

令和元年度

第建-建号 ガス水道局新庁舎

地中熱温度調査及び融雪設備詳細設計業務委託

(新潟県上越市春日山町 3 丁目 地内)

報 告 書

令和 2 年 2 月

株式会社 興 和 上越支店

< 目 次 >

1. 業務概要.....	1
1.1. 業務目的.....	1
1.2. 業務概要.....	1
1.3. 業務項目.....	1
1.4. 業務位置.....	2
1.5. 業務実施フロー.....	3
1.6. 業務実施内容.....	4
1.7. 準拠基準及び図書.....	5
2. 現地調査.....	6
3. 観測井設置.....	8
4. 地中温度測定.....	11
4.1. 測定方法.....	11
4.2. 地中温度測定結果.....	12
5. 基本事項検討.....	17
5.1. 気象条件.....	17
5.2. 必要熱量の算出.....	20
5.3. 融雪範囲.....	23
5.4. 融雪方式の検討.....	24
5.5. 利用可能融雪方式の比較.....	36
5.6. 最適方式の選定.....	40
6. 設計図.....	41
7. 工事数量.....	44
8. 概算工事費.....	47

添付資料

- ・ 観測井設置工事写真
- ・ 観測井柱状図
- ・ 地温観測記録

1. 業務概要

1.1. 業務目的

本業務はガス水道局新庁舎敷地においてヒートパイプ方式による堆雪場融雪を実証実験するため、地中温度調査及び詳細設計を実施し、工事発注に必要な図面の作成、工事・機器等の仕様作成、数量計算及び概算工事費の算定を行うことを目的とする。

1.2. 業務概要

- ・業務名称：令和元年度 第建-建号
ガス水道局新庁舎地中熱温度調査及び融雪設備設計業務委託
- ・業務箇所：新潟県上越市春日山町3丁目 地内
- ・設計工期：令和1年 8月 21日～令和2年 2月 16日
- ・委託者：上越市ガス水道局
- ・受託者：株式会社 興 和 上越支店

1.3. 業務項目

表 1.1 業務項目一覧

項目	細別	単位	数量	摘要
業務計画準備		式	1.0	
地中熱温度調査	観測井設置	式	1.0	φ50×20m
	地中熱温度測定	式	1.0	5点3ヶ月
	地中熱温度検討	式	1.0	
融雪設備設計	現地調査	式	1.0	
	基本事項検討	式	1.0	
	詳細事項検討	式	1.0	
	設計計算	式	1.0	
	設計図作成	式	1.0	
	数量計算	式	1.0	
	概算費算出	式	1.0	
	報告書作成	式	1.0	
打合せ協議		回	3.0	

1.4. 業務位置

業務位置は下図のとおり。(上越市春日山町3丁目 地内)



図 1.1 業務位置図

1.5. 業務実施フロー

業務の実施は、以下のフローチャートによるものとする。

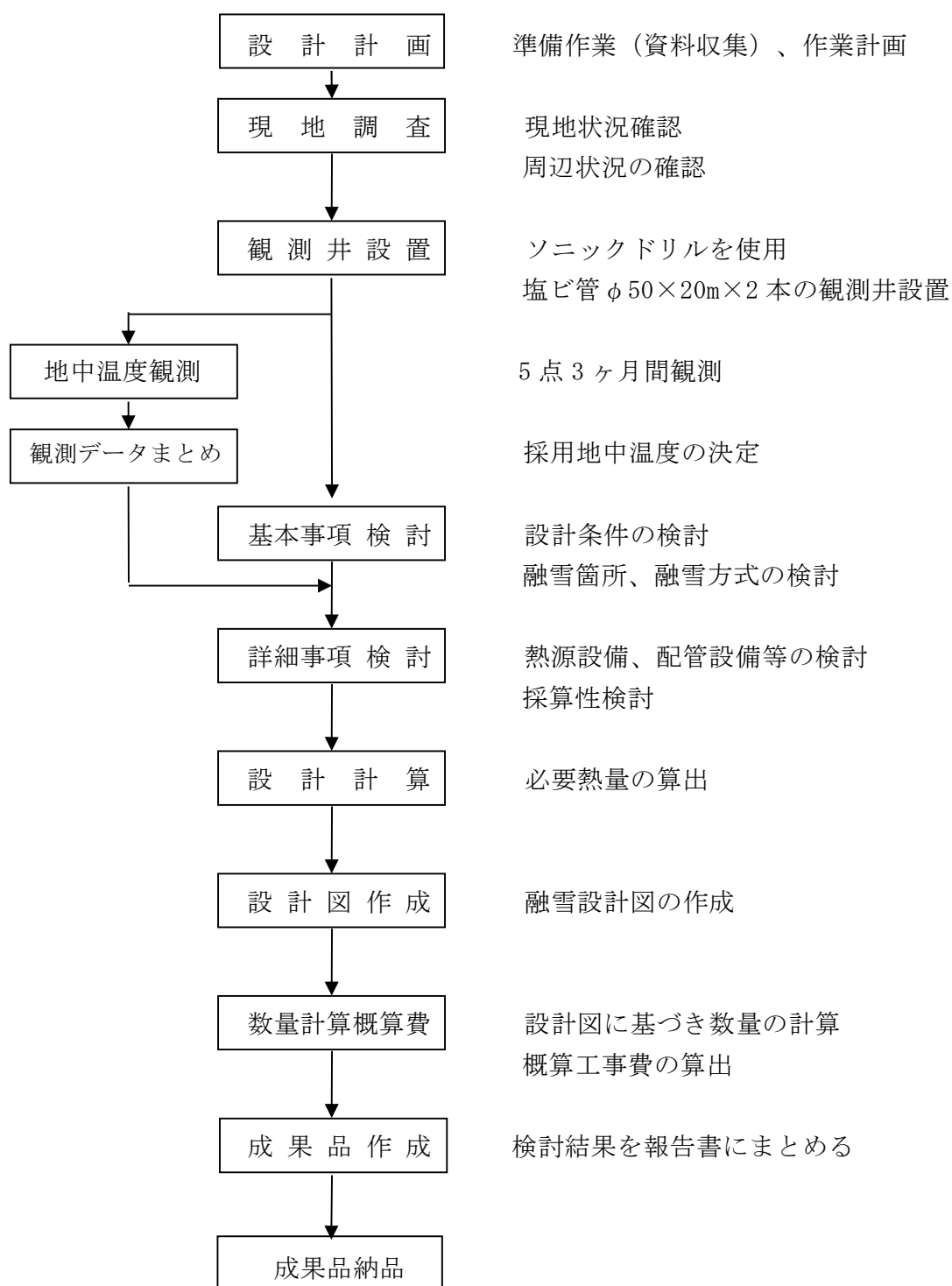


図 1.2 業務実施フロー

1.6. 業務実施内容

(1) 計画準備

設計準備は、業務設計書に明示されている事項及び貸与資料の把握を行い、業務開始から完了までの実施方針や打合せ等について計画した。

(2) 現地調査

融雪計画地と周辺状況の確認を行った。

(3) 観測井設置

地中熱温度を観測する目的にφ50×20mの観測井戸を2本設置した。

観測井戸はソニックドリル（ノンコアボーリング）で掘削して、塩ビ管φ50mmを20m挿入する。塩ビ管の中には温度測定用の熱電対を4点分挿入し、地下水位が浅い場合（概ね5m以内）は塩ビ管に丸穴を開けて塩ビ管内に地下水が流入する様にした。又熱電対は気温測定用に1点屋外に設置した。

