

水分蒸発を抑制する親水性ポリマーが土壌中の水分移動に与える影響に関する研究

Effects of Hydrophilic Polymers for Decreasing Evaporation from Soil on Water Movement in Soil

○ 三石正一* 宮崎毅* 溝口勝*

○ MITSUISHI Shoichi, MIYAZAKI Tsuyoshi, MIZOGUCHI Masaru

1. はじめに

発掘調査が終了した遺構を露出展示しながら保存する場合、遺構の乾燥による崩壊および塩類の析出という問題が起きやすい。これらの問題を克服するために、土壌からの水分蒸発を抑制する親水性ポリマーを散布する方法が普及しつつあるが、塩類の析出を防ぐことはできていない。このように、遺構の恒久的な露出展示方法を開発するためには、親水性ポリマー散布後の土壌水分移動の制御が必須であるが、その詳細なメカニズムについてはあきらかにされていない。

そこで本研究では、土壌の水分蒸発を抑制する親水性ポリマーが土壌中の水分移動に与える影響を蒸発実験であきらかにすること、またこの親水性ポリマー散布後の土壌水分蒸発量の計算に、親水性ポリマーによる表層輸送抵抗を組み込んだ蒸発式を用いて土壌水分蒸発量を予測することを目的とした。

2. 実験方法

供試土壌は2mm篩いを通過させた立川ロームを、土壌の水分蒸発を供試ポリマーにはポリシロキサン-ポリオキシアルキレンオリゴマー(分子量700,以下SAO)と、対照ポリマーとしてポリエチレングリコール(分子量400,以下PEG)を用いた。内径5cm,高さ10cmのアクリルカラムに立川ロームを 0.46Mg m^{-3} で均一に充填した。充填後、脱イオン水で24時間飽和し、排水を24時間おこなった。その時の水分量を初期水分量とした。排水後、供試ポリマーを4g(推奨散布量 2kg m^{-2} に相当)カラム表層にシリンジで散布した。供試ポリマーを散布したカラムを温度 25°C 、相対湿度70%に設定した恒温恒湿チャンバー内の回転台に静置して、試料表面から自然蒸発させた。24時間毎にカラム試料の質量を測定して蒸発速度を算出した。1, 2, 4, 6, 10, 15

日間を経過したカラムを分解して各深さの含水比、乾燥密度、水ポテンシャル分布を測定した。カラム試料の水ポテンシャル分布の測定にはデカゴン社のWP4-Tを使用した。また熱電対を深さ0.25cm, 1.5cm, 3.5cm, 5cm, 9cmに挿入して地温を測定した。

3. 結果と考察

3.1 蒸発速度

各試料の蒸発速度を図1に示す。無散布試料(Control), PEG散布試料の蒸発速度は時間の経過とともに低下した。SAO散布試料は5日目まで蒸発速度は低下したが、5日目以降は一定の蒸発速度となった。15日目のポリマー散布試料と無散布試料の蒸発速度を比較してみると、ポリマー散布試料の蒸発速度は無散布試料の50~60%まで低下した。

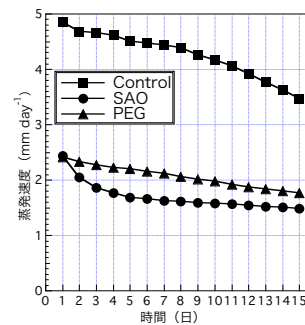


図1 各試料の蒸発速度

3.2 含水比分布

各試料の含水比分布を図2~4に示す。無散布試料の含水比分布は直線的な分布となり、ほぼその分布を維持しながら大きく低下した。ポリマー散布試料は表層の含水比が大きく低下した分布となった。SAO散布試料は表層の含水比分布はほとんど変わらず、深さ2cm以下の含水比が低下した。PEG散布試料は1日目の含水比分布を保ったまま低下した。

3.3 水ポテンシャル分布

このように土壌からの水分蒸発に影響を与えている供試ポリマーの浸透深さをあきらかにするために、WP4-Tによる水ポテンシャル分布の測定した。供試ポリマーは親水性であるため、土壌浸透後、土壌水の水ポテンシャルを大きく低下させるためである。結果を図5-7に示す。水ポテンシャル分布から、SAOは深さ1cm, PEGは深さ1.5cmまで浸透していた。

