

ベンチレーションパイプが凍土の凍結と融解に及ぼす影響

The effects of ventilation pipe on freezing and thawing of permafrost

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 岩崎千明 (Chiaki Iwasaki)
 北海道大学大学院工学院 本間翔太 (Shota Homma)
 北海道大学大学院工学研究院 フェロー 蟹江俊仁 (Shunji Kanie)

1. まえがき

近年、地球温暖化による気温の上昇や、気候変動が世界的に問題になっている。アラスカなど北方圏にある永久凍土地帯では、温暖化の影響により、永久凍土の融解が促進されている。永久凍土とは、一年を通して凍結している地盤のことであり、地球の陸地の約 14% を占める。凍土がひとたび融解すると、その融解水は排水されるため、元に戻ることはない。さらに、融解水が周辺凍土の融解を促進させてしまう。また、永久凍土の融解は、凍土内に保存されているメタンガスを大気中に放出し、温暖化をさらに加速させる。以上の点から急速な対処が必要とされている。¹⁾

凍土の融解を抑制する方法として、ベンチレーションパイプを用いる手法がある(図 1)。ベンチレーションとは、換気性能を持つ装置のことである。空気は水よりも熱伝導率が低いため、熱の影響を受けにくいことを利用している。凍土地帯に盛土をする際、盛土内にパイプを埋設する。冬季にはパイプを開放し冷気を通して凍結を促進させ、夏季にはパイプを閉じ冷気を保存して融解を抑制する。²⁾ベンチレーションは北方圏で実際に用いられているが、パイプの設置間隔や太さなど、より効果的に用いる方法は未だ確立されていない。

本研究では、このベンチレーションを実験的に再現し、その性能を確認する。また、実験から得られた結果をもとに数値解析を行い、ベンチレーションをより効果的に用いる方法を提案する。



図 1 ベンチレーション

2. ベンチレーションの性能実験

2.1 実験目的

実際に用いられているベンチレーションを想定し実験を行う。ベンチレーションの性能をより物理的に、明確に確認するため、試料には 3mm のガラスビーズを用いた(以下試料とする)。試料の温度を測定し、ベンチレーションパイプの性能を見る。

ベンチレーションパイプの材質は、熱伝導率が高すぎると夏季に気温の影響を受け内部の温度が上昇してしまう恐れがある。一方、熱伝導率が低すぎると冬季に取り

入れた冷気がうまく周辺凍土に伝わらない。よって適切な熱伝導率を持つ素材を用いる必要がある。以上のことを考慮して北方圏では塩化ビニル製のパイプが用いられている。今回の実験でも同様に、塩化ビニル製のものを使用した。

2.2 実験方法

アクリル容器に試料を高さ 12cm まで詰め、以下の図 2 の位置に長さ約 20cm、高さ約 15cm で中が空洞のパイプを埋める。試料を飽和させ、温度計を以下の図 2 のように 2 箇所を設置して、試料の温度変化を測定する。上部にラップ、その上に断熱材を乗せて、-10 度の冷凍室で約 60 時間凍結させる。冷凍室の冷気をパイプ内部に取り入れやすくするため、パイプの先端は断熱材から突き出るようにする。試料を完全に凍結させた後、冷凍室内でパイプに栓をする。アクリル容器を冷凍室から取り出し、熱循環器に設置して、試料上部に約 60 度の温風を流して融解させる。温風が試料に直接当たらないよう、ラップをかぶせる。

同様の方法で、パイプを埋設せずに試料のみを凍結・融解する実験も行い、結果を比較する。温度計も同様の位置に設置する。

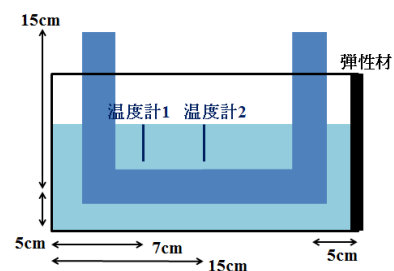


図 2 温度計の設置位置

2.3 実験結果と考察

パイプ埋設時の実験結果をケース 1、試料のみでの実験結果をケース 2 とする。ケース 1 とケース 2 の実験結果を、凍結・融解でそれぞれ比較すると、以下の図 3 と図 4 のグラフが得られた。

(1) 凍結過程

以下の図 3 より温度計 1 について、凍結開始時間はほぼ同時であった。しかし、ケース 1 は凍結してからの温度勾配がかなり急になっている。よって、パイプの内部の冷気が凍結後の周辺試料の温度降下を促進させたと考えられる。

次に温度計 2 の凍結開始時間について、約 3 時間の違いが確認できた。ケース 1 では、パイプ内部の冷気によ

って、パイプ周辺からの凍結も進んだと考えられる。また、試料の中心に設置した温度計2の凍結が早まったということは、パイプによって試料全体の凍結を早めることができたと言える。一方、凍結してからの温度勾配にも大きな差が見られた。ケース1ではかなり急な勾配が確認できる。以上の2点から、温度計2についても、パイプの内部の冷気が周辺試料の凍結を促進させたと考えられる。

