

微細気泡による塩類集積土壌の改良に関する基礎的研究

A fundamental study on the improvement of salt-accumulated soil using ultrafine bubbles.

○矢沢勇樹, 山口陽平, 大石真弓(千葉工業大学), 江口俊彦(株オーラテック)

○Yuuki YAZAWA, Yohei YAMAGUCHI, Mayumi OOISHI (CIT), Toshihiko EGUCHI (Aura Tech Co.)

1. はじめに

乾燥地に生じた塩類集積土壌は植生回復が難しい荒漠化土壌である。表面集積した塩分を効果的にリーチングし、再集積を抑制するには粒子間の毛細管を断ち切る必要がある。

本研究では、ライシメーターにアロフェン粘土混合砂を充填し、塩分を含む地下水をマリ奥特管で調節し、塩類集積土壌を人工的に生成した。その後、定水位にて表面よりナノ・マイクロサイズの微細気泡水を供給し、リーチング効果、透水性などを評価した。

2. 実験装置および方法

2.1 塩類集積土壌の作製

塩類集積土壌作製のライシメーター装置を図 1 に示す。アクリル製円筒(内径 30 mm, 長さ 50 mm) が 6 本連結したライシメーター(全長 300 mm) に供試土壌 340 g (豊浦砂 90, アロフェン 10 wt%) を締めながら充填した。ライシメーター底部には、有孔板, 金網, ろ紙 (5C) を設置してある。ライシメーター上部にはアクリル製ボックス(一辺 300 mm) と接続し、レフ型白熱電球(電力 90 W, ビーム角 60°, 全光束 1,200 lm) により土壌表面を加熱し、蒸気を側部ファンより換気した。ライシメーター下部より所定濃度の塩分 ($0.10 \text{ mol l}^{-1}\text{-NaCl}$) を含む地下水を供給し、マリ奥特管にて地下水位を -150 mm に保った。乾燥開始からの地下水蒸発量は電子天秤にて連続計測し、12 h 行った。12 h 後にライシメーターの連結を解除し、各深さの土壌を 105 °C で乾燥させた。そこから体積含水率, 粒度分布, 土壌溶液 (1:5 懸濁液) の電気伝導度 EC を測定した。EC より NaCl 濃度・含有量を推算した。

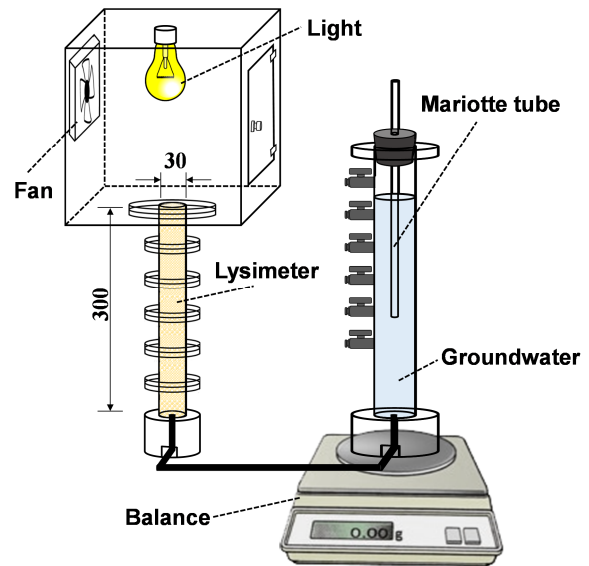


図 1 塩類集積作製装置図

2.2 リーチング・透水性試験

2.1 で作製した塩類集積土壌のライシメーターを図 2 のように定水位水槽と連結し、リーチングおよび透水性試験を行った。土壌表面から 70 および 170 mm の位置にそれぞれ給排水ラインとし、オーラテック社製加圧溶解型微細気泡発生装置と連結し、流量 1,200 ml/min で微細気泡 NMB (気泡特性は図中に示す) とともに循環供給した。比較として、同流量における微細気泡なしの条件でも行った。

