

海面廃棄物処分場における拡散・分散を考慮した有害物質の漏出挙動評価

明石工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○関谷美里
 明石工業高等専門学校専攻科 学生会員 眞鍋磨弥
 明石工業高等専門学校 正会員 稲積真哉

1. はじめに

海面廃棄物処分場に求められる機能の中で最も重要と考えられるのが、廃棄物に含まれる有害物質の封じ込めである。封じ込めは遮水工によって果たされている。遮水工の性能に関して、その基準（遮水工基準）は透水係数と層厚の二つの指標を基に作成されている¹⁾。しかしながら、これは浸出水の移流のみに着目した指標であり、浸出水の拡散・分散は考慮されていないと考えられる。一般に、透水係数の小さな遮水工において、拡散と分散は卓越しやすいと考えられている²⁾。そのため、現在の遮水工基準は遮水性能を検討する上で不十分である可能性がある。そこで、本研究では海面廃棄物処分場の内、側面遮水工（鋼製矢板式護岸）の透水係数および層厚をパラメトリックに変化させた上、浸透・移流分散解析を実施し、有害物質の漏出量を算出した上、拡散・分散の影響を検討する。

2. 鋼製矢板護岸における拡散・分散を考慮した有害物質の漏出挙動の解析方法

本研究では、飽和・不飽和状態の浸透、および移流分散に基づく地下水中の水、溶質の移動を表現するため、浸透流、移流分散それぞれにおける圧力水頭、濃度という2変数の取り扱いに2段階解析法を用いている。離散化方法は、浸透流解析に対して Galerkin 法を用いるが時間項のみ交代差分法によって離散化している。移流分散問題は Neuman によって提案された EL 法（Eulerian Lagrangean Finite Element Method）によって離散化している。EL 法とは、移流による濃度変化をラグランジュ法に、分散による濃度変化をオイラー法によって離散化を行う方法である²⁾。

本解析において基本式となる用いる飽和・不飽和浸透方程式を式(1)に示す³⁾。

$$\beta S_s \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_{ij}^s \frac{\partial \phi}{\partial x_j} + K_{ij}^s \right] - Q_c \quad (1)$$

ここで、 β ：飽和領域で1を与える、 S_s ：比貯留係数、 ϕ ：圧力水頭、 K_{ij}^s ：飽和透水テンソル、 Q_c ：湧出および吸水項である。

また、移流分散方程式は式(2)で与えられる。

$$R\theta\rho \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta\rho D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta\rho v_i c) - \theta\rho\lambda R c - Q_c \quad (2)$$

ここで、 R ：遅延定数、 D_{ij} ：分散テンソル、 v_i ：実流速、 λ ：減衰定数、 θ ：体積含水率である。さらに、分散テンソル D_{ij} は式(3)で表される。

$$D_{ij} = \alpha_T \|V\| \delta_{ij} + (\alpha_L + \alpha_T) \frac{V_i V_j}{\|V\|} + \alpha_m \tau \delta_{ij} \quad (3)$$

ここで、 α_T ：横分散長、 α_L ：縦分散長、 V_i ：実流速ベクトル、 $\|V\|$ ：実流速のノルム、 α_m ：分子拡散係数、 τ ：屈曲率、 δ_{ij} ：クロネッカのデルタである。

3. 解析モデルとパラメータ

本研究では、図1に示すような単一の矢板を遮水工とする護岸形式を模した3次元解析モデルを用いる¹⁾。また、解析パラメータは表1に示す。遮水工は層厚を0.5m、1.0m、1.5mの3通

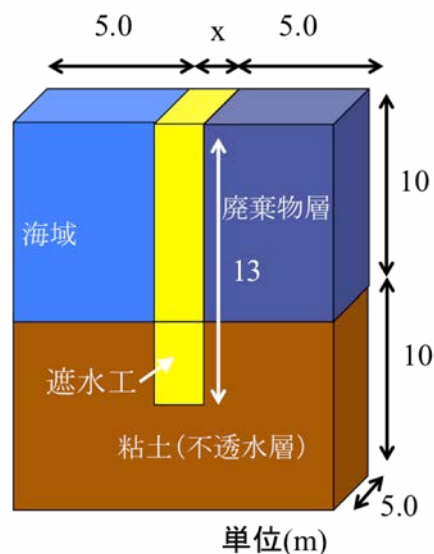


図1 鋼製矢板式護岸を模した解析モデル

表 1 各構成層における解析パラメータ

	透水係数 (水平) (m/s)	透水係数 (鉛直) (m/s)	有効間隙率 (%)	縦分散長 (m)	横分散長 (m)	分子拡散係数 (m ² /s)	遅延係数
遮水工	Parameter	Parameter	10	0.1	0.01	1.0×10^{-9}	1
粘土層	7.0×10^{-9}	5.0×10^{-9}	20	0.1	0.01	1.0×10^{-9}	2
廃棄物層	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	100	0.1	0.01	1.0×10^{-9}	1
海域	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	100	0.1	0.01	1.0×10^{-9}	1

