

地盤の浸透特性に基づく放射性物質の地盤内挙動について

明石工業高等専門学校 学生会員 ○上山遥路
 明石工業高等専門学校 正 会 員 稲積真哉
 アマング. 非 会 員 中岸良裕

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災によって、福島第一原発事故が起こった。これより、大気中に放出された放射性物質は風により運ばれ、降雨などにより海面や地表面へ降下した。この事故による地盤環境汚染範囲は過去に事例がないほど大きく、現状においても除染作業が継続している。

一般に地盤における除染方法は、地盤表の5cm程度を掘削除去するものである¹⁾が、様々な地盤特性の下で解析的に放射性物質の挙動を検討されておらず、安全性および妥当性が懸念されている。そのため、地盤に対する除染対策手法を新たに立案するために、地盤内の放射性物質の挙動を把握する必要がある。本研究では、半減期を考慮した浸透・移流分散解析を行い、現状の除染方法を解析的に評価することを目的とする。

2. 地盤中における放射性物質の挙動

地表面に沈着した放射性物質は、①自己崩壊に伴う濃度減衰、②地盤中での移動、③風雨による飛散・流出、④植物等による吸収により、その濃度を変化させる。しかしながら、③、④は極めて小さい値であることや、地盤中での浸透挙動を評価するため、本研究では、①、②のみを着目した。

地盤中での移動に関しては、放射性 Cs の存在形態と地盤の特性が重要な要因となる。地盤中での放射性 Cs は主に 1 価の陽イオン (Cs⁺) として存在する。地盤中には、表面に多数の負電荷がある粘土鉱物や有機物等が存在しており、他の重金属類や陽イオンと同様に、放射性 Cs はこれらに負電荷に吸着する (イオン交換態)。

3. 放射性物質の地盤内浸透・移流分散解析

一般に、地盤内における物質移動解析は移流分散方程式によってモデル化される。この方程式に半減期を考慮した項を加えることで、放射性物質の移動解析に適用で

きると考えられる。

2 次元の飽和・不飽和の浸透流方程式は、以下の式によって表される。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial H}{\partial x_i} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 k : 透水係数 (m/day), H : 全水頭 (m), θ : 体積含水率, Q : 境界流束 (m³), t : 時間 (day) である。

半減期を考慮した移流分散吸着方程式は式 (2) で表される。

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_d \frac{\partial S}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} - \lambda (\theta C - S \rho_d) \quad (2)$$

ここで、 C : 放射性物質濃度 (g/m³), ρ_d : 土の乾燥密度 (g/m³), D_{ij} , 分散テンソル (m²/day), U_i : ダルシー速度 (m/day),

表-1 土質のパラメータ

土質	砂	粘土
透水係数 k (m/sec)	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-7}
体積含水率 θ	0.4	0.4
乾燥密度 ρ_d (g/m ³)	1.5×10^6	9.5×10^5
分配係数 K_d (g/m ³)	4.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}

表-2 ¹³⁷Cs のパラメータ

半減期 $T_{1/2}$ (years)		30.2
分子拡散係数 D^* (m ² /day)		7.2×10^{-6}
初期濃度 C_0 (Bq/m ²)		3.0×10^8
分散長 α (m)	縦方向	0.01
	横方向	0.001

λ : 減衰定数 (1/day), S : 吸着率である。

4. 現状の除染方法の解析的評価

図-1 のような表層に ^{137}Cs が降下し、水頭差が生じている解析断面において、土質が砂層ならびに粘土層の 2 ケースで半減期を考慮した浸透・移流分散解析を行った。解析断面の青線で示された境界は排水条件を表し、また、飽和状態を設定した。砂、粘土の解析に必要なパラメータは、代表値を用いた^{2), 3)} (表-1)。 ^{137}Cs のパラメータは、福島第一原発事故の被災地の調査データから初期濃度 C_0 、分子拡散係数 D^* を引用した⁴⁾。

図-2, 3 は、砂層、粘土層断面の ^{137}Cs 濃度の推移である。砂層断面では、法肩の周辺において大きな浸透が生じており、5 年経過時には、深度 20cm にある法尻まで到達している。したがって、このケースにおいては、現状の除染方法つまり、表層 5cm の掘削除は 5 年以上経過していると効果的でないと言える。一方、粘土層断面では、5 年が経過しても、法肩の辺りでは、わずかに浸透が生じているが、全体的には浸透せず、表層 5cm までに滞留している。

