

不均一粒径ガラスビーズ中のアイスレンズの生成

三重大学生物資源学研究科
三重大学生物資源学部

渡辺 晋生・武藤 由子
溝口 勝

はじめに

土が冷やされると、土中水は氷の塊として析出することがある。この氷の塊はその形状からアイスレンズ(以下 IL とする)と呼ばれる。IL の生成は凍上現象の主要因であり、その機構の解明が求められている。

IL の生成機構を考える際、凍結面近傍の構造の変化や水の動きを微視的且つ連続的に観察することが有効である。また、微視的観察には、物性や表面状態がよく分かっており、容易に可視光で観察できる試料が理想的である。筆者らはこれまでに、一方向凍結装置を用いて土¹⁾や理想的な不均一粒径ガラスビーズ²⁾中の IL の生成機構を調べてきた。また、一連の実験結果をもとに不均一粒径ガラスビーズ中の IL 生成モデルを提案した³⁾。

しかしながら土は本来不均一であり、骨格構造を持つ。そこで、骨格構造を持たない不均一粒径ガラスビーズ中の IL の観察やモデルが、実際の土中の現象にどの程度応用できるのかを知ることが現在の問題点である。そこで本研究では、土のような骨格構造をもつガラスビーズ混合試料を作成し、この混合試料中に生成する IL と、土や不均一粒径ガラスビーズ中に生成する IL の相違点を実験的に調べた。

試料と方法

はじめに、表面状態のよく分かった5種の不均一粒径ガラスビーズを配合し、混合試料を作成した。各不均一粒径ガラスビーズの平均直径は、それぞれ 2.2, 5.3, 9.7, 50, 200 μm である。混合試料の作成に当たり、凍上性の高いことで知られる藤森土の粒度組成を参考にした。図1に各不均一粒径ガラスビーズ、藤森土、混合試料の粒径加積曲線を示す。

実験には、混合試料と、不均一粒径ガラスビー

ズ($d=2.2 \mu\text{m}$)、藤森土を用いた。これらを脱気した蒸留水で飽和し、 $70 \times 20 \times 3 \text{mm}^3$ のガラスセルに詰めた。セルには水溜めと空気穴を設けた。各試料の含水比は、それぞれ 35, 80, 46% である。セルは、初期温度 2 $^{\circ}\text{C}$ にならした。ここで、セルを一方向凍結装置に設置し、温度勾配と凍結速度を独立に制御することで凍結させた^{1,2)}。凍結面近傍の様子は、顕微鏡と CCD カメラを介し、連続的に録画した。録画した画像はコンピュータにより、20 μm の精度で解析した。

実験結果

図2に凍結速度を制御しない時の各試料の凍結面近傍の様子を示す。試料に与えた温度勾配は 0.2 $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ である。図中上部が低温側であり、凍結は下方に進行している。IL は黒く、各試料は白っぽく観察された。いずれの試料においても、低温側から層状に IL が生成した。温度場がおおよそ定常に達すると、凍結面近くの IL が成長した。

不均一粒径ガラスビーズ中の IL は、IL-試料の境界が明瞭に観察された。また、IL は熱流に対し垂直(図の横)方向の乱れが少なくきれいな層をなした。一方、藤森土中の IL は横方向に乱れて生成した。混合試料中の IL の形状は土と不均一粒径ガラスビーズの中間の様相を示した。また、IL 間に挟まれた試料は、高温側へ水中を移動しながら掃き出されることがある。混合試料中のこうした試料の動きは、不均一粒径ガラスビーズ中より藤森中の試料の動きに類似した。

図3に、試料に 0.2 $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ の温度勾配をかけた時、最後に生成した IL の成長量を示す。図の経過時間は、IL が発生した後に経過した時間である。藤森 1 は圧密した、藤森 2 は圧密し

ていない試料である。混合試料、均一粒径ガラスビーズ、藤森2はいずれも同じような傾向を示した。しかしながら、こうした傾向は試料の圧密の状態や、混合比、わずかな温度状態の違いによっても著しく異なった。

次に、試料に一定の凍結速度を与えた。図4に、凍結速度を $0.6 \mu\text{m/s}$ 、温度勾配を $0.2/\text{mm}$ に制御したときの試料の凍結面近傍の様子を示す。いずれの試料中にも、およそ等間隔に等厚のILが生成した。図中の混合試料、藤森、均一粒径ガラスビーズのILの平均厚さはそれぞれ $0.09, 0.2, 0.35\text{mm}$ 、平均間隔はそれぞれ $0.46, 0.3, 0.35\text{mm}$ であった。