(4) 地中温度観測

地中温度の測定は、観測井戸内に設置した熱電対を利用して、バッテリー式データロガーを用いて外気温度1点、地中熱温度4点を10分間隔で測定した。

(5) 基本事項検討

設計条件として外温度、降雪深、風速を確認して、本設計に使用する条件を整理し、必要熱量の算出を行った。融雪実施箇所を決定し、本計画地に最適な融雪方式を検討した。

(6) 詳細事項検討・設計計算

基本項目で選定された融雪方式について、熱源部や配管設備等の構造に関する計算を実施して融雪設備の詳細検討を行った。

(7) 設計図作成・数量計算概算費の算出

詳細事項で検討した内容に基づき設計図面（計画平面図、計画断面図、配管計画図等）を作成し、その後数量及び概算費用を算出した。

(8) 成果品作成

上記検討結果及び設計結果について報告書にまとめた。

1.7. 準拠基準及び図書

- ・路面消・融雪施設等設計要領（(社)日本建設機械化協会） H20 年 5 月
- ・散水消雪施設設計施工・維持管理マニュアル（(社)日本建設機械化協会） H20 年 8 月
- ・ガス水道局庁舎新築に係わる既存設計の内容を基に設計を実施

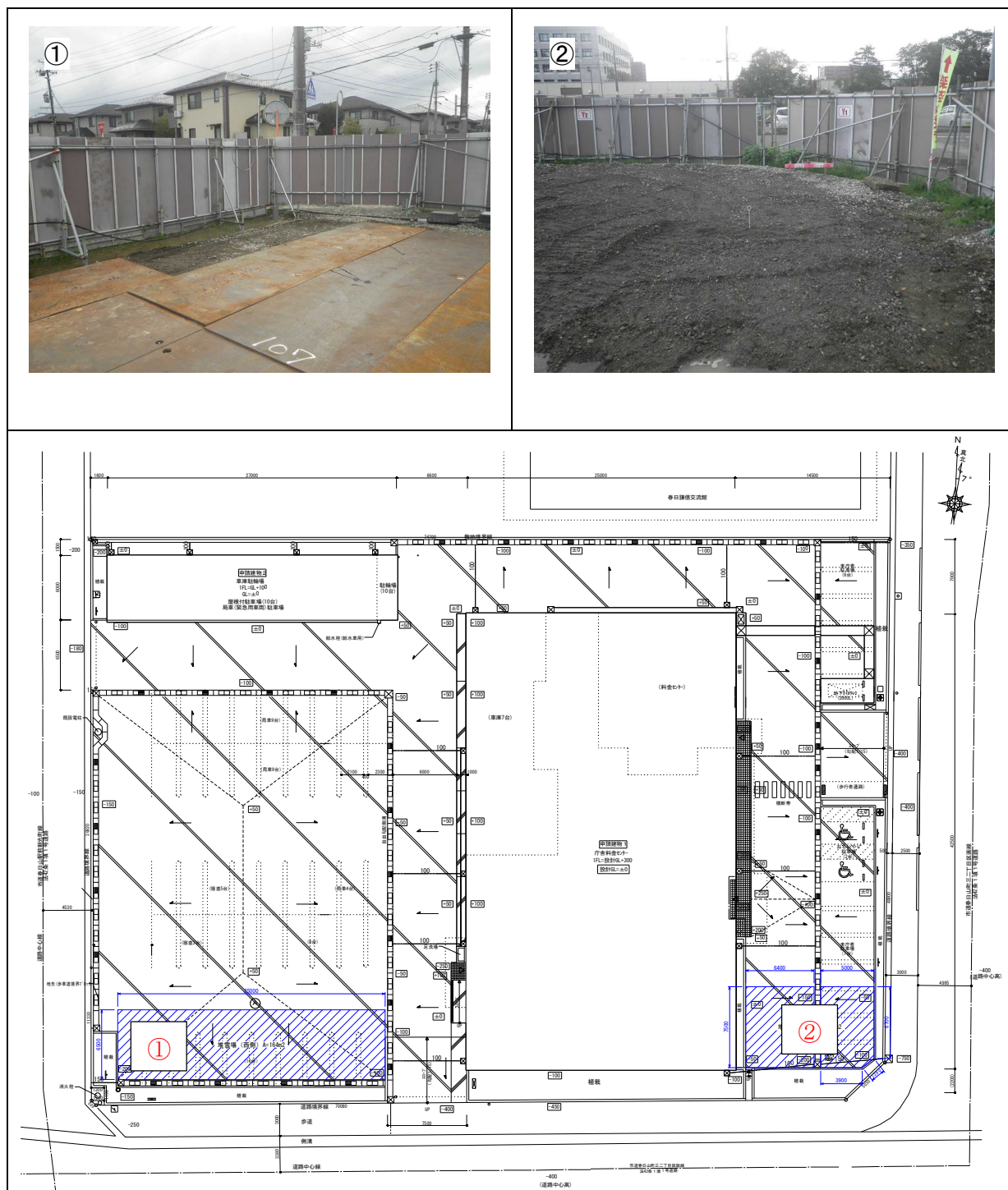
2. 現地調査

(1) 計画地の現況確認

- ・ 現地調査実施日：令和元年 9 月 14 日
- ・ 現地調査結果概要

計画地では、ガス水道局庁舎新築工事のうち、基礎工等が実施されていた。現地調査では主に観測井の設置位置について確認した。現地踏査時の現地状況写真を表 2.1 に示す

表 2.1 現地状況写真



(2) 観測井設置位置

現地調査時に地中温度測定を目的として設置する観測井の位置について、以下の点に留意して検討した。

○観測井設置位置検討の留意事項

- ・融雪対象範囲になるべく近い場所とする。
⇒東側及び西側に想定している融雪対象範囲の付近に設置できるよう検討した。
- ・実施中の施工作业に支障とならない場所とする。
⇒現地調査時に施工責任者と相談して、施工作业に支障とならない位置を確認した。
- ・掘削機械、資材の搬入が可能な場所とする。
⇒計画した設置位置に掘削機械や資材の搬入が可能であることを確認した。
- ・地下埋設物、架空線の有無
⇒地下埋設物及び架空線が支障とならないことを確認した。

