

# 電気比抵抗による土の判別分類法に関する研究

高 元浩<sup>\*1</sup>, 藤井 衛<sup>\*2</sup>, 持田 泰秀<sup>\*3</sup>, 武智 耕太郎<sup>\*4</sup>, 足立 由紀夫<sup>\*5</sup>

## Study on Classification Method of Soil Using Electrical Resistivity

by

Yuanhao GAO<sup>\*1</sup>, Mamoru FUJII<sup>\*2</sup>, Yasuhide MOCHIDA<sup>\*3</sup>, Kotaro TAKECHI<sup>\*4</sup>  
and Yukio ADACHI<sup>\*5</sup>

(Received on Sep. 30, 2013 and accepted on Nov. 14, 2013)

### Abstract

The Swedish weight sounding test (thereafter, called SWS test) is widely used as a research method to evaluate residential sites. The advantage of the SWS test is the possibility to evaluate the bearing capacity of residential sites. In particular, by continuous measurement, it is relatively easy to capture boundary formation. On the other hand, a disadvantage of the SWS test is for determining soil and groundwater level. The determination of soil is based on the experience of the operator. Information only obtained from the results of the SWS test is insufficient to evaluate the residential ground. If it is possible to incorporate the determination method of the soil by electrical resistivity using SWS test holes, a lot of additional information will be gained. As an ideal strategy, the electrical logging method by connecting the electrode to the SWS test hole is effective. As a basic investigation, the authors attempted to clarify the evaluation method of soil fine fraction content by using electrical resistivity using a sample soil of 57 types of laboratory experiments. We also revealed the size effect that the measurement hole provided in the soil gives to the electrode diameter. Further, in situ testing by filling the pores of the natural ground potassium chloride solution was to verify the validity of the estimate equation by the electrical resistivity.

**Keywords:** Electrical resistivity, Soil classification, Swedish Weight Sounding test

## 1. はじめに

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棟を超える戸建住宅が液状化の被害を受けた<sup>1)</sup>。これにより、液状化対策や戸建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、特に問題になったのは宅地地盤の液状化を正確に判別出来る地盤調査法の活用である<sup>2)3)</sup>。

既往の宅地地盤を評価する調査法としては、一般的に標準貫入試験よりも、簡便性、経済性及び迅速性などを重視したスウェーデンサウンディング試験

(以下、SWS試験と呼ぶ)が広く用いられている<sup>4)5)</sup>。この調査法は、1954年スウェーデンから国内に導入してから約60年の歴史がある試験法であり、建築業界の宅地地盤の調査法として普及し始めた。特に、1988年に発行された「小規模建築物基礎設計の手引き」をきっかけとして、約25年前から急速に国内に広まっていった<sup>6)</sup>。また、1976年からJIS A 1221において試験機および試験方法が制定され、さらに2001年には、SWS試験から宅地地盤の支持力を算定する方法が、国土交通省告示第1113号に示されたことにより、宅地地盤の標準的地盤調査法として確立された感がある。

SWS試験の長所は、宅地地盤の支持力の評価が可能であり、連続した測定が可能であることや、比較的容易に地層の境界を捉えることができることにある<sup>7)</sup>。一方、SWS試験の短所としては、地下水位や土質判別が難しい点である。現状では、SWS試験孔を利用した地下水位の判別は、SWS試験後、

\* 1 総合理工学研究科総合理工学専攻 博士課程  
\* 2 工学部建築学科教授  
\* 3 立命館大学建築都市システム工学科  
\* 4 ジャパンホームシールド株式会社  
\* 5 日東精工株式会社

引き抜いたロッドの湿り具合で判断されており、その精度についても明確ではない。また、土の判別に関しては、操作者が試験時にロッドを介して伝わる音やハンドルの手の感触によって判定しているのが現実である。すなわち、土質の判別は、試験者の経験で決定される場合が多い。さらに最近では、ロッドに土の採取器を取り付けるなど改良が加えられているが、連続採取はまだ難しい状況にある。このように SWS 試験結果のみから得られる情報だけでは、宅地地盤の評価は不十分であり、これらを補填する調査手法の開発が望まれている。もし、SWS 試験孔を利用した電気比抵抗（以後、比抵抗と呼ぶ）によって土の判別を推定することができれば、SWS 試験の有効性が格段に向上する。

以上の背景をもとに、筆者らは、SWS 試験孔に電極を挿入し、比抵抗により、土の判別に関する研究を行ってきた<sup>8)~13)</sup>。今回、主に室内実験結果ではあるが、比抵抗による土の細粒分含有量の推定方法を確立したので、ここに報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 既往の研究と本研究の関連

比抵抗を利用した地盤調査法の代表的なものとして、電気探査法と電気検層法がある。電気探査法は地面に打ち込んだ電極から地下に電気を流すことにより、地下水の位置やマクロ的な地盤構成を調べることが目的とするが、<sup>14)15)</sup>、電気検層法はポー

