ヒートパイプを用いた融雪システムの検討

Investigation of Snow Melting System using Heat Pipe

○中野 哲成 (福井大・院学), 正 永井 二郎 (福井大・工), 正 竹内 正紀 (福井大・名誉教授)
前川 義孝 ((株)ホクコン), 芹川 剛 ((株)ホクコン)

Norimasa NAKANO¹, Niro NAGA², Masanori TAKEUCHI³, Yoshitaka MAEKAWA⁴, Tsuyoshi SERIKAWA⁴

¹Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8057, Japan

²Department of Mechanical Engineering, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8057, Japan

³Professor Emeritus, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8057, Japan

⁴Hokukon Co., Ltd, 66-20-2 Imaiti, Fukui 918-8152, Japan

Key Words: Heat pipe, Fire water tank, Underground heat source, Numerical simulation

1. 緒言

冬季、降雪地域の火災現場において、積雪により防火水槽（以下、水槽とする）の吸管投入孔の位置が特定できないため、迅速に消火活動が行えない状況が生じる場合がある。また、特定できても、人孔鉄蓋の凍結によって活動に支障をきたす恐れがある。

この問題を解決するため、筆者らは地中熱の影響を受けている浅層に設置された地下式の水槽内部の水を熱源とし、ヒートパイプを用いて吸管投入孔周辺の融雪を行うシステム（以下、防火水槽融雪パネルシステムとする）を提案する。従来のヒートパイプを用いた融雪や凍結防止の方法には、熱源として深層地中熱の直接利用や温泉廃湯、生活排水等を利用するものがあり、その熱を用いて道路あるいは歩道、駐車場等の路面の融雪を行っている。本システムは、道路などの広い範囲とは違い、吸管投入孔周辺の 1m^2 程の小さい範囲の融雪を行う。浅層に設置された水槽は気温の影響を受けやすいが、熱源として利用する水槽内の水は地中の土より熱容量が大きく、循環して温度を一定に保つため、熱輸送による熱源の温度低下が起きにくくなっている。本システムによりランニングコストは不要となり、クリーンな自然エネルギーの利用で吸管投入孔の位置を特定できる他に、人孔鉄蓋の凍結防止効果も期待できる。

本報告では、実験結果から本システムの性能を確認するとともに、システムの構成と気象データのみを用いたシミュレーションによる性能予測の有用性を確かめる。

2. 実験装置及びシミュレーション方法

実験装置概略図を Fig.1 に示す。本実験では、地表面から深さ 800mm に設置されている防火水槽（ホクコン製 内空 $W6800\text{mm} \times D3000\text{mm} \times H2000\text{mm}$ 壁厚 200mm 容量約 40m^3 ）の吸管投入孔直上の地表面に、角度をつけたヒートパイプ（長さ 5m、外径 26mm、内径 25mm）を 2 本埋め込んだ融雪パネルを設置する。パネルの側面から出ているヒートパイプを水槽内へ頂版開口部より挿入し、水槽底面まで垂らしたものを実物大フィールド実験装置とする。ヒートパイプは、放熱部（融雪パネル内）と吸熱部（水槽内）の温度差によって水槽内の水から融雪パネル内へ熱輸送を行い、融雪を行う。融雪パネルの大きさは $W1000\text{mm} \times D1000\text{mm} \times H200\text{mm}$ となっており、中央には鉄蓋（内径 600mm）が設置されている。融雪パネルや水槽に使用されているコンクリートの骨材には、通常のコンクリートに比べて熱伝導率の高い珪石を用いているため、ヒートパイプからの熱が融雪パネルに伝わりやすくなっており、より融雪に有効なシステムと

なっている。

ヒートパイプの表面温度測定として放熱部に 5 点、断熱部に 2 点、吸熱部に 5 点、融雪パネルに 5 点、水槽内水温に 10 点、水槽内壁温度に 10 点、水槽外壁温度に 2 点、外気温度測定に 2 点の T 型熱電対を設置した。さらにヒートパイプの表面には放熱部に 3 点、吸熱部に 3 点の熱流束センサーを設置し、熱流束を測定した。