3.4 供試ポリマー浸透層中の水通過抵抗係数

供試ポリマーの浸透深さをあきらかにすることにより、乾土質量と供試ポリマーの比率があきらかになった。そこで供試ポリマー添加土壌の保水特性を求め、供試ポリマー浸透層の水通過抵抗係数の算出をおこなった。図8に無散布試料の不飽和透水係数と、ポリマー混合試料の水通過抵抗係数を示す。無散布試料は体積含水率の低下にともない不飽和透水係数も低下したが、ポリマー散布試料では水通過抵抗係数の低下はみられなかった。またSAO混合試料の水通過抵抗係数は $1 \times 10^{13} \text{ cm s}^{-1}$, PEG混合試料は $1 \times 10^{12} \text{ cm s}^{-1}$ となり、SAOが浸透している層ではPEGよりも水が移動し難くなっていることがあきらかになった。SAOは土壌水分を吸着し、土壌間隙中でミセルを形成したためと考えられる。

3.5 蒸発速度の計算

土壌からの蒸発速度の計算には、バルク式に供試ポリマーによる水蒸気輸送抵抗を考慮した以下の式を用いて計算をおこなった。

$$E = \frac{\rho^*(T_E) - \rho_{air}}{\frac{1}{k_e} + \frac{z_d}{D_{pv}}}$$

ここで、E: 蒸発速度 (m s^{-1}), $\rho^*(T_E)$: 地表面 (温度: K) における飽和水蒸気密度 (g m^{-3}), ρ_{air} : 基準高度における空気中の水蒸気密度, k_e : 地表面と基準高度間の水蒸気伝達係数 (m s^{-1}), z_d : 供試ポリマーが浸透している深さ (m), D_{pv} : 供試ポリマー浸透層中の水蒸気拡散係数 ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) である。

SAO 散布試料の計算結果を図9に示す。計算1は実測した D_{pv} (SAO: $4.53 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) を用いて計算をおこなった。その結果、計算値は実測値を大きく下回った。これはPEG 散布試料でも同様であった。そこで計算2では、 D_{pv} をSAOは7倍にして計算を

おこなってみた。その結果、実測値とよく一致した。実測値と計算値が一致しなかった理由として、供試ポリマー浸透層中では水蒸気だけでなく液状水でも移動しているため考えられる。

4. まとめ

土壌の水分蒸発を抑制する親水性ポリマー散布後の土壌中の水分移動を把握することができた。今後の課題として、土壌間隙中のポリマーの存在形態や水分子との関係を把握することが必要である。

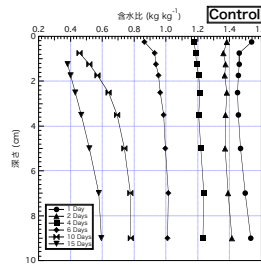


図2 無散布試料含水比分布

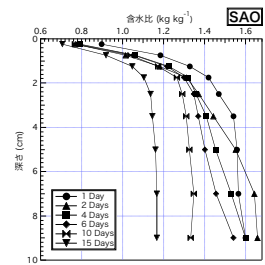


図3 SAO 散布試料含水比分布

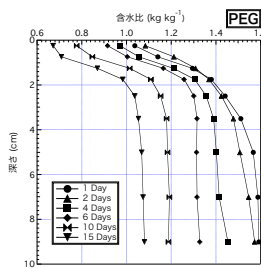


図4 PEG 散布試料含水比分布

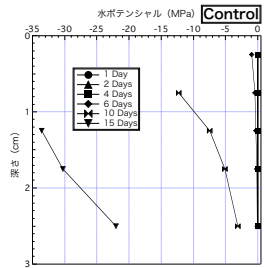


図5 水ポテンシャル分布 (無散布)

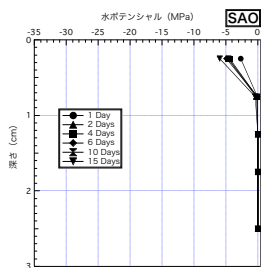


図6 水ポテンシャル分布 (SAO)

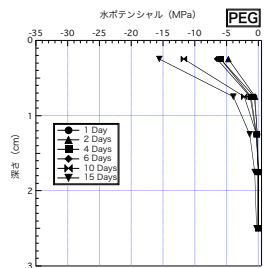


図7 水ポテンシャル分布 (PEG)

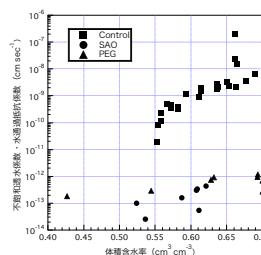


図8 各試料の不飽和透水係数と水通過抵抗係数

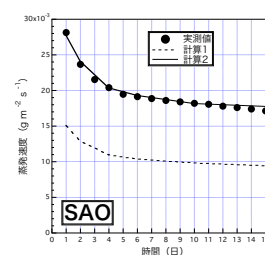


図9 蒸発速度の計算