

土中におけるガスの拡散実験手法の検討

拡散 比重 ガラスビーズ

早稲田大学大学院 学生会員 ○中谷 大樹  
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

1. はじめに

現在、土中での汚染ガスの汚染範囲の推定や、空気注入による地盤の不飽和化など、様々な場面で土中でのガスの挙動の把握が必要とされている。ガスの移動は拡散現象と移流現象によって構成されている。ガスの拡散現象を支配する拡散係数の調査方法としては、ガスが充満した容器の上に小型モールド供試体を設置し、鉛直上方にガスを拡散させる小型モールド実験が一般的である。しかし、そのガスの種類によっては、ガスの濃度差による拡散現象よりも、空気とガスの比重差による移動現象が支配的となる場合が懸念される。

ここでは、3種類のガスを用いてガスの移動方向を鉛直方向と水平方向と変化させた小型モールド実験を行い、得られる拡散係数の違いを調査した。

2. 土中でのガスの移動現象

ガスの土中における移動現象は、濃度差による拡散現象と、圧力差による移流現象によって構成されている。拡散現象はFick則、移流現象はDarcy則によって表わされており、それぞれ拡散係数  $D_e$  および透気係数  $k$  といったパラメータを用いる。

土中を図1のようにモデル化すると、ガスの空気間隙内の移動は以下の移流拡散方程式によって表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{n_a} \nabla \cdot \left[ \frac{k}{\mu} \cdot \{-\nabla P' - (\rho - \rho_{air})g \cdot C\} C \right] = \frac{D_e}{n_a} \nabla(\nabla C) \quad (1)$$

ここに、 $C$ : ガス濃度,  $n_a$ : 空気間隙率,  $k$ : 透気係数,  $\mu$ : 粘性係数,  $P'$ : 圧力差,  $\rho$ : ガス密度,  $\rho_{air}$ : 空気密度,  $D_e$ : ガス拡散係数

3. 小型モールド実験

(1) 実験方法

小型モールド実験では、ガスと空気に圧力差を与えない状態におけるガスの拡散現象に着目し、供試体密度と含水状態の違いによるガス拡散係数  $D_e$  の変化を調査した。図2、図3のようなガス拡散実験装置を用いて、ガスの移動方向を鉛直方向と水平方向としたそれぞれの場合について、拡散容器内に充満させたガスを供試体内に移動させ、定常状態に至るまでの容器内のガス濃度の変化を1分ごとに測定した。用いたガスは表1に示す。

供試体は、小型モールド試料容器(内径50mm, 高さ100mm)に土粒子に相当するガラスビーズ(平均粒径  $D_{50}=0.95\text{mm}$ )を入れ、空気間隙率  $n_a=38, 40, 42\%$  となるように締固めて作成した。

表1 用いたガスの種類と特性

ガスの種類	比重 (空気=1)	$D_0[\text{cm}^2/\text{s}](T=273\text{K})$
窒素	0.967	0.178
二酸化炭素	1.53	0.130
水素	0.0695	0.665

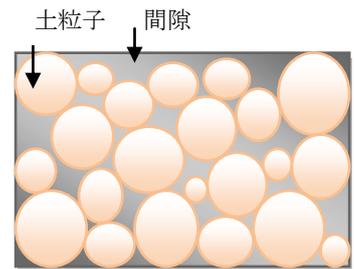


図1 土粒子と間隙

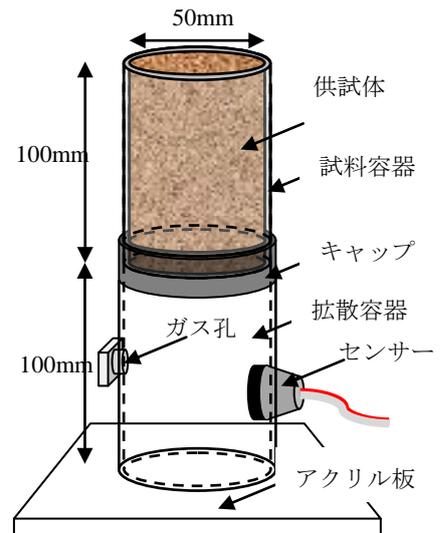


図2 小型モールド実験装置 (鉛直方向)

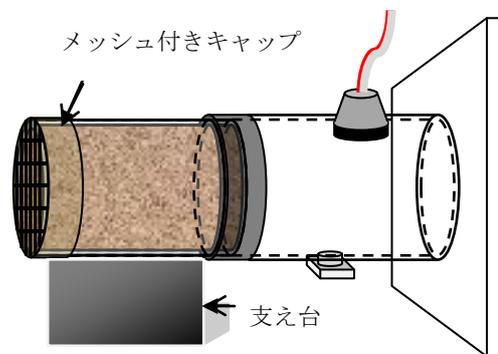


図3 小型モールド実験装置 (水平方向)

(2)実験結果

表 2 拡散係数算出結果(T=273K)

圧力差 P'を加えないとき、土中における窒素ガスの 1 次元の拡散現象は、以下の Fick 則によって表わされる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_e}{n_a} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (2)$$

式(2)より算出したガラスビーズ供試体中での窒素ガス拡散係数  $D_e$  を表 2 に示す。また、実験で得られた土中でのガス拡散係数  $D_e$  と、表 1 に示す 3 種類のガスの空気中でのガス拡散係数  $D_0$  との比  $D_e/D_0$  と空気間隙率  $n_a$  の関係を、ガス 3 種類別に図 4～図 6 に示す。

