

サーモ TDR を用いた水中および飽和土壌中における ファインバブル濃度測定法の検討

Quantifying fine bubble concentration in water and saturated soil with thermo-TDR

谷川原龍之介¹・小島悠揮¹・関戸遼加¹・濱本昌一郎²・神谷浩二¹

¹岐阜大学工学部・²東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨(Abstract) :

ファインバブルの土壌中での挙動解明に資するため、サーモ TDR による水中および飽和度中における FB 濃度推定を検討した。水と飽和土の電気特性および熱特性をサーモ TDR で測定し、FB 濃度との関係性を調べた。その結果、水中の FB 濃度は比誘電率から推定可能であることがわかった。また、飽和土中の FB 濃度の推定には熱伝導率が有効であることが示された。今後は土壌の熱伝導率と FB 濃度の関係性を定量的に評価することが必要である。

キーワード：ファインバブル，サーモ TDR センサ，電気特性，熱特性

Key words: fine bubble, thermo-TDR sensor, electrical properties, thermal properties

1. はじめに

近年、ファインバブル(FB)の有効利用が地盤工学分野や農学分野において注目を集めている。FB とは溶液に含まれる直径 100 μm 以下の気泡のことで、直径 1 μm 以下はナノバブル、1 μm 以上はマイクロバブルと呼ばれる。FB は比表面積が大きく、その気液界面において優れた汚染物質吸着作用を持つ。そのため、汚染土壌浄化へ利用が検討されている。しかし、FB の多孔質内移動特性は十分に解明されておらず、また土壌中の FB 濃度の効果的な測定法が課題となっている。そこでサーモ TDR センサを用いた新たな FB 濃度測定法を提案する。サーモ TDR センサによる比誘電率、電気伝導度、体積熱容量、熱伝導率の測定から、FB 濃度を推定できる可能性がある。本研究では FB の土壌中での挙動解明を目標とし、第一段階としてサーモ TDR センサによる水中と飽和土中の FB 濃度測定を検討を目的とした。

2. 実験方法

2.1 水中 FB 濃度推定の検討

水中の FB 濃度推定がサーモ TDR によって可能かを検討した。界面活性剤(SDS と SPAN60 それぞれ 1g L^{-1}) を添加した水溶液中で FB を

10 分間発生させた (OM4-MDG-045 (オーラテック)を使用)。溶液中にサーモ TDR を設置し、FB 発生 5 分前から発生終了後 10 分間の計 25 分間、比誘電率と電気伝導度を 10 秒毎に測定した。また、濁度を 5 分毎に濁度計で測定した。濁度は予備実験により得た校正式によって FB 濃度に換算した。比誘電率と電気伝導度の変化と FB 濃度の関係性について整理した。

2.2 飽和土壌中 FB 濃度推定の検討

飽和土壌中の FB 濃度をサーモ TDR で推定可能かを検討した。6L 容器に前述の界面活性剤溶液を充填し、FB を発生させた。6L 容器内の溶液はポンプによって土壌カラムに送られる。土壌カラムは直径 52 mm、高さ 140 mm の塩ビパイプからなり、10~130 mm の高さに土壌を充填できる。土壌は珪砂 5 号を用いた。カラム側面から 2 本のサーモ TDR を土壌底部から 45 mm と 95 mm の高さに設置した。土壌の比誘電率、電気伝導度、体積熱容量、熱伝導率を 5 分毎に測定した。カラム排出液の濁度を 5 分毎に測定し、FB 濃度に換算した。FB は 20 分間発生させ、測定は FB 発生の 10 分前から 5 時間実施した。各電気・熱特性の変化と FB 濃度を比較し、土中の FB 濃度推定の実現性について検討した。

