

論文の内容の要旨

生物・環境工学専攻
平成 15 年度博士課程 進学
氏名 三石正一
指導教官名 宮崎毅

論文題目 遺構保存用の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

1. はじめに

我が国では 1960 年頃から高度経済成長に伴う大規模な国土開発が展開された。その結果、発掘調査件数が一気に跳ね上がり、数多くの遺跡が発掘された。それらの中には日本の歴史を研究する上で価値の高い遺跡も多く、土地開発による環境破壊の反省、地域の歴史を認識するための共有財産、学術研究の還元などの観点から、発掘した遺跡の公園化や遺跡の一部である遺構を露出展示する事例が増えてきた。遺構の露出展示時には乾燥による崩壊、塩類の析出、地衣類等という問題が発生し、これらを防止しなければならない。これらのうち遺構の乾燥による崩壊に対しては、土壌からの水分蒸発を抑制するポリマーを散布して防ぐ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、ポリマー散布後の土壌水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、遺構保存用の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、遺構保存用の親水性ポリマー散布後の土壌水分蒸発量の計算に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. 土壌および供試ポリマーの物性値測定

供試土壌には東京都西東京市東京大学田無農場から採取した立川ロームを使用した。また供試ポリマーには遺構の露出展示時に用いられている、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;SAO と呼ぶ)と対象ポリマーと

してポリエチレングリコール(分子量 400;PEG と呼ぶ)を用いた。

供試ポリマーと水分量の間をきらかにするために、水分量の違いによる熱伝導率、水ポテンシャルの変化を調べた。供試ポリマーの水分量の違いによる蒸気圧の変化を Fig.1 に示す。質量濃度が増加するに従い、蒸気圧も低下していった。また SAO より PEG のほうが蒸気圧を低下させることがあきらかとなった。この結果から、PEG を土壌に散布すると SAO より水分蒸発量が減少することが予測された。

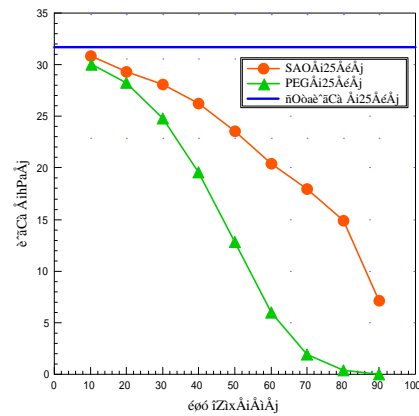


Fig.1 供試ポリマーの質量濃度に対する蒸気圧変化

3. 供試ポリマー散布後の土壌中の水分移動

土壌中の水分移動に供試ポリマーがどのような影響を及ぼすか調べるために、アクリルカラムに供試土を充填し、温度 25℃、相対湿度 70% に一定に設定した恒温恒湿チャンバー内で蒸発実験をおこなった。ポリマー散布試料の蒸発速度は無散布試料より低下し、15 日目の無散布試料の蒸発速度と比較して、SAO 散布試料は約 40%、PEG 散布試料は約 50% 低下していたことがわかった。また不飽和透水係数では、Control (無散布)、PEG 散布試料とも深さごとの不飽和透水係数に差はみられなかった。PEG 散布試料では体積含水率が $0.6\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ 以下では不飽和透水係数は一定になった。SAO 散布試料は体積含水率が $0.6\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ あたりから各深さの不飽和透水係数に差があらわれた。また体積含水率の低下にともない、不飽和透水係数も低下していった。

