

# 音の定在波を利用した土壌中の連続空気量の測定

Measurement of continuous air content in the soil using the acoustic standing wave

○深田耕太郎\*, 西津貴久\*, 三野徹\*, 中村公人\*

FUKADA Kotaro, NISHIZU Takahisa, MITSUNO Toru, NAKAMURA Kimihito

1. 研究の目的 大気と土壌のガス交換は、土壌中の生物への酸素の供給や土壌からの温室効果ガスの放出などの点で重要な課題であり、ガス交換においては大気と土壌空気の連続性の把握が不可欠となる。連続空気が封入空気に比べて大気と土壌の境界における空気の振動に大きく影響する場合、空気の振動を利用して連続空気量を直接測定できる可能性がある。そこで本研究では、音波を利用して大気と連続した土壌空気量を測定することを目的とした。

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、スピーカーから音を挿入してマイクでその応答を拾い、パイプに定在波が立ったときの周波数を共鳴周波数として求めた。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(乾燥密度1.55~1.62 Mg m<sup>-3</sup>)、および、粒径0.6mmの相馬硅砂を乾燥から飽和まで9段階に水分調整し100cm<sup>3</sup>円筒形サンプラーに充填したもの(乾燥密度1.49~1.53 Mg m<sup>-3</sup>)を用いた。また、未充填の場合についても調べ、充填試料と比較した。

3. 結果 ガラスビーズ充填試料の結果をFig.2に示す。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。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。0.4mmの場合には漸減し一定値をとった後次第に増加に転じた。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。

砂充填試料の結果をFig.3に示す。共鳴周波数は気相率が15%の場合、パイプが閉塞している場合とほとんど同じ値を示し、20%付近で急激に減少した。

未充填試料の場合、共鳴周波数は空気量の増加と共に減少した。

4. 考察 連続空気の存在によってパイプと試料の境界において空気が振動し、定在波の波長が伸びて共鳴周波数が減少したが、粒径が小さい場合は、境界において空気の振動が制限されたため連続空気が存在していたにもかかわらず共鳴周波数は変化しなかったと考えた。そこで、土壌空気の振動をばねとダッシュポットの並列モデルで表し、これを境界条件として定在波の周波数を計算した。パイプと試料の境界を原点にとり、パイプの伸びている方向にx軸をとると、原点における境界条件は次式となる。

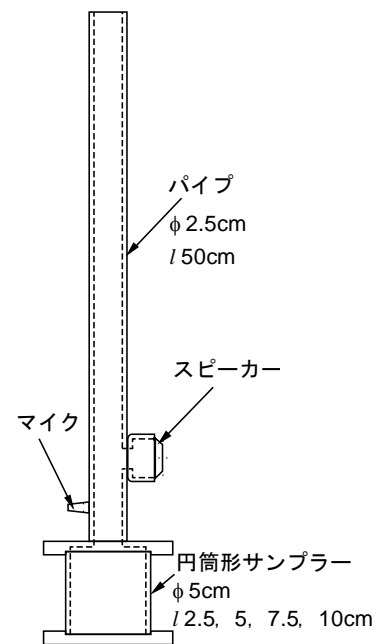


Fig.1 実験装置 Experimental apparatus

$$-T_0 \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=0} = -K\psi(0,t) - M\Gamma \frac{\partial \psi}{\partial t} \Big|_{x=0} \quad (1)$$

ここで、 $T_0$ は平衡状態における空気の張力(N)、 $\psi$ は変位(m)、 $K$ はばね定数(N m<sup>-1</sup>)、 $M$ はダッシュポットによる抵抗力が働く空気の質量(kg)、 $\Gamma$ は単位質量あたりの減衰定数(N s m<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>)、 $t$ は時間(s)である。調和振動を仮定し、式(1)、および、パイプのもうひとつの端が開口端である条件を与えることで次式を得た。

