

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06567

研究課題名(和文) 海面処分場における鋼製遮水壁に関する構造技術・信頼性環境評価手法の高度開発

研究課題名(英文) Advanced development of structural technology and reliable environmental assessment on coastal waste landfill sites

研究代表者

稲積 真哉 (Inazumi, Shinya)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：90362459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：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。

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。

研究成果の学術的意義や社会的意義

廃棄物処分場において埋め立てられた廃棄物保有水に含まれる有害物質は、処分場封じ込めの概念に即して一般的に処理・保管される。しかしながら、有害物質の封じ込め処理は、半永久的に廃棄物処分場が周辺環境に対する汚染リスクを担保していることになる。従って、廃棄物処分場にて埋め立てられた廃棄物は、側面・底面遮水工による封じ込め環境下において浄化が図られることが期待され、遮水工には長期的な維持・管理とともに、浄化促進のための技術的工夫が求められている。

本研究課題は国内外を通じて例がなく、実用化されれば廃棄物処分場における環境リスク低減の観点から意義深い技術であると考えている。

研究成果の概要(英文)：In the present study, the permeability and advection dispersion analysis were performed after parametrically changing the hydraulic conductivity and layer thickness of the side surface impermeable construction (steel sheet pile revetment) in the sea surface waste disposal site, and the leakage amount of harmful substances And calculate the effect of diffusion and dispersion.

In this research, the existence of the influence of diffusion / dispersion on the leakage of harmful substances was shown. Therefore, it is highly possible that the leakage of harmful substances is underestimated by the evaluation using only advection. However, it does not show specific measures to reduce diffusion and dispersion.

研究分野：地盤環境工学

キーワード：廃棄物処分場 海面処分場 環境安全性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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。

2. 研究の目的

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。

3. 研究の方法

(1) 鋼製矢板式護岸における拡散・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⁾。

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

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。

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

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。

(2) 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0.5 m 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2.0 m、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⁾。

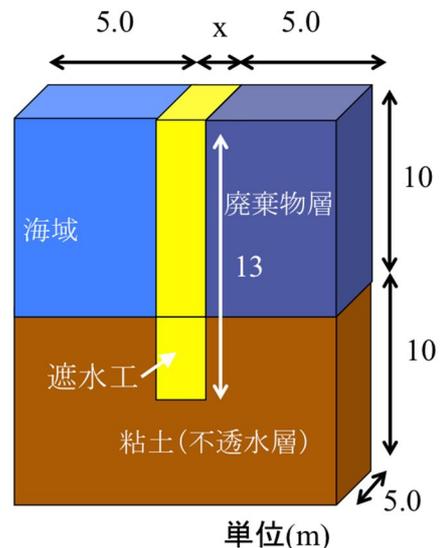


図1 鋼製矢板式護岸を模した解析モデル

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

4. 研究成果

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。

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：管理型廃棄物物理立護岸設計・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/ -30，pp.135-144，1995。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Inazumi, S., Hashida, H. and Ueyama, Y.	4. 巻 6
2. 論文標題 Transportation behavior of radioactive substances in soils	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Geotechnics	6. 最初と最後の頁 506-520
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1680/jenge.16.00024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shishido, K. and Inazumi, S.	4. 巻 16 (54)
2. 論文標題 Assessment on leakage risk of side impervious walls at coastal landfill sites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE: Geotechnique, Construction Materials and Environment	6. 最初と最後の頁 86-93
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Inazumi, S., Manabe, M. and Shishido, K.	4. 巻 35
2. 論文標題 Evaluation of containment performance from the viewpoints of diffusion and dispersion for impervious structures at coastal landfill sites	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geotechnical and Geological Engineering	6. 最初と最後の頁 2191-2203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kawahara, S., Hamaguchi, S., Shimada, Y., Shishido, K. and Inazumi, S.
2. 発表標題 Dynamic interaction between steel casing and existing pile when pulling-out existing piles
3. 学会等名 The 9th International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 稲積真哉 (分担執筆)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 338
3. 書名 地盤・土構造物のリスクマネジメント最前線	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	境田 彰芳 (Sakaida Akiyoshi) (60225779)	明石工業高等専門学校・機械工学科・教授 (54501)	