

## 凍土の凍結と融解に及ぼすベンチレーションパイプの性能評価について

北海道大学大学院工学院 学生員 ○岩崎千明(Chiaki Iwasaki)  
 北海道大学大学院工学院 非会員 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、エネルギー需要の増加により、寒冷地の開発が注目されているが、寒冷地開発により周辺環境が変化し、凍土の融解を招いてしまうことが問題になっている。寒冷地開発による凍土融解の問題の1つに盛土があげられる。凍土の上に盛土をする際、活動層の表面に植生している、断熱効果をもつモス層を取り除くため、凍土の融解を促進させてしまう。凍土は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。以上の点から早急な対処が必要とされている。

盛土による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、空気は水よりも熱伝導率が低いことを利用した換気機能を持つ装置のことである。また、凍土地帯に盛土をする際、盛土内に埋設するパイプのことをベンチレーションパイプという。冬季にはパイプの栓を開け、冷気を通して凍結を促進させる。夏季にはパイプの栓を閉じ、空気を閉じ込め断熱することで融解を抑制させる。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、有効的利用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

実際のベンチレーションを想定した実験を行い、ベンチレーションパイプの性能と効果を検証する。

## 2.2 実験方法

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)。またパイプには、実際のベ

ンチレーションパイプと同様に、塩化ビニル製のものを使用した。

アクリル容器に試料を詰める。以下の図2の位置に中が空洞のU字型パイプを埋め、試料が高さ12cmとなるようにする。試料を飽和させ、温度計を2箇所を設置して、-10度の冷凍室で凍結させる。凍結完了後、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、熱循環装置に設置して、試料上部に約60度の温風を流して融解させる。

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。

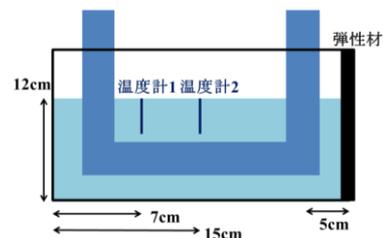


図2 温度計の設置位置1

## 2.3 実験結果と考察

パイプ埋設時をケース1、試料のみをケース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。

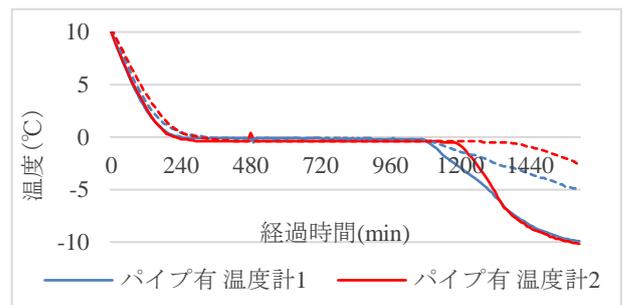


図3 凍結過程の温度比較

## (1) 凍結過程

上の図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。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。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。

以上の点から、パイプを埋設することで、試料の凍結を促進させることができたと考えられる。

Keywords : ventilation, freezing, thawing, permafrost, embankment

連絡先 : 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学院構造システム研究室 TEL 011-706-6177

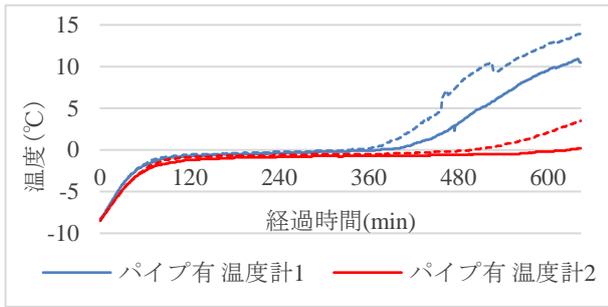


図 4 融解過程の温度変化比較

(2) 融解過程

上の図 4 より、ケース 1 はケース 2 よりも、温度計 1, 2 とともに融解が遅くなっていることが分かる。パイプによる断熱効果によって、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、実験装置の中心部に設置した温度計 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。