○観測井設置位置

上記の留意事項に基づいて検討した観測井設置位置を図 2.1 に示す。

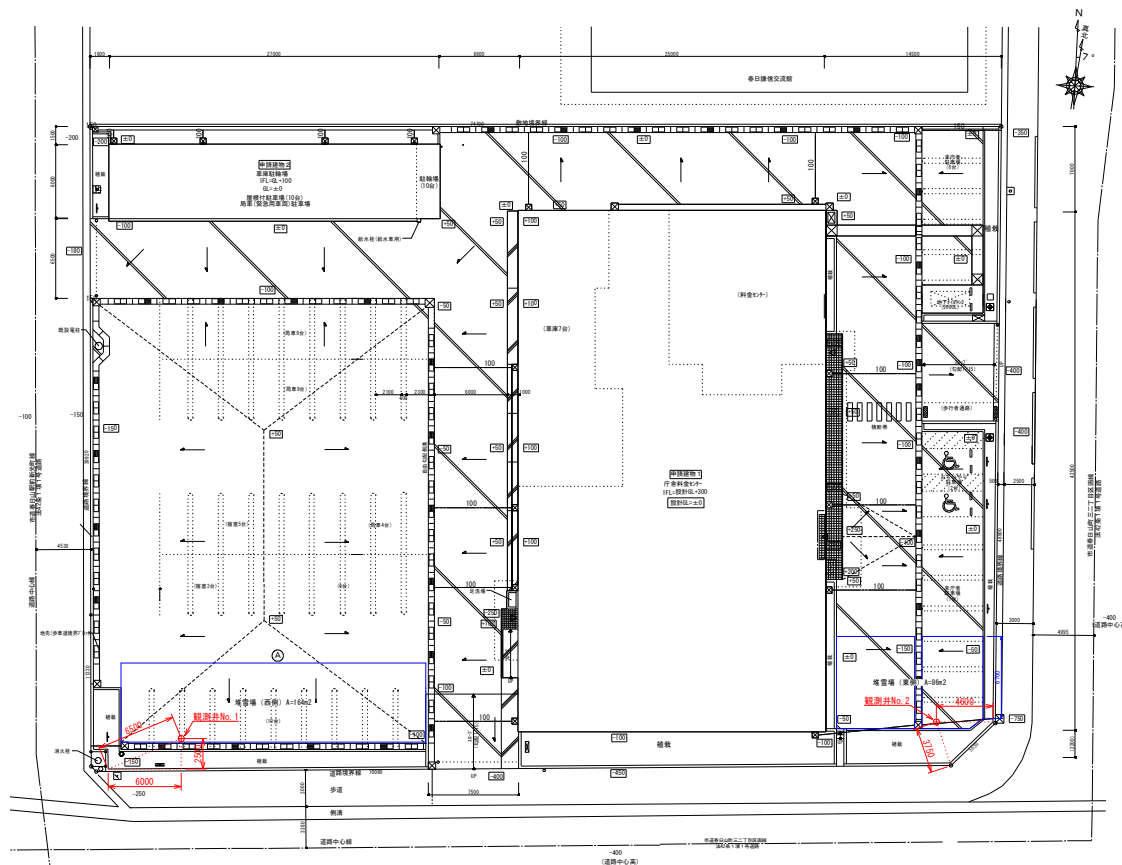


図 2.1 観測井設置位置

3. 観測井設置

(1) 使用資機材

観測井設置に使用した資機材は表 3.1 のとおりである。

表 3.1 使用資機材一覧

 ボーリングマシン	 泥水ポンプ
 発電発電機	 プラント設備
 ケーシング管 (VP φ 50×4.0m×12 本)	 ケーシング管接続部材

(2) 観測井構築

掘削は、ロータリーバイブレーション工法（ビット径φ146mm）により行った。

地質は、図 3.1 に示す柱状図のとおり深度 3m 程度までレキが分布し、その下位に粘土が分布していた。

掘削終了後に、掘削孔にケーシング管 VPφ50 を挿入し、ケーシング管の周囲を豆砂利で充填した。後日、地中温度測定用の温度センサーも布設した。

観測井構築作業状況写真を表 3.2 に示す。

標尺 (m)	深 度 (m)	さく井地質				標地 本下水 番号位	井戸構造			
		層 厚 (m)	柱 状 図	地 質	色 調		管 番 号	管 長 (m)	管 位 (m)	構 造 図
1										
2										
3		3.40	3.40	礫		1				
4							5	4.00	4.00	
5										
6										
7										
8							4	4.00	8.00	
9										
10										
11										
12							3	4.00	12.00	
13										
14										
15										
16							2	4.00	16.00	
17										
18										
19										
20	20.00	16.60		粘土		2	1	4.00	20.00	

図 3.1 さく井柱状図

表 3.2 観測井構築作業状況写真



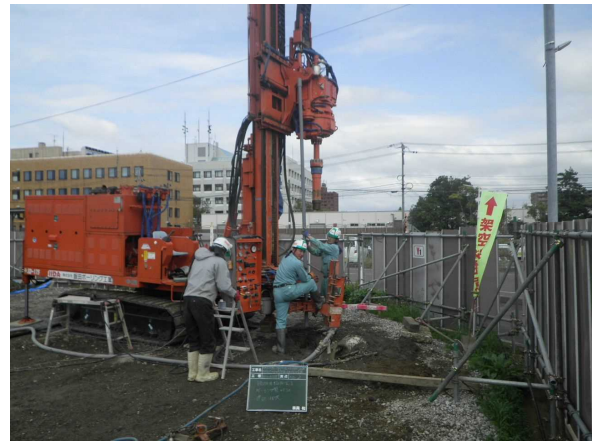
掘削状況



掘削深度測定



掘削深度 GL-20.96m(22m-1.04m)



ケーシング管挿入



珪砂充填



完了

4. 地中温度測定

4.1. 測定方法

(1) 測定機器

地中温度測定に使用した機器は表 4.1 のとおりである。

表 4.1 測定機器一覧（観測 1 箇所当たり）

機 器	写 真
温度センサー ----- 仕様：熱電対（T 型） 数量：5 個/箇所	
データロガー ----- 仕様：サーミック （江藤電気社製） 数量：1 台/箇所	 

(2) 測定方法

設置した観測井戸の深度 20m、15m、10m、5m の地中温度および外気温度 1 箇所について令和 1 年 10 月 25 日から 10 分間隔で記録した。

4.2. 地中温度測定結果

(1) 測定結果

地中温度（深度 20m (g20)、15m (g15)、10m (g10)、5m (g5)）と外気温度 (t1) および気象観測所（高田地域気象観測所）の風速・時間降雪深の測定結果を図 4.1 及び図 4.2 に示す。

地中温度変化を全体的にみると、深度 10m 以深 (g10、g15、g20) では気温の変化（期間最低気温： -7.4°C 、期間最高気温： 30.9°C ）に連動することなく、概ね $14^{\circ}\text{C}\sim 17^{\circ}\text{C}$ の範囲で推移していた。

