

JAERI-M

8824

放射性廃棄物の陸地処分に関する  
安全性研究 (II)

——通気層における放射性核種の移動と分布——

1980年4月

武部 慎一・山本 忠利・和達 嘉樹

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

放射性廃棄物の陸地処分に関する安全性研究(II)  
— 通気層における放射性核種の移動と分布 —

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部  
武部 慎一・山本 忠利・和達 嘉樹

(1980年3月18日受理)

本報は、放射性廃棄物の陸地処分の安全評価に関する基礎的研究である。通気層中の放射性核種の挙動を明らかにするために、前報の小規模地中モデル装置による実験に引続き、中規模地中モデル装置による実験を行い、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ および $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ について、通気層中での移動および分布を調べた。

各放射性核種の砂層中垂直方向への分布比は指数関数的に急激な減少を示す。このことは、放射性核種の大部分が上部の砂層、すなわち流下口付近の砂層に吸着されるためである。各放射性核種の砂層中での二次元分布状況は次のようである； $^{137}\text{Cs}$ の砂層中での水平方向および垂直方向への移動はいずれも小さい。 $^{60}\text{Co}$ の砂層中での水平方向および垂直方向への移動はいずれも大きい。しかし、 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ の砂層中での水平方向への移動は小さく、垂直方向への移動は大きく、その分布は $^{137}\text{Cs}$ のそれに類似している。

結局、放射性核種相互間の移動と分布の違いは、それら核種の化学形、すなわちイオン形あるいは非イオン形に起因することがわかった。

Radiological Safety Studies on Ground Disposal of Radioactive Wastes  
—Distribution and Migration of Radionuclides in the Aerated Zone —

Shinichi TAKEBE, Tadatoshi YAMAMOTO and Yoshiki WADACHI

Division of Environmental Safety Research,

Tokai Research Establishment, JAERI

( Received March 18, 1980 )

In series of fundamental studies on safety evaluation of the ground disposal of radioactive wastes, for behavior of radionuclides in an aerated zone, migration and distribution of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  in an aerated sand layer were examined with a medium-scale sand layer model apparatus, following a small-scale one in the previous study.

The distribution ratio of each radionuclide in vertical direction of the sand layer decreases exponentially, going to further depths ; a large part of radionuclide is adsorbed in the upper region , near to the point of downward flow. Two-dimensional distribution of each radionuclide in the sand layer is as follows. Migration of  $^{137}\text{Cs}$  is small in both vertical and horizontal directions of the sand layer. That of  $^{60}\text{Co}$  is large in both vertical and horizontal directions. That of  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  is small in horizontal direction and large in vertical direction, and its distribution is similar to the case of  $^{137}\text{Cs}$ .

In conclusion , the differences in migration and distribution between the radionuclides depend on their chemical forms, i.e. ionic or nonionic.

Keywords : Radiological Safety, Ground Disposal, Radioactive Wastes,  
Aerated Zone, Migration, Distribution Ratio, Sand Layer,  
Cesium 137, Cobalt 60, Strontium 90- Yttrium 90

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 実験方法 .....	1
2.1 中規模地中モデル装置 .....	1
2.2 放射性水溶液の流下実験 .....	2
2.3 放射性核種の流出比および分布比 .....	2
3. 実験結果と考察 .....	2
3.1 砂層中の水分率および空隙率 .....	2
3.2 砂層中の放射性核種の移動および分布 .....	3
4. 結 言 .....	5
謝 辞 .....	5
参考文献 .....	5

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental .....	1
2.1 Medium scale soil layer model apparatus .....	1
2.2 Downward flow experiments of radioactive aqueous solutions .....	2
2.3 Effluent ratios and distribution ratios of radionuclides .....	2
3. Results and discussion .....	2
3.1 Water retention ratio and porosity of sand layer .....	2
3.2 Migration and distribution of radionuclides in the sand layer .....	3
4. Concluding remarks .....	5
Acknowledgement .....	5
References .....	5

## 表 目 次

表 1 砂層中における放射性核種の分布比の低下 .....	4
-------------------------------	---

## 図 目 次

図 1 中規模地中モデル装置 .....	7
図 2 砂層中の水分率と空隙率 .....	8
図 3 砂層中水分飽和度と空隙率 .....	9
図 4 通気層中心部における放射性核種の移動 .....	10
図 5 通気層中の $^{137}\text{Cs}$ の移動 .....	11
図 6 通気層中の $^{60}\text{Co}$ の移動 .....	12
図 7 通気層中の $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ の移動 .....	13
図 8 砂層中の $^{137}\text{Cs}$ の二次元分布 .....	14
図 9 砂層中の $^{60}\text{Co}$ の二次元分布 .....	14
図 10 砂層中の $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ の二次元分布 .....	14

## Content of table

Table 1 Decrease in distribution ratio of radionuclides in the sand layer .....	4
--	---

## Content of figures

Fig.1 Medium scale soil layer model apparatus .....	7
Fig.2 Water retention ratio and porosity of sand layer .....	8
Fig.3 Porosity and water saturation degree of sand layer .....	9
Fig.4 Migration of radionuclides in the center of aerated zone .....	10
Fig.5 Migration of $^{137}\text{Cs}$ in the aerated zone .....	11
Fig.6 Migration of $^{60}\text{Co}$ in the aerated zone .....	12
Fig.7 Migration of $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ in the aerated zone .....	13
Fig.8 Two dimensional distribution of $^{137}\text{Cs}$ in the sand layer .....	14
Fig.9 Two dimensional distribution of $^{60}\text{Co}$ in the sand layer .....	14
Fig.10 Two dimensional distribution of $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ in the sand layer .....	14

## 1. 緒 言

原子力発電施設から発生する放射性廃棄物の量は年々増大している。現在、我国ではこれら低レベル廃棄物を各施設内のサイトに回収可能な状態で保管しているが、それらの適切な処分を行うことは原子力発電を推進する上で不可欠な課題である。

我国における低レベル廃棄物の処分に関しては、処理の形態に応じて海洋処分と陸地処分を合せて行う方針である。<sup>1)</sup> しかし、海洋処分はロンドン条約により廃棄物の量および種類に制限を受けるため、陸地処分の果たす役割は必然的に大きくなる。陸地処分の方法としては、セメント、アスファルト等のドラム缶詰にした固化体を①地上あるいは地中に設けた構造物内への処分と②トレンチ内への直接埋設処分等が実用性の高いものとして考えられている。<sup>2)</sup>

陸地処分の実施に先立ち事前安全評価が必要となるので、あらかじめ処分地の水文地質学的条件にしたがって、処分廃棄物から浸出する放射性核種の地中移動を正確に把握しておかなければならない。そのため、放射性核種の地中挙動に関する基礎的研究を51年度より開始した。<sup>3)</sup> はじめに、少容量のカラムを用いた実験<sup>4)</sup>を行い、引続いて、小規模地中モデル装置(5 cmφ×24 cmh および10 cmφ×24 cmh)により、放射性水溶液の流下実験を行い、通気層状態砂層中の<sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co および<sup>90</sup>Sr - <sup>90</sup>Y等の放射性核種の移動に及ぼすpHの影響等について調べた。<sup>5), 6)</sup>

本報告は、前報<sup>6)</sup>と同様な放射性水溶液の流下実験をスケールアップした中規模地中モデル装置(50 cmφ×150 cmh)により行い、通気層状態の砂層中における<sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co および<sup>90</sup>Sr - <sup>90</sup>Yの移動状況および分布状況を調べ、それらの結果を核種の化学形に基づいて説明するものである。<sup>7)</sup>

## 2. 実 験 方 法

### 2.1. 中規模地中モデル装置

中規模地中モデル装置(200ℓ規模)の主要部をFig. 1に示す。本装置は二重構造に製作されており、外側のカラムは各ユニットカラム(鋼鉄製, 55 cmφ×30 cmh)をフランジで5段に重ね、内側のカラムは土壤のサンプリングを考慮してユニットカラム(ステンレス製, 50 cmφ×10 cmh)を15段重ねたものである。上部および下部には、それぞれ流下機構部および戸過機構部が取付けられている。