Table 1 Soil specimen properties

No.	Sample	Type of soil	Water content (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Liquid limit	Plastic limit	I <sub>p</sub>	Grain size composition (%)						Remarks
					W <sub>L</sub> (%)	W <sub>P</sub> (%)		Granule minutes	Coarse sand minutes	Medium sand minutes	Fine sand minutes	Silt	Clay fraction	
1	Compost artificial	Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 10:0	35.7	2.42	60.0	19.0	41.0	0.0	0.0	0.1	5.0	46.3	48.6	Experiments of the measurement hole has on the electrical resistivity (No.1~No.7) Experiments on the evaluation of soil fine fraction content by electrical resistivity (No.1~No.11)
2		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 9:1	33.9	2.66	61.0	27.7	33.3	0.0	0.0	0.6	0.1	53.4	45.9	
3		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 8:2	31.3	2.72	52.4	19.7	32.7	0.0	0.0	0.8	18.1	42.1	39.1	
4		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 7:3	31.6	2.76	46.5	19.5	27.0	0.0	0.0	1.6	28.7	36.5	33.2	
5		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 6:4	23.3	2.60	41.6	16.1	25.5	0.0	0.0	1.2	35.5	30.2	33.1	
6		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 5:5	23.6	2.75	35.8	14.0	21.8	0.0	0.0	1.9	43.3	26.1	28.7	
7		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 4:6	19.5	2.62	31.4	12.8	18.6	0.0	0.0	3.4	50.1	20.9	25.7	
8		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 3:7	19.7	2.63	27.4	12.9	14.5	0.0	0.0	4.7	58.0	17.0	20.2	
9		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 2:8	24.6	2.54	-	-	-	0.0	0.0	4.6	66.4	13.3	15.7	
10		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 1:9	21.3	2.68	-	-	-	0.0	0.0	6.6	73.9	8.0	11.4	
11		Kasaoka Clay:Keyisa sand No.7 0:10	18.3	2.55	-	-	-	0.0	0.0	5.5	85.5	3.9	5.1	
12	Natural soil	Sandy soil	22.4	2.72	-	-	-	3.2	4.1	21.4	65.4	5.9		Experiments on the evaluation of soil fine fraction content by electrical resistivity (No.12~No.48)
13		Sandy soil	26.0	2.69	-	-	-	0.4	0.3	31.2	61.2	6.9		
14		Clay	61.0	2.66	-	-	-	0.0	0.0	0.7	22.3	52.2	24.8	
15		Clay	106.4	2.57	-	-	-	0.8	0.2	0.3	1.8	35.3	61.6	
16		Clay	52.1	2.64	-	-	-	0.4	0.4	1.0	28.6	48.0	21.6	
17		Clay	41.4	2.66	-	-	-	0.1	0.1	0.3	62.7	29.4	7.4	
18		Sandy soil	23.0	2.67	-	-	-	1.6	1.7	36.4	50.2	10.1		
19		Sandy soil	31.6	2.7	-	-	-	0.0	0.0	13.6	79.3	7.1		
20		Sandy soil	32.9	2.72	-	-	-	0.0	0.0	5.4	89.3	5.3		
21		Sandy soil	47.1	2.68	-	-	-	0.0	0.0	4.4	62.3	23.0	10.3	
22		Sandy soil	30.6	2.72	-	-	-	0.0	0.0	1.2	83.8	9.9	5.1	
23		Sandy soil	32.7	2.72	-	-	-	0.0	0.1	17.9	76.1	5.9		
24		Sandy soil	44.6	2.69	-	-	-	0.0	0.0	3.9	59.1	25.3	11.7	
25		Sandy soil	48.2	2.68	-	-	-	0.0	0.0	5.1	55.5	25.3	14.1	
26		Sandy soil	40.7	2.69	-	-	-	0.0	0.0	12.9	56.1	21.0	10.0	
27		Clay	27.3	2.7	-	-	-	0.4	0.3	0.2	1.6	88.5	9.0	
28		Sandy soil	19.7	2.694	-	-	-	0.0	1.5	30.1	65.8	2.6		
29		Sandy soil	21.0	2.691	-	-	-	0.0	0.8	27.3	68.3	3.6		
30		Sandy soil	22.8	2.689	-	-	-	0.0	0.2	19.3	76.0	4.5		
31		Sandy soil	24.7	2.687	-	-	-	1.8	5.9	34.7	43.1	9.4	5.1	
32		Sandy soil	16.7	2.72	-	-	-	8.2	7.6	30.2	42.5	11.5		
33		Sandy soil	28.5	2.72	-	-	-	0.0	0.0	0.8	81.1	12.9	5.2	
34		Clay	59.6	2.65	-	-	-	5.0	4.4	11.4	26.3	22.5	30.4	
35		Sandy soil	48.9	2.68	-	-	-	4.4	3.7	9.7	47.5	14.2	20.5	
36		Sandy soil	39.2	2.68	-	-	-	0.2	0.3	1.1	74.4	15.3	8.7	
37		Sandy soil	68.6	2.64	-	-	-	2.3	0.7	0.8	8.3	51.3	36.6	
38		Sandy soil	34.7	2.69	-	-	-	0.0	0.0	5.3	79.4	8.1	7.2	
39		Sandy soil	31.2	2.69	-	-	-	1.6	1.3	4.0	83.7	9.4		
40		Sandy soil	30.3	2.69	-	-	-	0.3	2.2	6.4	88.1	3.0		
41		Sandy soil	27.4	2.68	-	-	-	0.2	0.6	20.9	71.0	7.3		
42		Sandy soil	21.9	2.83	-	-	-	0.0	0.0	8.7	86.8	4.5		
43		Sandy soil	25.7	2.68	-	-	-	0.2	1.1	28.4	63.6	6.7		
44		Sandy soil	33.1	2.63	-	-	-	0.4	1.5	9.0	65.7	12.2	11.2	
45		Sandy soil	25.9	2.71	-	-	-	0.4	0.2	13.9	55.0	23.2	7.3	
46		Sandy soil	21.8	2.8	-	-	-	1.2	1.1	32.7	40.7	16.1	8.2	
47		Clay	53.3	2.55	-	-	-	0.6	1.3	3.1	4.6	47.9	42.5	
48		Sandy soil	21.6	2.75	-	-	-	0.0	0.0	40.8	47.2	7.4	4.6	
49	Clay	40.4	2.4	82.4	61.7	20.7	0.0	6.7	17.8	13.7	48.6	13.1		
50	Clay	42.2	2.4	108.9	71.5	37.4	0.0	6.1	16.6	11.2	49.0	17.0		
51	Clay	81.0	2.7	113.9	62.8	51.0	0.0	9.6	20.4	9.1	53.2	7.7		
52	Clay	99.1	2.8	134.3	83.7	50.6	0.0	1.3	5.7	2.9	71.5	18.6		
53	Clay	93.9	2.8	133.8	79.4	54.4	0.0	2.4	7.2	7.1	74.1	9.2		
54	Clay	87.3	2.7	120.3	66.2	54.1	0.0	0.1	0.5	2.0	80.3	17.0		
55	Clay	84.9	2.7	125.0	67.0	58.0	0.0	0.0	0.2	0.3	85.6	13.9		
56	Clay	84.0	2.8	116.5	60.3	56.2	0.0	0.0	0.3	1.3	81.3	17.0		
57	Clay	72.1	2.8	-	-	-	0.0	0.0	0.2	0.9	86.6	12.4		