g5 は観測期間の初めから終盤にかけて温度の変化が最も大きい、これは地表に近い深度であり地表の気象状況の影響を受けやすいことが原因と考えられる。

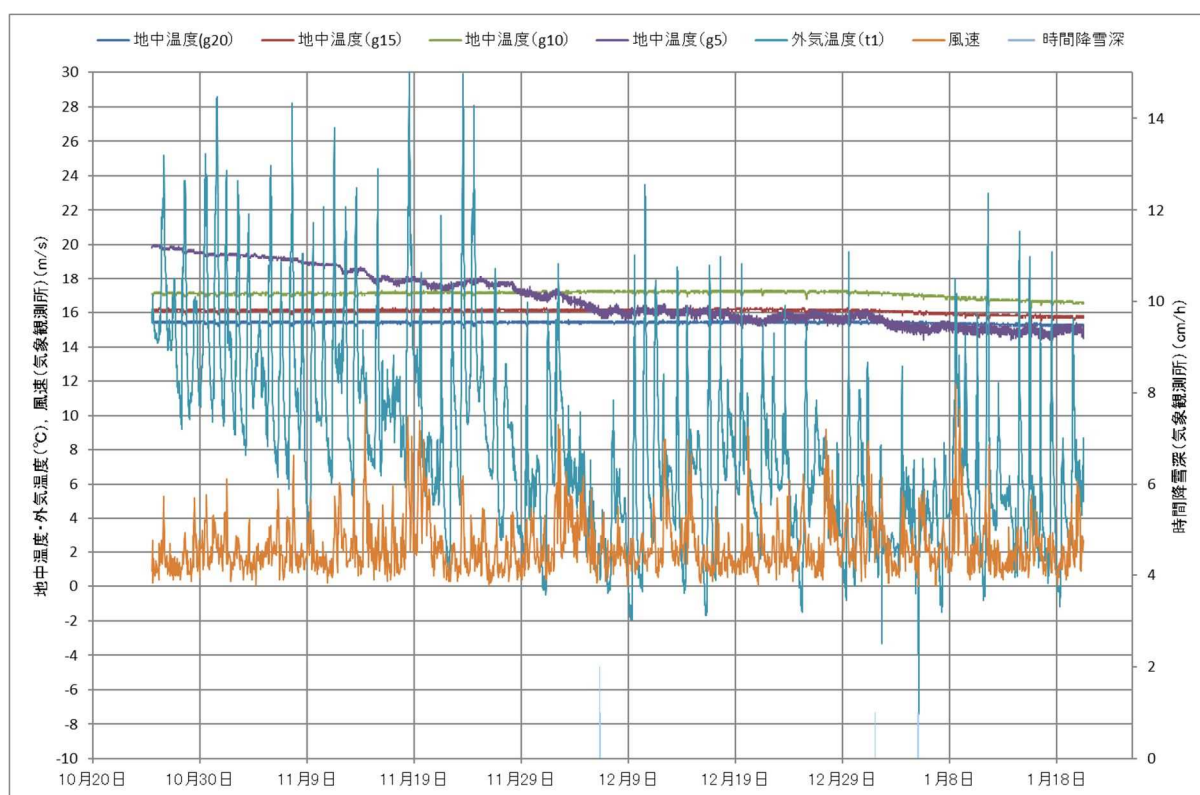


図 4.1 温度測定結果（観測井 No. 1）

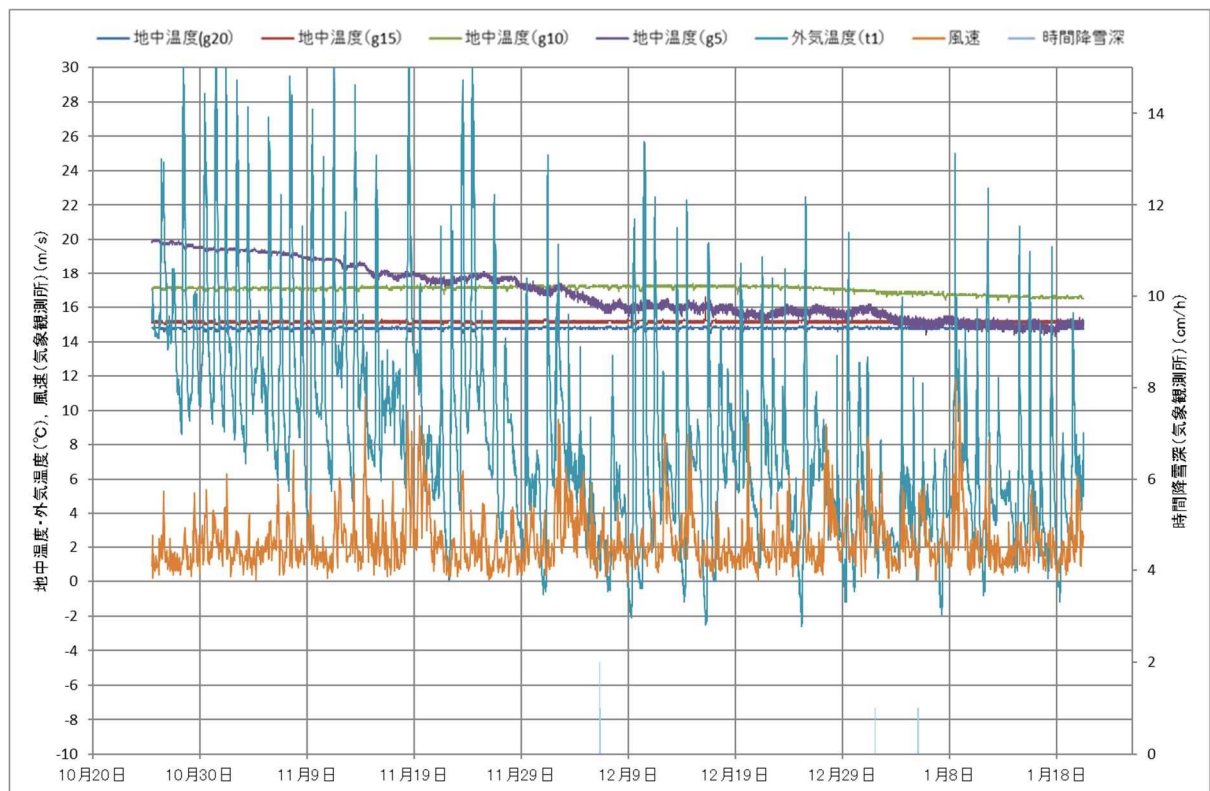


図 4.2 温度測定結果（観測井 No. 2）

地中温度（深度 20m（g20）、15m（g15）、10m（g10）、5m（g5））の測定結果を図 4.3、図 4.4 および表 4.2 に示す。

深度が深くなるにつれて温度が低くなっており、期間平均温度は、g20（深度 20m）が 15.1℃、g15（深度 15m）が 15.6℃、g10（深度 10m）が 17.0℃、g5（深度 5m）が 16.8℃であった。

g5 は、期間初めの頃は 19℃前後（20.0℃～18.0℃）で推移していたが、徐々に温度が低下し、11 月 9 日を最後に 18℃に到達することがなくなり、期間終盤には 14.3℃まで低下した。これは、地表に近い深度であり地表の気象状況の影響を受けやすいためと考えられる。

