

閉鎖性ピングの形成メカニズムに関する基礎的研究

Fundamental Study on Formation Mechanism of Closed-System Pingo

北海道大学大学院工学院
北海道大学工学研究院
北海道大学工学研究院

学生員 白鳥良子(Ryoko Shiratori)
正員 鄭好 (Hao Zheng)
〇フェロー 蟹江俊仁(Shunji Kanie)

1. はじめに

ピングは、地球に覆われた氷の丘陵であり、生成過程における地下水の供給の有無により開放性ピングと閉鎖性ピングの2つの異なるタイプに大別される。開放性ピングでは、永久凍土層の切れ目に出来た山型の不凍部分から被圧地下水が上昇し、活動層まで達した部分でアイスレンズを形成することによって凍上が発生する。一方、閉鎖性ピングは永久凍土層が自由水に侵食された箇所が発生することが主である。マッケンジーデルタの多数の閉鎖性ピングは急速に排水された湖底^{1) 2)} であるが、稀に河川の流路変動と関連する例が確認されている^{3) 4) 5) 6)}。閉鎖性ピングは、開放性ピングよりもより一般的に、頻繁に取り上げられている⁷⁾。閉鎖性ピングでは底部に不凍層である talik が存在することが非常に重要であり、閉鎖性ピングの直径と形状は talik の大きさと形状に依存し、異なる⁴⁾ ことが知られている。

本研究では閉鎖性ピングの生成メカニズムを室内実験で再現し、メチレンブルーとビーズを用いて凍上過程を視覚化すると共に有限要素法による数値解析を行い、縦横比および冷却環境がピングの生成、ひいては凍上現象全般に及ぼす影響を解明することを目的としている。

2. 環境設定について

実験環境の設定にあたり、実際の閉鎖性ピングの周辺環境を参考とした。Tuktoyatuk の南に位置する世界で最大のピングである Ibyuk Pingo⁸⁾。この閉鎖性ピングは、高さ 49 m、直径 300 m、最頂部は約 2.3cm/年のほぼ一定の速度で成長し続けている。Ibyuk Pingo は、平均年間の気温が約-11℃であり、平均年間の地上温度は約-8℃である。ピングは、深さ約 500m 以上の永久凍土上に位置している²⁾。図1に Ibyuk Pingo の発生と成長の経過¹⁾を示す。

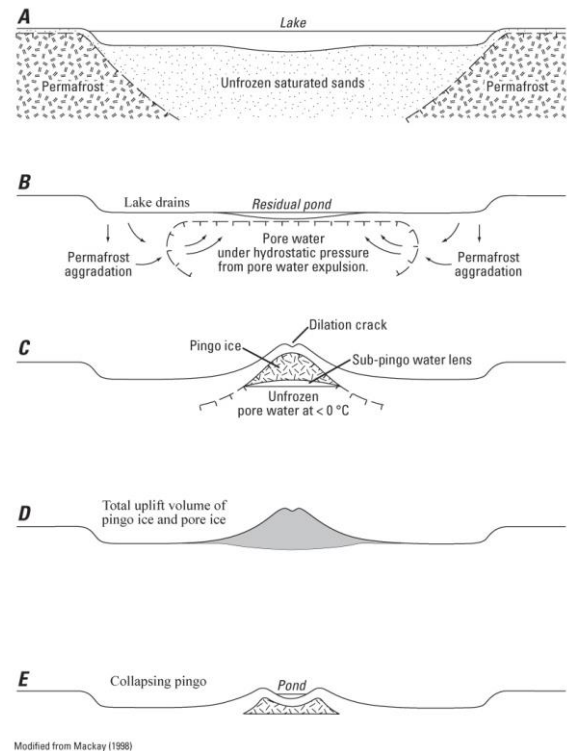


図 1. Ibyuk Pingo の生成過程

3. 小規模冷却実験

3.1. 実験目的

本実験では閉鎖性ピングの冷却状況をモデル化するため、対流発生防止にメチレンブルー溶液で飽和させた 3mm ビーズを試料として使用した(図2)。Ibyuk Pingo の周辺気温とほぼ同じ-10℃の冷凍室内で冷却した。凍結時にメチレンブルーは不凍部に排除されるため、用いることで凍結方向および凍結段階の視認が容易と考える。

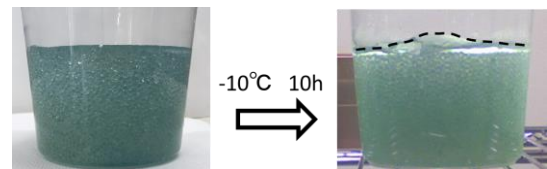


図 2. 小規模冷却実験経過の様子

3.2. 実験手順

底面を棚上げし冷気が通過できるようにし、底面と側面から冷凍室内で冷却し実験を行う。上部に存

キーワード 閉鎖性ピング、永久凍土、Talik、断熱効果、縦横比

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学院 TEL 011-706-6115

在する植物層による断熱を再現するため、液面にラップを敷き、その上に発泡スチロール球(直径 6mm)の断熱材を充填する。完全凍結後の表面形状を型取りゲージ(300 本/300mm)で計測する。

