

# 火山灰地における接地抵抗について

品 田 雄 治

(昭和 39 年 10 月 15 日受理)

## On the Earthing Resistance in the Area of the Volcanic Ashes

by Yuji SHINADA

### Abstract

It should seem to be difficult to get the good earthing in the area of the volcanic ashes. There are several ways to calculate the earthing resistance theoretically, but in practice it differs by various factors. In these factors the contact resistance between the earth and the grounding electrode is given much weight.

Here it has been assumed that the earthing resistance is composed of one resistance which may be calculated by the resistivity of the ground and of another that may be the contact resistance between the earth and the earthing electrode, and in the area of the volcanic ashes the contact resistance between the simple grounding bar and the earth has been got experimentally for the shallow part of the ground.

To the ground about one meter deep, it has been concluded that the earthing resistance is composed of the contact resistance between the earth and the earthing bar in the area of the volcanic ashes.

### 1. 緒 論

接地抵抗に対しては、種々の形状の接地電極について、理論的に計算式が求められている<sup>1)</sup>。しかし、実測値は種々の因子に基づき変動する。特に大地と接地棒間の接触抵抗が大きな影響を及ぼすことが指摘されている<sup>2)</sup>。北見地方においては特に火山灰地が多く、接地にとつては最も悪い条件である。そこで最も簡単な単一接地棒を使って接地抵抗中の接触抵抗の影響を考察した。

### 2. 理 論

単一接地棒の接地抵抗の算式は理論的に誘導され、その結果が示されているが、ここでは接触抵抗を考へて次のように仮定する。すなわち接地抵抗は第 1 図に示すように、接地棒表面のごく近くの領域では、大地と接地棒間の接触抵抗のみが存在し、それ以外の領域では大地の抵抗率に基づく抵抗  $R_2$  とからなり、実測の接地抵抗は  $R_1$  と  $R_2$  が直列になった抵抗

$$R = R_1 + R_2 \quad (\Omega)$$

であるを考える。

### 2. 1. 接触抵抗 $R_1$

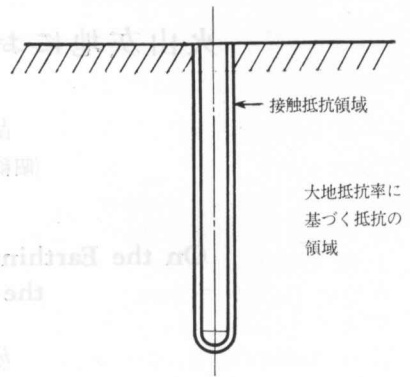
これは接地棒と大地の接触状態によって変わるであろうが、接触する面積の増加と共に減少するものと考えられる。すなわち接触面積に反比例し、次のようにおくことができる。

$$R_1 = \frac{k}{2\pi r_0 l} \quad (\Omega)$$

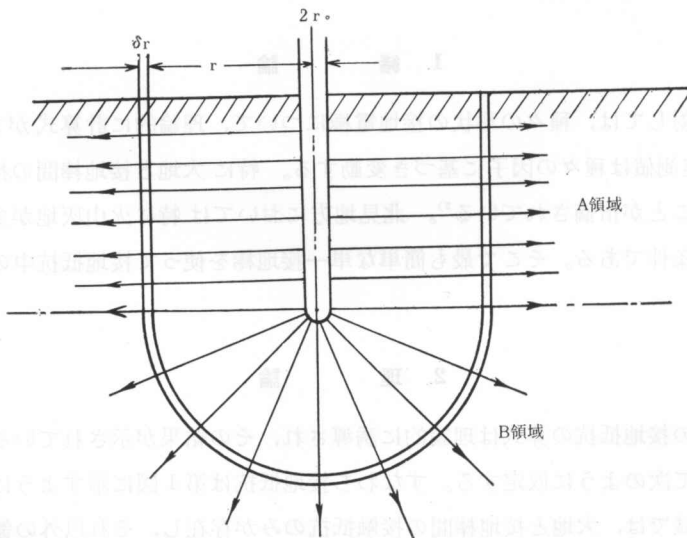
ここで  $r_0$ : 接地棒半径 (cm),  $l$ : 接地棒の埋め込みの深さ (cm),  $k$ : 比例定数 ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ) である。