リング孔内の泥水中に電極を降下させ、サンドシーム(薄い砂層)の発見に用いられることが多い<sup>16)</sup>。これは、比抵抗が絶縁体である砂粒子に敏感に反応する特性を有しているからである。藤井はこの点に着目し、毛細管現象を生じる砂粒子の間隙の歪曲度や間隙率の大きさを比抵抗からとらえることを試みてきた<sup>17)~19)</sup>。この粒子の間隙の大きさは、土粒子の大きさと表裏一体の関係にあり、比抵抗の大きさから土粒子の大きさを推定できる可能性は十分にあると考えられる。ただし、比抵抗は、あくまでも電気化学的な性質であり、土の物理的性質を反映するものの、その値は土粒子間に含まれる間隙水の比抵抗の大きさによっても変化する。特に電気検層法のように、ボーリング時に使用される泥水中に電極を挿入する方法では、比抵抗の大きさから正確に土粒子の大きさを推測することは難しい。しかし、SWS 試験孔であれば、泥水を使用することなく、地下水の中にそのまま電極を挿入することができる。なお、SWS 試験孔に電極を挿入する場合は孔径が電極径に及ぼす影響も把握しておく必要がある。

本研究は、SWS 試験孔を利用して比抵抗により、土の細粒分含有を確立することを目的に、3種類の実験を行った。まず、室内実験によって各種の濃度を有する塩化カリウム溶液(以後、KCL 溶液と呼ぶ)を間隙水として土の比抵抗と間隙水の比抵抗から土の判別の可能性及び土粒子の大きさが評価できるかどうかを調べた。また、2つ目の実験は現場実験を想定したものであり、測定孔の大きさに対する電極径の比率が比抵抗に与える影響を検討した。3つ目は地下水が存在しない原地盤において、SWS 試験を行い、濃度が既知な KCL 溶液で満たした孔中に電極を挿入して、室内実験で提案した土の判別や土粒子評価法の妥当性を検証した。

## 2.2 比抵抗による土の細粒分含有量の評価に関する実験

比抵抗による土の細粒分含有量の評価に関する実験には 48 種類の人工配合土と自然土を用いた。人工配合土は笠岡粘土と珪砂 7 号を質量比で 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9, 0:10 の合計 11 種類である。これらの物理諸元を Table 1, 人工配合の粒度分布曲線を Fig.1 に示す。また、自然土 37 種類の粒度分布曲線を Fig.2(a)~Fig.2(d) に示す。室内実験による比抵抗は、 $\phi 5\text{cm} \times 10\text{cm}$  のプラモールド型枠に詰められた試料土に、Fig.3 に示すポータブル電気伝導度計を Fig.4 に示すよう挿入して計測した。なお、間隙水としては、0.001 規定, 0.005 規定, 0.01 規定, 0.1 規定の 5 種類の KCL 溶液の他に水道水と純水も加えて計 7 種類の間隙水を用いた。これは、地下水の比抵抗が異なっても、

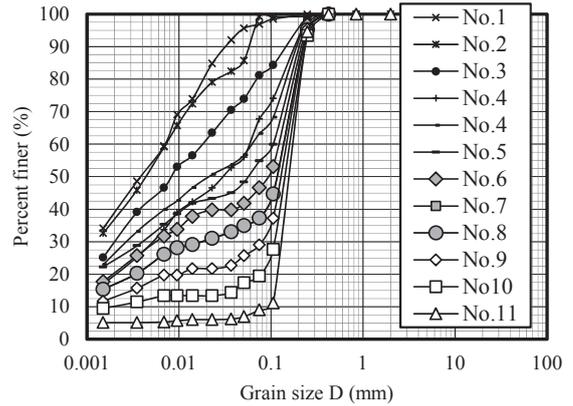


Fig.1 Particle size distribution curve

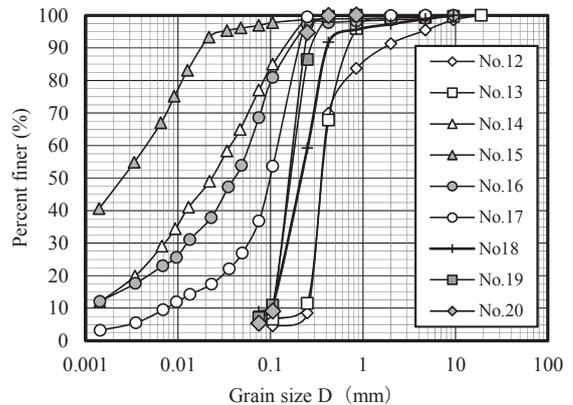


Fig.2(a) Particle size distribution curve

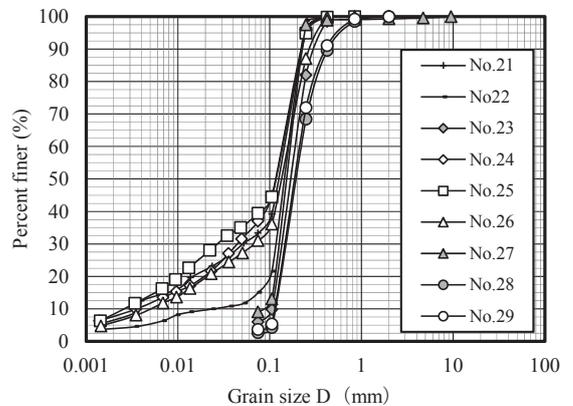


Fig.2(b) Particle size distribution curve

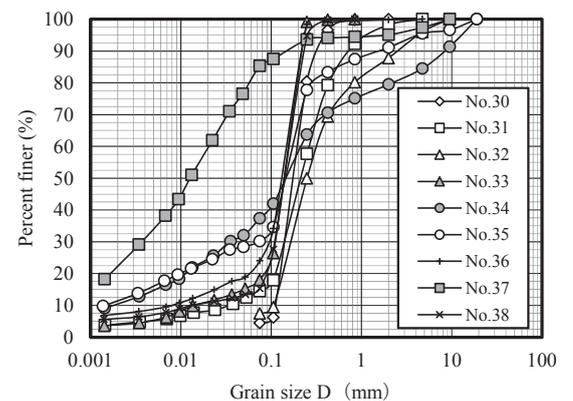


Fig.2(c) Particle size distribution curve

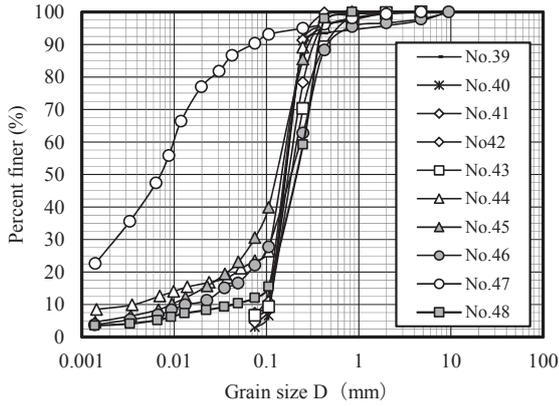


Fig.2(d) Particle size distribution curve



Fig.3 Portable electrical conductivity meter (TOA DKK-HCM-31P)



