

砂の連続空気量と通気係数の関係

Relationships between permeable air content and air permeability for sand

○深田耕太郎*, 中村公人*, 井上光弘**, 川島茂人*

FUKADA Kotaro, NAKAMURA Kimihito, INOUE Mitsuhiro, KAWASHIMA Shigeto

1. 研究の目的 土壌空気量の測定方法には、試料の乾燥密度と土粒子密度から求める方法（重量法）と試料内空気の圧縮膨張を利用する方法がある．後者は封入空気量の測定によく用いられる¹⁾．しかし、両方法とも圃場での非破壊的な測定に適さないため、著者らは音波を用いた新たな方法（共鳴法）を提案した²⁾．共鳴法は空気の圧縮膨張の振動を利用する点で二つ目の方法に近く、かつ現場での測定に適している．本報告では、共鳴法を用いて砂の通気係数を測定し、神谷らの通気試験結果³⁾と比較することで、共鳴法を評価するとともに、共鳴法を用いて測定した気相率と通気係数の関係を明らかにすることを目的とした．

2. 実験方法 鳥取砂丘砂（主に粒径 0.2~0.4mm, 50%粒径 0.29mm（文献 3））、および相馬硅砂（平均粒径 0.6mm）を含水比 5~20%の間で 9 段階に調整し、内径 5cm, 容積 50cm³（砂丘砂）、100cm³（硅砂）の円筒容器に充填した．乾燥密度は 1.50~1.59g cm⁻³（砂丘砂）、1.49~1.53g cm⁻³（硅砂）となった．共鳴法を用いて各試料の複素音響インピーダンス (R, X) を求め、以下の式(1), (2)を用いて空気量 V_0 と通気係数 k_a を求めた．

$$V_0 = \gamma p_0 a^2 / (\omega X) \quad (1), \quad k_a = a^2 V_0 \rho_w g / (A^2 R) \quad (2)$$

ここで、 γ は定圧比熱と定積比熱の比、 p_0 は大気圧、 a は共鳴筒の断面積、 ω は共鳴角周波数、 ρ_w は水の密度、 g は重力加速度、 A は試料の断面積である．共鳴筒の長さは 25cm と 50cm の 2 種類を用いた．測定後、試料を炉乾燥し、重量法により空気量を求めた．

3. 実験結果 共鳴法による砂丘砂の通気係数は $2.0 \times 10^{-3} \sim 2.0 \times 10^0 \text{ cm s}^{-1}$ となり、神谷らの測定結果³⁾とほぼ等しい範囲で変化した (Fig.1)．一方、硅砂の通気係数は $1.0 \times 10^{-1} \sim 3.0 \times 10^1 \text{ cm s}^{-1}$ となった (Fig.2d)．

共鳴法による気相率は重量法による気相率が 15~20% のとき急増し、気相率 20~40% で両者の値はほぼ等しかった (Figs.2a,2c)．ただし、25cm の共鳴筒を用いた場合の気相率は 50cm の共鳴筒を用いた場合に比べて小さかった．

通気係数は共鳴法による気相率のべき乗に比例した (Figs.2b,2d)．50cm の共鳴筒の実験結果より、砂丘砂の場合、べき指数は気相率 1~10% の範囲でおよそ 1.7, 10~40% の範囲でおよそ 3.0 となった．この 2 つの範囲は

Fig.2a において共鳴法による気相率が急増した範囲とそれ以降の範囲に対応している．硅砂の場合、べき指数は気相率 1~10% でおよそ 1.3, 10~40% でおよそ 3.4 となった．

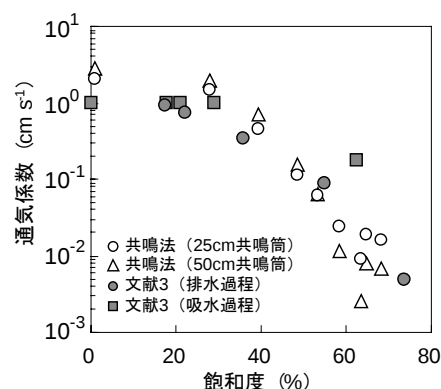


Fig.1 共鳴法による通気係数と文献値の比較 Comparisons of air permeability obtained by resonance method with that in reference 3

* 京都大学農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** 鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori University

キーワード：共鳴，土壌空気量，通気係数

4. 考察 共鳴法によって砂丘砂の通気係数を十分正確に測定できることがわかった (Fig.1). また, 硅砂の平均粒径が砂丘砂の平均粒径より大きいこと, 気相率と通気係数の関係が 2 つの試料で類似していたことから, 共鳴法による硅砂の通気係数の値も妥当な範囲に入っていると考える.

