

第Ⅲ部門

廃棄物処分場遮水工の性能に及ぼす影響因子の評価

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○坂田 憲治
 京都大学大学院地球環境学堂 正会員 勝見 武
 正会員 乾 徹
 フェロー 嘉門 雅史

1. はじめに

廃棄物最終処分場では、有害物質などが漏れ出すのを防ぐため遮水工の役割が重要である。1998年6月に遮水工の断面構造が明示されたが、示された構造基準は地盤工学的に見て不十分なことが危惧されてきた^{1), 2)}。遮水工の性能評価にあたっては、 k/L (k は透水係数、 L は層厚) という指標が同じ値であれば等価な性能を有すると解釈されることが多い。しかしながら、遮水工に作用する水位、沈積や吸着、拡散といった現象、飽和不飽和などの環境条件といった要因も遮水工の性能に影響を及ぼすことから、これらの影響を考慮した評価が重要である。そこで本研究では、Fooseらの提案する簡便性能設計法¹⁾、ならびに飽和・不飽和浸透流—移流・分散解析を用いてパラメトリックスタディを行い、 k/L 一定の遮水工構造を対象として、これらの影響因子が遮水性能に及ぼす影響の検討を行った。

2. 遮水工の性能評価の方法

2.1 Fooseらによる簡便性能設計法 図-1 に示す断面を対象として、以下に示す粘土層底部における対象化学物質の濃度変化 $c(x=L, t)$ 及びフラックス $J(t)$ の解析解を用いて評価を行った。なお、粘土層中の浸出水の流れは一次元飽和定常流とし、地下水位はライナーの下部に一致すると仮定する。対象化学物質 $c(x, t)$ の初期条件、境界条件を $c(0, t) = c_0$ 、 $c(x, 0) = 0$ ($x > 0$) とする。

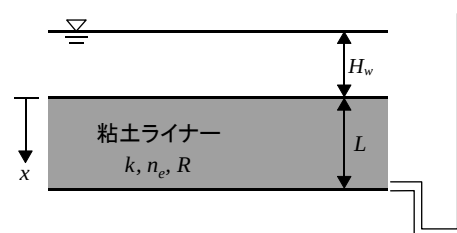


図-1 想定断面図

$$\frac{c(x=L, t)}{c_0} = 0.5 \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{1-T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right] + \exp(P_L) \operatorname{erfc} \left[\frac{1+T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right] \right\}, \quad \frac{J(t)}{v_s n_e c_0} = 0.5 \operatorname{erfc} \left[\frac{1-T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right] + \frac{1}{\sqrt{\pi P_L T_R}} \exp \left[-\frac{(1-T_R)^2}{4T_R/P_L} \right]$$

$$R = 1 + \frac{\rho_d K_d}{n_e}, \quad T_R = \frac{v_s t}{RL}, \quad P_L = \frac{v_s L}{D}$$

ここで、 L : 粘土層の層厚、 T_R : タイムファクター、 P_L : ペクレ数、 v_s : 浸透流速、 n_e : 粘土層の有効間隙率、 R : 遅延係数、 ρ_d : 粘土層の乾燥密度、 K_d : 分配係数、 D : 分子拡散係数である。上式を用い、有効間隙率、遅延係数、水位差が変化した場合の遮水性能への影響について検討を行った。

2.2 飽和・不飽和浸透流—移流・分散解析 2.1 に示した評価手法では遮水層は飽和していると仮定したが、内陸処分場では遮水層は不飽和となっている可能性がある。ここでは、汎用の飽和・不飽和浸透流—移流分散解析コードである

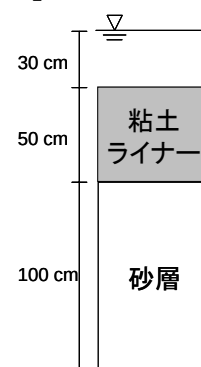


図-2 解析断面

Dtransu-2D・ELを用いて、粘土層の飽和度を考慮することが、遮水性能の評価にどの程度の影響を及ぼすのかを評価した。図-2 に示す一次元の解析領域を考え、表-1 に示すパラメータを使用した。なお、粘土ライナーの粘土層の負圧・透水係数・飽和度の関係は2種類の粘土ライナー (CL-1、CL-2) に対してMeerdinkら³⁾が求めたものを用いた。粘土層、砂層の初期飽和度は80%とした。比較となる飽和条件での解析については、2.1 に示した解析解を用いた。

表-1 移流分散解析に使用したパラメータ

	CL-1, CL-2	砂層
透水係数 (cm/s)	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-2}
有効間隙率	0.40	0.45
比貯留係数(1/cm)	1.0×10^{-6}	5.0×10^{-7}
縦分散長 (cm)	1	1
横分散長 (cm)	0.1	0.1
分子拡散係数 (cm ² /s)	2.0×10^{-6}	
屈曲率	0.65	0.65
遅延係数	2	1
初期飽和度	80 %	80 %

3. 有効間隙率、吸着、水位差の影響評価

2.1 に示した手法を用いて、 $c_0 = 1 \text{ mg/l}$ 、 $\rho_d = 1.5 \text{ g/cm}^3$ 、拡散係数 $D = 2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、水頭差 50 cm の条件で、a) 粘土層の透水係数 k を 1×10^{-6} 、 5×10^{-7} 、 2.5×10^{-7} 、 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ (k/L 一定とすることから、 L は 50、25、10、5 cm と変化) とした場合、b) 透水係数が異なる粘土層では有効間隙率も変化すると考え⁴⁾、透水係数が小さい粘土層ほど有効間隙率が小さいと仮定した場合、c) 吸着が起こるとして、 $K_d = 100 \text{ ml/kg}$ を与えた場合の計算条件、および $c/c_0 = 0.5$ となるのに要する時間を表-2 に示す。表-2 より層厚が小さいほど