### 2. 2. 大地の抵抗率に基づく抵抗 $R_2$

一般にはこれが単に接地抵抗として理論的に算出されている抵抗である。ここでは大地内の電流分布が第2図の矢印のごときものと仮定し、簡単に算式を誘導してみた。すなわち電流分布により大地を A, B の2つの領域に分ける。A 領域では接地棒の円筒状側面から直角に流出する電流が放射状に分布して流れ、B 領域では接地棒の下端部から半球面に直角に流出して、放射状に分布して流れるものとする。(第2図参照)。接地棒の中心から  $r$  の距離に電流方向と直角に  $\delta r$  の層を考え、この層の示す抵抗を A 領域で  $\delta R_A$ , B 領域で  $\delta R_B$  とすれば、全抵抗  $\delta R_2$  は明らかに  $\delta R_A$  と  $\delta R_B$  の並列合成値となる。これを  $r=r_0$  から  $r=\infty$  まで積分すれば  $R_2$  が得られる。すなわち  $\delta R_A$ ,  $\delta R_B$  について、それぞれ次の式を得る。



第1図 接地抵抗の考え方



第2図 大地内の電流分布の仮定

$$\delta R_A = \frac{\rho \cdot \delta r}{2\pi r l} \quad (\Omega), \quad \delta R_B = \frac{\rho \cdot \delta r}{2\pi r^2} \quad (\Omega)$$

ここで  $\rho$ : 大地の抵抗率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) である。

ゆえに

$$\delta R_2 = \frac{1}{\frac{1}{\delta R_A} + \frac{1}{\delta R_B}} = \frac{\rho \cdot \delta r}{2\pi r} \left( \frac{1}{r+l} \right) \quad (\Omega)$$

となり、したがって

$$R_2 = \lim_{\delta r \rightarrow 0} \sum_{r=r_0}^{\infty} \frac{\rho}{2\pi r} \left( \frac{1}{r+l} \right) \delta r = \frac{\rho}{2\pi} \int_{r=r_0}^{\infty} \frac{1}{r(r+l)} \cdot dr$$

$$= \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left( 1 + \frac{l}{r_0} \right) \simeq \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r_0} \quad (\Omega)$$

を得る。ただし近似式は  $l \gg r_0$  のとき成立する。

### 2. 3. 接地抵抗 R

2. 1, 2. 2 で求めた  $R_1, R_2$  より、実測する単一接地棒の接地抵抗として、

$$R = R_1 + R_2 = \frac{k}{2\pi r_0 l} + \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r_0} \quad (\Omega)$$

を得る。この式を次のように書き換える。

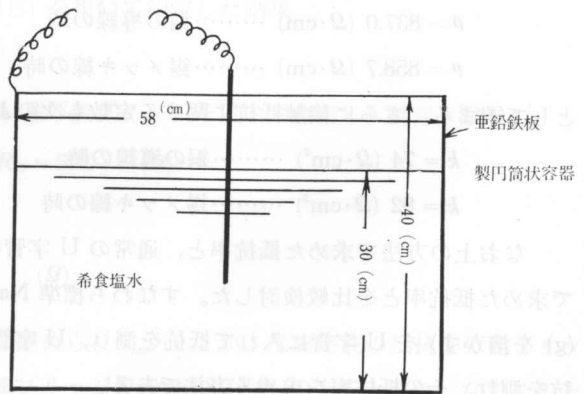
$$2\pi r_0 l R = k + r_0 \rho \ln \frac{l}{r_0} = k + 2.3 r_0 \rho \log_{10} \frac{l}{r_0} \quad (r \cdot \text{cm}^2)$$

ゆえに接地棒の埋め込みの深さ  $l$  を種々変えて接地抵抗  $R$  を測り、 $2\pi r_0 l R$  対  $\log_{10} (l/r_0)$  の関係をグラフにかけば、直線関係になり、これから  $\delta$  および  $k$  が求められるはずである。

