

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04631

研究課題名(和文) IP法電気探査による地下水賦存域の構造解釈の高度化—水槽モデルからの制約

研究課題名(英文) Precise interpretation of Induced Polarization (IP) structure in groundwater flow system by tank experiments

研究代表者

小森 省吾 (Komori, Shogo)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員

研究者番号：60611192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：地下水資源の賦存状態の把握の高精度化に貢献するため、IP法電気探査で得られる比抵抗・IP特性分布の構造解釈の高度化を実施している。フィールド調査で得られる地下構造の解釈のため、フィールド調査のおよそ100分の1のスケールで複素比抵抗特性を0.01Hzから1kHzの広帯域で計測可能な水槽モデル実験装置を構築し、地下構造の複雑性を模擬した実験を行っている。これと並行して、地下水流動フィールドでIP法電気探査を行い、逆解析の結果やや複雑な地下比抵抗・IP特性分布を得た。これを定性的・定量的に解釈するためのさらなる詳細な受信波形解析、及び水槽実験を実施中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動・地下水汚染リスクへの備えという観点から、地下水資源の保全意識は近年国際的に高まっており、地下水資源量把握のための高精度な地下可視化技術の開発が求められている。IP効果を利用した探査は、粘土粒子の多寡や不飽和状態に感度を持つため地下水資源の賦存状態の把握に有効と考えられているが、一般に複雑な形状を持つ地下比抵抗・IP特性分布を定性的・定量的に解釈することは難しい。本研究はその複雑性を模擬した水槽モデル実験の結果を地下構造解釈に適用するというアプローチであり、フィールド調査・水槽実験双方の結果を総合的に説明可能な構造解釈を行うことで、解釈の精度を向上させることが可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the understanding of the state of groundwater resources, we are improving the structural interpretation of resistivity and induced polarization(IP) distributions obtained by the IP survey. In order to interpret the subsurface structure obtained in the field survey, we have constructed a tank model experimental apparatus that can measure complex resistivity in a wide bandwidth from 0.01 Hz to 1 kHz, which is about 1/100 of the scale of the field survey, and are conducting experiments to simulate the complexity of the subsurface structure. In parallel with this, an IP survey was conducted in a groundwater flow field in Japan, and somewhat complex subsurface resistivity and IP distributions were obtained. Further detailed waveform analysis and tank experiments are underway to interpret this both qualitatively and quantitatively.

研究分野：IP法電気探査による地下構造探査

キーワード：IP法電気探査 地下水資源 水槽モデル実験 粘土鉱物 水飽和度

1. 研究開始当初の背景

気候変動・地下水汚染リスクへの備えという観点から、地下水資源の保全意識は近年国際的に高まっており、地下水資源量把握のための高精度な地下可視化技術の開発が求められている。正確な帯水層の構造把握には、水の量に敏感な物理量である電気物性を利用することが有効的である。本来、岩石・堆積物の電気物性は複素比抵抗として表現されるものであり、従来の電気伝導度の直流成分に加え、電気回路の「コンデンサ」に似た容量成分が存在し、容量成分により地中に印加される電流とその応答である電位差の間に位相差が生じる効果を誘導分極(IP)効果と呼んでいる。IP効果は、水飽和中の粘土粒子の界面や、不飽和状態の鉱物界面で発現することが室内実験レベルで明らかになっている。従来の電気探査・電磁探査で分かる比抵抗構造に加えて、IP効果を利用した物理探査技術(IP法電気探査)により地下のIP特性分布を明らかにすることで、地下水賦存域における地下水の存在形態・帯水層の形状をより詳細に明らかできると期待されている(図1)。しかしながら、実際のフィールドは室内実験とは異なり、構成堆積物・岩石・水飽和率の違い、金属硫化物の有無など、地域ごとに異なった種類・強さの不均質性を有している。このことが得られた比抵抗・IP特性分布の統一的・整合的な解釈を非常に難しくしており、実際にフィールド調査で得られる結果では、比抵抗分布とIP特性分布が一对一に対応しないことが構造解釈の妨げとなっている。IP効果を利用した地下水賦存域の詳細な可視化を実用化するためには、不均質性を生み出す物質及びその構造的特徴が地下の比抵抗・IP特性分布に与える影響を経験的に把握する必要がある。

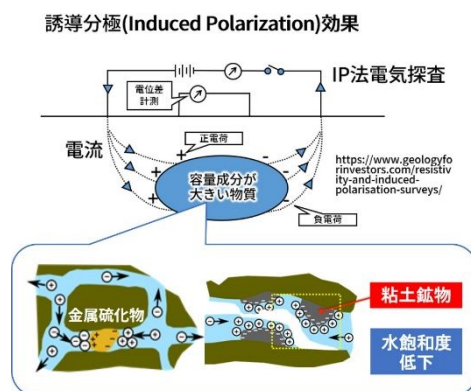


図1. IP効果の仕組みとIP法電気探査

2. 研究の目的

上記背景の下、IP法電気探査を地下水資源の賦存状態の把握の高精度化のために実用化することが最終的な目的である。この目的を達成するためには、「地下構造の複雑さ(不均質性の種類やその強さ)が比抵抗・IP特性分布としてどのようにイメージされるのか」という学術的問いに答える必要がある。本研究では、構成堆積物・岩石・水飽和率の違い、硫化鉱物の有無などの不均質性の種類・強さを变化させた人工のミニ・フィールドを実験水槽内に構築し、ミニIP法電気探査により可視化される水槽内IP特性構造と不均質性の特徴を解明することと、これらの知見を実際のフィールドで実施されるIP法電気探査から得られる比抵抗・IP特性構造解釈に利用し、解釈の高精度化を試みることを直近の目的としている。

