

廃棄物最終処分場からの漏水現象に関する実験的研究 (第二報)

Experimental study on leakage phenomena from a sanitary landfill (part 2)

室蘭工業大学 ○学生員 川内宏哉 (Hiroya Kawauchi)
 室蘭工業大学 正員 吉田英樹 (Hideki Yoshida)
 室蘭工業大学 正員 穂積準 (Hitoshi Hozumi)

1. はじめに

近年、廃棄物最終処分場からの汚水漏出問題が社会的な関心事となっており、より一層環境安全な最終処分場を建設することが必要となっている。現在、処分場の遮水構造として、遮水シートが一般的に用いられているが、合成樹脂系や合成ゴム系などの素材であるため施工後に廃棄物中の突起物による破損や、埋め立て前の寒暖や太陽光への暴露によって劣化する問題があり、これにより生じる汚染水漏水によるリスクを評価する必要がある。そこで、本研究では最終処分場での漏水の基本的な現象を明らかにすることを目的として、シートが破損した状況を模擬した実験を行い、破損シート付近の汚染水の流れについて考察を加えた。

2. 実験概要

図-1 に実験装置を示した。装置は試料充填カラムと模擬汚染溶液供給カラムからなる。試料上部には遮水シートを設置し、シート中心部には直径 10mm、5mm、2mm の円形の穴、及び、10×2 mm の長方形の穴を開けることによりシートの破損を模擬した。さらに、シートと充填試料との密着性を高めるために厚さ 20mm の鉄製の円盤をシートの上に設置した。模擬汚染溶液供給カラムは水位 (7cm、23cm) を一定に保てるようになっている。また、カラム底部からの流出水の水量及び流出水の伝導度を測定できるようになっている。充填試料としては、長期の移流拡散現象を短期間で再現するため比較的透水係数の大きい豊浦砂 (平均径 0.17mm) を用い、模擬汚染溶液には NaCl を溶解させたもの (7g-NaCl/L) を使用している。充填された試料は水分不飽和状態であり、カラム内の含水率分布が深さ方向にほぼ一定となるように、重量含水率は約 20% に調整して充填した。

3. 実験方法

試料充填後、カラム上部の水位を一定に保った状態で、塩水 (20℃) を通水させ、底部からの流出量及び電気伝導度を測定する。実験終了後、試料上部の中心からその深さ方向 3 cm ごとに半径方向 0、3、6、9、12 cm の位置からサンプルを取り、内部に含まれている間隙水の電気伝導度を測定する。(図-2)

4. 実験条件

実験はシート中心の穴の大きさ、シート上の水位を変えて、次の条件のもとで行った。

条件 A : 穴を直径 10mm の円形、水位 7cm

条件 B-1 : 穴を直径 5mm の円形、水位 7cm

条件 B-2 : 穴を直径 5mm の円形、水位 23cm

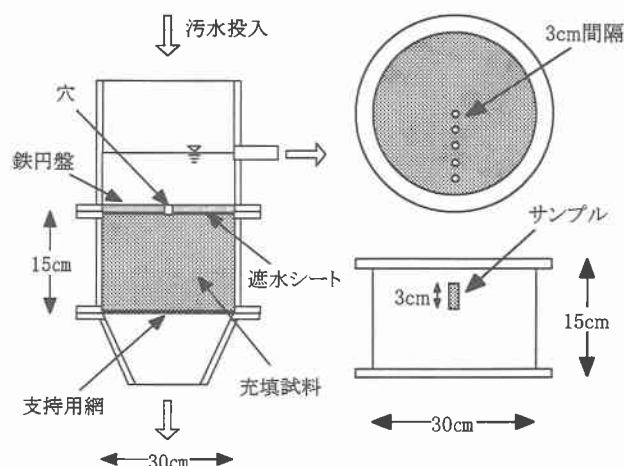


図-1 実験装置図 図-2 サンプルング方法

条件 C : 穴を直径 2mm の円形、水位 7cm

条件 D : 穴を 10×2 mm の長方形、水位 7cm

また、予備実験として、充填試料の飽和透水係数を求めた結果、 $k_{UM} = 1.1 \times 10^{-4}$ [m/s] が得られた。

5. 実験結果及び考察

本実験値との比較、参考のために Giroud らの提唱している解法¹⁾ から得られる理論値を用いる。

・破損部が円形の場合

$$Q = 0.976 \cdot C_{qo} \left[1 + 0.1 \cdot \left(\frac{h}{t_{UM}} \right)^{0.95} \right] d^{0.2} \cdot h^{0.9} \cdot k_{UM}^{0.74} \quad (1)$$

