

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560697

研究課題名(和文) 宅地地盤の電気比抵抗による土質の判別法に関する研究

研究課題名(英文) Study on the discrimination method of soil using electrical resistivity in residential sites

研究代表者

藤井 衛 (FUJII, Mamoru)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70130094

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：戸建住宅で一般的に用いられている地盤調査法の1つに、スウェーデン式サウンディング試験(以後、SWS試験と呼ぶ)がある。この試験の最大の問題点は、土の判別が出来ないところにある。本研究では、まず、室内実験によって得られた土の電気比抵抗と間隙水の電気比抵抗から、土の細粒分含有率を評価できる式を明らかにした。これによって、土の判別が可能になった。そして、6つの実地盤において、SWS試験孔を利用した電気検層(電極を孔中に吊るし、地層の電気比抵抗を計測する手法)を行い、室内実験によって得られた推定式が妥当であることを実証した。その結果、94%の精度で土の判別が可能であることを実証した。

研究成果の概要(英文)：Swedish weight sounding test (thereafter, called SWS test) is widely used as a research method to evaluate the residential sites. A disadvantage of SWS test is the inability to determine the soil. Suppose that if it is possible to incorporate the determination method of the soil by electrical resistivity using SWS test holes, a lot of information will be gained. As a basic research, the author attempted to clarify the evaluation method of soil fraction content by using a sample of 56 types of laboratory experiments. Furthermore, field experiments of the six sites were performed to confirm the accuracy of the estimated equation from the laboratory test. And author showed that this estimated equation can be applied with the accuracy of 94% in the field.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：電気比抵抗 スウェーデン式サウンディング試験 土の判別 細粒分含有率

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、約25,000棟を超える戸建て住宅が液状化の被害を受けた。これにより、液状化対策や戸建て住宅の液状化評価手法の検討が重要な課題とみなされ、液状化地盤における対策工法の必要性が社会的に関心を高めている。このような状況下で、特に問題となったのは、宅地地盤の液状化を正確に判別できる地盤調査法が未だに整備されていない点である。

小規模建築物を対象とした宅地地盤の調査法としては、中規模以上の建物の地盤調査法に用いられている標準貫入試験よりも、簡便性、経済性及び迅速性を重視したスウェーデン式サウンディング試験(以後、SWS試験と呼ぶ)が広く用いられている。しかし、SWS試験の短所としては、地下水や土質の判別が難しい点が挙げられる。一方、物理探査の分野では、地盤の薄い砂層の検出方法として電気検層法と呼ばれる方法がある。これは、砂層において電気比抵抗(以後、比抵抗と呼ぶ)が極端に大きな値を示す特性を利用したものであるが、土の判別に使える細粒分の含有率を評価できる段階にまでは至っていない。

本研究は、この比抵抗の特性をSWS試験に活かそうとしたものである。もし、SWS試験孔を利用した比抵抗によって土を判別することができれば、標準貫入試験を行う必要がなくなる。したがって、格段に地盤調査のコストの削減を図ることができる。

2. 研究の目的

本研究は、SWS試験孔に電極を挿入し、電気検層法により土の比抵抗を計測し、その値とSWS試験孔から採取した地下水の比抵抗との比から、地層内の土の細粒分含有率を求め、細粒分含有率が50%以下の土(砂質土)と50%を上回る土(粘性土)を判別できる手法を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、室内実験を主とした比抵抗と土の細粒分含有率との関係を明らかにする実験とその妥当性を検証する電気検層実験に分けられる。以下、それぞれの実験の方法について述べる。

(1) 比抵抗と土の細粒分含有率との関係

ここでは3種類の実験を行っている。1つは各種の濃度を有するKCL溶液を間隙水として土の比抵抗に対する間隙水の比抵抗の比と土の細粒分含有率との関係を明らかにしようとするものである。用いた試料土は48種類である。比抵抗は5×10cmの型枠に詰められた試料土に市販の電気伝導度計を、あらかじめ電極径の大きさに合わせた孔に挿入して計測した。2つ目の実験は測定孔の大きさが、比抵抗に与える影響について検討を行うため、7種類の人工配合土を用いて実験を行

っている。比抵抗の測定は先の室内実験と同じ方法である。ただし、測定孔は7つの大きさのものを用いている。3つ目の実験は、現場を想定した模擬実験であり、まず、深さ4.5mまで自動SWS試験機を用いてSWS試験を実施し、その後、図-1に示す新たに開発した原位置測定用電極を用いて、これを深さ25cmずつ貫入し、所定の深さまで比抵抗測定を行った。表-1に原位置測定用電極の仕様を示す。敷地内には地下水が存在しないため、あらかじめ、SWS試験孔内にKCL溶液を投入して実験を行った。なお、試験に先立ち、地表面から0.5mごとに3.5mごとに土の採取を行った。

