

# 土壌と樹木の比抵抗因子の解明

○内山 敦史\* 出口 浩\* 柏谷 衛\* 斉藤 秀晴\*\*

\* 東京理科大学 理工学部 土木工学科 環境工学研究室  
千葉県野田市山崎 2641

\*\* (株)CTIサイエンスシステム  
東京都中央区日本橋小伝馬町 1-3 日本橋ニシキビル

## 概要

この研究は、大地比抵抗計をベースに組立てた自動計測装置を用い、チャンネル切替えによって土壌と樹木のできるだけ多くの測定点で時系列的に比抵抗値を計測することにより、更に補足的なマニュアル測定を行うことで土壌と樹木の比抵抗値とその変化を知り、結果の解析を試みたものである。

比抵抗の計測結果より、土壌では含水比の相違により比抵抗値は大きく変化すること、昼間と夜間との差異はなかったが、地面の凍結、降雨により顕著に変化した。樹木では、縦方向での計測が望ましく、比抵抗値は若葉が生える以前(4月初旬まで)とそれ以後とで大きく変化した。

## キーワード

比抵抗計、土壌、樹木

## 1 はじめに

この研究は、土壌と樹木の生長の関連を比抵抗を用いて表す方法を検討するため実施しているものである。測定では、大地比抵抗計をベースに組立てた自動計測装置を用い、チャンネル切替えによって土壌と樹木のできるだけ多くの測定点で時系列的に比抵抗値を計測することにより、土壌と樹木の比抵抗値とその変化を知り、結果の解析を試みたものである。比抵抗値の計測では、電極間隔と電極の打ち込み深さによって測定値がどの程度の差異を生じるのか、降雨と気温が比抵抗値にどの程度の影響を与えるのか。土壌に関しては、含水比の相違によって比抵抗値がどの程度異なるのか。樹木に関しては、電極の打ち込み方向を縦方向にすべきか、横方向にすべきか、また生長中の樹木と伐採をした樹木とで比抵抗値にどのような変化を生じているのか、解明されていない基本事項が数多く存在する。本発表では今までの測定結果を踏まえ、土壌と樹木の比抵抗に関して得られた知見を述べる。

## 2 計測装置と実験方法

### 2-1 土壌での計測

使用した大地比抵抗計は、12V バッテリーを電源として用いている。使用したマニュアル用測定器と自動計測用測定器との性能確認のため、市販されている100Ω、1kΩの抵抗を使用してチェックを行ったが、有

意な差異は見られなかった。測定は、千葉県野田市の東京理科大学セミナーハウス周辺において行い、まず土質工学会の実習書<sup>1)</sup>をもとに含水比試験を行った。含水比100%以上の土壌と70ないし90%の土壌について、電極として銅製のM形のアース棒(長さ30cm、太さ1.8cm)を用い、ウェンナー配置により、電極間隔を10ないし70cmまで10cm間隔で7通り設定した。また、土壌への電極を打ち込み深さに関しては、5ないし25cmまで5cm間隔で打ち込む5通り設定した。ウェンナー配置の電極条件では、図-1に示すように、中心点Oに対して測定線上に電流電極C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>と電位電極P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>を対称的に配列し、かつ電極相互の間隔を等間隔に配置する。測定される比抵抗値の算出には式-(1)を用いた。<sup>2), 3)</sup>

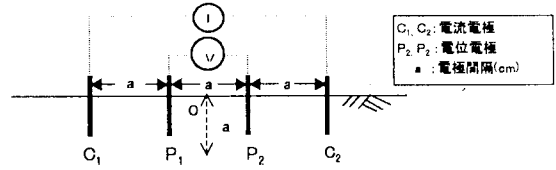


図-1 ウェンナー配置の電極条件での比抵抗表示位置

$$\rho = 2\pi a \cdot V / I \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $\rho$ :比抵抗値( $\Omega$ m)、 $a$ :電極間隔(cm)、 $V$ :電位差(V)、 $I$ :電流値(mA)

