

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月24日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号22580283

研究課題名（和文） 地盤中選択的流れの原位置評価技術の開発

研究課題名（英文） Development of site characterization technique for subsurface preferential flow

研究代表者 黒田 清一郎 (KURODA SEIICHIRO)

独立行政法人農業食品産業総合研究機構・農村工学研究所・施設工学研究領域・主任研究員
研究者番号：30343768

研究成果の概要（和文）：

新たな波形解析技術の適用や計測システムの開発により、地盤の不均一な構造、および選択的な流れのような不均一な浸透挙動に対して、より高い空間分解能・感度を有する、電磁波探査技術の開発を行った。地盤中の微小な浸透流や間隙空気の状態変化の実態を電磁波探査によって明らかにした。また光電界センサによる多点同時観測システムや、散乱波に注目した波形解析等により、地盤中の微小な変化を把握する観測技術を提案するとともに、その実証試験を行った。

研究成果の概要（英文）：

We develop new measurement and analytical method of electromagnetic survey, in order to visualize hydro-geological structure and to detect non-uniform soil water flow like preferential flow, with higher resolution and sensitivity. We surveyed the subsurface phenomena caused by water and air flow through soil using cross-borehole ground penetrating radar. Especially to detect tiny change in soil, we proposed the monitoring technique based on the simultaneous measurement system using Opt-Electrical sensors and on the waveform analysis technique for scattered electromagnetic wave from preferential flow. Finally we conducted the demonstrative tests for proposed methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業土木学・農村計画学

キーワード：地盤、原位置評価、電磁波探査、浸透、原位置評価

1. 研究開始当初の背景

地盤の諸現象について、そのほぼ全てについて何らかのモデル化、定式化がなされてきたといってよい。しかしながらそのモデル化は、特に実際の地盤中の浸透現象や物質移動現象については完全な成功をおさめたとはいえがたい状況にある。その原因として自然

地盤が本質的に有する不均一性、あるいは不均一な水・物質の流れと、それを実際に現場で把握することの困難性が障壁となっていると考えられる。防災、地域環境、地球環境分野における地盤に関する多くの諸問題について、地盤の不均一性あるいは不均一な水・物質の流れは本質的な現象として関連し

ている。これらの諸問題の解決のためにも、またそれに有効な数理モデルの適用性評価あるいは新たなモデルの創出のためにも、地盤中での不均一な現象を原位置で評価する技術が必要である。

2. 研究の目的

地震学分野におけるコーダ波（後続散乱波）インターフェロメトリの概念の導入や応募者が開発、提案してきた全波形逆解析技術の適用により、従来活用されていなかった初動走時以降に現れる後続散乱波を考慮することによって、地盤の不均一な構造および水・物質挙動に対して従来の限界を超越する空間分解能・感度を有する、電磁波探査技術の開発を行う。それを人工的に作成した模擬地盤（実験土層）や野外の自然地盤で人工的に発生させた不均一な浸透流に対して適用し、同技術の実証試験を行う。以上の研究を通して、従来困難であった地盤中の選択的な水・物質の流れという現象を原位置で（現場）評価解明する技術開発の提案を行う。

3. 研究の方法

不均一な地盤構造および浸透が発生すると考えられる現地において、実規模での野外浸透実験を行ない、繰り返し電磁波探査により浸透現象のモニタリングを実施した。それにより実際の野外の現地では水理地質構造の不均一性により複雑でかつダイナミックでありながら、その水分や気相率の変化が、非常にわずかであることを明らかにする。

次にこのような微小な変化を高感度に、かつ一定の空間分解能を持つ技術として、光電界センサアレイによる電磁波探査システムの開発を行なう。

最後にこのようなシステムと、初動走時より後に発生する反射や散乱波の統計解析から、選択的流れの消長を検出する手法の提案を行なう。

4. 研究成果

(1) 不均一地盤での浸透過程の原位置評価

地質的成員により、あるいは農地としての長期利用による耕盤の形成により、不均一地盤構造を有し、また不均一な浸透が発生すると想定される現地において、実規模での野外浸透実験を行ない、繰り返し電磁波探査により浸透現象のモニタリングを実施した。

下層に砂礫質地盤を有する水田において深度3.5m相当の位置に電磁波を透過させて深層の水分変化のモニタリングを行なった。水田は難透水性の耕盤を有し、一方で下層は透水性の高い地盤である。このような成層構造を持つ地盤では選択的流れが発生することが知られているが、実際に下層地盤での水分変化は平均値としてわずか1%前後

