

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01349

研究課題名(和文) 高時間分解能比抵抗モニタリングによる地すべり地下水流動部把握手法の開発

研究課題名(英文) Development of groundwater flow pass detection method for landslides by resistivity monitoring with high time resolution

研究代表者

中里 裕臣 (Nakazato, Hiroomi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・主席研究員

研究者番号：00373225

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：塩水トレーサの流下状況を地盤比抵抗の変化として検出する比抵抗モニタリングにより地すべりの安定性を左右する地下水流動部の把握手法を確立するため、高速電気探査システムにより従来探査システムの課題であった探査時間分解能の向上を図った。山形県鶴岡市七五三掛地すべりを試験地として、長さ120m×幅30m×深さ60mの解析領域について、トレーサ注入前190分から注入後180分にかけて900データを10分間隔で取得する時系列探査を行い、逆解析結果からトレーサ注入に伴う比抵抗低下部を検出した。この結果は高流動性水みちの把握手法の確立の基礎となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

同時多点送信・多点受信による高速電気探査システムの現地適用性を検討し、1送信・多点受信の従来装置に対し、比抵抗モニタリングの時間分解能を向上させたが、時系列解析結果においてノイズデータによる偽像の発生が認められ、受信精度の向上が課題として残された。本研究により流動性の高い水みちの可視化手法が示され、大規模地すべりや深層崩壊等の斜面災害対策現場における成果の活用が期待される。

研究成果の概要(英文)：In the resistivity monitoring method that detects the flow-down condition of the salt water tracer as a change in ground resistivity, the problem is that the time resolution is low because it takes 1 to several hours to measure one sequence. In order to establish the method of detecting the groundwater flow pass that influences the stability of landslide, we have attempted to improve the time resolution of exploration using a high-speed electrical survey system. For the analysis area of 120 m in length × 30 m in width × 40 m in depth, time series exploration was performed by acquiring 900 data at 10-minute intervals from 190 minutes before tracer injection to 180 minutes after injection at Shimekake Landslide in Yamagata Prefecture. Then, from the results of the inversion analysis, we detected the part where the resistivity decreased due to the tracer injection. This result is the basis for establishing a method for detecting groundwater flow pass with high permeability.

研究分野：土木地質学

キーワード：地盤災害 地すべり 物理探査 地下水流動 時系列探査

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

不均質な地すべり土塊中では、周辺基岩や降雨浸透によりもたらされる地下水は相対的な高透水性部を流動することが想定され、基岩中にも亀裂を流下するパイプフローの卓越が想定される。地すべり対策調査において、地すべり土塊を不安定化させる地下水の流動部を把握することは重要であり、平面的には地温探査、自然電位探査及び比抵抗モニタリングなどが適用され、鉛直的にはボーリング孔を利用した地下水検層や孔内微流速測定等が行われてきた。しかし、面的な調査法は主に不飽和帯の浅部流動を対象としており、大規模地すべり冠頭部などの深部の流動部把握は困難であった。また、実効雨量を指標とする地下水位降雨応答解析により地すべりの安定性評価に有用な観測井の選定手法を明らかにしてきたが、有意な降雨応答の得られる観測孔は少なく、特に対策工の設計や効果の判定に用いられる地下水位の素性が明確でない事が多い。そこで、低コストで地下水流動部を把握する手法として、流況変化による飽和度変化や塩水トレーサによる人為的な比抵抗変化を2次元電気探査の時系列測定による比抵抗変化部としてとらえる比抵抗モニタリングに着目し、微小な比抵抗変化を検出する差トモグラフィ解析法の採用により地下水流動部の可視化を行ってきた。しかし、2次元断面解析に必要な1断面当たりの計測時間は1～数時間であり、透水性の高い流動場への対応が課題だった。特に山形県七五三掛地すべり地の大規模地すべり冠頭部で行った塩水トレーサの比抵抗モニタリングでは、注入井から60m下流の探査測線で塩水注入開始から1.5時間の解析断面で比抵抗変化が検出され、従来探査システムによる時間分解能不足が明確となった。さらに、検出された地下水流動部の地質状況は確認されておらず、より下流側における観測孔でのトレーサ到達は確認されておらず、地下水流動部の定量的評価に至っていなかった。