考察

以上の観察から土中とガラスビーズ中のILの形状の違いは、粒径の揃い具合の違いによると考えられる。ところで、混合試料中には土中とほぼ同じILが形成された。また、氷の成長界面近傍を微視的に考えた場合、混合試料と均一ガラスビーズ中でのILの生成は同じ現象と考えられる。そこで、数 μm の微粒子と数十 μm 以上の粒子との相互作用を考慮することで、均一な微粒子中のIL生成モデル³⁾を実際の土へ応用できる可能性が示唆される。

おわりに

粒径のそろった各ガラスビーズを配合し、土と同様の粒度組成を持つ混合試料を作成した。混合試料中には、土中とよく似たILの生成が観察された。均一な試料中に生成するILのモデルを実際の土に应用する可能性が示唆された。今後は試料の配合比や圧密状態を変えて実験を行う予定である。

参考文献 : 1)渡辺・溝口・石崎:凍結過程における土の凍結面近傍の微視的構造についての実験研究,農土論集,191,53-58 (1997) 2)武藤・渡辺・石崎・溝口:ガラスビーズ中におけるアイスレンズ形成過程の顕微鏡観察,農土論集,194,97-194 (1998) 3)渡辺・武藤・溝口:均一粒径ガラスビーズ中の層状氷生成モデル,雪氷 (印刷中)

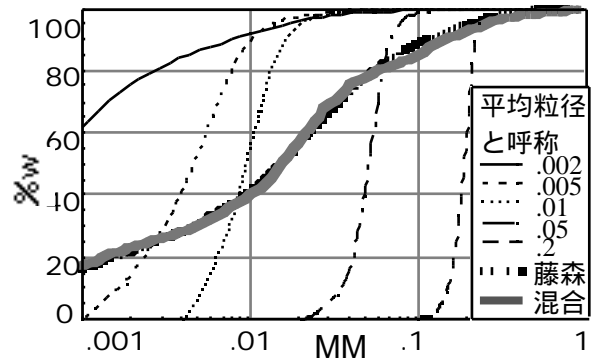


図1 試料の粒径加積曲線

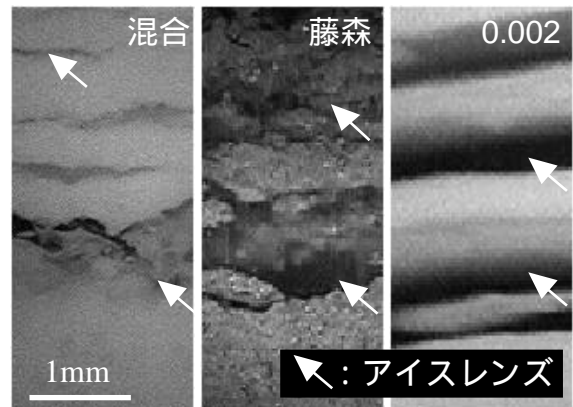


図2 各試料の凍結面近傍の様子

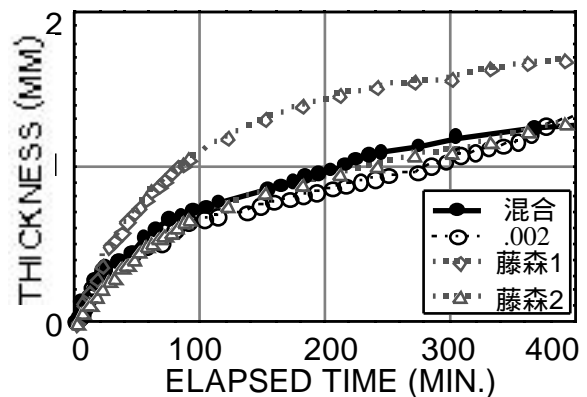


図3 最終アイスレンズの成長量

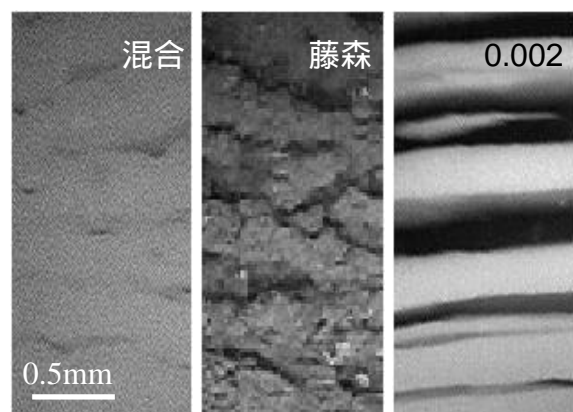


図4 各試料の凍結面近傍の様子