

第Ⅲ部門

廃棄物処分場の遮水工構造基準に関する一考察

大阪工業大学大学院 学生員 ○岩永 駿平

大阪工業大学 正会員 日置 和昭

1. はじめに

廃棄物処分場における遮水工の遮水性能は、国内外ともに透水係数 k に基づいて評価されるのが一般的である。例えば、我が国の基準省令（遮水工構造基準）では、管理型処分場における底部遮水工の要件を『厚さ 5m 以上、かつ透水係数 k が 10^{-7} m/s 以下である地層』とし、これを満たさない場合には『厚さ 0.5m 以上、かつ透水係数 k が 10^{-8} m/s 以下である粘土層＋遮水シート』等の複合ライナーを設けることとしている。この両者の構造を、有害物質を含む水が通水することによる漏出量（透水係数 $k \times$ 厚さ）で評価すると、遮水シートの分だけ、後者の方が漏出量は少なくなる。

本研究では、通常、処分場内の水位は処分場外よりも低くなるように管理されていることを考慮し、遮水工の遮水性能を有害物質の分子拡散による漏出量、すなわち分子拡散抑制効果で評価することを試みた。具体的には、一次元の移流分散方程式に基づいて数値解析を実施し、遮水工構造基準の妥当性について種々の検討を行った。

2. 解析手法および解析条件

解析は、式 (1) に示す一次元の移流分散方程式に基づいて実施した。ただし、処分場内外に水位差は設けず、Darcy 流速 u は、 $u=0$ とした。また、分散係数 D については、機械的分散係数 D' を $D'=0$ とし、水中の分子拡散係数 D_d のみに依存するもの（すなわち、 $D=D_d$ ）とした。なお、解析条件は、表-1 に示すとおりである。

$$n_e R \frac{\partial c}{\partial t} = n_e D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、 n_e ：有効間隙率、 R ：遅延係数、 D ：分散係数（ m^2/s ）、 D_d ：水中の分子拡散係数（ m^2/s ）、 u ：Darcy 流速（ m/s ）、 c ：処分場内の濃度（ mg/L ）、 t ：経過時間（ s ）である。

3. 解析結果および考察

case1～case6 の解析結果を図-1 に示す。まず、case1 と case2 に着目すると、両者の破過曲線（ $c/c_0 \sim t$ ）は大きく異なっており、『厚さ 5m、かつ透水係数 k が 10^{-7} m/s の粘土層』と『厚さ 0.5m、かつ透水係数 k が 10^{-8} m/s の粘土層』の分子拡散抑制効果には大きな差異が認められる。次に、case2 と case3 に着目すると、両者の破過曲線に大きな差異は認められず、 k を 1 オーダー小さくする程度では、分子拡散抑制効果はさほど向上しないことが見て取れる。一方、case1 と case4 に着目すると、両者の破過曲線は 100 年オーダーで比較的良く近似していることから、『厚さ 5m、かつ透水係数 k が 10^{-7} m/s の粘土層』と同等の分子拡散抑制効果を有する粘土層（厚さ 0.5m）とするためには、 k を 10^{-14} m/s 程度に設定する必要があるものと推察される。さらに、case2 と case5～case6 に着目すると、各々の破過曲線には比較的大きな差異が認められ、粘土層の分子拡散抑制効果には k よりも層厚の方が大きく影響するものと推察できる。

case7～case10 の解析結果を case1 と併せて図-2 に示す。まず、case7 と case8 に着目すると、『厚さ 0.5m、かつ透水係数 k が 10^{-8} m/s の粘土層』の場合、『厚さ 5m、かつ透水係数 k が 10^{-7} m/s の粘土層』とほぼ同等の分子拡散抑制効果とするためには、数値解析上 $R=10$ 程度の遅延効果を期待できる遮水シートとの組合せが必要となり、『厚さ 0.5m、かつ透水係数 k が 10^{-9} m/s の粘土層』の場合には、数値解析上 $R=8$ 程度の遅延効果を期待できる遮水シートとの組合せが必要になるものと推察される。本文の第 2 著者は、以前に Sangam⁴⁾の試験結果に基づいて、高密度ポリエチレン（HDPE）シートによる遅延効果を R で表現したことがあり⁵⁾、対象物質（TCE 水溶液）は異なるものの、数値解析上 $R \approx 7$ 程度の遅延効果を期待できると報告している。ここで、米国環境保護庁（EPA）と我が国の遮水工構造基準に準拠した case9 と case10 に着目すると、EPA の構造基準は、『厚さ 5m、かつ透水係数 k が 10^{-7} m/s の粘土層』と同等以上