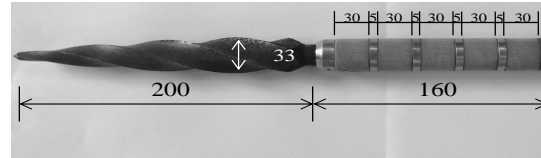


図-1 原位置測定用電極

表-1 原位置測定用電極の仕様

電極間隔	30mm
電極配置方法	ウェンナー法
通電方法	交流法
周波数	60Hz
測定範囲	0.5Ω・m ~ 20kΩ・m

(2) 電気検層法による土の判別

SWS試験及び電気検層による比抵抗試験を実施した場所は、埼玉県2地点、茨城県、千葉県、神奈川県、岐阜県の6地点である。これらの地点から採取した合計49種類のサンプリング試料土を用いて、含水比試験、土粒子の密度試験、液性限界試験及び塑性限界試験や粒度試験を行った。地下水の比抵抗は、図-2に示す採水器を用いた。図-3に比抵抗測定概念図を示す。

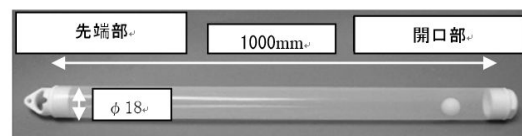


図-2 地下水採水器

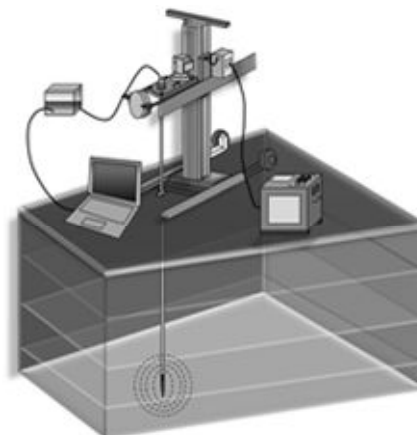


図-3 比抵抗測定概念図

4. 研究成果

(1) 比抵抗と土の細粒分含有率との関係

人工配合土 11 種類について、土の比抵抗と間隙水の比抵抗との関係を調べたところ、両者は、両対数紙上で直線になる傾向にあることがわかった。また、この関係において、砂の割合が大きいほど直線の傾きが大きくなっている。この関係が 37 種類の自然土についても成り立つかどうかを調べた。この結果を図-4 に示す。図中の破線は細粒分 50% の