式-(1)は、地表面がまったく平坦であり、大地は均質等方で無限の広がりをもつと仮定して求めたもので「真の比抵抗」と呼ばれている。しかし、実際の地盤では、この値は、真の比抵抗値を意味するものではなく、地下の比抵抗分布を反映したものであり、電極周辺のかかなり広い範囲の比抵抗の一種の平均値と考えることができる。

図-2に示す自動計測装置を試作した。この装置では、土壌と樹木との抵抗をch切替えにより行う。A/D変換器を搭載した計測記録装置、計測結果を抵抗値で表示する比抵抗計、60ヶ所の測定を行うch切替器、交流100V電源を安定化するスタビライザー、直流12Vの変換器から構成される。使用したのは、CTIサイエンス社のPZ110N II型大地比抵抗計であり、入力インピーダンスが大きく、たいていの電極接地抵抗の変化は無視できるのが特徴である。測定は、1時間に60chの周期で連続計測を行った。1chにつき1分間計測し、チャンネル変換後の影響を取り除くために、はじめの30秒間の計測値は棄却し、残りの30秒間の計測値の合計値を計測数で割り、平均の電位差を3.5インチFDに記録した。

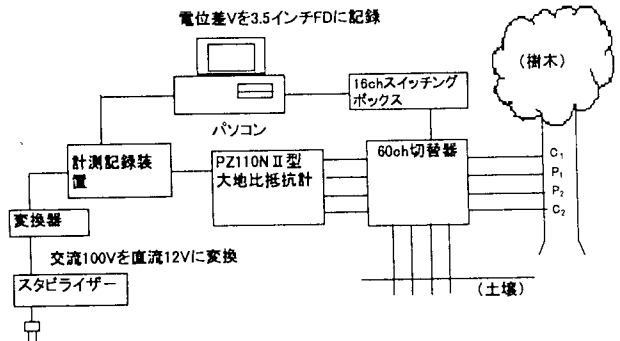


図-2 自動計測用実験装置

2-2 樹木での計測

樹木での計測は、上記の自動計測装置のみを用いて行った。土壌計測を行った周辺に生育するクヌギ、コナラの樹木に、降雨による影響を避けるためにビニールテープで被覆したステンレス製の釘(長さ3.8mm、太さ2mm)を用い、ウェンナー配置の電極条件で計測を行った。樹木に関しては、樹皮に近い細胞組織ほど新しく、活性があるということを考慮し、比抵抗表示位置が樹皮周辺になるように電極間隔を3cm、5cmの2通りを設定した。また、樹木に電極を打ち込む深さに関しては、2通りの電極間隔に対し1cm、2cm、3cmの3通りを設定した。その他の条件として、計測における樹皮の影響をみるために、樹皮の上から設置したものと樹

皮を部分的にはがしたものと、そして、電極配置方向の影響をみるために、樹木の縦方向と横方向にそれぞれ電極を配置した場合について、連続測定を行った。

### 2-3 実験期間内の週間気温と累加雨量

土壌の水分状態と樹木の生育状態を比抵抗値で表示していく上での影響は、気温と雨量によると考えられる。気温と雨量のデータは、千葉県柏市の気象大学校から提供を受けた。実験期間内の午前0時(以下、0:00と示す)、午後12時(以下、12:00と示す)での週間の平均気温と週間の累加雨量をまとめたものを図-3に示す。同図には、週間の平均気温に対して変動係数も記載している。3月2日ないし4月5日の5週間での変動係数は、0:00で0.4~0.6、12:00では0.2~0.6であった。その後の11週間では、変動係数が減少して0.1~0.2となった。

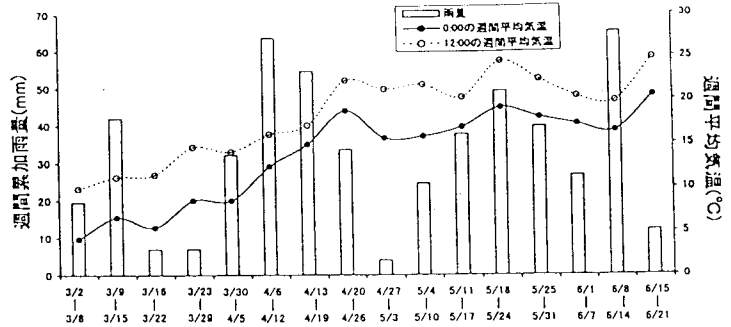


図-3 週間平均気温と累加雨量(1998年)

