

第49回土壌物理学学会シンポジウム総合討論

長 裕幸* (シンポジウム企画担当者)

Discussion at the 49th Symposium on Current Technology Based on
 Electromagnetic Waves for Soil Physical Measurement, JSSP

Hiroyuki CHO*

* Saga University, 1 Honjou, Saga, 840-8502, Japan

2007年10月13日に九州大学西新プラザにおいて開催された「第49回土壌物理学学会シンポジウム—電磁波を利用した最新の土壌物理計測—」における各講演者の講演直後に行われた質疑応答と総合討論(座長:井上光弘,宮本輝仁の両氏)の様を取りまとめたので今後の研究活動の資料として報告する。

1. シンポジウム講演直後における質疑応答

シンポジウム最初の講演者であった下町 多佳志氏講

無いと思います。

質問, 長 (佐賀大学):

波形が2段ステップになっているところがありましたが,反射点の波形解析はどのように行われたのでしょうか。既存のソフトでは解析が難しいと思われませんが。

回答:

複雑に波形が凹凸する本実験では,既存のソフトウェアによる解析が困難だったため,エクセルに読み込んでマニュアルで解析しました。

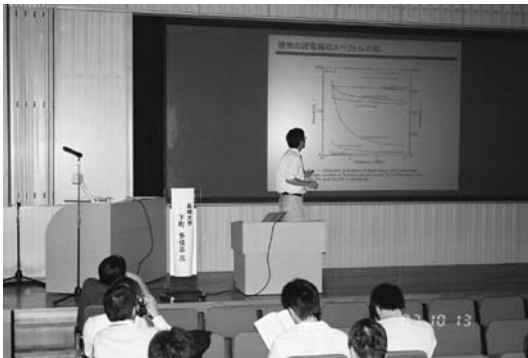


写真-1 下町 多佳志氏の講演風景



写真-2 宮本英揮氏の講演風景

演直後における質疑応答は,時間の都合により省略された。

宮本英揮氏講演に関する質疑応答

質問, 井上 (近中四農研):

河川等で雨の多い場合,土砂の流入が反射に及ぼす影響はないのでしょうか。

回答:

浮遊物質は量的に非常に少ないので,影響はほとんど

竹下祐二氏講演に関する質疑応答

質問, 取出 (三重大学):

誘電率と体積含水率の関係式としてTopp式を用いた場合,高含水状態では土中水分量の推定精度が良くないということでしたが,地盤工学の分野ではどのように対処されているのでしょうか。

回答:

浸透現象に起因した地盤工学的な諸問題を解決するた

* 佐賀大学農学部 〒840-8502 佐賀市本庄町1

キーワード: 電磁波, 土壌物理計測, 誘電率, 電気探査, MT法



写真-3 竹下祐二氏の講演風景

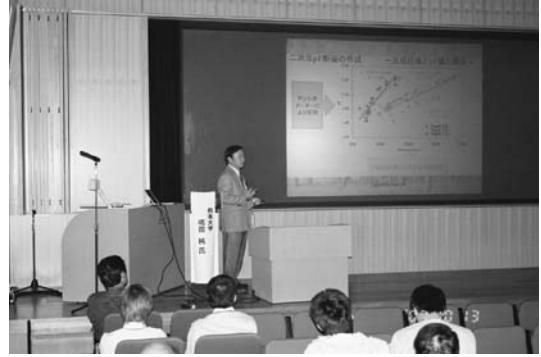


写真-4 嶋田 純氏の講演風景

めには、現場飽和 (field saturation) 状態までの土中水分量計測を行い、地盤の有効間隙率を評価することも重要です。今後、高含水状態での地盤の誘電率の測定データを蓄積し、飽和状態近傍での誘電率と体積含水率の関係式の精度を向上させることが課題だと思われます。

嶋田 純氏講演に関する質疑

質問、小杉 (京都大学) :

電気探査を行う場合、2年間の連続測定というのは非常に驚きなのですが、その場合、埋めている電極の劣化等の問題はないのでしょうか。また、1回の計測に40分程度かかるということですが、豪雨直後の浸透を調べるような場合、時間間隔を短くすることは可能でしょうか。

