

飽和粉体中で一枚のアイスレンズが連続して成長できる含水比と凍結速度の関係

渡辺晋生・武藤由子（三重大）・溝口勝（東京大）

Freezing rate-water content diagram for the formation of single continuous ice lens in water-saturated powder
K. Watanabe, Y. Muto and M. Mizoguchi

はじめに 水で飽和した多孔質体を凍結すると、アイスレンズ(IL)が生じることがある。ILは、一般に、発生と成長を繰り返すとびとびな層を形成する。しかし、凍結速度が十分に遅いなど条件が整えば、一枚のILのみが連続して成長を続けることもありうる。そこで本研究では、異なる含水比の試料において、一枚のILが連続して成長する臨界の凍結速度について報告する。

試料と方法 粒径の揃ったガラス粉粒体($d=2.2 \mu\text{m}$)に脱気した蒸留水を加え、各含水比(0.76 2.3 g/g)で飽和した。試料は $70 \times 20 \times 3 \text{ mm}^3$ の試料セルに詰めた。セルを 2°C にならした後、一方向凍結装置に設置し、温度勾配($0.27^\circ\text{C}/\text{mm}$)を与え凍結させた。試料内の凍結面の進行がおよそ止まった後(温度勾配を与えてより30分後)、試料の温度勾配を一定に保ちつつ一定の凍結速度(等温面の進行速度: $0.2 \sim 0.8 \mu\text{m}/\text{s}$)を与えた。このときの凍結面の様子を顕微鏡とビデオカメラを用いて観察した。

結果と考察 試料に温度勾配を与えると、試料内の低温側より凍結が進行した。このとき、ILは発生と成長を繰り返し、とびとびな層を形成した。次に、一定の凍結速度を与えた。このとき、等温面の進行に伴い、成長中のILの成長面の位置も変化した。図1に凍結速度 $0.6 \mu\text{m}/\text{s}$ を与えたときの、各試料中のIL成長面の位置の変化を示す。縦軸は、各ILが発生した位置からの成長面の移動距離を示す(-は低温側)。含水比78%、110%の試料中のILの成長面は、等温面の進行とともに低温側へ移動した。また、等温面がさらに進行すると、これらのILの成長は止まり、次のILが高温側(およそ縦軸の0に等しい所)で発生した。一方、含水比160%の試料中のILの成長面の位置は、一定値を維持した。このとき、ILは凍結速度と同じ $0.6 \mu\text{m}/\text{s}$ で成長を続けていると考えられ、また、この凍結条件下では一枚のILが連続して成長を続けていると考えられる。そこで、こうした実験を繰り返し、一枚のILが成長するかどうかを、各凍結速度、含水比において調べた(図2)。図中、xの条件下ではILは層状に発生と成長を繰り返した。○では、一枚のILが連続して成長した。今回の試料において、一枚のILが連続して成長をつづける含水比と凍結速度の関係が、図2のように得られた。図中、実線はWorster and Wettlauffer (1999)を基に計算した、一枚のILが連続して成長を続ける臨界の凍結速度を示す。計算においては、IL成長面にかかる荷重Pは粒子の単位体積あたりの数(含水比より算出)に比例するとした。Worster and Wettlaufferのモデルで、本試料中で、一枚のILが連続して成長を続ける臨界の凍結速度の傾向がおおよそ再現できた。

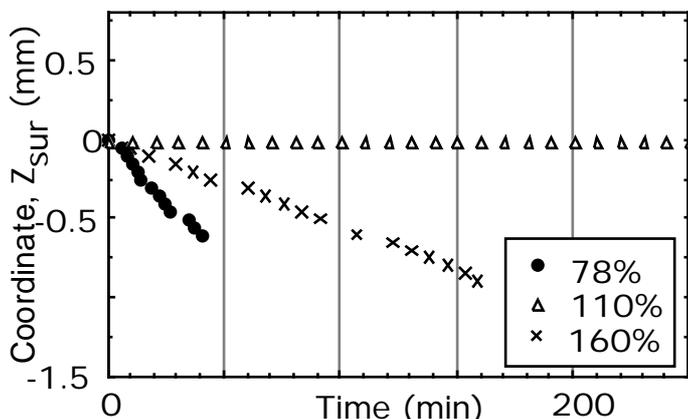


図1：アイスレンズの成長面の位置の変化

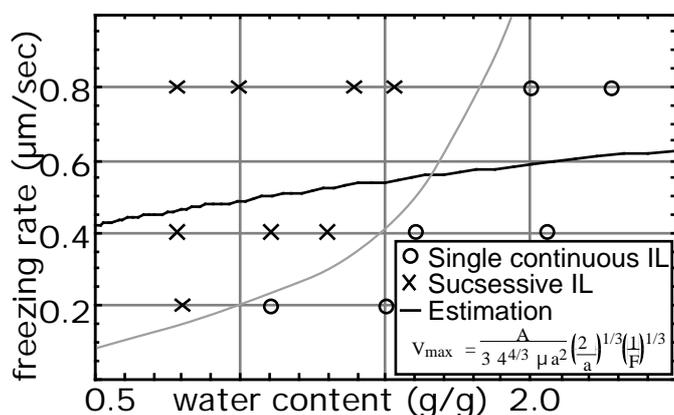


図2：含水比と凍結速度