その他の深度（g20、g15、g10）については、g5 ほどの温度低下は見られず、測定期間を通しての温度低下幅は 2℃未満とほぼ安定していた。

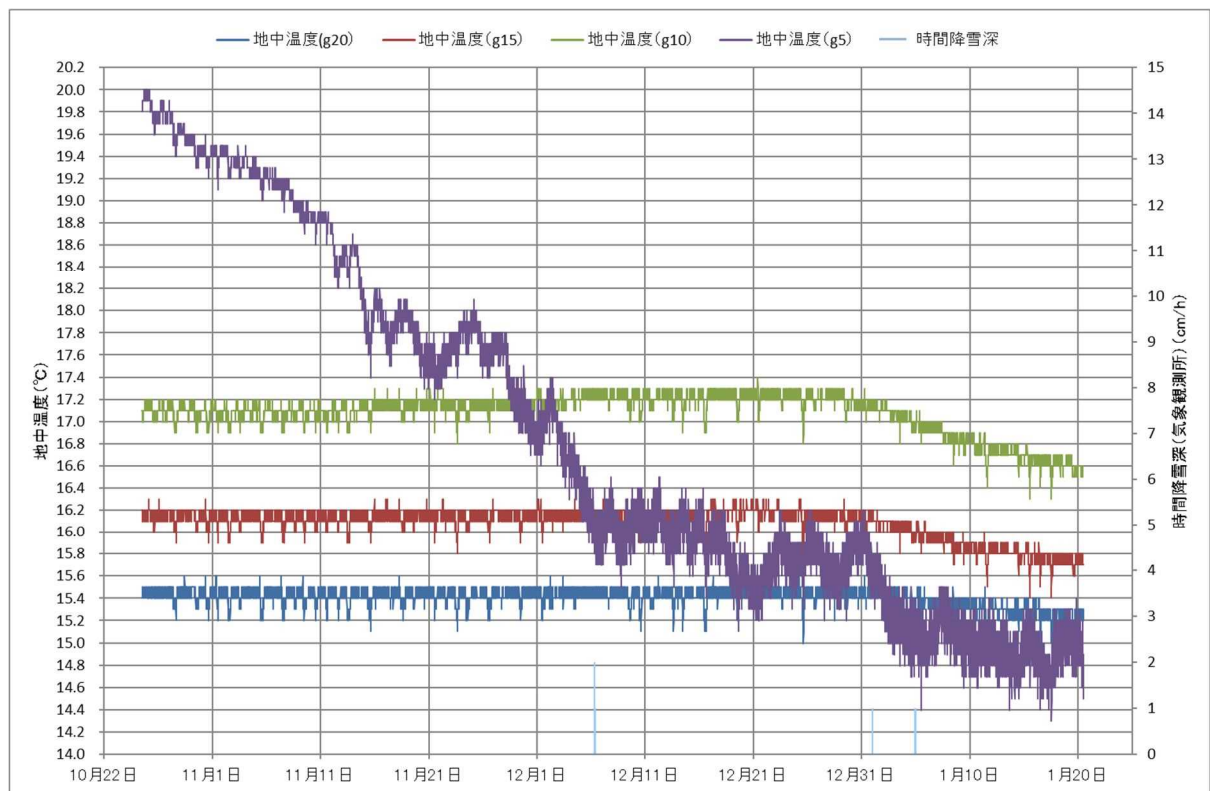


図 4.3 温度測定結果（観測井 No. 1）

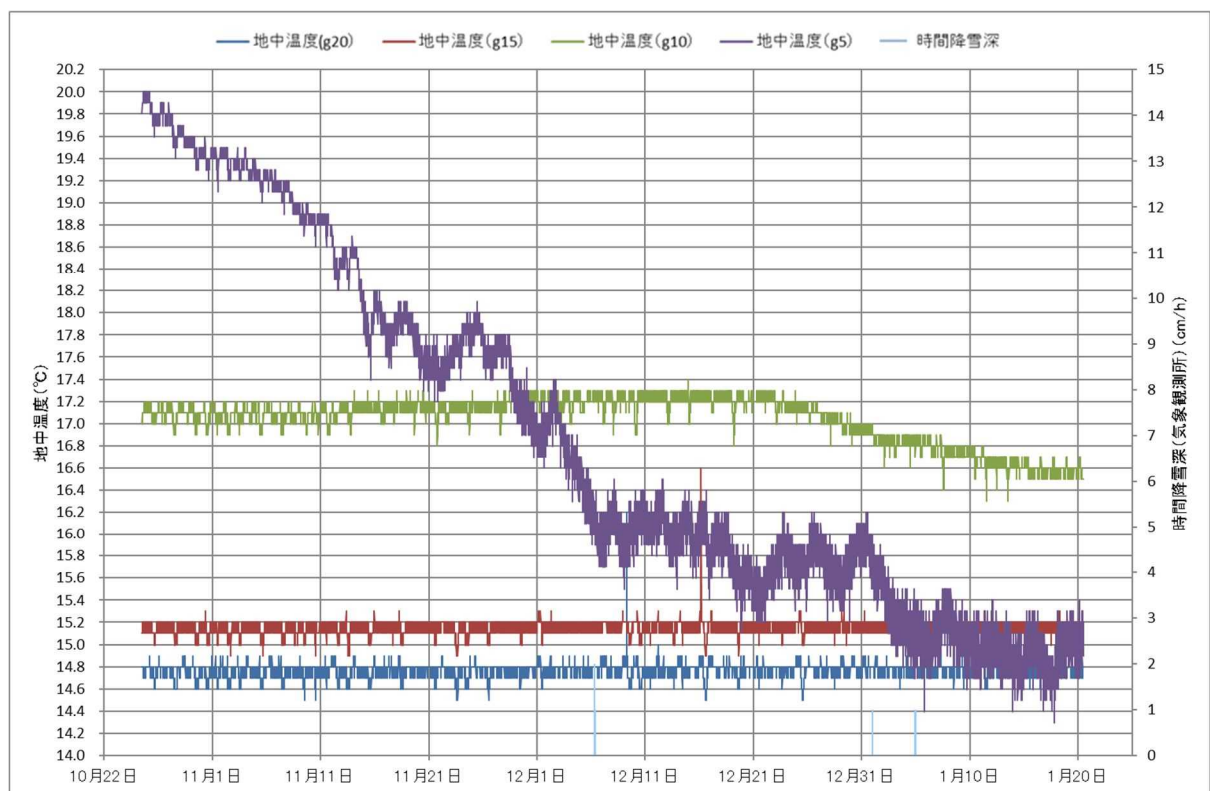


図 4.4 温度測定結果（観測井 No. 2）

表 4.2 地中温度測定結果

地中温度	g20	g15	g10	g5
期間平均	15.1℃	15.6℃	17.0℃	16.8℃
期間最高	16.2℃	16.6℃	17.4℃	20.0℃
期間最低	14.5℃	14.9℃	16.3℃	14.3℃

(2) 採用地中温度

温度測定結果より、本検討で採用する地中温度を決定する。

(1)で述べたとおり、深度 5m の地中温度 (g5) は、地表の気象状況の影響を受けやすい傾向にあるため、それ以外の深度 20m、15m、10m の地中温度 (g20, g15, g10) を採用することが望ましい。

表 4.2 より、g20、g15、g10 の測定期間平均地中温度はそれぞれ、15.1℃、15.6℃、17.0℃であり、これらの平均値 15.9℃を採用地中温度とする。

採用地中温度：15.9℃

なお、地下水ハンドブック（建設産業調査会、1998、P.119～122）によると、地中温度は深くなるにつれて温度変化の振幅が減少し、ある深さに達すると一年中ほとんど変化しなくなり、その年間平均値は、気温の平均値より 1～4℃高いとされている。

高田気象観測所の記録によると、高田における過去 10 年の平均気温は表 4.3 に示すとおり 13.8℃であり、採用地中温度はこれより 2.1℃高いことになる。

表 4.3 高田の過去 10 年間の平均気温

年	日平均気温 (℃)
平成 21	13.9
平成 22	13.9
平成 23	14.0
平成 24	13.6
平成 25	13.4
平成 26	13.7
平成 27	13.6
平成 28	14.2
平成 29	14.4
平成 30	13.6
10 年間平均	13.8

※気象庁ホームページ (www.jma.go.jp) より作成

5. 基本事項検討

5.1. 気象条件

気象条件の整理にあたっては、気象庁ホームページ（www.jma.go.jp）で公開している「過去の気象データ」を用いた。

(1) 観測地点

観測地点：「高田」

(2) 日降雪深と時間降雪深

観測地点における過去 10 年間（平成 21 年度～30 年度）の 12 月～3 月の降雪深と降雪日数を表 5.1 に示す。

表 5.1 過去 10 年間の降雪深と降雪日数

項目 年度	降雪深 (cm) ※1					降雪日数 (日) ※2				
	12 月	1 月	2 月	3 月	合計	12 月	1 月	2 月	3 月	合計
平成 21	90	296	219	5	610	10	24	15	3	52
平成 22	72	360	35	124	591	8	30	9	16	63
平成 23	96	286	209	53	644	13	24	18	9	64
平成 24	152	215	195	17	579	16	17	21	6	60
平成 25	34	181	139	66	420	8	15	15	9	47
平成 26	188	140	112	31	471	13	22	9	6	50
平成 27	18	144	164	14	340	5	19	17	2	43
平成 28	26	121	83	27	257	2	13	16	3	34
平成 29	76	265	215	5	561	16	20	18	2	56
平成 30	38	129	125	4	296	7	19	10	3	39
合計	790	2137	1496	346	4769	98	203	148	59	508