## 3. 実 験

### 3. 1. 模擬実験

理論の項における考察が正しいか否かを理想的な接地状態で検す必要性から、模擬実験を行なった。装置としては第3図のように、直径58 (cm)、高さ40 (cm) の底付きの亜鉛引き鉄板製円筒状容器を作り、この中に、適当な導電率を得るため若干の食塩を溶かした水溶液を深さ約30 (cm) に満たし容器の中心において上から導線を吊し導線と容器の間の抵抗を横河電機K.K



第3図 模擬実験装置

製 K-1 型 Kohlrausch bridge で測定した。この時の抵抗は溶液の抵抗率に基づく抵抗と、溶液と導線その間の接触抵抗の和からなると考えられ、溶液と容器の間の接触抵抗は、容器の表面積が大であり、無視できる程小さいとした。導線としては半径  $r_0 = 0.8$  (mm) の銅線と、同じ太さの錫メッキ線を使用した。深さに対する抵抗等の関係として第 1 表の結果を得た。

第 1 表 導線と容器間の抵抗の測定結果

深 さ $l$ (cm)	$\log_{10} (l/r_0)$	被 測 抵 抗 $R(\Omega)$		$2\pi r_0 l R (\Omega \cdot \text{cm}^2)$		備 考
		銅 線	錫メッキ線	銅 線	錫メッキ線	
3	1.571	210	225	$3.17 \times 10^2$	$3.40 \times 10^2$	$r_0 = 0.08$ (cm)
4	1.699	165	180	3.32	3.62	
5	1.796	138	150	3.46	3.84	
6	1.875	121	127	3.65	3.84	
7	1.942	107	115	3.77	4.05	
8	2.000	95	102	3.82	4.10	
9	2.051	85	91	3.84	4.11	
10	2.597	79	84	3.97	4.23	
11	2.136	73	78	4.04	4.34	
12	2.176	67	72	4.04	4.34	
13	2.211	63	67	4.11	4.38	
14	2.243	58	63	4.08	4.44	
15	2.273	55	60	4.15	4.52	
16	2.301	52	56	4.18	4.50	
17	2.327	49	54	4.18	4.61	
18	2.352	47	51	4.25	4.62	
19	2.376	45	49	4.30	4.68	
20	2.398	43	46	4.32	4.62	

この表から第 4 図および第 5 図をかくことができる。第 5 図から  $2\pi r_0 l R$  対  $\log_{10} (l/r_0)$  の関係は直線関係にあることがわかり、また直線の傾斜より溶液の抵抗率は