3. 結果と考察

3.1 水中 FB 濃度の推定

図1に比誘電率と濁度から推定したFB濃度を示した。FB発生と同時に濁度が上昇し、FB濃度は $4 \mu\text{L L}^{-1}$ まで増加した。比誘電率はFB発生中に低下し、発生前の80から70程度まで落ち込んだ。空気の比誘電率が1なので、FBの混入による影響と考えられる。FB発生停止後80程度まで増加した。ナノバブルは長期間水中に滞留するが、マイクロバブルは短時間で消失するため、比誘電率はナノバブルの影響を受けないと考えられる。FB濃度と比誘電率の間には明瞭な相関があり、比誘電率からFB濃度が推定できると考えられる。ただし、サーモTDRのプローブ部に付着する気泡が正確な比誘電率の計測を妨げることがわかった。今回はプローブ部に親水スプレーを塗布し、断続的な振動を与えて解決したが、より効率的な気泡除去法が必要である。また、電気伝導度には気泡の影響はなかったため、今後は電気伝導度からの水中FB濃度推定を検討する。

3.2 飽和土壌中 FB 濃度の推定

図2に珪砂にFB溶液を通水させた際の比誘電率、体積熱容量、熱伝導率を示した。FB発生期間中、比誘電率、体積熱容量、熱伝導率は低下した。比誘電率は3程度、体積熱容量は $1 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 程度、熱伝導率は $2 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 程度の減少であった。これらの物性は土壌中の気相率が増加すると低下するため、FB注入により土壌内の飽和度が低下したことが確認できた。土中での測定では電気伝導度に明確な変化は見られなかった。比誘電率の変化と比較して、熱特性の変化は大きく、FB濃度の推定に熱特性が有効であることが示された。特に熱伝導率は測定値のばらつきが小さく、最もFB濃度推定に適していると考えられる。今回、排出液の濁度が3.1の溶液の濁度と比較して非常に小さく、FB濃度に換算できなかった。これは非溶解性界面活性剤のSPAN60が珪砂に補足され

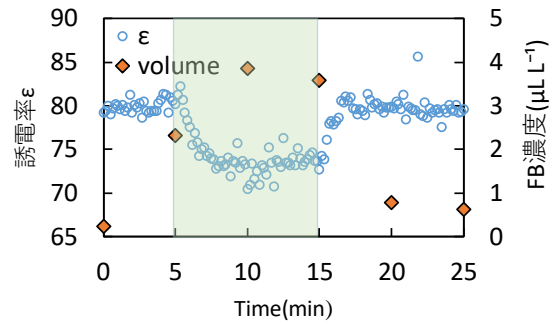


図1 水中の比誘電率と濁度から推定したFB濃度の変化。図中の網掛けはFB発生期間を示す。

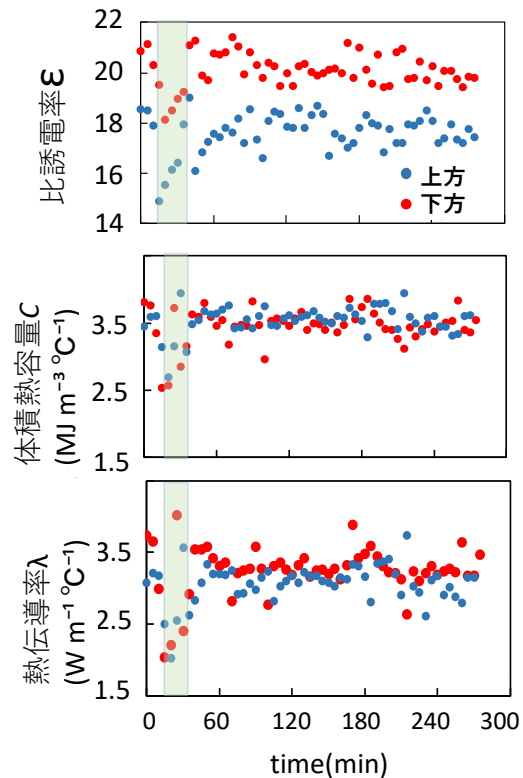


図2 飽和土中の比誘電率、体積熱容量、熱伝導率の変化。図中の網掛けはFB発生期間を示す。

ためと考えられる。よって今回土壌の特性とFB濃度の比較はできなかった。今後、熱特性をFB濃度に換算する手法の検討が必要である。

4. おわりに

FBの土壌中での挙動解明に資するため、サーモTDRによる水中および飽和度中におけるFB濃度の検討を行った。その結果、水中でのFB濃度推定には比誘電率が、飽和度中でのFB濃度の推定には熱伝導率が有効であることが示された。今後は熱伝導率からFB濃度を推定する手法の確立が求められる。