

令和 2 年度

第 建 一 建 号

堆雪場融雪実証・調査業務委託

報 告 書

令和 3 年 3 月

株式会社 興和

〈目次〉

1.	業務概要	1
1.1.	業務目的	1
1.2.	業務概要	1
1.3.	業務位置図	2
2.	業務フロー	3
3.	施設概要	5
3.1.	設置施設概要	5
4.	観測概要	8
4.1.	測定項目仕様一覧	8
4.2.	西面側地中温度測定欠測について	10
5.	観測結果	11
5.1.	気象条件整理	11
5.2.	地中温度観測結果整理	12
5.3.	融雪能力解析	13
5.4.	堆雪状況観測	16
5.5.	サーモグラフによる路面温度観測	23
5.6.	堆雪の空洞化調査	25
6.	ヒートパイプ導入による経済効果	26
6.1.	融雪量と排雪回数の比較	26
6.2.	堆雪場融雪日数と自然融雪日数の比較	28
7.	将来可能性の検討について	29
8.	地域への波及	30
9.	まとめ	31

〈添付資料〉

地中温度観測結果(グラフ)

観測記録データ 地中温度・堆雪場観測記録(電子データ)

1. 業務概要

1.1. 業務目的

本業務は、上越市ガス水道局新築庁舎敷地に施工したヒートパイプ方式による堆雪場融雪実証実験の効果を検証するために、地中温度の観測、サーモグラフによる表面温観測、定点カメラによる融雪状況の観測を実施するとともに、観測結果に基づき、堆雪場融雪波及の将来性を合わせて検証した。

1.2. 業務概要

業務名：第建-建号 堆雪場融雪実証・調査業務委託

履行場所：新潟県上越市春日山町 3 丁目 1 番 63 号

履行期間：自) 令和 2 年 8 月 20 日

至) 令和 3 年 3 月 17 日

- 業務内容：
- (1) 地中温度の観測
 - (2) サーモグラフィによる表面温度観測
 - (3) 定点カメラによる融雪状況観測
 - (4) 実証実験の経済性及び将来可能性の検証
 - (5) 報告書作成

発注者：上越市ガス水道局

受託者：株式会社 興和 上越支店

〒943-0171 上越市大字藤野新田字大割 371

Tel:025-544-5281 FAX:025-544-5433

1.3. 業務位置図



図 1-1 調査位置図（国土地理院「地理院地図」）

2. 業務フロー

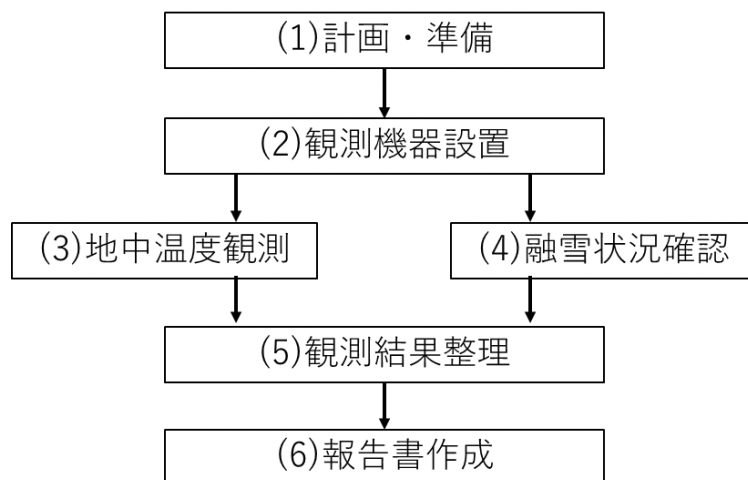


図 2-1 業務フロー図

(1) 計画・準備

業務実施手順や方法等の全体の計画を検討した。

(2) 観測機器設置

ア) 地中温度観測機器の設置

- ① 地中温度測定のため、ヒートパイプ敷設時に以下の測点に熱電対を設置した。

観測点：地中 5m、10m、15m、18m、気温

観測箇所：西面・東面各 1 箇所

- ② 熱電対からのデータを回収・記録するためにデータロガーを設置した。

イ) 定点カメラの設置

施工完了～観測開始までの期間に、以下の 4 パターンを観測できるよう定点観測カメラを設置した。

- パターン①「通常の敷設幅でヒートパイプを敷設した堆雪場」
- パターン②「通常の 1.5 倍の敷設幅でヒートパイプを敷設した堆雪場」
- パターン③「中心部分は通常の 1.5 倍、それ以外は通常の敷設幅でヒートパイプを敷設した堆雪場」
- パターン④「ヒートパイプを敷設していない堆雪場」

(3) 地中温度観測

設置した観測機器にて、観測期間中の地中温度を観測した。

○観測期間：令和 2 年 12 月 1 日～令和 3 年 2 月 28 日まで

○観測間隔：10 分毎

(4) 融雪状況確認

ア) 定点カメラによる自動観測

設置した定点カメラにより、観測期間中の融雪状況を観測した。

イ) サーモグラフィによる表面温度観測

降雪時に適宜、サーモグラフィによる路面温度の観測を行った。

(5) 観測結果整理

観測結果を整理し、実証実験の経済性の検討と今後の観測方針の検討を行った。

(6) 報告書作成

上記事項を取りまとめ、報告書の作成を行った。

3. 施設概要

3.1. 設置施設概要

上越市ガス水道局庁舎新築に伴い、駐車場の堆雪場の融雪のために、地中熱ヒートパイプ方式の融雪施設を設置した。この融雪施設は経済的なヒートパイプの配置案を検証する実証試験であり、ヒートパイプを通常幅(200 mm)ピッチで敷設するユニットと 1.5 倍幅(300 mm)にて設置したユニットの 2 種類のパネルが存在する。表 3-1 に融雪施設の概要を、図 3-1 に融雪施設設置平面図、図 3-2 にヒートパイプ割付図、写真 3-1～写真 3-4 に施設の写真を示す。

表 3-1 融雪施設概要

エリア		西面	東面
対象面積		164 m ²	85 m ²
採熱井戸本数		72 本	31 本
ヒートパイプ本数(3 本/井戸 1 本毎)		216 本	93 本
ユニット数	据付ピッチ 200 mm	48 枚	15 枚
	据付ピッチ 300 mm	24 枚	16 枚

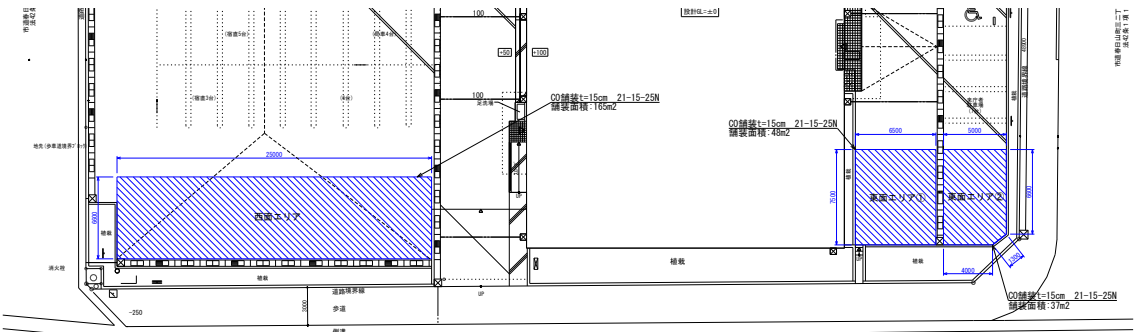


図 3-1 融雪施設配置平面図

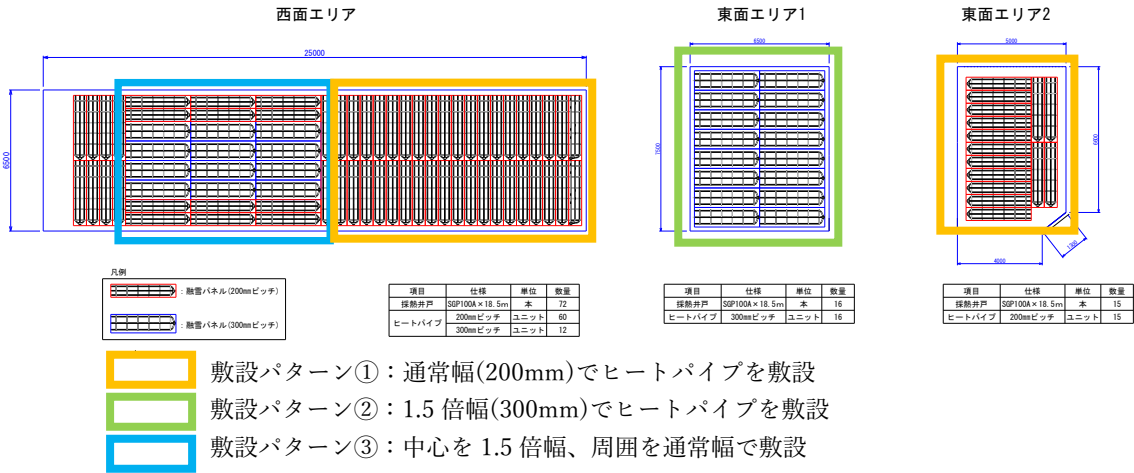


図 3-2 ヒートパイプ割付図



写真 3-1 ヒートパイプ敷設状況(西面)



