

Title	建築構造体接地の接地抵抗測定に関する研究
Author(s)	森田, 祐志; 長岡, 直人
Citation	電気材料技術雑誌. 2013, 22, p. 15-20
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76898
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

建築構造体接地の接地抵抗測定に関する研究

森田祐志¹⁾，長岡直人²⁾

¹⁾ 株式会社きんでん京都研究所

〒619-0223 京都府木津川市相楽台 3-1-1

²⁾ 同志社大学理工学部電気工学科

〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3

Study for Measured Grounding Resistance of a Building Base

Hiroshi MORITA¹⁾, Naoto NAGAOKA²⁾

¹⁾ Kyoto Institute, Kinden Corporation, Kizugawa, Kyoto, Japan

²⁾ Dept. of Electrical Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto, Japan

A simple earth tester, which enables to measure the grounding resistance with a high C-electrode's grounding-resistance of 150 Ω, is developed in this paper. The unique circuit configuration and high sensitivity of the tester reduce the capacity of its current injecting source. It is confirmed that the proposed tester has a sufficient accuracy for a practical application by a comparison with a measured result by a conventional method with a large capacity source. The proposed tester also enables to reduce the length between the P-electrode and the measuring object to half by a proposed correction method with a double P-electrode system. The accuracy of the correction is confirmed by a field measurement.

Keywords: 建築構造体，電位降下法，簡易接地抵抗計，電磁界解析

1. はじめに

共用接地方式は等電位化ができ、接地極の数が少なくなり、接地系統が単純になる。この共用接地方式の中で接地抵抗が非常に低い建築構造体接地方式が多く採用されている。建築構造体接地の考え方は、建物の鉄骨、鉄筋を接地線として利用し、建物の地表下部分の鉄筋コンクリート造を接地極として利用するものである。建築構造体を接地極として利用する場合、接地抵抗値の確認が必要となるが、この確認は実測値または計算によることとされている(電気設備技術基準解釈第 18 条)。

この中で本論文では、実測による建築構造体の接地抵抗値の確認について、一般的に行われている電位降下法による測定方法(従来法)と今回開発した簡易接地抵抗計の概要について述べる^{1)~2)}。次に実物件での測定実験で、電位降下法による測定結果と簡易接地抵抗計による測定結果について比較を行った。また、測定のための電位補助極の距離が十分確保できない場合の補正手法(提案法)について、その概要を説明し、実際の建物による実験とその評価について述べる。

2. 電位降下法による接地抵抗測定

建築構造体の電位降下法による接地抵抗測

定は、一般的に JIS A 4201:1992(建築物等の避雷設備)に示されている方法(図 1)で行われるが、電流 I_s は 20A 程度流すこととしており³⁾、電流補助極との距離 l_c は、接地施設が正方形ならば、その 1 辺の長さ a (その他の形では正方形に換算して)とすると $3a$ 以上、電圧補助極との距離 l_p は $5a$ 以上とするとしている。都市部においては、この電位補助極、電流補助極の位置の確保が困難である。

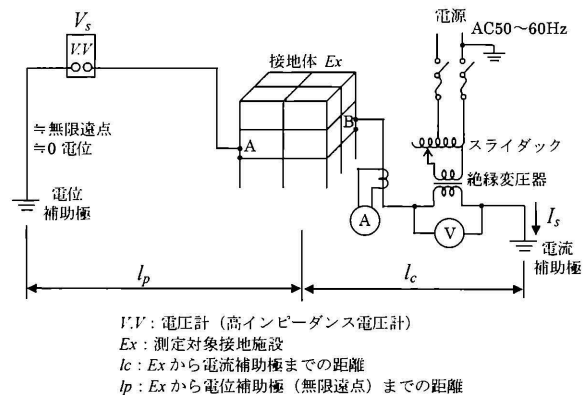


図 1 電位降下法による接地抵抗測定

Fig. 1 Method of measured earth-resistance of building basement by the fall of potential method

図1において、 I_S [A]なる電流を流して $V.V$ の読みが V_s [V]であったとすると、求める接地抵抗は $R=V_s/I_S$ [Ω]となるが、電圧回路に対する誘起電圧の影響並びに接地電流その他による大地浮遊電位の影響に基づく誤差を除くため、まず、接地系の電位上昇の真値 V_{S0} [V]を求める。