$$\rho = 837.0 (\Omega \cdot \text{cm}) \dots\dots\dots \text{銅の導線の時}$$

$$\rho = 858.7 (\Omega \cdot \text{cm}) \dots\dots\dots \text{錫メッキ線の時}$$

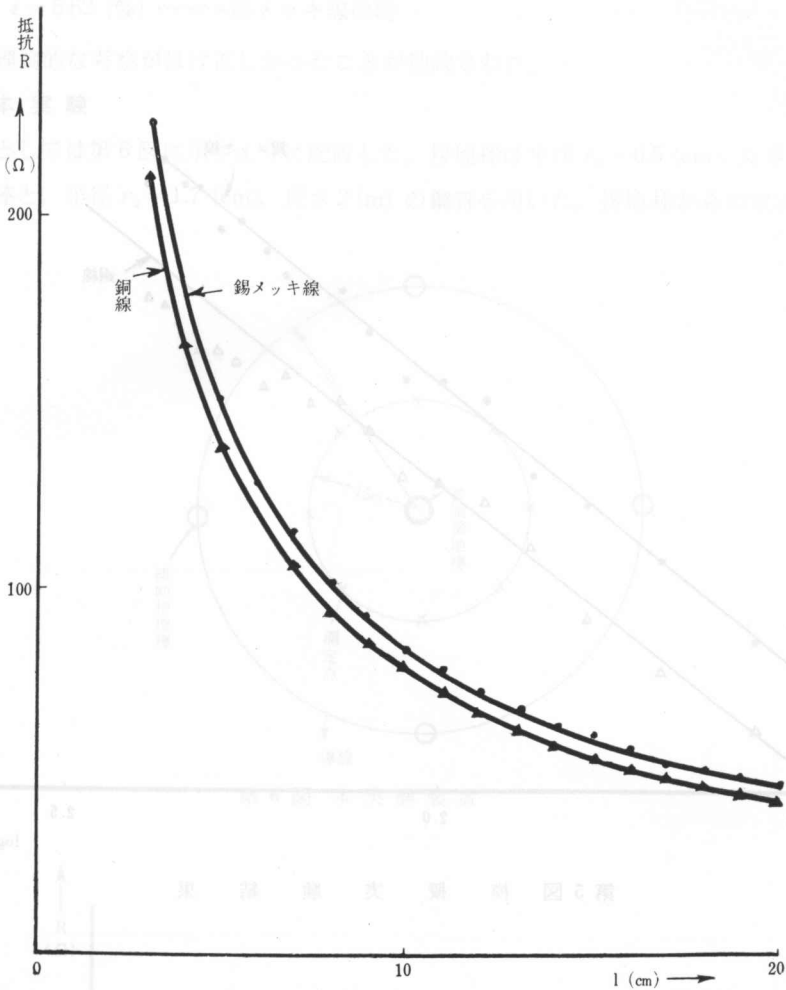
として求まる。さらに接触抵抗に関する定数も次のように得られる。

$$k = 74 (\Omega \cdot \text{cm}^2) \dots\dots\dots \text{銅の導線の時}$$

$$k = 92 (\Omega \cdot \text{cm}^2) \dots\dots\dots \text{錫メッキ線の時}$$

なお上の方法で求めた抵抗率と、通常の U 字管を用いて標準液の抵抗率と比較する方法で求めた抵抗率とを比較検討した。すなわち標準 Na Cl 溶液 (蒸留水 1 l 中に純粋な食塩 26.4 (g) を溶かす) を U 字管に入れて抵抗を測り、U 字管の容器定数を求め、次に未知の溶液の抵抗を測り、その抵抗率を求める方法である。

標準 Na Cl 溶液について次のような結果を得た。



第4図 模擬実験結果

1. Kohlrausch bridge (前記と同じ) を用いて測定した結果

$$R_s = 89 \quad (\Omega)$$

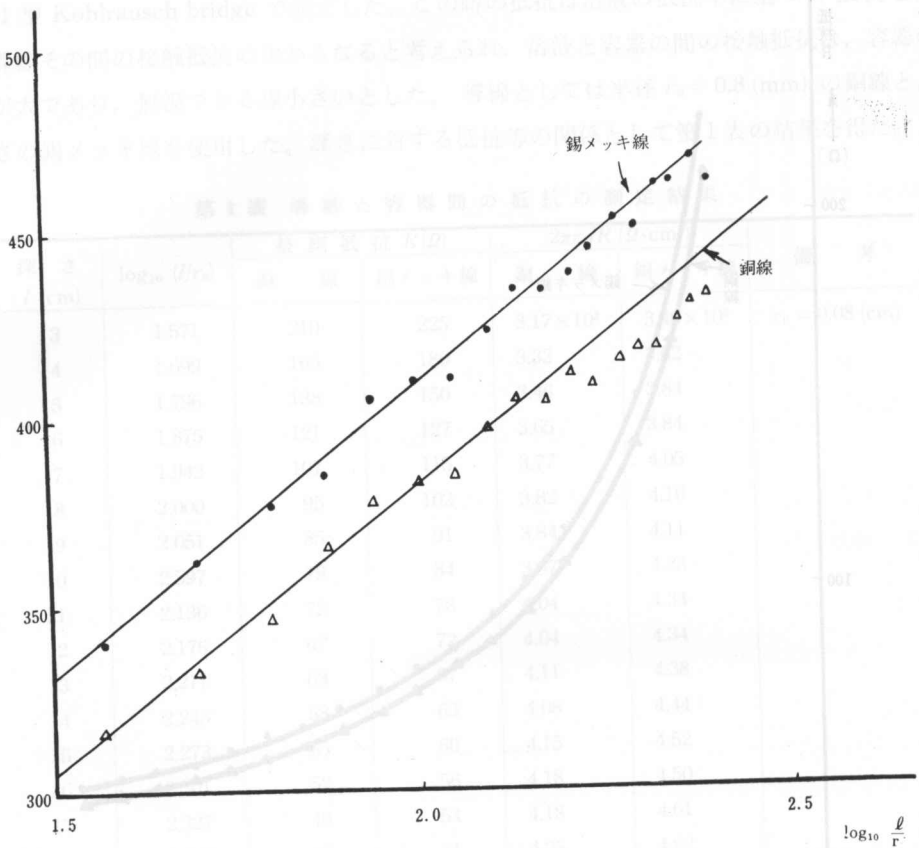
2. 横河電機 K.K. 製 BV-Z-13 A 型万能ブリッジを用いて測定した結果 (1000 c/s)