写真 3-2 竣工(西面)



写真 3-3 ヒートパイプ敷設状況(東面)



写真 3-4 竣工(東面)

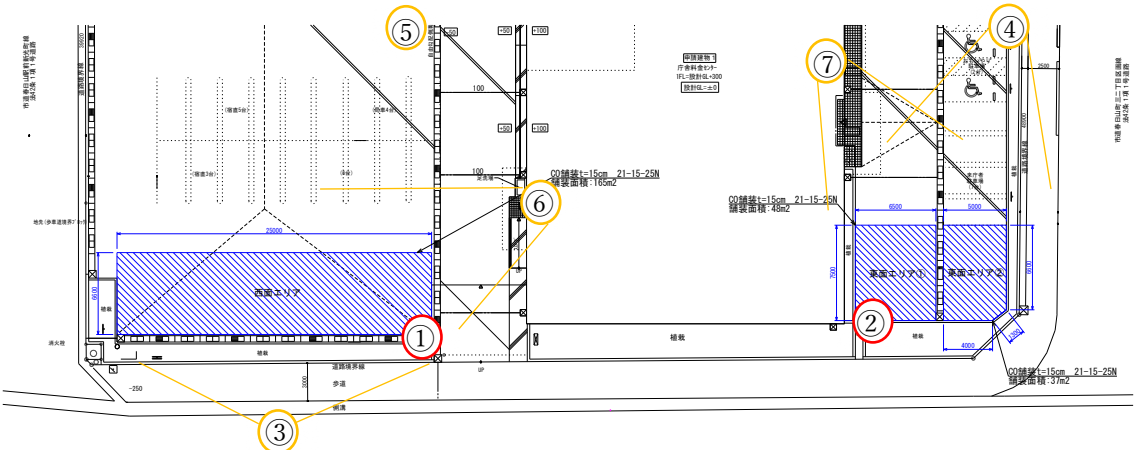
4. 観測概要

4.1. 測定項目仕様一覧

表 4-1 に示す項目の観測を行った。また、図 4-1 に機器の設置箇所、写真 4-1～写真 4-4 に機器の設置写真を示す。

表 4-1 観測概要

データ観測期間	令和 2 年 12 月 1 日～令和 3 年 2 月 28 日		
項目	観測箇所	方法	測定間隔
地中温度	地中 18m、15m 10m、5m、気温 放熱部温度	温度：熱電対 記録：データロガー (サーミック 2300 A)	10 分間隔
堆雪状況	西面・東面 謙信公会館	タイムラプスカメラ	1 時間間隔
路面温度	西面・東面	サーモグラフィー	降雪時



No.	観測項目	設置機器	備考
①	地中温度	データロガー	敷設ピッチ 200 mm
②	地中温度	データロガー	敷設ピッチ 300 mm
③	堆雪状況(西面)	タイムラプスカメラ	屋外
④	堆雪状況(東面)	タイムラプスカメラ	屋外
⑤	堆雪状況(春日謙信交流館)	タイムラプスカメラ	屋外
⑥	堆雪状況(西面)	タイムラプスカメラ	屋内 2月8日追加
⑦	堆雪状況(東面)	タイムラプスカメラ	屋内 2月8日追加

図 4-1 観測機器設置箇所



写真 4-1 データロガー設置状況(左：設置個所①、右：設置個所②)



写真 4-2 タイムラプスカメラ設置状況(左：設置個所③、右：設置個所④)

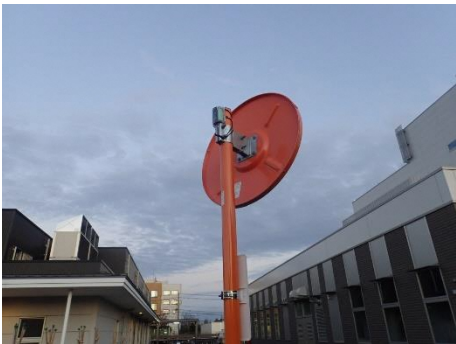


写真 4-3 タイムラプスカメラ設置状況(左：設置個所⑤、右：設置個所⑥)



写真 4-4 タイムラプスカメラ設置状況(設置個所⑦)

4.2. 西面側地中温度測定欠測について

令和3年1月20日、月に1回実施していた電池交換の際に、地中温度を測定している熱電対がデータロガー接続部から離脱していたため、調査した所、令和2年12月19日22時過ぎから1月20日11時までの西面側地中温度観測データ欠測していることが判明した。令和2年12月19日は、風速10m/sを超える強風が数時間続いており、風にあおられてセンサーが外れてしまったものと推察される。

堆雪のあった期間の西面側データが欠測していることから、本年度の検証については東面の地中温度観測結果を用いる。西面側については次年度以降、再度計測を行った上で検証を行うものとする。

また、このセンサー離脱に伴い、地中18m地点の温度を測定している熱電対が測定不能となった。設置箇所が地中であり、再設置・修繕が不可能であることから、今後の西面地中温度観測は、地中18mを除いたもので実施する。

5. 観測結果

5.1. 気象条件整理

表 5-1 に気象条件の整理結果を示す。なお気象データは、アメダス高田のデータを参照し、整理を行った。

今シーズンの降雪量は12月で61 cm、1月で340 cm、2月で178 cm、観測期間中合計で579 cmであった。1月8日は100 cmを超える降雪があり、1日で降った雪の量としては1986年1月以来の35年ぶりの大雪であった。

表 5-1 降雪量・気温整理結果(令和2年12月～令和3年2月)

	令和2年12月	令和3年1月	令和3年2月
降雪量	61 cm 日最大 20 cm (12月14日)	340 cm 日最大 103 cm (1月8日)	178 cm 日最大 66 cm (2月17日)
日平均気温	4.8℃	1.5℃	3.7℃
日平均最低気温	1.8℃	-1.4℃	-0.6℃
日平均最高気温	9.0℃	5.1℃	8.6℃

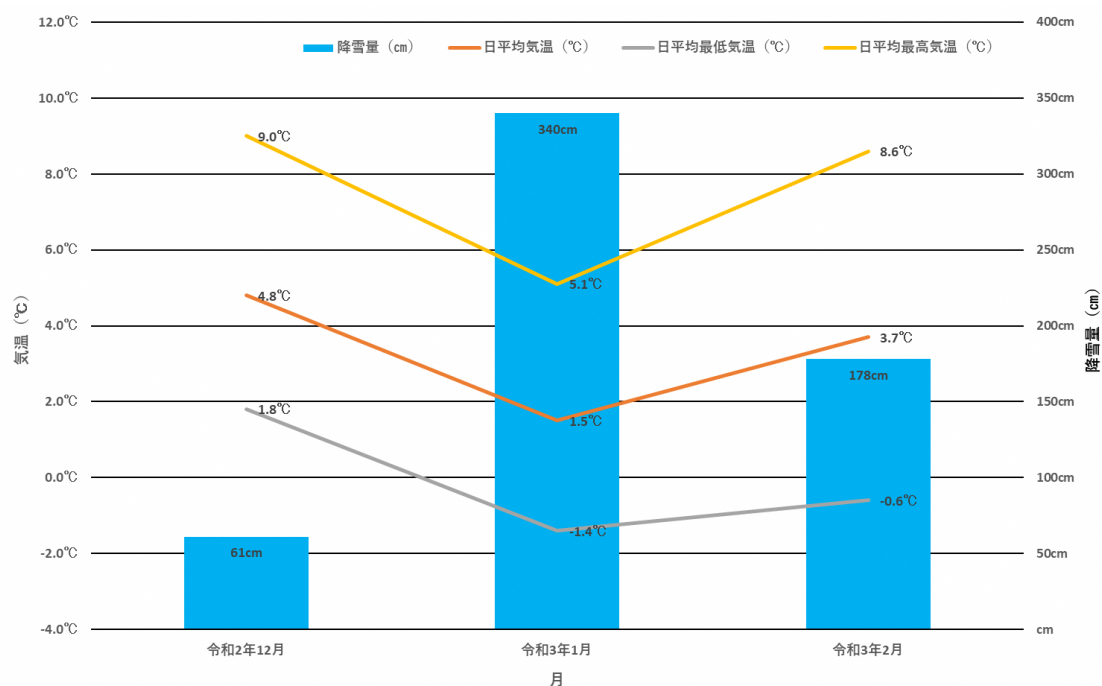


図 5-1 気象条件整理結果

5.2. 地中温度観測結果整理

図 5-2 に東面の地中温度観測結果を示す。地中温度、気温、放熱部温度は本業務観測記録を、時間降雪深、積雪深はアメダス高田のデータを参照した。

気温は最大 28.4℃、最低 -5.5℃、平均 4.1℃で推移していた。日中の最高気温は、日光の影響により、過大に観測されているものと推察される。

5～15mの地中温度はほぼ同じ温度を示し、6～15℃の範囲で推移していた。地中 18m地点は他の地点と比べて温度変動が小さく、9～15℃程度で変動していた。

採熱部の温度(地中 5～15m)は、降雪が始まる前の期間では気温と連動して 12～15℃で上下していた。一方で、堆雪がある状態では日変動はほとんど見られず緩やかに低下していた。12/15～12/23、12/30～1/25、2/18～2/23 の堆雪期間で、9℃から 7℃へ低下した。また、堆雪が無くなると地中温度は回復傾向となったが、観測期間中では、観測開始時の 15℃付近までは回復しなかった。