2. 研究の目的

(1) 地すべりの安定性を左右する地下水流動部を把握することは、地すべり機構解析および対策工効果判定に資する地下水観測地点を選定し、効果的な対策工を設計・配置する上で重要であるが、その手法は確立されていない。本研究では高速電気探査システムによる高時間分解能比抵抗モニタリングにより、塩水トレーサの流下状況を10分単位で3次元的に可視化するとともに、新設する観測孔における比抵抗変化の実測値に基づき流動部の規模や透水係数等を定量評価する手法を開発する。

(2) 地下水位の降雨応答特性等を指標として地下水流動部とそれ以外の地下水位観測孔を比較し、地すべり機構解析および対策効果判定に対する地下水流動部把握の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

既往調査により推定された地下水流動部において調査ボーリングを行い、地下水位・比抵抗観測を開始する。そして、周辺の観測孔データ及び対策工からの排水状況を考慮して比抵抗モニタリング測線配置を計画する。次に塩水トレーサ投入前後に高時間分解能比抵抗モニタリングを行う。探査に用いる高速電気探査システムでは10分間で1セット当たり最大9216データの取得が可能である。探査データの逆解析には差トモグラフィ解析法を用い、探査結果と観測孔における比抵抗変化の実測値から地下水流動部の規模及び透水性を定量評価する。最終的に、観測孔の水位観測データに対し実効雨量を指標とする降雨応答解析を行い、地下水流動部を意識せずに設置した観測孔に対し、地すべり機構解析に寄与するデータが得られることを示し、地下水流動部把握手法についてとりまとめる。

4. 研究成果

(1) 2018年現地実験

既往調査と同じ条件で斜面上部から塩水トレーサを投入し、斜面下部に配置した4測線の2次元比抵抗モニタリング測線について高速電気探査システムにより10分間隔で9216データを取得する探査を行った。しかし、受信データには時間依存性のある電位増大傾向が認められ(図1)、塩水トレーサ流下に伴う比抵抗低下部は検出されなかった。高速電気探査システムによる計測の前後に実施した従来システムによる探査では、トレーサ注入開始後6～8時間後の探査で比抵抗低下部が検出された(図2)。しかし、推定された地下水流動部に掘削した新設観測孔では孔内の電気伝導度観測に明瞭な変化は無く、観測孔を含むC測線においても観測孔周辺に比抵抗変化は認められなかった。既往調査との違いについては、2013

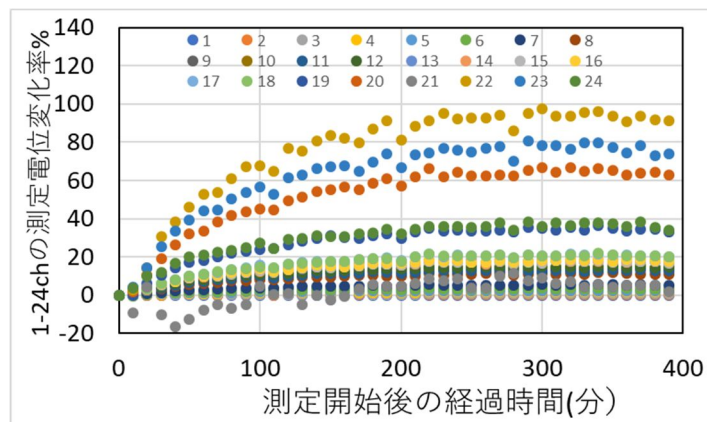


図1 測定電位の時間依存変化例

年の既往調査後に試験地近傍で地すべり対策事業による排水トンネルが完成したことにより地下水流動状況が変化したことが要因と推定した。

(2)2019 年現地実験

2019 年は、高速電気探査システムの受信特性を考慮し、受信レベルが安定する 200 分の予備動作後に塩水トレーサ投入前後の本測定を実施した。また、塩水トレーサ流動を確実にとらえるため、投入孔は新設観測孔とし、その周辺に 4 測線の比抵抗モニタリング測線を配置した。

図 3 は、投入孔を含む測線 B の塩水投入 20 ~ 10 分前を初期値としたときの、(a)塩水投入前 10 ~ 0 分前、(b)0 ~ 10 分後、(c)10 ~ 20 分後、(d)20 ~ 30 分後の比抵抗変化率分布の変化を示したものである。塩水トレーサ投入前の(a)では明瞭な比抵抗変化は見られないが、その後の解析では塩水投入開始直後から比抵抗低下部が検出され、電気探査による比抵抗モニタリングの時間分解能の向上を確認することができた。しかし、図 3 では塩水トレーサの流下から期待される比抵抗低下部の連続的な形状変化を示す解析結果は得られていない。その原因としては、測定毎の電位測定誤差の解析への影響が考えられる。