回答 :

電極の劣化については考慮していませんので、出てきた結果にはその誤差も含まれていると考える必要があります。また、計測の40分というのは電極の数で規定されます。電極数を少なくすることによって、計測時間間隔を短くすることは可能だと思いますが、解像度が下がるか計測範囲が狭くなります。私の経験では1時間おきの比抵抗計測でも豪雨による浸透の影響把握は可能と思っています。

質問、岩田 (北海道農研) :

樹木の下における表土層の涵養効果が大きいのは、樹幹流の影響だけではなく、日射の遮断等による蒸発量の抑制なども考えられるのではないのでしょうか。また、表面流等は生じていないのでしょうか。

回答 :

本研究では降雨後の樹幹直下の土壌水分増大と、樹木下における蒸発抑制効果による土壌水分低減抑制の双方

が確認されました。従って、樹木のない裸地部では、降雨も多いが日射の影響を受けて蒸発量も大きくなるため、その差し引きの結果として、樹木の下の方で相対的に涵養効果が大きくなるという結果になりました。また、この観測点では表面流の存在はありませんでした。

半田 駿氏講演に関する質疑

質問、甲斐 (長野県) :

例えば関東ローム層と火山灰の堆積した細い層を見分けることができるのでしょうか。

回答 :

全く問題ないと思います。地中レーダーは周波数が高いため減衰が大きく、低抵抗の関東ローム層の分布域では調査が難しいのですが、この方法だとレーダーより低周波で、また周波数帯域も比較的広いので、最深で100mぐらいのところまではみることができます。状況にもよりますが、低抵抗の関東ローム層は見つけることができると思います。



写真-5 半田 駿氏の講演風景

2. 総合討論

井上（鳥取大学）：

それでは総合討論を始めさせていただきます。総合討論では、会場からの各計測法に対する質問から始め、それぞれの計測法についてより理解を深めていただけるように進めたいと思います。最初に、下町さんに対する質問で、東京農業大学の鈴木さんからです。まず、誘電緩和スペクトルのグラフは1回の測定で描くことができるのか、また、周波数に対してどのようにして作成されるのかという質問と、独自に開発されているセンサーの周波数はどのくらいかという質問です。

下町：

誘電緩和スペクトルの測定にどのくらいの時間がかかるかという点、これはネットワークアナライザのハードウェアに依存すると思います。私の用いている50GHzまで測定可能なネットワークアナライザでは測定周波数範囲を512点でサンプリングする場合、測定に数秒もかかりません。しかし正確なデータをとろうとすると、セッティングに時間をかけますので、1点あたり、数分はかかると思います。また、1回の測定につき5回ぐらいは測定しますので、測定しやすい物で10分、そうでない物で25分ぐらいでしょうか。また、誘電緩和スペクトルはプローブに付属するソフトウェアを用いて確認しています。

作成しているストレスセンサーの周波数は、試行錯誤の末、現在1MHzです。これは実用性を重視した結果ですが、重要なのは周波数というよりもセンサーの接着面における面圧をいかにうまく調整するかといった点だと思います。植物の葉は非常に変化に富んでおり、再現性のある測定を行うには経験が必要になってきます。

宮本（輝）（農工研）：

ストレスセンサーの周波数が1MHzだと、誘電緩和現象とは別のところを計っていることになりそうですね。

下町：

この周波数は、安価な測定装置を開発するためのものです。今後周波数を上げることを検討しております。

宮本（輝）：

測定の際の葉のはさみ方についてですが、土壤などを対象にできるように工夫することは可能でしょうか。

下町：

土壤の場合、直接センサー部を埋め込むことで測定することは可能ではないかと思いますが、いろいろな問題は出てくると思います。

小林（森林総研）：

葉における測定の場合、長時間はさんだままで測定す

ることは可能でしょうか。また、幹などに固定して、樹液流などを測定することは可能でしょうか。

下町：

ずっとはさんだままで測定することは可能です。しかし、そこで得られた結果をどのように評価するのが問題となってきます。長時間はさむことによって、当然、光合成や呼吸などは阻害されます。幹についても同じことがいえます。