どの図も空気間隙率  $n_a$  の値が大きくなるほど  $D_e/D_0$  の値も大きくなっている。

図 4 から、比重が空気と近い窒素ガスの場合鉛直方向と水平方向でほぼ差がないのがわかる。図 5 から比重が空気より大きい二酸化炭素ガスの場合、鉛直方向の方が水平方向より  $D_e/D_0$  の値が小さくなっていることがわかる。図 6 から、比重が空気より小さい水素ガスの場合、鉛直方向の方が水平方向より  $D_e/D_0$  の値が大きくなっていることがわかる。これらの結果と表 1 の比重の値から、空気より比重が大きいガスでは鉛直方向で  $D_e/D_0$  の値が小さくなり、空気より比重が小さいガスでは鉛直方向で  $D_e/D_0$  の値が大きくなる。このことから、鉛直方向では空気との比重差によるガスの移動が拡散係数の測定値に影響したと考えられる。

4. まとめ

本研究の結果を要約すると以下のとおりである。

- 1)ガス拡散係数は供試体中の空気間隙率が大きくなると大きくなる。
  - 2)ガスと空気に比重差がある場合、鉛直方向の拡散現象に比重差によるガスの移動現象が影響する。
  - 3)ガスの比重が大きいと、小型モールド実験で得られる拡散係数は小さくなり、比重が小さいと小型モールド実験で得られる拡散係数は大きくなる。
- 今後は含水状態の時の比較を行う予定である。

参考文献

- 1)遅沢省子, 久保田徹: 土壌のガス拡散係数の測定法, 日本土壌肥科学雑誌, 第 58 巻, 第 5 号(1987)
- 2)近藤智, 赤木寛一: ガスの土中での移動特性, 地盤工学研究発表会(2010)

気体	窒素								
	38			40			42		
空気間隙率[%]	38			40			42		
拡散係数[cm <sup>2</sup> /s] (鉛直方向)	0.0582	0.0593	0.0589	0.0592	0.0588	0.0605	0.0620	0.0626	0.0614
拡散係数[cm <sup>2</sup> /s] (水平方向)	0.0585	0.0589	0.0593	0.0588	0.0600	0.0606	0.0620	0.0608	0.0614
気体	二酸化炭素								
	38			40			42		
空気間隙率[%]	38			40			42		
拡散係数[cm <sup>2</sup> /s] (鉛直方向)	0.0189	0.0175	0.0167	0.0220	0.0217	0.0211	0.0237	0.0239	0.0244
拡散係数[cm <sup>2</sup> /s] (水平方向)	0.0227	0.0218	0.0233	0.0246	0.0253	0.0257	0.0280	0.0275	0.0276
気体	水素								
	38			40			42		
空気間隙率[%]	38			40			42		
拡散係数[cm <sup>2</sup> /s] (鉛直方向)	0.2423	0.2501	0.2354	0.2543	0.2534	0.2710	0.2786	0.2714	0.2840
拡散係数[cm <sup>2</sup> /s] (水平方向)	0.2041	0.2050	0.2035	0.2224	0.2188	0.2243	0.2348	0.2333	0.2393

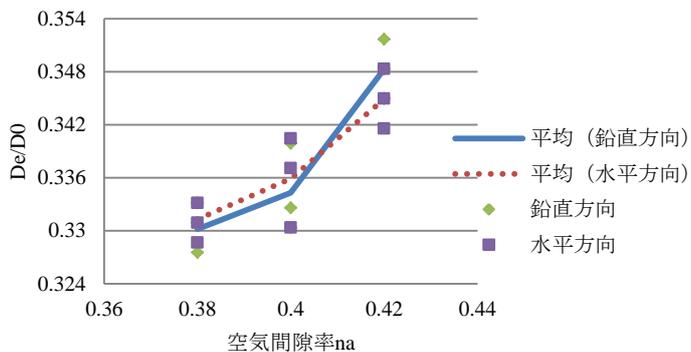


図 4 窒素ガスの拡散係数比較図

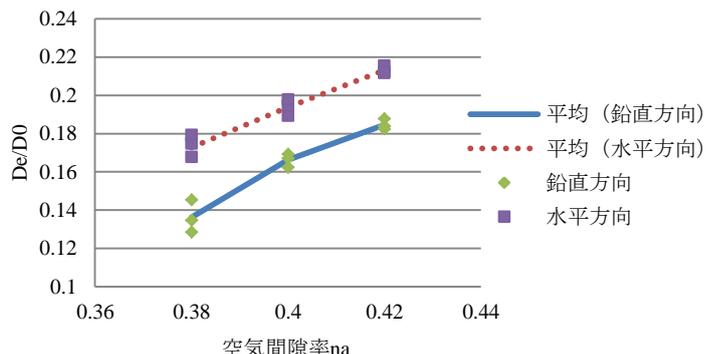


図 5 二酸化炭素ガスの拡散係数比較図

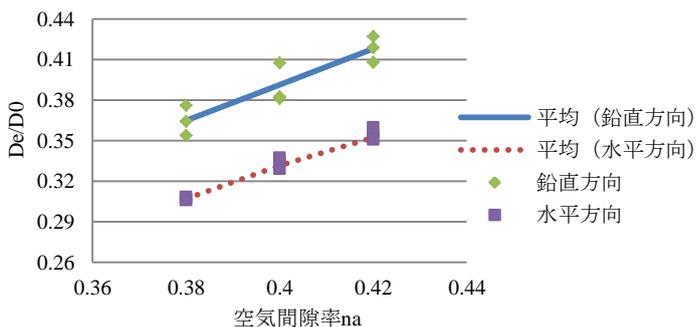


図 6 水素ガスの拡散係数比較図