放熱部の温度は、採熱部の温度と同様に、堆雪時に低下しており、12/15～12/23、12/30～1/25、2/15～2/22 の堆雪期間では、それぞれ 7℃～6℃へ、6℃～5℃、5℃～4℃となっていた。

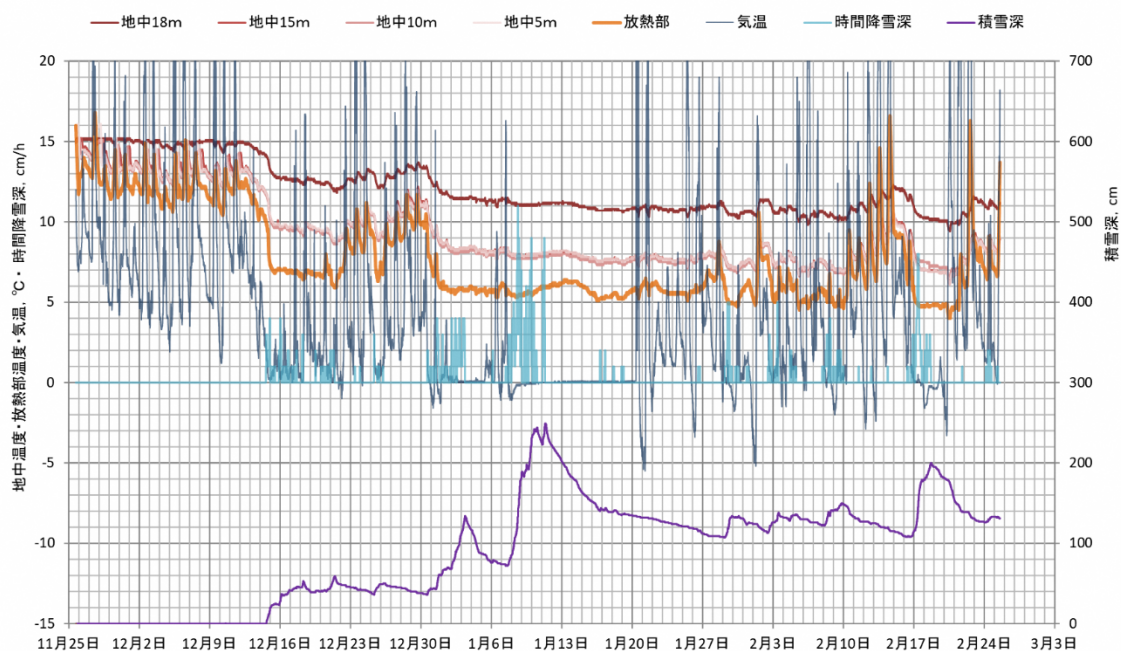


図 5-2 東面堆雪場地中温度観測結果

5.3. 融雪能力解析

5.3.1. 算出式

放熱量の計算は、路面・消融雪施設設計要領の平均通水温度を算出する式に準じて行った。

放熱量 Q は、熱伝達の定義に従うと、放熱部の表面温度 T_p と路面温度 T_s との温度差 ΔT を舗装の熱抵抗 R で除することで算出される。

$$Q = \Delta T / R = (T_p - T_s) / R$$

路面・消融雪施設設計要領 P. 163 の平均通水温度を算出する式、

$$\bar{t} = q_u \frac{l_1 + l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi \lambda_p l} \ln \frac{d_o}{d_i} + t_m \quad [^{\circ}\text{C}]$$

を $Q = \Delta T / R$ の形に書き直すと、

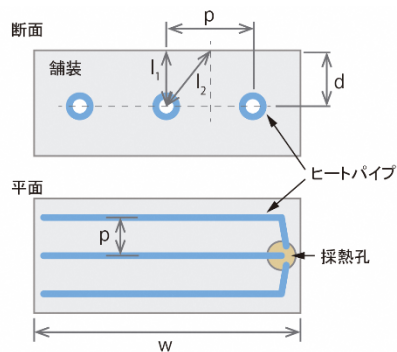
$$q = (\bar{t} - t_m) \div \left[\frac{l_1 + l_2}{2\lambda} \eta + \frac{a'}{2\pi \lambda_p l} \ln \frac{d_o}{d_i} \right] \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

ここで、1 ユニット当たりの面積をヒートパイプピッチ×本数×放熱部幅員で近似 ($a' = \text{pnw}$) し、1 ユニット当たり放熱管長さをヒートパイプ本数×放熱部幅員で近似 ($L = \text{nw}$) すると、舗装の熱抵抗は以下の式に整理される。

$$R = \frac{l_1 + l_2}{2\lambda} \eta + \frac{p}{2\pi \lambda_p} \ln \frac{d_o}{d_i} \quad [\text{m}^2\text{C}/\text{W}]$$

堆雪融雪時は路面温度が地中より常に低く放熱を続けている状況であることから、地下への熱損失はないものと考えることができるので、熱効率 η は 1 とする。ここに東側堆雪帯の条件 (図 5-3) から $R = 0.0673 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ と求められる。

$$Q = (T_p - T_s) / 0.0671 \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$



記号	項目	値
p	: ヒートパイプピッチ[m]	0.3
n	: 1 孔あたりヒートパイプ本数	3
λ_{pv}	: 舗装熱伝導率[W/($^{\circ}\text{C}$)]	1.6
λ_{hp}	: ヒートパイプ管材熱伝導率[W/($^{\circ}\text{C}$)]	16
d_{ho}	: ヒートパイプ外径[m]	0.0285
d_{hi}	: ヒートパイプ内径[m]	0.0265
l_1	: ヒートパイプ埋設深[m] = d	0.055
l_2	: ヒートパイプ-路面最長距離[m]	0.160
η	: 熱効率	1

図 5-3 放熱部の熱抵抗計算条件

次に、観測で測定しているのはヒートパイプ放熱部の外側であるので、放熱部の表面温度 T_p を測定している放熱部温度とする場合は、ヒートパイプ管表面から温度センサまでの熱抵抗値分 R を減じることで放熱量を算出できる。この熱抵抗を円筒の熱抵抗式、

$$R_p = \frac{p}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} \quad [\text{m}^2\text{C}/\text{W}]$$

より、 $d_i=0.0285 \text{ m}$ 、 $d_o=0.0295 \text{ m}$ (ヒートパイプ管表面から温度センサまで 1mm を見込む)、 $\lambda=1.6 \text{ W/m}^2\text{C}$ (コンクリート) の条件から求めると、 $0.00105 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ となるので、 $R = 0.0673 - 0.00105 = 0.0662 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ となる。

最後に、堆雪と路面との間にも熱抵抗が考えられる。融雪中の路面の熱抵抗値の参考値は路面・消融雪施設設計要領では示されておらず、融雪時の路面温度は 0°C で熱抵抗はゼロとして扱われている。ここでも、堆雪の自重でしっかりと路面に積雪が押し付けられている場合を仮定して、その熱抵抗値をゼロとし路面温度は 0°C として放熱量を算出するものとした。

以上を整理すると、放熱量は以下の式で算出される。

$$Q = T_p / 0.0671 \quad [\text{W/m}^2]$$

この式では、堆雪時に路面温度が低くなり、多くの放熱を行うことによって、地中と放熱部の温度差が大きくなる時間帯において成立する。図 5-2 に示した温度観測結果において、地中 18m 温度と放熱部の温度差がおおむね 5°C 以上開いた時を堆雪時と考えた。