Fig.4 Resistivity measurement situation

Table 2 Specifications of the electrical resistivity

Tyoe name	CT-27112B
Measurement range	0.5Ω・m~10KΩ・m
Temperature range	0℃~80℃
Humidity range	< 95RH%

土の細粒分含有量が正確に把握できるかどうかを調べるためである. Table 2 にポータブル電気伝導度計の仕様を示す. Fig.5 にポータブル電気伝導度計の寸法を示す. 比抵抗の測定にあたっては、供試体が十分湿潤状態になるまで、十分経過後、Fig.3のポータブル電気伝導度計を用いて測定を行った.

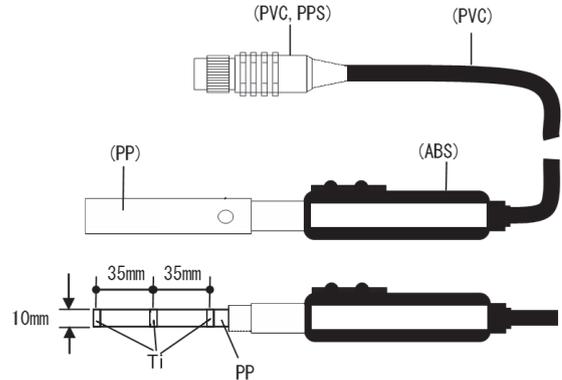


Fig.5 Portable electrical conductivity meter size

### 2.3 測定孔の大きさが比抵抗に与える影響

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、11種類人工配合土 (Table 1 に示す No.1~No.11) を用いて実験を行った. 試料土の作製は、笠岡粘土と硅砂7号を質量比で変化させたものである. 比抵抗の測定にあたってはφ10cm×20cmの型枠に試料土を一定の密度になるように締め、その後、測定孔(孔径: 10.5, 11.5, 13, 14, 18, 24, 36mm)の7種類を設け、その孔中に0.1規定 KCL 溶液を間隙水として投入し、十分湿潤状態になってから比抵抗の測定を行った. なお、KCL JIS K8221 に規定する電気伝導率測定用の試薬を用いた.

### 2.4 原位置試験

原位置試験は神奈川県平塚市北金目4-1-1にある東海大学湘南校舎H棟の南側の地内にて行った. 試験に先立ち、地表面から0.5mごとに4.0mまで土の採取を行った. 地表面から0.3mまでは埋土であり、ガラ混じり土砂である. また、0.3mから2.5mまでは腐植混じり黒褐色土であり、深さ2.5mから4.5mまでは黒ボク質粘土である. Fig.6は原位置試験で用いた9種類の土の粒度分布曲線である.

試験は、まず、深さ4.0mまでFig.7に示した自動SWS試験機を用いてSWS試験を実施した. その後、自動 SWS 試験機のロッドの先端にFig.8に示した原位置測定用電極(以後、電極と呼ぶ)を取り付け、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. Table 3に電極の仕様を示す.

また、Fig.9に実験状況を示す. なお、敷地内の地盤の地下水が確認されなかったため、あらかじめ

SWS試験孔内に溶液を投入して実験を行った。投入した溶液は水道水および0.1規定KCL溶液の2種類を用いた。

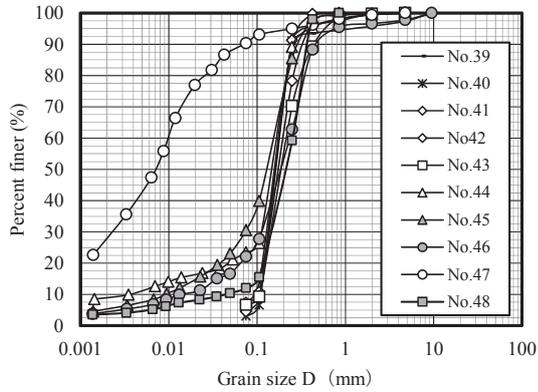


Fig.6 Particle size distribution curve



Fig.7 Pushing equipment

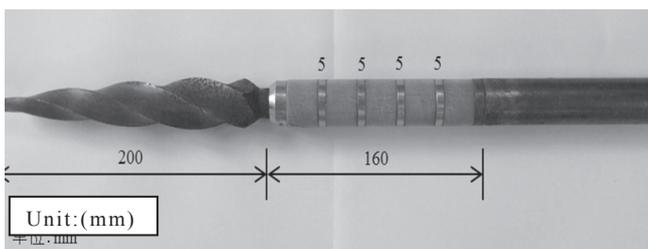


Fig.8 Resistivity probe

Table 3 Specification of the position measuring electrode

Measurement range switching	0.1mA~20mA
Electrical resistivity measurement range	0.5Ω・m~20KΩ・m
Power-supply voltage	DC100V
Temperature range	0°C~50°C
Humidity range	<80RH%

