

II-470

不飽和砂層中の核種移行特性に関する実験的考察

(財) 電力中央研究所 正 員 河 西 基
(株) 間 組 正 員 ○塩 崎 功
(財) 電力中央研究所 正 員 五十嵐敏文

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の陸地処分のためには安全評価手法の確立が不可欠である。この場合、処分施設から漏出した核種はまず不飽和土中の水分を輸送媒体として移動すると想定されるので、不飽和土中における核種の移行特性を把握することが必要である。本研究では、鉛直1次元カラムを用いて不飽和砂層内での核種移行実験を行い、不飽和土中における核種の移行特性について考察した。

2. 実験概要

実験には茨城県鹿島産の砂（比重2.68，均等係数1.91）を使用した¹⁾。実験装置は、図-1に示すように土中水採取用のポラスカップ3本を取り付けた直径10cmの亚克力製カラムとマリOTTタンクの底部に注射針を取り付けた降雨装置（降雨強度R=20mm/hr）からなっている。実験期間中の砂層内の水分変化はガンマ線密度計・中性子水分計を用いて測定し、実験終了後はすみやかにカラム内の試料を取り出して炉乾燥により試料の水分量分布を測定した。

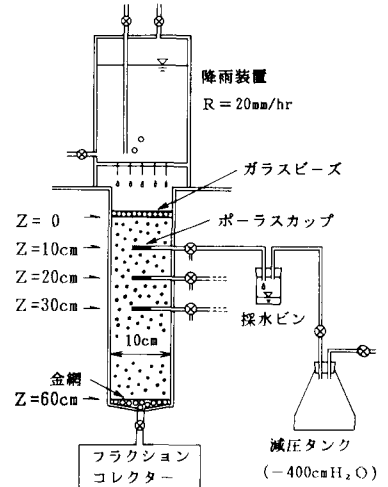


図-1 実験装置

表-1 トレーサ溶液と pH

実験ケース	トレーサ溶液濃度 (単位 mg/l)	pH
S-1	Sr=10, Ca=10, NaHCO ₃ =50	7.4~7.9
S-2	Co=10, Ca=10, NaHCO ₃ =50	7.3~7.8
S-3	Cs=10, Ca=10, NaHCO ₃ =50	7.2~7.6
S-4	Sr=10, NaHCO ₃ =50	7.5~7.8

トレーサ溶液は表-1に示す4種類の溶液を用い、Sr, Co, Ca, Mgはプラズマ発光分析法、Csは原子吸光光度法により分析した。さらに、模擬核種の移行試験終了後土中水の移動速度と分散係数を求めるために塩素イオン (NaCl 1000mg/l)を用いて非吸着性トレーサ実験を行った。

3. 実験結果

水分量の測定結果の1例を図-2に示す。流出端の影響によって試料下端で水分量が増加しているが、試料上端から30cmまでの範囲ではほぼ様な水分量とみなすことができる。炉乾燥により求めたZ=0~30cm間での体積含水率の平均値を表-2に示す。

土中水の移動速度vと分散係数Dは、試料上端から30cmの位置での塩素イオン濃度の測定結果に次式を適用し(kd=0)，実測値との差が最小になるようにして決定した²⁾。その結果を表-3に示す。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{z - vt}{\sqrt{D t}} \right) + \operatorname{erfc} \left(\frac{z + vt}{\sqrt{D t}} \right) \exp \left(\frac{v z}{D} \right) \right\} \dots (1)$$

$$Rf = 1 + (1 - n) \rho kd / \theta, \dots (2)$$

ここで、Cは土中水中トレーサ濃度、C₀はトレーサ原水濃度、zは試料上端から土中水採取位置までの距離、tは経過時間、nは間隙率、ρは土壌真密度、kdは分配係数、θは体積含水率である。Rfは時間変換係数あるいは遅延係数と呼ばれる。

土中水のトレーサ濃度分析結果を図-3~6に示し、C/C₀=0.5となる時刻より求めた遅延係数、分配係数を表-3に示す。図-3

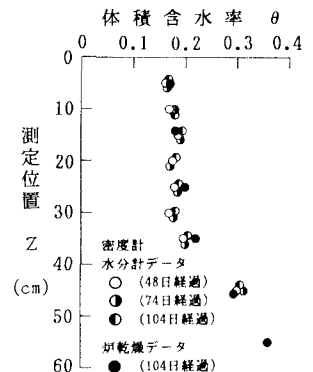


図-2 砂層内水分量分布 (ケースS-2)

表-2 土中水の移動速度と分散係数

実験ケース	間隙率 n	体積含水率 θ	土中水の移動速度 v (cm/hr)	分散係数 D (cm²/hr)
S-1	0.412	0.175	11.7	2.5
S-2	0.416	0.185	12.1	2.4
S-3	0.420	0.186	12.5	2.4
S-4	0.422	0.202	10.0	3.4

