

氏 名 かのう やす ゆき  
 加 納 靖 之  
 学位(専攻分野) 博 士 (理 学)  
 学位記番号 理 博 第 2881 号  
 学位授与の日付 平成 17 年 3 月 23 日  
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当  
 研究科・専攻 理学研究科地球惑星科学専攻  
 学位論文題目 ボアホール井戸の大気圧・地球潮汐・地震波に対する応答  
 ——間隙弾性理論に準拠した解析——

論文調査委員 (主 査)  
 教授 川崎 一 朗 助教授 柳 谷 俊 教授 竹 本 修 三

### 論 文 内 容 の 要 旨

申請者は、オープンな井戸の水位に対する間隙弾性論的な理解の基礎となる「岩盤の間隙水圧と井戸の水頭が、岩盤と井戸の境界面でいつも釣り合うよう水が流れる」という力学的な原理に着目し、「岩盤と井戸の境界面で水が流れない」ような方策をとれば、オープンな井戸の欠点がおおきく改善され、間隙水圧の測定精度があがると予想し、密閉したボアホールを使って岩盤の間隙水圧を測定するというたいへんシンプルな方法を提案した。そして実際に測定システムを、神岡鉱山に掘削された茂住断層をつらぬく観測トンネル内の井戸に設置し、2年にわたる長期間の観測を行った。

申請者は、まず間隙水圧が周期数10秒の高周波帯域の地震波を正確に記録するかどうかを調べた。その結果、観測期間中に記録できた地震に関しては、間隙水圧は、P波、SV波からP波への変換波、レーリー波を明瞭に記録することが分かった。申請者は、地震計で記録した速度波形（特にラディアル成分）と間隙水圧記録との類似性から、岩盤の変形を入力、間隙水圧を出力と考えたシステムが、位相遅れのない比例関係をもつ、いわゆるゼロ次のシステムになることを示し、間隙岩盤の挙動は、線形間隙弾性論の枠組みで表現されることを明らかにした。申請者は、この結果をもとに、茂住サイトの岩盤の Skempton 係数を0.75~0.85と見積もった。

つぎに申請者は、ボアホール井戸の応答が、大気圧や地球潮汐のような低周波の帯域（ $\sim 1.2 \times 10^{-5}$  Hz, 周期1日）でも、高周波帯域とおなじようにゼロ次システムの応答となることを確かめ、この周期帯での岩盤の載荷効率とせん断係数の値をきめ、Skempton 係数の値も推定した。

つぎに、周波数特性が低周波側のカット・オフ周波数（0.1cpd, 周期10日）から、岩盤内の水の動きを知るために重要なパラメーターである岩盤の水理拡散係数を  $10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$  と決めた。岩石についての実験室での測定値は  $10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$  であるが、水理拡散係数の範囲が  $10^{-5} \text{m}^2/\text{s} \sim 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$  であることを考えると、2つの値は調和的であると言える。

最後に、申請者は、密閉したボアホール井戸の感度や周波数特性の良さに着目し、2002年の Denali 地震の間隙水圧記録をフーリエ解析し、おどろくべきことに、地球の自由振動のような非常に小さな岩盤の変形をも検出できることを示した。特に、間隙水圧は選択的に伸縮モードのみを感知し、ねじりモードについてはまったく感知しないことを明らかにした。この知見は、ながいあいだ論争がつづけられた「間隙水圧はせん断変形の影響をうけるかどうか」の問題に対して、決定的な解決を与えた。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

世界各地に点在する地表から掘削されたオープンな井戸における水位観測では、地震波はもちろん、地震に伴う先駆的な変化や、固体潮汐までも観測される井戸もある。観測の容易さともあいまって、数多くの観測・研究が行われている。この様な観測が重要なのは、水までを含めた岩盤の応力状態までも含めた、岩盤の固体部分の変形を観測する地殻変動連続観測とは相補的な情報をもたらしてくれる可能性があるからである。

オープンな井戸が地震波を記録すると言っても、レーリー波は記録するがP波やS波などの実体波は記録しないなどの奇妙な特性があり、通常、それぞれの井戸ごとに固有の属性と理解されてきた。従って、それぞれの観測井戸の記録から水の寄与までを含めた岩盤の応力状態についての情報を抽出するには、それぞれの井戸固有の属性が、こういった要素に左右されるのか、何が問題なのか、どのような条件下で井戸が岩盤の応力状態の変化をモニターする手法たりえるのかを、統一的な理論的枠組みに基づいて説明する実証的観測・研究が必要である。

一方、1970年代から、間隙に水が満たされているような岩盤の振る舞い、特にダイラタンシーを記述するための間隙弾性理論の定式化がなされてきたが、現実の地殻において観測的に実証する試みは無かった。

申請者は、彼自身の観測から、1000秒から数日の周期帯で、神岡鉱山の茂住サイトの岩盤の Skempton 係数が0.75～0.85で、周期依存性がほとんど無いことを示した。これは、実験室ではなく、現実の地殻に対してフィールド観測から決められた最初の例だと考えられる。

申請者は、いわれてみれば簡単であるが、誰も考えてみたことのないアイデアを、岩盤の間隙水圧の測定方法の改善に生かし、実際にフィールドで長期にわたってデータを取得し、それを従来の地震学や測地学の手法の助けをかりて解析し、さまざまな知見をえた。このことは、岩盤の間隙弾性パラメーターをフィールドで決める新しい手法を開発したという観点からみても、井戸学という観点からみても、両分野の研究の進歩におおきく貢献すると考えられ、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、主論文および参考論文に示されている研究業績のほか、関連する分野について諮問を行った結果、合格と認めた。