

ガス拡散実験手法の検討

小型カラム 縦拡散 横拡散

早稲田大学 学生会員 ○中村 元

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

早稲田大学 学生会員 中谷 大樹

1. 研究目的

土中におけるガスの移動現象をより正確に把握するため、ガス拡散係数の測定方法に関する検討を行うこととする。現在では、ガスの拡散係数の測定において小型モールドを縦向きに設置した小型モールド拡散実験が一般的に用いられている。しかし、実験に用いられるガスに作用する重力の影響により既存の実験方法では正確な拡散係数を測定することができないのではないかとと思われる。そこで本検討では、ガス拡散実験で使用する小型モールドを縦向きに設置し拡散実験を行った場合と、小型モールドを横向きに設置し重力の影響を受けにくくした形で拡散実験を行った場合で、拡散係数にどのような違いが生じているのかを調査した。

2. 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おり、拡散現象は Fick 則、移流現象は Darcy 則によって表され、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 2.1 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 (1) によって表される。

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

C : ガス濃度, n_a : 空気間隙率, k : 透気係数, μ : 粘性係数, P' : 圧力差,

ρ_{gas} : ガス密度, ρ_{air} : 空気密度, D_e : ガス拡散係数, g : 重力加速度

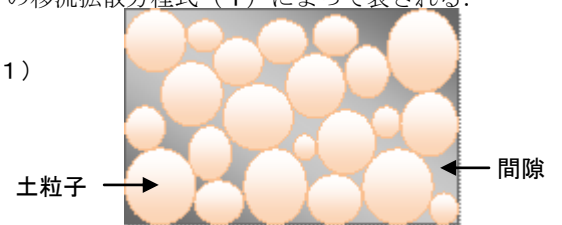


図 2.1 土中モデル

3. 研究方法

3.1 実験器具および実験試料

本実験では図 3.1.1 の示す小型モールド試料容器 (内径 50mm, 高さ 100mm) を用いた。実験試料はガラスビーズ 2 号, ガラスビーズ 3 号, ガラスビーズ 4 号をそれぞれ用いた。各試料の平均粒径 D_{50} , 平均円形度 ϕ_c は表 3.1.1 に示すとおりである。なお, 平均円形度 ϕ_c は (等投影面積円の周長) / (粒子投影像の周長) で表され, 1 に近い程円形である事を示す。

表 3.1.1 各試料の平均粒径 D_{50} および平均円形度 ϕ_c

試料	平均粒径 D_{50} (mm)	平均円形度 ϕ_c
ガラスビーズ 2 号	2.10	1.00
ガラスビーズ 3 号	1.30	1.00
ガラスビーズ 4 号	0.95	1.00

3.2 実験方法

本実験は、取り扱いの容易な窒素ガスを用いた。本実験では窒素ガスと空気に圧力差を加えない状態における窒素ガスの濃度差による拡散現象に着目し、その際の試料平均粒径 D_{50} の違いによる窒素ガス拡散係数 D_e の変化を調査した。また、各試料の空気間隙率は 0.40 で統一している。具体的な手順については以下の通りである。

- ① 拡散容器内に窒素ガスを充満させる。
- ② 試料の入った試料容器を拡散容器にセットし、試料容器上部のふたを取り窒素ガスを拡散させる。
- ③ 定常状態に至るまでの容器内の酸素ガス濃度変化を 1 分ごとに測定する。