シミュレーションは、融雪パネル、鉄蓋、吸管投入調整用部材、土壌、水槽などを連動させて計算している。融雪パネルや土壌の表面では、太陽日射、熱放射、大気との熱伝達、降雨や降雪および内部からの熱伝導を考慮した 3 次元非定常の熱伝導計算を行った。非定常計算に際して、各コンクリートの内部や土壌内の熱伝導温度計算を連動して計算をした。ヒートパイプの熱輸送能力は、ヒートパイプ放熱部と吸熱部の温度差により変化するものと仮定した。融雪パネル部と水槽部は別々に計算を行い、境界面で温度補正を行う方法を用いた。

計算では、積雪層にも積雪深さ方向のみに格子分割を行い、積雪は融点温度以上になることは無いとの制限を付けて積雪深さ方向の熱伝導を考慮した非定常温度変化と融解量の計算を行った。積雪が融解したことによる水は直ちに排除され、その分だけ残雪量が減少していくとしているので、積雪の表面から日射などで融解した水が積雪に浸透して再び凍結する現象は考慮されていない。

入力に用いる気象データは、福井地方気象台の観測データを計算用に変換したものを用いた。データ内には気温、雨量、風速、日射量などが含まれている。それらを基に計算を行う事により、土壌や融雪パネル、水槽、水槽内水温等の温度分布や各場所の残雪深などの計算結果を得ることが出来る。

Fig.1 Outline of experimental system

3. 実験結果とシミュレーション結果及び考察

降雪時の実験結果として、Fig.2 に 2006 年 12 月 29 日の融雪パネル面における融雪状況を示す。この期間の自然積雪は約 10cm となっており、融雪には時間が掛かるものの、パネル上では完全に融雪されたことがわかる。鉄蓋周辺が一番融けやすく、次いでヒートパイプ直上となっており、以降周辺から徐々に雪が融け始め、パネル面や鉄蓋中央へと融雪が行われていく状況が観測された。

Fig.3 に、Fig.2 と同時刻の融雪状況（残雪深）のシミュレーション結果を示す。ヒートパイプの熱輸送量を、放熱部と吸熱部の温度差が 5℃ の時 3W/m として計算を行った。実験と比較を行った結果、シミュレーションにおいても実験と同様な現象が確認された。

冬季の融雪パネル表面温度として、Fig.4 に 2006 年 12 月 1 日から 12 月 31 日までの期間についての実験値とシミュレーション値の比較を示す。ヒートパイプの熱輸送量を 3W/m

Fig.2 Snow-melting situation (exp)

Fig.3 Snow-melting situation (calc)

Fig.4 Snow-melting panel surface temperature

として計算を行った。表面温度は外気温が 0℃ を下回った時でも、ヒートパイプからの熱輸送の影響を受けているため 5℃ 以上に保たれている。また、2006 年 12 月 29 日の降雪によって急激に温度低下が生じるが、積雪時でも 1℃ 以上に保たれており、融雪が可能なことがわかる。シミュレーション値より実験値の方が変動の幅が少ないが、実験値はパネル表面から深さ 1cm の所にあるセンサーの値を参照しており、日射や外気温からの影響を多少受けにくくなっているためと考えられる。

水槽内の平均水温の実験値とシミュレーション値を Fig.5 に 2006 年 5 月 16 日から 12 月 31 日までの期間について示す。水槽への給水は、2006 年 5 月 15 日に行った。夏季の水温は地表面の温度が高く、地中内は深くなるにつれて低くなるため鉛直方向に温度差がみられた。冬季になるにつれ、地中内の温度が逆転するため徐々に温度差は少なくなり、自然対流によりほぼ一定となった。冬季のヒートパイプによる熱輸送時は、ヒートパイプ吸熱部周りの水温が多少低下するものの、水槽内の水の量が多いため、水温には大きな影響を与えることはない。

以上の事から、実験値と計算値はほぼ一致しており、本シミュレーションソフトで融雪状況の予測が可能であることが確認された。シミュレーションの有用性が示されたので、ヒートパイプの熱輸送能力の違いによる融雪状況の比較を行った。ヒートパイプの能力を 3、5、10W/m として、2004 年 1 月 21 日から 1 月 27 日までの期間のシミュレーション結果を Fig.6 に示す。この期間の自然積雪は 40cm 超えているが、熱輸送能力が 3W/m あればパネル面積 1m² において充分対応できることがわかった。

今後、実験にて更に降雪量の多い場合の融雪能力の確認、シミュレーションとの比較、検討を行いたいと考えている。

Fig.5 Water temperature of tank (average)

Fig.6 Average remaining snow depth (snow panel)