$$\log Q = 0.3195 + 2 \log d + 0.5 \log h - 0.74 \left(\frac{5 + 2 \log d - \log k_{UM}}{n} \right)^n \quad (2-1)$$

$$n = 5.554 - 0.4324 \log d + 0.5405 \log h + 1.3514 \log C_{qo} + 1.3514 \log \left[1 + 0.1 \cdot \left(\frac{h}{t_{UM}} \right)^{0.95} \right] \quad (2-2)$$

・破損部が長方形の場合

$$Q = C_{qo} \left[1 + 0.1 \left(\frac{h}{t_{UM}} \right)^{0.95} \right] \cdot b^{0.2} h^{0.9} k_{UM}^{0.74} + C_{qo} \left[1 + 0.2 \left(\frac{h}{t_{UM}} \right)^{0.95} \right] \cdot (B - b) \cdot b^{0.1} h^{0.45} k_{UM}^{0.87} \quad (3)$$

Q : 漏水流量 [m³/s]、 C_{qo} , $C_{q\infty}$: 密着特性係数 [-]、 d : 円孔の直径 [m]、 h : カラムの水位 [m]、 t_{UM} : 充填試料の厚さ [m]、 k_{UM} : 充填試料の透水係数 [m/s]、 B : 長方形孔の長さ [m]、 b : 長方形孔の幅 [m]、 a : 穴の面積 [m²]、 g : 重力加速度 [m/s²]、但し、 $C_{qo} = 0.21$ 、 $C_{q\infty} = 0.52$ とする。

条件 A においては式 (1)、条件 B、条件 C においては式 (2-1) 及び式 (2-2)、条件 D においては式 (3) を用いる。図-3 に穴の面積に対する漏水量の測定値（実験中の最大値）と理論値を示した。各測定値が理論値よりほぼ 1 オーダー小さくなっていることがわかる。この理由として、式(1)~(3)による計算に用いている k_{UM} は飽和透水係数を使うとしているが、実験時には、充填試料内が不飽和流れになり、透水係数が飽和透水係数より低下していることが考えられる。ここで、測定された漏水量が理論式によって再現できる透水係数を計算した結果、 $k_{UM} = 1.3 \times 10^{-6} \sim 7.2 \times 10^{-6}$ [m/s] となり、飽和透水係数 1.1×10^{-4} [m/s] のおよそ 0.01 から 0.07 倍であることがわかった。これらのことから、シート下の土壌が不飽和条件になった場合は、一般に用いられている Giroud の漏水モデルを用いると、実際より大きい漏水量を与えることになると思われるが、この場合は安全側にあると言える。

次に、汚染水の流れの様相について検討する。図-4 は条件 A において、試料の初期内部間隙水が流入水によっておよそ 12% 程度が入れ替わる時点で実験を終了し、間隙水の濃度分布を求めたものである。図-5 はおよそ 26% 程度入れ替わる時点での濃度分布である。図のグレーゾーンは濃度が流入水濃度である 7g-NaCl/L に達している部分を示している。この二つの図から破損部を通過した汚染水は主に放射状に流れていくことがわかる。ここで、流れの様相を漏水量から確認するため、Giroud らが提唱している別のモデル式を次に示す。

モデル 1 … 破損部から鉛直方向にパイプ流れのように漏水する場合(最小流量を与える)

$$Q = k_{UM} a (h + t_{UM}) / t_{UM} \tag{4}$$

モデル 2 … 遮水シートとシート下の土壌が完全密着している場合 (放射状流れ)

$$Q = \pi \cdot k_{UM} h d \tag{5}$$

モデル 3 … 最大流量 (ベルヌーイ式による)

$$Q = 0.6 a \sqrt{2gh} \tag{6}$$

これらの式により条件 A における計算値と測定値を比較したものを図-6 に示す。図からも測定値がパイプ流れではなく放射状流れの領域にあることがわかる。このように、シートに破損が生じると、漏水した汚染水は主に放射状に広がり、地下水帯の汚染が広範囲に至る可能性があることが示唆される。