通気層状態の砂層は、調整した砂を本装置に空隙率約40%で充填し、200ℓのイオン交換水をスプリンクラーを用いて砂層全面に散水し、2昼夜水抜きを行って形成させた。

本実験に使用した砂は、東海研究所敷地内(海岸より約500m, 地下約3m)より採取した海岸砂であり、あらかじめ水道水で十分洗浄し、乾燥した後、JIS標準篩で1680μ以

## 1. 緒 言

原子力発電施設から発生する放射性廃棄物の量は年々増大している。現在、我国ではこれら低レベル廃棄物を各施設内のサイトに回収可能な状態で保管しているが、それらの適切な処分を行うことは原子力発電を推進する上で不可欠な課題である。

我国における低レベル廃棄物の処分に関しては、処理の形態に応じて海洋処分と陸地処分を合せて行う方針である。<sup>1)</sup> しかし、海洋処分はロンドン条約により廃棄物の量および種類に制限を受けるため、陸地処分の果たす役割は必然的に大きくなる。陸地処分の方法としては、セメント、アスファルト等のドラム缶詰にした固化体を①地上あるいは地中に設けた構造物内への処分と②トレンチ内への直接埋設処分等が実用性の高いものとして考えられている。<sup>2)</sup>

陸地処分の実施に先立ち事前安全評価が必要となるので、あらかじめ処分地の水文地質学的条件にしたがって、処分廃棄物から浸出する放射性核種の地中移動を正確に把握しておかなければならない。そのため、放射性核種の地中挙動に関する基礎的研究を51年度より開始した。<sup>3)</sup> はじめに、少容量のカラムを用いた実験<sup>4)</sup>を行い、引続いて、小規模地中モデル装置(5 cmφ×24 cmhおよび10 cmφ×24 cmh)により、放射性水溶液の流下実験を行い、通気層状態砂層中の<sup>137</sup>Cs、<sup>60</sup>Coおよび<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y等の放射性核種の移動に及ぼすpHの影響等について調べた。<sup>5), 6)</sup>

本報告は、前報<sup>6)</sup>と同様な放射性水溶液の流下実験をスケールアップした中規模地中モデル装置(50 cmφ×150 cmh)により行い、通気層状態の砂層中における<sup>137</sup>Cs、<sup>60</sup>Coおよび<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Yの移動状況および分布状況を調べ、それらの結果を核種の化学形に基づいて説明するものである。<sup>7)</sup>

## 2. 実 験 方 法

### 2.1. 中規模地中モデル装置

中規模地中モデル装置(200ℓ規模)の主要部をFig. 1に示す。本装置は二重構造に製作されており、外側のカラムは各ユニットカラム(鋼鉄製、55 cmφ×30 cmh)をフランジで5段に重ね、内側のカラムは土壤のサンプリングを考慮してユニットカラム(ステンレス製、50 cmφ×10 cmh)を15段重ねたものである。上部および下部には、それぞれ流下機構部および戸過機構部が取り付けられている。

通気層状態の砂層は、調整した砂を本装置に空隙率約40%で充填し、200ℓのイオン交換水をスプリンクラーを用いて砂層全面に散水し、2昼夜水抜きを行って形成させた。

本実験に使用した砂は、東海研究所敷地内(海岸より約500m、地下約3m)より採取した海岸砂であり、あらかじめ水道水で十分洗浄し、乾燥した後、JIS標準篩で1680μ以



上の粗砂を取除き、次いでイオン交換水で再度洗浄した後、乾燥した調整砂である\*。

## 2.2. 放射性水溶液の流下実験

流下実験には、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ および $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ の放射性水溶液をおのおの $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{ml}$  (pH 6.2)の放射能濃度で用いた。放射性水溶液の流下は、カラム中心部地表面下5 cmに設置したガラスフィルター(G1)を通して行った。この場合、ダイヤフラム式の定量ポンプ(イワキ製N-55型)を用いて、約 $1.2 \times 10^3 \text{mm}/\text{day}$ の線流速で砂層中心部より浸透させて行った。

砂層中における放射性核種の移動と分布の状況については、カラム下部からの流出液およびカラム内の土壌をそれぞれ所定量採取し、それらの放射能濃度を測定して調べた。流出液については連続的に採取し、土壌については表面から水平方向および垂直方向に一定の間隔で採取した。

放射能測定には、TMC製400チャンネル5"φ×4"NaI(Tl)γ線波高選別装置およびAloka製端窓型GM計数装置(TDC-5型)を使用した。

## 2.3. 放射性核種の流出比および分布比

本実験における放射性核種の流出比(E)および分布比(R)は、それぞれ(1)式および(2)式を用いて求めた。

$$E = A_i / A_o \quad (1)$$

ここで、 $A_o$  : 砂層に流下した全放射能量 ( $\mu\text{Ci}$ )

$A_i$  : 流出液の単位体積中の放射能量 ( $\mu\text{Ci}$ )

$$R = A_j / A_o \quad (2)$$

ここで、 $A_j$  : 各砂層の単位体積中の放射能量 ( $\mu\text{Ci}$ )

# 3. 実験結果と考察

## 3.1. 砂層中の水分率および空隙率

通気層状態砂層中に水みち等がある場合には、水の流下に伴う放射性核種の移動は速くなる<sup>8)</sup>。核種の移動を正確に把握するためには、あらかじめ砂層の均一性を調べておく必要がある。そこで、カラム内の砂を深さごとに採取して、乾燥法により各砂層部分の水分率および空隙率を求めた。砂層全体の水分率および空隙率の計算は、それぞれ(3)式および(4)式を用いて行った。

水分率M (vol%)は

\* 砂の粒度分布および砂の化学組成は前報<sup>6)</sup>参照

上の粗砂を取除き、次いでイオン交換水で再度洗浄した後、乾燥した調整砂である\*。

## 2.2. 放射性水溶液の流下実験

流下実験には、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ および $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ の放射性水溶液をおのおの $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{ml}$  (pH 6.2)の放射能濃度で用いた。放射性水溶液の流下は、カラム中心部地表面下5 cmに設置したガラスフィルター(G1)を通して行った。この場合、ダイヤフラム式の定量ポンプ(イワキ製N-55型)を用いて、約 $1.2 \times 10^3 \text{mm}/\text{day}$ の線流速で砂層中心部より浸透させて行った。

砂層中における放射性核種の移動と分布の状況については、カラム下部からの流出液およびカラム内の土壌をそれぞれ所定量採取し、それらの放射能濃度を測定して調べた。流出液については連続的に採取し、土壌については表面から水平方向および垂直方向に一定の間隔で採取した。

放射能測定には、TMC製400チャンネル5"φ×4"NaI(Tl)γ線波高選別装置およびAloka製端窓型GM計数装置(TDC-5型)を使用した。

## 2.3. 放射性核種の流出比および分布比

本実験における放射性核種の流出比(E)および分布比(R)は、それぞれ(1)式および(2)式を用いて求めた。

$$E = A_i / A_o \quad (1)$$

ここで、 $A_o$  : 砂層に流下した全放射能量 ( $\mu\text{Ci}$ )

$A_i$  : 流出液の単位体積中の放射能量 ( $\mu\text{Ci}$ )

$$R = A_j / A_o \quad (2)$$

ここで、 $A_j$  : 各砂層の単位体積中の放射能量 ( $\mu\text{Ci}$ )

# 3. 実験結果と考察

## 3.1. 砂層中の水分率および空隙率

通気層状態砂層中に水みち等がある場合には、水の流下に伴う放射性核種の移動は速くなる<sup>8)</sup>。核種の移動を正確に把握するためには、あらかじめ砂層の均一性を調べておく必要がある。そこで、カラム内の砂を深さごとに採取して、乾燥法により各砂層部分の水分率および空隙率を求めた。砂層全体の水分率および空隙率の計算は、それぞれ(3)式および(4)式を用いて行った。