$$R_A = 10^3 \quad (\Omega) \quad R_B = 591 \quad (\Omega)$$

$$R_C = 6660 \quad (\Omega)$$

$$R_s = \frac{R_A R_B}{R_C} = 88.7 \quad (\Omega)$$

以上の二方法により、ほとんど  $R_s$  の差は認められなかったが、裸測定液の抵抗を万能ブリッジで求めたので、標準液の抵抗  $R_s$  も万能ブリッジで得た 88.7 ( $\Omega$ ) の方をとった。なおこのときの標準液の温度は 18.5 ( $^{\circ}\text{C}$ ) であり、表からこの温度における標準液の抵抗率は次のように



第 5 図 模 擬 実 験 結 果

なる。

$$\rho_s = \frac{1}{0.245} \quad (\Omega \cdot \text{cm})$$

次に被測定液を同じ U 字管に入れて抵抗を求めた結果は次の通りである。

$$R_A = 10^5 \quad (\Omega), \quad R_B = 153.3 \quad (\Omega),$$

$$R_C = 869 \quad (\Omega)$$

$$\therefore R = 1.764 \times 10^4 \quad (\Omega)$$

したがって被測定液の抵抗率は次のようになる。

$$\rho = \rho_0 \frac{R}{R_s} = 813 \quad (\Omega)$$

そこで上述の二方法で求めた被測定液の抵抗率を比較してみる。標準液と比較して得た値を真値として、誤差率を求めて次の値を得た。

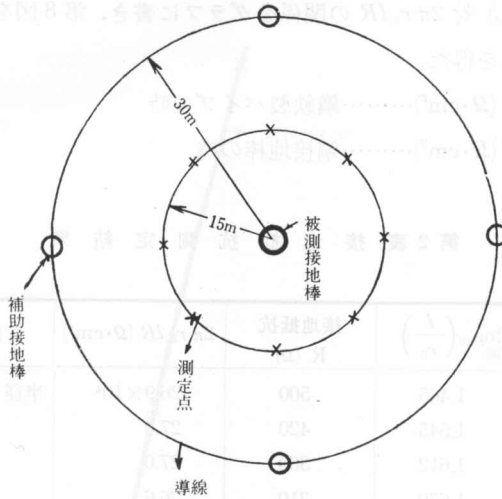
$$\epsilon = 2.95 \text{ (\%)} \dots\dots\dots \text{銅の導線の時}$$

