

# 音波の共鳴現象を利用した土壌の通気性の評価

## Estimation of air permeability of soil based on the principle of sound resonance

○深田耕太郎\*, 三野徹\*\*, 中村公人\*, 西津貴久\*, 川島茂人\*

FUKADA Kotaro, MITSUNO Toru, NAKAMURA Kimihito, NISHIZU Takahisa, KAWASHIMA Shigeto

1. 研究の目的 土壌中に存在する空気には、大気と連続した空気と水分によって大気から孤立した空気がある。大気と土壌空気の連続性を知る事は、土壌の通気性や大気と土壌間のガス交換を評価するために重要である。音波の共鳴現象を利用して連続空気量を測定する手法では、共鳴周波数が試料中の連続空気量だけでなく、平均粒径にも影響を受けるという特徴がある。これは、共鳴が起こる条件の中に空気の振動に対する抵抗が含まれていることを示唆している。そこで本研究では、共鳴周波数から空気の振動に対する抵抗を評価し、通気性の指標である通気係数との関係について明らかにする事を目的とした。

2. 実験方法 実験装置を Fig.1 に示す。内径 5cm のステンレス製円筒形サンプラーに内径 2.5cm、長さ 50cm の塩化ビニル製パイプを接続した。スピーカーから音波をパイプ内へ挿入し、マイクでその応答を拾い、共鳴が起きたときの周波数を求めた。そして、試料の質量と粒子密度から空気量を計算し、共鳴周波数の関係を求めた。また、試料の通気係数を大起理化工業株式会社の DIK 土壌通気性測定器を用いて測定した。試料は、平均粒径 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mm のガラスビーズを容積 50~200cm<sup>3</sup> の円筒形サンプラーに充填したものを用いた。試料の乾燥密度は 1.55~1.62 Mg m<sup>-3</sup> となった。

3. 実験結果 Fig.2 にガラスビーズ充填試料の空気量と共鳴周波数の関係を△, □などで示す。粒径 0.8, 1.0mm の場合、共鳴周波数は空気量の増加とともに減少した。粒径 0.6mm の場合、共鳴周波数は空気量の増加に伴って漸減しやがて一定値をとった。粒径 0.4mm の場合は漸減し一定値をとった後次第に増加に転じた。粒径 0.2mm の場合、共鳴周波数は空気量の増加に伴い若干増加した。粒径 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mm の試料に対し、通気係数はそれぞれ 2, 7, 12, 21, 35 cm s<sup>-1</sup> となった。

4. 考察 試料内空気の振動のしやすさを評価するために、実験結果に対して次式を適用した。

$$\cos \frac{2\pi Lf}{c} - \frac{T_0(2\pi f/c)K}{K^2 + (2\pi f\rho_0 V_0 \Gamma)^2} \sin \frac{2\pi Lf}{c} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $f$  は共鳴周波数、 $L$  はパイプの長さ、 $c$  は音速、 $T_0$  は平衡状態における空気の張力、 $K$  はばね定数、 $V_0$  は試料内空気の体積、 $\rho_0$  は空気の密度、 $\Gamma$  は単位質量あたりの減衰定数で

\* 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

\*\* 京都大学名誉教授 Professor Emeritus at Kyoto University

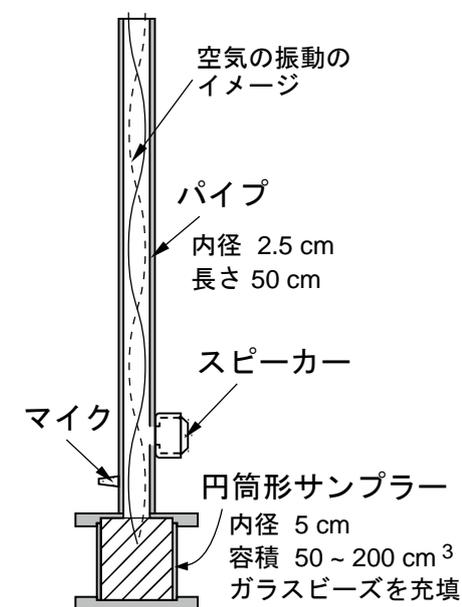


Fig.1 実験装置 Experimental apparatus

キーワード：音波，土壌空気，通気性

ある。(1)式は、試料空気をばねとダッシュポットの並列モデルで表し、パイプ内の空気の振動を三角関数で表したときの共鳴の条件式である。速度に比例した大きさを抵抗するダッシュポットがばねの振動のしやすさを決める。1つの粒径につきサンプラー容積の異なる4つの測定点に対し、最小二乗法を用いて(1)式で表される曲線を当てはめ、減衰定数 $\Gamma$ の値を決定した。得られた減衰定数の値と(1)式を用いて計算した空気量と共鳴周波数の関係を Fig.2 に曲線で示す。粒径 0.2 mm の試料は空気量の増加とともに曲線と測定値のずれが大きくなった。これはサンプラー容積が増加したにもかかわらず実際に振動した空気量は変化しなかったためと考えることができる。