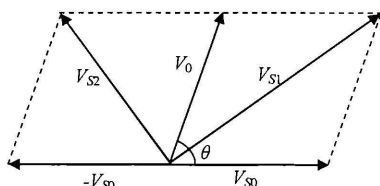


図2 ベクトル図
 Fig. 2 Vector plot

図2のベクトル図から V_{S1} , V_{S2} は、次式で与えられる。

$$V_{S1}^2 = (V_{S0} + V_0 \cos \theta)^2 + (V_0 \sin \theta)^2 \quad \dots (1)$$

$$V_{S2}^2 = (-V_{S0} + V_0 \cos \theta)^2 + (V_0 \sin \theta)^2 \quad \dots (2)$$

(1), (2)式を整理すると V_{S0} は、(3)式で与えられる。

$$V_{S0} = \sqrt{\frac{V_{S1}^2 + V_{S2}^2 - 2V_0^2}{2}} \quad \dots (3)$$

ここで、 V_{S1} [V] : 測定時の電圧計 $V.V$ の読み

V_{S2} [V] : 電流の極性を逆転したときの電圧計 $V.V$ の読み

V_0 [V] : 電流 $I_S=0$ における電圧計 $V.V$ の読み

したがって、真の接地抵抗値は $R_0=V_{S0}/I_S$ [Ω]となる。 I_S を大きくすることで V_0 の影響を小さくすることができるため、20A程度の電流を流すことを求めている。

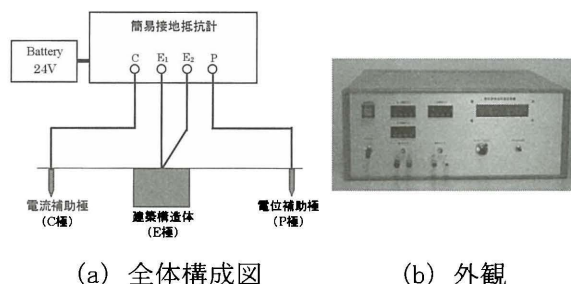
3. 簡易接地抵抗計の開発

3.1 簡易接地抵抗計の概要

前述したとおり、電位降下法による測定では、測定線が誘導の影響を受けても誤差が少なくなるように20A以上の測定電流を流すことが望まれており、これを実現するために、発電機や変圧器などを使用する比較的大掛かりな方法で行われている。さらに、20A以上の測定電流

を流すためには、電流補助極の接地抵抗値を10Ω以下にするよう求めることがあり、非常に手間がかかる。これらを解決するため、バッテリーで駆動し、電流補助極の接地抵抗値が150Ω程度でも測定可能な建築構造体を対象とした簡易接地抵抗計を開発した。

簡易接地抵抗計は、任意の周波数(45Hz～65Hz)の正弦波電流(発生電流)を建築構造体(E極)と電流補助極(C極)の間に流し、E極と電位補助極(P極)間の電圧を測定して、建築構造体の接地抵抗を得る測定器である。P-E間の電圧は、発生電流と同期した周波数を抽出することで精度のよい測定が可能である。図3に全体構成と外観を示す。



(a) 全体構成図 (b) 外観

図3 簡易接地抵抗計

Fig. 3 Simple earth tester

P-E間から得られる電圧信号には商用電源に由来するノイズのほか、電線を長く引きまわすことで測定線自体がアンテナになってしまうことによる高周波ノイズ、周辺で稼働している機器のノイズが混入する。このため本装置では、発生周波数と同じ中心周波数をもつバンドパスフィルタを測定系に入れることで、不要な周波数の信号を除去し、P-E間で得られる数mVの電圧を正確に測定できるようにしている。

3.2 簡易接地抵抗計による測定実験

測定対象とする建築構造体は、50Hz地域にあり、地上10階建ての鉄骨造で、地表下部分は鉄骨鉄筋コンクリート造の横68m、縦21m、埋設深さ8.8mである。電流補助極(C極)を、建築構造体の中心から $l_c=148$ mの位置に打込み、電位補助極(P極)を、 $l_p=262$ mの位置に打込んだ。