表-2 有効間隙率、吸着の影響評価

計算条件	k (cm/s)	L (cm)	n_e	K_d (ml/kg)	水頭差 (cm)	$c = 0.5c_0$ となる年数
a) k 変化	1×10^{-6}	50	0.15	0	50	0.236
	5×10^{-7}	25	0.15	0	50	0.118
	2×10^{-7}	10	0.15	0	50	0.046
	1×10^{-7}	5	0.15	0	50	0.022
b) k, n_e 変化	1×10^{-6}	50	0.15	0	50	0.236
	5×10^{-7}	25	0.12	0	50	0.094
	2×10^{-7}	10	0.10	0	50	0.031
	1×10^{-7}	5	0.096	0	50	0.015
c) k, K_d 変化	1×10^{-6}	50	0.15	100	50	0.473
	5×10^{-7}	25	0.15	100	50	0.235
	2×10^{-7}	10	0.15	100	50	0.092
	1×10^{-7}	5	0.15	100	50	0.045

吸着能が有効に発揮されないことがわかる。また、層厚が小さく、透水係数が低いケースほど有効間隙率の影響が大きくなっており、遮水工の性能評価にあたっては有効間隙率の評価が重要であるといえる。図-3 は、表-3 b) の計算条件から水位条件のみ変化させ、遮水工上部に $H_w = 30 \text{ cm}$ 、 0 cm の水位で浸出水が存在する場合の粘土層底部からの化学物質の累積流出量を示す。水位の変化が累積漏出量に及ぼす影響をみると、層厚が小さく、透水係数が低い遮水層においては、水位の変化に対する累積漏出量への影響が大きくなっている。このことから、浸出水水位の上昇に対して層厚の小さい遮水層はその影響が比較的大きいといえる。

4. 飽和・不飽和の影響

2.2 に示した方法で計算した粘土層底部からの化学物質漏出量の経時変化を図-4 に示す。初期条件を不飽和とした場合には、化学物質の漏出量が約 50% 低下する。不飽和浸透特性の異なる 2 種類の粘土層について言及すると、保水性が比較的高い CL-1 の方が漏出量がやや大きくなった。これは、初期条件を同じ飽和度としたため、CL-1 の方が砂層からの吸水量が大きく、飽和度が全般的に高くなったためである。

5. まとめ

k/L を一定としたときの粘土層の性能に及ぼす各種影響要因を解析的に評価した。有効間隙率については、 L が小さいケースほど遮水性能に対する影響が大きくなることから、遮水性能の評価にあたっては有効間隙率の評価が肝要である。一方、同じ吸着能力を持つ材料でも、層厚 L が大きいほど吸着の効果により有効に発揮される。浸出水位については、 L が小さいほど水位変化に対して遮水性能は鋭敏に反応することがわかった。したがって層厚が小さい遮水層では水位の管理が重要となる。このことから、 k/L のみを遮水性能の評価基準として用いることは適切ではないと考えられる。一方、飽和・不飽和の影響をみると、不飽和条件では化学物質漏出量が低下する。したがって、粘土層が不飽和のまま保持されうるような条件では、飽和度の影響が遮水性能に有利に作用する。

<参考文献>

- 1) 勝見 武・C.H. Benson・G.J. Foote・嘉門雅史 (1999): 廃棄物処分場遮水ライナーの性能評価について、廃棄物学会誌, Vol.10, No.1, pp.75-85.
- 2) 勝見 武・乾 徹・嘉門雅史 (2005): 廃棄物処分場底部遮水工の遮水性能の等価性評価に関する基本的考察、第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.950-952.
- 3) Meerdink, J.S., Benson, C.H., and Khire, M.V. (1996): Unsaturated hydraulic conductivity of two compacted barrier soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.122, No.7, pp.565-576.
- 4) 土質工学会 (1991): 根切り工事と地下水—調査・設計から施工まで—, p.100.

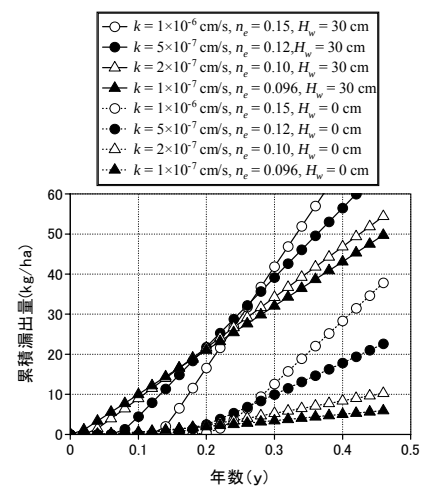


図-3 水位差の影響図

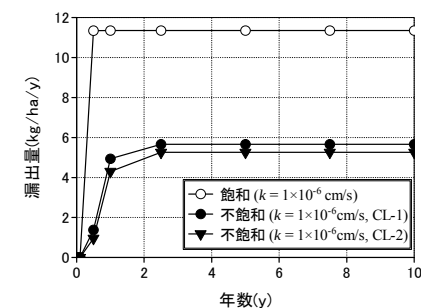


図-4 飽和不飽和の影響