であり、水田表面は湛水しているにもかかわらず、下層地盤は飽和からは遠い状況にあった（図1）。

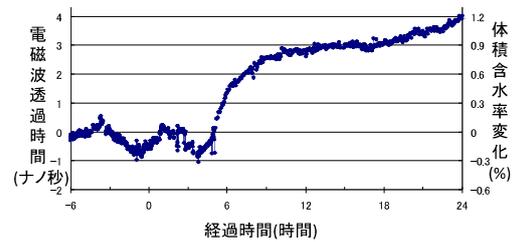


図1：水田中における下層地盤の水分変化

次に砂礫質地盤に建造された調整池において同様の観測を実施した。砂礫質地盤の中には過去の体積履歴により、粘土が挟在した難透水層が複数存在していた。このような層が存在するため、最終的には調整池では2mの湛水に達し、十分な浸透が発生したが、浸透初期においては、難透水層の存在により浸透過程が制限されることがわかった（図2）。また湛水初期においては、浸透は難透水層に制限され、一方で表面からの調整池の水の浸潤強度が強いことから、間隙空気が移動する現象が認められた。

以上のことから、不均一な水理構造を有し、また選択的な浸透あるいは間隙空気の移動が発生するような地盤においては、よりその微小な変化を高感度に検出する技術が必要と考えられた。

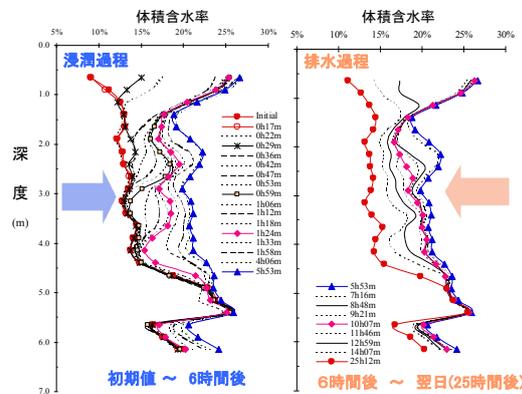


図2：調整池における水分分布の変化

(2) 光電界センサアレイ計測による高感度な地盤浸透観測システムの開発

一般に、弾性波探査においては計測の効率化のために複数以上のセンサをアレイ状に連続的に配置し、またその上で同時計測が実施される。しかし電磁波探査計測では、センサおよび計測システムが比較的低コストであること、ボーリング孔を用いた高精度計測では、ケーブルやセンサの金属と電磁波の干渉が大きいため、同時計測が困難である。

そこでセンサに光電界センサ（電界を光信

号に変換する電磁波計測センサ) および光ケーブルにより構成される計測システムの開発を行なった。

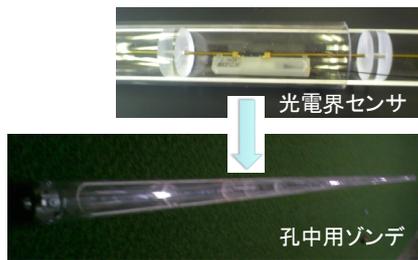


写真1：開発したセンサ

これを現地に適用したところ、複数深度に関する同時繰り返し計測が可能となり(図3)、非常に微小な水分変化を原位置で評価することが可能となった(図4)。

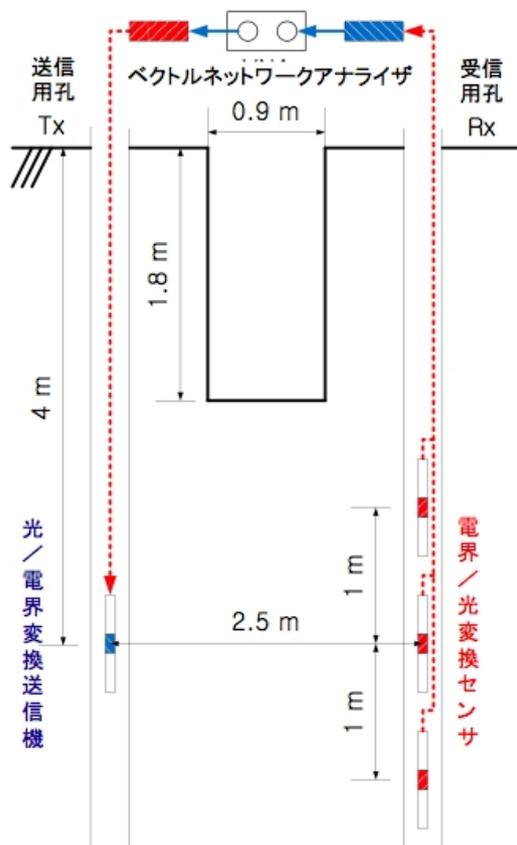


図3：開発した計測システムの現地での配置

(3) 後続散乱波に注目した選択的な浸透流の消長の検出技術の開発 コンクリートで試作した地盤模型に穿孔を行った後に水でみたし、みずみちの発生を再現したのちに、その電磁波探査による検出を試みた。