図4に測定対象建物と各補助極の位置関係を示す。測定対象建物を正方形換算した場合の1辺の長さ a は $44.5\text{m} (= (68+21)/2)$ であることから、C極、P極との距離は $l_c=3.3a$, $l_p=5.9a$ となり JIS A4201:1992 の条件を満たす。また、C極の接地抵抗値は約 10Ω であった。

この測定対象物について、それぞれ電位降下法による測定、簡易接地抵抗計による測定を行った。電位降下法による測定は、発電機(200V, 50Hz)を利用して実施した。

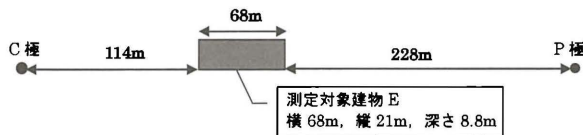


図4 測定対象建物と各補助極の位置関係
Fig.4 Position relations of building basement and E, P-pole

(1) 電位降下法による測定結果

C-E間の電流 $I_S=0$ におけるP-E間の電圧 V_0 の波形を図5に示す。 V_0 は大地浮遊電位を表している。この波形は、実効値 80mV 程度で、主な周波数成分は、 50Hz , 150Hz , 8kHz , 35kHz などであるが、それ以外にさまざまな周波数が混在している。

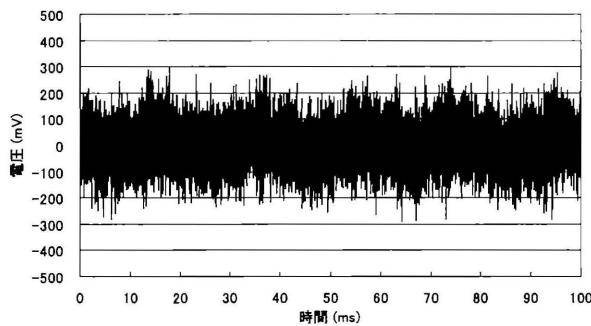


図5 P-E間の電圧波形 V_0 (通電電流 $I_0=0$)
Fig.5 P-E Voltage waveform ($I_0=0$)

C-E間に電流 $I_S=20\text{A}$ を通電した場合のP-E間の電圧 V_{S1} の波形を図6に示す。

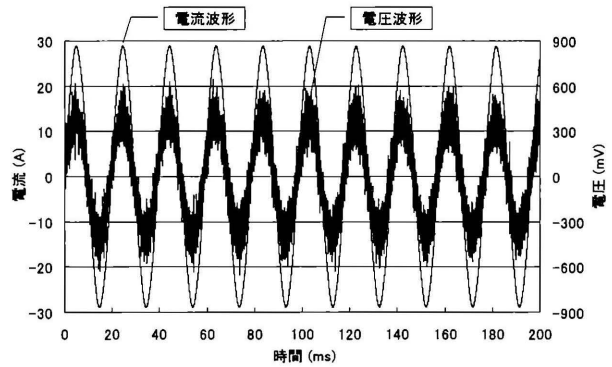


図6 P-E間の電圧波形 V_{S1} (通電電流 $I_S=20\text{A}$)
Fig.6 P-E Voltage waveform ($I_S=20\text{A}$)

電圧波形に高周波成分は重畳しているが、通電電流と同じ 50Hz の波形になっている。次に、電流の極性を反転させてP-E間の電圧 V_{S2} を測定し、(3)式に代入して V_{S0} を求める。接地抵抗値は、 $R_0=V_{S0}/I_S$ により計算する。

測定結果を表1に示す。表中の V_{IN} は、電源入力電圧で、例えば 20A 通電時には、 3.7kVA の電源容量が必要となる。

表1 電位降下法 測定結果(C極 10Ω)

Table1 Measurement results by the fall of potential method (C: 10Ω)

V_0 (V)	I_S (A)	V_{IN} (V)	V_{S1} (V)	V_{S2} (V)	V_{S0} (V)	R_0 (Ω)
0.0684	20	185	0.2830	0.2820	0.2741	0.0137
0.0684	30	280	0.4250	0.4150	0.4144	0.0138

