

博士論文要旨

論文題名：実験室における砂地盤中の水飽和度と透過弾性波 の速度分散および減衰の大きさの関係

立命館大学大学院理工学研究科
基礎理工学専攻博士課程後期課程
ナカヤマ マサユキ
中山 雅之

地表付近の比較的柔らかい未固結な媒質に対して、弾性波を用いて、降雨などによる地下の流体分布の時空間変化をモニタリングしようとする取り組みが行われている。地下の水分量変化や流体フローなどの様々な素過程が関係しあう複合過程が見られるフィールドにおいて、収録された弾性波記録から地下流体の挙動を適切に把握するためには、それぞれの素過程が弾性波に与える影響を調べる必要があり、その方法として計測条件を任意に制御できる室内実験が有効である。これまでに固結媒質である多孔質岩石試料に対する弾性波計測から、透過波の速度分散および減衰の大きさが岩石中の含水量に依存することが知られており、岩盤を対象にしたフィールド観測データを解釈することに役立てられている。同様に、未固結媒質に対する含水量と透過波の速度分散および減衰の関係を調べることは、フィールド観測データの解釈のヒントになり得る。しかしながら、未固結媒質中の水飽和度と透過波の速度および減衰を調べた先行研究では、狭帯域での解析しか行われておらず、周波波数依存性も含めて議論することはできなかった。

本研究では、砂粒子で構成した未固結媒質（以下、砂地盤）を使用し、まずは先行研究の技術的な懸念を解決するために、フィールド観測要件を考慮し、ターゲットの特徴的なサイズおよび観測時のセンサー間隔よりも十分短い波長領域において1オクターブの帯域幅を持つ信号を再現性高く発振できる振動源を導入した。乾燥状態および飽和状態の2つの静的な条件下において24時間の透過波の安定性を調べ本計測システムの性能を評価した。その結果、2つの状態間の振幅およびスローネス（速度の逆数）の違いは、それぞれの状態における24時間のばらつきに比べて優位に大きくなった。このことから、本計測システムが乾燥と飽和の両条件下において透過波の振幅およびスローネス変化の違いから地盤の含水量変化を検出する能力を有していることが示唆された。さらに、中程度の水飽和度も含めた弾性波応答を調べるために、本計測システムを用いて湿潤状態からの乾燥過程における弾性波計測を行った。その結果、水飽

和度の増加にともない透過波の振幅は高周波ほど増加し、最大で 2 倍程度になった。これは、水飽和度の増加にともない粒子あるいは粒子塊の非弾性衝突によるエネルギーロスが小さくなった結果であり、その効果は伝播経路上の媒質の平均的な物性を反映しやすい低周波よりも高周波で顕著であったためと考えられる。スローネスは水飽和度の増加にともない低周波ほど減少し (速度増加に相当)、減少量は最大で 40 $\mu\text{s/m}$ 程度になった。これは、減衰媒質を波が透過する際に速度分散が生じると仮定すると、水飽和度の増加にともない減衰が低下した場合に、スローネスが次第に低下、つまり速度の回復 (増加) が見られるとともに、低周波ほどその回復量が大きくなったことで説明され得る。

Abstract of Doctoral Dissertation

Title: Relationships among water saturation, velocity dispersion, and attenuation of elastic waves transmitted through sand in laboratory

Doctoral Program in Advanced Mathematics and Physics
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

ナカヤマ マサユキ
NAKAYAMA Masayuki

Monitoring spatio-temporal variations of fluids in unconsolidated media of near-surface regions due to like rainfall has been performed by using elastic waves. Physical processes observed in field are caused by interactions among many elementary processes in a complex fashion, so how each elementary process affects the elastic waves should be investigated in laboratory to interpret the behavior of fluid appropriately. The amount of pore fluids in consolidated porous rocks affects velocity dispersion/attenuation of transmitted waves in laboratory experiments, which helps interpret data of field observations. However, previous experimental studies on both effects for unconsolidated media were performed only in a narrow frequency range, so the frequency dependence could not be discussed.

In this study, we used sand and installed an elastic wave source radiating highly reproducible signals with an octave frequency band corresponding to sufficiently shorter wavelengths than the characteristic sizes of targets and sensing intervals required in field observations. We measured transmitted waves for 24 hours under dry and nearly saturated conditions. The differences of spectral amplitude and phase slowness (i.e., inverse velocity) between the two conditions were more significant than the fluctuations over 24 hours. Furthermore, we measured transmitted waves in a drying process from a wet condition. The spectral amplitude increased more for higher frequency ranges and became about double as the degree of water saturation increased, and the phase slowness decreased more (equivalent to the increase of velocity) for lower frequency ranges and its change became about $-40 \mu\text{s/m}$. It is indicated that the energy

loss due to inelastic collision among sand particles or masses of the particles decreased as the degree of water saturation increased, which decreased the attenuation of the sand resulting in the recovery (i.e., increase) of the velocity and more increments in lower frequencies.