水分率M (vol%)は

\* 砂の粒度分布および砂の化学組成は前報<sup>6)</sup>参照

$$M = (V_w / V) \times 100 \quad (3)$$

ここで、 $V_w$ ：砂層中の水分量 ( $\text{cm}^3$ )

$V$ ：通気層状態砂層の実効容積\* ( $\text{cm}^3$ )

空隙率  $A$  (vol%) は

$$A = f - M \quad (4)$$

ここで、 $f$ ：乾燥砂の平均空隙率 (vol%)

さらに、(5)式を用いて砂層中の水分飽和度を求めた。

水分飽和度  $S$  (vol%) は

$$S = (M / A) \times 100 \quad (5)$$

これらの計算式により得られた砂層中の水分率および空隙率を Fig. 2 に示し、一方、砂層中水分飽和度を Fig. 3 に示す。

Fig. 2 から明らかなように、砂層表面から 100 cm 位までは懸垂水帯 (Chinning water zone) を形成し、水分率は一定値 (約 10 vol%) を示す。また、それより下部の砂層は毛管水帯 (Capillary water zone) を形成し、水分率は約 10 ~ 50 vol% の範囲にわたる。Fig. 2 および Fig. 3 より得られた曲線は、徐々に変化するなめらかな水分率曲線を示していることから、砂層はほぼ均一にカラムに充填されているとみなされる。

### 3.2. 砂層中の放射性核種の移動および分布

本実験では、主として砂層表面から 100 cm までの懸垂水帯、すなわち通気層状態の砂層における放射性核種の移動、分布状態を調べている。

まず、砂層中心部における放射性核種の ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  および  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ ) の垂直方向への移動状況を Fig. 4 に示す。この図から明らかなように、いずれの放射性核種も流下口付近の砂層に大部分が吸着し、一部が砂層中を移動する。それ故、核種の砂層中分布比は、砂層 25 cm 位までは指数関数的に急激な減少を示す。ここで、流下口より上部の砂層における放射性核種の分布は、毛管現象で水が上方向へ浸透した結果である。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$  の場合には、放射平衡前 (実験終了直後) の結果を点線で示し、実線は放射平衡後の結果を示している。放射平衡前の値が放射平衡後の値に比べて大きいのは、 $^{90}\text{Sr}$  (半減期 27.7 y) の娘核種である半減期の短い  $^{90}\text{Y}$  (半減期 6.4 h) が、加水分解を受け  $^{90}\text{Y}(\text{OH})_3$  の形で優先的に砂層中を移動したためと考えられる。一方、流出液中の放射能濃度はいずれの核種についても検出限界以下\*\*であった。

Fig. 4 を基にして求めた砂層中心部における放射性核種の分布比の低下の指標として、流下口を基点とした 1/10 価層を Table 1 に示す。この表から明らかなように、放射性核種の分布比が 10 分の 1 になる砂層厚は、 $^{137}\text{Cs}$  では 5 cm,  $^{60}\text{Co}$  では 8 cm,  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$  では 10 cm である。

\*  $V$  は通気層状態砂層の空隙率  $f$  (vol%) および砂の密度  $\rho$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) を考慮して求めた値である。

\*\* 流出液中の各核種の検出限界は、 $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  の場合には  $1 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ ,  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$  の場合には  $1 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{ml}$  である。

Table 1 Decrease in distribution ratio of radionuclides in the sand layer.

Radionuclide	One-tenth value* $d_{1/10}$ (cm) (Distance from the flow-down point)
$^{137}\text{Cs}$	5
$^{60}\text{Co}$	8
$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$	10

\* Depth of sand layer where distribution ratio becomes one-tenth.

以上のことから、放射性核種の本実験条件下での砂層中移動性は、以下のごとく評価しうる。

$$^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} \leq ^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$$

次に、砂層中心部および周辺部における放射性核種 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ ) の垂直方向の移動状況を、それぞれ Figs. 5~7 に示す。本実験では、砂層に埋め込んだガラスフィルターを通して放射性水溶液を流下させたため、砂層中心部における放射性核種の分布比は、カラム周辺部におけるそれに比べて高くなっている。

さらに、Figs. 5~7 を基にして、通気層砂層中における放射性核種の二次元分布状況を示したのが Figs. 8~10 である。これらの図から明らかなように、 $^{137}\text{Cs}$  の場合 (Fig. 8) では、水平方向への移動は小さく、かつ垂直方向への移動も小さい。 $^{60}\text{Co}$  の場合 (Fig. 9) では、 $^{137}\text{Cs}$  のそれと比べて水平方向への移動が大きく、垂直方向への移動も大きい。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$  の場合 (Fig. 10) では、 $^{137}\text{Cs}$  のそれと同様な移動、分布状況を示すが、その垂直方向への移動はかなり大きい。

以上のような核種による砂層中での移動、分布状況の違いは、次のような核種の化学形に起因するものと考えられる。

すなわち、 $^{137}\text{Cs}$  は陽イオンとして溶存<sup>10)</sup> しているため、砂に対し容易にイオン交換吸着<sup>11)</sup> し、その結果、流下口から離れた場所の分布比はきわめて小さくなるものと考えられる。

一方、 $^{60}\text{Co}$  は、中性付近で  $^{60}\text{Co}^{2+}$  イオンが加水分解し、水酸化コバルト ( $^{60}\text{Co}(\text{OH})_2$ ) を形成する。<sup>10)</sup> その結果、電荷のない  $^{60}\text{Co}(\text{OH})_2$  は水と共に砂層中を移動しやすいため、砂層深部における分布比は大きくなるものと考えられる。

$^{90}\text{Sr}$  はアルカリ土類金属イオンとして、砂中の共存塩類<sup>12)</sup> (主に  $\text{Ca}^{2+}$ ) および炭酸イオン<sup>13)</sup> ( $\text{HCO}_3^-$  あるいは  $\text{CO}_3^{2-}$ ) の影響を受ける。すなわち  $\text{Ca}^{2+}$  についてはイオン交換反応により  $^{90}\text{Sr}^{2+}$  が砂より脱離し、一方、 $\text{CO}_3^{2-}$  あるいは  $\text{HCO}_3^-$  については難溶性の炭酸ストロンチウム ( $^{90}\text{SrCO}_3$ ) を形成する。<sup>13)</sup> 結局、これらの理由により、 $^{90}\text{Sr}$  が水と共に砂層中をよく移動するものと考えられる。

以上の実験結果から、放射性核種の地中移動を評価する上で、地層と水との間の核種の分配

係数および通気層中の水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要なファクターとなることが指摘される。

#### 4. 結 言

(1) 放射性水溶液流下実験により通気層砂層中における放射性核種の移動、分布状況は、いずれの核種も流下口付近の砂層に大部分が吸着する。そのため砂層中分布比は、砂層25 cm位までは指数関数的な急激な減少を示す。

(2) 砂層中心部における放射性核種の分布比の結果から、核種の砂層中移動性は、本実験条件下では次のように評価しうる。

$$^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} \lesssim ^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$$

(3) 通気層砂層中における放射性核種の二次元分布状況に関しては、 $^{137}\text{Cs}$ は水平方向への移動は小さく、垂直方向の移動も小さい。一方、 $^{60}\text{Co}$ は水平方向の移動が大きく、垂直方向への移動も大きい。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ は $^{137}\text{Cs}$ と同様な分布傾向を示すが、垂直方向の移動はかなり大きい。

(4) 砂層中での放射性核種の移動、分布状況の違いは、主として核種の化学形に起因するものと考えられる。したがって、放射性核種の地中移動を評価する上で、核種の分配係数、通気層中での水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要な要素となることが指摘される。

#### 謝 辞

本報告を終わるにあたり、多くの便宜を与えて下さった環境安全研究部天野恕部長に感謝すると共に、実験に協力して下さった低レベル廃棄物処理処分研究室岩本勝則氏、並びに放射能測定に協力して下さった保健物理部線量計測課計測校正係の方々に感謝の意を表わす。

#### 参 考 文 献

- 1) 原子力委員会月報, Vol. 21, No. 10, p. 7~9 (1976).
- 2) 原子力環境整備センター: "陸地処分試験のための準備に関する研究" (1978).
- 3) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 84 (1977).
- 4) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第15回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 150 (1978).
- 5) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: JAERI-M 7642 (1978).
- 6) 武部慎一, 和達嘉樹: JAERI-M 8044 (1979).
- 7) 武部慎一, 和達嘉樹: 日本原子力学会秋の分科会予稿集, p. 216 (1979).
- 8) 木村重彦: "土壤の物理性", 第27号, p. 15 (1972).

