

地中熱を利用した融雪実験

能登 勇二

(工学部環境工学科)

環境負荷の小さい方法による冬季の生活環境改善を目的に、2010年12月～2011年2月に深さ1～2mの地下貯水槽の水を地表近くの砂地層中に埋めたパイプ内を循環することによる融雪実験を行った。循環水の水温は、2月はじめに4℃まで低下したが、地中管循環水による融雪は可能であった。日降雪量が10cm以下ならば、当日に全量融解した。日降雪量が10cm～15cm以上になると、降雪は積雪として残るが、2～3日で全量融解した。

キーワード：融雪、地下熱、地下貯水槽、循環水

1. はじめに

我が国では、日本海側を中心に冬季の積雪地帯が広く分布している。これらの地域では、1980年代後半以降降雪量が減少し、そのような傾向が継続している状況が見られるが、一定の降・積雪、時には多雪の年もあり、地域住民にとって生活の障害となっているということに大きな変化はない。また、我が国では長い高齢化社会を迎えようとしている中、地球温暖化、ヒートアイランドなどにより我々の生活環境が悪化しつつあり、その対策が望まれている。地球環境保全に対する関心が高まり、省エネルギーが重要視されており、生活環境改善の対策は環境に対する負荷の少ない方法による必要がある。その一つの方策として、自然エネルギー、特に地中熱の利用を考え、微気象緩和実験を行っている¹⁾。ここでは、対象としている微気象は地上付近の我々の生活空間を想定している。具体的には、我々の生活空間の中の一一般家庭の庭程度から、公園、小・中学校等のグラウンドの砂地表面を主とする土地の上部空間などの気象を対象として考えている。微気象の緩和については、夏はより涼しく、冬はより暖かくという観点から、冬季については融雪も含めて微気象緩和実験を行っている。

地中熱は深さ15m程度になると安定するがこれを取り出すにはかなりの労力とエネルギーが必要であることから、ここでは、深さ1～2m程度の地下熱を利用することを考えている。この熱を地下貯水槽の水を利用し地上にパイプでくみ上げ、水も循環利用するものである。地下1mの地温は、季節とともに変化するが、夏は地上付近気温より低く、冬は地上付近気温より高い。

また、地下貯水槽の水温は冬季でも月平均で5℃以上であり、このままで散水して消雪に用いるには不適當であるが時間をかけて融雪に用いることが可能である。

本報告では、2010～2011年冬季の融雪に関する実験によって若干の知見が得られたので報告する。

3 実験方法

富山県立大学構内に図1に示すような実験施設を実験A地とB地として設置した。A地とB地ともに、草地を掘り込み厚さ10cmで砂を敷き詰めた。A地には、内径13mm、総延長40mのステンレスパイプを深さ5cmの位置に幅2m×2m、間隔10cmで設置した。この地中管の一端から地下貯水槽からポンプ揚水した水を流入させ、他の一端から地下貯水槽にもどし、水を循環使用することとした。地下貯水槽は底面深さが地上から1.5m、広さは4×4×1mであるが、水深は60cm前後である。ここから、30mを超える長さのホースを使いポンプ揚水し、循環使用した。

実験は地下貯水槽から常時ポンプで水をA地の地中管内を循環させる一方、流水の循環のないB地を比較地とした。流量については、今回の実験では、ポンプの流量調整目盛りにより流量調整したが正確に調整するのは難しく、2011年1月後半以降調整目盛りを一定にして水を循環した。その結果として、流量は15 ml/s でほぼ一定させることにした。

図1に示すようにA地とB地の積雪深、気温、地温、またA地に関連して地中管循環水の流入水水温、流出水水温、地下貯水槽水温について観測した。気温は、A地とB地とも実験地中央で地表面から高さ30cm、60cm、100cmで測定し、これらの点を以下ではA地とB地それぞれTA1、TB1、TA2、TB2、TA3、TB3とした。地温はA地とB地の図1に示す深さ5cmの位置それぞれGA1、GA2、GB1、GB2で測定した。また、地中管の流入水水温と流出水水温はそれぞれ管の流入口と流出口で測定した。これらの測定に用いた観測機器は、既報¹⁾に示す通りである。