5.3.2. 放熱量算出結果

堆雪時の放熱量は、12月15日の堆雪開始時では 100 W/m^2 であった。堆雪融雪が続く間に地中熱を使い地中温度が下がるにしたがって放熱量は低下傾向となり、観測期間最後の堆雪となった2月17日～19日では 65 W/m^2 算出された。

堆雪時の時間数をカウントすると約700時間であった。これに平均の放熱量を 85 W/m^2 として時間で積算すると、 59.5 kWh/m^2 の放熱が行なわれた計算となる。東側のヒートパイプピッチ 300 mm の堆雪帯面積は 48 m^2 あるので、堆雪時はこの面積全面に堆雪していたとすると、 $59.5 \times 48 = 2,856 \text{ kWh}$ の放熱が行なわれた計算となる。

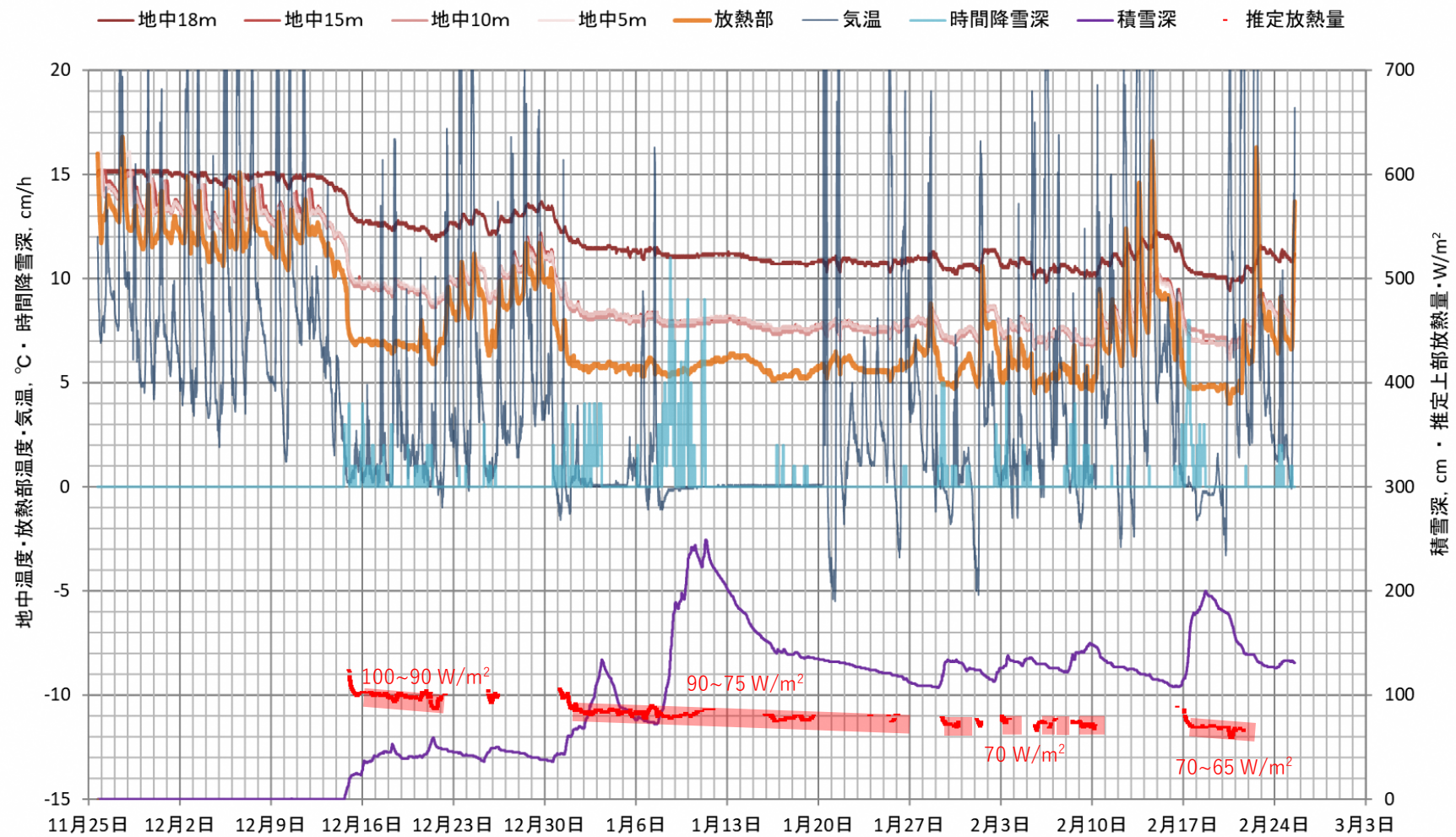


図 5-4 東側堆雪場温度測定結果

5.4. 堆雪状況観測

①降雪時

写真 5-1 に 12 月 31 日の堆雪場の観測状況を示す。堆雪場として活用していない降雪時には、200mmピッチでヒートパイプを敷設した箇所では融け始めているのに対して、300mmピッチで敷設した箇所では積雪が残っていることが確認された。

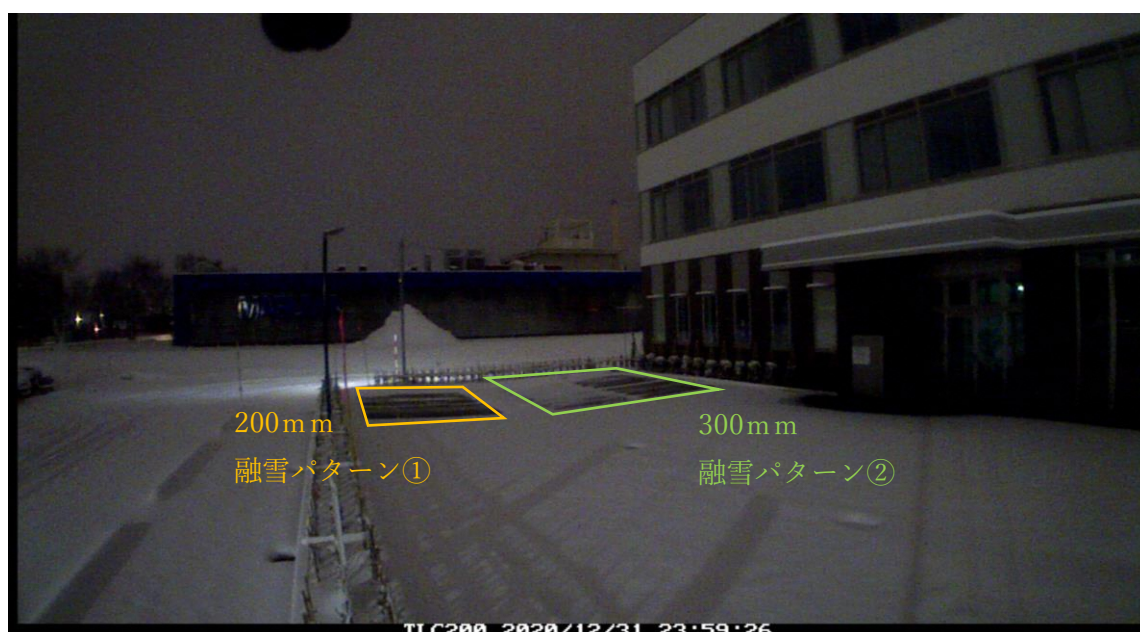


写真 5-1 堆雪場融雪状況 12 月 31 日 上：西面 下：東面

②堆雪時

写真 5-2～写真 5-6 に 2 月 19 日から 2 月 25 日の 1 週間の堆雪場融雪状況を示す。2 月 19 日が観測期間中における最後の大きな降雪であり、これ以降に雪山が大きくなることはなかった。雪山の形状は西面・東面共に堆雪場上に大きな雪山が一つ作成されていた。写真 5-5 では、アスファルト際の堆雪がほとんど変化していないが、堆雪場上の雪は少しずつ解けている状況が確認できた。

○ヒートパイプ敷設パターンごとの融雪状況

どのパターンにおいても堆雪の高さに関しては、概ね同様のペースで減少しているのが確認できる。また、西面・東面共に堆雪の少ない周囲から融けている状況が確認された。結果として、敷設パターンごとの融雪状況の違いは見られなかった。

○融雪が入っていない堆雪場との比較

写真 5-4 は融雪設備を導入していない春日謙信交流館の堆雪場の写真である。2 月 18 日のうちに堆雪し、2 月 19 日は雪を寄せていないため、雪山は巨大化していない。

春日謙信交流館の堆雪場では日付が経過するに連れて、堆雪の高さは小さくなっているが、堆雪の床面の幅は大きく変わっていないことが確認された。一方で、西面・東面の堆雪場では、堆雪の周囲が融けてきており、雪山の底面積が小さくなっていることが確認できた。