係数および通気層中の水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要なファクターとなることが指摘される。

#### 4. 結 言

(1) 放射性水溶液流下実験により通気層砂層中における放射性核種の移動、分布状況は、いずれの核種も流下口付近の砂層に大部分が吸着する。そのため砂層中分布比は、砂層25 cm位までは指数関数的な急激な減少を示す。

(2) 砂層中心部における放射性核種の分布比の結果から、核種の砂層中移動性は、本実験条件下では次のように評価しうる。

$$^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} \lesssim ^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$$

(3) 通気層砂層中における放射性核種の二次元分布状況に関しては、 $^{137}\text{Cs}$ は水平方向への移動は小さく、垂直方向の移動も小さい。一方、 $^{60}\text{Co}$ は水平方向の移動が大きく、垂直方向への移動も大きい。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ は $^{137}\text{Cs}$ と同様な分布傾向を示すが、垂直方向の移動はかなり大きい。

(4) 砂層中での放射性核種の移動、分布状況の違いは、主として核種の化学形に起因するものと考えられる。したがって、放射性核種の地中移動を評価する上で、核種の分配係数、通気層中での水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要な要素となることが指摘される。

#### 謝 辞

本報告を終わるにあたり、多くの便宜を与えて下さった環境安全研究部天野恕部長に感謝すると共に、実験に協力して下さった低レベル廃棄物処理処分研究室岩本勝則氏、並びに放射能測定に協力して下さった保健物理部線量計測課計測校正係の方々に感謝の意を表わす。

#### 参 考 文 献

- 1) 原子力委員会月報, Vol. 21, No. 10, p. 7~9 (1976).
- 2) 原子力環境整備センター: "陸地処分試験のための準備に関する研究" (1978).
- 3) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 84 (1977).
- 4) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第15回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 150 (1978).
- 5) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: JAERI-M 7642 (1978).
- 6) 武部慎一, 和達嘉樹: JAERI-M 8044 (1979).
- 7) 武部慎一, 和達嘉樹: 日本原子力学会秋の分科会予稿集, p. 216 (1979).
- 8) 木村重彦: "土壤の物理性", 第27号, p. 15 (1972).

係数および通気層中の水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要なファクターとなることが指摘される。

#### 4. 結 言

(1) 放射性水溶液流下実験により通気層砂層中における放射性核種の移動、分布状況は、いずれの核種も流下口付近の砂層に大部分が吸着する。そのため砂層中分布比は、砂層25 cm位までは指数関数的な急激な減少を示す。

(2) 砂層中心部における放射性核種の分布比の結果から、核種の砂層中移動性は、本実験条件下では次のように評価しうる。

$$^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} \lesssim ^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$$

(3) 通気層砂層中における放射性核種の二次元分布状況に関しては、 $^{137}\text{Cs}$ は水平方向への移動は小さく、垂直方向の移動も小さい。一方、 $^{60}\text{Co}$ は水平方向の移動が大きく、垂直方向への移動も大きい。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ は $^{137}\text{Cs}$ と同様な分布傾向を示すが、垂直方向の移動はかなり大きい。

(4) 砂層中での放射性核種の移動、分布状況の違いは、主として核種の化学形に起因するものと考えられる。したがって、放射性核種の地中移動を評価する上で、核種の分配係数、通気層中での水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要な要素となることが指摘される。

#### 謝 辞

本報告を終わるにあたり、多くの便宜を与えて下さった環境安全研究部天野恕部長に感謝すると共に、実験に協力して下さった低レベル廃棄物処理処分研究室岩本勝則氏、並びに放射能測定に協力して下さった保健物理部線量計測課計測校正係の方々に感謝の意を表わす。

#### 参 考 文 献

- 1) 原子力委員会月報, Vol. 21, No. 10, p. 7~9 (1976).
- 2) 原子力環境整備センター: "陸地処分試験のための準備に関する研究" (1978).
- 3) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 84 (1977).
- 4) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第15回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 150 (1978).
- 5) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: JAERI-M 7642 (1978).
- 6) 武部慎一, 和達嘉樹: JAERI-M 8044 (1979).
- 7) 武部慎一, 和達嘉樹: 日本原子力学会秋の分科会予稿集, p. 216 (1979).
- 8) 木村重彦: "土壤の物理性", 第27号, p. 15 (1972).

係数および通気層中の水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要なファクターとなることが指摘される。

#### 4. 結 言

(1) 放射性水溶液流下実験により通気層砂層中における放射性核種の移動、分布状況は、いずれの核種も流下口付近の砂層に大部分が吸着する。そのため砂層中分布比は、砂層25 cm位までは指数関数的な急激な減少を示す。

(2) 砂層中心部における放射性核種の分布比の結果から、核種の砂層中移動性は、本実験条件下では次のように評価しうる。

$$^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} \lesssim ^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$$

(3) 通気層砂層中における放射性核種の二次元分布状況に関しては、 $^{137}\text{Cs}$ は水平方向への移動は小さく、垂直方向の移動も小さい。一方、 $^{60}\text{Co}$ は水平方向の移動が大きく、垂直方向への移動も大きい。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ は $^{137}\text{Cs}$ と同様な分布傾向を示すが、垂直方向の移動はかなり大きい。

(4) 砂層中での放射性核種の移動、分布状況の違いは、主として核種の化学形に起因するものと考えられる。したがって、放射性核種の地中移動を評価する上で、核種の分配係数、通気層中での水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要な要素となることが指摘される。

#### 謝 辞

本報告を終わるにあたり、多くの便宜を与えて下さった環境安全研究部天野恕部長に感謝すると共に、実験に協力して下さった低レベル廃棄物処理処分研究室岩本勝則氏、並びに放射能測定に協力して下さった保健物理部線量計測課計測校正係の方々に感謝の意を表わす。

#### 参 考 文 献

- 1) 原子力委員会月報, Vol. 21, No. 10, p. 7~9 (1976).
- 2) 原子力環境整備センター: "陸地処分試験のための準備に関する研究" (1978).
- 3) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 84 (1977).
- 4) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第15回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 150 (1978).
- 5) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: JAERI-M 7642 (1978).
- 6) 武部慎一, 和達嘉樹: JAERI-M 8044 (1979).
- 7) 武部慎一, 和達嘉樹: 日本原子力学会秋の分科会予稿集, p. 216 (1979).
- 8) 木村重彦: "土壤の物理性", 第27号, p. 15 (1972).



