

京都大学大学院	学生員	○垣野内 隆一郎
京都大学大学院	正会員	大西 有三
京都大学大学院	正会員	西山 哲
京都大学大学院	正会員	矢野 隆夫

1. 要旨

本研究では堆積岩中の間隙流体に海水が混入した場合の弾性波の速度分散現象に対する影響を検証することを目的としている。そのために、海水を模すために間隙流体の密度を変化させて、それにより生じる弾性波の速度変化を調べる。そして、密度による影響を Biot 理論に適用して得られた結果から、現場の弾性波トモグラフィ、そして広域の透水場を知るための弾性波透水トモグラフィに対する適用性を提案する。

2. Biot の基礎理論

本章では基礎理論として、多孔質弾性論を前提とした、間隙を有する媒質中を透過する弾性波理論について説明する。その中で Biot 理論についての概要を説明し、その理論により導かれる弾性波の分散現象について述べる。

地下水面よりも下にある土や、海底や河底に堆積した土は完全に水で飽和されており、このような水で飽和された土に対して力が加わった場合、その変形は土自身の変形のみで決まらず、水との相互作用が大きな影響を与えることになる。この事は波動が伝播する場合においても例外でなく、その伝播速度や減衰特性も、土と水の両方の変形特性を加味して考えなければならない。Biot 理論はこの様な固体と流体部の 2 相からなる混合物体に対して Biot¹⁾らによって作られた多孔質弾性論と呼ばれる理論である。

Biot 理論は、弾性波速度の分散現象が起こる原因を、流体で飽和された多孔質媒体中を弾性波が伝播する際に、土粒子と水の間働く粘性による抵抗力が、弾性波の周波数に依存して変化するためと説明している。周波数が低い場合には、水と土粒子と一緒に振動するため土粒子は水による抵抗を受け、結果として土粒子の見かけの質量が増加することで弾性波速度が遅くなる。一方、ある周波数を超えると、土粒子は水の粘性抵抗を受けなくなることで見かけの質量がなくなり、そのために弾性波速度は速くなることを説明している。図 1 に Biot 理論における、固体と流体の運動の概念図を示す。

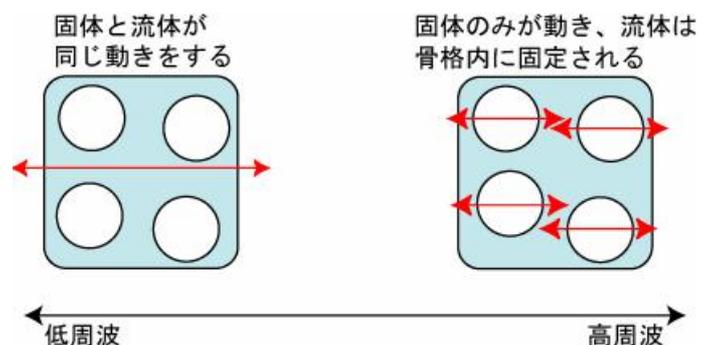


図 1 Biot 理論の概念図

3. 実験

本実験は、間隙流体の塩分濃度の違いによる密度の変化が弾性波の分散現象にどのような影響を与えるかを評価することを目的としている。実験方法は、それぞれ固有の共振周波数を持つ振動子を介して、ファンクションジェネレーターにより振動数を制御した正弦波を、間隙流体で飽和した供試体に透過し、70kHz から 1200kHz の間の 15 種類の周波数で弾性波速度を測定するというものである。

また、実験の前段階として、供試体の間隙は対象の間隙流体で飽和している。弾性波速度は、先に述べ

たように供試体の長さを、内部を透過するのに要した時間で除することで算出している。

各供試体における実験結果を図2および図3に示す。本実験で得られた各実験結果の間の弾性波速度の差は大きいものではなく、その差が誤差の範囲内である可能性を否定できない。したがって、それぞれの結果の標準偏差を求め、その有意性について調べたところ、この差は有意なものであると判断した。両供試体において、周波数が増加するのに伴い弾性波速度が増加していることから、弾性波速度分散現象が生じていることが確認できた。また人工海水の濃度が高いほど弾性波速度が減少するということが確認された。今回の結果を Biot 理論解に Fitting した結果、低周波数域においても弾性波速度の減少が見られた。現場の実験では低周波を用いるために、今回の結果が現場の実験にも適用できるという可能性が示せた。