水みちの発生とともに初動走時の変化はわずかであるが、後続する波形には水分の

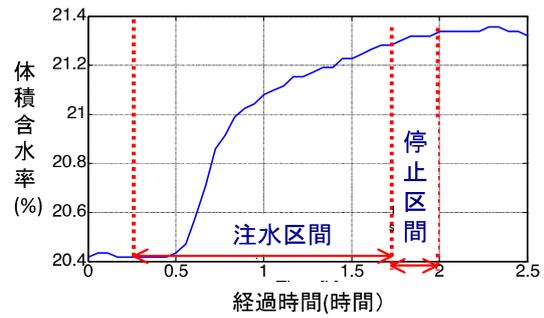


図4：最下部センサでの水分変化

変化が顕著に検出されることがわかった。このことを元に、より微小なみずみちの選択的なながれが発生したとして、電磁波による水みちの消長の追跡を行なった。このような微小な変化の場合、初動付近の変化よりも、媒質の変化をより反映する。このような変化をコーダ波干渉法とよばれる方法によって定量的に解析したおとこ、わずか全体にくらべて0.1%の水みちの増大に対しても、その変化を十分な感度で検出できることがわかった。

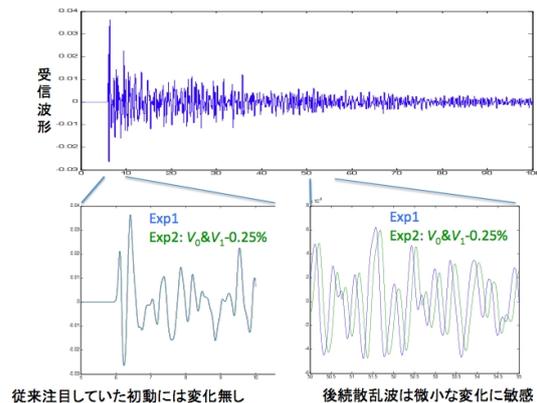


図5：水みちの消長にともなう後続波の変化

以上により、後続波に注目することによって従来よりも高い感度で、複雑で微小な浸透現象とその変化を、検出することが可能となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Hannuree Jang, Seiichiro Kuroda, Hee Joon Kim, Efficient Electromagnetic Imaging of an Artificial Infiltration Process in the Vadose Zone Using Cross-Borehole Radar, 査読有, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, B. 2, 2011, 243-247

〔学会発表〕（計5件）

① Seiichiro Kuroda, Motoyuki Sato, Dong Hun Kim, Kazunori Takahashi, Cross-bore hole radar monitoring for infiltration processes with fixed antennas array of optical electric filed sensors, The 11th Society of Exploration Geophysicists of Japan International Symposium, 2013.11. 18-20, Yokohama

② Seiichiro Kuroda, Hirotaka Saito, Yusuke Yoshida, Mitsuihiro Inoure, Takayuki Kawai, Masayuki Watanabe, Yuji Takeshita, Tomohiro Oka, Applicability of Ground Penetrating Radar for investigation of vadose zone in arid land, Japan Geosciense Union fall meeting proceedings 2012, SCG010-02, 2012. 5.21-25, Makuhari

③ Seiichiro Kuroda, Yuhei Hirono, Hee Joon Kim, Estimation for the breakthrough curves of solute movement in the vadose zone using time-lapse cross borehole radar data, Americal Geophysical Union Fall Meeting, NS33A-1583, 2011.12.5-9, San Francisco, USA

〔図書〕（計1件）

① Kazunori Takahashi, Jan Igel, Holger Preetz, Seiichiro Kuroda, Basics and Application of Ground-Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process/ Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management, InTech, ISBN: 978-953-51-0117-8, 2012, 155-180

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒田 清一郎 (KURODA SEIICHIRO)

独立行政法人 農業食品産業総合研究機構
・農村工学研究所・施設工学研究領域・主任研究員

研究者番号：30343768