$\epsilon = 5.62$  (%) ……錫メッキ線の時

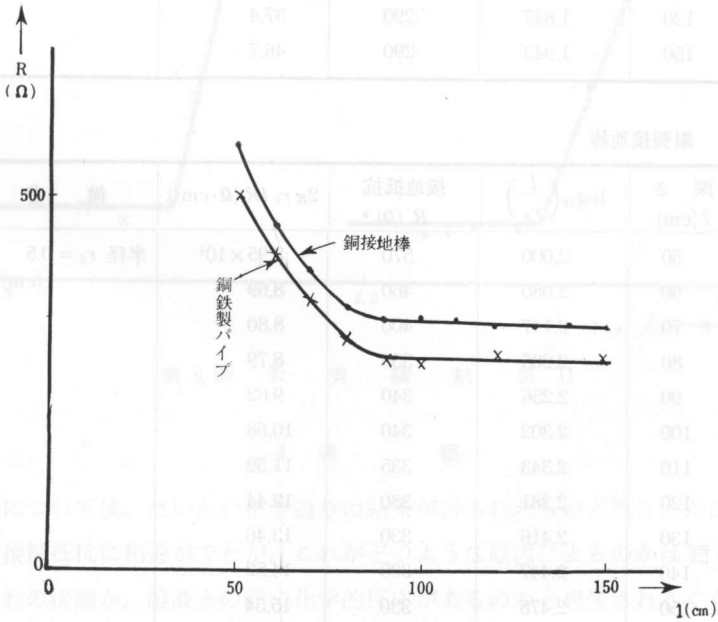
上式より理論的な考察がほぼ正しかったことが結論された。

### 3. 2. 本実験

装置としては第6図に示すように配置した。接地棒は半径  $r_0 = 0.5$  (cm), 長さ 1.5 (m) の市販銅接地棒と, 半径  $r_0 = 1.7$  (cm), 長さ 2 (m) の鋼管を用いた。接地棒からの電流が放射状に



第6図 本実験装置



第7図 本実験結果 I

なるように、第5図のように接地棒を中心として4本の補助の棒状電極を配置し、各電極を導線で結んだ。接地抵抗の測定には横河電機 K.K. 製の測音1号接地抵抗器を使用した。これは交流電位差計の原理によるもので補助接地棒の接地抵抗等は測定されず、また実際面に応用できると考えたためである。一つの深さについて第5図のように8ヶ所で測定したが、ほとんど全く同一の測定値を得て、大地内の電流分布が理想状態であると察せられた。結果は第2表および第7図に示した通りである。

この表から  $\log_{10}(l/r_0)$  対  $2\pi r_0 lR$  の関係をグラフに書き、第8図を得る。グラフより接触抵抗の定数として次の値を得た。

$$k = 27.0 \times 10^4 (\Omega \cdot \text{cm}^2) \dots \dots \dots \text{鋼鉄製パイプの時}$$

$$k = 8.70 \times 10^4 (\Omega \cdot \text{cm}^2) \dots \dots \dots \text{銅接地棒の時}$$