○西面・東面の雪山高さについて

西面の堆雪場面積に対する雪の集積面積はおよそ 7.5 倍になるのに対して、東面は 5.7 倍と少し小さくなる。その結果、西面と東面の堆雪の高さを比較すると、西面は笠木まで到達しているのに対して、東面では笠木まで到達していないことが分かった。

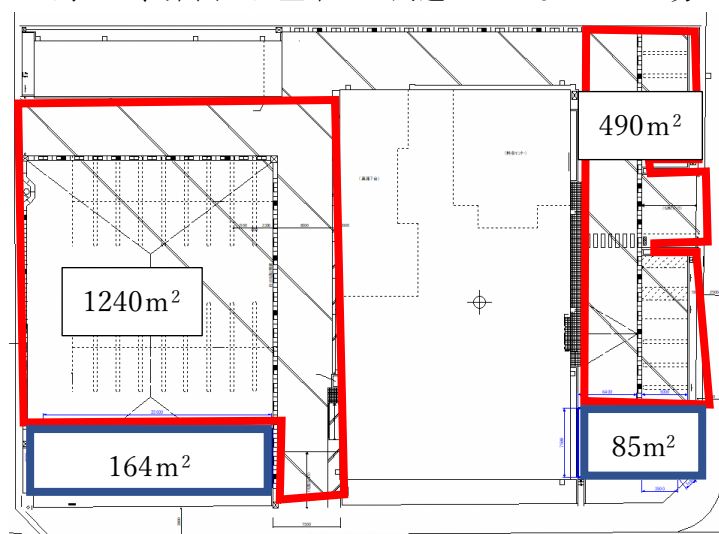


図 5-5 堆雪場面積と雪の集積面積



写真 5-2 西面堆雪場融雪状況 撮影箇所③



写真 5-3 東面堆雪場融雪状況 撮影箇所④

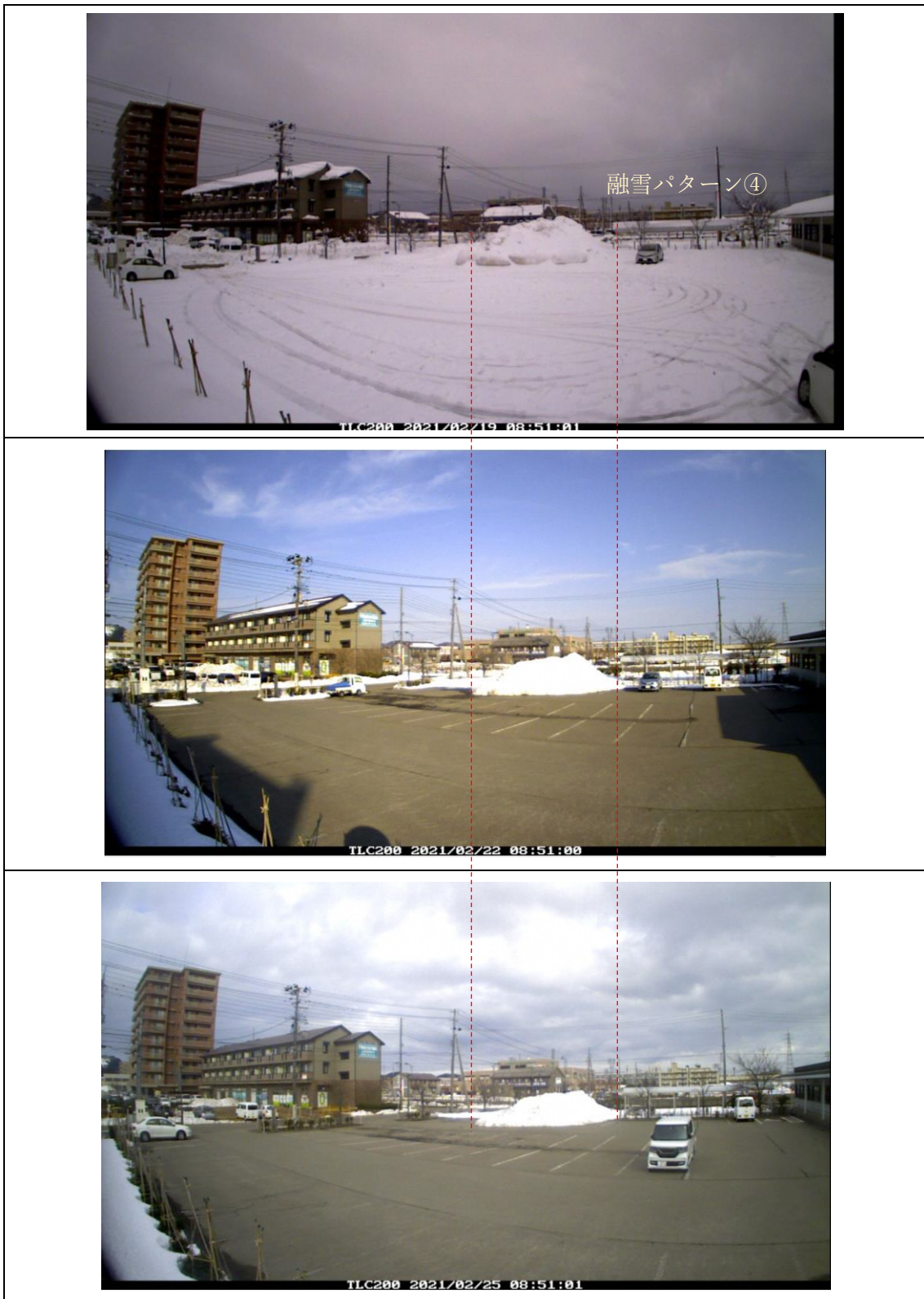


写真 5-4 謙信公会館堆雪状況 撮影箇所⑤

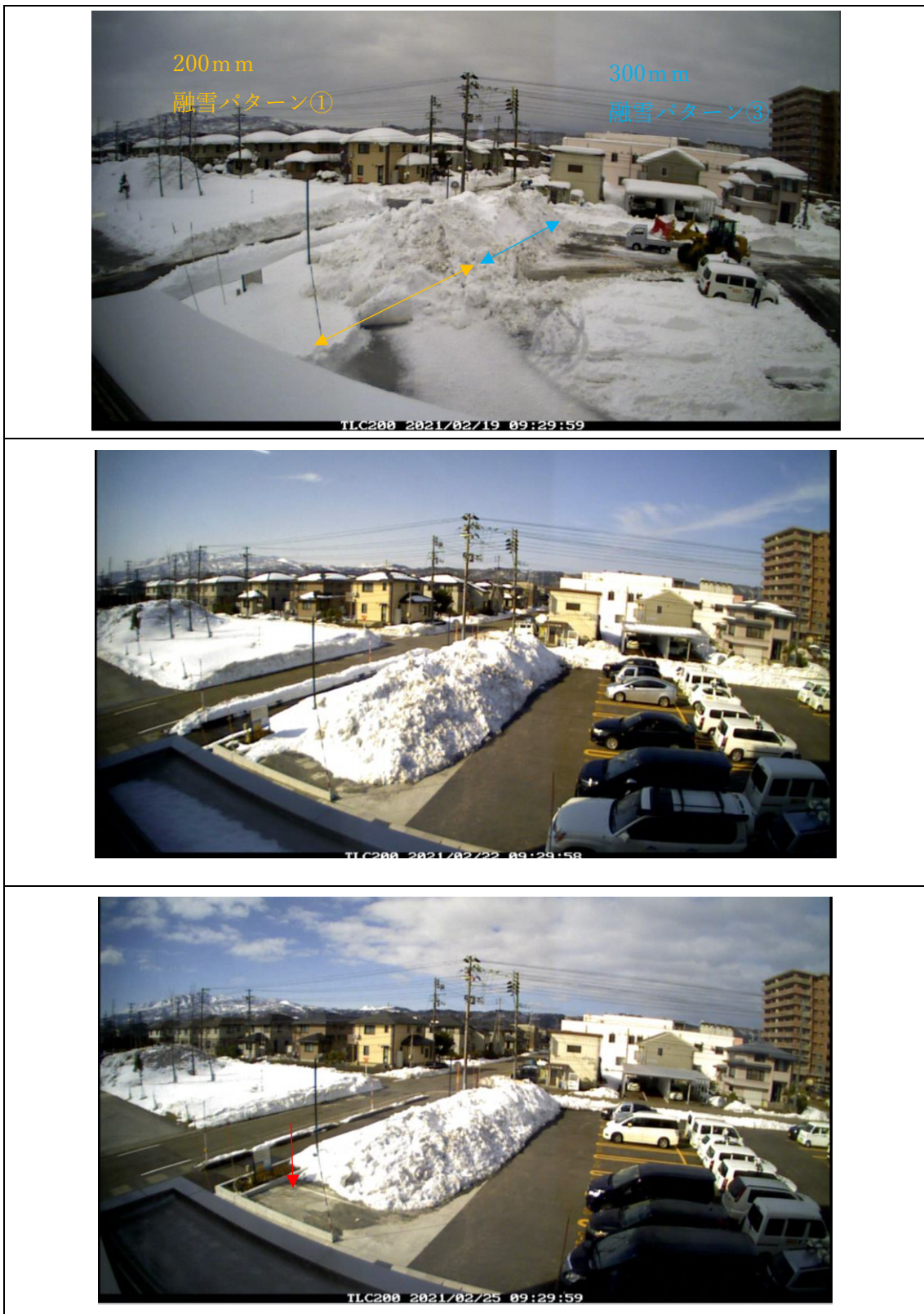


写真 5-5 西面堆雪場融雪状況 撮影箇所⑥

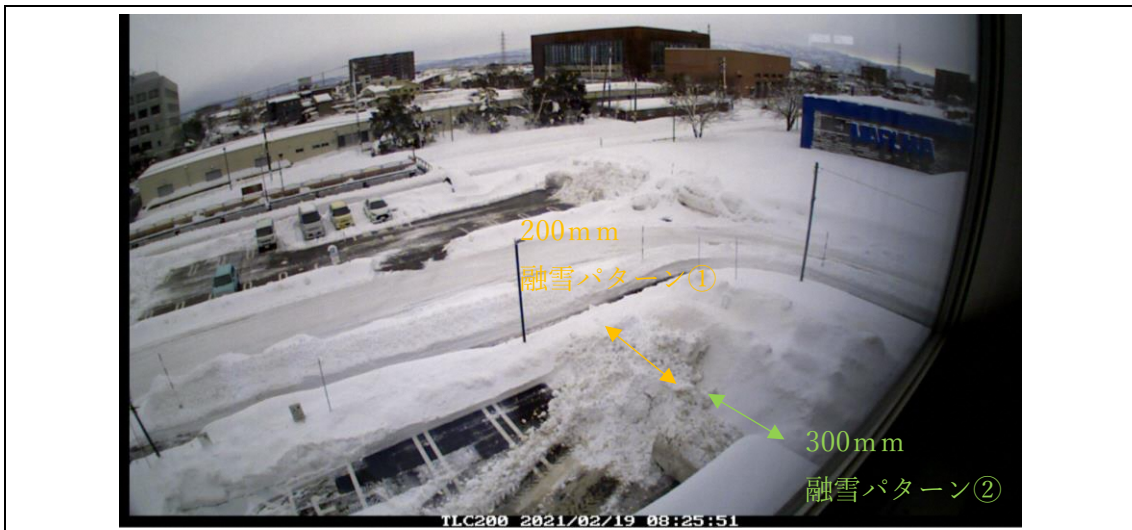


写真 5-6 東面堆雪場融雪状況 撮影箇所⑦