## 3 土壌の比抵抗測定

### 3-1 電極の打ち込み深さの選定

ウェンナー配置の電極条件の解析を行う場合、電流電極と電位電極は、理論上は点とみなされることから、電極の打ち込み深さは、電極間隔に対して十分に小さくなければならない。しかし、実際には、電極の接地抵抗を下げるためにある程度の深さが必要となる。そこで、電極間隔の1/4から1/3以内にとどめるのが良いと言われてきた<sup>3)</sup>。このことを確認するため、比抵抗値に影響を与える因子の一つである接地抵抗を下げのに比抵抗値の低い場所を選び、電極と地盤との接触面積を大きくし、含水比100%以上の土壌で実験を行った。その結果、同じ打ち込み深さに対し、電極間隔を大きくすると、比抵抗値が増加する傾向が認められた。次に、電極間隔10cmから70cmにおいて、打ち込み深さを増加させると、比抵抗値が減少することも認められた。そこで、電極間隔に対する打ち込み深さの割合が1/4以上1/3以内とそれ以外の範囲での計測値の差を確認して、表-1に示した。電極間隔に対する打ち込み深さの割合が1/4以上1/3以内ではその差が平均7.2Ωm、1/4以上、1/3以上の範囲では、各々11.5Ωm、13.2Ωmであった。この実験から、打ち込み深さの割合が1/4以上1/3以内での差が小さいことが確認できたので、採用することとした。

表-1 土壌での電極間隔(I)に対する打ち込み深さ(D)の比 (含水比100%以上の土壌の例) n=9

D/I	平均値(最小値~最大値)
1/4以下	11.5 (5~30)
1/4以上1/3以下	7.2 (3~19)
1/3以上	13.2 (4~21)

(単位Ωm)

その結果、同じ打ち込み深さに対し、電極間隔を大きくすると、比抵抗値が増加する傾向が認められた。次に、電極間隔10cmから70cmにおいて、打ち込み深さを増加させると、比抵抗値が減少することも認められた。そこで、電極間隔に対する打ち込み深さの割合が1/4以上1/3以内とそれ以外の範囲での計測値の差を確認して、表-1に示した。電極間隔に対する打ち込み深さの割合が1/4以上1/3以内ではその差が平均7.2Ωm、1/4以上、1/3以上の範囲では、各々11.5Ωm、13.2Ωmであった。この実験から、打ち込み深さの割合が1/4以上1/3以内での差が小さいことが確認できたので、採用することとした。

### 3-2 含水比 100%以上の土壌での自動計測

図-4に含水比100%以上の土壌において自動計測された週間の平均比抵抗と変動係数を示す。比抵抗は電極間隔30cmで68~50Ωm、電極間隔60cmで74~62Ωmであり、3月初旬から4月下旬までは、ほぼ一定の割合で減少し、それ以降はほぼ一定値を示した。週間の累加雨量から、土壌の水分状態を反映していると推察される。電極間隔30cm、60cmの0:00、12:00の比抵抗をみると、電極間隔30cmのほうが比抵抗が高いことから、電極間隔が広がることにより、地下の比抵抗分布を反映した結果が得られたと考えられる。図-3より、0:00と12:00の週間の平均気温を比較すると、12:00の気温のほうが高いこと、地中温度は、土壌表面からの深さが50cm以上では、ほぼ一定に近いと言われていることから<sup>4)</sup>、水分以外に、気温、地中温度も影響しているとみられる。

### 3-3 含水比70%以上90%以下の土壌での自動計測

図-5に、含水比70%以上90%以下の土壌において自動計測された0:00、12:00での週間平均の比抵抗と変動係数を示す。比抵抗値は、電極間隔30cmで480~220Ωm、電極間隔60cmで500~220Ωmであり、3月下旬に急激に減少し、以降は、徐々に減少した。各電極間隔において、0:00、12:00の比抵抗をみると、週間平均気温が低い3月において差があ