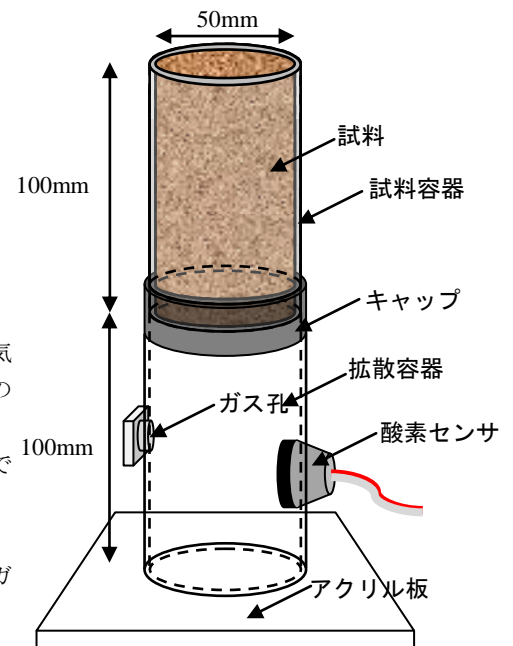


図 3.1.1 小型モールド

④③で得られる酸素濃度変化データを用いて、以下の Fick 則に基づく式 (2) を解いて T=273K における窒素ガス拡散係数 D_e を算出する。

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

⑤3種類の試料につき3回ずつ測定し平均値を求める。

⑥小型モールドを横向きにし、①～⑤までの手順を繰り返す。

4. 結果と考察

小型モールド試験により求めた窒素ガス拡散係数 D_e / 空気中における窒素ガス拡散係数 D_0 ($D_0=0.178\text{cm}^2/\text{s}$) と平均粒径 D_{50} の関係を図 4.1 として示す。この際、窒素ガス拡散係数 D_e /空気中における窒素ガス拡散係数 D_0 を用いる理由としては、窒素ガス拡散係数 D_e のみに着目するのではなく、空気中での拡散に対してどの程度の拡散をするのかを目安にして比較する方法が一般的に用いられているからである。なお、図中の縦拡散とは小型モールドを縦向きにして拡散実験を行い測定した値であり、横拡散とは小型モールドを横向きにして拡散実験を行い測定した値である。

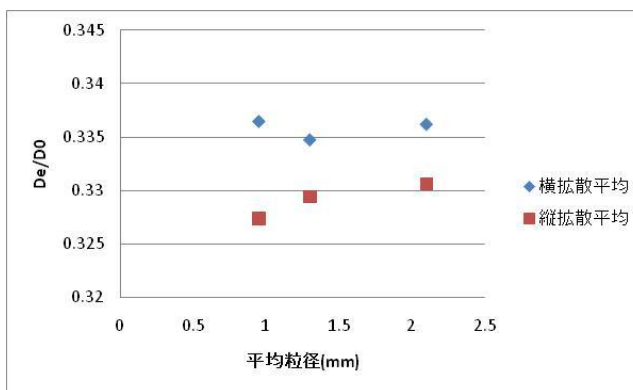


図 4.1 平均粒径および D_e/D_0 の関係

図 4.1 をみると、平均粒径 D_{50} に関わらず縦拡散平均よりも横拡散平均の方が大きな値が出ていることが分かる。つまり、小型モールドを縦向きに設置して拡散実験を行うよりも小型モールドを横向きに設置して拡散実験を行った方が D_e/D_0 が大きく出ており、拡散しやすいという結果が出ている。この原因として、窒素ガスが拡散する際、小型モールドを縦向きに設置した場合では鉛直上向きに向かい拡散しているため、小型モールドを横向きに設置した場合の水平方向での拡散よりも重力の影響を受け、拡散しにくいということが挙げられる。

また、小型モールドを横向きに設置し拡散させた場合も、縦向きに設置し拡散させた場合と同様に D_e/D_0 の値が平均粒径に関わらずほぼ一定となる性質が見て取れた。このことから、小型モールドを横向きに設置し拡散実験を行った場合でも適切な拡散係数の測定がなされているということが分かる。

これらのことから、小型モールドを縦方向に設置し拡散実験を行うよりも、小型モールドを横方向に設置し拡散実験を行う方が重力の影響を受けにくく、濃度差のみによる拡散を再現することができ、より正確な拡散係数を測定することができるということが分かった。

5. まとめ

土中のガス移動を正確に把握することを目的とし、ガスの移流拡散方程式で用いられている拡散係数の測定手法についての検討を行った。研究方法として縦向きに設置した小型カラムを用いた拡散実験の結果と横向きに設置した小型カラムを用いた拡散実験の結果を比較した。結果として以下のことが確認された。

- ①横向きに小型カラムを設置し拡散実験を行う方が、拡散係数が大きく測定される。
- ②横向きに小型カラムを設置し拡散実験を行った場合でも、平均粒径に関わらずほぼ一定の拡散係数を得ることができる。

これらのことから横向きに小型カラムを設置し拡散実験を行う方が、重力の影響を受けずより正確な拡散係数を計測することができる結論付けられる。

6. 今後の展望

今回の検討では取り扱いの容易な窒素ガスを使用することとしたが、その他のガスでも同様の検討を行い本検討の正当性の確認を行うこととする。

7. 参考文献

ウィリアム・ジュリー+ロバート・ホートン 「土壌物理学～土中の水・熱・ガス・化学物質移動の基礎と応用～」
築地書店株式会社 2006年3月20日