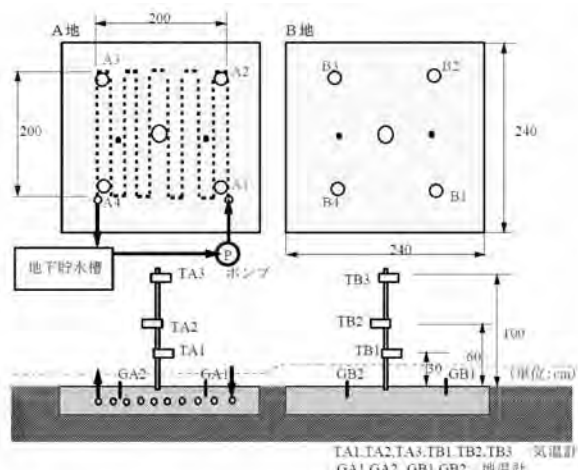


図1 実験施設の概要

積雪深は金尺を用い0.5cm単位でA地とB地の四隅それぞれA1点からA4点、B1点からB4点で、定期的に測定した。また、積雪密度は積雪層からナイフで5×5×10cmを切り取りを測定した。

また、この施設は地下貯水槽は既存の実験室の下に設けられたものを使ったこと、ポンプ電源の必要性などから大学構内にあり、周囲に建物があり、日中は一部で日射が遮られる時間帯が生ずる。

4. 実験結果

実験は、現在も継続中であるが、ここでは2010年12月24日から2011年2月28日までの実験結果について述べる。この冬の富山市の降雪量と最深積雪深経日変化は、図2のようになっていた²⁾。降雪は12月から1月にかけて断続的に続き、積雪がとぎれることなく維持され、いわゆる根雪となっていた。その状況は実験地でも同様であった。

(1) 積雪深の時間変化

A地とB地における平均積雪深の2010年12月24日から2011年2月28日までの変化を図3に示した。A地とB地における最深平均積雪深は観測の範囲でそれぞれ25cm、65cmとなり、A地では30cmを超えることはなかった。A地では、2月に入り降雪の減少とともに、速やかに積雪がなくなっていることがわかる。

A地のA1点からA4点の積雪の経時変化を図4である。流入水の地中管へ流入地点に近いA1点、A2点では全期間を通してほぼ積雪がないことがわかる。A1点、A2点では、1月の日降雪量が15cm以上になるような日には積雪も生じているが、融雪が速やかに進み1日以内に積雪がなくな