6. まとめ

本研究では埋立地における遮水シート破損模擬実験を行い、シートから漏出する汚染水の流れについて評価した結果、以下のような結論が得られた。

(1) 漏水量測定値はシート直下の充填層内の不飽和透水流れにより大きく影響を受けることが確認され、Giroud らにより提唱されている理論式による計算値よりも 1 オーダー低くなった。

(2) シート破損部を通過した汚染水は、充填試料内を

主に放射状に流れていくことが確認できた。

7. 参考文献

1) J.P. Giroud, T.D. King, T.R. Sanglert, T. Haji-Hamou and M.V. Khire : RATE OF LIQUID MIGRATION THROUGH DEFECTS IN A GEOMEMBRANE PLACED ON A SEMI-PERMEABLE MEDIUM, GEOSYNTHETICS INTERNATIONAL, VOL.4, NOS.3-4, 1997.

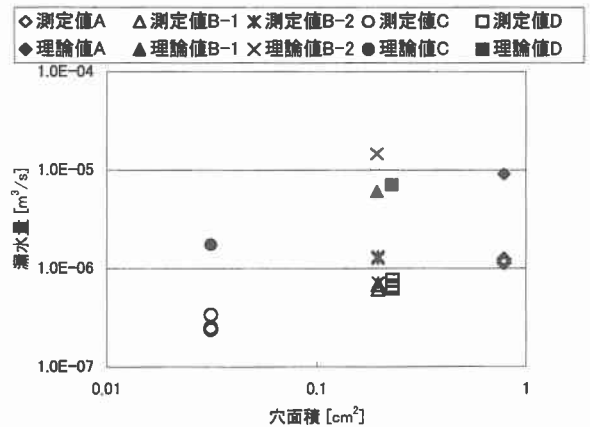


図-3 穴の面積に対する測定値と理論値

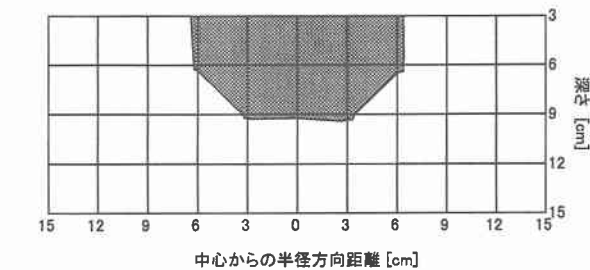


図-4 試料内部濃度 (間隙水入れ替わり 12%)

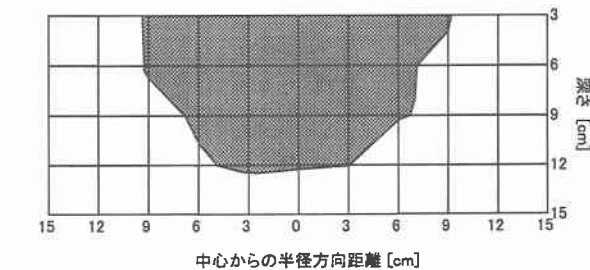


図-5 試料内部濃度 (間隙水入れ替わり 26%)

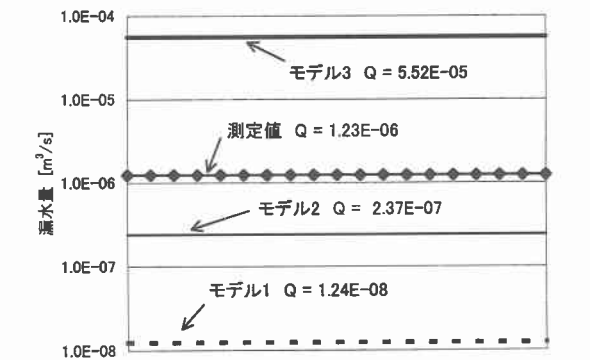


図-6 各漏水モデルと測定値の比較 (条件 A)