

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25850170

研究課題名(和文)電気探査による地盤亀裂周辺部の浸透特性の解明

研究課題名(英文) Investigation of the penetration characteristics in the ground crack by electric exploration

研究代表者

井上 敬資 (Inoue, Keisuke)

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・施設工学研究領域・主任研究員

研究者番号：60414455

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)：土構造物に発生した亀裂等の被災範囲を非破壊で把握する手法の提案を目的とし、亀裂に石灰水を注入し、電気探査により地盤の被災範囲を工事着工前に把握する手法の基礎的検討を行った。インターレート試験の高速電気探査による比抵抗モニタリングでは、埋設した水分計と比抵抗変化が一致し、浸透状況を30秒間隔で3次元的に可視化することができた。また、亀裂を有する実規模のため池において、亀裂に石灰水を注入し、高速電気探査で比抵抗モニタリングを行い、経時変化をモニタリングすることができた。

研究成果の概要(英文)：To develop a technique to detect the range of cracks that occurred due to an earthquake, an investigation was conducted for the method where a conductive liquid was injected into the cracks, resistivity surveys were conducted before and after the injection, and distributions of resistivity change were estimated. In the resistivity monitoring at intake rate test by high-speed resistivity survey, a moisture meter and a resistivity change were corresponded, and a three-dimensional infiltration was visualized at 30-second intervals. In the in-situ test, the lime water was injected into the cracks in earth dams, and the range of cracks was estimated monitoring of change in resistivity.

研究分野：農業工学

キーワード：高速電気探査 亀裂調査 モニタリング

### 1. 研究開始当初の背景

ゲリラ豪雨などの豪雨災害が多発する一方、大規模地震の発生確率は常に高い状態にある。一定以上の雨や揺れがあった地域多くでは斜面に亀裂等が発生し、ため池等が決壊した場合は、下流域の人命や財産へ2次被害を与える可能性がある。これらの被害を最小化するためには、災害発生後に迅速な被災範囲を把握し、早急な対応を行うことが必要である。一般的に、ため池等の土構造物では、亀裂が発生した場合は石灰水等を亀裂に注入し、復旧工事時に、掘削しながら石灰の到達範囲を確認し、被災範囲を把握することが行われている。この場合、復旧工事開始前には被災範囲が不明なため、2次災害の防止など早急な対策および適切な復旧対策計画の立案が困難である。この改善を目指して、申請者らは亀裂部に石灰水を注入する際に、導電性の高い物質を添加し、注入材料をモニター材料として電気探査により亀裂の被災範囲を工事着工前に把握する手法を提案している(井上, 2010)。東日本大震災においては、ため池に発生した亀裂に対して本手法を適用し、2次元探査による評価を行っている(中里ほか, 2012)。しかし、注入材料によっては亀裂以外にも浸透することから、長時間経過した後の注入材料の分布は亀裂部への浸透かその周辺への浸透かの区別が困難であることから、比抵抗変化部の時間的広がりをモニタリングする必要がある。比抵抗モニタリングにより選択的な地下水の浸透現象の把握などは試みられている(井上, 2008)が、従来の電気探査システムでは送信電極が一組と限られており、短時間間隔のモニタリングは困難であった。しかし、近年、多点同時送信による時間分解能の高い電気探査システムが提案されており(今村, 2007)、本研究ではこのシステムを試作し、注入物質の浸透状況を短時間間隔で複数ステップを可視化することにより、亀裂地盤の浸透特性の解明を行い、亀裂の範囲・状態を短時間かつ正確に把握する手法を開発する。

### 2. 研究の目的

豪雨や地震の後には斜面に亀裂が生じ、土構造物が崩壊することにより、2次災害が発生する可能性がある。これらを防ぐために亀裂範囲を迅速に非破壊で計測する手法の開発が求められている。そこで亀裂に溶液を注入し、その浸透過程を時間間隔の短い瞬時電気探査システムにより複数ステップの断面を計測することで、亀裂の範囲・状態を短時間で把握する手法の開発を目的として基礎的研究を行う。これにより、被災範囲を非破壊で早期に把握する手法の評価ができる。

### 3. 研究の方法

土構造物に発生した亀裂等の被災範囲を非破壊で把握する手法の開発を目的とし、亀裂に石灰水等を注入し、電気探査により地盤

の被災範囲を工事着工前に把握する手法の基礎的検討を行う。

(1) 室内実験において、比抵抗分布の物理的解釈の適用範囲を検討するため、比抵抗の特性を計測する。

(2) 数値解析において、探査結果と浸透現象を合わせた浸透域の推定法を検討し、探査結果の精度向上及び探査結果からの亀裂範囲把握の高度化手法を検討する。

(3) 屋外実験において、地表面からの電気探査結果・浸透範囲・亀裂範囲の関係を比較検証する。

(4) 実大地盤において、本探査手法の適用範囲を検証する。

### 4. 研究成果

土構造物に発生した亀裂等の被災範囲を非破壊で把握する手法の提案を目的とし、亀裂に石灰水を注入し、電気探査により地盤の被災範囲を工事着工前に把握する手法の基礎的検討を行った。