これより、土質特性によって放射性物質の浸透挙動は大きく違いが生じ、地盤によって除染方法を選択する必要がある。

5. おわりに

本研究では、放射性物質の地盤内浸透挙動の評価を行うために、移流分散方程式に半減期を考慮した項を組み込んだ。水頭差が生じた断面において、半減期を考慮した浸透・移流分散解析を行い、現状の除染方法を解析的に評価することができた。今後は、不確実性要素を含んだ半減期を考慮した浸透・移流分散解析の実施や、実際の被災地の地形をモデルにした解析断面を設定するなど、実条件に近い解析結果から、現状の除染方法を評価する必要がある。

【参考文献】

- 1) 環境省：除染ガイドライン（改訂版），環境省，2015
- 2) 地盤工学会：土質試験-基本と手引き-，地盤工学会，p.91，2010
- 3) 井上頼輝，森澤眞輔：放射性物質の土壌と水との間の分配係数値，日本原子力学会誌，Vol.18，pp.524-534，1976
- 4) 鈴木和之，小宮由里子，南 弘征，水田正弘：土壌中における放射性セシウムの深度分布に関する解析，日本計算機統計学会シンポジウム論文集，Vol.27，pp.11-14，2013

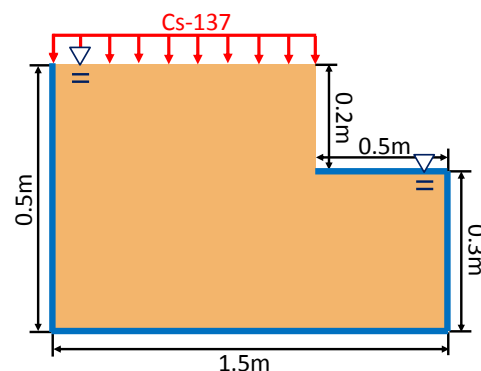
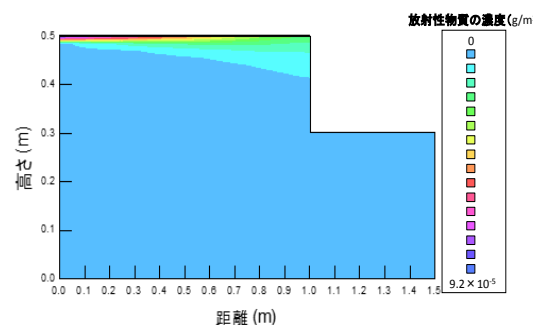
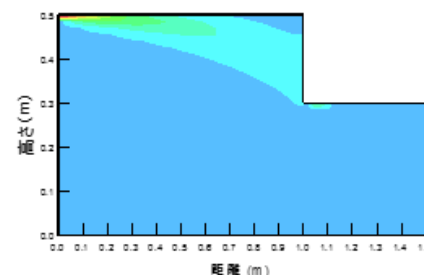


図-1 解析断面

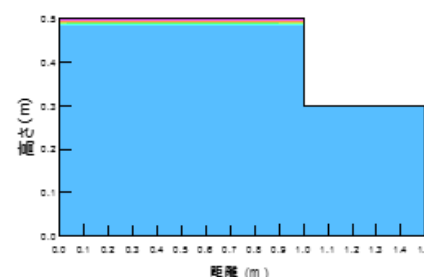


(a) 1年経過時

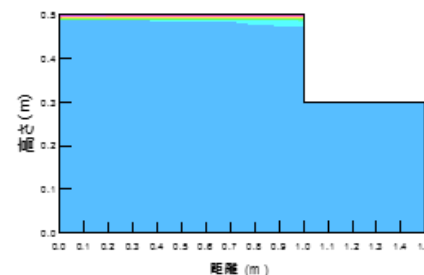


(b) 5年経過時

図-2 砂層断面における ^{137}Cs 濃度の推移



(a) 1年経過時



(b) 5年経過時

図-3 砂層断面における ^{137}Cs 濃度の推移