3. 研究の方法

(1) 水槽モデルシステム及びミニIP法電気探査システムの構築、水槽モデル実験の実施

本項目では、室内で野外調査と同様のIP法電気探査を実施可能なミニ・フィールドを構築する。ミニIP法電気探査用に、超小型の電流送信用ステンレス電極・電位計測用非分極電極を導入する。実験の初段階では、ガラスビーズを水槽内に充填し、規定の電気伝導度を持つKCl溶液を飽和させた状態で計測を実施し、理論通りの比抵抗値が計測されることを確認し、精度検証を行う。実際のフィールドでの発生が予想される不均質構造を模擬し、ミニIP法電気探査による比抵抗・IP特性分布の可視化を行う。

(2) IP法電気探査システムによる地下水賦存域における地下IP特性分布の解明

(1)と並行して、不均質要因と比抵抗・IP特性の不均質構造との関係における知見を実フィールドにおいて適用するため、日本国内の地下水賦存域を例にIP法電気探査を実施する。IP特性構造により同領域がどのようにイメージされるかを把握し、構造解釈の高度化を試みる。

4. 研究成果

(1) 水槽モデルシステム及びミニIP法電気探査システムの構築、水槽モデル実験の実施

本項目について、50cm 四方、深さ 20cm のアクリル水槽と共に、多 CH で計測を効率的に実施するための電極ケーブルシステムを作成した(図 2)。本システムは、電極間隔 1cm, 1 測線あたり 48 極の電極システムから構成され、電流電極には銅電極、電位電極には非分極電極である銀-塩化銀電極を使用している。電極配置は dipole-dipole 及び wenner 配置を想定している。IP 特性測定装置には、電気化学測定装置(Princeton applied 社製 Versastat4)及び時間領域 IP 法電気探査装置(Iris instruments 社製 Syscal pro with fullwaver)を使用した。前者の装置は測定に交流電流を用い、物質の複素比抵抗(比抵抗、位相差)を周波数領域で測定することが可能(スペクトル IP 法電気探査)であり、0.01 Hz-1 kHz までの詳細な IP 特性を明らかにするために用いた。後者は測定に直流電流を用い、物質の IP 特性を 2 次電位の時間減衰として測定する装置で、前者が 15 分程度の測定が必要なのに対し後者は 1 分程度と高速な測定が可能である。精度検証試験では、非分極電極の不安定性に起因する計測誤差等が大きな問題となった。当初市販の銀-塩化銀電極を電位電極に使用して計測しスペクトル IP 法測定を実施していたところ、使用する銀-塩化銀電極のペアの違いで符号が反転する等測定結果が大きく乖離し、100Hz 以上の高周波数側で乖離が顕著であった。検討の結果、銀-塩化銀電極に使用している銀線の直径が小さいことが原因であることが判明し、より直径の大きい銀線を利用して電極を改良したところ、測定結果の乖離がほぼ見られなくなった。また、水槽実験のスケール由来の問題として、電極と測定対象の接地インピーダンスが非常に大きいことにより、スペクトル IP 法測定において高周波数側の位相測定に大きな誤差が生じる可能性があることが分かった。この問題については補正手法を考案することを試み、概ね解決可能であることを確認した。現在、地下水フィールドで想定される地質構造(砂・粘土の成層構造)をベースに構成堆積物・水飽和度・金属硫化物等に起因する空間的不均質性を模擬した室内試験を継続中である。

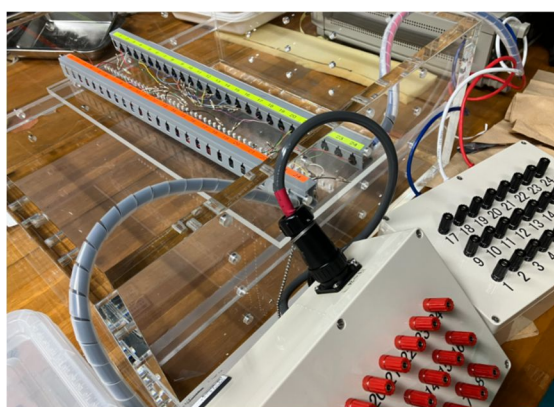


図 2. 作成した水槽装置・電極ケーブルシステム

(2)IP 法電気探査システムによる地下水賦存域における地下 IP 特性分布の解明

本研究では、syscal pro と高サンプリングレートデータロガー(サンプリング周波数: 10 kHz)を組み合わせた時間領域 IP 法計測システムを使用した。電極配置は dipole-dipole 法を基本とし、電極間隔は最大 3m、48CH のシステムにより最大測線長 141m、最大探査深度 30m 程度の測定が可能である。デューティ比 50%、パルス幅 2 秒の矩形波電流を送信し、電流遮断後 1 ミリ秒-2 秒の 2 次電位の減衰を測定する。上記システムを用いた時間領域 IP 法電気探査を国内地下水流動フィールドで実施した。データ取得等順調に推移し、テストケースに最適なデータを取得した。見掛比抵抗・充電率データから逆解析により比抵抗・IP 特性(充電率)の空間分布を推定したところ、表層付近の粘土質層に対応すると考えられる低比抵抗かつ充電率の高い領域が見いだされた。また、下層に砂礫層に対応すると考えられる高比抵抗域が推定されたが、同領域には充電率の高い領域と低い領域が存在しており、何らかの不均質性を反映していることが示唆された。現在、全波形(fullwave)記録の特性解析を実施しており、IP 特性モデルの 1 つである Cole-Cole モデルを利用した逆解析手法により地下の Cole-Cole パラメータ分布から周波数特性(複素比抵抗)を求め、より詳細な地下の IP 特性分布を把握し室内実験の結果と統合することで構造解釈の高度化を試行中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------