接地サージ解析のための損失媒質パラメータ推定

学生員 吉村 貴広* 正員 長岡 直人*

正員 馬場 吉弘* 正員 雨谷 昭弘*

Evaluation of Parameters of Lossy Medium for Surge Analysis of Grounding Electrodes

Takahiro Yoshimura*, Student Member, Naoto Nagaoka*, Member, Yoshihiro Baba*, Member, Akihiro Ametani*, Member

In this letter, we have demonstrated a simple method to evaluate the resistivity and relative permittivity of a lossy medium. The method comprises two parts: the first one is to measure the frequency characteristic of impedance between two parallel electrodes having a lossy medium inside, and the second one is to calculate the resistivity and relative permittivity of the medium, in terms of the resistance and capacitance between the electrodes, from the measured frequency characteristic of impedance.

キーワード：接地インピーダンス，損失媒質，サージ解析，土壌パラメータ

Keywords: grounding impedance, lossy medium, surge analysis, soil parameters

1. 緒言

接地電極のサージ応答を，設備設計時に知ることができれば極めて有用である。これは，FDTD 法等近年のシミュレーション技術の進歩により実現しつつあるが，この種の解析には土壌の抵抗率と比誘電率が不可欠である⁽¹⁾⁽²⁾。本論文では，川砂あるいはコンクリートを二枚の平板電極で挟み，その間のインピーダンスの周波数特性を測定し，これより媒質の等価抵抗率と等価比誘電率を簡易に導出する。

2. 実験方法

図 1 に測定回路図を示す。半径 50 mm のアルミニウム円板電極（以下電極）で対象とする媒質を挟み，電極間のインピーダンスをインピーダンスアナライザにて測定する。対象とする媒質が川砂（平均粒径 1 mm）の場合には，電極と媒質の接触インピーダンスを一定とするために，電極上部に錘を置き圧力を 5.6 kPa とした。媒質を川砂とした場合は (1) 式で定義する含水率 α が 0, 0.5, 1, 2% の 4 ケースで測定を行った。 α は媒質に含まれる水の質量 W_w ，媒質全体の質量（水を含む） W_a を用いて次式のように定義した。

$$\alpha = W_w / W_a \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (1)$$

コンクリートの試料は，普通ポルトランドセメント，川砂，砂利を体積比 1 : 3 : 6 の割合で調合し，これを半径 50 mm の塩化ビニルパイプを型枠として，半径 50 mm のアルミ電極と共に固め作成した。型枠から取り出し，常温で放置し乾燥する間電極間インピーダンスを定期的に測定

図 1 測定回路

Fig. 1. Measuring circuit.

したところ，インピーダンスは当初一週間上昇したが，それ以降は一定となった。

3. 実験結果と考察

図 2 に川砂を，図 3 にコンクリートを挟んだ電極間のインピーダンス周波数特性をそれぞれ示す。両図より，いずれも電極間隔の増加に伴いインピーダンスが線形に上昇することが知られる。したがって，電極間インピーダンス Z は，(i) 媒質サンプル間隔に依存しない電極と媒質の接触インピーダンスと，(ii) 電極間隔に比例する媒質固有のインピーダンスから構成されるものと考えられる。

$$Z = Z_d \cdot d / S + Z_c / S [\Omega] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで， $Z_d [\Omega m]$ は規格化した媒質インピーダンス， $Z_c [\Omega / m^2]$ は電極と媒質の接触インピーダンス， $d [m]$ は電極間距離， $S [m^2]$ は媒質サンプルの断面積である。

各電極間隔インピーダンスの測定結果から，最小二乗法を用いて求めた川砂およびコンクリートの規格化したインピーダンス Z_d の周波数特性を図 4，図 5 に示す。含水率

* 同志社大学工学部電気工学科
〒610-0321 京田辺市多々羅都谷 1-3
Department of Electrical Engineering, Doshisha University
1-3, Miyakodani, Tatara, Kyotanabe 610-0321

図2 電極間インピーダンス測定結果 (川砂, $\alpha = 0.5\%$)

Fig. 2. Measured impedance between electrodes (sand, $\alpha = 0.5\%$).

図3 電極間インピーダンス測定結果 (コンクリート)

Fig. 3. Measured impedance between electrodes (concrete).

(a) 振幅

(b) 位相

図4 川砂のインピーダンス周波数特性

Fig. 4. Frequency characteristics of sand impedance.

図5 コンクリートのインピーダンス周波数特性

Fig. 5. Frequency characteristic of concrete impedance.

図6 等価回路モデル

Fig. 6. Equivalent circuit of lossy medium.

表1 川砂およびコンクリートのパラメータ推定値

Table 1. Evaluated parameters of sand and concrete.

	Sand				Concrete
α	0%	0.5%	1%	2%	Unknown
ρ [$\Omega \cdot m$]	---	1.4×10^4	2.8×10^3	1.4×10^3	8.5×10^3
ε_r	5.9	6.3	6.9	6.4	5.4

$\alpha = 0\%$ の場合,川砂のインピーダンス絶対値(図4(a))は周波数の上昇に伴い 20 dB/dec の割合で低下しており,容量性を示す。 $\alpha = 0\%$ 以外およびコンクリートの場合, 100 kHz 以下でインピーダンスはほぼ一定すなわち抵抗性で,高周波領域では容量性となっている。これは図4(b)に示す位相特性からも明らかである。なお, 60 Hz 近傍および高周波領域における位相の振動は,誘導ノイズおよび測定ケーブルの共振によるものである。

以上より,川砂およびコンクリートのインピーダンスは図6に示す RC 並列回路により近似できると考えられる。図4,図5の周波数特性を再現する R および C を最小二乗法により求め,これらと平行平板電極間で成立する $R = \rho d/S$ および $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r S/d$ から算出した等価抵抗率 ρ , 等価比誘電率 ε_r を表1に示す。平行平板電極の使用により,接触インピーダンスの分離および, R, C から ρ, ε_r への変換が容易となる。

4. 結 言

平行円板電極を用いたインピーダンス測定により,川砂およびコンクリートのインピーダンスは容量性を示し,その周波数特性は一段の RC 並列回路で表現できることが明らかとなった。すなわち,今回採用した媒質については,その抵抗率,誘電率の周波数依存性はわずかである。川砂における含水率は抵抗率に大なる影響を及ぼすのに対し,誘電率の含水率依存性は小であった。これらのパラメータは,FDTD 法を用いた電磁界シミュレーションの入力データとすることができ,接地電極の過渡解析に有効と考えられる。

(平成 17 年 1 月 17 日受付)

文 献

- (1) 井上將志・上野耕一・長岡直人・雨谷昭弘:「同軸円筒電極を用いた土壌の周波数特性」,平成 10 年電気関係学会関西支部連合大会, G5-10 (1998)
- (2) 雨河直樹・長岡直人・雨谷昭弘:「無筋コンクリートのインピーダンス周波数特性に関する一検討」,平成 11 年電気関係学会関西支部連合大会, G5-18 (1999)