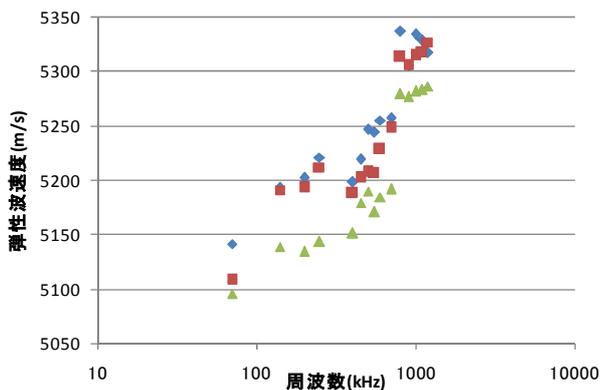


図2 ポーラスストーンの実験結果

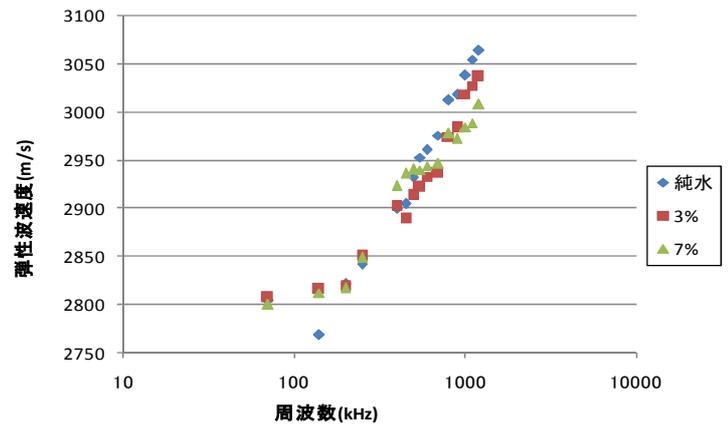


図3 多胡砂岩の実験結果

4. まとめ

本研究では、堆積岩の間隙に海水が混入した場合の、弾性波の速度分散現象に与える影響を検証することを目的とした。そのために、純水、2種類の異なる濃度の人工海水を間隙流体に用いて、ポーラスストーンと多胡砂岩の2種類の供試体を対象に、流体の密度を変化させて、弾性波の分散特性に対する影響に着目し、実験を行った。実験から、両供試体において、流体の密度の変化により、弾性波速度の変化が見られたが、その変化量が大きいものとはいえないため、結果の有意性を確かめる目的のもと、各条件下で得られた実験結果の標準偏差を求めた。その結果、各条件間の速度差に有意性が得られたことにより、流体の密度変化が、分散特性に影響を与えるということが確かめられた。次に、実験結果を Biot 理論に適用し、Fitting して得られた理論解を求めるという方法により、流体の密度が増加するにつれて、弾性波速度が減少するという現象が確認できた。得られた理論解から、海水の濃度変化と、それによる弾性波速度の減少との間には線形的関係があるように見られたが、これについては、よりサンプル数を増やしていくことで精査する必要があり、今後の課題とする。

弾性波透水トモグラフィに対しては、間隙に比抵抗探査により得られる塩分濃度分布から、弾性波速度の減少値を今回の結果をもとに定め、その減少値を用いて、周波数間の速度差を補正することで、より正確な透水場の構築の可能性がある。これについては、現場で用いる周波数域での海水による弾性波速度減少の影響を測れるか、また現場実験と室内実験での弾性波速度に乖離がないかという問題がある。今回の実験の結果を、より正確に反映させる手法について、今後検討していく必要がある。

参考文献

- [1] 狐崎長琅：管の波からみた流体飽和多孔質媒質の縦波弾性波：Biot 理論の単純化モデル，物理探査，Vol.57, No.2, 151-172(2004)