第2表 接地抵抗測定結果

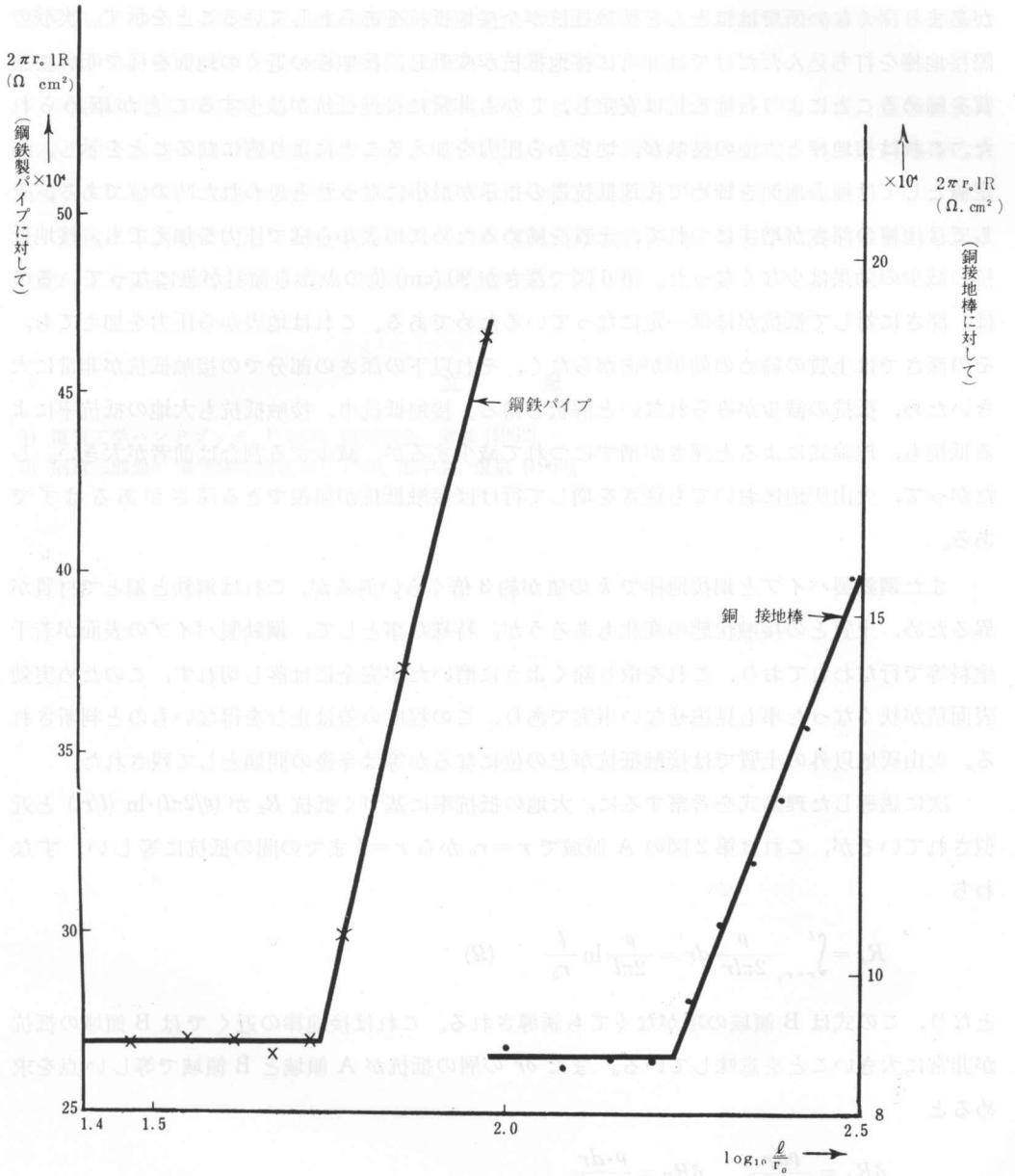
鋼鉄製パイプ

深さ $l$ (cm)	$\log_{10}\left(\frac{l}{r_0}\right)$	接地抵抗 $R$ ( $\Omega$ )	$2\pi r_0 lR$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	備考
50	1.465	500	$26.9 \times 10^4$	半径 $r_0 = 1.71$ (cm)
60	1.545	420	27.0	
70	1.612	360	27.0	
80	1.670	310	26.6	
90	1.721	280	27.0	
100	1.769	280	30.0	
120	1.847	290	37.4	
150	1.943	290	46.7	

銅製接地棒

深さ $l$ (cm)	$\log_{10}\left(\frac{l}{r_0}\right)$	接地抵抗 $R$ ( $\Omega$ )	$2\pi r_0 lR$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	備考
50	2.000	570	$8.95 \times 10^4$	半径 $r_0 = 0.5$ (cm)
60	2.080	460	8.69	
70	2.147	400	8.80	
80	2.205	350	8.79	
90	2.256	340	9.62	
100	2.302	340	10.68	
110	2.343	335	11.59	
120	2.381	330	12.44	
130	2.416	330	13.46	
140	2.447	330	14.52	
150	2.478	330	15.54	





第8図 本実験結果II

4. 考 察

模擬実験については、だいたい推察通りの結果が得られたものと思う。ただし銅線と錫メッキ線の間で接触抵抗に相違がでたが、これがどのような原因によるのかは簡単にわからない。表面の汚れの状態か、溶液との間の化学的反応があるのかと想像されるくらいである。