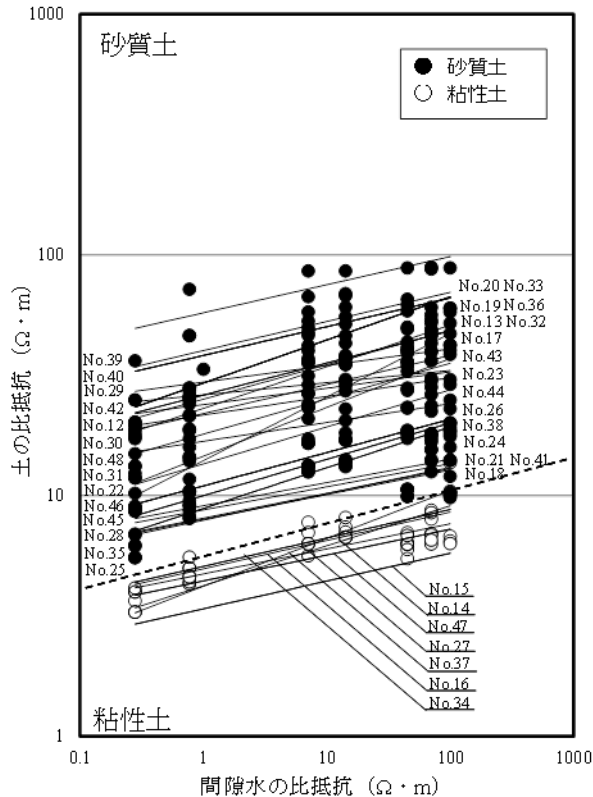


図-4 自然土の比抵抗と間隙水の比抵抗との関係

ラインである。図から明らかなように、自然土においても人工配合土と同様に、粘性土と砂質土の判別は可能であると考えられる。

土粒子間の間隙の大きさは細粒分の含有率の大きさに関係し、間隙が大きい土ほど、細粒分含有率が大きい。したがって、間隙水の比抵抗が同じであれば、細粒分含有率が大きい土ほど比抵抗は小さく考えられる。そこで、間隙水の比抵抗 (R_w) に対する土の比抵抗 (R_o) との比率である F_o と細粒分含有率 (A) との関係を調べてみた。その結果、両者は間隙水の比抵抗が $0.28 \cdot \text{m} \sim 110 \cdot \text{m}$ の範囲において、図-5 のような比例関係が認められた。したがって、細粒分含有率 A は、式 (1) のように表わすことができた。

$$A = aF_o^b \quad (1)$$

A : 細粒分含有率 (%)

a, b : 実験定数

F_o : 間隙水の比抵抗 R_w に対する土の比抵抗

R_o の比率 ($F_o = R_w/R_o$)

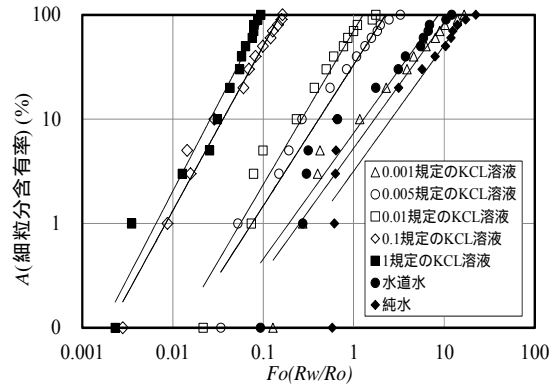


図-5 A (細粒分含有率) と F_o (間隙水の比抵抗 R_w に対する土の比抵抗 R_o との比率) との関係

式 (1) の a と b の実験定数を求めるため、各種濃度の KCL 溶液と純水及び水道水を用いて人工配合土 11 種類の土について調べてみた。その結果、 a と b は、表-2 に示すように、間隙水の比抵抗 (R_w) と密接な関係にあることがわかった。そこで、 a を R_w との関係

表-2 a と b の値

間隙水の種類	比抵抗の値 ($\Omega \cdot \text{m}$)	a	b
1規定のKCL溶液	0.28	44.35	1.62
0.1規定のKCL溶液	0.70	17.7	1.54
0.01規定のKCL溶液	7.01	0.69	1.43
0.005規定のKCL溶液	13.40	0.34	1.33
0.001規定のKCL溶液	70.00	0.05	1.22
水道水	52.80	0.03	1.22
純水	110.00	0.02	1.34

で整理してみると、式 (2) のようになり、 a と b との関係は式 (3) のように表わすことができた。したがって、式 (1) は、式 (4) のように表わすことができる。

$$a = 9.81R_w^{-1.24} \quad (2)$$

$$b = 1.41a^{0.03} \quad (3)$$

a, b : 実験定数

R_w : 間隙水の比抵抗 ($\Omega \cdot \text{m}$)

$$A = 9.81R_w^{-1.24} \cdot F_o^{1.41(9.81R_w^{-1.24})^{0.03}} \quad (4)$$

A : 細粒分含有率

F_o : 間隙水の比抵抗 R_w に対する土の比抵抗 R_o の比率

ここで、式 (4) を用いて自然土の測定細粒分含有率と計算細粒分含有率とを比較した結果、図-6 のように両者は概ね一致した。

図-7 は、測定孔の大きさが比抵抗に与える影響をまとめたものである。図-6 より、孔径に対する電極径 (10mm) の影響はきわめて大きいことがわかる。したがって、原位置の試験孔においては、試験孔径と電極径はほぼ同じであることが必要であると言える。以上から、原実験においては、電極を地盤に接触させる方法を採用することにした。