5.5. サーモグラフィによる路面温度観測

写真 5-7～写真 5-11 に 12 月 16 日に撮影した融雪状況と路面温度状況を示す。

アスファルト舗装部は残雪しており、温度が 0°C 程度になっているのに対して、堆雪場は雪が融けており、舗装表面温度も 0°C 以上に保たれていた。適切にヒートパイプが作動していたことが確認できた。300mm ピッチは 200mm ピッチよりも、西側・東面共に 0.5°C から 1.0°C 程度低い傾向がみられた。

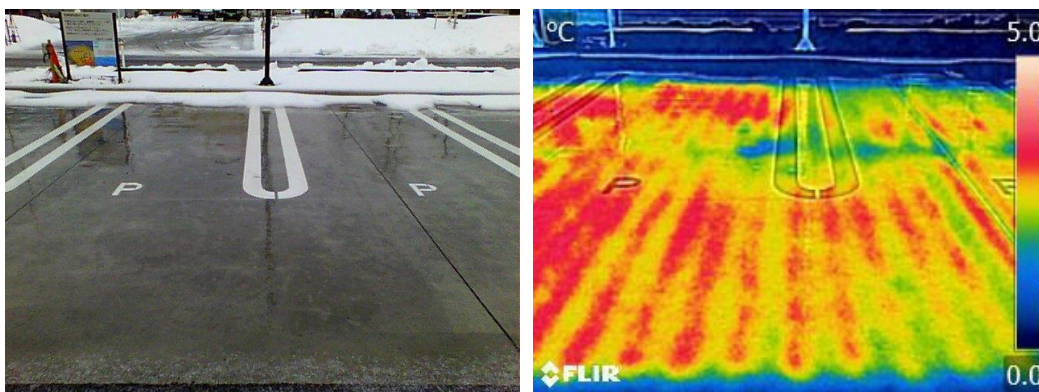


写真 5-7 西面融雪状況①(敷設ピッチ 200 mm 融雪パターン①)

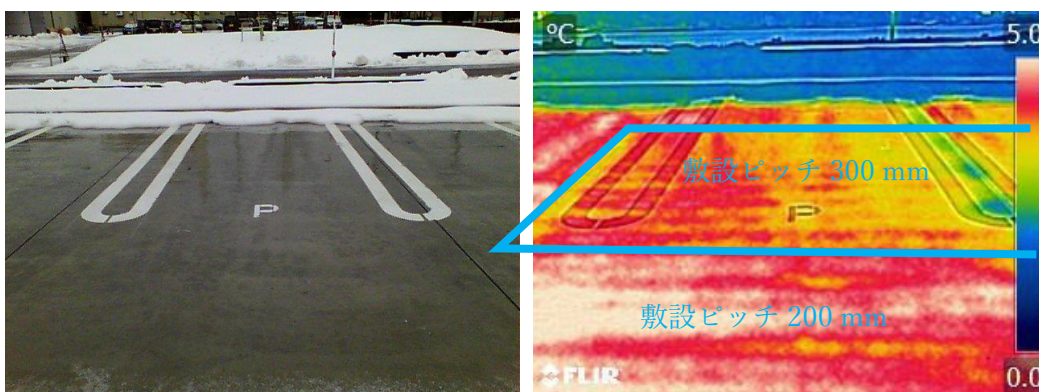


写真 5-8 西面融雪状況②(敷設ピッチ 200-300 mm 融雪パターン③)

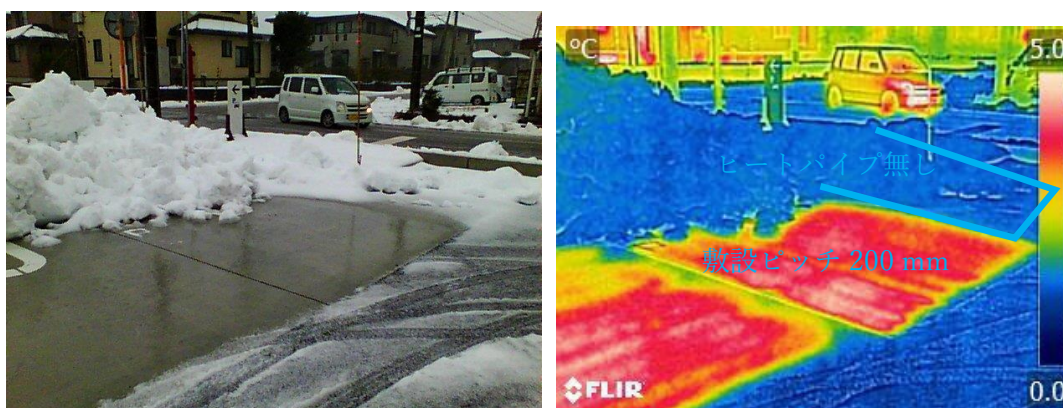


写真 5-9 西面融雪状況③(堆雪部 200mm 融雪パターン①・④)