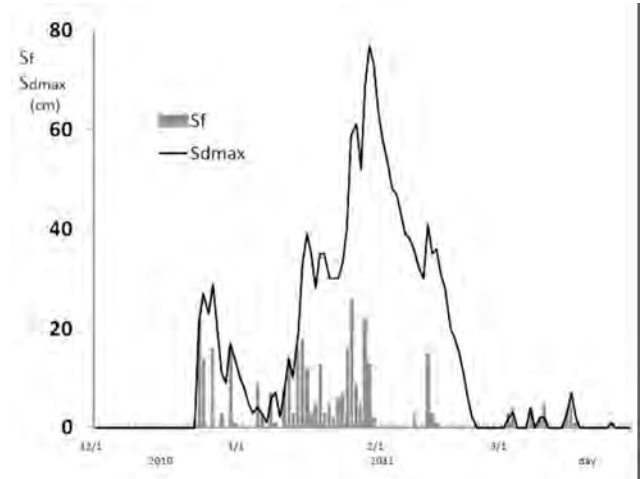


図2 富山市の日降雪量、日最深積雪深の経日変化
Sf:日降雪量, Sdmax:日最深積雪深

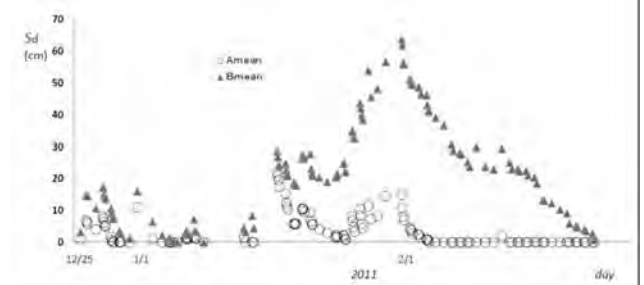


図3 A地とB地の積雪深の経時変化

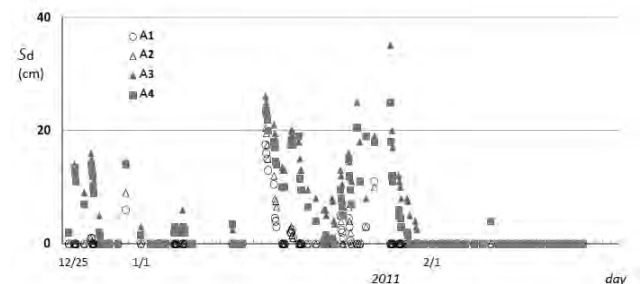
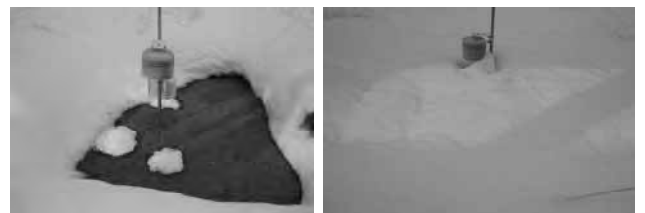


図4 A地のA1～A4観測点の積雪深の変化



(a) A地:2月2日15時

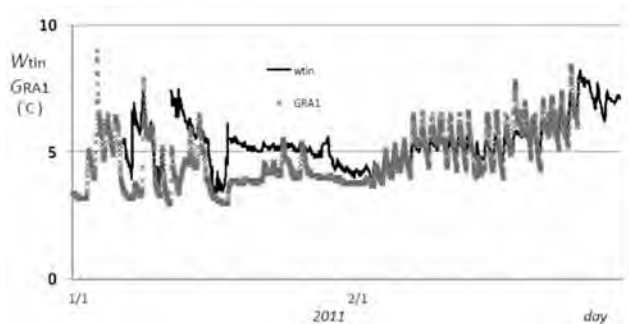
(b) B地:2月2日15時



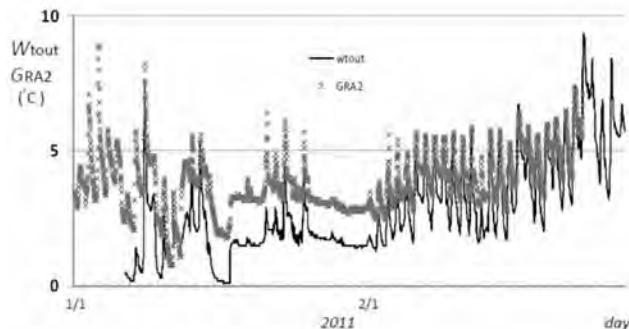
(c) A地:2月5日12時

(d) B地:2月5日12時

図5 A地とB地における積雪状況（手前が循環水流入点側）



(a) 流入水の水温 W_{tin} 、地温 $GRA1$



(b) 流出水の水温 W_{tout} 、地温 $GRA2$

図6 地中管循環水の水温、A地の地温の経日変化

っている。一方、A3 点、A4 点では、B地に比し小さいものの1月の降雪最盛期には積雪が継続され、2月に入り降雪の減少とともに速やかに積雪は消滅している。図5(a)、(b)は、2月2日15時のそれぞれA地とB地の積雪状態である。A地の積雪がB地に比し明らかに少なく、融雪が進んでいるのがみられる。またA地では、A1 点、A2 点側ではすでに積雪がなくなっている。その一方、A3 点、A4 点側にかけて積雪深が増加している。これは、地中管への流入水が管内を流下するとともに冷え、融雪能力が下流側ほど低くなっていることによる。2月5日12時には、図5(c)、(d)のようにA地では積雪がなくなり、B地ではまだ全面40cmの積雪深となっている。