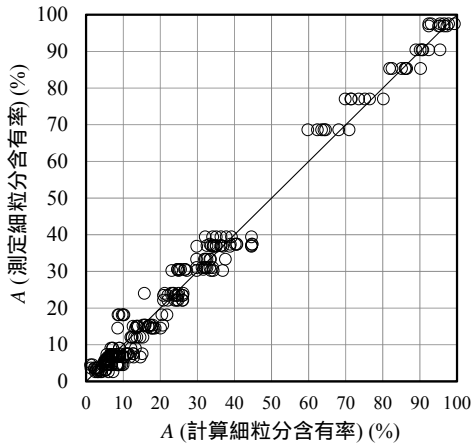


図-6 自然土の測定細粒分含有率と計算細粒分含有率との比較

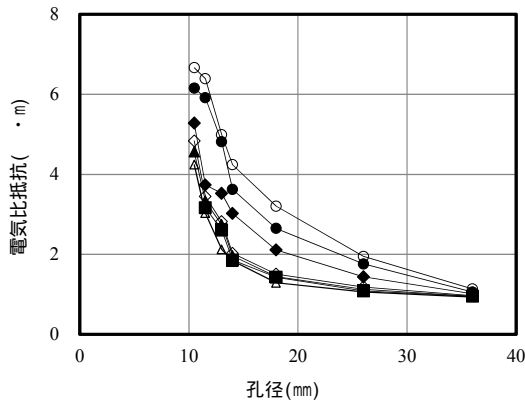


図-7 測定孔の大きさが比抵抗に与える影響

図-8は、SWS試験の結果とSWS試験後の孔内を孔口までKCL溶液で満たした状態で図-1の電極を挿入して測定した土の比抵抗の測定結果と細粒分含有率の計測位置を示したものである。地表面から1.5mまでは砂混じり黒ボクであり、砂粒子の影響を受けて比抵抗は $10 \Omega \cdot m \sim 50 \Omega \cdot m$ まで変化している。図-9は式(4)を用いて測定細粒分含有率と計算細粒分含有率との比較を行った結果である。両者は概ね一致しており、式(4)の適用性が認められることが検証された。

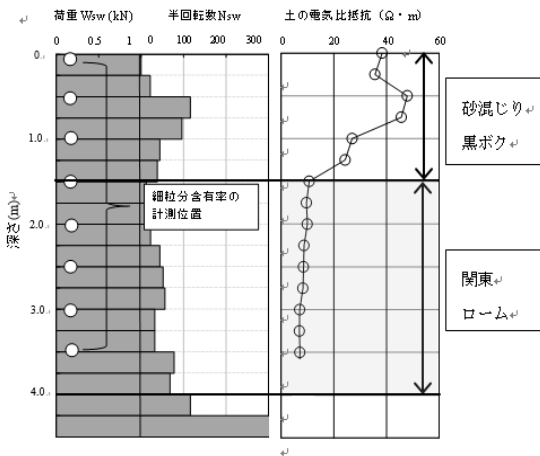


図-8 SWS試験結果と比抵抗の測定結果

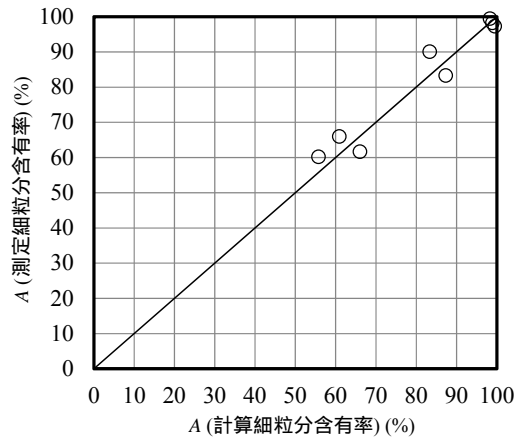


図-9 測定細粒分含有率と計算細粒分含有率との比較

(2) 電気検層法による土の判別

ここでは、まず6地点の原位置試験における比抵抗の測定結果のうち、代表的なもの1つについて考察を示す。

図-10は、茨城県春日部市の比抵抗の測定結果を示したものである。調査対象地盤はGL-1.60mまで粘土を主体とした盛土であり、

深 度 m	層 厚 m	細 粒 分 含 有 率 %	観察記録		標準貫入試験	電気比抵抗試験
			土質記号	土質名	記事	N値
0		96.4	盛土	粘土主体	0	0
1	1.60	98.0				
1.60	1.60	92.7				
2	1.90	0.30	粘土 砂混り シルト	含水量少 含水量多目 少量の砂分	0	0
3	3.00	1.10				
3		91.6	シルト 質粘土	含水量非常に多く 軟弱地盤 少量の有機物及び 腐植物混入する 粘性強目	0	0
4	5.80	2.80				
6	6.80	1.00	砂混り シルト	少量の砂分ブロッ ク	0	0
7						
8			シルト	含水量中位 粘性強め 軟弱地盤 9.00m有機物混入	0	0
9						
10						