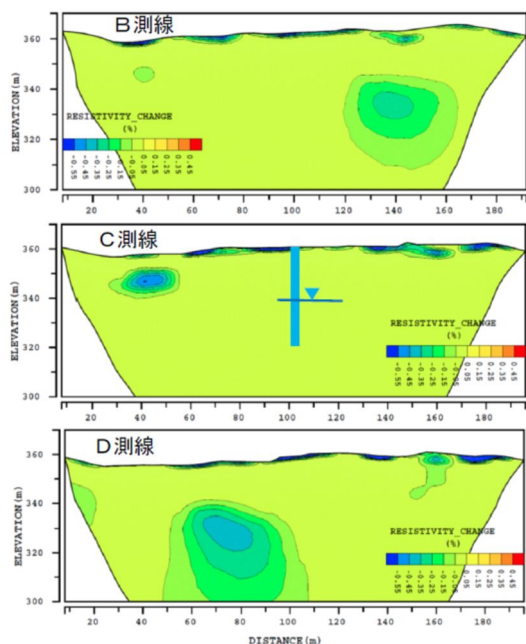


図 2 従来システムによる塩水トレーサ注入 6-8 時間後の比抵抗変化率分布図

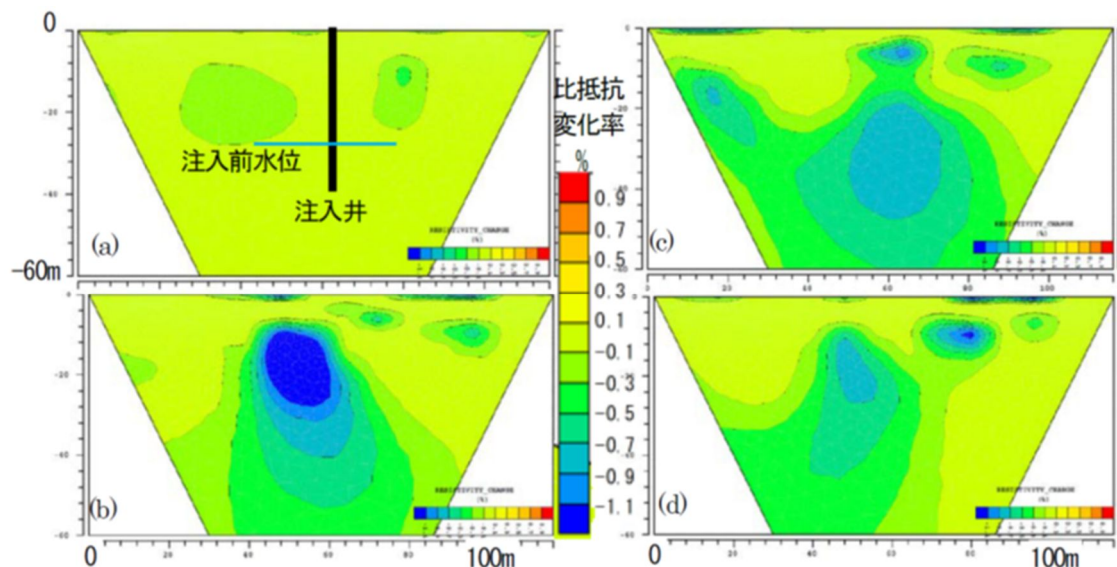


図 3 高速電気探査システムによる 10 分間隔の比抵抗変化率分布図

(3)試験地の地下水流動場の推定

現時点では 2019 年現地実験データの逆解析では残差が大きく検出された比抵抗変化部が偽像かどうかの判別が困難で、確実な地下水流動部の可視化及び流動部の透水性の定量化に至っていない。高速電気探査システムは 2 極法電極配置専用であるが、2 極法電極配置では地下の比抵抗変化に対する計測値の感度が小さいため、逆解析においてノイズデータの影響を受けやすい。ノイズデータ対策として移動平均などによる単純な平滑化ではノイズの影響を拡散することとなるため、今後の課題として、時系列データの変化トレンドから外れるデータの効率的な取捨選択方法の確立と測定システムの安定性の向上が挙げられる。