～6には表－2，3に示す測定結果を(1)式に代入して求めた解析解も併記した。

4. 実験結果の考察とまとめ

今回の実験結果より得られた知見を以下に述べる。

(1) 表－3に示すRfがZ=10,20,30cmの各位置で大きな差がないことから、水分量が一定であれば不飽和砂層中で

の核種はほぼ一定の速度で移動することが示される。

(2) すべてのケースでCa, Mg濃度が核種濃度の増加とともに流入濃度に近減し、また核種の吸着量とCa, Mgの流出量とが化学量論的にほぼ一致することから、吸着がイオン交換により生じていることがわかる。

(3) ケースS－4は、Caの有無によるSrの移動速度の違いを観察するために実施したものである。

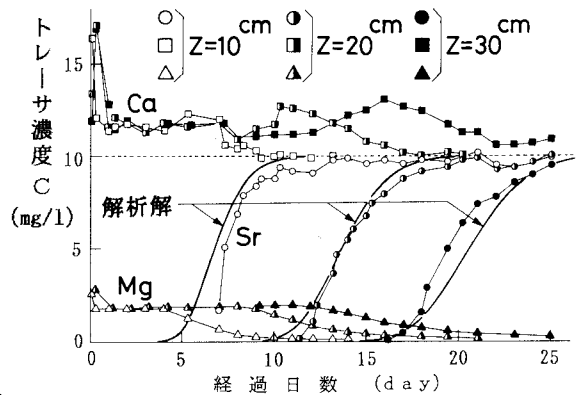
Srの移動速度はケース1に比べて約1/3となりCaの有無による差が顕著に現われている。これは共存するCaとSrとの砂表面の吸着座をめぐる競合が生じたためであると考えられる。

(4) ケースS－2のCo濃度が解析解と大きく異なるのは、今回の実験条件下（pH=7.3～7.8, Co=10mg/l）では土中水中でCoが水酸化物を形成するためであると考えられる。

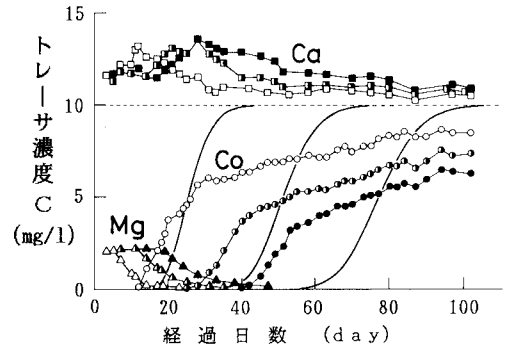
(5) 解析解と実測値とは、ケース2を除いては概ね一致しており、塩素イオン等を用いたトレーサ実験により土中水の分散係数を測定すれば、不飽和砂層中におけるSr, Csの濃度変化は(1)式の解析解で表現できることが示された。この場合、不飽和砂層中のRfあるいはkdが求められていることが前提であり、水分量とkdとの関係および共存物質とkdとの関係について今後さらに検討することが必要である。

表－3 遅延係数と分配係数

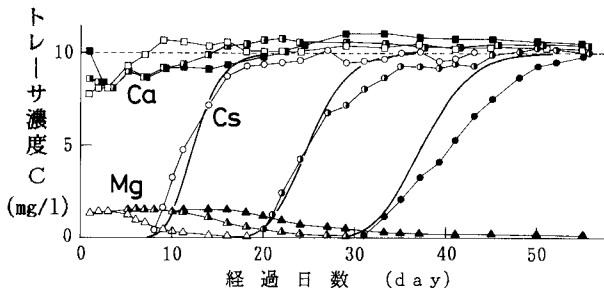
実験 ケース	遅延係数 Rf			平均値	分配係数 kd (ml/g)
	測定位置 z=10cm	測定位置 z=20cm	測定位置 z=30cm		
S－1	206	193	183	194	21
S－2	766	775	711	751	89
S－3	345	375	408	376	45
S－4	563	604	558	575	75



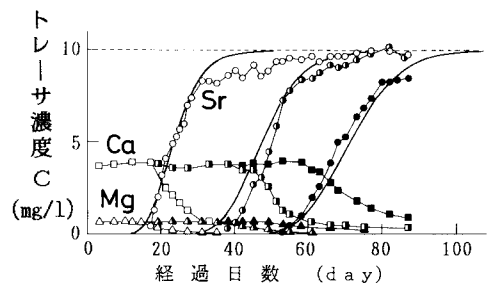
図－3 土中水の分析結果（ケースS－1）



図－4 土中水の分析結果（ケースS－2）



図－5 土中水の分析結果（ケースS－3）



図－6 土中水の分析結果（ケースS－4）

参考文献

- 1) 河西基, 塩崎功, 中井健二 ; 不飽和土中の水分移動特性に関する実験的考察, 土木学会第30回水理講演会論文集, pp.385-390, 1986
- 2) 堀内将人・井上頼輝・森澤真輔 ; 不飽和分配係数の測定法について, 京都大学環境衛生工学研究会第5回シンポジウム講演論文集, pp.253-260, 1983