共鳴法は通気に寄与する空気を測定の対象としている. 共鳴法によって求められる通気係数は振動に対する摩擦力 (R) であり (式(2)), 摩

擦係数は平均間隙径に対応する. この量は空気量と関係なく決まる. つまり, 空気量と空気の振動のしやすさは無関係である. そのため, 共鳴法と重量法の結果を比較すれば, 空気量と空気の連続性の関係 (Figs.2a,2c), および, 通気に寄与する空気量と通気係数の関係 (Figs.2b,2d) を同時に得ることができる. この考え方は, 封入空気を含む全体の気相率と通気係数の関係を調べるような従来の考え方とは異なる. 気相率の増加がもたらす通気係数の増加率は, 全気相率から求まる増加率に比べて緩やかである (Figs.2b,2d). また, 気相率 1~10% では, 気相の増加分の一部が封入空気を大気と連続させ, 残りが平均間隙径を広げたが, 気相率 10~40%では, 全ての気相が連続しているため気相の増加分はすべて平均間隙径を広げることに寄与すると考えられる. そのため, 気相率 10~40%におけるべき指数は気相率 1~10%におけるべき指数より大きい. 今後, 異なる粒径の砂や異なる長さの共鳴筒を用いて実験すると共に, 通気試験を行って共鳴法の結果を確認し, この関係の一般性を明らかにする必要がある.

5. まとめ 共鳴法は通気に寄与する空気量と通気係数を同時に測定することができる. そして, 通気に寄与する空気量が急激に増加する段階と, 全ての空気が通気している段階が存在すること, 通気係数は気相率のべき乗に比例することなどが明らかになった.

謝辞 岐阜大学の神谷浩二先生には鳥取砂丘砂の通気係数に関して議論していただき, 本研究に対する助言をいただいた. ここにお礼申し上げる.

1) Stonestrom, D. A. and J. Rubin. 1989. *Water Resour. Res.* 25:1947-1958 2) 深田ら. 2008. 土壌物理学会講演要旨集. 20-21 3) 神谷ら. 2006. 土木学会論文集 C. 62:679-688

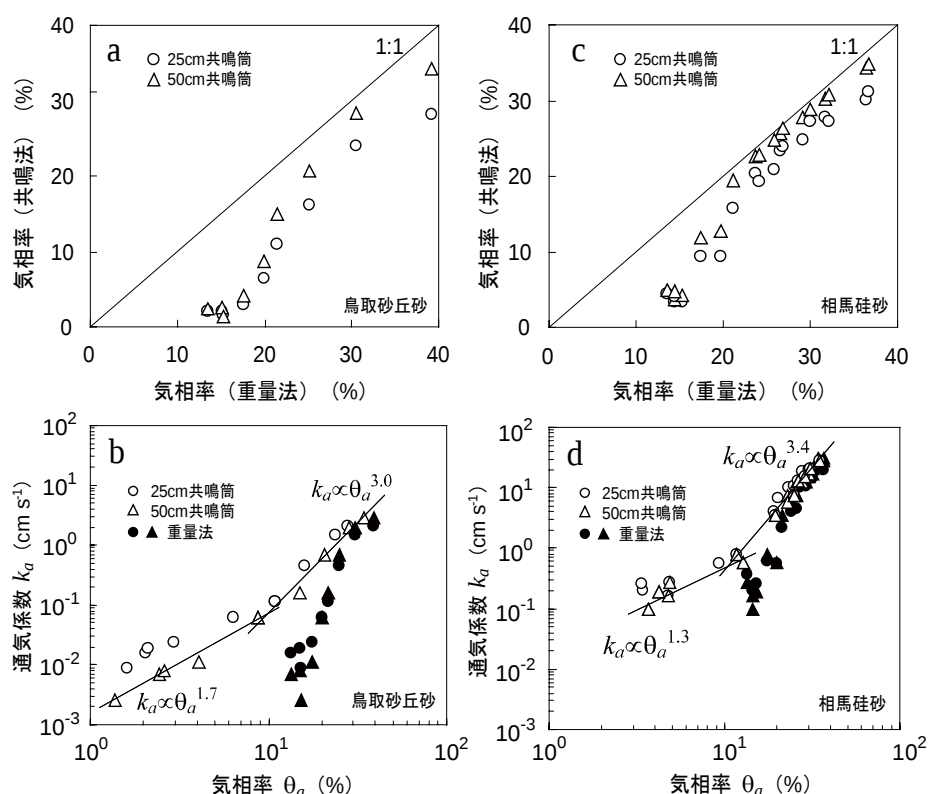


Fig.2 重量法による気相率と共鳴法による気相率の比較, および気相率と通気係数の関係 (鳥取砂丘砂 (a,b) と相馬硅砂 (c,d)) Comparisons of gas phase ratio obtained by gravimetric method with that by resonance method and relationships between gas phase ratio and air permeability, each for Tottori dune sand (a and b) and Soma silica sand (c and d)