注) 気象庁ホームページ「過去の気象データ・ダウンロード」より作成

※1: 「降雪量月合計」を引用、※2: 「降雪量日合計」より降雪量 1cm 以上の降雪日数を算出

降雪深の合計（4,769cm）と降雪日数の合計（508 日）より、過去 10 年間の平均日降雪深（Hm）は以下のようになる。

$$\begin{aligned}\text{平均日降雪深 (Hm)} &= 4,769\text{cm} \div 508 \text{ 日} \\ &\div 9.4\text{cm/日}\end{aligned}$$

設計に用いる時間降雪深（hs）は次式により算定する。

$$\begin{aligned}h_s &= 0.425 \times H_m^{0.7} \\ &= 0.425 \times 9.4^{0.7} \\ &= 2.03 \dots \div 2.0\text{cm/h}\end{aligned}$$

出典：路面消・融雪施設等設計要領 P.19

(3) 気温と風速

設計に用いる気温は、冬期間で最も気温の低い月の日最低気温の月平均値を採用する。また、風速は気温を採用した月における平均風速を採用する。

(出典：路面消・融雪施設等設計要領 P. 158)

表 5.2 に示す過去 10 年間（平成 21 年度～30 年度）の月別日最低気温平均値より 2 月の平均値（-0.9℃）を採用する。

表 5.2 過去 10 年間の月別日最低気温平均値（単位：℃）

年度\月	12 月	1 月	2 月	3 月
平成 21	1.9	-0.5	0.3	1.6
平成 22	2.2	-0.2	-0.5	1.5
平成 23	1.5	-1.6	-1.2	-0.3
平成 24	0.0	-1.3	-2.3	0.6
平成 25	1.9	-1.3	-1.8	0.9
平成 26	0.8	-1.3	-0.9	2.1
平成 27	2.4	-0.2	-0.1	1.5
平成 28	2.2	0.1	-0.5	1.8
平成 29	0.8	0.1	-0.3	1.9
平成 30	2.7	-1.5	-1.9	2.0
平均	1.6	-0.8	-0.9	1.4

注）気象庁ホームページ「過去の気象データ・ダウンロード」より作成

表 5.3 に示す過去 10 年間（平成 21 年度～30 年度）の月別平均風速より 2 月の平均値（2.5m/s）を採用する。

表 5.3 過去 10 年間の月別平均風速（単位：m/s）

年度\月	12 月	1 月	2 月	3 月
平成 21	2.6	2.8	2.5	2.8
平成 22	2.6	2.8	2.0	2.4
平成 23	2.6	2.7	2.2	2.4
平成 24	3.0	2.4	2.5	2.4
平成 25	2.9	2.6	2.8	2.6
平成 26	3.2	2.6	2.1	2.8
平成 27	2.5	2.9	2.7	2.6
平成 28	3.0	2.5	2.7	2.2
平成 29	3.0	3.3	3.3	2.5
平成 30	2.8	3.0	2.5	2.8
平均	2.8	2.8	2.5	2.6

注）気象庁ホームページ「過去の気象データ・ダウンロード」より作成

以上のことから、本設計に適用する気象条件は、表 5.4 のようになる。

表 5.4 気象条件まとめ

項 目	記号	単位	数値
設計時間降雪深	h_s	cm/h	2.0
設計気温	t_a	℃	-0.9
設計風速	V	m/s	2.5

5.2. 必要熱量の算出

(1) 算定式

融雪または凍結防止に必要な熱量はそれぞれ次式によって算定し、いずれか大きい方を単位面積当たりの必要熱量とする。

・融雪に必要な熱量

$$q_1 = 1/\eta \cdot (q_s + q_n) \cdots \cdots \cdots \text{式 5-1}$$

q_1 : 融雪熱量 (W/m^2)

η : 熱効率 (一般に土工部 0.8~0.9、橋梁部 0.65~0.75)

q_s : 顕熱 (W/m^2)

q_n : 融解熱 (W/m^2)

・凍結防止に必要な熱量

$$q_2 = 1/\eta \cdot A_\gamma \cdot (q_e + q_i) \cdots \cdots \cdots \text{式 5-2}$$

q_2 : 凍結防止熱量 (W/m^2)

η : 熱効率 (一般に土工部 0.8~0.9、橋梁部 0.65~0.75)

A_γ : 路面上に積雪がなく、蒸発と対流輻射熱による熱損失のある部分の面積と全面積の比

q_e : 気化熱 (蒸発熱) (W/m^2)

q_i : 対流輻射熱 (W/m^2)

(出典: 路面消・融雪施設等設計要領 P. 157~)

(2) 融雪に必要な熱量

一般に大雪が降り続いているとき、すべての雪を直ちに融解し、路面を雪のない状態に保つことは不経済なため、設計時間降雪深以上の降雪が発生したときは、路面全体が薄く雪で覆われている状態まで許容できるものとする。

ここで、式 5-1 の q_s と q_n は次式で表される。

$$q_s = 2.78(c \cdot \Delta \theta \cdot h_s \cdot \rho_s) \quad \dots \dots \dots \text{式 5-3}$$

$$q_n = 2.78(J \cdot h_s \cdot \rho_s) \quad \dots \dots \dots \text{式 5-4}$$

※定数 2.78 は、熱流速 J/cm^2 を W/m^2 に変換するために、 $10,000cm^2/m^2$ を $3,600J/W \cdot h$ で除した数値である。

c : 雪の比熱 ($2.1J/g \cdot ^\circ C$)

$\Delta \theta$: 雪温を $0^\circ C$ まで高める温度 (雪温の絶対値) ($0.9^\circ C$)

h_s : 設計時間降雪深 ($2.5cm/h$)

ρ_s : 雪の密度 ($0.08g/cm^3$)

J : 雪の融解潜熱 ($334J/g$)

(出典: 路面消・融雪施設等設計要領 P. 23, P. 157～)

よって、

$$\begin{aligned} q_s &= 2.78(c \cdot \Delta \theta \cdot h_s \cdot \rho_s) \\ &= 2.78 \times 2.1 \times 0.9 \times 2.0 \times 0.08 \\ &\doteq 0.84 (W/m^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_n &= 2.78(J \cdot h_s \cdot \rho_s) \\ &= 2.78 \times 334 \times 2.0 \times 0.08 \\ &\doteq 148.56 (W/m^2) \end{aligned}$$

ここで、土工部において通常のコンクリート舗装またはアスファルト舗装の場合は熱効率 $\eta = 0.9$ 程度とし、橋梁・高架部等では目安として中空床版橋などのように床版下部への放熱が比較的小さいと考えられる構造の場合は $\eta = 0.75$ 程度とし、その他のコンクリート床版の場合は $\eta = 0.65$ 程度の値とする。

(出典: 路面消・融雪施設等設計要領 P. 158)

従って、今回は土工部 0.9 となり融雪熱量は式 5-1 より次のようになる。

$$\begin{aligned} q_1 &= 1/\eta \cdot (q_s + q_n) \\ &= 1/0.9 \times (0.84 + 148.56) \\ &= 1/0.9 \times 149.4 \\ &= \underline{166.0 (W/m^2)} \end{aligned}$$

(3) 凍結防止に必要な熱量

降雪がない時に、路面を凍結させないためには路面温度を 0℃以上の適切な温度に保つ必要がある。また、式 5-2 において路面全体に雪がないので $A\gamma=1$ になり、さらに 0℃付近での気化熱は無視できる程度に小さいので $q_e=0$ とする。したがって式 5-2 より凍結防止熱量は次式のようになる。

$$q_2 = 1/\eta \cdot q_i$$

ここで、 q_i は次式で表される。

$$q_i = (\alpha_c + \alpha_\gamma) \cdot (t_m - t_a) \quad \dots \text{式 5-5}$$

α_c : 対流による表面熱伝導率 ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

$$\alpha_c = 5.8 + 4.0V \quad (\text{風速 } V \leq 5\text{m/sec の時}) \quad \dots \text{式 5-6}$$

$$\alpha_c = 7.14V^{0.78} \quad (\text{風速 } V > 5\text{m/sec の時}) \quad \dots \text{式 5-7}$$