$$\cos kL - \frac{T_0 K}{K^2 + (ckM\Gamma)^2} k \sin kL = 0 \quad (2)$$

ここで、 $k$ は波数(m<sup>-1</sup>)、 $L$ はパイプの長さ(m)、 $c$ は音速(ms<sup>-1</sup>)である。試料の空気を可動ピストンで閉じた円筒と考えると、空気量とばね定数の間には $K = \gamma a^2 p_0 / V_0$ という関係がある。ここで、 $\gamma$ は比熱比(無次元)、 $a$ はピストンの断面積(m<sup>2</sup>)、 $p_0$ は大気圧(Pa)、 $V_0$ は試料中の連続空気量(m<sup>3</sup>)である。また、 $T_0 = \gamma p_0 a$ が成り立つ。Fig.4 にいくつかの減衰定数の場合について式(2)より計算した共鳴周波数の変化と測定値の比較を示す。式(2)は共鳴周波数が試料の空気量の増加とともに減少し途中で増加に変わることをよく表した。

砂充填試料の結果より、気相率が20%付近の共鳴周波数の減少傾向はガラスビーズ試料の結果に比べて大きかった。そしてガラスビーズ試験の結果より、充填試料の粒径が0.6mmのとき連続空気量を40cm<sup>3</sup>まで測定できる。したがって、気相率が20%に満たない高水分状態では、粒径0.6mmで代表される細かさの連続空気量はほとんど存在せず、20%以上になると封入空気同士が連続することによって、同様の細かさをもつ連続空気量が急激に増加したと考えた。

### 5. まとめ 音波の共鳴現象を利用して、大気と連続した土壌空気量を測定することを目的とし、試料とパイプを接続した実験装置を用いてパイプ中の定在波の周波数を求め、試料の空気量との関係について調べた。試料はガラスビーズおよび砂を用いた。その結果、空気量の増加とともに共鳴周波数は減少し、途中で増加に転じた。試料中の空気をばねとダッシュポットの並列モデルで表すことによって共鳴周波数の減少から増加への変化を説明できたことから、大気中で発せられた音波が試料中の空気を振動させること、試料中において振動に対する抵抗力が働くことがわかった。そして、水分量を変化させた場合、共鳴周波数が20%付近で急激に減少したことから、試料中の空気が気相率20%あたりで封入空気から連続空気へ変化した可能性があると考えた。

謝辞 本研究を行うにあたり、鳥取大学乾燥地研究センターの井上光弘先生にご協力いただきました。ここにお礼申し上げます。

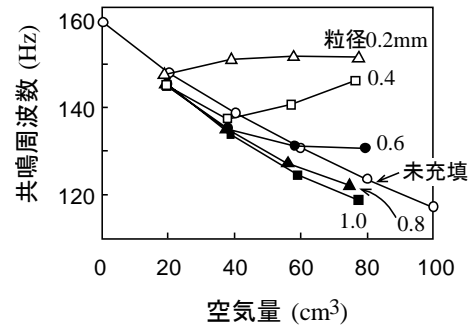


Fig.2 空気量と共鳴周波数の関係 (ガラスビーズ) Relationship between air content and resonance frequency for beads

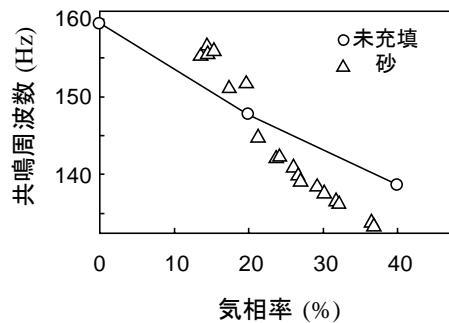


Fig.3 気相率と共鳴周波数の関係 (相馬硅砂) Relationship between volumetric air content and resonance frequency for Soma silica sand

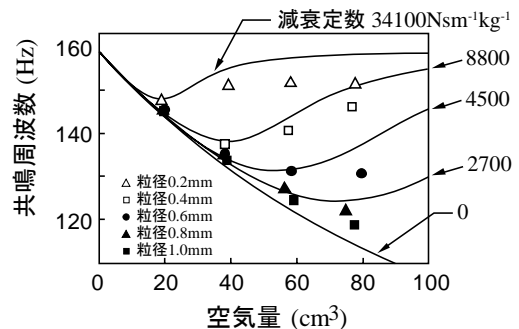


Fig.4 モデルと測定値の比較 (ガラスビーズ充填試料) Comparisons of model with observed data for beads