表-1 解析条件一覧

	厚さ(m)	k (m/s)	n 注1)	n_e 注2)	R	D_d (m ² /s) 注3)
case1	5.0	1.0×10^{-7}	0.50000	0.05000	1	20.3×10^{-10}
case2	0.5	1.0×10^{-8}	0.29257	0.02926	1	20.3×10^{-10}
case3	0.5	1.0×10^{-9}	0.15310	0.01531	1	20.3×10^{-10}
case4	0.5	1.0×10^{-14}	0.00368	0.00037	1	20.3×10^{-10}
case5	1.0	1.0×10^{-8}	0.29257	0.02926	1	20.3×10^{-10}
case6	2.5	1.0×10^{-8}	0.29257	0.02926	1	20.3×10^{-10}
case7	0.5	1.0×10^{-8}	0.29257	0.02926	10 注4)	20.3×10^{-10}
case8	0.5	1.0×10^{-9}	0.15310	0.01531	8 注4)	20.3×10^{-10}
case9	0.6	1.0×10^{-9}	0.15310	0.01531	7 注4)	20.3×10^{-10}
case10	0.5	1.0×10^{-8}	0.29257	0.02926	7 注4)	20.3×10^{-10}

注1) 透水係数 k が 10^{-7} m/sである粘土層の間隙率 n を、 $n=50\%$ と仮定した。

注2) 粘土層の透水係数 k が $e^3/(1+e)$ に比例し¹⁾、かつ粒径と有効間隙率 n_e の関係図²⁾より、粘土層において $n=10n_e$ が成立すると仮定して、有効間隙率 n_e を算定した。なお、case0として $n=5n_e$ 、 $n=20n_e$ が成立すると仮定して、case1の条件で解析を実施したが、 $n=10n_e$ と比較して、破過曲線($c/c_0 \sim t$)に差異はほとんど認められなかった。

注3) 塩素イオン(Cl^-)の25℃水中での分子拡散係数³⁾を用いた。

注4) 遮水シートによる分子拡散抑制効果を数値解析上、便宜的に遅延係数 R で表現することとした。

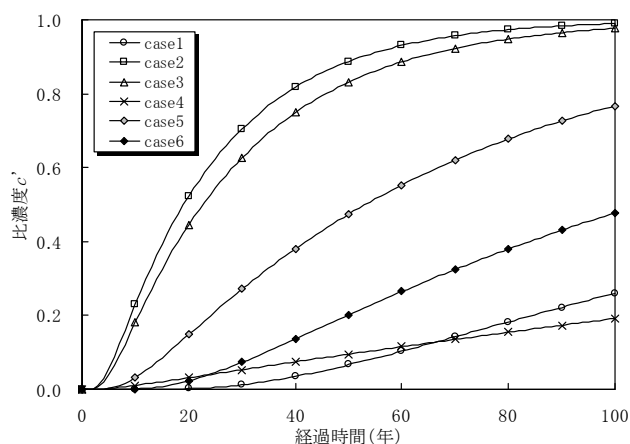


図-1 解析結果 (case1～case6)

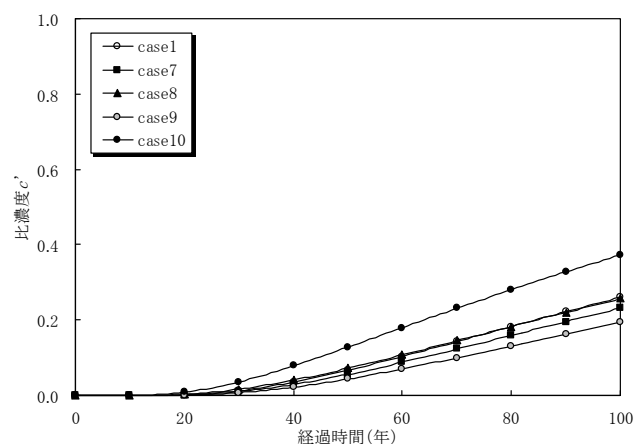


図-2 解析結果 (case1,case7～case10)

の分子拡散抑制効果を有するものと推察されるのに対して、我が国の構造基準は、『厚さ 5m、かつ透水係数 k が 10^{-7} m/s の粘土層』と比較し、分子拡散抑制効果が若干劣るものと推察される。

4. おわりに

本研究で実施したような数値解析では、パラメーターの設定が重要となる。しかし、今回はパラメーターの設定に多くの仮定を含んでおり、今後、その妥当性についての検証が必要である。特に、粘土層（難透水性土質材料）の k は有効間隙率 n_e に依存するものと考えており、両者の相互関係について解明することが今後の最重要課題である。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科研費基盤研究 (C) (No.20560467、代表：日置和昭) の一部として実施した。

参考文献

- 1) 例えば Taylor, D.W. : Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley & Sons, pp.110～111, 1948.
- 2) Davis, S., and De Wiest, R.J.M. : Hydrology, John Wiley & Sons, p.463, 1966.
- 3) Spitz, K. and Moreno, J. : A practical guide to groundwater and solute transport modeling, John Wiley & Sons, p.368, 1996.
- 4) H.P.Sangam, R.K.Rowe : The Role of HDPE Geomembranes in Retarding the Diffusive Migration of Organic Contaminants through Composit Liner Systems, Proceedings Sardinia 2001, 8th International Waste Management and landfill symposium, pp.245～254, 2001.
- 5) 出野智之, 日置和昭, 原田健二, 桑原正彦, 平田健正, 江種伸之 : 複合遮水壁の遮水性能と費用対効果に関する一考察, 第 39 回地盤工学研究発表会平成 16 年度発表講演集, pp.2237～2238, 2004.