係数および通気層中の水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要なファクターとなることが指摘される。

#### 4. 結 言

(1) 放射性水溶液流下実験により通気層砂層中における放射性核種の移動、分布状況は、いずれの核種も流下口付近の砂層に大部分が吸着する。そのため砂層中分布比は、砂層25 cm位までは指数関数的な急激な減少を示す。

(2) 砂層中心部における放射性核種の分布比の結果から、核種の砂層中移動性は、本実験条件下では次のように評価しうる。

$$^{137}\text{Cs} < ^{60}\text{Co} \lesssim ^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$$

(3) 通気層砂層中における放射性核種の二次元分布状況に関しては、 $^{137}\text{Cs}$ は水平方向への移動は小さく、垂直方向の移動も小さい。一方、 $^{60}\text{Co}$ は水平方向の移動が大きく、垂直方向への移動も大きい。 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ は $^{137}\text{Cs}$ と同様な分布傾向を示すが、垂直方向の移動はかなり大きい。

(4) 砂層中での放射性核種の移動、分布状況の違いは、主として核種の化学形に起因するものと考えられる。したがって、放射性核種の地中移動を評価する上で、核種の分配係数、通気層中での水の移動速度の他に、核種の化学形もきわめて重要な要素となることが指摘される。

#### 謝 辞

本報告を終わるにあたり、多くの便宜を与えて下さった環境安全研究部天野恕部長に感謝すると共に、実験に協力して下さった低レベル廃棄物処理処分研究室岩本勝則氏、並びに放射能測定に協力して下さった保健物理部線量計測課計測校正係の方々に感謝の意を表わす。

#### 参 考 文 献

- 1) 原子力委員会月報, Vol. 21, No. 10, p. 7~9 (1976).
- 2) 原子力環境整備センター: "陸地処分試験のための準備に関する研究" (1978).
- 3) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 84 (1977).
- 4) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: 第15回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 150 (1978).
- 5) 武部慎一, 松鶴秀夫, 和達嘉樹: JAERI-M 7642 (1978).
- 6) 武部慎一, 和達嘉樹: JAERI-M 8044 (1979).
- 7) 武部慎一, 和達嘉樹: 日本原子力学会秋の分科会予稿集, p. 216 (1979).
- 8) 木村重彦: "土壌の物理性", 第27号, p. 15 (1972).

- 9) 土壤物理性測定法委員会編：“土壤物理性測定法”，p. 47，養覽堂版（1975）。
- 10) M. Pourbix：Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solution”，Pergamon press，（1966）。
- 11) 日本粘土学会編：“粘土ハンドブック”，p. 101，技報堂（1966）。
- 12) 筒井天尊，西牧研荘：保健物理，10，79（1975）。
- 13) OECD：“The migration of long-lived radionuclides in the geosphere”，p. 289（1979）。

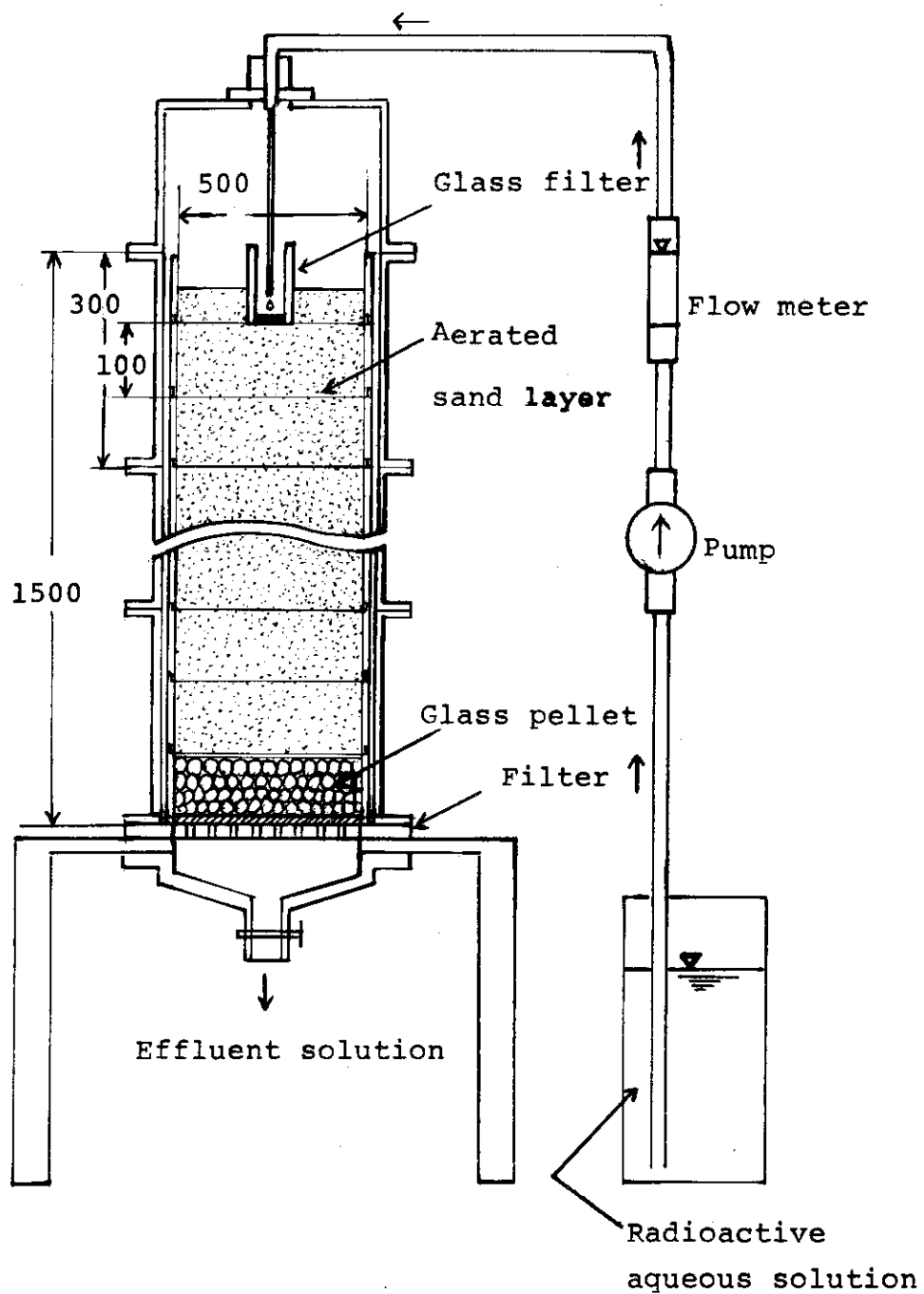


Fig. 1 Medium scale soil layer model apparatus.

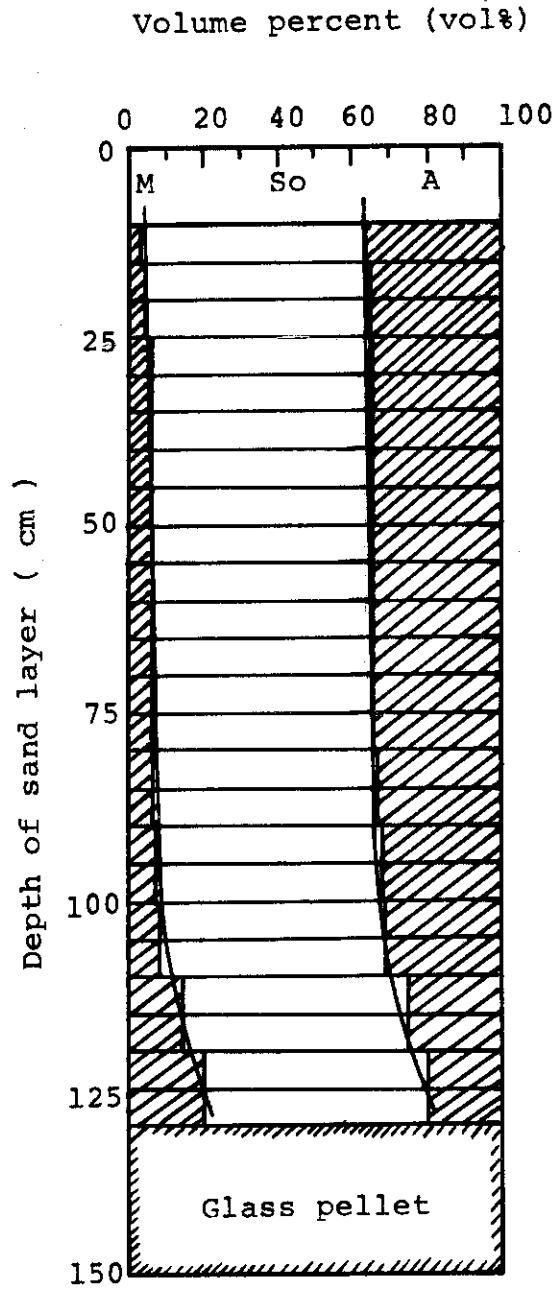


Fig. 2 Water retention ratio and porosity of sand layer.

