

氏名	Khaled Mostafa Mamoun Abdel Fattah		
学位の種類	博士 (理学)		
学位記番号	第 5241 号		
学位授与年月日	平成 20 年 9 月 30 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者		
学位論文名	Characteristics of gas saturation distribution in shallow soil layers as inferred from down-hole and suspension seismic velocity logging, in Osaka basin, Japan (大阪堆積盆地で見られる地震波速度から推測した浅層地盤中のガス飽和分布特性)		
論文審査委員	主査教授 塩野 清治	副査教授 升本 眞二	
	副査 准教授 原口 強	副査 名誉教授 中川 康一	

### 論文内容の要旨

地震波速度の情報は地質学、地球物理学、地盤工学など広い分野で重要な役割を果たしている。しかし、同じ地質体であっても、計測手法によって得られる速度値が異なるという問題にしばしば遭遇する。これにはいろいろな原因が考えられるが、主な原因の一つに計測システムと関連する周波数帯域の違いが挙げられる。この周波数による効果には、見かけ上のものと本質的なものがある。前者は適用された地震波の波長に起因するもので、波が伝播する物体の大きさに依存するため、検知する物体の分解能と関連する。そのため、物体の不均質性が大きく反映されることになる。後者は、均質な物体における周波数分散を伴うもので、たとえば粘弾性物体によくみられる現象である。

この研究では、数ヶ所の原位置試験や室内試験から異なった手法による速度の違いを明らかにし、その可能な解釈を提示する。一般に地下の地震波速度分布を明らかにするために、検層がよく行われる。ここでは、大阪盆地の表層を対象に、広く用いられているダウンホール法とサスペンション法を実施した。軟弱地盤では、一般に孔壁が崩落しやすいために、孔壁をマッドセメントによって薄く補強することがある。このような場合でも、ダウンホール法による計測では、ほとんど問題になっていない。しかしながら、サスペンション法では、この部分が系統的にかなりの程度大きな速度を示すことが明らかになった。これは対応する周波数領域がより高い計測システムのために、波長の短い波が、薄いけれどもわずかに硬い補強層を捕捉したものである。このような不均質性は P 波よりも S 波の方に敏感であることから、S 波の分散性を調べることによって、不均質性の評価への発展が期待される。地下水面より深い所の地盤は一般に水で飽和しているため、P 波速度は水中の速度より一般に高くなる。しかし、それ以浅では、特に地表付近では P 波速度が極端に小さくなる。さらに、この傾向はダウンホール法で大きくなっていく。この現象を吟味するため、流体を含む粒状集合体のモデルとして知られる White モデルを用いて、空隙に気体と液体が含まれる物体の応力-ひずみ関係から縦波の分散性を調べた結果、上記の両計測手法による測定値の違いをうまく説明できることがわかった。このことから、これまで計測困難であったわずかなガス相の存在率を推定する手法が確立でき、数地点において、飽和度の分布を求めることができた。その結果によると、粒度の粗い砂層にガスが吸着されやすいことが明らかになった。

### 論文審査の結果の要旨

地盤中を伝播する弾性波(地震波)の計測において、手法によってその計測値が異なることがしばしば問題となってきた。主な原因のひとつとして、伝播する地震波の周波数の違いが考えられるが、これまでこの問題に関する系統的な研究はほとんど行われていなかった。本論文では軟弱地盤を対象にした 4 つのボーリング孔(深度: 40m, 50m, 70m, 100m)において、広く用いられている 2 つの手法(サスペンション法とダウンホール法)により地震波速度の深さ分布を精密に決定し、手法間の違いを系統的に検討するとともに、その違いを使って地盤の気体含有率を決定する新しい手法を提案している。

まず、流体を含む粒状集合体のモデルとして知られる White(1975)のモデルに基づいた理論的考察から、空隙に気体と液体が含まれる物体の縦波速度には周波数依存性があり、周波数の異なる速度値か

ら気体含有率を決定できる可能性があることを指摘し、ダウンホール法による縦波速度とサスペンション法による縦波速度の比から地盤の気体含有率を決定する新しい手法を提案している。

次に、4つのボーリング孔を用いた検層および室内試験の結果に基づいて、地盤の地震波速度の深さ分布を精密に決定し、計測値が手法によってどれだけ違うかを詳しく検討している。顕著な違いの第一は、数m離れた地点において同じ仕様で掘削された、薄いマッドセメントによる孔壁補強を施したボーリング孔とこれを省略したボーリング孔で検層した結果では、やや高い周波数領域のサスペンション法による検層では、横波速度に孔壁補強の影響がはっきり現われたのに対し、周波数の低い領域に対応するダウンホール法では両者に違いが見られなかったことである。両方の検層法を実施することにより、孔壁周縁部の物性と地層の物性を独立に決定できることを示唆する重要な結果である。第二の違いは、孔壁補強のない3本のボーリングいずれにおいても、サスペンション法とダウンホール法による横波速度にはほとんど違いがみられなかったことから孔壁の乱れの影響はなかったとみられるが、それにもかかわらず、縦波速度には系統的な違いがみられ、その差は表層付近で特に著しくなることである。気体の存在が縦波速度に反映されたことを示唆する重要な結果である。

最後に、White(1975)のモデルに基づいて提案した気体含有率の決定法を孔壁補強のない3つのボーリングに適用して、地下水面付近の気体含有率の分布特性を求めている。また、その結果から粘土層に比べ粒径の大きい砂礫層に気体泡が捕獲されやすい傾向のあることを実証している。

本論文で提案された、独立した複数の手法による地震波速度の深さ分布の精密決定に基づく気体含有率の決定法は、他の方法では実測がほぼ不可能な数%以下という微小な地盤の気体含有率を決定できる新しい手法として、地震動被害予測に大きく貢献するものと期待される。また、この手法は天然ガス調査やガスの吸着科学など幅広い分野でも活用されるものと期待される。

以上により、本論文は博士（理学）の学位を授与するに値すると審査した。