

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04782

研究課題名（和文）電気比抵抗をICT活用した杭施工直後の品質確認手法に関する研究

研究課題名（英文）Research on quality confirmation method immediately after pile construction using electrical resistivity with ICT

研究代表者

持田 泰秀 (Mochida, Yasuhide)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：60581171

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：地中の水を減衰媒体とする無線通信性状では使用機器の周波数の違いから水中最大通信距離の変化、無線機出力の増加による通信可能深さの増大、同軸ケーブル使用での伝搬無減衰の増大、土中のセメントソイルでの無線データ送信の500mm間隔で無線通信化の可能性を明らかにした。埋込み杭根固め液の比抵抗計測結果による圧縮強度の評価は、土の比抵抗、圧縮強度、有効セメント水比の関係から、現場の根固め液未固結液中の比抵抗からの良否の判断の可能性を示した。場所打ち杭のスライム評価では、土砂スライム層上の混和材混入の薄いスライム層の存在、スライム管理の手法である砂分率を電気比抵抗で評価できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土中の施工環境となる杭施工は、管理者が直接状況を見ることも出来ないため、これまでの管理者の力量や経験により行われてきた部分が多い。その結果、不具合がある場合、建物の不同沈下など上部建物の現象が表れて初めて明らかにされる状況にある。近年開発されるICT技術の活用の一つとして、土中の施工状況データを瞬時に地上に無線伝達させることは、これまでの視えないものを視える化させるモニタリング施工を実現させ、杭の品質確保や施工管理の生産性を、飛躍的に向上させる可能性が大きい。同時に、瞬時に電気信号から入手出来る施工データを多くの評価手法による活用を実現させることは、更なる施工管理の可能性を広げることになる。

研究成果の概要（英文）：The characteristics of wireless communication using underground water as an attenuation medium revealed changes in the maximum underwater communication distance due to differences in device frequency, increases in communication depth due to increased wireless output, increases in propagation attenuation when using coaxial cable, and wireless communication at intervals of 500 mm for wireless data transmission in cement soil underground. Evaluation of compressive strength based on resistivity of root consolidation liquid for buried piles showed the possibility of judging pass/fail from resistivity of unconsolidated root consolidation liquid at the site, based on the relationship between soil resistivity, compressive strength, and effective cement-water ratio. Evaluation of slime on cast-in-place piles revealed the presence of a thin layer of slime mixed with admixture on top of the soil slime layer, and that the sand fraction can be evaluated by electrical resistivity.

研究分野：建築構造、建築生産

キーワード：土中 無線通信 同軸ケーブル 電気比抵抗 コンクリート強度 スライム 砂分率

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

平成 28 年に国内のマシオンが傾くなど、プレボーリング工法による杭の施工上の品質不良を原因とする社会的問題が生じた。現在のプレボーリング工法による埋込み杭の杭周固定液・根固め液の品質確認は、現場のミキシングプラントから採取したセメントミルクの比重やサンプリングしたセメントミルクの材齢 28 日圧縮強度を確認する方法であり、あくまでも施工中の材料の品質確認が主であり、圧縮強度にいたっては事後確認にすぎない。杭周固定液・根固め液は、施工中に多大なブリージング、孔壁からの土砂の混入、泥水の混入、地下水の侵入等の可能性があり、『施工直後の段階で、最終杭体の品質確認も行うべき。』と考える。この方法が確立されれば、杭の品質管理手法を根本から覆す革新的方法になるのではないかと。

### 2. 研究の目的

プレボーリング埋込み杭工法における杭周固定液・根固め液は、施工中に多大なブリージング、孔壁からの土砂の混入、泥水の混入、地下水の侵入等の生じる恐れがある。本研究では、自作の測定ロッドを用いて地中の電気比抵抗を施工モニタリングし、施工直後の安全な孔壁形態や圧縮強度の確保を実現させる。特に、セメントミルクの早期の電気比抵抗値による材齢 28 日圧縮強度  $qu(28)$  の定量的な評価の推定により、電気比抵抗調査を ICT 技術を活用し、土の中の視える化施工を実現し信頼性の高い施工品質確保や品質確認手法を社会に発信する事を目的とする。

