

粒状体を用いたアイスレンズ形成実験

Experimental study of ice lens formation in granular materials

猿谷友孝、栗田敬 東京大学地震研究所

e-mail: saruya@eri.u-tokyo.ac.jp

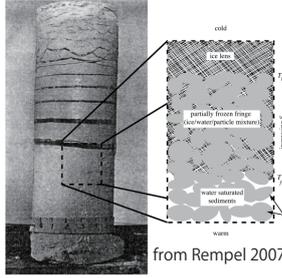


アイスレンズ (Ice lens, Segregation ice)

土壤中の水分移動によって析出する氷晶



Ice wedge from AGR Canada web



アイスレンズの形成・成長

地面が隆起 (数 cm~数十 m)

工学的
地球科学的

構造物を破壊
周氷河地形の形成

コンクリート
パイプライン etc. アイスウェッジポリゴン etc.

アイスレンズの先行研究

工学的な研究がメイン

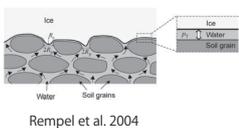
数値モデルによる成長量の予測 (多) 天然物を用いた成長量の実験・予測 (少)

実験データが少なく、モデルが正しいか検討できない 結果重視で、形成の物理過程に注目していない

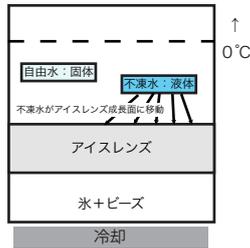
アイスレンズ形成の詳細はよくわかっていない (特に実験データが少なすぎる)

アイスレンズの形成メカニズム (現在の主流)

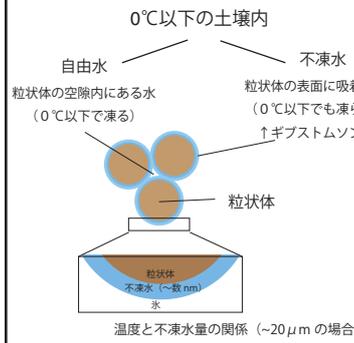
土壌凍結中の水の移動・集積



不凍水のレンズ成長面への供給



不凍水 (unfrozen water, premelting of ice)



ギブストムソン効果
正の曲率を持つ粒状体の表面では、表面張力によって固液相の平衡温度 (T_M') が下がる。

$$T_M - T_M' = \frac{\gamma T_M}{\rho_s q r}$$

T_M : 平面での平衡温度
 q : 潜熱
 γ : 表面張力
 ρ_s : 固体密度
 r : 粒子半径

不凍水: 温度が低いほど 少ない
粒径が大きいほど

不凍水は温度勾配、濃度勾配などによって低温側へ移動する

レンズ成長面に集積して、氷晶が析出する

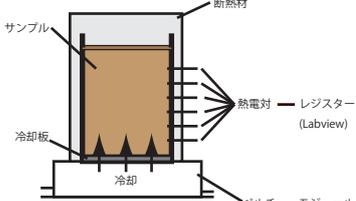
凍結速度の影響
凍結速度が速すぎる
→ 不凍水がレンズ成長面に供給される前に全体が凍ってしまう
↓
レンズ形成には凍結速度が遅い必要がある (〜数 μm : 臨界凍結速度)
→ 条件によって異なる

粒径の影響
粒径が大きすぎる
→ レンズに供給できる不凍水の量が少ない
↓
レンズ形成には粒径が小さい必要がある (〜数十 μm ? 不明)
混合粒だとどうなる?

実験

実験目的: アイスレンズの形成条件を明らかにする!
特に粒径と冷却温度。

ペルチェモジュールによる一方向凍結法 (冷却温度一定法) サンプル+モジュール

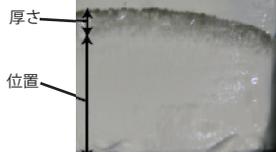


実験装置の概要



レジスター (Labview) 温度コントローラー

レンズの位置と厚さ



- 均質だったものが不均質になる
- 中途半端なところができる
- 条件によって位置・厚さがばらばら

実験サンプル
ガラスビーズ
 $\phi = 5, 10, 12^*, 18, 32, 50, 70, 1000, 5000 \mu\text{m}$
(*は中空ビーズ, 他は充填ビーズ)

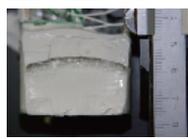
ビーズを水で飽和させて、均質にしてから

- ① 冷却温度を一定 (-5°C) にして粒径を変えて実験。
- ② 粒径を一定 ($5 \mu\text{m}$) にして冷却温度を変えて実験。

12時間冷却後、サンプルを取り出して鉛直面に切断。
アイスレンズの位置 (冷却板から) と厚さを測定。



外側から見ると。



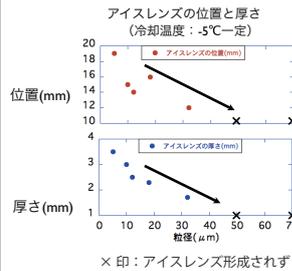
厚いレンズ



薄いレンズ

結果

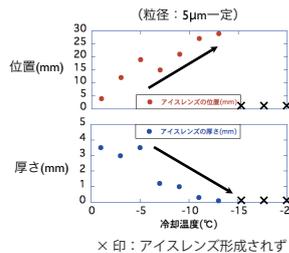
① アイスレンズの粒径依存性 → 粒径が大きいほど薄くて近い
粒径が $50 \mu\text{m}$ 以上ではアイスレンズ形成されず



粒径が小さいと
曲率が大きく、大きい粒径よりも
不凍水の量が多い ⇒ レンズが厚くなる。

位置にどう影響?

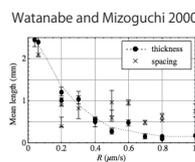
② アイスレンズの冷却温度依存性 → 冷却温度が低いほど薄くて遠い
冷却温度 -15°C 以下ではアイスレンズ形成されず



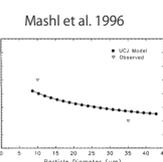
冷却温度が低いと
凍結速度が速く、臨界凍結速度になるまで
時間がかかる ⇒ レンズの位置が遠くなる。

厚さにどう影響?

凍結速度一定の場合の例



凍結速度が速いほどレンズは薄くなっているが、
レンズの位置はふらついている。



粒径が大きいほど、臨界凍結速度は小さい
→ 粒径が小さければ凍結速度が速くてもできる?