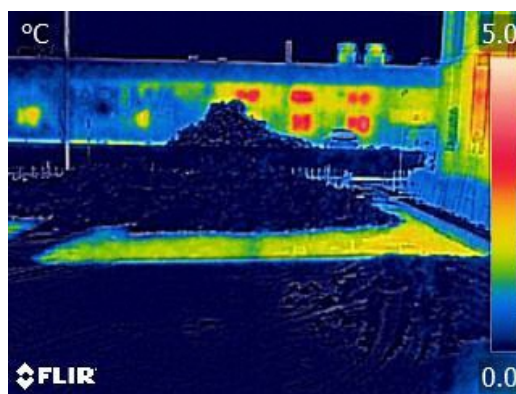


写真 5-10 東面融雪状況①（敷設ピッチ 300 mm 融雪パターン②）

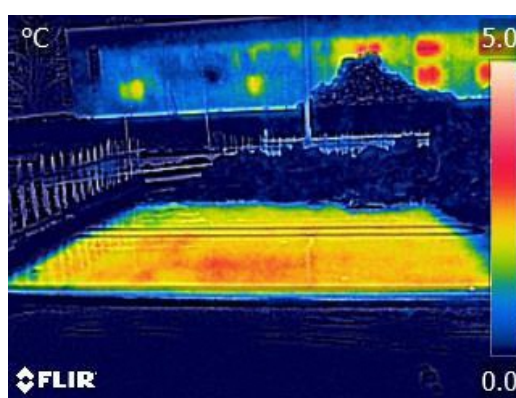


写真 5-11 東面融雪状況②（敷設ピッチ 200 mm 融雪パターン①）

5.6. 堆雪の空洞化調査

融雪施設の放熱により、堆雪の内部だけが融け、空洞を生じる場合がある。空洞が生じた場合、融雪施設から雪へ直接放熱することができないため、融雪効率が低下する。

堆雪期間中に、西面側の堆雪場にて、空洞発生状況の調査を行った。写真 5-12 に空洞化調査状況を示す。空洞は発生しておらず、堆雪場と雪が密着している状況が確認できた。



写真 5-12 堆雪空洞化状況調査

6. ヒートパイプ導入による経済効果

西面にて 200 mm ピッチで敷設したヒートパイプユニットの地中温度を観測していたが、観測中に欠測したため、本章では東面で観測していた 300 mm ピッチで敷設したユニットと同等の融雪能力で放熱したものと設定し、経済性の検討を行った。

6.1. 融雪量と排雪回数の比較

6.1.1. 融雪量の計算

観測期間中、東面 300 mm ピッチでヒートパイプを敷設した 48m² 融雪範囲にて、2,856 kWh の放熱量があったと計算された。この放熱量でどれくらいの雪を融雪できたのか以下の通り算定した。なお、200 mm ピッチで敷設したヒートパイプユニットの方が、放熱量が大きくなるため、算定した値は過小評価となる。

○全体の放熱量の計算

施設全体の放熱量は、以下に示す方法で算定した。

〈算定方法〉

単位面積当たりの放熱量 = 放熱量 2,856(kWh) ÷ 対象面積 48.00 (m²) = 59.50(kWh/m²)

施設全体の放熱量 = 59.50(kWh/m²) × 249.0 (m²) = 14,816(kWh) → 14,800(kWh)
= 53,280(MJ) ※ → 53,300(MJ)

※1.0 kWh = 3.6 MJ

○融雪量の計算

融雪量は、以下に示す方法で算定した。

〈算定方法〉

融雪量 = 放熱量 53,300(MJ) ÷ 氷の融解潜熱 0.334(MJ/kg) = 159,580(kg)
= 160(t)

6.1.2. 排雪量の計算

堆雪場全体に 1.5m 堆雪された場合、1 回排雪されると仮定する。この場合の 1 回の排雪量は以下に示す方法で算定した。

〈算定方法〉

排雪量 = 249(m²) × 1.5(m) × 圧雪の密度 0.5(t/m³) = 186.8(t)
= 187(t)

6.1.3. 経済性の検討

施設導入による融雪量は 160 t (最小推定値) に対して、1 回当たりの排雪量は 187 t である。したがって、概ね 1 回分の排雪量を融雪出来ていたと考えられる。

ガス水道局では、冬季間に 2 回の排雪を排雪を行っており、1 回当たりの作業費用は 55 万円(1 日 6 時間作業)であった。したがって、今シーズンでの排雪削減費用はおよそ 55 万円に相当すると考えられる。これはすべての堆雪範囲に 300mm ピッチのヒートパイプの放熱能力を適用して計算した結果であり、実際の融雪量はもう少し大きくなると推察される。

※堆雪量の算定

1 回の排雪量を裾角度 40° の四角錐台で計算

表 6-1 四角錐台での排雪量算定結果

高さ 1.5m	西面	東面	高さ 2.0m	西面	東面
上辺 a	21.4m	8.4m	上辺 a	20.2m	7.2m
上辺 b	3.0m	3.9m	上辺 b	1.8m	2.7m
下辺 A	25.0m	12.0m	下辺 A	25.0m	12.0m
下辺 B	6.6m	7.5m	下辺 B	6.6m	7.5m
体積 V(※)	168.66m ³	88.83m ³	体積 V	193.68m ³	101.76m ³
排雪量 t	84 t	44 t	排雪量 t	97 t	51 t
合計	128 t		合計	148 t	

※オベリスクの定理により算定 $V = h / 6 \times (Ab + aB + 2(ab + AB))$

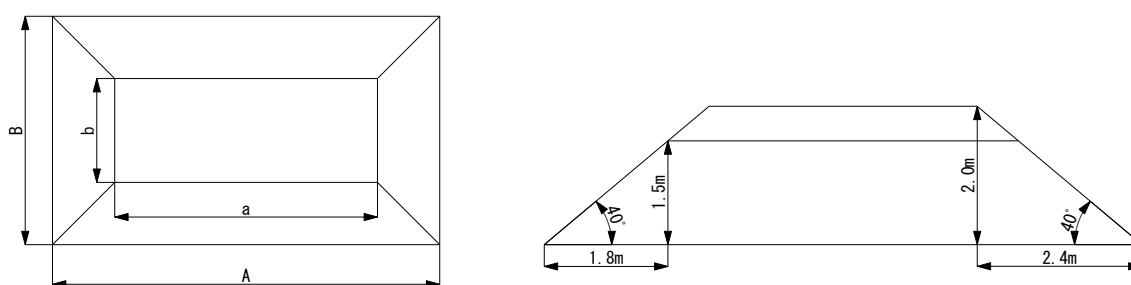


図 6-1 四角錐台形状 左：俯瞰図 右：断面図

6.2. 堆雪場融雪日数と自然融雪日数の比較

6.2.1. 融雪日数の決定

堆雪状況観測の結果より、雪山ができて無くなるまでの日数をカウントした。2月19日に堆雪した雪山は概ね3月10日の時点で無くなっていることが確認された。このため、堆雪場の融雪にかかった日数は20日間と設定した。

6.2.2. 期間中の融雪量の計算

融雪にかかった期間の堆雪場の放熱量を以下の通り算定した。なお、堆雪場の放熱能力には、5.3.2 放熱量算出結果にて算出された平均放熱量 85W/m^2 を使用した。

〈算定方法〉

$$\begin{aligned}\text{放熱量} &= 249(\text{m}^2) \times 85(\text{W/m}^2) \times 480(\text{h}) = 10,159(\text{kWh}) \rightarrow 10,100(\text{kWh}) \\ &= 36,360(\text{MJ}) \rightarrow 36,300(\text{MJ})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{融雪量} &= \text{放熱量 } 36,300(\text{MJ}) \div \text{氷の融解潜熱 } 0.334(\text{MJ/kg}) = 108,682(\text{kg}) \\ &= \underline{109(\text{t})}\end{aligned}$$

6.2.3. 自然融雪量の算定

2月19日時点で堆雪場全面に2mの堆雪があったものとして、雪山の質量を算定した。

〈算定方法〉

$$\text{排雪量} = 249(\text{m}^2) \times 2.0(\text{m}) \times \text{圧雪の密度 } 0.5(\text{t/m}^3) = \underline{249(\text{t})}$$

ここで、堆雪場の融雪量は109 tであるから、 $249(\text{t}) - 109(\text{t}) \approx \underline{140(\text{t})}$ の雪が自然に融雪された計算となる。

6.2.4. 融雪期間の比較

自然融雪日数は $140\text{ t} / 20\text{ 日}$ であるため、249 tの雪を融雪するためには、およそ36日必要となる。これに対して、堆雪場の融雪にかかった日数は20日であるため、16日間早く雪を融かし、有効に活用できる計算結果となった。

7. 将来可能性の検討について

○持続可能な地中熱利用堆雪融雪について

今シーズンは多量の降雪があり、堆雪場には巨大な雪山が形成されていた。堆雪場の雪を融かすため、ヒートパイプは長時間放熱を続ける必要があった。連続した放熱により、緩やかではあるが、採熱部の温度が低下し続けていることが確認できた。堆雪が無くなると地中温度は回復する傾向にあるが、完全に復帰する前に新たに堆雪していた。その結果として、放熱量の解析結果では、シーズン当初 $100\text{W}/\text{m}^2$ の放熱量があったが、シーズン後期では約7割の $70\text{W}/\text{m}^2$ まで低下していた。