表 2 各ケースの漏出量の算出値

(層厚(m), 透水係数(m/s))	移流漏出量 (m ³)	拡散・分散漏出量 (m ³)	総和漏出量 (m ³)	移流/総和	透水係数に関する 変化率
(1.0, 1×10^{-11})	0.674460	4.846768	5.411227	0.11	0.81
(1.0, 1×10^{-10})	2.285034	4.430117	6.715172	0.34	0.21
(1.0, 1×10^{-9})	31.370794	0.888432	32.259226	0.97	1.00
(1.5, 1×10^{-11})	0.218469	3.310498	3.528966	0.06	0.87
(1.5, 1×10^{-10})	0.803857	3.268466	4.072323	0.20	0.21
(1.5, 1×10^{-9})	17.792235	1.891534	19.773769	0.90	1.00
(0.5, 1×10^{-11})	1.704974	8.469291	10.210265	0.17	0.74
(0.5, 1×10^{-10})	8.559511	5.185698	13.745210	0.62	0.21
(0.5, 1×10^{-9})	64.869317	0.650151	65.015136	0.99	0.12
(0.5, 1×10^{-8})	534.779487	5.355045	535.504470	0.99	1.00

り、透水係数を 1×10^{-9} m/s, 1×10^{-10} m/s, 1×10^{-11} m/s の 3 通り、加えて、遮水工基準である透水係数 1×10^{-8} m/s かつ層厚 0.5m のケースの計 10 通り設定する。解析期間は 30 年とし、廃棄物層と海域の水頭差は 2.0m、廃棄物層における相対濃度を $C=1.0$ 、遮水工および海域、粘土層の相対濃度を $C=0$ と設定する²⁾。

4. 鋼製矢板護岸における拡散・分散を考慮した有害物質の漏出挙動の解析結果

表 2 は移流・分散・拡散に分けて漏出量の値を示す。漏出量の値は解析期間の 30 年目における累積値を示している。移流漏出量の割合が小さいほど、拡散・分散漏出量の割合は大きく、移流のみでの評価では有害物質の漏出を過小評価している可能性が高いと考えられる。また、層厚が 1.0m の場合、透水係数が 1×10^{-11} m/s の場合の拡散・分散漏出量の値は透水係数が 1×10^{-9} m/s の場合の値と比較しておよそ 8 倍増大しているが、移流の割合は 10 分の 1 程度まで減少している。結果的に総和漏出量は 6 分の 1 程度まで減少しており、遮水性能の向上が有害物質の抑制に寄与すると示される。他の層厚の場合でも同じ傾向が確認でき、透水係数が小さいほど拡散・分散漏出量の値は増大しており、移流の割合は小さくなっている。一方で、総和漏出量の値も小さくなっており、透水性が低い遮水工の方が有害物質量の抑制が可能である。しかしながら、移流漏出量の割合は小さくなっている。従って、難透水性の鋼製矢板護岸における有害物質の漏出を評価する際は、拡散や分散の影響を考慮する必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、有害物質の漏出における拡散・分散の影響の存在が示された。そのため、移流のみでの評価では有害物質の漏出を過小評価している可能性が高いと考えられる。しかしながら、拡散・分散を減少するための具体的な対策については示されていない。今後の課題として、前述したことに加え濃度勾配を小さくするための有害物質の分解や遮水工の改良についても、海面廃棄物処分場においてデータを蓄積することで対策を見出すことを予定している。

参考文献

- 1) 港湾空間高度化環境研究センター：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル（改訂版），港湾空間高度化環境研究センター，2008。
- 2) 嘉門雅史，乾徹，遠藤和人，伊藤圭二郎，勝見武：管理型海面埋立処分場における遮水工の有害物質遮蔽性能の評価，京都大学防災研究所年報，第 44 号，B-2，2001。
- 3) 西垣誠，菱谷智幸，橋本学，川野伊一郎：飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析的手法に関する研究，土木学会論文集，vol.511/III-30，pp.135-144，1995。