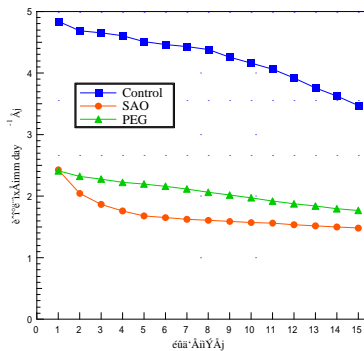


Fig.2 蒸発速度

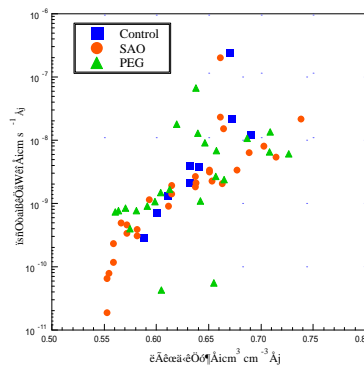


Fig.3 不飽和透水係数

4. 供試ポリマー浸透深さの測定

土壌水蒸発に影響を与える供試ポリマーの浸透深さを調べるために、土壌水の水ポテンシャルを測定する WP4-T (Decagon Device, Inc.) を用いて、ポリマー散布後の土壌中の水ポテンシャルの時間変化を調べた。SAO 散布試料の水ポテンシャルの時間変化 (Fig.4) は、深さ 1.5cm 以降変化があらわれなかった。PEG 散布試料は深さ 1.5cm まで水ポテンシャルが変化していた (Fig.5)。この結果から、SAO は深さ 1cm、PEG は深さ 1.5cm まで浸透していることがあきらかになった。また水ポテンシャルの測定と蒸発実験で得られた温度変化から、各深さの蒸気圧を算出した。Control、PEG 散布試料については時間の経過とともに土中の蒸気圧は低下していったが、SAO 散布試料の蒸気圧は上昇していった。深さ 0.75cm の蒸気圧が特に上昇していた。水ポテ

ンシャル分布から導き出された SAO の浸透深さを裏付けるものと考えられる。

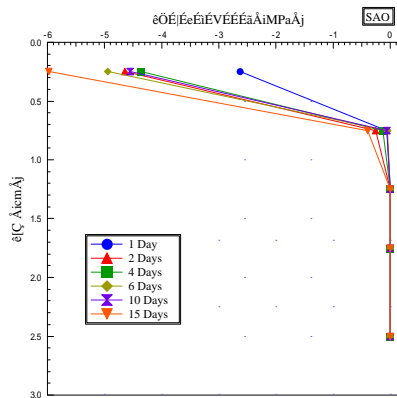


Fig.4 水ポテンシャル分布(SAO 散布試料)

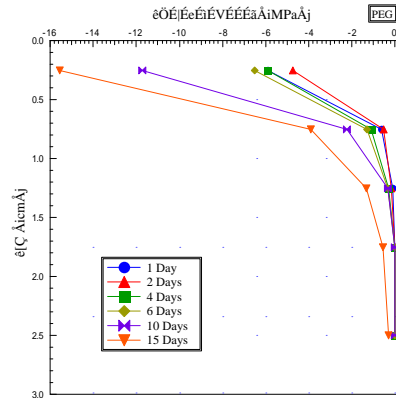


Fig.5 水ポテンシャル分布(PEG 散布試料)

5. 供試ポリマーが土壤の保水性に与える影響

供試ポリマーの浸透深さがあきらかになったので、供試ポリマーの質量に対する試料土の乾土質量の割合があきらになった。そこで供試ポリマーと土壤水分量の関係をあきらかにするために、水分量を調整した供試土に所定量の供試ポリマーを添加して、各試料の水ポテンシャルを測定した。ポリマーを添加した土壤の水ポテンシャルと体積含水率の関係を Fig.6 に示す。水ポテンシャルが -5Mpa の時の SAO および PEG 試料の含水率をみても、SAO は $0.22\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ 、PEG 試料は $0.48\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ と約 2 倍の水分量であった。土壤に PEG を混入させると SAO より土壤水分量を保つことがあきらかとなった。

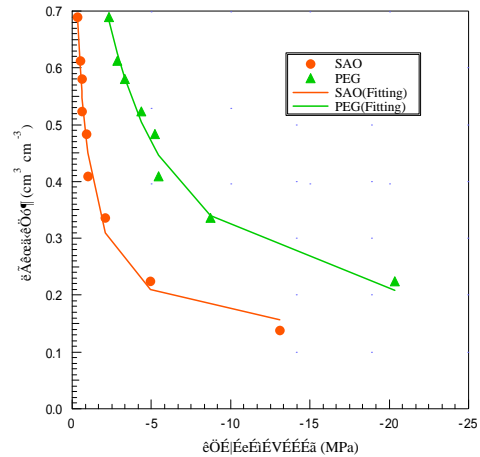


Fig.6 ポリマー混合土壤の水ポテンシャルと体積含水率の関係

6. 供試ポリマー浸透層中の水分移動

5 章の結果をもとに、ポリマー混合土壤の水通過抵抗係数を算出した。本研究では、ポリマー混合試料土の水の移動は水ポテンシャルによると仮定し、以下の式を用いてポリマー混合土壤の水通過抵抗係数を算出した (Fig.7)。

$$q = -K(\phi_w) \left(\frac{\partial \phi_w}{\partial z} + 1 \right)$$

ここで q は水のフラックス (cm s^{-1})、 $K(\phi_w)$ はポリマーによる水通過抵抗 (cm s^{-1})、 ϕ_w は水ポテンシャル (cmH_2O)、 z は位置 (cm) である。その結果、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 $1 \times 10^{-12}\text{cm s}^{-1}$ となった。またポリマー混合試料には体積含水率の低下にともなう水通過抵抗係数の低下はみられなかった。