水位差 170 mm の定水位にて土壌表面より無気泡水もしくは気泡水を流入し、底部より流出した透水量を電子天秤にて初期 100 ml まで連続計測した。その後、循環供給を停止し、系内の重力水が全て (約 300 ml) 排水されるまで 50 ml 毎採水し、それぞれ EC を測定した。その後、ライシメーターの連結を解除し、2.1 と同様に土壌分析を行った。

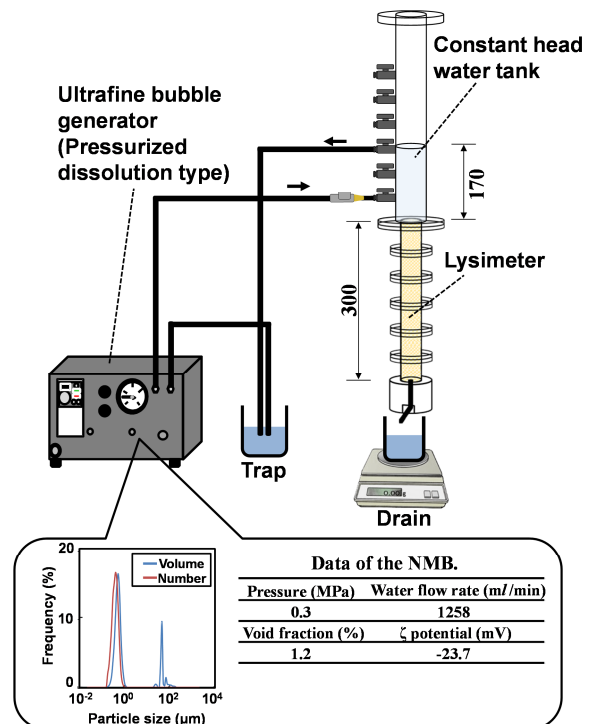


図 2 リーチングおよび透水性試験装置図

3. 結果および考察

3.1 作製した塩類集積土壌の塩分分布

供試混合土壌を塩類集積化した際の土壌深さに対する NaCl 含有量と体積含有量を図 3 に示す。土壌表層-10 mm における NaCl 含有量が下層の 10 倍高くなっており、地下水位-150 mm を設定したことを考慮すると毛細管現象により模擬塩類集積土壌が生成したと判断した。地中温度は深さ-10、-60、-110 mm においてそれぞれ 42、35、27 °C と減少し、乾燥臨界深さは-50 mm 以浅と考えられる。参考までに豊浦砂のみの場合、地下水位-150 mm では表面集積せず、下層-100 mm あたりが高くなった。また、12 h 後の蒸発量も豊浦砂のみと比べ混合土壌の方が約 2 倍の 43 ml と高かった。このことより、粘土を混合することで間隙が狭くなり、地下水位が深くても毛細管現象により表面への塩類集積が生じやすいことが確認できた。