### 3. 研究の方法

令和 2 年度は、コロナ禍での学生等の感染予防のため、3 密回避となる屋外試験を行った。

悪天候、衝撃、回転および接続を伴う杭工事では、有線での通信は適しておらず、取り組むべき重要な技術的課題として、ICT 手法である土中での無線通信化技術があげられる。屋外試験では、土中の電波の減衰しやすい媒質(セメントソイルなど)で空洞部分が満たされる条件から、今回は水を減衰媒体とした無線通信の可能性について検証した。使用機器の周波数 920MHz と 351MHz の違いによる水中最大通信距離の把握、無線機出力が 1W から 5W に増加による通信可能深さの変化、同軸ケーブルによる伝搬無減衰深さの確認を行った。

令和 3 年度は、施工模擬実験を行った。地表に  $B \times D \times H = 500 \times 500 \times 500$  の立方体の孔を 2 カ所掘削し、その孔壁に密着するように地中に防水用のブルーシートを配した簡易的な水槽を作成した。対面する側面に直径 120 mm で深さ 500 mm の塩ビ管を埋込み空洞を作成し、その塩ビ管内の空洞に、地表から 250 mm の深さに伝送用の無線機を設置した。実験手順は、まず、簡易的な 2 つの水槽に水を注入した。地上に用意したバケツにて、珪砂 7 号にて所定比重とした泥水 1、笠岡粘土にて所定比重 1.6 とした泥水 2 を作成した。水槽内の水を排水し、一つの水槽に泥水 1 を注入し、別の水槽に泥水 2 を注入した。次に、水槽内の泥水 1 に珪砂 7 号を少し高比重となる様に追加した。泥水 2 は、笠岡粘土は粘性が高く、攪拌が困難になったため追加はしなかった。24 時間後に両方の水槽のソイルセメント硬化を確認した。前述の各実験手順で、井戸パック 10 を用いて電気比抵抗を継続的に測定するとともに、各実験段階で、ポータブル電気比抵抗計で温度、電気比抵抗および pH を測定した。

令和 4 年度は、電気比抵抗調査の可能性として、場所打ち杭のスライムに関する室内実験と現場施工実験を実施した。室内実験では、安定液に土砂が混入した場合を想定し、試験体作成から約 24 時間後に電気比抵抗の測定を行った。実験材料の安定液の配合は砂質土(珪砂 7 号)・粘性土(笠岡粘土)の混入を想定して、泥水を作製した。電気比抵抗を測定機器として、ポータブル型測定器とミキシングテスター測定器の 2 種類を用いた。通常の水粒子による沈殿槽であるスライム層上に混和剤の層があることにより、ミキシングテスター測定器のみで電気比抵抗値の低下を測定した。通常ポータブル型測定器では測定し得なかった。

令和 5 年度は、これまでの埋込み杭の根固め液における比抵抗計測結果に基づく圧縮強度の評価手法として、土の比抵抗、圧縮強度  $qu$ 、有効セメント水比  $C/W_e$  との関係から、現場で採取した根固め液の未固結液中に電気伝導率計を挿入し、を直接計測することにより瞬時に液の良否を判断することの可能性を検討した。また、大きな直径を有する場所打ちコンクリート拡底杭工法における、地面掘削の最終段階で孔底にスライムや不純物が溜まり、先端杭形状や先端支持力の確保に影響を与えることが考えられる。孔底スライムを適正に処理する特殊ポンプとベントリープラントを用いた施工管理において、電気比抵抗を用いて孔底をモニタリングし、スライム処理出来たかをリアルタイムに管理する手法を実施実験にて行った。

### 4. 研究成果

研究期間全体を通じて、令和 3 年度は、水を減衰媒体とする無線通信性状における杭の施工品質確認のためのデータ送信に関する実験的研究にて、使用機器の周波数 920MHz と 351MHz の違いから水中最大通信距離が 7 倍となること、無線機出力が 1W から 5W に増加すると通信可能深さが 570 cm から 680 cm に増大すること、同軸ケーブルにて深さ 20m まで伝搬減衰がないことを明らかにした。令和 4 年度は、土中のセメントソイルでの既製コンクリート杭の現場施工

