

Thermokarst lake が凍土の融解に及ぼす影響について

Study on effect of Thermokarst lake on thawing of frozen foundation

北海道大学工学部環境社会工学科	○ 学生員	松尾 澤	(Mio Matsuo)
北海道大学大学院工学院	学生員	落合 凌	(Ryo Ochiai)
北海道大学大学院工学研究院	フェロー	蟹江 俊仁	(Shunji Kanie)
北海道大学大学院工学研究院	正会員	鄭 好	(Hao Zheng)

1. 緒言

近年、地球温暖化が急激に進行していると取り沙汰されているが、特に高緯度域での平均気温の上昇は著しく、地球全体の2倍以上の早さで温暖化が進行していることが報告されている¹⁾。温暖化に伴う永久凍土の融解から生じる大規模な地形変形や、凍土地盤が支持力を失うことで地盤沈下が発生し、構造物や社会基盤施設への被害が生じている。

永久凍土とは、少なくとも2年以上凍結した土のことをいい、全陸地の約14%を占めている。永久凍土には、大昔の植物や動物が有機物として保存されているため、一度融解するとそれらが分解され、二酸化炭素やメタンが発生する。つまり、永久凍土の融解とは、温暖化による受動的な変化だけでなく、これからの温暖化を加速させるという能動的な働きを示す²⁾。それゆえ、早急な対処が必要とされるが、十分な研究・検証がされておらず、未だに有効な対抗策は提案されていない。

永久凍土の融解に起因して生じる地形変化のひとつに Thermokarst lake(図-1)がある。Thermokarst lake とは、永久凍土が部分的に融解して湖沼となったもので、融解湖とも呼ばれる。本研究では、気候変動に伴い、今後永久凍土地帯で起きうる現象を分析し、被害を抑えるための対抗策を提案することを最終目標としている。その第一歩として、気温上昇に伴い、数や面積がさらに増加傾向にあると予想される Thermokarst lake に注目する。Thermokarst lake が周辺の凍結地盤の融解速度にもたらす影響や、崩壊面に与える影響について、再現実験と解析の両面から解明することを目的とする。



図-1: Thermokarst lake

2. 試料に関する予備実験

ここでは、再現実験に用いる試料を決定するために行った予備実験に関して記述する。

既往の研究により、ガラスビーズを用いた温度浸食による斜面崩壊の凍結融解実験方法が確立された。試料に土ではなくガラスビーズを用いたのは、崩壊過程を可視化できるため、また解析との整合性を取りやすいためである。

ある。

今後、再現実験を行うにあたっては、より小さな粒径のものを用いることが望ましいと考えられる。そこで本実験では、粒径が5mm, 3mm, 1mmのガラスビーズを用いて凍結融解実験を行い、適切なガラスビーズの粒径を評価した。

実験は以下の手順で行った。アクリル容器にガラスビーズを一定量詰め、水で飽和させた。-10℃の低温実験室で凍結させた後、容器の一面を解放し、60℃の温風のもとで融解させた。

融解終了後の斜面崩壊の様子を図-2に示す。図-2からわかるように、融解終了後の5mmと3mmのガラスビーズの断面形状はほぼ変わらない。それに対し、融解終了後の1mmのガラスビーズは斜面が急であり、断面が保持されていた。1mmのガラスビーズは非常に透水性が低いため、水がもたらす粒子間付着力がガラスビーズに大きな影響を及ぼしたと考えられる。また、1mmのガラスビーズは粒子が非常に細かく扱いにくいいため、作業性に欠けることがわかった。したがって、Thermokarst lake の再現実験では、3mmのガラスビーズを用いることとする。



図-2: 融解終了後の斜面崩壊の様子

3. Thermokarst lake の再現実験

3.1 実験目的

Thermokarst lake に模した湖沼の地盤形状を実験により再現することで、Thermokarst lake が周辺の凍結地盤の融解に与える影響を調べることが目的である。湖沼が存在すると、融解した水の移動による熱の移流効果が発揮されるため、融解が促進すると予想する。

また、本実験は融解過程を解析の面から検証する際に用いるデータを取得することも目的である。

3.2 実験方法

実験装置内で、ガラスビーズを用いて Thermokarst lake に模した湖沼の地盤形状を再現する(図-3)。アクリル容器にガラスビーズを層厚12cmになるように詰め、

水で飽和させる．図-4 に示す位置に温度計を差し込み、-10℃の低温実験室で凍結させた後、熱循環器を取り付け、60℃の温風のもとで融解させる．タイムラプスカメラを用い、凍結時は10分に1コマ、融解時は1分に1コマの間隔で、温度変化と斜面崩壊の様子を観察する．実験結果と、前節での3mmのビーズを用いた凍結融解実験の結果を比較し、湖沼が周辺の凍結地盤に与える影響について考察する．

