮水シートと平面に設置された遮水シートでは、

- 法面に設置された遮水シートの方が銅線交点部での応力が大きいことが分かった。(6)
13. 法面に設置された遮水シートと平面に設置された遮水シートの銅線交点部に同等の応力を発生させた場合、法面に設置された遮水シートに必要な荷重は、平面に設置された遮水シートのそれに比べ、約 20%ほど小さい。(6)
  14. 法面に設置された遮水シートの限界荷重は、平面に設置された遮水シートのそれより約 20%ほど小さいため、約  $5.12\text{kg/cm}^2$  である。(4)(6)

### 7.3 結論

何による荷重かは断定できないが、例えば重機などによる遮水シートの破壊強度(約  $6.4\text{kg/cm}^2$ )を超える予想外の荷重が、遮水工施工時から保護土施工の段階で遮水シートの銅線交点部周辺に一時的に作用することで「くぼみ」が発生し、この荷重によって、上下の銅線電極が通電する可能性のある状態まで遮水シートが変形(くぼみ)したと推測される。しかし、荷重作用時のタイミング、漏水検知のタイミングとの差異等により、検知器による検出はされなかった。荷重の除荷に伴い遮水シートの変形(くぼみ)がわずかに戻ってしまい、このため検出器での検出はされない状態となった。しかしその後、廃棄物の埋め立ての進行に伴う廃棄物の重量の一定荷重により、高分子材料特有のクリープ現象が発生し、遮水シートの上下銅線交点部の損傷箇所の変形(くぼみ)を再度進行させた。この変形の再進行により上下銅線電極が再度通電し、漏水検知システムの異常検知に至ったと結論づけられる(この時点で作用していた廃棄物の重量  $0.65\text{kg/cm}^2$  は、法面に設置されている遮水シートの限界荷重の約 13%程度ある。)

ただし遮水シートの表面性状を顕微鏡等で調べた結果、特別な現象は見出されなかった。すなわち遮水シート表面は異常とは言えない。

その他参考事項(坂野助教の意見書に関する回答)

すでに述べた通りである。法面により、平面に対してせん断応力成分により約 20%の遮水シートの強度低下が計算により得られている。その他、シート表面に関しては、異常は見いだせなかった。

