

## 第Ⅲ部門

## 多孔質弾性論に基づく弾性波の速度分散に関する実験の研究

京都大学工学部	学生員	○勝賢太
京都大学大学院工学研究科	正会員	大西有三
京都大学大学院工学研究科	正会員	西山哲
京都大学大学院工学研究科	正会員	矢野隆夫
(独) 産業技術総合研究所	正会員	高橋学

## 1 はじめに

近年、放射性廃棄物の地層処分などその他様々な用途に地下空間が利用されている。地下空間利用の際の安全性評価のためには対象領域を流れる透水係数の空間分布を把握することが重要である。そこで対象岩盤に対してさまざまな物理探査が行われるが、計測情報から直接的に透水性を評価できるものはない。そこで物理探査結果から直接的に対象領域の透水性を評価ができる新しい物理探査手法が提案されている。この手法を弾性波透水トモグラフィーとよぶ。

弾性波透水トモグラフィーは、弾性波を用いて岩盤の透水性を調査するための新しい技術として検討されている技術であり、ボーリング孔間において複数の周波数で測定された弾性波の走時データから、水で満たされた岩盤中の弾性波速度の分散周波数を調べ、その結果を基に岩盤の水理特性を求めることが可能である。

そこで、本研究では弱層を模擬した人工供試体と天然の岩石における弾性波測定試験の結果より分散周波数と透水係数の関係を検証することを目的としている。

## 2 基礎理論の概要

流体で満たされた岩盤を伝播する弾性波は固体と流体の相互作用により分散現象がおこる。この現象は多孔質弾性論により説明できる。多孔質弾性論には Biot モデル・BISQ モデルというものがある。Biot モデルでは多孔質媒体中に弾性波が伝播する際、周波数によって間隙流体の挙動が異なる。弾性波の周波数が低い場合、流体に働く粘性力が慣性力より相対的に大きく、また弾性波の周期が長いことから固体と流体と一緒に振動する。弾性波の周波数が高い場合、慣性力が粘性力よりも相対的に大きいため流体が骨格内に閉じ込められ、全体の弾性率が上昇し弾性波速度が増加する。このようにして弾性波分散現象を導くことができる。一方、BISQ モデルでは波の伝播方向 (Biot's flow)

に加え、垂直方向の流体の動き (Squirt flow) を考慮しており、Biot モデルと同様に間隙流体の動きが周波数によって変化することから弾性波分散現象を導いている。この現象において弾性波速度の分散周波数は以下の式によって表現できる。

$$\text{Biot 理論} \quad f_{\text{biot}} = \frac{\mu\phi}{2\pi k \rho_f}$$

$$\text{BISQ 理論} \quad f_{\text{bisq}} = \frac{K_f k}{2\pi\mu\phi L^2}$$

$k$ : 固有透過度,  $K_f$ : 流体の体積弾性率  
 $\mu$ : 粘性係数,  $\phi$ : 間隙率,  
 $L$ : Squirtflowlength,  $\rho_f$ : 流体の密度

この Biot 理論・BISQ 理論において定義されている分散周波数は透水係数を含む関数であり、測定された弾性波分散現象から分散周波数を特定することで透水係数を推定することが可能である。

## 3 室内実験

本実験では弱層を模擬して作製した3種類の人工供試体 (ポーラスストーン) に対して、模擬弱層部の結果と天然の岩石の結果を照らし合わせることで、弾性波分散現象と水理特性の関係を検証することを目的としている。水で飽和させた人工供試体に対して弾性波を透過させ、各周波数における弾性波速度を測定した。この測定により得られた弾性波測定結果と天然の岩石に対して行った弾性波測定結果と照らし合わせることで、弾性波分散現象と水理特性の評価手法に関する考察を行った。また別途室内実験より透水係数、間隙率は既知である。