井上：

続きまして、九州大学の宮本さんへの質問に移ります。まず東京農業大学の鈴木さんから、TDRを用いて水位計測を行う場合、水と空気といった比誘電率の値が大きく異なる物質間での波形の変曲点が測定できることは分かりますが、例えば水中における堆積物の層厚のように、単純な水、空気境界ではない場合、どの程度の誘電率の差であれば、波形解析が可能かどうかという質問です。

宮本（英）：

水中に堆積した土砂層の比誘電率は26程度であり、この値と水の比誘電率との差は十分に大きかったため、本実験では両者の境界面を明確に捉えることができました。一方、低誘電性の媒体間の境界面も、たとえば、アルコール類や油などの境界計測例も報告されています。よって、ある程度の差が認められるのであれば、解析できる可能性は高いと思われます。ただし、解析の可否は、プローブ長や媒体の導電性の大小などによっても異なってくるため、はっきりとした数値をここで挙げることはできません。また、粒径の異なる堆積物間の境界層をお考えの場合は、波形上に反射の形跡が認められるのであれば、解析が可能です。

井上：

コメントですが、TDR100の自動計測では、事前に対象供試材の波形特性を考慮して、解像度等のパラメータの調整を行えば、ある程度は可能かと思います。また、粘土、砂、粘土と言ったような成層であれば、複数のプローブを用いて各挿入深度を変え、その差により解析が可能になるといった例があります。

加藤（東京大学）：

河川などで使用する場合、流速の違いによる影響はないのでしょうか。また、堆積したばかりの密度の緩い土砂による影響はあるのでしょうか。

宮本（英）：

接触面における水面位が、流れによってせり上がるのであれば、そうした影響は誤差になり得ます。しかし、この問題は、プローブの形状や設置方法を工夫することにより改善できると思います。また、今回の行った2つ

の実験では、砂の乾燥密度の違いが校正式に影響することが認められました。河川において、実際どの程度の乾燥密度のばらつきがあるかについては不明ですが、この影響については、混合モデルから予測可能です。

下町：

いつも気になっていたのですが、土での測定の場合、いつも上から下に向けてプローブを差し込んでいるのですが、このように下から順に堆積していくようなものを測定する場合、プローブを下から上に向けた方がいいのではないのでしょうか。

宮本 (英)：

プローブ根端部付近に低誘電性の媒体が存在すると、その位置で生じる反射が原因で、信号が大きくロスします。ロスを防ぐといった観点からは、空気-水の系では先端を上方、水-土砂の系では下方に向けた方がよいと思われます。ただし、本研究ではいずれの計測系においても下方に向けて計測を行いました。十分な精度で測定できましたので、方向はあまり気にしないでよいと考えています。

井上：

では続きまして、竹下さんに対する質問です。琉球大学の小宮さんより、誘電率と体積水分率の関係において、Topp式が有効なのは体積水分率が0.15~0.35までとのことだが、飽和度で示せばどれくらいの範囲なのか。また、飽和に近いところでの定式化は可能か。また、GPRに関して泥岩のような亀裂の少ない岩盤における断層の探査は可能ですかと言う質問です。

竹下：

体積含水率は間隙率で除することで飽和度に換算できます。飽和に近い状態での誘電率と体積水分率の関係式の定式化のためには、高含水状態の試料の誘電率を精度良く計測することが重要と思われます。また、土中水分センサーの種類によって、計測可能な水分範囲や計測データの線形性・再現性等が異なるので、体積含水率と誘電率の校正式は使用するセンサーごとに測定する必要があります。

次に、GPRについては、岩盤での測定も可能と思われます。周波数の高い送・受信アンテナを使用して分解能の高い計測を行えば、岩盤中の断層など、誘電率のコントラストが明確な層の存在は検出できると思われます。