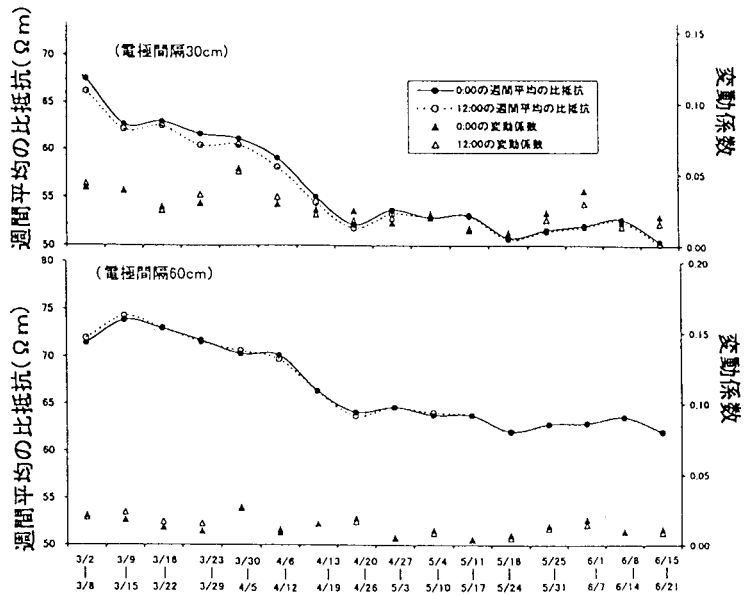


図-4 土壌の週間平均の比抵抗と変動係数  
(含水比100%以上の例)

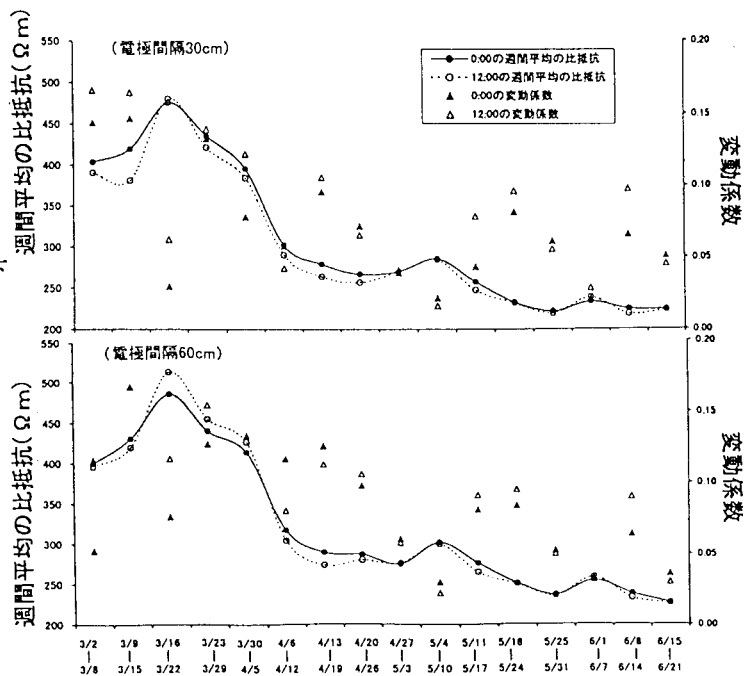


図-5 土壌の週間平均の比抵抗と変動係数  
(含水比70%以上90%以下の例)

り、12:00のほうが低く計測された。これは、土壤中の水分が凍結すると、電気抵抗が急に増加すると言われていることから<sup>4)</sup>、気温、地中温度の影響を大きく受けたと推察される。

