

誘電率計測法を用いた地盤汚染の調査法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
岡山大学大学院 学生会員 小松 満
岡山大学大学院 学生会員〇二宮 功

1. はじめに

汚染問題に取り組む際、数値解析を用いて汚染物質の挙動を予想しておくことは、汚染土壌を効率よく改善するために必要である。現在、数値解析に必要な土壌汚染の現象に関わりのある地盤特性を把握するにはサンプリングによる方法が唯一の測定法であるが、不攪乱状態でサンプリングが困難であり、また現位置に置いて試験を行う方がより現実的である。したがって、現在より簡単に正確に地盤汚染度を計測できるような測定方法の開発が求められている。本研究では、誘電法の一つであるFDR-V(Frequency Domain Reflectometry - Vector network analyzer system)計測法を用いて、簡便かつ正確に地盤汚染度を計測できるような試験法の開発を目的とし、まず温度、塩分濃度依存に関する検討を行い、次に塩水汚染を対象にして温度依存性を考慮した水溶液中の塩分濃度を測定する手法の提案を行った。

2. FDR-V計測システム¹⁾

FDR-V計測システムは、図-1のようにネットワークアナライザ、スイッチングユニット、測定プローブから構成されており、それぞれが特性インピーダンス50Ωの同軸伝送線により接続されている。また、ネットワークアナライザとスイッチングユニットをコンピュータとGP-IB接続することにより、コンピュータによるFDR-V計測法のリモート操作が可能である。図-1において、ベクトルネットワークアナライザより出力された電磁波は、A点からスイッチングユニット、各チャンネルのポートを通過して同軸プローブに達する。さらに、試料内部にまで伝達され、プローブ先端のB点で反射してスイッチングユニットに戻ってくる。スイッチングユニットには増幅器と方向性結合器が内蔵されており、そこで反射波と前進波が増幅、分別され、反射波のみがベクトルネットワークアナライザ本体により測定され、その反射係数より試料の複素誘電率が算定される。また、OSL法を用いてベクトルネットワークアナライザ本体の校正を行うことにより、測定機器内の反射や測定系の不完全性より起こる不確実性誤差についての補正を行う。

3. 結果の整理法

結果の整理方法としては、特定周波数の複素誘電率値の変化により整理する方法や、波形形状により整理する方法などの幾らかが考えられるが、本研究では、図-2のように測定の全体を通して最も複素誘電率の変化量が大きかった、1GHzでの誘電率実数部(ϵ'_{f1})、及び虚数部(ϵ''_{f1})、18GHzでの誘電率実数部(ϵ'_{f18})、及び虚数部(ϵ''_{f18})を取りだし、各要素の変化に伴うこれらの値の変化から考察を行った。

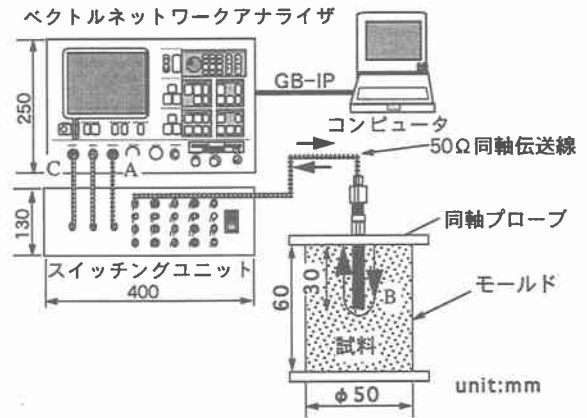


図-1 実験装置図

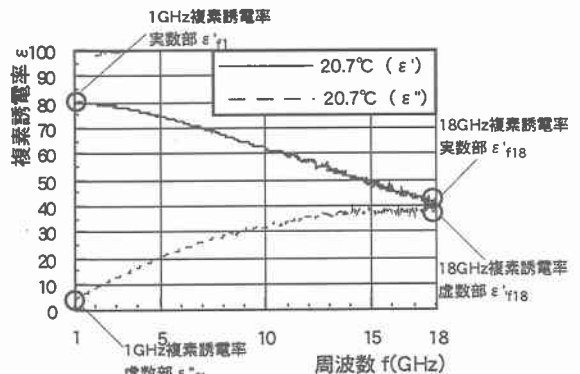


図-2 結果の整理方法

4. 温度、塩分依存性の検討²⁾

FDR-V計測法による試料測定の前準備段階として、水の温度依存性及び塩分濃度依存性について検討を行った。温度依存については、水温0.4℃～80℃において約5℃おきに計測した。実験装置は図-1に示すように、内径50mm高さ60mmのアクリル製モールドを用い、プローブを先端から30mm差し込んだ状態で、先端部の誘電率を測定した。実験結果としては、図-3に示すように温度の上昇に伴い ϵ'_{f1} が最も上昇しており、温度 T と ϵ'_{f1} の関係は、式(1)のような方程式により表すことができた。