(2) 地中管流水による融雪

図6(a)、図6(b)にはそれぞれ地中管流入水温、A1点地温 $GRA1$ 、地中管流出水温、A2点側の地温 $GRA2$ の経時変化を示した。雪が断続的に降った12月下旬から1月中旬までは地中管水温、地温とも日変化を伴いながら、ゆるやかに低下している。その後、1月下旬の降雪、融雪最盛期には、地中管流入水温、地中管流出水温ともに低下し、日変化は小さくなっている。この期間の流出入水温差は2～4℃で、流入水温も4℃まで低下し、流出水温は2℃以下となった。融雪が終了し、降雪が少なくなった2月初旬後半以降、地中管水温、地温は気温、日射の影響を受け明確な日変化を示している。2月後半には、流出入水温差は逆転し、流出水温の方が高くなる日も表れている。

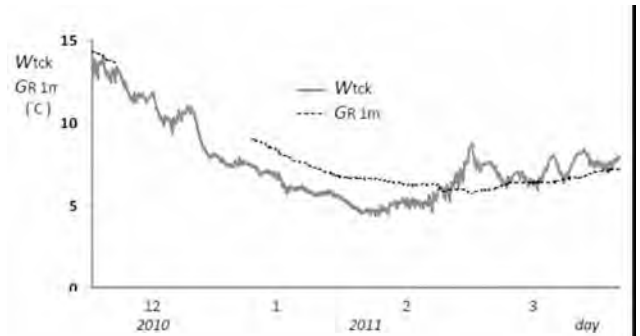


図7 地下貯水槽水温 W_{tck} 、地下1m点 $GR1m$ の温度の経日変化

($GR1m$ は1部欠測がある)

また、地中管循環水の地下貯水槽の水温は図7のような経時変化を示していた。この図には2010年12月から2011年3月までの富山県立大学構内の地下1m点の地温変化もともに表示してある。12月初めに14℃あった水温は、循環により徐々に低下し、さらに地表での融雪等で2月初旬前半に最も低下し4.2℃となっている。その後、今度は逆に地表で暖められる日が多くなり、徐々に水温は上昇し2月下旬前半には地下1m点の地温より高くなっている。

融雪には、雪温を0℃にするまでの熱量、0℃の雪を融解する熱量、融解した水を周囲（地面付近）の温度まで上げる熱量などが必要である。したがって、融雪には、これらの必要な熱量が供給される必要がある。A地とB地を比較すると積雪表面での融雪量はほぼ等しいと考えられるので、積雪下部の地表面での融雪量の違いにより、両者の積雪深の経時的变化の違いが生じていることは明らかであり、地中管からの供給熱量による融雪について検討する。

A地において、温度 θ (°C) ($\theta \leq 0$)、密度 ρ_s の新雪を融かすのに必要な熱量 Q_s は

$$Q_s = \rho_s A_o h (J_s + C \theta) \quad (1)$$

ここで、 A_o : 積雪面積

h : 積雪深

J_s : 雪の融解潜熱 (335 J・g⁻¹)

C : 雪の比熱 (2.1 J・g⁻¹・°C⁻¹)

となる。一方、地中管から時間 T の間にA地に供給される熱量は、

$$Q_w = q_w C_w \Delta t T \quad (2)$$

ここで、 q_w : 地中管流入水流量

C_w : 水の比熱 (4.2 J・g⁻¹・°C⁻¹)

Δt : 地中管流出入水温差 = $W_{tin} - W_{tout}$

W_{tin} : 地中管流入水水温 (> W_{tout})

W_{tout} : 地中管流出水水温 (≥ 0 °C)