3.3. 実験結果

Mackay モデル(図 1)と同様に丘状隆起と頂上部の膨張割れが確認された。型取りゲージを用いて凹凸を直交二軸で計測を行った(図 3)。丘状隆起は水のみが生成されていることが確認された。

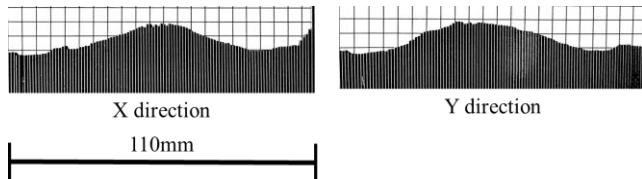


図 3. 小規模実験生成ピンゴ(二軸)

4. 数値解析

4.1. 断熱の効果

環境影響を調べるために、talik 内の温度分布を観察するための軸対称 FEM モデルを導入した。図 4 は、上部の断熱材の有無による温度分布図に示すように、凍結部の形状が互いに異なっており、その差が丘陵の形状を生成する。

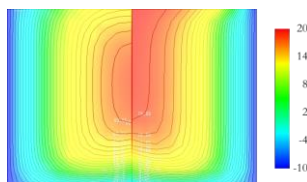


図 4. 温度分布の時間変化(断熱有/断熱無)

4.2. 縦横比の影響

次に供試体の縦横比がピンゴの形成のためのもう一つの重要な要因であることを推測する。図 5 は、ピンゴの最大高さで縦横比の関係を示す概念図面である。側面および底面からの冷却を受ける場合、横長の薄い供試体では全体が速やかに凍結し、丘状隆起の生成は見込めない。また、縦長の棒状供試体では凍結による体積膨張は全体の伸長に費やされる。これらから、高さの最大値を見込んでいる場合は、縦横比として適切な値が存在すると考えられる⁹⁾。実験によるピンゴの形状に対する縦横比の影響と数値解析について検討している。

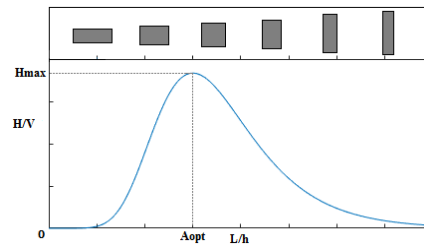


図 5. 最適縦横比

5. 今後の展望

現在の容器では壁面と液面降下の影響が大きく、生成ピンゴの評価が困難と考えられる。不凍飽和砂と貫入氷で構成される実際の閉鎖性ピンゴに模した資料を用いた室内実験により、閉鎖性ピンゴの形成過程を観察し、talik を取り巻く境界条件がピンゴの形状を決定することが確認された。しかし、物理モデルの確立には、飽和地盤基盤を用いた実験モデルと数値シミュレーションを改良する必要がある。また、丘状隆起の評価値を設計するとともに、最終未凍結部高さとの関連を解明することを今後の課題とする。閉鎖性ピンゴの形成メカニズムにおける物理現象を解明することにより、寒冷地における凍上現象と自然環境を維持することに貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) Mackay Ross J. (1973). The Growth of Pingos, Western Arctic Coast, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences (Vol. 10), 979-1004.
- 2) Mackay Ross J. (1979). Pingos of the Tuktoyaktuk Peninsula Area, Northwest Territories. Géographie physique et Quaternaire (Vol. 33), 3-61.
- 3) Craig B.C. (1959). Pingo in the Thelon Valley, Northwest Territories; radiocarbon age and historical significance of the contained organic material. Geological Society of America Bulletin (Vol. 70), 509-510.
- 4) Pissart A and French H.M. (1976). Pingo investigations, north-central Banks Island, Canadian Arctic. Canadian Journal of Earth Sciences, 937-946.
- 5) French H.M. (1976). The Periglacial Environment. New York: Longman, 309.
- 6) Dutkiewicz L. (1976). Pingos and pingo-like forms, Banks Island, western Canadian Arctic. Biuletyn Peryglacjalny, 211-222.
- 7) K Yoshikawa. (2013). Treatise on Geomorphology. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences (Vol. 8), 274-297.
- 8) Mackay J.Ross. (1986). Growth of Ibyuk Pingo, Western Arctic Coast, Canada, and some implications for environmental reconstructions. Quaternary Research (Vol. 26), 68-80.
- 9) 中林航, 白鳥良子, 岩本太一, 鄭好, 蟹江俊仁. (2017). 閉鎖系ピンゴの生成過程に関する基礎的研究. 土木学会年次技術講演会講演概論集(CD).