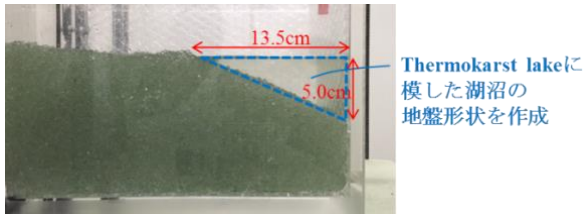


図-3：作成する地盤形状

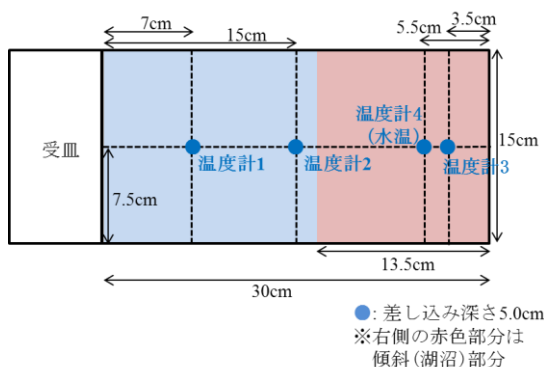


図-4：温度計の差し込み位置

3.3 実験結果

崩壊面側に位置する温度計1および温度計2の融解時温度変化の様子を図-5に、融解開始6時間後と12時間後の様子を図-6に示す．図-6中の実線は湖沼の水面を表している．

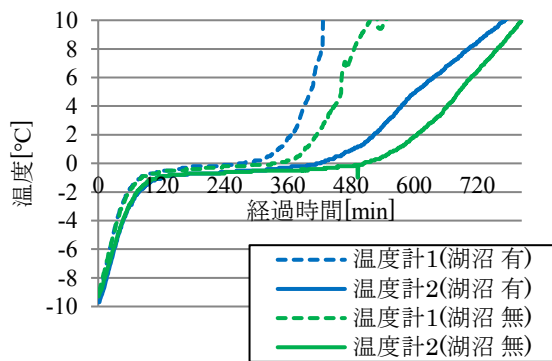


図-5：融解時の温度変化

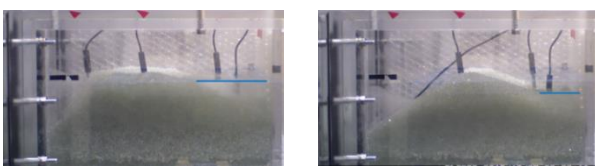


図-6：融解時の様子

3.4 考察

図-5より、温度計1と2のどちらにおいても、湖沼

なしの場合に比べて、融解にかかる時間が短いことがわかる．特に、0℃を過ぎた後の温度上昇スピードは著しい．また、図-6をみると、時間の経過とともに湖沼の水が溶けだし、下流側に流れ出ていることが見て取れる．以上より、湖沼から溶け出した水が下流側の凍結地盤に流れ込み、凍土の融解を加速させていると考えられる．

4. 解析による検証方法

実験結果をもとに、湖沼の水による熱移動や凍土の潜熱等を考慮し、有限要素法による熱伝導解析を行う．

4.1 解析概要

地盤中の水の流れを考慮した熱伝導方程式は式(1)で表される．この式の離散化に伴い、等価比熱法を組み込むことで潜熱領域の温度変化を評価する．さらに地盤の凍結融解の影響を考慮するため、凍結地盤の透水係数を未凍結部の1/10000とした．

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_w c_w \left(v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

4.2 解析モデル

構築した解析モデルの初期状態を図-7に示す．図-7では温度分布を可視化した．初期温度は、実験結果から凍結部を-9℃、表層部を20℃とした．周辺部は実験で使ったアクリル容器の断熱効果が高いため5℃とした．湖沼部分は、融解に伴い温度が上昇するため、前節の再現実験にて温度計4から得られた値を適宜設定する．また、湖沼部分には凍結地盤よりも高い水頭を与えることで、融解とともに凍結地盤に水が流れるようにする．

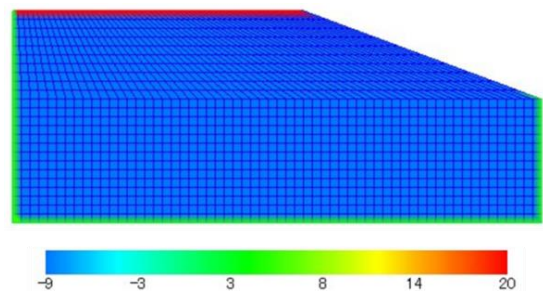


図-7：解析モデル

5. まとめ

既往の研究をもとに、Thermokarst lakeに模した湖沼の地盤形状を再現することで、湖沼が周辺の凍結地盤の融解を促進させることが確認できた．現在、Thermokarst lakeの融解による周辺地盤への影響をより正確に解析するために、凍結地盤中の水の流れを考慮した熱伝導解析を行っており、実験結果との比較検証を実施する予定である．

参考文献

- 1) Drew Shindell and Greg Faluveg : Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century, NATURE GEOSCIENCE, DOI:10.1038/NGEO473, 2009
- 2) 福田正己：海洋科学から見る水惑星の多角的視点にたつ基盤研究 研究報告書、北極圏環境と永久凍土—地球温暖化がシベリア永久凍土に与える影響