小宮 (琉球大学)：

降雨直後に生じる水みちみたいなものは測定できるのでしょうか。

竹下：

基本的に誘電率の異なる部分を反射面として検出することは可能であると思われます。測定可能性は水みちの

部分と地盤の誘電率のコントラストやGPR計測の分解能に依存すると思われます。

井上：

続いて、森林総研の小林さんからですが、GPRによる土壌水分の測定について、測定深度は任意に決められるのでしょうか、また、アンテナがセパレートである必要性和関係があるのでしょうか、という質問です。

竹下：

GPRによる測定可能深度は使用する送・受信アンテナの周波数が小さいほど大きくなる傾向がありますが、対象地盤の誘電率にも大きく依存します。たとえば、乾燥土の場合には誘電率が小さいために、電磁波速度は大きく、電磁波は遠くまで伝播しますが、湿潤土では誘電率が大きいので、電磁波速度は小さく、電磁波は減衰してしまう傾向があります。また、アンテナがセパレートである必要性和測定深度とは無関係です。GPRによって地盤の平均的な電磁波伝播速度を測定する場合には、送・受信アンテナの間隔を変化させる測定(コモンミッドポイント法)を行う必要がありますので、そのような場合には送信アンテナと受信アンテナが独立している方が便利だと思います。そのような計測を実施しないのであれば、送・受信アンテナが一体型でも問題ありません。しかし、GPR探査においては電磁波伝播速度を計測対象地盤ごとに計測し、断面画像の深度換算に用いる必要があるため、送・受信アンテナがセパレートタイプの装置の方が便利かも知れません。

井上：

他に会場の方から何かありませんでしょうか。

西村 (東京大学)：

データの解析についてお伺いしたいのですが、特に現場で非常の浸透実験を行う際、逆解析でパラメータをもとめる場合、測定またはデータの反復をどのように考えればいいのでしょうか。つまり、現場では気象条件が変化するので難しいとは思いますが、非常の実験をやる場合、例えば浸入速度の時間変化をもとめるのにデータを何セットかとしてその平均値を用いて逆解析を行うのか、あるいは1セットのデータごとに逆解析をかけて、得られたパラメータの平均値を用いた方がいいのかということです。

竹下：

同一試験地点で、原位置試験や計測を繰り返し実施した場合、地盤特性や初期条件、境界条件が変化してしまうために、再現性のある計測データが測定できない場合があります。任意の初期条件および境界条件の基で得られた計測データに対して逆解析を試み、計算結果と計測結果の残差平方和が十分に小さく、計測システムの精度

を満足しているのであれば、推定されたパラメータは地盤状態を説明できる一つの解であるといえます。しかし、それらが真の値であるという保証はありません。逆解析によって得られたパラメータは地盤調査や試験結果における一つの解を提供していると思います。

西村：

ということは、近隣におけるデータを幾つかとってその平均値をもとめるといったことは意味がないということでしょうか。

竹下：

いえ、むしろ平均的な評価方法を用いる方が良い場合が多いと思います。非常に質の高い試験を一地点のみで実施して地盤定数を得るよりも、多少試験精度は劣ってもハンドリングの良い簡便な試験を複数地点で実施して、得られた多数の測定データに対して統計処理を行ったり、パラメータの空間分布を求めるといった手法がフィールドデータの評価では必要になってくると思います。

井上：

次に、逆解析の問題と関係があるかも知れませんが、北海道農業研究センターの岩田さんから、水分量データを圧力水頭に変換する場合、ヒステリシスはどのように扱っているのかといった質問があります。

竹下：

水分特性曲線には浸潤過程と排水過程においてヒステリシス現象が存在します。そこで、評価する浸透現象が浸潤過程か排水過程かによって、水分特性曲線を選択する必要がありますが、ヒステリシス現象を考慮した水分特性曲線データの測定事例は多くないため、ヒステリシス現象は考慮せず、測定しやすい排水過程での水分特性曲線を用いる場合が多いようです。絶乾状態や完全飽和状態以外の水分状態から浸透現象が生じる場合、水分量と圧力水頭の関係は主浸潤曲線や主排水曲線による水分特性曲線とは異なり、その間に存在する無数の走査曲線上を変動すると思われれます。このような実際の複雑なヒステリシス現象を精度良く表現することは現状では容易ではなく、その定量的評価に関しては、もう少しデータの蓄積が必要ではないかと思えます。