図-10 茨城県春日部市の比抵抗の測定結果

それ以深は、粘性土地盤ではあるものの砂分量が異なる地層から構成されている。比抵抗はそれらの大小関係をよくとらえており、特に4m近くで目視ではとらえられなかった地層の境界を明確にとらえている。このように、比抵抗は、砂分量の大小にきわめて鋭敏に反応することがわかる。

図-11は式(4)を用いて算定した細粒分含有率と6地点の土を採取して粒度分析によって得られた細粒分含有率との比較を示したものである。両者の標準偏差は $\pm 5.91\%$ であり、概ねよく一致している。また、細粒分含有率が50%以下の土を砂質土、50%を上回る土を粘性土として土の判別を行った結果、94%の精度で土の判別ができることが実証された。

以上より、SWS 試験孔において実施した電気検層法により、土の判別は十分に可能であるとの見通しをつけることができた。

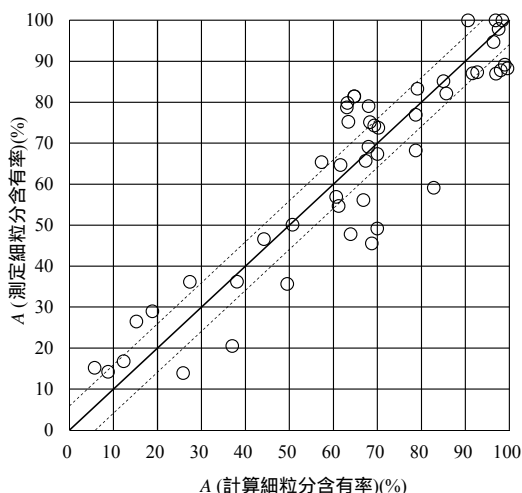


図-11 測定細粒分含有率と計算細粒分含有率との比較

(3) まとめ

土の比抵抗とその間隙に含まれる水の比抵抗の大きさから、砂質土と粘性土を区別することができた。

土の比抵抗に対する間隙水の比抵抗の比から、土の細粒分含有率を推定する式を提案することができた。

試験孔の大きさが電極径に与える影響は極めて大きく、電極径はほぼ孔径に相当する大きさが必要である。

人工的に作製した各種の間隙水の比抵抗とその間隙水からなる土の比抵抗の大きさをもとに、提案式によって求めた粘性土の細粒分含有率は実測値と概ね一致した。

原地盤における比抵抗の分布曲線は、砂の含有量の大小を反映している。

室内実験で得られた土の比抵抗による細粒分含有率の推定式は、原位置のSWS試験孔を利用した電気検層法においても94%の精度で砂質土と粘性土の判別を行うことができた。

以上、本研究の方法により、自然土の比抵抗と地下水の比抵抗の計測ができると、土の細粒分含有率の評価は可能であり、土の判別が可能であることを実証した。

<引用文献>

藤井 衛、田村 昌仁、伊集院 博、小規模建築物の地盤を対象としたスウェーデン式サウンディング試験方法の評価と問題点、日本建築学会構造系論文集、Vol.557、2002、211-218

日本建築学会、小規模建築物基礎設計指針、2008

松下 克也、藤井 衛、金 哲鎬、岡野 泰三、久保 豊、千葉原 敦、スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した地下水位測定法と土質判別の適用性に関する検証事

例、地盤工学会誌 58 (8)、2010、38-48

物理探鉱技術協会、10周年特別号、物理探鉱、1958

物理探査学会、物理探査ハンドブック(手法編) 1998、241-291

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2件)

高 元浩、藤井 衛、持田 泰秀、武智 耕太郎、足立 由紀夫、日本建築学会技術報告集、査読有、Vol.21、No.48、2015、557-562

高 元浩、藤井 衛、持田 泰秀、武智 耕太郎、足立 由紀夫、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol.9、No.2、2014、299-308

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgs/9/2/9_299/_pdf

〔学会発表〕(計3件)

高 元浩、藤井 衛、持田 泰秀、足立 由紀夫、武智 耕太郎、粘性土地盤における電気比抵抗を利用した土の細粒分含有率の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014、515-516

高 元浩、藤井 衛、持田 泰秀、足立 由紀夫、金 哲鎬、武智 耕太郎、SWS試験孔を利用した電気比抵抗による土の細粒分含有率の評価法について、第49回地盤工学研究発表会発表講演集(北九州) 2014、151-152

高 元浩、藤井 衛、持田 泰秀、武智 耕太郎、電気比抵抗を利用した土の細粒分含有率の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) 2013、827-828

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤井 衛 (FUJII, Mamoru)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70130094

(2)研究協力者

高 元浩 (GAO, Yuanhao)