である。

ここでは、簡単に式(1)、式(2)により0℃の降雪について、A地における融雪熱量と地中管循環水による供給熱量の関係について検討してみる。図8は、単位時間あたりの

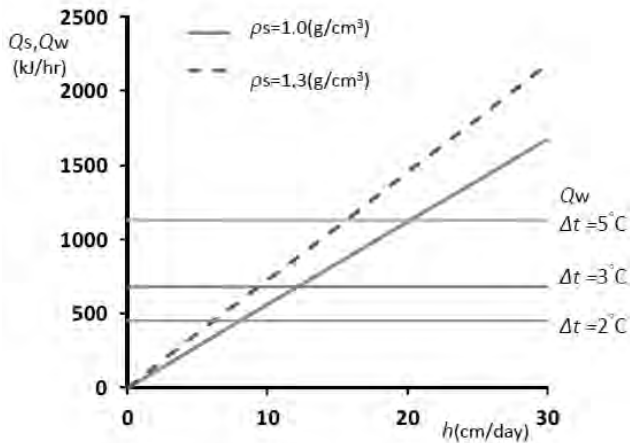


図 8 日降雪深の融雪に必要な熱量 Q_s と循環水供給熱量 Q_w
日降雪深に対する融雪に必要な熱量 Q_s と地中管循環水による供給熱量 Q_w の関係を表したものである。循環水流量は 15 mL/s とした。 Q_s については新雪密度 ρ_s が 0.10 (g/cm³) と 0.13 (g/cm³) の場合を、 Q_w については地中管流出入水温差 Δt が 2°C、3°C と 5°C の場合について示してある。 ρ_s が 0.10 (g/cm³) の場合、 Δt が 2°C の Q_w と日積雪深が 8cm の Q_s 、 Δt が 3°C の Q_w と日積雪深が 12 cm の Q_s 、 Δt が 5°C の Q_w と日積雪深が 20 cm の Q_s がほぼ等しくなっている。これらそれぞれの日積雪深は各 Δt の地中管循環水の供給熱量が融雪に全量用いられたとした場合の最大の日積雪量を表す。新雪密度 ρ_s が 0.13 (g/cm³) の場合は、融雪可能な最大の日積雪深は小さくなっている。

今回の実験では、1 月後半の降雪が継続した期間において日降雪量が 10～15cm を超えると A 地においても、積雪が累積されており、特に融雪が顕著な流入水付近 A1 点、A2 点では日降雪量が 15cm を超えると積雪が始まる。この時期の平均的な Δt は 3°C であること考えると、地中管循環水の供給熱量がかなり効率的に融雪に用いられて、その

結果、10cm 以下の日降雪量が速やかに融解していると考えられる。10cm 以上の日降雪量に対しては、A3 点、A4 点では積雪の上にさらに新雪が積もり、雪質も変化し、融雪までに時間を要している。今後、A 地全面において速やかに融雪がなされるような方策が必要である。

5. まとめ

2010 年 12 月から 2011 年 3 月に、深さ 1～2 m の浅い地下に位置する貯水槽の水を地表近くの砂地層に埋めたパイプ内を循環することによる融雪実験を行った。その結果は以下のようなものとなった。

- 1) 地下貯水槽の水温は 2 月初めに 4.2°C まで低下したが、地中管循環水による融雪は可能であった。
- 2) 日降雪量が 10cm までは、速やかに融雪が進み当日に全量が融解した。これは、地中管流出入水温差 Δt が 3°C の供給熱量から推定される融雪可能量とほぼ一致していた。
- 3) 日降雪量が 10～15cm を超えると A 地においても、積雪として残るが、2～3 日で全量融解した。

参考文献

- 1) 能登勇二 (2011) : 微気象緩和に関する実験的研究、富山県立大学紀要、第 20 巻、pp. 51-55
- 2) 気象庁 (2011) : 気象観測データ
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 3) 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会 (2000) : 路面消・融雪施設等設計要領、建設省北陸地方建設局道路部監修

A Experimental Research for Snowmelt Using Underground Heat

Yuji NOTO

Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering

A Experimental research for snowmelt using underground heat in the pipe water-flow buried under the ground surface was done. It was done from December 2010 to February 2011. Although the temperature of circulating water fell to 4 °C at the beginning of February, to melt snow by it was possible. When snowfall became 10 cm or less, the whole quantity was melted at a day. If the depth of snowfall become to 10 cm or more, it remained unmelted partly, but the whole quantity was melted in 2 or 3 days.

keywords : melting snow, underground heat, underground water-storage tank, water circulation