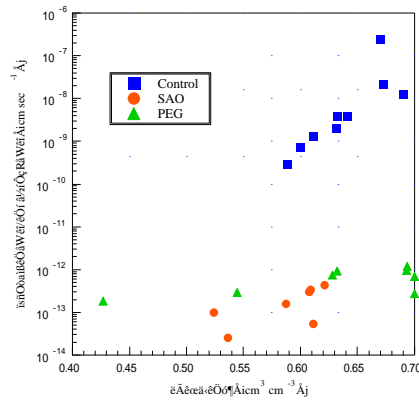


Fig.7 無散布試料の不飽和透水係数とポリマー散布試料の水通過抵抗係数

7. 蒸発速度の計算

遺跡保存用の親水性ポリマー散布後の土壌面水分蒸発量の予測を、供試ポリマーによる水通過抵抗を組み込んだ蒸発モデルでおこなった。

$$E = \frac{\rho^*(T_E) - \rho_a}{\frac{1}{k_E} + \frac{Z_d}{D_p}}$$

ここでEは蒸発速度 (m s^{-1})、 $\rho^*(T)$ は温度T(K)における飽和水蒸気濃度 (g m^{-3})、 ρ_a は基準高度における空気中の水蒸気濃度 (g m^{-3})、 T_E は蒸発が起きている位置の温度(K)、 k_E は地表面と基準高度間の水蒸気伝達係数 (m s^{-1})、 Z_d はポリマーが浸透している深さ(m)、 D_p は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。Control試料ではほぼ実測値を再現したが、ポリマー散布試料についてはどちらも計算値は実測値を大きく下回った。これはポリマー浸透層中では水蒸気移動だけでなく、液状水の移動も無視できないためであると考えられる。

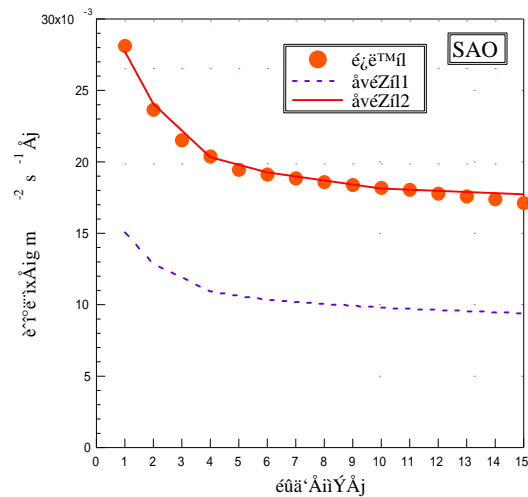


Fig.8 SAO 散布試料の蒸発速度の実測値と計算値

8. 結論

本研究は、遺構保存用の親水性ポリマー土壌散布後の土壌中の水分移動に及ぼす影響をあきらかにすることを目的として実験をおこない以下の結果を得た。

- ・蒸発実験により、蒸発速度および土中水分移動速度を把握することができた。
- ・水ポテンシャル分布からSAOの浸透深さは深さ1cm、PEGの浸透深さは深さ1.5cmであることがわかった。またSAO浸透層中の水通過抵抗係数は $1 \times 10^{-13} \text{cm s}^{-1}$ 、PEG浸透層中の水通過抵抗係数は $1 \times 10^{-12} \text{cm s}^{-1}$ まで低下することがわかった。
- ・PEGはSAOよりも水ポテンシャル、土中の蒸気圧を低下させ、土壌の保水性が増加させた。しかし土壌に散布してみると、SAOを散布した試料に蒸発速度や土壌中の水分移動速度の低下があらわれた。
- ・このような結果となった理由として、供試ポリマーによって土壌間隙中での存在形態が異なるためであることが

考えられる.