画像処理によるアイスレンズの面積及び吸水量の評価

Evaluation of area of ice lenses and absorbed water by an image processing method

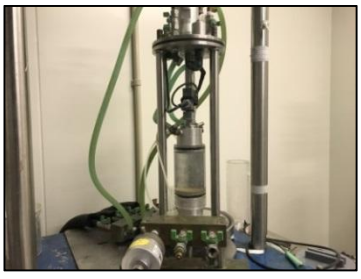
北海道大学工学部環境社会工学科	○ 学生員	佐々木　勇太郎	(Yutaro Sasaki)
北海道大学大学院工学院	学生員	金内　尭	(Takash Kanauchi)
北海道大学大学院工学院	学生員	栗城　雅史	(Masashi Kuriki)
北海道大学大学院工学研究院	正会員	鄭　好	(Hao Zheng)

1. はじめに

地表が 0℃以下に冷やされると，土中の水が凍結面近傍に氷塊が析出することがある．こうした析出氷は，アイスレンズと呼ばれ，発生と成長を繰り返し，地表を隆起させる．アイスレンズの生成は凍上現象の主要因であり，農地の灌漑排水系や道路,建物の基礎に深刻な被害を与える．こうした凍結被害を防ぐために,アイスレンズ凍上機構の解明が求められている．

現在提唱されているアイスレンズの生成理論としては，毛管理論 [1]，二次凍上理論 [2] などがあるが，凍上が起こる全ての物質について普遍的に説明できる理論はなく，アイスレンズの形成理論は未だ確立されていないのが現状である．その要因として，アイスレンズの成長が，水分移動を伴う複雑な結晶成長現象であるため，評価が容易でないことが挙げられる．

画像処理は，写真や画像データを定量化することを可能にするため，アイスレンズの形成メカニズム解明に対して，有用な手法であると考えられる．本研究では，画像処理により複雑な形状であるアイスレンズの面積を測定できることに着目し，吸水量との関係性を調査した．画像処理を行うための供試体を、**図－１**に示す実験装置を用いて，開式一軸凍上試験により作製した．その後，アイスレンズの成長過程を連続的に撮影した写真を，画像処理ソフトを用いて，評価を行った．



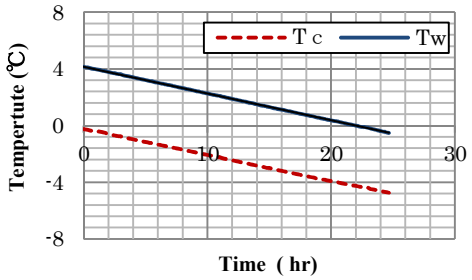
図－1 凍上実験装置

2. 一軸凍上試験

図－１に示す一軸凍上試験機を用いて凍上実験を行い，アイスレンズ成長の観察及び，上下ペデスタル温度と吸水量の測定を行った．本実験では一定の温度勾配をつけ，供試体を上部から凍結する．実験条件を**表１**に示す．また，アイスレンズ発生時点からの温度勾配のグラフを**図－2**に示す．Tc が供試体最上部，Tw が供試体最下面の温度を表している．

表　1　実験条件

土の種類	供試体高さ (mm)	凍結速度 (mm/hr)	温度勾配 (℃/mm)
MZ カオリン	65	3	0.064

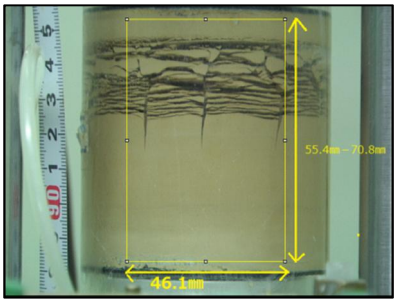


図－2 温度と時間の関係

3. 画像処理による面積の測定方法

本研究では，オープンソースでパブリックドメインのソフトウェアである，ImageJ[3]を用いて，画像処理を行った．ImageJ は，様々な画像形式，画像処理に対応しており，ソースコードは全て公開されているため，画像処理の過程を確認できる点で、透明性が担保されている．これらの理由から医療や生物分野を中心に，様々な科学研究に用いられている．

アイスレンズの表面積の測定 [4]は，ピクセルの輝度値を元に，閾値を設定し，閾値に対して明度が高い部分と低い部分に，二値化することでアイスレンズ分布を特定する．その後，アイスレンズ分布の面積を測定する．測定範囲は円柱形であるため，画像の明るさが一定でない．そこで画像サイズを一律に**図－3**の黄色枠線内とする．



図－3 測定範囲の面積

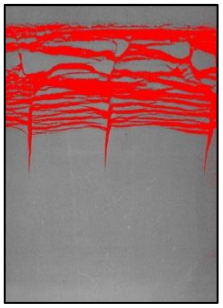
次に測定条件を**表 2** に示す．凍上により，供試体の高さが上昇するため，アイスレンズがすべて収まるよう，縦565－720pixel に，測定サイズを設定する．