(2) 簡易接地抵抗計による測定結果

図7にC-E間に周波数 45Hz , 1.32A の電流を通電した場合のP-E間の電圧波形(フィルタなし)を示す。商用周波数 50Hz の影響を避けるため 45Hz を選択している。フィルタを採用しないと観測電圧波形には、ノイズなどによる誘起電圧に、 45Hz の信号成分が埋もれてしまう。

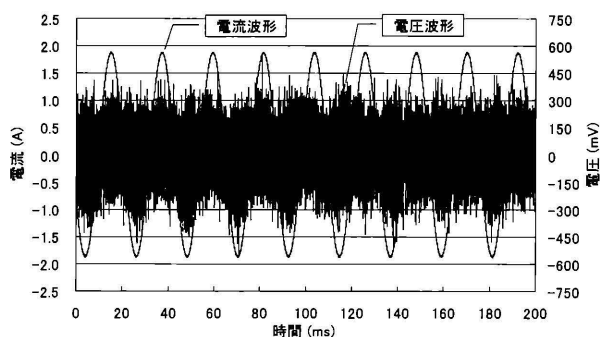


図7 C-E間電流波形, P-E間電圧波形
 (通電電流 45Hz 1.32A, フィルタなし)
 Fig.7 C-E Current Waveform, P-E Voltage waveform (45Hz, 1.32A, no-Filter)

図8にC-E間に前例と等しい周波数45Hz, 1.32Aの電流を通電した場合のP-E間電圧のフィルタ通過後の波形を示す。

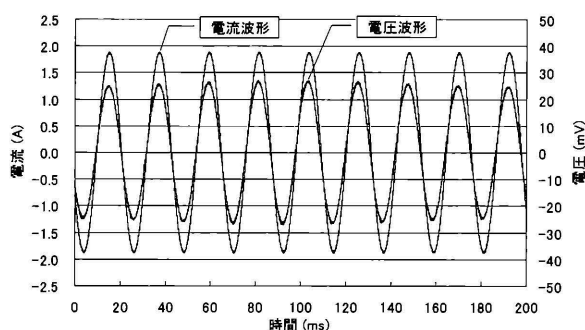


図8 C-E間電流波形, P-E間電圧波形
 (通電電流 45Hz 1.32A, フィルタあり)
 Fig.8 C-E Current Waveform, P-E Voltage waveform (45Hz, 1.32A, Filter)

図より, 提案法により電流波形と同じ周波数45Hzの電圧波形が良好に抽出されていることが明らかである。

測定結果を表2に示す。周波数45Hz一定で, 電流を変化(0.30~1.65A)させた場合でも, 電流1.32A一定で, 周波数を変化(48, 52, 55Hz)させた場合でも, 接地抵抗測定値はほぼ等しく, 電位降下法による測定結果とも概ね一致する。

また, 電源容量は, 例えば1.32A通電時に電源入力電圧が13.3Vであったため, 17.6VAであり, 電位降下法の1%以下となる。

表2 簡易接地抵抗計 測定結果(C極10Ω)
 Table2 Measurement results by Simple earth tester (C:10Ω)

周波数 (Hz)	C-E間電流 (A)	P-E間電圧 (mV)	接地抵抗 (Ω)
45	0.30	4.18	0.0139
	0.63	8.75	0.0139
	0.97	13.09	0.0135
	1.32	18.04	0.0137
	1.65	22.78	0.0138
48	1.32	17.94	0.0136
52		17.89	0.0136
55		18.00	0.0136

表3にC極の接地抵抗値を150Ωとした場合の測定結果を示す。C極が150Ωになっても概ね一致した値を得ることができる。

表3 簡易接地抵抗計 測定結果(C極150Ω)
 Table3 Measurement results by Simple earth tester (C:150Ω)

周波数 (Hz)	C-E間電流 (A)	P-E間電圧 (mV)	接地抵抗 (Ω)
45	0.66	8.57	0.0130

4. 接地抵抗測定値の補正手法(提案法)

前項では, 発電機, 変圧器などを使用する従来法に比べて, 測定が簡単な簡易接地抵抗計について述べたが, ここでは, 電位補助極の距離を従来法の半分程度にできる補正手法について述べる。