V : 風速 (2.5)

α_γ : 輻射※による表面熱伝導率 ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

$$\alpha_\gamma = 5.41/(t_m - t_a) \cdot \{[(273+t_m)/100]^4 - [(273+t_a)/100]^4\} \quad \dots \text{式 5-8}$$

※輻射(熱)…物体から貯まった熱が放出されること

t_m : 路面温度 (1.0℃)

t_a : 気温 (-0.9℃)

(出典: 路面消・融雪施設等設計要領 P. 158)

$$\therefore \alpha_c = 5.8 + 4.0 \times 2.5$$

$$= 15.8 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\therefore \alpha_\gamma = 5.41/(1.0 - (-0.9)) \times \{[(273+1.0)/100]^4 - [(273+(-0.9))/100]^4\}$$

$$\doteq 4.41 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\therefore q_i = (15.8 + 4.41) \times (1.0 - (-0.9))$$

$$\doteq 38.4 \text{ (W/m}^2)$$

これより、熱効率 η を土工部 0.9 とすると融雪熱量は次のようになる。

$$q_2 = 1/\eta \cdot q_i$$

$$= 1/0.9 \times 38.4$$

$$\doteq 42.7 \text{ (W/m}^2)$$

(4) 必要熱量

以上の結果により、融雪熱量(q_1)と凍結防止熱量(q_2)のうち、大きい熱量を設計の単位面積当たり必要熱量とすると、以下のようになる。

$$q_1 = 166.0 \text{ (W/m}^2) > q_2 = 42.7 \text{ (W/m}^2)$$

$\therefore$ 単位面積当たり必要熱量

$$q = \boxed{166.0 \text{ W/m}^2}$$

5.3. 融雪範囲

(1) 融雪対象範囲

融雪対象範囲は本業務仕様書より、表 5.5 および図 5.1 に示すとおりである。

表 5.5 融雪対象範囲

融雪対象範囲	面積
堆雪場（西側）	164m ²
堆雪場（東側）	86m ²

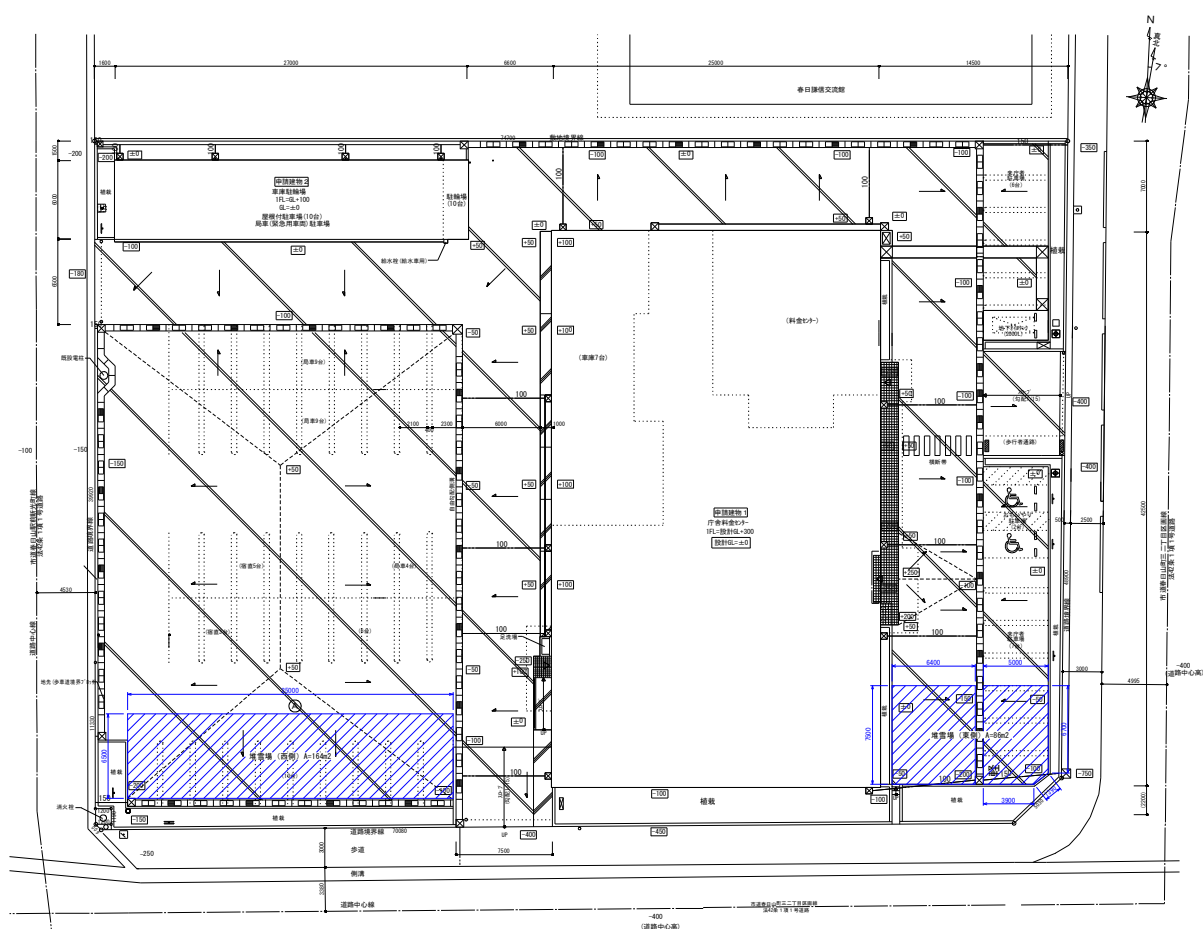


図 5.1 融雪対象範囲図

5.4. 融雪方式の検討

(1) 無散水融雪工法の熱源による分類

無散水融雪工法は、放熱管や電熱線で舗装体を温めて路面上の雪を解かしたり、凍結防止を行う施設である。

融雪用の熱源としては、主に①自然エネルギー、②ローカルエネルギー、③化石エネルギーに大別される。

①自然エネルギー	： 自然界に存在する熱エネルギー (地下水熱、地熱、太陽熱、空気熱、海水熱、風力など)
②ローカルエネルギー	： 都市排熱等の二次的に発生した熱エネルギー (温泉熱、都市排熱、工場等温排水、発酵熱など)
③化石エネルギー	： 化石燃料を主体とした熱エネルギー (石油、ガス、電気など)

このうち無散水融雪設備の熱源としては、温水ボイラーによる温水循環方式や電熱ロードヒーティングなど、安定した熱を供給することができる化石エネルギーを利用した施設が最も多く普及している。

しかしながら、近年では、CO₂の発生に伴う地球温暖化や地下水の大量汲み上げによる地盤沈下の発生などの環境問題が懸念されているため、自然エネルギーやローカルエネルギーを利用し、環境に配慮した融雪施設が開発されている。

また、化石エネルギーを利用したシステムにおいても、エネルギーを有効利用するために、ガスエンジンやマイクロガスタービンなどを利用したコージェネレーションシステムによる融雪施設も利用されている。