M: Water retention ratio ( vol% )

So: Solid ratio ( vol% )

A: Porosity of stratum ( vol% )

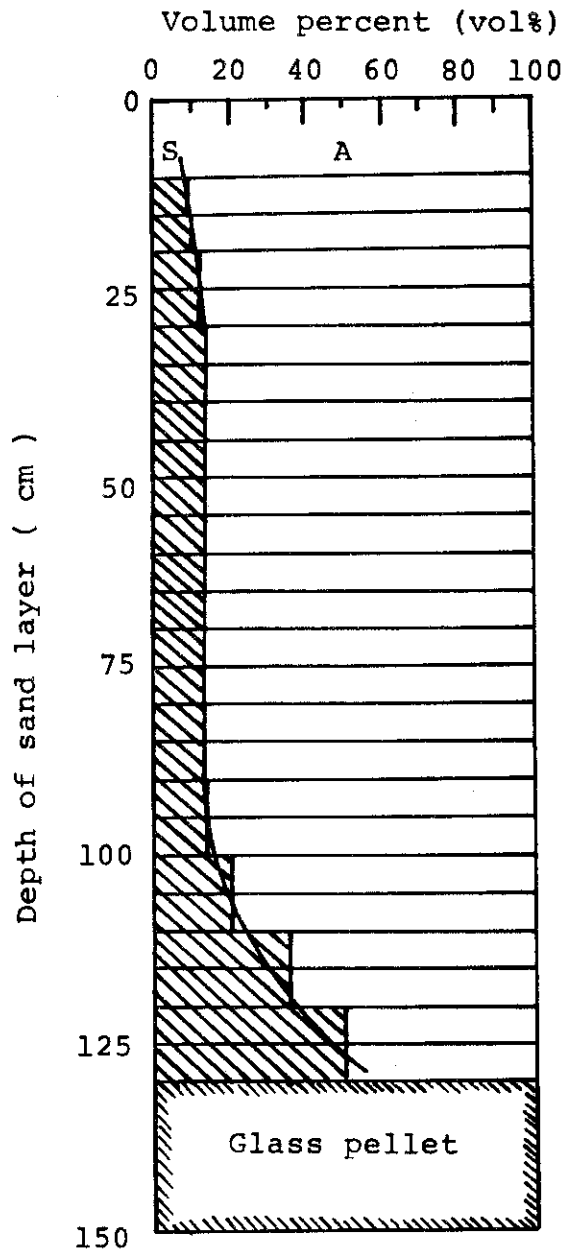


Fig. 3 Porosity and water saturation degree of sand layer.

$$S = ( M / A ) \times 100$$

S : Water saturation degree ( vol% )

M : Water retention ratio ( vol% )

A : Porosity of stratum ( vol% )

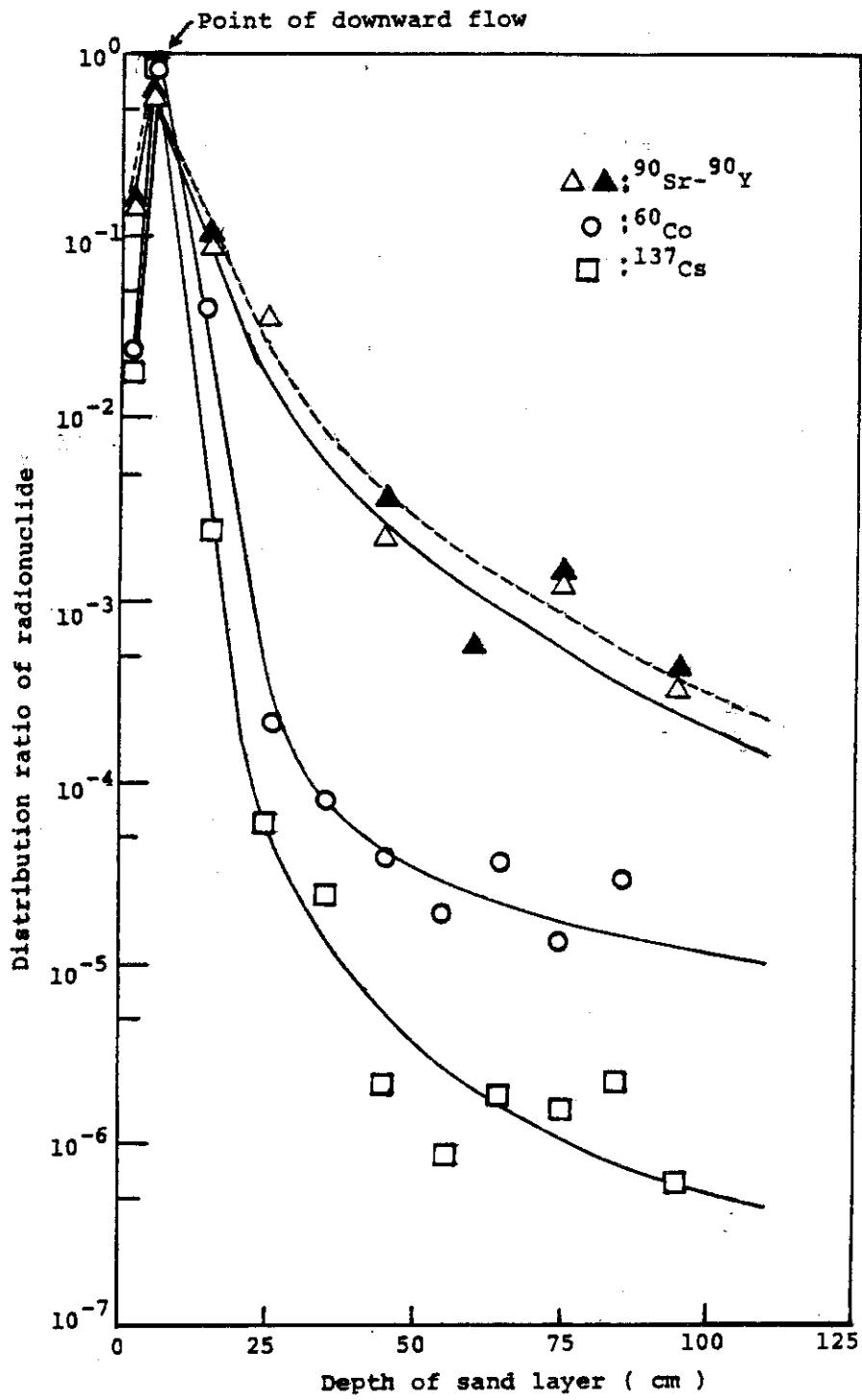


Fig. 4 Migration of radionuclides in the center of aerated zone.