図 4 は新設観測孔(掘削深度 40m)の水位及び水温の記録である。水位の降雨応答は不明瞭で、実効雨量との相関は認められない。融雪期に 5m 程度の水位上昇が見られるが、2019 年 6 月 18 日の山形県沖地震以降は前年以上に水位が低下し、地下水排除工の効果と考えられる。また、孔内水の温度・電気伝導度検層では深度方向の変化を示さず深度 30m における水温は 5 程度と地下水としては低い値を示す。2019 年 11 月 24 日のトレーサ投入では 30 分間で 500L の投入に対し、深度 5m までの水位上昇を示すが、その後速やかに水位は低下した。このような特徴から、大規模地すべりの冠頭部に位置する試験地では涵養域として鉛直方向の流動が卓越しており、

地下水排除工の影響を受けやすい特性を示すと推定される。

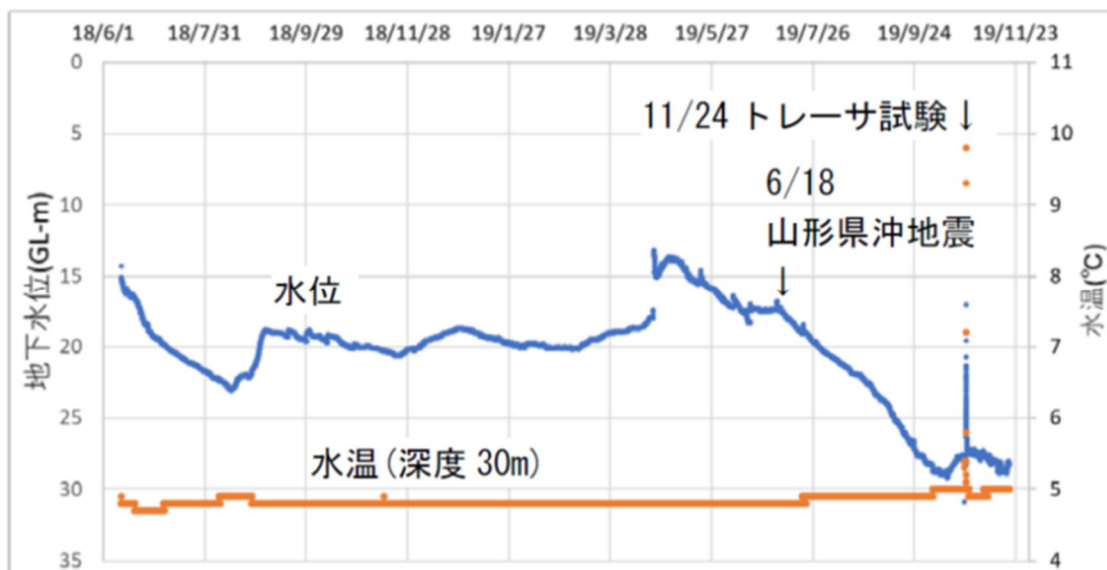


図 4 新設観測孔の水位及び水温変化

<引用文献>

竹内篤雄、地下水調査法-1m 深地温探査、古今書院、2013、225p

奥山武彦、中里裕臣ほか 2 名、地すべり対策地下水排除工による自然電位の変化、農村工学研究所技報、203、2005、231-237

中里裕臣ほか 5 名、長期比抵抗モニタリングにおける地温変化の影響、日本地すべり学会誌、42、2005、303-311

杉本芳博、比抵抗トモグラフィによる電解質トレーサのモニタリング-数値的検討-、物理探査学会第 92 回学術講演論文集、1995、57-62

中里裕臣、井上敬資ほか 4 名、大規模地すべりブロック上部における地下水流動解析のための比抵抗モニタリング、第 41 回日本地すべり学会研究発表会講演要旨、2014、55-56

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中里裕臣・井上敬資・石田聡・白旗克志・土原健雄
2. 発表標題 大規模地すべりブロック上部における地下水流動解析のための比抵抗モニタリング（その2）
3. 学会等名 第58回日本地すべり学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中里裕臣・井上敬資
2. 発表標題 比抵抗モニタリングによる地下水流動部可視化事例
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

〔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
研究分担者	井上 敬資 (Inoue Keisuke) (60414455)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・主任研究員 (82111)	