通気係数は、ダルシーの法則によって定義される。

$$Q = A k \Delta h / l \quad (2)$$

ここで、 $Q$  は流量、 $A$  は試料の全断面積、 $k$  は通気係数、 $l$  は試料の長さ、 $\Delta h$  は二点間の圧力水頭の差である。一方、減衰定数 $\Gamma$ は速度に比例した単位質量あたりの抵抗力と定義したので、定常状態の流れにおいては $\Gamma$ による抵抗が流れの駆動力とつりあうと考え、次式を仮定した。

$$a \Delta p = \rho_0 V_0 \Gamma u \quad (3)$$

ここで、 $a$  はパイプの断面積、 $\Delta p$  は圧力差、 $u$  は流速である。水頭の定義より水の密度 $\rho$ 、重力加速度 $g$ を用いて $\Delta p = \rho g \Delta h$ と書ける。(2)、(3)式より減衰定数と通気係数の関係式が得られる。

$$k = a^2 l \rho g / A \rho_0 V_0 \Gamma \quad (4)$$

(4)式に $\Gamma$ の値を代入して計算した通気係数と実際に測定した通気係数との関係を Fig.3 に示す。また、Kozeny-Carman の式から計算した通気係数の値も測定値に対して図示した。その際、ガラスビーズ粒子を球と仮定し、屈曲度を 0.7 として計算した。減衰定数を用いて推定した通気係数は測定値と線形な関係を示したが、測定値よりも 2~4 倍大きくなり、Kozeny-Carman の式から計算した通気係数の値に近かった。原因として、(1)式が実験結果を十分説明できていないことがある。理想的なガラスビーズ試料で通気係数の測定値と Kozeny-Carman の式による計算が一致しなかった点から、通気試験に問題があった可能性もある。

**5. まとめ** 音波の共鳴現象を利用して試料の通気性を評価することを目的とした。試料とパイプを接続した実験装置を用いて、共鳴が起きたときの周波数を求め、試料の空気量との関係について調べた。そして、共鳴の条件式を用いて振動に対する抵抗の大きさを推定し、ダルシーの法則を用いて通気係数に変換した。得られた通気係数は測定値と線形な関係を示した。試料内の振動に対する抵抗を知ることによって通気性を評価できる可能性がある。

**謝辞** 本研究実施にあたり、鳥取大学乾燥地研究センターの井上光弘先生にご協力頂いた。ここにお礼申し上げる。

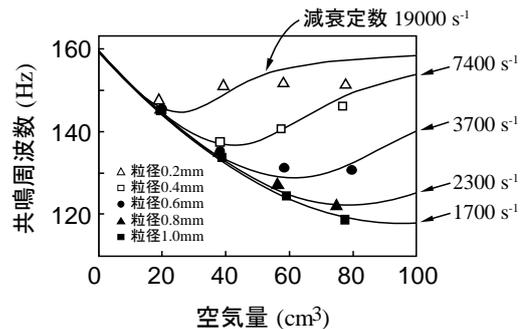


Fig.2 空気量と共鳴周波数の関係 (ガラスビーズ) 図中の曲線は(1)式による。 Relationship between air content and resonance frequency for beads. The curves are obtained by using equation (1)

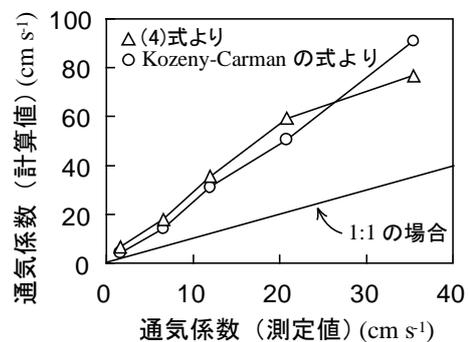


Fig.3 (4)式から計算した通気係数および Kozeny-Carman の式から計算した通気係数と測定値の関係 (ガラスビーズ) Relationship between air permeability calculated by equation (4) and by Kozeny-Carman equation and measured value of air permeability of beads