4.1 補正手法の概要

図9に示す解析モデルを用いて, 補正手法について検討する。建築構造体(E極)と電位補助極(P極)の距離が十分離れている場合(無限遠)は, P-E間電圧と注入電流 I_c [A]でE極の真の抵抗値を求めることができる。しかし, 離隔距離が十分とれない場合は, P-E間電圧は無限遠の場合に比べて小さくなり, 抵抗値は小となる。このため, P極を2カ所に埋設し, それぞれの

P-E間電圧を用いてE極の真の抵抗値を求める手法について検討する。

図9に示すように、E極とP₁極、P₂極、電流補助極(C極)を埋設する。P₁極およびP₂極とE極中心間の距離をそれぞれ l_{P1} [m]、 l_{P2} [m] ($l_{P1} < l_{P2}$) として、P₁-E間電圧 V_{Bm1} [V]とP₂-E間電圧 V_{Bm2} [V]を求める。

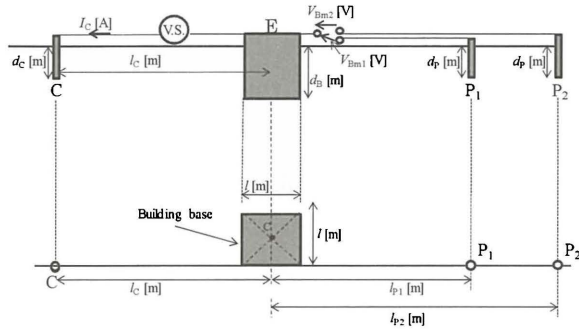


図9 接地抵抗値の補正手法

Fig. 9 Simulation model (Proposed-method)

P₁極およびP₂極に生じる電位上昇値をそれぞれ V_{P1} [V]、 V_{P2} [V]とすると、 V_{Bm1} [V]と V_{Bm2} [V]は次式で表される。

$$V_{Btc} - V_{P1} = V_{Bm1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V_{Btc} - V_{P2} = V_{Bm2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 V_{Btc} [V] : E極電位上昇値

図10に示すようにE極を中心としてその外周方向に等電位線が生じていると考えられるため、(6)式に示す関係が得られる。

$$l_{P1}V_{P1} = l_{P2}V_{P2} = Const. \quad \dots\dots\dots (6)$$

(4)～(6)式より(7)式が与えられ、E極とP₁極、P₂極の距離およびP₁-E間電圧 V_{Bm1} [V]とP₂-E間電圧 V_{Bm2} [V]からE極の電位上昇値を求めることができる。

この電位上昇値と電流 I_C [A]でE極の真の抵抗値を推定することができる。

$$l_{P1}V_{Bm1} - l_{P2}V_{Bm2} = (l_{P1} - l_{P2})V_{Btc} \quad (7)$$

$$V_{Btc} = \frac{1}{(l_{P2} - l_{P1})} (-l_{P1}V_{Bm1} + l_{P2}V_{Bm2})$$

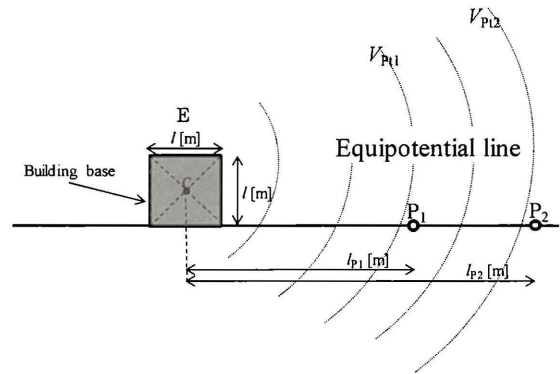


図10 E極から生じる等電位線

Fig. 10 Equipotential line from building base

本提案法の精度を検証するために、電磁界解析FDTD (Finite Difference Time Domain)法を用いてシミュレーションによる検討を行った。

シミュレーションは、図9に示す解析モデルで l_C [m]を固定して l_{P1} [m]および l_{P2} [m]の組合せにより(7)式から与えられる電圧計算結果と注入電流 I_C [A]の比により計算される接地抵抗値と接地抵抗値の真値を比較して検討した。