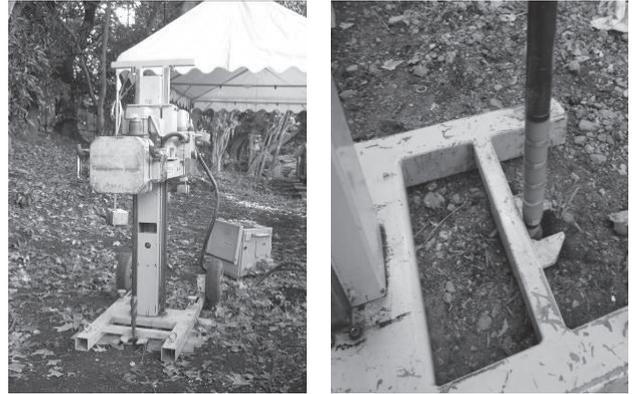


Fig.9 Experimental situation

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 比抵抗による土の細粒分含有量の評価に関する実験

Fig.10は人工配合土 (Table 1 の試験 No.1~No.11) の比抵抗と間隙水の比抵抗との関係を示したものである。同一種の土に関して、間隙水の比抵抗が大きいほど土の比抵抗は増大し、Fig.10 に示したよう両対数紙上で直線になる傾向がある。また、砂の割

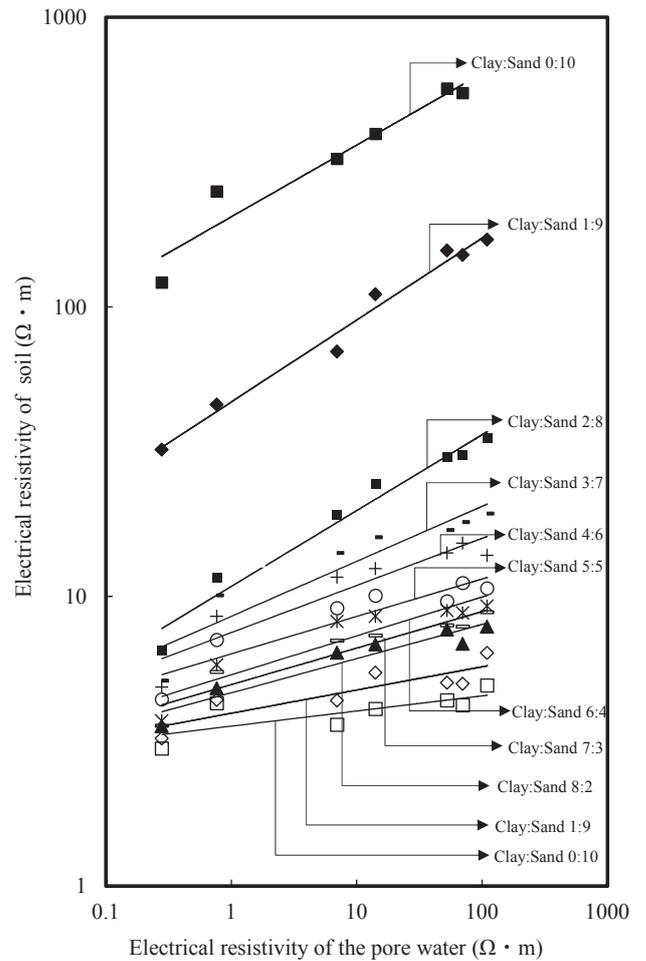


Fig.10 Relationship between the electrical resistivity of the soil and pore water (Man-made compost)

合が大きいほど直線の傾きは大きくなる。この関係が自然土についても成り立つかどうか調べた。その結果を Fig.11 に示す。図に示したように、Table 1 に示す No.14 と No.16 の粘性土の領域は全て細粒分含有量が 50%以上であり、図中 No.24 から No.26 の砂質土の領域は全て細粒分含有量 50%が以下となっている。また、Fig.10, Fig.11 より、間隙水の比抵抗の変化によって、土の比抵抗も変化していることがわかる。したがって、明確にその領域を区分することができる。以上から、自然土の場合も人工配合土と同様に、粘性土、砂質土の判別は可能であると考えられる。

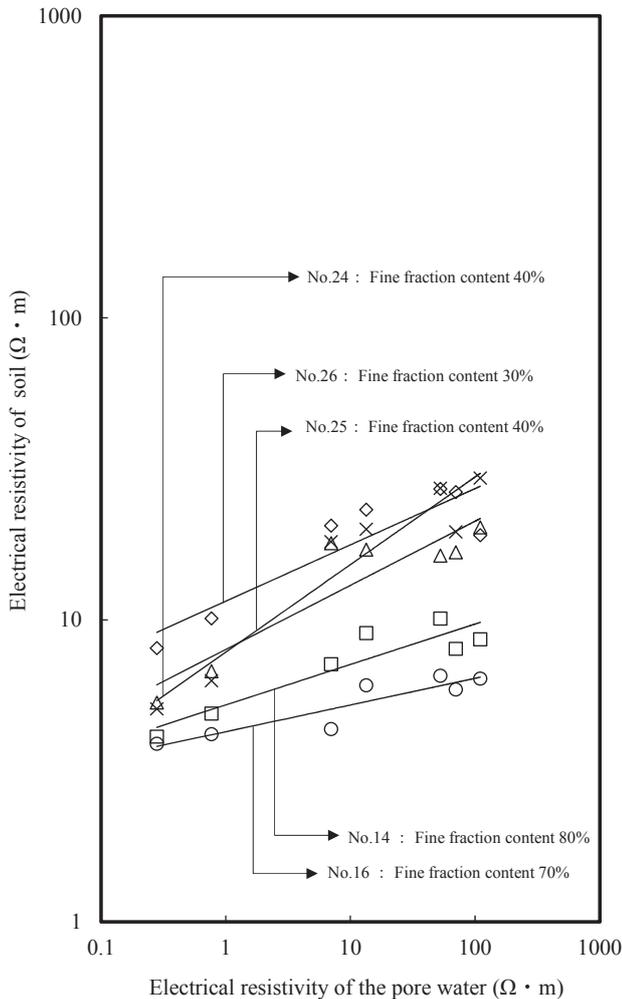


Fig.11 Relationship between the electrical resistivity of the soil and pore water (Natural soil)

Fig.12 の縦軸は、人工配合土の A(細粒分含有量)であり、横軸 F は土の比抵抗と間隙水の比抵抗の比率を表したものである(近似式は  $A = aF^{-b}$  である)。図に示したように同一種の間隙水に関して、土の比抵抗と間隙水の比抵抗との比率が大きいほど細粒分含有量は減少する傾向にあり、両者には明確な相関性が認められることがわかる。各種溶液の a と b の値を Table 4 に示す。これらをつなげるために、

