

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	鈴木 健士
論文題目	自然岩石試料の電気トモグラフィーに向けた電流印加表面電位分布の計測手法		
(論文内容の要旨)			
<p>地震発生場や火山活動のプロセスなどの理解を目的として広く実施されている地下比抵抗構造探査の結果の解釈には、室内実験で得られた岩石物性が参照されることが多い。このような室内での電気測定において、試料の平均的な比抵抗計測ではなく内部比抵抗構造をとらえる計測手法を構築できれば、X線CTなどによる可観測な物理量との対比により推定可能な構造がそれ以下の詳細構造をどう反映するかを検証が可能になる。しかし、内部構造推定に使用可能な大きさの岩石試料に対する電気計測は、技術的制約から計測条件や対象が限られていた。本論文では、自然岩石試料内部の比抵抗構造を推定する上で特に大きな障害であった高比抵抗・高接触抵抗試料に対する多点電気計測の手法を構築することを目的として、計測上の問題を克服する方法を提案して有効性を検証するとともに、試験測定のプロセスで得られた結果を考察し、あわせて試料内部の不均質構造の検出性能を評価した。これらを6章構成でまとめている。</p> <p>まず第1章で、開発研究を進める上での問題意識や科学的意義を記述し、岩石試料に対する電気測定の課題を整理した上で、研究の目的を述べている。続く第2章では、実際の計測データの解析やケーススタディに用いるために開発した有限差分法の数値計算コードを説明している。これは、先行研究においてデカルト座標系で定式化されたものを円筒座標系に拡張したもので、その精度を解析解との比較で評価した。</p> <p>第3章では、まず、高比抵抗・高接触抵抗試料の電気計測における様々な課題について整理し、解決策を提示した。構築した計測手法の要点は、接着性や設定自由度の高い電極の選定、安定制御可能な直流定電流源の導入、高入力インピーダンスの電圧計の選定、電流漏洩を防ぐための回路構成、種々のノイズ低減策であり、具体的な機器を例示しつつ詳述した。構築した手法を自然乾燥状態の花崗岩試料に適用することで、実測値が期待通りに高い安定性を持つことを確認した。また、推定される試料比抵抗の確度の評価として、岩石より物性値のばらつきが少ないと考えられる人工試料に対して本手法および従来のバルク比抵抗測定法を適用して、得られた推定値を比較した。第4章では、構築した電気計測手法で多電極アレイ測定を行った。無垢な試料と切れ込みを加工した試料のそれぞれで、電流印加時の試料表面の電位分布を測定し、数値計算から期待される分布とよく一致する測定値が得られることを確かめた。</p> <p>第5章では、まず、試験測定のプロセスで明らかになった試料抵抗と接触抵抗の高い湿度依存性の原因を議論した。比抵抗変化が試料表層だけでなく試料内部でも起きている可能性が高いことを数値実験で推論し、測定結果の精査や空隙内の水分子の移動速度の見積もりに基づき、湿度・温度変化にともなう空隙内への空気の流入・流出が湿度依存性の主要因である可能性が高いと結論付けた。また、フラクチャーを不均質構造としてモデル化したケーススタディを実施し、電位分布測定の計測精度と比較することで不均質構造の検出限界を評価し、形状・大きさごとに検出可能な母岩と不均質構造の比抵抗コントラストの下限を見積もった。最後に第6章にて、本研究の成果をまとめ、開発した計測手法を用いた今後の研究について展望した。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

申請論文は、地下比抵抗構造とその分解能以下の詳細構造の関係性の理解を深める一歩として、自然岩石試料の電気トモグラフィーに必要な不可欠な電気計測手法の構築を行った。

非湿潤状態の自然岩石試料に対する電位差計測では、高試料抵抗・高接触抵抗への対策が最大の問題であった。この問題に対しては、電流印加に応じて試料に生じる電位を計測する際に、電圧計として高入力インピーダンスの測器を使用することが第一に検討されるが、申請者は、これだけでは電圧計の負極から試験電流が漏洩し、安定した計測が実現できないことを突き止め、その解決策として電流源と電圧計の負極を共通化する方法を考案した。さらに電圧計2台を使用しての差動測定により、安定した電位計測を実現した。申請者独自の測定上の工夫はこれだけでなく、安定した電気計測に必要なその他の要素についても、具体的な機器を例示した上で詳述されており、後続する研究にとって非常に価値が高いと評価できる。

申請者は、考案した手法を円筒形花崗岩試料に適用し、測定の精度や測定結果から算出される試料比抵抗の推定確度を評価した。高抵抗・高接触抵抗の試料への電流印加は必然的に微小となるが、 $\text{nA} \sim \mu\text{A}$ のレベルでおおよそ7%の安定した電流印加が行え、また、信号レベルが低下した測定を除けば、おおよそ40%以内のばらつきで電位計測が可能であることを示した。計測データから推定される比抵抗値については、物性値のばらつきが少ないと考えられる導電性プラスチック試料を用いて、従来の測定法による結果と比較し、その差は16%程度であることを確認した。さらに、開発した電気計測システムを電気トモグラフィーに必要な多点電極アレイでの計測に拡張し、電位分布の測定結果を検証した。多点電極アレイの測定は、無垢な花崗岩円筒形試料とそれに切れ込みを加工した試料の2種に適用し、母岩の比抵抗を一定とした数値計算結果と実際に測定された電位分布のモデル残差が20%以下であることを示した。

また申請者は、考案した手法の評価のために実施した試験測定を通じて、自然乾燥状態の花崗岩試料において、温度・湿度変化に伴って印加電流量や測定される電位差が変化することを見出した。この原因を追究するために、独自に開発した数値計算コードや構築した計測手法に含まれない2端子抵抗測定データを活用して、試料抵抗と接触抵抗を分離し評価した結果、その両者が高い湿度依存性を持つことを明らかにした。さらに多点電極アレイでの測定例を精査することにより、この比抵抗変化は、試料表面だけでなく内部まで至っていること、またそれが、湿度・温度変化に伴う密度差で駆動される岩石試料内の気体の移動に起因する可能性が高いことを指摘した。

申請者が新たに構築した自然岩石試料に対する電気計測手法は、先行研究が成しえていなかった条件での内部構造の推定や電気物性の解明に有用であると評価できる。その有用性は、安定性や妥当性の評価結果に加えて、これまで知られていなかった花崗岩試料の比抵抗の高い湿度依存性が試験計測の過程で明らかになったことにも表れている。この計測手法を多種の岩石試料に適用して結果データベース化することで、地球電磁気観測で推定される比抵抗構造と岩石の物性や状態を結び付けて解釈する上で利用可能な参照データが創出されることも期待される。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと判断した。また、令和4年2月2日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降