

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

フリガナ 氏名 (姓、名)	ナカヤマ マサユキ 中山 雅之		授与番号 甲 1529 号
学位の種類	博士 (理学)	授与年月日	2021 年 9 月 25 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項該当者 [学位規則第 4 条第 1 項]		
博士論文の題名	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		
審査委員	川方 裕則 (立命館大学理工学部教授)	清水 寧 (立命館大学理工学部教授)	
	和田 浩史 (立命館大学理工学部教授)	後藤 浩之 (京都大学防災研究所准教授)	
論文内容の要旨	<p>本論文は、固結していない媒質としての模型砂地盤を対象とした研究に関するものであり、その弾性波応答の水飽和度依存性を調べたものである。降雨にともなう斜面崩壊や土石流など、自然災害に直結する現象とも関連が深く、砂地盤と水飽和度に関して弾性波を利用した多くの研究がなされてきたが、砂地盤の大規模変形、水の流れの影響など、複雑な要素が組み合わさった現象であり、様々な特徴的なスケールをもつ挙動・応答が期待されるため、単に弾性波応答といっても、どの過程がどの変化をもたらすかを切り分けたり、その挙動の影響が顕著に現れる周波数帯を調べたりすることが困難であった。そこで本研究では、砂地盤の大規模変形を伴わず、水の流れも無視できる程度の準静的な過程に特化し、水飽和度のみが変化する素過程に近い条件下での実験をおこない、周波数依存性を考慮した弾性波応答が調べられた。本論文は、研究の背景・目的を述べた第 1 章、実験・計測を実現するための技術開発とその性能評価結果を述べた第 2 章、第 2 章で構築された手法をもちいておこなわれた実験結果に基づいて乾燥過程の砂地盤の弾性波応答について述べた第 3 章、まとめと今後の展望を述べた第 4 章からなる。</p> <p>本研究では、容器内に砂を詰めた砂地盤を使用して実験をおこなった。現場での観測への応用を考慮し、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 (砂粒子よりは長い) 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。振動源には、振動機構は維持しつつも湿潤条件下においても使用可能となるように適切な防水処理を施した。周波数変調させた入力信号を送ることにより、微弱かつ広帯域の入力を実現させ、乾燥・湿潤状態の 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、地盤の水飽和度変化を検出する敏感さを有すると期待できるシステムが構築されたことを確認した。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おこなった。その結果、透過波の非弾性減衰は水飽和度の増加にともない高周波ほど低減した。これは、水の浸透に</p>		

	<p>より砂粒子どうし、あるいは砂粒子の集合どうしの摩擦が小さくなることを考慮すると定性的には説明することができるものであった。一方、速度の逆数であらわさ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た。これは、多孔質弾性媒質（固結媒質）に対して与えられる理論的枠組みからの予想に反するものであった。すなわち、固結していない媒質に特徴的なふるまいととらえることができるが、この変化については先に示した非弾性減衰の変化によって現れる速度分散性によって説明ができる。</p> <p>結論として、砂地盤のような未固結な媒質においては、水飽和度を変化させた際に固結した媒質で確認されているものとは異なった周波数依存性をもつ弾性波応答を示すことが明らかとなり、本研究における技術開発およびその技術を用いた実験の有用性が確認された。また、確認された弾性波応答の特徴は、砂粒子間、あるいは様々なスケールを持つ砂粒子の集合間において期待される摩擦等のエネルギー散逸によって定性的には説明可能であることが示された。</p>
論文審査の結果の要旨	<p>本論文の審査に先立ち、公聴会を開催した。公聴会では学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員による口頭試問をおこなった。</p> <p>本論文は、実験的にも解析的にも理論的にも、弾性波のふるまいを取り扱うことが非常に困難である固結していない媒質に関するものであり、地震学的な枠組みでアプローチすること自体が極めてチャレンジングなものである。水飽和度のみの変化に着目し、これまで固結していない媒質ではその重要性にもかかわらず技術的困難さから実施されていなかった周波数依存性を含んだ弾性波応答について検討した点が大きな特徴と言える。</p> <p>実験、データ解析については時間をかけた慎重な取り組みを経て、信頼のおける重要な結果が得られ、非弾性減衰などに固結していない媒質に特有のふるまいが新たに示された。なお、非弾性的な性質、固結していない媒質に特徴的な性質の発現機構についての解釈はさらに深めていくべき課題である。また、多孔質固結媒質に対して与えられている弾性論的枠組みを固結していない媒質に対しての拡張について検討することも課題として残された。</p> <p>固結していない媒質に対する周波数依存性を含んだ弾性波応答の水飽和度変化に応じた変化について、実験上の技術開発を経て新たな知見を与えた点は評価に値するものである。</p> <p>以上の通り、公聴会での口頭試問結果および論文審査を踏まえ、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。</p>
試験または学力確認の結果の要旨	<p>本論文の公聴会は、2021年7月27日（火）14時40分～16時20分まで、びわこ・くさつキャンパスのエクセル 2 生物地球科学実験室およびオンライン(Zoom)においておこなわれた。主査および副査は、公聴会の質疑応答を通して、その将来性を期待し、博士学位に相応しい能力を有することを確認した。審査委員会は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していること確認した。</p> <p>以上の諸点を総合し、審査委員会は、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博士（理学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。</p>