まず、定数 a と間隙水との関係を調べた結果が Fig.13 である。Fig.13 は近似式の定数 a と間隙水の比抵抗との関係を両対数で表したものである。この関係により、(1)式のように定数 a と間隙水との実験式を導き出すことができる。

$$a = 9.8135x^{-1.2412} \quad (1)$$

ここに、a: 定数, x: 間隙水の比抵抗である。

また、Table 4 の a と b の間には、Fig.14 に示すような関係が認められる。Fig.14 の縦軸は定数 b であり、横軸は定数 a である。両者の関係式を導き出すと(2)式のようになる。また、(2)式から求めた推定値 b と実測値 b を比較した結果を Fig.15 に示す。Fig.15 に示すように、データのばらつきは標準偏差  $\pm 0.07$  であった。

$$b = -0.0658 \ln(a) - 1.4129 \quad (2)$$

ここに、a, b: 定数である。

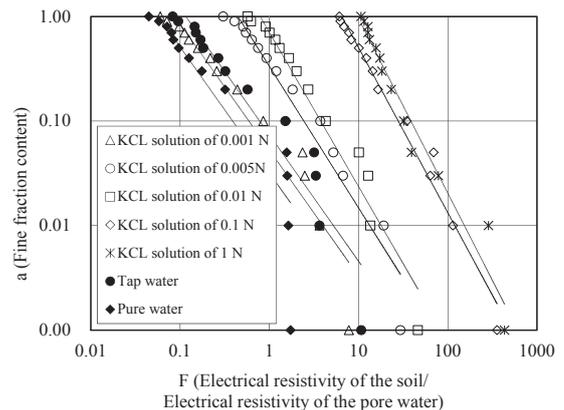


Fig.12 Relationship between a (Fine fraction content) and F (Electrical resistivity of the soil/Electrical resistivity of the pore water)

Table 4 Value of a and b

Pore water type	a	b
KCL solution of 0.001N	0.0529	-1.2062
KCL solution of 0.005N	0.3339	-1.3537
KCL solution of 0.01N	0.6914	-1.425
KCL solution of 0.1N	17.704	-1.543
KCL solution of 1N	44.629	-1.699
Tap water	0.0319	-1.2054
Pure water	0.0739	-1.209

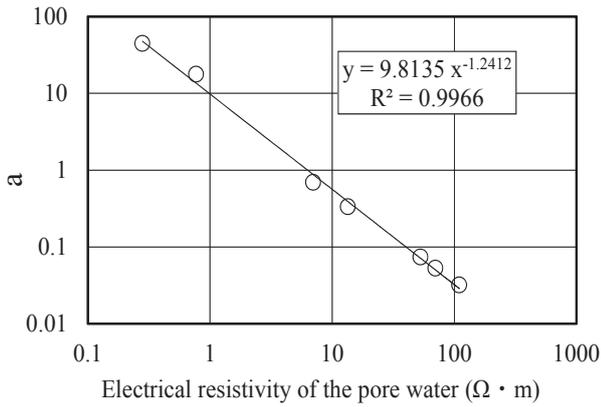


Fig. 13 Relationship between a and electrical resistivity of the pore water

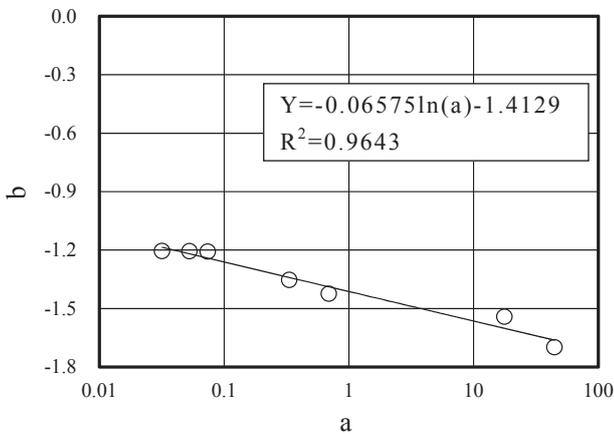


Fig. 14 Relationship between constant a and b

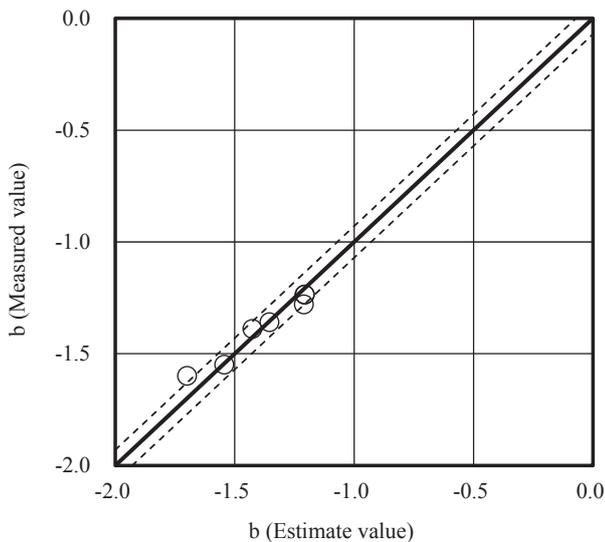


Fig. 15 Comparison with the measured and estimate values of b

(1)式と(2)式を Fig.12 の近似式の  $A=aF^b$  に代入し、再整理すると(3)式のように  $A$ (細粒分含有量)の計算式を導き出すことができる。

$$A = 9.8135x^{-1.2412}F^{0.065754\ln(9.8798^{-1.4129})+1.4129} \quad (3)$$

ここに、 $x$ ：土の間隙水の比抵抗、 $F$ ：土の比抵抗と間隙水の比抵抗との比率、 $A$ ：細粒分含有量である。

ここで、再度、(3)式を用いて人工配合土の計算細粒分含有量と測定細粒分含有量との比較した結果を Fig.16 に示す。Fig.16 に示したように縦軸の測定細粒分含有量と横軸の計算細粒分量のばらつきは標準偏差±7.09%であった。また、Fig.17 は、人工配合土を用いて提案した(3)式を用いて、自然土(Table 1 に示す No.12~No.48)に対する適用性を検討した結果である。Fig.17 に示したように縦軸の計算細粒分含有量と横軸の測定細粒分量のばらつきは標準偏差±6.53%であった。