## 4 測定結果と考察

図1に人工供試体の測定結果及び天然の岩石における測定結果を示す。

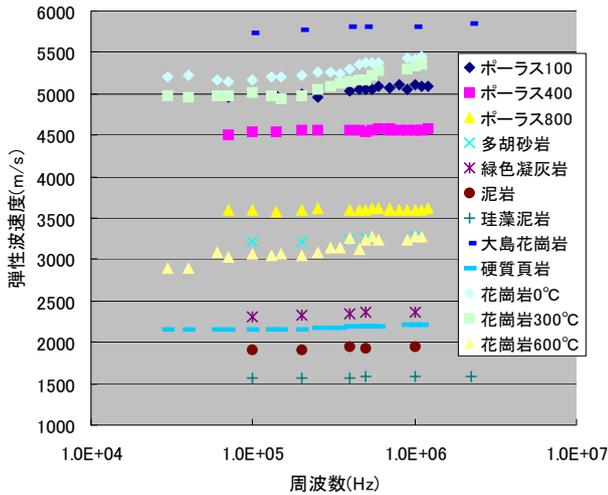


図1 弾性波測定試験結果

人工供試体及び天然の岩石において弾性波分散現象を確認することが出来た。次に弾性波速度と透水係数の関係を示したものを図2に示す。弾性波速度と透水係数には関係はないと考えることができ、透水係数と分散周波数の関係性が重要になってくる。

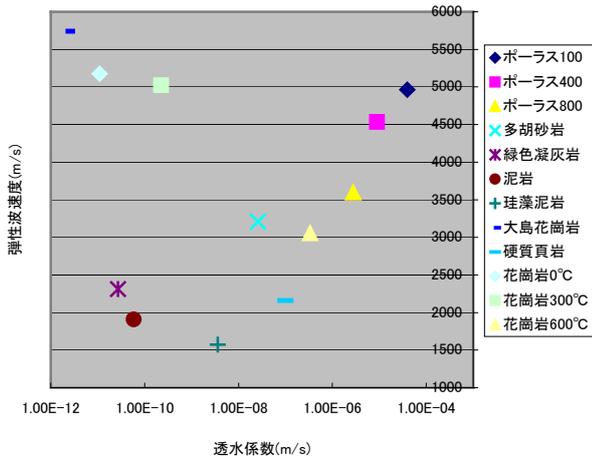


図2 弾性波速度と透水係数の関係

透水試験の結果のより温度履歴の与えた花崗岩と粒径の小さいポーラス 800 においては同程度のオーダーの透水係数だとわかったので、Biot 理論に従って分散周波数と変曲点について調べたものを図3に示す。図3において花崗岩においては分散周波数と変曲点が一致していると考えられるが、ポーラスストーンでは変曲点が一致しているとは考えにくい。この事より、Biot 理論においては測定結果から透水係数を評価することが難しいことがわかる。

BISQ 理論において同様の2種の供試体に注目して分散周波数を求めた結果を表1に示す。双方の分散周波

数の値に違いが出ていることがわかるが、ポーラスストーンにおいては分散周波数と変曲点が一致しているとは考えにくい。今回は Sqrt flow length としては粒径の値を使用したが、SFLの可能性としては粒径以外にも内部の最大空隙径だと考えることもできるため、簡単に一致していないとは言いきれない。このためにも Sqrt flow length の決定付けることが今後の課題になってくる。

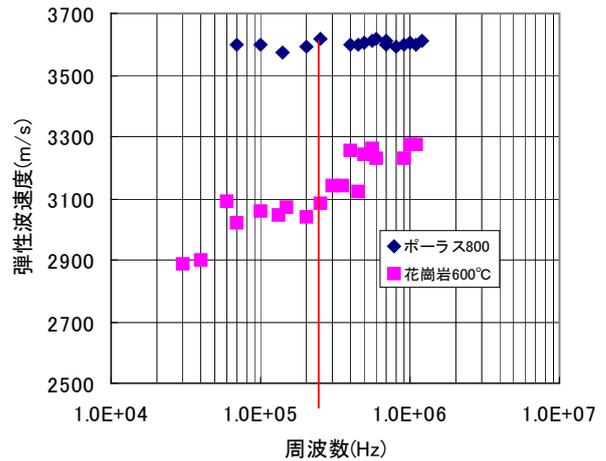


図3 ポーラスストーンと花崗岩の比較

	分散周波数(Hz)
ポーラス 800	2.55E+05
稲田花崗岩 600	2.10E+05

表1 BISQ 理論における分散周波数

## 5 まとめ

得られた弾性速度から透水係数の評価を行うためにはBISQ 理論を特徴付ける Sqrt flow length の概念を明確にし、その値を求めることによって、透水係数を推定できることが可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) M.A. Biot : Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. I .Low-Frequency Range, Reprinted from Journal of Acoustical Society of America 28, 168-178 (1956)
- 2) Jack Dvorkin and Amos Nur : Dynamic poroelasticity: A unified model with the squirt and the Biot mechanisms,-Geophysics 58, NO.4; 524-533 (1993)