来年度の観測は遅くとも11月には再開し、地中温度回復状況を確認する必要がある。

○ユニット配置パターンによる堆雪場融雪効果比較について

今シーズンは記録的大雪であったことから、実証実験のためのユニット配置パターンごとの雪山を作ることは困難であるため、堆雪場に大きな1つの山を作ることとなった。堆雪の少ない周囲から順当に溶けていることが確認されたものの、配置パターンによる融雪状況の違いは確認できなかった。雪山の減少状況の違いを映像で見するには、最初の除雪時に各融雪パターン上に同じ形状で雪山を作り、堆雪状況を均一にした実験・観測が考えられる。除雪体制及び除雪手順上で実施可能か検討する必要がある。

また、撮影カメラの配置については、雪壁に邪魔されることなく、堆雪の高さが確認できる箇所に設置する必要がある。

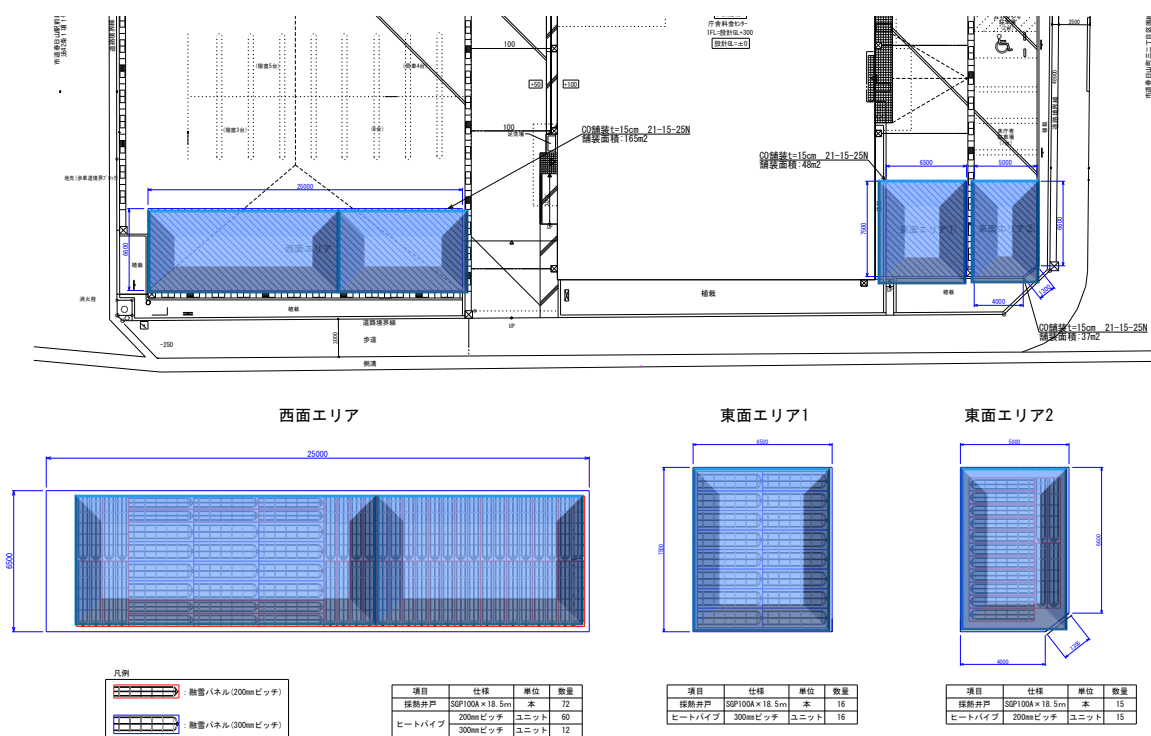


図 7-1 堆雪場融雪効果比較実験での雪山製作

○融雪量及び経済性の検討について

本年度の観測では、西面側の地中温度が欠測したことにより、東面地中温度のみを使用した融雪量の検討となっている。次年度以降は観測体制を整え、融雪量と経済性を再検討する。個別に雪山を製作することが可能であれば、雪山の形状を確認したうえで、融雪量と経済性を検討する。

8. 地域への波及

上越地域において、本実証実験の堆雪場融雪は、駐車スペースが限られる市街地での有効的な土地の利用方法であることから、その効果によって市内への波及が期待される。本年度の観測・解析結果より、約1回の排雪作業分の雪を融かせたこと、空洞化を起こさず効率的に融雪できていたことから、堆雪場融雪の効果が発揮されていたと考えられる。

放熱量の計算より、300mmピッチで敷設したヒートパイプ1ユニットのシーズン当たりの融雪量の指標が示された。1ユニットのシーズン当たりの融雪量は以下の取り計算できる。

〈計算方法〉

$$59.5(\text{kWh/m}^2) \times 3.6 \div 0.334(\text{MJ/kg}) \times 2.7\text{m}^2 = 1.7(\text{t})$$

この値を融雪面積2.7(m²)と、圧雪の密度0.5(t/m³)で割り返すことで、堆雪高さ1.25mが求められる。108m²の堆雪場を設置した場合、ヒートパイプのユニット数は40枚となる。この場合、135m²、68tの堆雪を融雪可能で有る(概算直接工事費用：2400万円)。自然条件による雪の融解もあるため、現実にはこの数値より大きくなると推察される。また、200mmピッチで敷設したヒートパイプユニットは、300mmピッチで敷設したものより、見込み放熱量が大きいので、さらなる融雪量が期待できる。

しかしながら、実証試験の結果より、いくつかの課題点も確認された。

①堆雪場融雪は、長期間連続放熱するため、地中温度が逡減する現象が見られた。

200mmピッチで敷設したパネルは、放熱量が大きくなるため、地中温度がさらに低下している可能性がある。

②堆雪場の雪山を大きな1山として製作したため、ヒートパイプ敷設方法の違いによる融雪量の差を検証することができなかった。

③災害救助法の適用を受けるなど、記録的豪雪となったため、実験中であったものの緊急的に堆雪場の雪を排雪する必要があったため、連続した融雪状況を観測することができなかった。

以上のことから、平均的な降雪状況にて、堆雪時の雪山形状等を考慮したうえで、引き続き観測を行っていく必要があると考えられる。

また、200mmピッチと300mmピッチで敷設されたヒートパイプの優位性についての検討については、今年度の観測状況を踏まえると、結論を出すには時期早々である。今後の観測結果を踏まえたうえで、検討していく必要がある。

9. まとめ

本業務は、上越市ガス水道局新築庁舎敷地に施工したヒートパイプ方式による堆雪場融雪実証実験の効果を確認するために、地中温度の観測、サーモグラフィによる表面温観測、定点カメラによる融雪状況の観測を実施したものである。

本施設は西面 164m²、東面 85m²の2エリアからなるヒートパイプ方式堆雪場である。この融雪施設は経済的なヒートパイプの配置案を検証する実証試験であり、ヒートパイプを通常幅(200 mm)ピッチで敷設するユニットと1.5倍幅(300 mm)にて設置したユニットの2種類のパネルが存在する。地中温度観測時に西面(200 mmピッチ敷設ユニット)で欠測が生じたため、東面(300 mmピッチ敷設ユニット)の観測データをもとに放熱能力、放熱量及び融雪量を解析した。

施設概要と解析結果を表 9-1 に示す。温度状況から堆雪期間は約 700 時間で放熱量は 65～100 W/m²と求められた。1m²当たりでは 59.5 kWh/m²、施設全体 164+85 = 249m²では 14, 8 MWh 放熱量となった。この放熱量は融雪量に換算すると 160 t となり、この融雪量は概ね 1 回分の排雪量に相当することが分かった。融雪量分の排雪費用を削減量と考えると、実際にかかった排雪費用からの換算で 55 万円の削減となることがわかった。また、実際の堆雪から雪山融解までの期間から、自然融雪での雪山融解期間の逆算を行った。堆雪場融雪では 20 日で雪が融けるところ、自然融雪では 36 日と求められた。16 日の間、堆雪場を駐車場として有効活用できる計算結果となった。

ヒートパイプの稼働状況を調べるために、サーモグラフィによる路面温度観測を実施した。その結果、降雪時には路面温度が 0℃以上に保たれており、適切に動作していることが確認できた。また、200 mmピッチの方が 0.5℃から 1.0℃程度温度が高く測定されていたため、放熱量も多くなっているとみられる。

次年度以降、堆雪形状の検討及び西面観測体制を整え、経済的なヒートパイプ配置の継続検証を行う必要がある。

表 9-1 施設概要・解析結果

項目		結果
融雪面積	西面	164m ²
	東面	85m ² (48m ² +37m ²)
地中温度観測	西面(欠測)	ヒートパイプ 200 mmピッチ敷設ユニット対象
	東面	ヒートパイプ 300 mmピッチ敷設ユニット対象
放熱能力		65～100W/m ² (平均 85W/m ²)
放熱量		14, 8MWh / 53, 3G J
融雪量		160 t
削減費用		55 万円
自然融雪との融雪期間の差		16 日