$\blacktriangle$  : Before radioactive equilibrium  
 $\triangle$  : After radioactive equilibrium

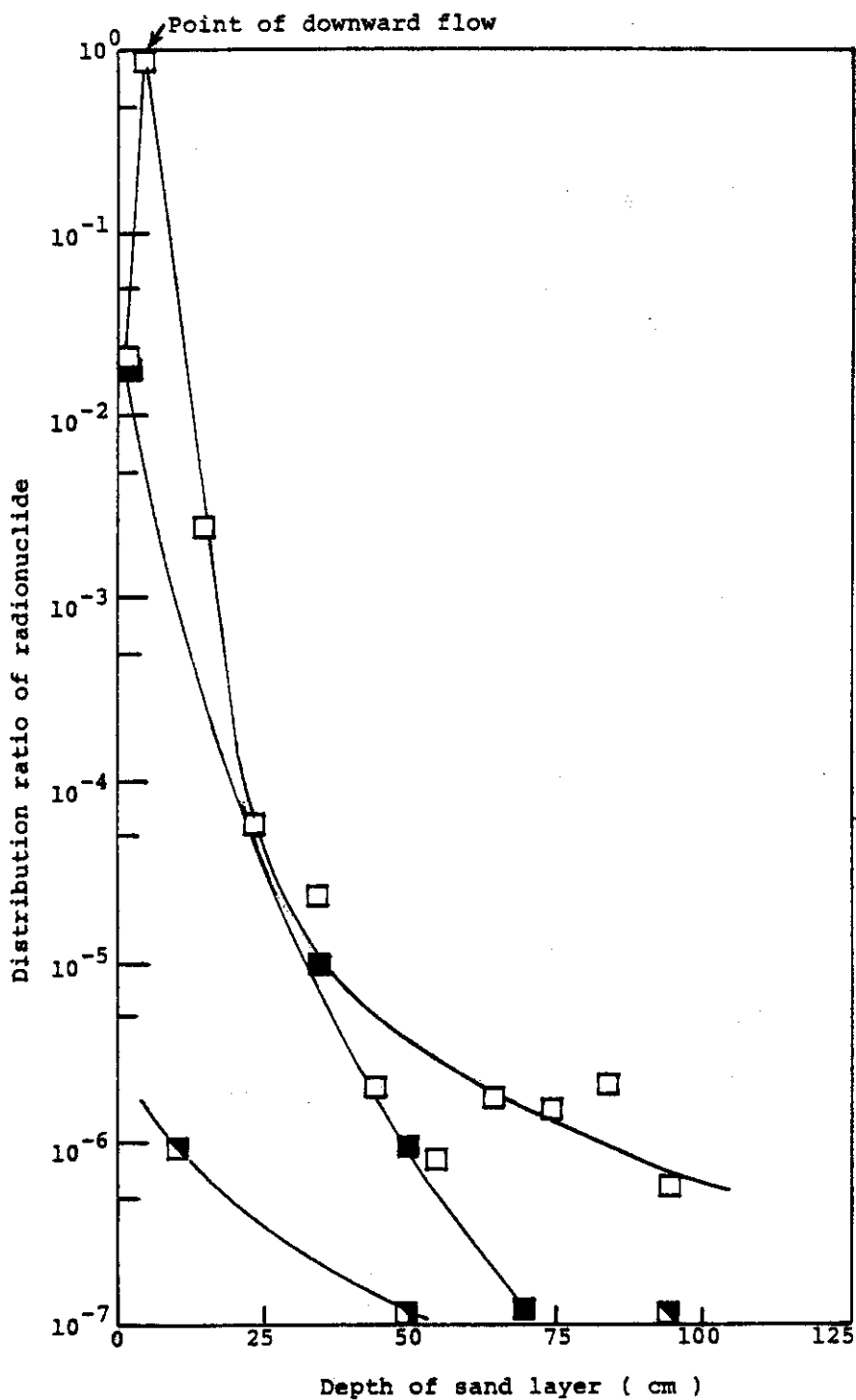


Fig.5 Migration of <sup>137</sup>Cs in the aerated zone.

□: At the center of sand layer

■: Side 1 ( 10 cm from the center of sand layer )

▣: Side 2 ( 20 cm from the center of sand layer )

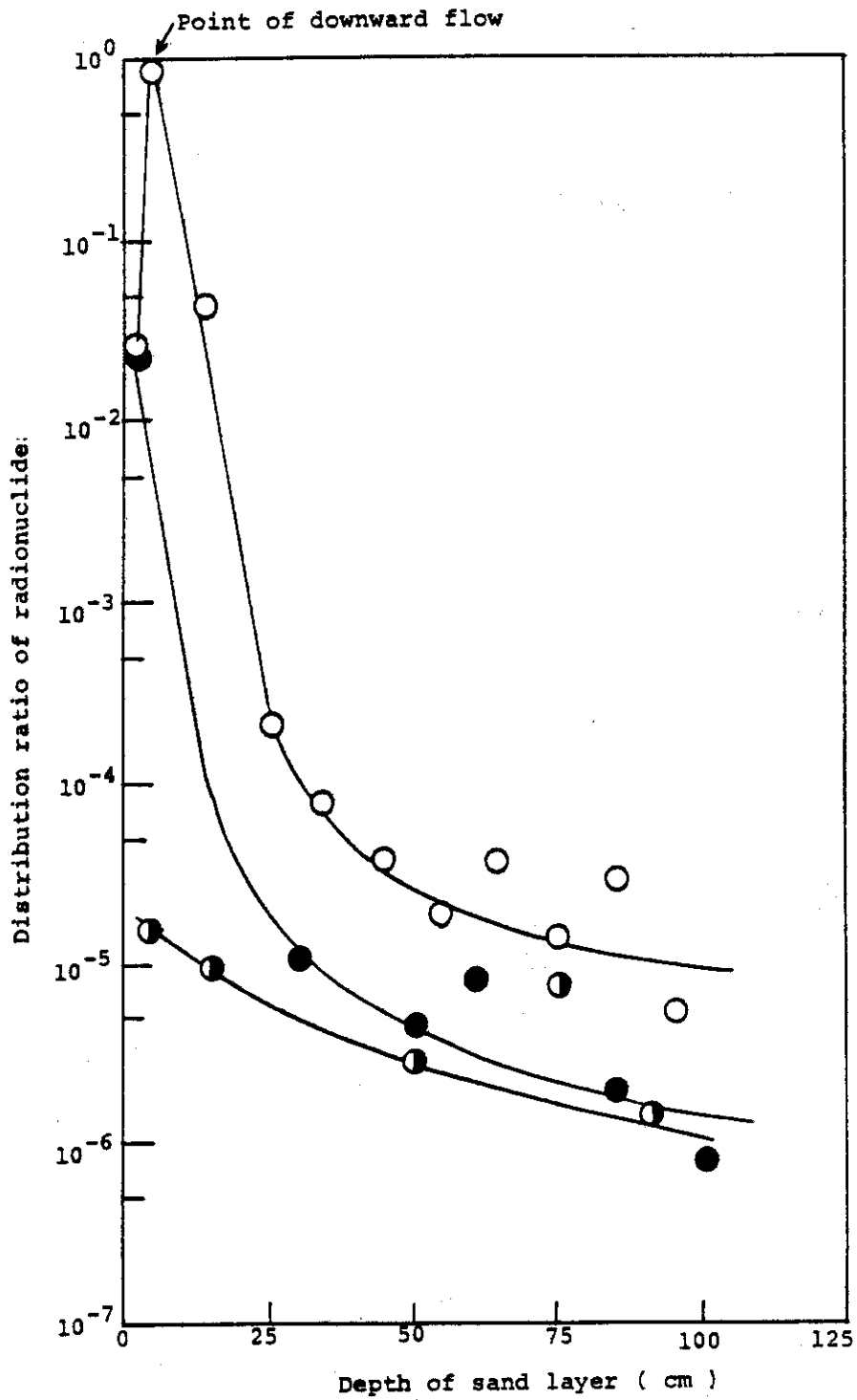


Fig.6 Migration of <sup>60</sup>Co in the aerated zone.