井上：

その他、何か質問はないでしょうか。

下町：

地中レーダの送・受信アンテナを選択する場合、200 MHzと400 MHzでの探査深度の違いはどの程度なのでしょうか。

竹下：

送・受信アンテナ周波数による違いを定量的に評価し

たことはありませんが、探査深度は地盤の状態によっても異なりますし、大まかに2倍程度になるといったところでしょうか。

井上：

では、最後に半田さんへの質問ですが、農村工学研究所の宮本さんから、土壌物理学への応用を考えた場合に、MT法では不飽和帯を対象とした計測は可能なのか、またその場合の分解能はどのくらいなのか。また、測定された比抵抗値を水分量等に変換することは可能なのかということですか。

半田：

MT法でどうしようもない場合というのは、例えば鉄板のようなものが土中にある場合は、それより上は計れますがその下は分かりません。しかし、とにかく電波が届けば計れるということですか。簡単に言うと、電気探査の場合は空洞の下に温泉があったとしても空洞で電流が流れませんから検出が困難なのですが、電波は、空洞中でも伝搬しますので、可能となります。不飽和帯であれば、非常に電気伝導度の高い物質が存在するとその下は計れません。また、水分量への変換は、EC値との間に何か関係式が必要になってきますのでそう簡単ではないと思います。

宮本（輝）：

例えば、電極の間隔を短くすることで、より浅い部分の解像度を上げていくことはできないのでしょうか。また、現地で水分量を測定して比抵抗値との間の変換式を求めるといったような応用は可能でしょうか。

半田：

基本的に磁場は積分量ですが、電場は微量量であるため、地中の不均一によって大きく影響を受けます。つまり、表層に低抵抗なものとあると、いわゆるスタティックエフェクトで、ずっと下まで低抵抗であるかのような結果が生じます。確かに、電極の間隔を短くすると水平分解能は上がります。基本的に分解能が電極間隔以下になることはありませんが、例えば、電極間隔が50mとしたとき、10km深度での分解能が50mとはとても考えられません。モデル計算での検討が必要ですが、あまりなされていません。また分解能を上げたからといっても、その分、地表の不均一がより影響してきますので、有効かどうかは分かりません。また、信号のSN比も悪くなります。従って、電極を短くしたとしても、私の装置では2mぐらいが限界の分解能かと思われれます。次に、得られた比抵抗値から水分量を推定する場合には、両者を結ぶ経験式が必要になってくると思います。

井上：

最後に私の方から下町さんにお尋ねしたいのですが、



写真-6 講演者と座長

誘電緩和スペクトルを測定されていますが、植物ばかりでなく土壌にも適用できるのでしょうか。

下町：

土壌を対象にしておられる方は、時間領域で測定している例が多いのですが、私の場合は、周波数領域です。この両者間に変換できます。私の用いている装置では、200 MHz から 50 GHz の周波数領域にスイッチできますので、TDR 装置で用いられているようなプローブを用いて周波数領域で測定し、時間領域に変換して波形を観察することは可能です。機会があれば是非試してみたいと思っています。

井上：

ありがとうございました。今日のシンポジウムでは、

電磁波というキーワードのもとで最新の土壌物理計測について話していただいたわけですが、新しい装置の開発と既存の装置の利用という二つの観点から話題を提供していただきました。今後、このテーマに関して我々の分野から世界に向けて情報を発信できることを希望しています。毎年、新しい計測器が開発され、市販されているわけですが、私たちにとって重要なのは、お互いに情報を交換していく場を設けることだと思います。今回はそういう点でも非常に意義のあるシンポジウムであったと思います。どうもありがとうございました。

受稿年月日：2008年1月11日

受理年月日：2008年1月31日