品質確認のデータ送信の実験的な研究を行い、通信が不安定な部分もあるものの、500mm の間隔で電波通信が可能なことを示した。また、埋込み杭の根固め液における比抵抗計測結果に基づく圧縮強度の評価では、土の比抵抗、圧縮強度  $q_u$ 、有効セメント水比  $C/W_e$  との関係により、現場で採取した根固め液の未固結液中に電気伝導率計を挿入し、を直接計測することにより瞬時に液の良否を判断することが可能であることを示した。4種類の泥水による室内実験を通して電気比抵抗を用いた場所打ち杭のスライムの室内実験にて、土砂によるスライム層上の混和材混入の薄いスライム層の存在を電気比抵抗で示した。また、スライム管理の手法である砂分率を電気比抵抗で評価できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mochida Yasuhide, Ogunbiyi Joshua Olabamiji , Kouhei Kasahara	4. 巻 20
2. 論文標題 STUDY ON DEVELOPMENT OF SOIL IMPROVEMENT PILE METHOD USING RECYCLED SOIL	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 28,33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2021.82.Gx249	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yasuhide Mochida, Ogunbiyi Joshua Olabamiji, Kouhei Kasahara	4. 巻 Vol.19, Issue 73
2. 論文標題 STUDY ON THE EFFECT OF BAKING SODA ON BLEEDING AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT MILK	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 64-69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21660/2020.73.5669 Geotechnique, Construction Materials and Environment	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Muramatsu ryota, Mochida yasuhide
2. 発表標題 Study on Quality Control of Slime Treatment of Driven-in-place Piles Using Electrical Resistivity -through a Case Study Using a Special Pump and a Bentley Plant
3. 学会等名 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management(IEEM)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasuhide Mochida,Tatsuki Maniwa
2. 発表標題 EXPERIMENTAL STUDY ON DATA TRANSMISSION USED FOR CONSTRUCTION QUALITY CONFIRMATION OF EMBEDDED PILE CONSTRUCTION METHOD
3. 学会等名 The Twelveth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Bangkok, Thailand, from 22-24 November 2022.（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 眞庭颯大, 持田泰秀
2. 発表標題 電気比抵抗を用いた場所打ち杭のスライムに関する研究 4 種類の泥水による室内実験を通して
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村松凌太, 持田泰秀, 酒井幸雄, 藤井敬次
2. 発表標題 電気比抵抗を用いた場所打ち杭のスライム処理の品質管理に関する研究 特殊ポンプとベントリープラントを用いた事例を通して
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 持田泰秀, 松本 洋
2. 発表標題 杭状地盤補強工法の開発 - 鉛直支持力の性能に関して -
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤 壮一郎, 薄葉 信一, 新名 正英, 千種 信之, 藤井 衛, 長谷川 拓磨, 持田 泰秀
2. 発表標題 埋込み杭の根固め液における比抵抗計測結果に基づく圧縮強度の評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川 拓磨、藤井 衛、薄葉 信一、千種 信之、新名 正英、近藤 壮一郎、持田 泰秀
2. 発表標題 比抵抗を利用した埋込み杭の根固め液の圧縮強度評価手法
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 持田泰秀, 眞庭颯大, 足立壮之, 佐藤朗
2. 発表標題 杭の施工品質確認のためのデータ送信に関する実験的研究 - 水を減衰媒体とする無線通信性状 -
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Minemoto, Yasuhide Mochida
2. 発表標題 STUDY ON ROTATION ANGLE ESTIMATION METHOD OF UPLIFT FOUNDATION CONSIDERING PLASTICITY REGION
3. 学会等名 The 10th International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Melbourne (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角田和明、持田泰秀、笠原浩平、松本 洋
2. 発表標題 再生改良土を用いた地盤改良杭工法に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 水硬性固化材液、水硬性固化材液の調整方法、および、置換柱体の築造方法	発明者 松本 洋、持田 泰 秀、角田 和明	権利者 株式会社サン・ エンジニア
産業財産権の種類、番号 特許、登録7011846	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

立命館大学 研究者学術情報データベース、持田泰秀 <a href="https://research-db.ritsumei.ac.jp/rithp/k03/resid/S000986">https://research-db.ritsumei.ac.jp/rithp/k03/resid/S000986</a> 立命館大学理工学部建築都市デザイン学科、生産・材料研究室ホームページ <a href="http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/mochida/research.html">http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/mochida/research.html</a>
--

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
---------	---------