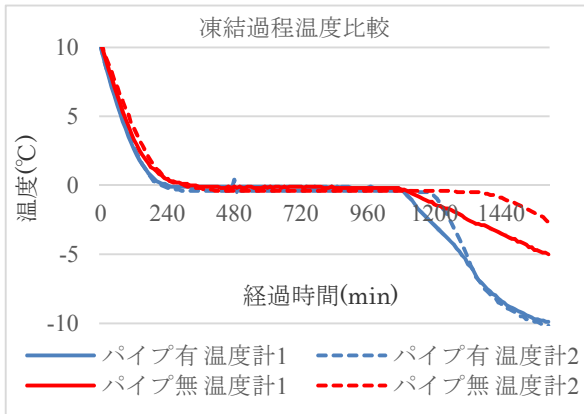


図3 凍結過程のグラフ

(2) 融解過程

以下の図4より、温度計1、温度計2ともに融解が遅くなっていることが分かる。パイプ内部の冷気によって、試料の融解を妨げたと考えられる。特に、温度計2については融解時間に大きな差を確認することが出来た。融解時も、実験装置の中心に設置した温度計2で差を見ることができたということは、試料全体の融解を抑制させることができたと考えられる。

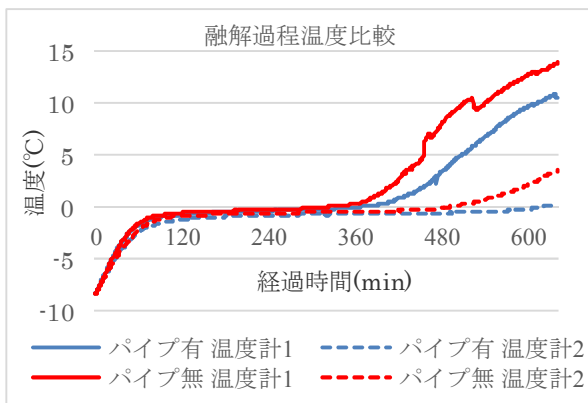


図4 融解過程のグラフ

3. 温度分布の検証

3.1 実験目的

解析で使用する温度条件を決定するための実験を行う。解析の精度をより高めるため、温度計の設置位置など、前回の実験と一部内容を変更した。

3.2 実験方法

アクリル容器にガラスビーズを高さ12cmまで詰め、以下の位置に長さ約20cm、高さ約8cmで中空空洞のパイプを埋める。前述の実験と同様に塩化ビニル製のパイプを用いる。試料を飽和させ、温度計を試料に3箇所、

パイプ内に2箇所設置し、試料の温度変化を測定する。パイプ内部が冷気で保たれていることを確認するため、パイプ内にも温度計を設置する。また、解析の精度をより高めるため、温度計の設置箇所を増やす。新しい設置位置は以下の図5のようにし、温度計の先端がパイプの中心と同じ深さとなるようにする。パイプからの影響を直接みるため、3つの温度計はパイプとの距離のみを変え、他の条件は全て一致するような位置を選んだ。上部にラップ、その上に断熱材を乗せて、-10度の冷凍室で凍結させる。凍結完了後、パイプに栓をして冷凍室から取り出す。熱循環器に設置し、試料上部に約60度の温風を流して融解させる。

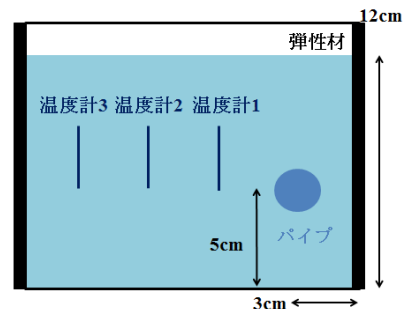


図5 温度計の設置位置の考案(平面図)

3.3 数値解析

上記の実験では、温度計を設置した試料の一部の温度を測定することはできるが、試料全体の温度変化を知ることができない。実験から得た温度をもとに、有限要素法を用いた二次元の熱伝導解析を行い、試料全体の温度を求める。解析結果から、パイプの最適な設置間隔や、太さなどを考察する。

以下の図6に解析モデルを示す。初期条件として、上辺に20度、下辺に5度、パイプ内に-10度を与えた。

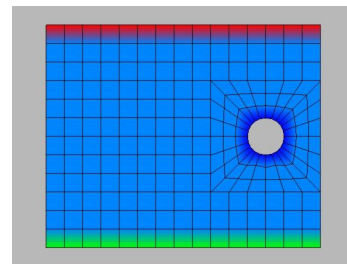


図6 解析モデル

4. まとめ

以上の実験より、ベンチレーションの性能を確認することが出来た。現在、温度分布の検証を行っており、実験と解析の両面からベンチレーションをより効果的に用いる方法を提案する予定である。

参考文献

- 1) 福田正己：「温暖化ガスにかかわる永久凍土攪乱の抑制技術」2003
- 2) 工藤史登：「凍結融解に起因する地盤・構造物の連成挙動に関する研究」pp.114, 2016