表　2　測定条件

画像測定サイズ	横 470pixel×縦 565－720pixel
撮影速度	1 枚/10 分
撮影枚数	150 枚
撮影時間	25 時間
スケール	1mm＝10.2 pixel
閾値範囲（0－255）	93－109

また，**図－4** は閾値設定前，**図－5** は閾値設定後の画像例である．供試体の画像を 8bit に変換した後，閾値を設定することで，面積測定が可能となる．**図－5** では，色が 2 色のみになっており，画像がアイスレンズ部分と土壌部分に二値化されていることが分かる．

図－4 供試体の画像

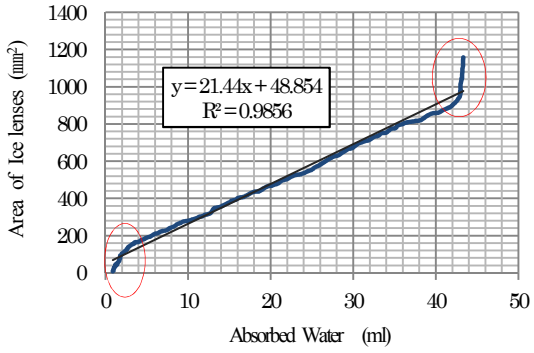


図－5 閾値設定後の画像

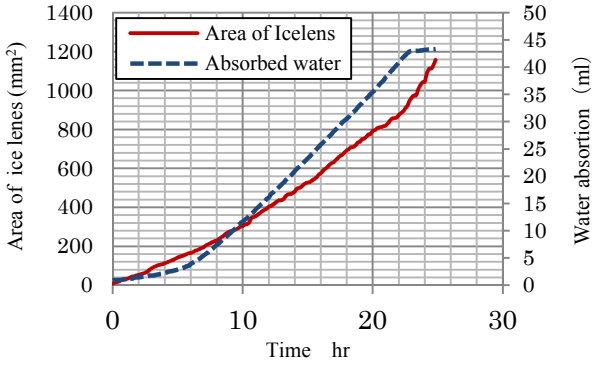
4. 試験結果

初めに，アイスレンズの面積と吸水量の関係を**図－6** に示す．グラフ全体の決定係数は 0.9856，吸水量が 5ml から 42ml の範囲においては，決定係数 0，9986 という高い線形性を示しており，吸水量とアイスレンズの面積は比例関係にある．またアイスレンズ形成直後と吸水量が 42ml を超えた範囲では，グラフの傾きが大きい．

次に，吸水量及びアイスレンズの面積と時間の関係を**図－7** に示す．吸水量は 0ml から 5ml、及び 42ml を超えた範囲で微増し，その間の範囲においては決定係数 0.999 の高い線形性を示している．一方，アイスレンズの面積は緩やかに傾きが増加している．



図－6 アイスレンズの面積と吸水量の関係



図－7 吸水量及びアイスレンズの面積と時間の関係

5. 考察・展望

初めに，**図－6** のグラフにおいて，アイスレンズの面積と吸水量の関係が比例関係を示したことから，アイスレンズの成長は，吸水に依存していると考えられる．

吸水量が 5ml 未満の範囲に関しては，アイスレンズの面積の増加率が大きいが、この要因として，土壌中に元々含まれる水分が，凍結していると考えられる．同様にアイスレンズ吸水量が 42ml を超えた範囲で，アイスレンズの面積の増加率が大きい．**図－2** の温度勾配のグラフから，測定開始 22.8 時間後に，供試体最下面が 0℃を下回り，水の供給面が凍結したことが分かる．すなわち供給面の凍結により吸水が起きなくなり，その後は土中の不凍水がアイスレンズに変化したためと考えられる．

次に，**図－7** では時間とアイスレンズの面積及び吸水量の関係をそれぞれ示した．吸水量は 5ml から 42ml の範囲において，高い線形性を示している．この結果から，供試体最下部の水分吸水面が凍結するまでは，吸水は一定の速度で行われることが分かる．

また，アイスレンズの面積は緩やかに傾きが増加している．アイスレンズは成長に伴い，水分移動距離が短くなるため，水が供試体内に供給されてから，アイスレンズ形成までの時間が短縮するためであると考える．

今後は，カオリン以外の試料を用いて，同様の実験及び評価を行うことで，アイスレンズの面積と吸水量の関係について，同様の結果が見出せるのか，検討を行う．また，アイスレンズの生成機構と発生初期の成長に関しても，画像処理による構造把握が有用であるかどうかを，実験及び画像処理により検討を行う．

参考文献

1) Sill, R.C and Skapski, A.S. (1956) : Method for the determination of the surface tension of solids, from their melting points in thin wedges. Journal of Chemical Physics, 24:644－651

2) Miller, R.D. (1972) : Freezing and heaving of saturated and unsaturated soils. Highway Research Record, 393 : 1－11

3) Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland,

4) Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". Nature Methods 9, 671-675, 2012.