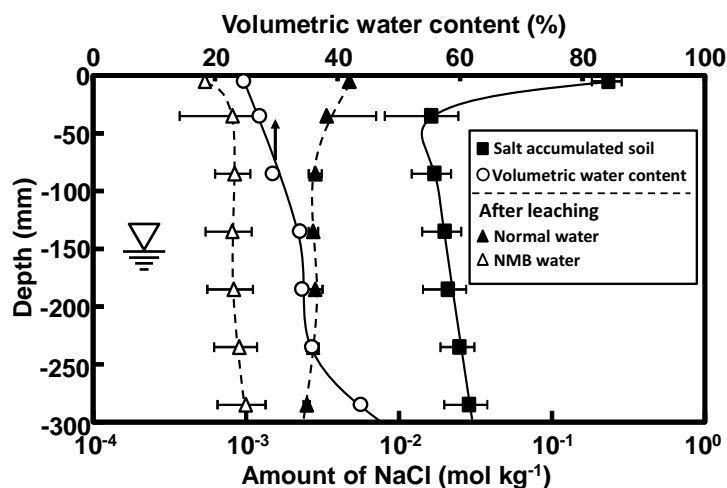


図 3 塩類集積およびリーチング後の土壌中 NaCl 含量

3.2 微細気泡水によるリーチング効果

作製した塩類集積土壌に対する微細気泡水の透水性を図 4 に示す。表面乾燥後の供試土壌は不飽和状態であるにもかかわらず、ライシメーター下部からの排出された透水量は時間経過に対しほぼ一定であった。また、興味深い結果として微細気泡水のほうが無気泡水と比べ透水性が高く、透水係数 (15 °C) k_{15} はそれぞれ 6.94×10^{-6} 、 2.28×10^{-6} m/s と約 3 倍向上することがわかった。また、排水中の EC から求めた累積 NaCl 溶脱量を図 5 に示す。排水量約 150 ml で供試土壌中の NaCl の大部分が溶脱し、排水量 400 ml において無気泡水と比べ微細気泡水は約 1.2 倍量溶脱していることがわかった。ライシメーター内の土壌中 NaCl 含量を比較しても (図 3)、微細気泡水のほうが全体的に溶脱していることがわかった。作製した塩類集積土壌中の NaCl 総量に対し系外への排出 (溶脱) 率は、微細気泡水が 96%、無気泡水が 83% であった。透水性と溶脱性ことから、微細気泡水は無気泡水と比べ約 5 倍リーチング効果が向上した。

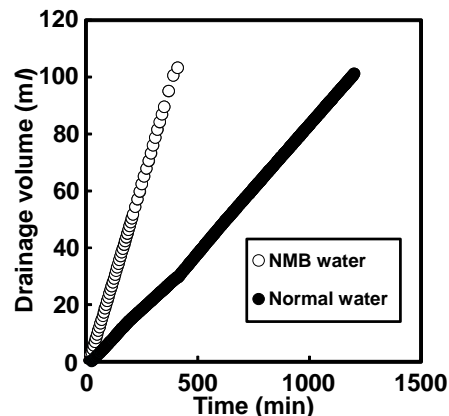


図 4 塩類集積土壌に対する透水性

微細気泡水供給によるリーチング効果の向上について考察する。本研究で供給した微細気泡水は加圧溶解型の発生様式であり、装置内の圧力を調整することで高濃度のナノサイズ気泡を供給することが可能である (Liu et al., 2013)。極めて安定な気泡水であり、7 日間経過しても気泡の存在を確認することができる。よって、表層からの吸入にもかかわらず気泡の浮上速度が透水速度より低いため、土壌中への気泡水吸入が可能と考えられる。土壌中に浸透した微細気泡水は塩分濃度の増加にともない発泡し、気泡成長とともに土壌間隙を物理的に拡張したと推測される。実際、微細気泡水供給後の土壌表面は無気泡水と比べ 20 mm 程上昇した。そのことにより土壌の透水性が向上し、塩分を効果的にリーチングできたと考えられる。また、間隙の拡張は毛細管の破壊を意味し、再塩類集積抑制効果も期待される。本研究では、微細気泡のガスとして空気を用いたが、CO₂ ガスに切り替えることでアルカリ・塩類集積土壌の改良にも期待される。本微細気泡発生装置の駆動力は送液ポンプのみであることから灌漑システムへの導入も容易である。

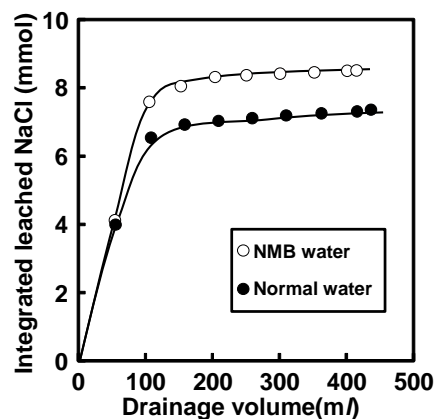


図 5 塩類集積土壌からの NaCl 溶脱

参考文献

Liu, Kawagoe, Makino, and Oshita (2013), *Chemical Engineering Science*, **93**, 250-256.