本実験については模擬実験理理論と合致する結果にならなかった。それは第6図から深さ

があまり深くない所ではほとんど接触抵抗が全接地抵抗をあらわしていることを示す。実験の際接地棒を打ち込んだだけでは非常に接地抵抗が変動し、接地棒の近くの地面を槌で叩いて土質を締めることにより接地抵抗は安定し、しかも非常に接地抵抗が減少することが認められた。これは接地棒と大地の接触が、地表から圧力を加えることにより密になることを示し、測定値としては極力地面を締めて接地抵抗器の指示が最小になったと思われた時の値である。そして接地棒の深さが増すにつれて、土質を締めるために地表から槌で圧力を加えても、接地抵抗の減少の効果は少なくなった。第6図で深さが90 (cm) 位の点から傾斜が急になっているのは、深さに対して抵抗がほぼ一定になっているためである。これは地表から圧力を加えても、その深さでは土質の締め効果があがらなく、それ以下の深さの部分での接触抵抗が非常に大きいため、抵抗の減少がみられないと解釈し得る。接地抵抗中、接触抵抗も大地の抵抗率による抵抗も、理論式によると深さが増すにつれて減少するが、減少する割合は前者が大きい。したがって、火山灰地においても深さを増して行けば接触抵抗が無視できる深さがあるはずである。

また鋼鉄製パイプと銅接地棒で  $k$  の値が約3倍くらい異なるが、これは鋼鉄と銅とで材質が異なるため、土質との接触状態の変化もあろうが、特殊な事として、鋼鉄製パイプの表面が若干塗料等で行なわれており、これを取り除くように磨いたが完全には落し切れず、このため実効表面積が狭くなった事も見逃せない事実であり、この程度の差は止むを得ないものと判断される。火山灰地以外の土質では接触抵抗がどの位になるか等は今後の問題として残された。

次に誘導した理論式を考察するに、大地の抵抗率に基づく抵抗  $R_2$  が  $(\rho/2\pi l) \cdot \ln(l/r_0)$  と近似されているが、これは第2図のA領域で  $r=r_0$  から  $r=l$  までの間の抵抗に等しい。すなわち

$$R_A = \int_{r=r_0}^l \frac{\rho}{2\pi lr} dr = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r_0} \quad (9)$$

となり、この式はB領域の項がなくても誘導される。これは接地棒の近くではB領域の抵抗が非常に大きいことを意味している。また  $\delta r$  の層の抵抗がA領域とB領域で等しい点を求めると

$$\delta R_A = \frac{\rho dr}{2\pi lr}, \quad \delta R_B = \frac{\rho \cdot dr}{2\pi r^2}$$

であるから  $r=l$  の所である。上式より  $r < l$  では  $\delta R_A < \delta R_B$  であり、 $r > l$  では  $\delta R_B > \delta R_A$  となる。したがって  $r < l$  の範囲で電流は大部分A領域中を、 $r > l$  の範囲でB領域中を流れると考え得る。しかも  $r > l$  の範囲のB領域の抵抗は

$$\int_{r=l}^{\infty} \frac{\rho}{2\pi r^2} dr = \frac{\rho}{2\pi l}$$

となり、これは  $r < l$  の範囲のA領域の抵抗と較べて、 $l \gg r_0$  のときはほとんど無視できるほ

ど小さい。ゆえに接地抵抗は接地電極のごく近くの抵抗であり、この抵抗のあらわれる範囲は接地棒から、棒の深さを半径とする区域であると考え得る。

今回の実験の結論としては、火山灰地においては接地棒の深さが浅いときは、接地抵抗は殆んど棒と大地の間の接触抵抗であり、この範囲の深さで良好な接地を得るには、接地棒の表面積を大にして、大地との接触を極力密にすることを要するということである。

最後に本実験に対して御批判をいただいた電気料の教官各位、ならびに実験に協力した水口健、土方正範両君の努力に厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 電気工学ハンドブック, P 1422, 電気学会, 東京 (1962).
- 2) 沼倉三郎他: 電気磁気測定 III, P 66, 電学会, 東京 (1962).