(1) 電気探査によって解析される比抵抗分布の物理的解釈の適用範囲を検討するため、室内実験において、土質試料の密度、飽和・不飽和による比抵抗の特性を計測した。飽和・不飽和それぞれの状態での密度変化による比抵抗変化は小さかったが、不飽和時に対する飽和時の比抵抗の変化率は密度との相関が大きかった。浸透に伴う比抵抗の変化を計測し、土質の状態を推測することが効果的であることが確認された。

(2) 電気探査結果と浸透シミュレーションを合わせた浸透域の推定法を検討し、探査結果の精度向上及び、探査結果からの現象把握の高度化手法を検討した。地下水涵養試験における比抵抗モニタリングにおいて、透水係数モデルを複数作成し、浸透流と電気探査のシミュレーションにより電位応答を計算した。計算された電位応答と実際の観測値を比較したところ、誤差が一番小さいモデルは実際の湛水状況とおおむね一致した。電気探査から解析された比抵抗モデルからの推定では困難であった透水場の不均一性を浸透流解析と合わせることで評価できる可能性が示された。

(3) インテイクレート試験において、高速電気探査による比抵抗モニタリングを行った。埋設した水分計と比抵抗変化が一致し、浸透状況を30秒間隔で3次元的可視化することができた。また、火砕流台地の地下水涵養過程をモニタリングするために、鹿児島県で地下水涵養試験を行い、時系列比抵抗データを取得した。涵養試験中、低比抵抗となる範

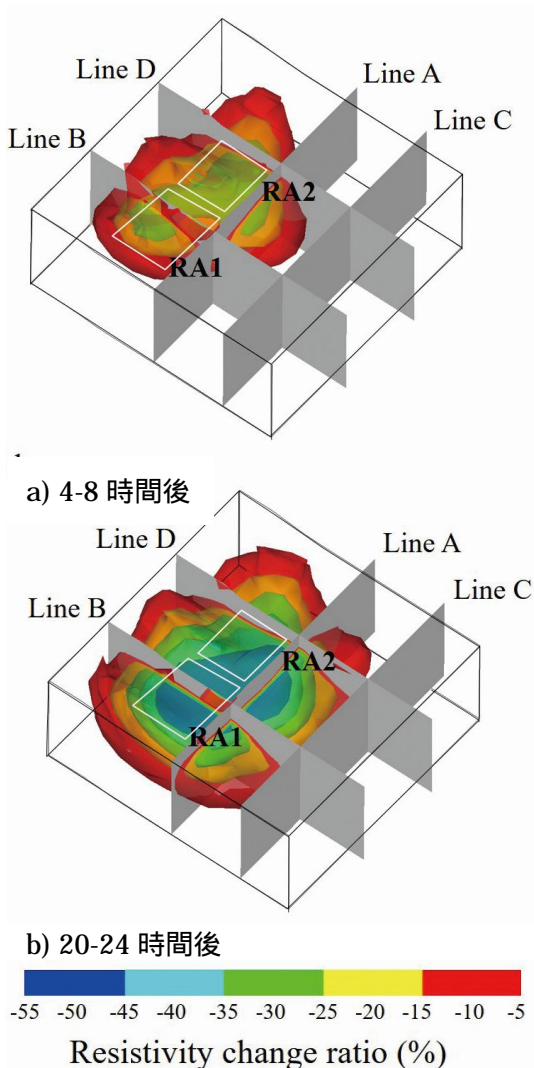
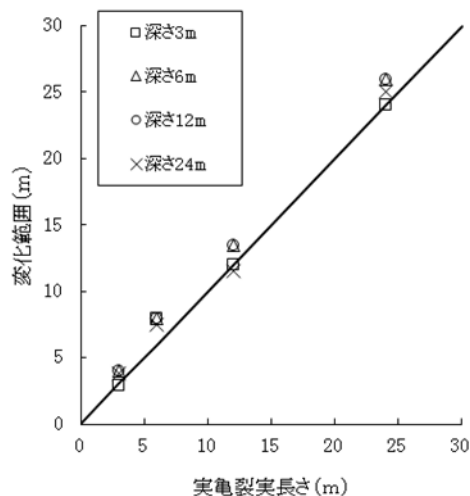


図1 涵養試験中における、比抵抗変化の当数値ボリューム (Inoue et al. 2016)

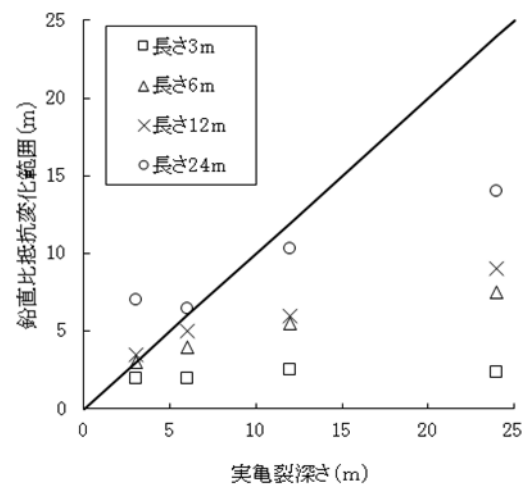
囲は時間とともに変化し、涵養域からの不均一の浸透と特に二次シラス層での涵養水の水平方向への流れを示した(図1)。