この結果、 l_{P1} [m]と l_{P2} [m]の離隔距離は、建物一辺の長さ l [m]以上として、 $l_{P1}=1.5l$ [m]、 $l_{P2}=2.5l$ [m]とすることで高精度な推定が可能であることがわかった。このため、提案法は、従来法に比べて電位補助極の距離を半分程度にすることができる。なお、 l_C は従来通り3倍程度必要という結果を得た。

4.2 実測による補正手法の精度検証

提案法の有用性を検討するため、前項で測定対象とした建築構造体(横68m、縦21m、埋設深さ8.8m)の接地抵抗値を実測した。実測では、C極の埋設位置 l_C は、建築構造体の中心から148mの位置とした。このとき、P極の埋設位置 l_P を建築構造体の中心から71m～262mと変化させ、各離隔距離におけるP-E間電圧 V_{Bm} を測定した。表4に測定結果を示す。表4より、 $l_{P1}=71$ [m]、 $l_{P2}=120$ [m]の場合、提案式を用いて実測結果を補正すると $V_{Btc}=0.404$ [V]が得られる。正方形換算した場合の1辺の長さ a を44.5mとすると、71mと120mはそれぞれ $1.6a$ 、 $2.7a$ とな

る。 $l_p=262$ [m]の場合、実測結果 $V_{Bm}=0.414$ [V] であり、補正結果との差異はおよそ 2.4 %であり、十分な精度を有している。これより、提案法を用いることで精度を低下させることなく、従来法と比して電位補助極距離を半分程度にすることが可能である。

表4 実測による提案法の精度検証

Table4 Accuracy validation of proposal method

l_p [m]	V_{Bm} [V]
71	0.3479
79	0.3525
89	0.358
98	0.3623
105	0.3633
114	0.3681
120	0.3708
132	0.3722
143	0.3775
152	0.3900
163	0.3895
173	0.3967
262	0.4144

5. おわりに

本論文では、実測による建築構造体の接地抵抗値の確認について、一般的に行われている電位降下法による測定方法と簡易接地抵抗計の概要について記述した。また、実物件での測定実験で、電位降下法による測定結果と簡易接地抵抗計による測定結果について比較し、概ね一致した値であることを確認した。簡易接地抵抗計によるとC極接地抵抗値が 150Ω と高くても測定できる。

また、測定のための電位補助極の距離が十分確保できない場合の補正手法(提案法)について、その概要を説明し、実際の建物による実験とその評価について述べた。

電位補助極を2箇所埋設し、それぞれ電圧を測定し、実測値を補正することで、測定精度

を低下させることなく、真の接地抵抗値を取得できることを確認した。このときの電位補助極の位置は、従来法の半分程度にすることが可能である。

参考文献

- 1) 森田, 高橋: 建築構造体測定のための簡易接地抵抗計の検討, 2012年度電気設備学会全国大会, pp.19-20
- 2) 森田: 建築構造体抵抗測定の現状と簡易接地抵抗計の開発, 電気設備学会誌, Vol32, No.11, 2012, pp.819-821
- 3) 日本電気技術規格委員会: 発変電規程 JEAC5001-2000, pp.294-296

(2013年7月20日受理)



森田祐志

1964年4月生。1992年(株)きんでん入社。2012年3月関東学院大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。現在、京都研究所に所属。主として、接地システム, 電磁環境の研究に従事。技術士(電気・電子部門)。電気学会, 日本建築学会, 日本技術士会などの会員。



長岡直人

1957年10月生。1982年同志社大学大学院工学研究科博士前期課程。1985年同大学工学部助手, 1988年同専任講師, 1992年同助教授, 1999年同教授, 現在に至る。2005年10月~2006年9月アイルランド国立大学ゴールウェイ校客員教授。2008-2011年度同志社大学生命医科学研究科教授兼任。2010~2011年度同大学リエゾンオフィス所長, 知的財産センター所長。博士(工学)。電気回路シミュレーションおよび数値解析モデルの開発に従事。1993年電気設備学会論文賞, 1994年照明学会論文賞受賞。電気設備学会, 日本建築学会, IEEE 会員。

(本論文は平成24年度電気材料技術優秀論文の受賞内容をまとめたものである)