3. 温度分布の検証実験

3.1 実験目的

パイプ断面を含む面での温度分布を調べるため、また、解析で使用する温度条件を決定するための実験を行う。

3.2 実験方法

凍結・融解過程ともに、ベンチレーションの性能実験と同様の方法で行うが、パイプと温度計の設置位置を変更する。今回の実験ではパイプ内の温度も測定し、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。新しい設置位置と解析モデルを以下の図 5 に示す。

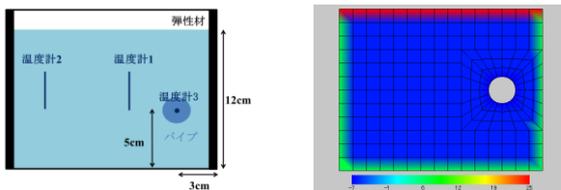


図 5 温度計の設置位置と解析モデル

3.3 実験結果

以下の図 6 のようなグラフが得られた。

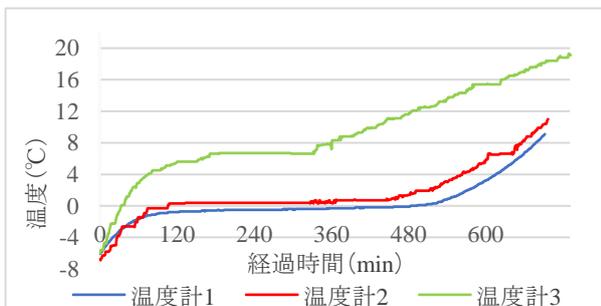


図 6 融解過程の温度

実験で得られた温度条件をもとに数値解析を行う。

[ここを入力]

4. 数値解析

4.1 解析概要

温度分布の検証実験得られた実験結果と数値解析を合わせることで、実験結果の妥当性を検討する。

解析には、有限要素法を用いた二次元の熱伝導解析を使用する。要素は 1cm の正方形と、パイプを想定した円周辺は台形である。上辺を 25 度、その他の辺を 7 度、パイプ内は実験から得た温度変化を用いた。また、円周辺の要素には、塩化ビニルの物性値を用いた。以下の表 1 に用いた物性値を示す。

表 1 物性値

物質	試料	パイプ
密度[g/cm <sup>3</sup> ]	1.8	1.4
比熱[cal/(g・K)]	0.2	0.24
熱伝導率[cal/(s・cm・K)]	0.0036	0.00036
潜熱[cal/g]	80	0
含水率	0.4	0

4.2 解析結果

温度分布の検証実験から得られた結果と解析結果を比較すると、以下のようなグラフが得られた。

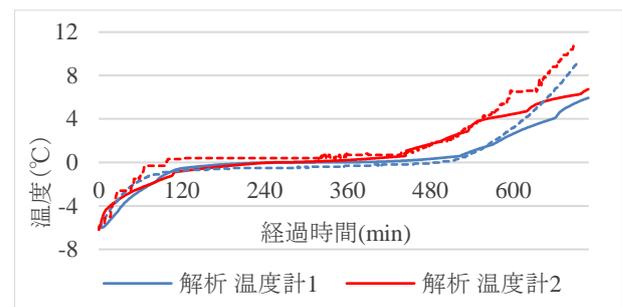


図 7 実験と解析結果の比較

潜熱領域の温度変化は一致していないが、潜熱領域を突破するタイミングは一致する結果となった。解析では、比熱以外の水と氷の物性値の違いを考慮できず、潜熱領域では水と氷が混在しているため、物性値が一定ではないことが原因であると考えられる。しかし、融解のタイミングから、結果は概ね妥当であると考えられる。

5. まとめと今後の展望

ベンチレーションの性能を実験と解析の両面から確認することが出来た。今後は、実際のベンチレーションパイプの規模の解析モデルを作成するなどして、パイプの太さによる影響の違いや、パイプの設置間隔などについて検討したいと考える。

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) Japan Consortium for Arctic Environmental Research：北極環境研究の長期構想 5章テーマ7「北極環境変化の破壊への影響」2014.9