また、亀裂に平行・直交する測線を設置した数値実験では、亀裂に平行する測線においては、比抵抗変化がある水平範囲はモデル亀裂長さに対応し(図2a)、亀裂に直交する測線においては、亀裂長さより亀裂深さが大きい場合は、推定深さと実深さの相関は悪くなるが、亀裂長さより亀裂深さが小さい場合は、注入材料の深度方向への広がりを推定できること(図2b)を明らかにした。以上の結果から、亀裂に平行な測線からその水平範囲を推定し、その結果に基づいて直交測線から鉛直方向の範囲が推定可能であることを示した。

(4) 亀裂を有する実規模のため池において、亀裂に石灰水を注入し、高速電気探査で比抵抗モニタリングを行った。数分間隔の経時変化を可視化した。長時間経過した後の石灰水の分布は亀裂部への浸透かその周辺への浸透かの区別が困難で場合があるが、高速電気



a) 平行測線による亀裂長さ方向への広がり の推定精度



b) 直交測線による亀裂深さ方向への広がり の推定精度

図2 数値実験による亀裂に平行・直交する電気探査測線での推定精度(井上ほか, 2014)

探査では、浸透する方向を捉えることができ、被災形態を把握する上で重要なデータとなると考えられた。

#### <引用文献>

- 井上敬資, 中里裕臣, 川本 治, 山田康晴, 正田大輔: 電気探査による地震亀裂範囲把握手法における材料の検討, 農業農村工学会大会講演会, 2010
- 井上敬資, 中里裕臣, 久保田富次郎, 竹内睦雄, 古江広治: 複数測線データの2次元差トモグラフィ解析による土中水動態の準3次元的モニタリング, 物理探査 61(4), 313-321, 2008
- 今村杉夫: CDMA方式を用いた多チャンネル同時通信による瞬時電気探査の可能性: その1: 原理と基礎実験, 物理探査学会第117回学術講演会論文集, 219-22, 2008
- 中里裕臣, 井上敬資, 吉迫 宏, 堀 俊和, 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震によるため池堤体亀裂に対する緊急的

な電気探査, 農村工学研究所技報, 213, 23-28, 2012

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

Keisuke Inoue, Hiroomi Nakazato, Tomijiro Kubota, Mutsuo Takeouchi, Yoshihiro Sugimoto, Hee Joon Kim and Koji Furue, Three-dimensional inversion of in-line resistivity data for monitoring a groundwater recharge experiment in a pyroclastic plateau, Exploration Geophysics, 査読有, 2016, (in press)

井上敬資, 中里裕臣, 堀 俊和, 吉迫 宏, 紺野道昭, 正田大輔, 比抵抗モニタリングによる高透水路推定と斜面の危険度評価, 基礎工, 査読なし, 2015, 43(11), 44-47

井上敬資, 中里裕臣, 2次元電気探査による地盤の亀裂範囲簡易推定手法, 農業農村工学会論文集, 査読有, 82 (2), 2014, 101-111

[学会発表](計 5 件)

井上敬資, 中里裕臣, 久保田富次郎, 古江広治, 吉迫 宏, 紺野道昭, 正田大輔, 電気探査と浸透の3次元シミュレーションによる浸透部の推定, 2016年5月23日, 幕張メッセ国際展示場(千葉県千葉市)

Keisuke Inoue, Hiroomi Nakazato, Tomijiro Kubota, Koji Furue, Hiroshi Yoshisako, Michiaki Konno and Daisuke Shoda, Estimation of high hydraulic conductivity part using simulation of ground water flow and resistivity survey, 2015 Korea-Japan Joint Symposium, 2015年10月20日, 韓国釜慶大学, 釜山市(大韓民国)

井上敬資, 中里裕臣, 堀 俊和, 吉迫 宏, 正田大輔, 降雨浸透比抵抗モニタリングによる弱部検出に基づく斜面危険度評価, 平成26年度農業農村工学会大会講演会, 2014年8月28日, 新潟コンベンションセンター, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)

井上敬資, 中里裕臣, 堀 俊和, 澁谷達也, 電気探査によるため池地山浸透部調査, 第48回地盤工学会発表会, 2013年7月23日, 富山市民プラザ(富山県富山市)

Keisuke Inoue, Hiroomi Nakazato, Toshikazu Hori, Osamu Kawamoto, Hiroshi Yoshisako, and Daisuke Shoda, Resistivity monitoring of rain

infiltration at a slope with cracks for slope stability analysis, 2013 International Joint Symposium on Survey and Evaluation Technologies of Subsurface Environment, 2013年8月21日, 土木研究所寒地土木研究所(北海道札幌市)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 敬資 (INOUE, Keisuke)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)・農村工学研究部門・施設工学研究領域・主任研究員  
研究者番号: 60414455