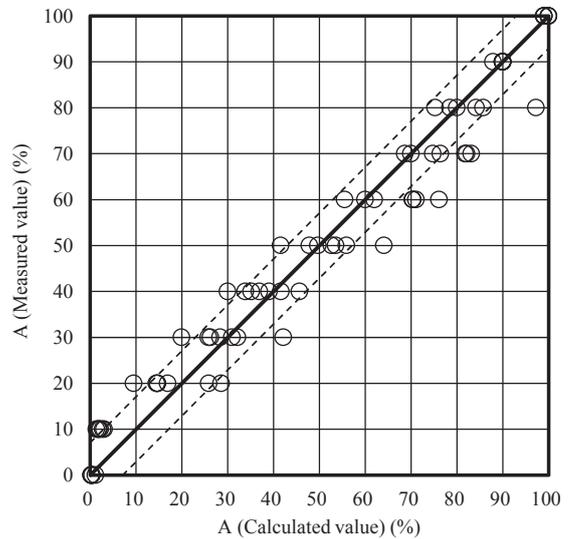


Fig. 16 Comparison of the measured and calculated values of A

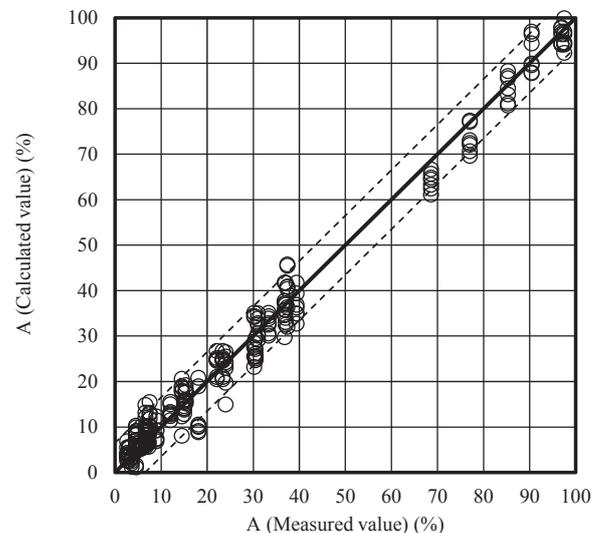


Fig. 17 Comparison of the measured and calculated values of A

### 3.2 測定孔の大きさが比抵抗に与える影響に関する実験

Fig.18の横軸は孔径であり、縦軸は比抵抗である。また、Fig.19の縦軸は孔径と電極径が同一の場合の比抵抗を100%とし、これと横軸の電極径に対する孔径の比率を示したものである。Fig.19により、電極径に対する孔径の比率が1.5の場合は、比抵抗が5割以上小さくなることを意味している。したがって、孔径に対する電極径の影響は極めて大きいので、原位置の試験孔においては、試験孔径と電極孔径はほぼ同じであることが必要であると言える。

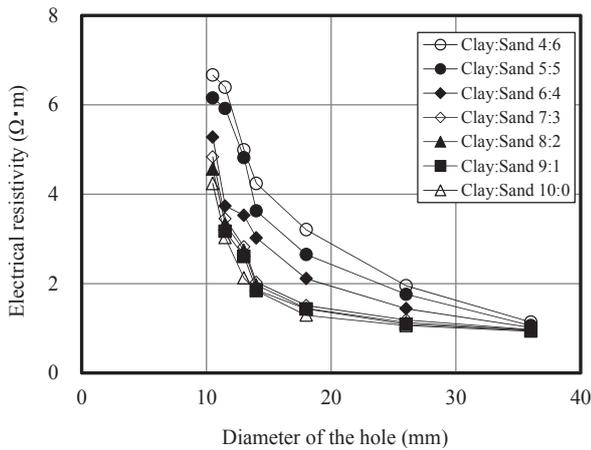


Fig.18 Relationship between pore diameter and electrical resistivity

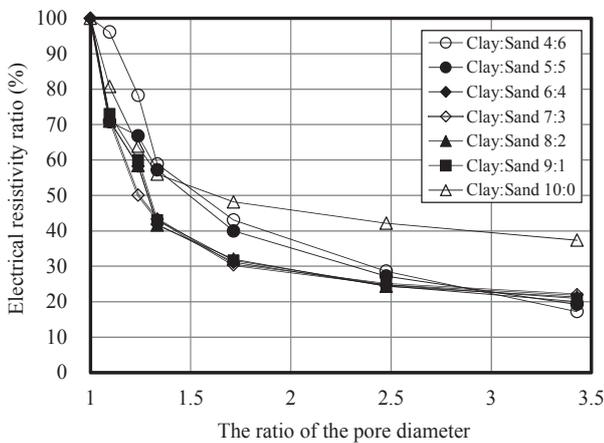


Fig.19 Relationship between pore diameter and electrical resistivity

### 3.3 原位置試験

Fig.20の縦軸はFig.8に示す電極の比抵抗であり、横軸はポータブル電気伝導率計で測定した比抵抗である。比抵抗の測定に用いたKCL溶液は0.001規定、0.005規定、0.01規定、0.1規定の合計4種類である。Fig.20に示したように電極の比抵抗は、ポータブル電気伝導率値よりもほぼ2倍の値となった。これは、計測方法の違いや電極の材質などの違いと考えられ、セル定数に相当するものと考えられる。

また、Fig.21は、SWS試験の結果と比抵抗(0.1規定)の測定結果を示している。

なお、Fig.21の比抵抗測定値はFig.20の関係により、係数0.48を乗じて補正している。このFig.21(a)と(b)をみると、両者は深度方向にほぼ同じように変化している傾向にあることがわかる。これは、同一地層内であることから、密度の変化が $N_{sw}$ の変化と対応しているからである。Fig.22は(3)式を用いて計算細粒分含有量と測定細粒分含有量の比較を行った結果である。サンプリングした試料土はTable 1に示すNo.49~No.57である。このFig.22により、両者はばらつきの標準偏差は±8.27%であった。