- At the center of sand layer
- Side 1 ( 10 cm from the center of sand layer )
- ◐ Side 2 ( 20 cm from the center of sand layer )



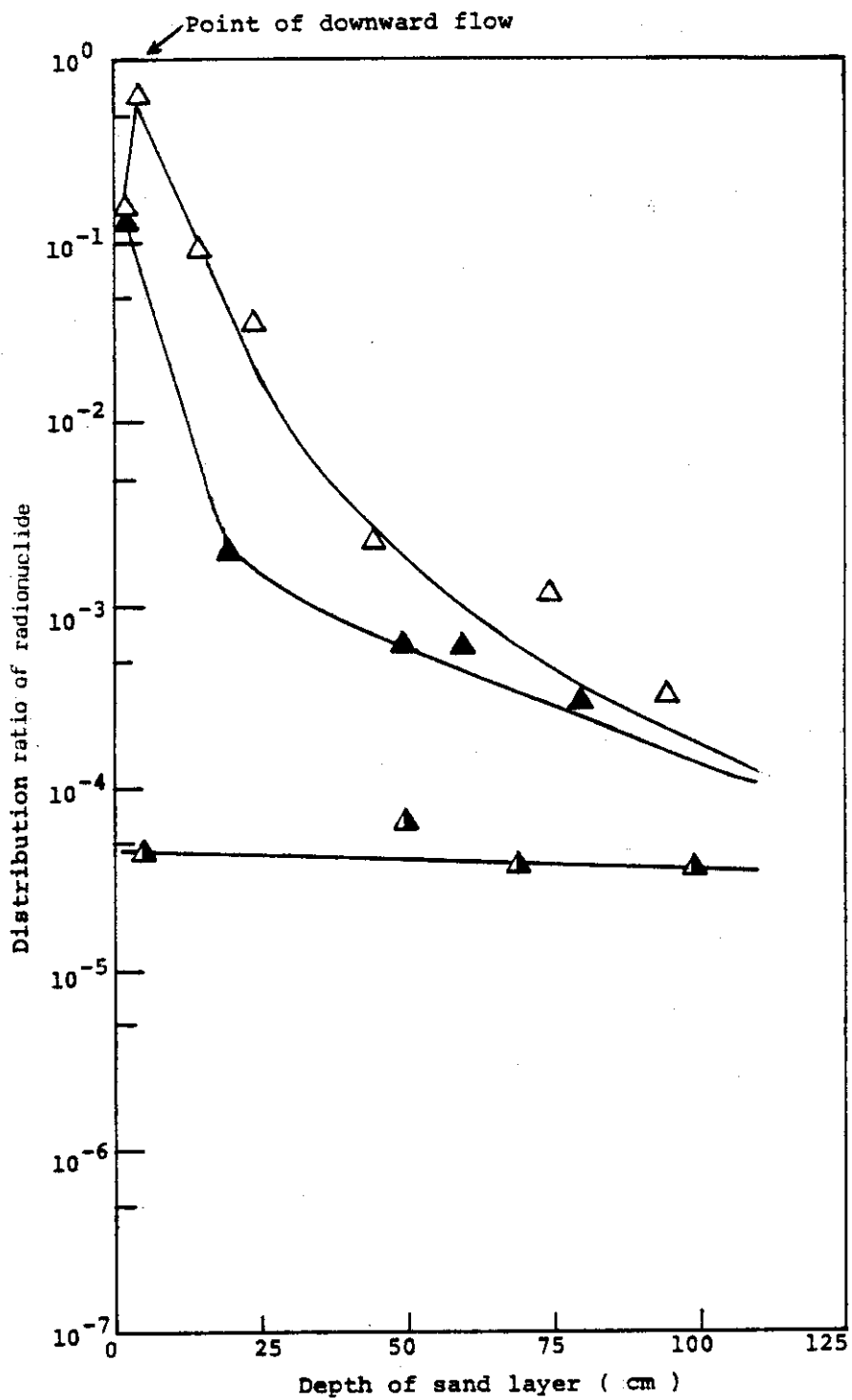


Fig.7 Migration of  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  in the aerated zone.  
 △: At the center of sand layer  
 ▲: Side 1 ( 10 cm from the center of sand layer )  
 ▲: Side 2 ( 20 cm from the center of sand layer )

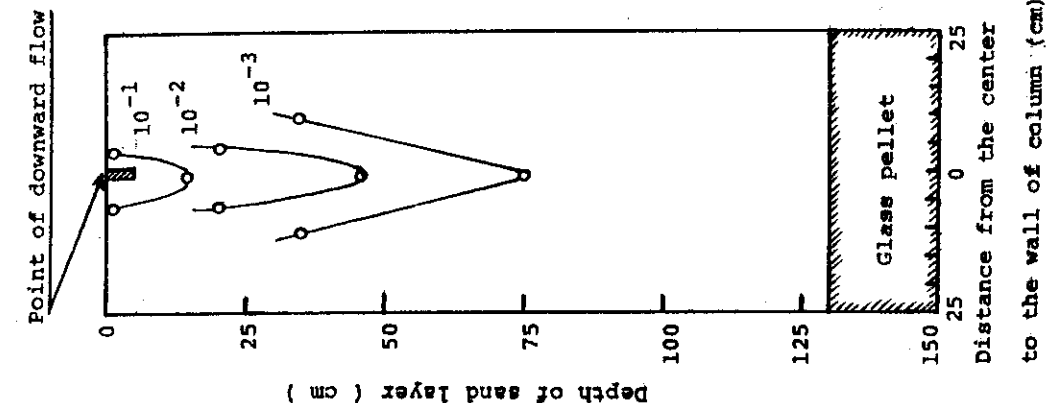


Fig.10 Two dimensional distribution of  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  in the sand layer.

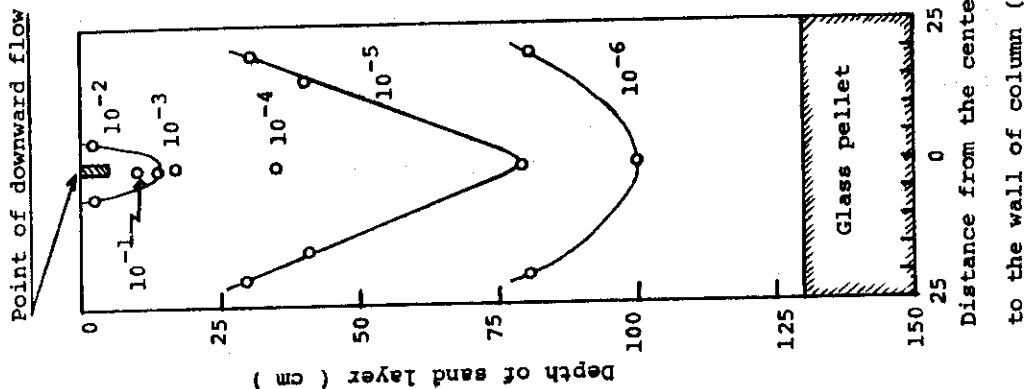


Fig.9 Two dimensional distribution of  $^{60}\text{Co}$  in the sand layer.

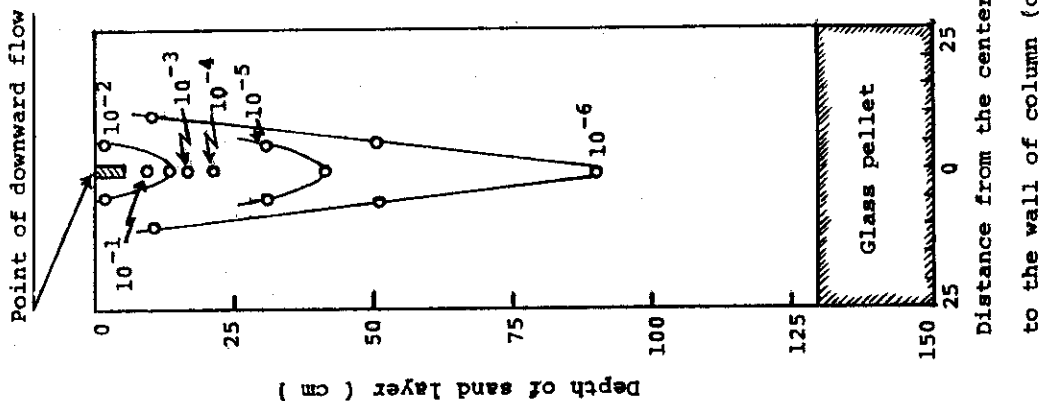


Fig.8 Two dimensional distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the sand layer.