$$\epsilon'_{f1} = 0.003T^2 + 0.111T + 74.9 \quad (1)$$

塩分濃度依存性については水温20℃で、0～40,000ppmにおいて塩分濃度を変化させ計測を行った。図-4に示す実験結果より、 ϵ''_{f1} において複素誘電率が塩分濃度の上昇に伴い、急激に上昇していることがわかる。塩分濃度 C と ϵ''_{f1} の関係は式(2)のように表すことができた。

$$\epsilon''_{f1} = 0.002c + 6.80 \quad (2)$$

以上より、FDR-V計測法において、水の複素誘電率については温度、塩分濃度ともに依存性を持つため、式(1)式(2)による補正が必要である。

5. 温度変化を考慮した塩水中の塩分濃度の測定法

前述したように、FDR-V計測法により塩水を測定した結果、 ϵ''_{f1} において急激な複素誘電率の上昇がみられた。そこで、本項目においては、水溶液に対して塩分濃度と温度が変化した場合の測定値の考察を行った。実験は、塩分濃度5,000～30,000ppmの塩水についての温度依存性を検討した。水温10℃と50℃における塩分濃度変化に伴う複素誘電率の変化を図-3、図-4に示す。これより塩分濃度の上昇に伴い複素誘電率は上昇し、また高温になるとその上昇率も大きくなることがわかる。したがって、塩分濃度 C と ϵ''_{f1} の関係は式(3)の線形関係があることがわかった。

$$\epsilon''_{f1} = ac + 8 \quad (3)$$

さらに、式(3)の傾き a と温度 T の間にも式(4)に示すような線形関係があることがわかった。

$$a = 0.30T + 12.72 \quad (4)$$

つまり、温度 T が既知であれば、式(3)、(4)から次式により水溶液の塩分濃度 C を求めることができる。

$$c = (\epsilon''_{f1} - 8) / (0.30T + 12.72) \quad (5)$$

6. おわりに

本研究では、温度依存性を確認し、水溶液の塩分濃度計測法の提案を行った。今後の課題としては、地盤内の塩分濃度についても同様の測定が可能であるかの検討が挙げられる。

【参考文献】

- 1) 大森俊一・横島一郎・中根央：マイクロ波測定，コロナ社，pp.142-145,1992.
- 2) Udo.Kaatze：Complex Permittivity of Water as a Function of Frequency and Temperature，J.Chem.Data, Vol.34, pp.371-374, 1989.

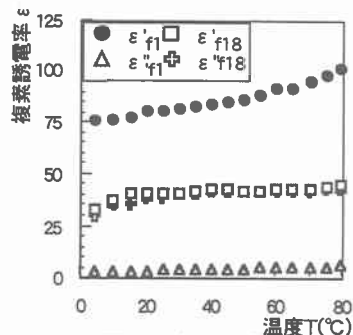


図-3 水の温度依存

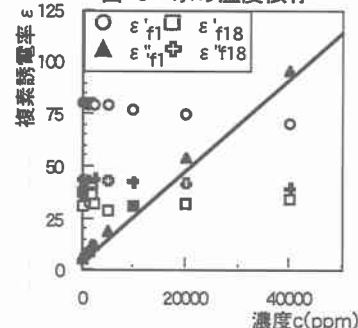


図-4 水の濃度依存

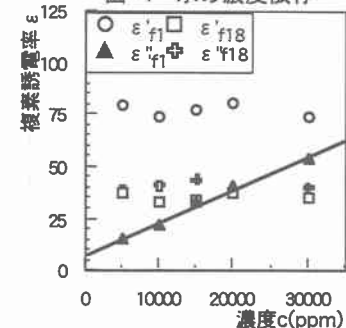


図-5 水の濃度依存(10℃)

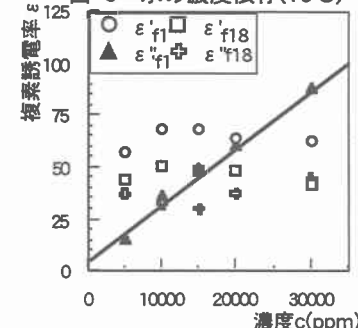


図-6 水の濃度依存(50℃)