### 3-4 土壌の含水比と比抵抗の関係について

今回の計測において、土壌の比抵抗が反映される範囲が小さく、含水比100%以上と70%以上90%以下の土壌が近いということから、同じ土壌の種類と仮定し、一番比抵抗に影響を与える因子が土壌水分量であると予測した。そこで、マニュアル計測において得た、電極間隔に対する打ち込み深さが1/4以上1/3以下の範囲に該当する比抵抗値と、その計測土壌の含水比を図-6に示す。べき乗曲線へのあてはめを行った結果、式(2)を得た。

$$Y = 228 \cdot X^{-0.167} \quad \dots\dots\dots (2) \quad (R^2 = 0.81)$$

ここに、Y:含水比(%), X:比抵抗値( $\Omega m$ )

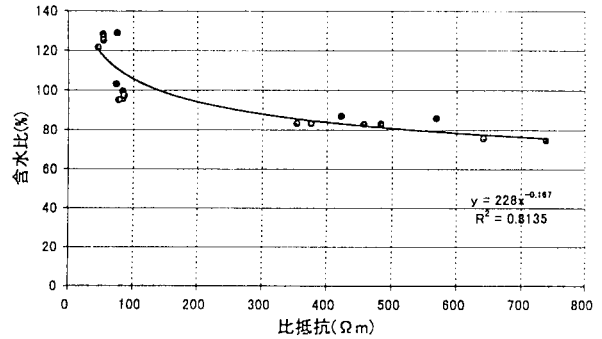


図-6 土壌の比抵抗と含水比の関係

を得た。この結果、ある特定の土壌の比抵抗は、影響因子の気温の影響の補正、土壌溶液の塩類濃度の状態等が把握できれば、より正確な土壌判断ができると考えられる。

## 4 樹木の比抵抗測定

### 4-1 自動計測装置による実験

図-7に、電極間隔5cm、打ち込み深さ2cmの場合の、縦方向、横方向の週間平均の比抵抗と変動係数の関係を示す。比抵抗値は、縦方向で350~150 $\Omega m$ 、横方向で230~100 $\Omega m$ であり、3月初旬から4月下旬までは、ほぼ一定の割合で減少し、それ以降は一定値を示した。同一の樹木において、縦方向、横方向の0:00、12:00の比抵抗値をみると、含水比100%以上の土壌と相関関係が高く、実験期間内では、0:00のほうが高く計測された。これは、土壌の自動計測結果からみると、気温が影響していると推察される。測定した樹木では、4月10日前後から葉が生えはじめた。比抵抗をみると、4月下旬頃から、安定し、昼夜の差が小さくなってきたことか

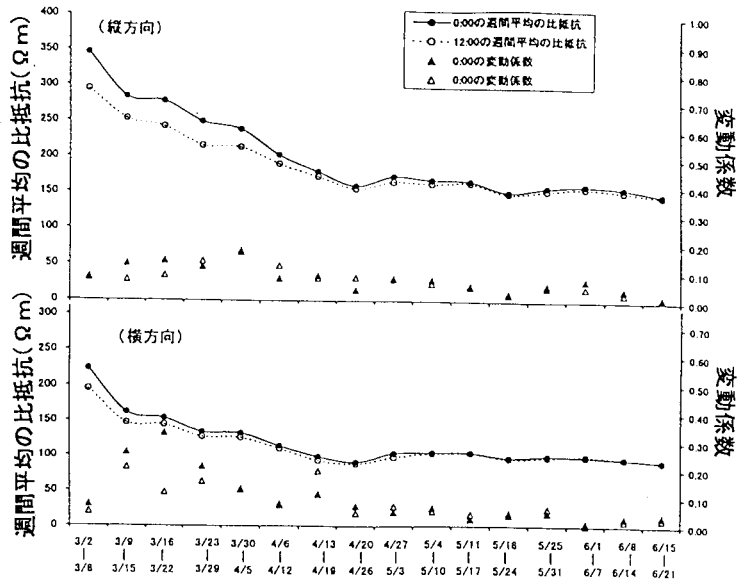


図-7 樹木の週間平均の比抵抗と変動係数

(電極間隔5cm、打ち込み深さ2cmの例)