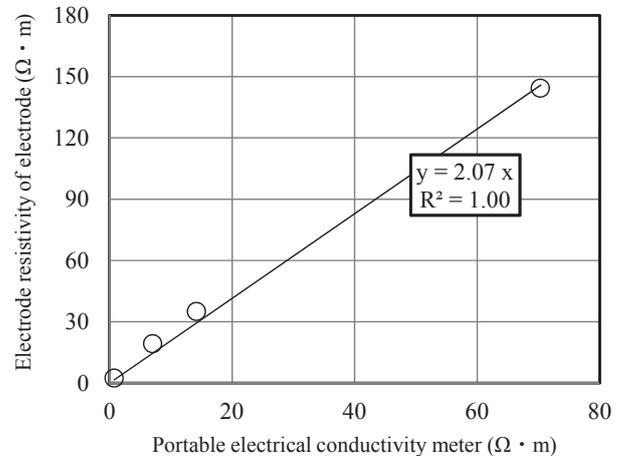


Fig.20 Relationship between the portable electrical conductivity meter and resistivity probe

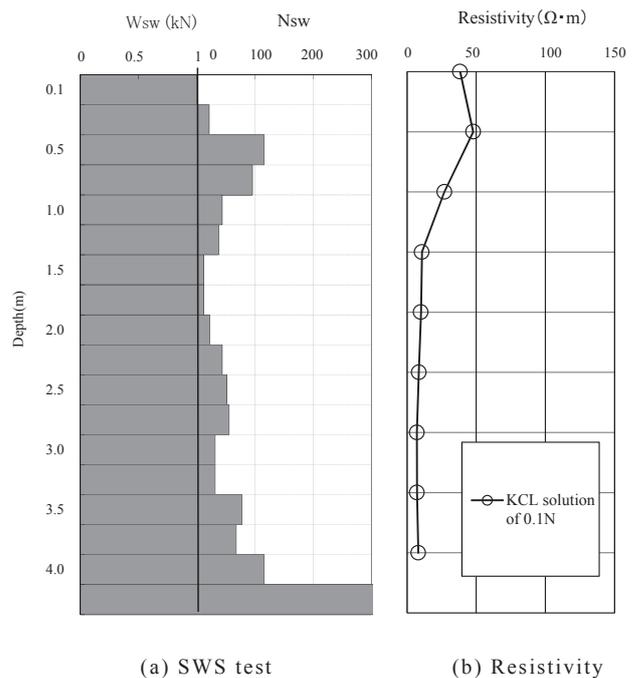


Fig.21 Results of SWS test and electrical resistivity test

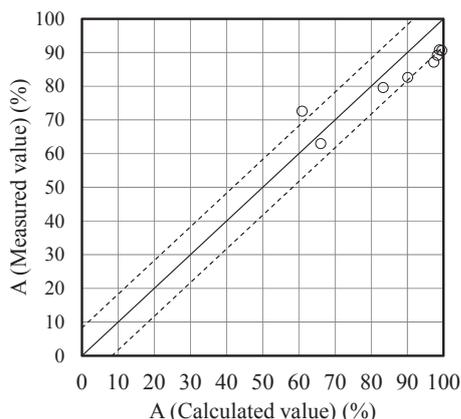


Fig.22 Comparison of the measured and calculated values of A

#### 4. まとめ

本論文の主な結論を箇条書きにまとめると以下のようなになる。

- 1) 土の比抵抗とその間隙に含まれる比抵抗の大きさから、砂質土と粘性土を区分することができる。
- 2) 室内試験レベルであるが、1)の関係をもとに、土の比抵抗に対する間隙水の比抵抗の比から、土の細粒分含有量を推定する式を提案することができた。
- 3) 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望ましい。
- 4) 一つの原位置実験でかつ地下水ではなく既知の溶液で満たした SWS 試験孔で計測した比抵抗の分布曲線は、SWS 試験結果とよく対応しており、かつ提案式による土の細粒分含有量は実測値と概ね一致した。

以上により、土の比抵抗と間隙水の比抵抗の計測ができれば、土の細粒分含有量の評価は可能であるとわかった。今後は、数多くの原位置にて SWS 試験を実施し、その試験孔を利用して比抵抗を計測できる方法を確立してゆく予定である。

#### 謝辞

本研究は、平成24年度科学研究費（基礎地盤(C)）の助成金によって実施したものであり、ここに関係各位に対して深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会：浦安市液状化対策技術検討調査結果  
<http://www.city.urayasu.chiba.jp>(参照)

- 2012-03-04)
- 2) 地盤工学会編：地震時における地震災害の課題と対策，2011.
- 3) 藤井衛他 2名：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，第557，pp.211-128 2002.
- 4) 住宅地盤品質協会：住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準，2011.
- 5) 稲田倍徳：スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について，土と基礎，Vol.8，No.1，pp.13-18 1960.
- 6) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針 2008.
- 7) 藤井衛：スウェーデン式サウンディング試験法の有効活用，建築技術，No.757，pp.88-91 2013.
- 8) 藤井衛他 8名：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用とした電気検層法による土質判別の可能性，日本建築学会大会学術講演概要集(東北)，pp.629-630，2009.
- 9) 田村昌仁，藤井衛他 8名：スウェーデン式サウンディングによる地盤調査法と現状の課題，土と基礎 Vol.52，No.4 2004.
- 10) 藤井衛他 8名：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用とした電気検層法による土質判別の可能性，日本建築学会大会学術講演概要集(東北)，pp.629-630，2009.
- 11) 藤井衛他 5名：「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)，pp.38-48，2010.
- 12) 藤井衛：電気伝導現象を利用した土質法ならびにその調査法に関する研究，建築雑誌，1984.
- 13) 藤井衛他名：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した地盤調査技術，基礎工，pp.41-45，2011.
- 14) 山口久之助：鑿泉の電気検層法 昭晃堂版 1962.10
- 15) 志村 馨：電気探査法 昭晃堂版 1964.
- 16) 島 裕雅：比抵抗映像法古今書院 1995.
- 17) 藤井衛：比抵抗係数による土の毛細管性状の調査，土質工学会論文報告集 21(1)，pp.131-138，1981.
- 18) 藤井衛：電気検層法による土の間隙率測定法，土質工学会論文報告集 22(3)，pp.145-151，1982.
- 19) 藤井衛：比抵抗係数による土の毛細管性状の調査，土質工学会論文報告集 21(2)，p.151，1982.