ら、樹木の水分吸上げ量を反映していると推察される。次に、電極設置条件をみると、電極間隔5cm、打ち込み深さ2cmに限らず、他の条件においても、縦方向のほうが、横方向よりも比抵抗が高く計測された。また、打ち込み深さ1, 2, 3cmを比較すると、1cmは、2, 3cmよりも比抵抗の変動が大きいたことが確認された。これは、打ち込み深さが小さいため、樹木の表層付近の影響が反映されたと考えられる。導通面積が小さい時には、ある程度の打ち込み深さが必要であると推察される。

#### 4-2 生長中の樹木と伐採した樹木との比較

生長中の樹木と伐採してから約3ヶ月が経過した樹木において、3月29日から5月7日まで同じ電極設置条件において、自動計測した比抵抗と気温の関係を検討し、3月29日から31日、4月30日から5月2日を図-8、9に示す。生長中の樹木の比抵抗値は、気温に対し相関関係が認められた。葉が生え始めた4月10日前後を境に、同一気温における比抵抗値は、4月10日以降の方が低く計測された。(図-8、9参照)これは葉が生え始めたことによる樹木の吸上げ量と関係していると推察される。伐採した樹木の比抵抗をみると、生長中の樹木と同様に、気温に対し相関が見られ、気温に対する比抵抗の変化量が大きい。同一気温における比抵抗値は、計測時期が遅い比抵抗のほうが高く計測された。これより、水分量の減少を比抵抗値が示していると推察される。この実験の結果より、比抵抗は、樹木の水分量を反映すると同時に、生長判断の目安になりうると考えられた。

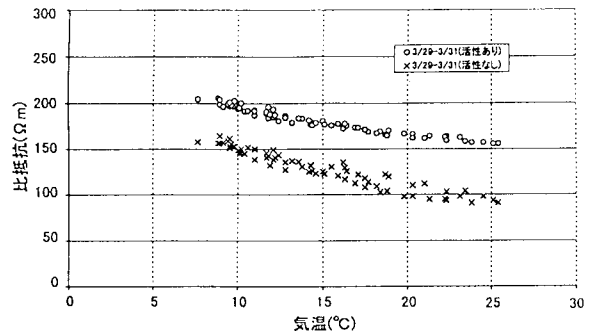


図-8 生長中の樹木と伐採した樹木の比抵抗と気温(1998年)

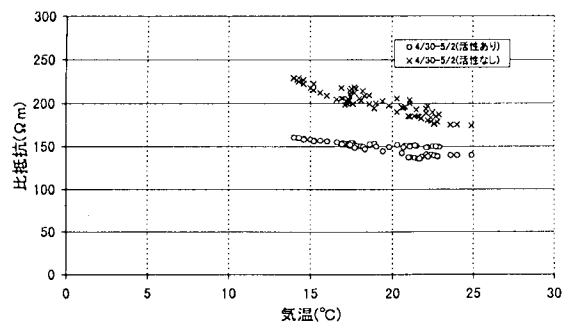


図-9 生長中の樹木と伐採した樹木の比抵抗と気温(1998年)

#### 5 まとめ

- (1) 土壌では、含水比100%以上の土壌と含水比70ないし90%の土壌とでは、比抵抗値に大きな相違が認められた。比抵抗値は、昼間と夜間では差異は認められなかったが、地面の凍結では比抵抗値の大幅な上昇、後者の土壌では降雨により比抵抗値が顕著な減少する傾向があった。
- (2) 樹木の計測では、縦方向と横方向の比抵抗値に顕著な差異を示した。縦方向で測定する方が比抵抗値に大きな変化が認められ、3月初旬には昼夜の差が最大50Ωmになった。比抵抗値は、若葉の生える以前(4月初旬まで)とそれ以降とで大きく変化した。

#### (参考文献)

- 1)土質工学会編:土の試験実習書, pp21~24 (1991)、2)志村 馨:電気探査法, pp17~33(1977)、3)島 祐雅、梶間和彦、橋本寿資:比抵抗映像法, pp18~22、59 (1995)、4)土壌物理性測定法委員会編:土壌物理性測定法, pp206~212、278~306 (1975)