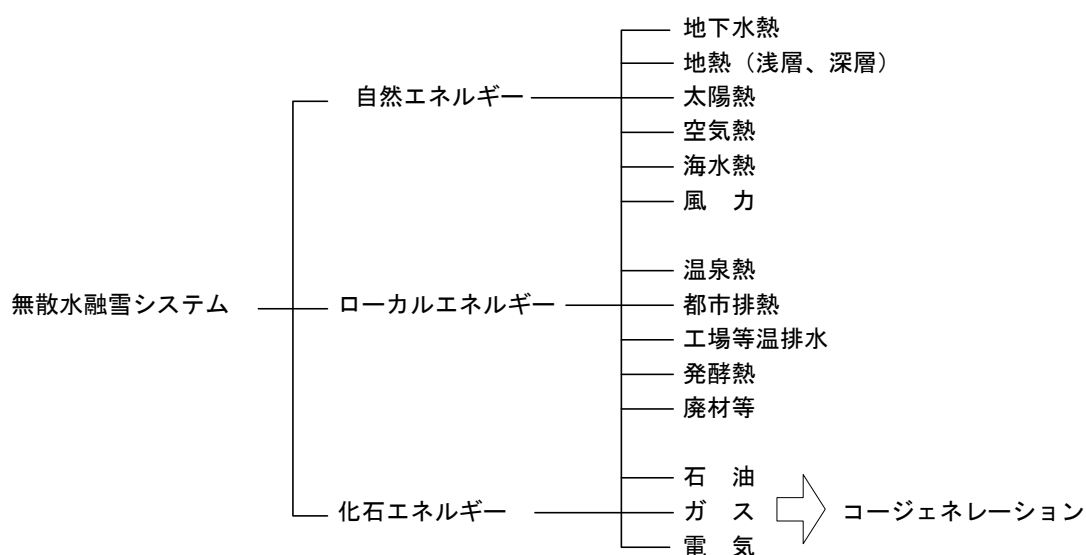


図 5.2 無散水融雪設備の主な熱源

(2) 融雪用熱源の評価

計画地における融雪熱源の利用可能性について評価すると表 5.6 の通りとなる。これより、地中熱、空気熱、ボイラー、電熱が利用可能な熱源である。

表 5.6 融雪用熱源の評価

熱 源		熱 源 の 評 価	利用 可能性 ^(注)
自然エネルギー	地下水熱	計画地において、地下水の取水規制が設けられていること等から、本検討での評価対象としない。	—
	地中熱	地中熱を利用する場合は、気象条件から採熱井戸が多くなるが、施工可能であれば採用できる。	○
	太陽熱 (蓄熱方式)	蓄熱土量が大規模になり、施工がきわめて困難であるため利用できない。	×
	空気熱	利用可能である。	○
	海水熱	海岸から遠いため利用はできない。	×
	風力熱	冬期の平均風速が2.5m/sと小さいため利用できない。	×
ローカルエネルギー	温泉熱	計画地の近くには、豊富な温泉施設などが無く、温泉熱の利用はできない。	×
	下水処理熱	計画地近隣に下水処理施設は無く、利用できない。	×
	都市廃熱等	計画地の近くには、都市廃熱等の熱源がなく、利用できない。	×
	バイオ熱	実験段階であり、実用化に達していない。	×
化石エネルギー	石油・ガス (ボイラー)	利用可能である。ただし、自然熱源を利用した場合に比べてランニングコストが高くなり、環境負荷等について検討が必要である。	○
	電 気	利用可能である。ただし、他の熱源利用に比べてランニングコストが非常に高くなる傾向にある。	○

注) ×：利用不可能 ○：利用可能 —：評価対象外

(3) 利用可能方式の概要

(2) で検討した利用可能な熱源を適用した融雪方式について概要を以下にまとめる。

①必要水量の計算

〈計算条件〉

Q_r : 必要水量 (l/min)

d : 放熱管の管径 15A (0.0161m) 標準的な仕様 SGP15A で算出

N : 放熱管ユニット数 (放熱管間隔 $p=15\text{cm}$ で想定)

ユニット数 $= 164 \text{ m}^2 \div 15 \text{ m}^2 + 86 \text{ m}^2 \div 15 \text{ m}^2 \approx 17$ ユニット

V : 管内流速 (0.8 m/s)

$$\begin{aligned} Q_r &= \frac{\pi \times d^2 \times V \times 60 \times 10^3}{4} \times N && \text{式 5-9} \\ &= \frac{\pi \times 0.0161^2 \times 0.8 \times 60 \times 10^3}{4} \times 17 \\ &= 9.8 \times 17 \\ &= 166.6 \text{ l/min} \end{aligned}$$

(出典：路面消・融雪施設等設計要領 P.162)

②必要送水温度の計算

〈算定式〉

融雪に必要な送水温度は次式で求められる。(出典：路面消・融雪施設等設計要領 P.162～)

$$T_h = T_1 + \Delta T_2 \quad \text{式 5-10}$$

$$T_1 = \bar{T} + \frac{1}{2} \cdot \Delta T_1 \quad \text{式 5-11}$$

$$\bar{T} = q_u \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda} + q \cdot \frac{a'}{2\pi \cdot \lambda_p \cdot L} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i} + T_m \quad \text{式 5-12}$$

$$\Delta T_1 = \frac{q \cdot a'}{q' \cdot \rho_w \cdot C_w} \quad \text{式 5-13}$$

T_h : 送水温度(°C)

T_1 : 放熱管入口温度(°C)

ΔT_2 : 送水管からの温度低下量(0.2°C)

$\bar{T}$: 放熱管平均通水温度(°C)

q_u : 上部放熱量(148.6 W/m²)

q : 単位面積当たり必要熱量(土工部：166.0 W/m²)

L_1 : 放熱管中心から路面までの最長距離

L_2 : 放熱管中心から路面までの最短距離

λ : 舗装の熱伝導率(熱伝導率 W/m・°C)

a' : 1 ユニット当たり放熱管面積(土工部：15 m²)

λ_p : 放熱管の熱伝導率 (SGP15A : 43 W/m・℃)
 L : 1 ユニット当たり放熱管長さ (土工部 : 100 m)
 d_o : 放熱管外径 (0.0217m)
 d_i : 放熱管内径 (0.0161m)
 T_m : 路面加熱状態温度 (凍結防止熱量を採用の為 1.0℃)
 ΔT_1 : 放熱による温度低下 (℃)
 q' : 1 ユニット当たり送水量 (0.000163 m³/sec 9.8 l/min)
 ρ_w : 循環水の密度 (1,045 kg/m³)
 C_w : 循環水の比熱 (3,727 J/kg・℃)

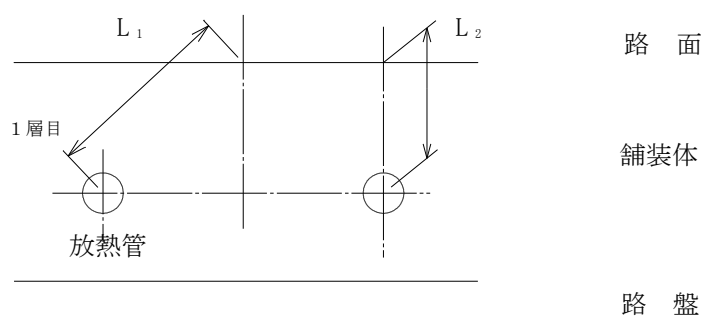


図 5.3 放熱部構成

表 5.7 L_1 と L_2 の距離

L_1 、 L_2	土工部諸元	備考
L_1 (m)	0.106	放熱管ピッチ 0.15m
L_2 (m)	0.075	
舗装熱伝導率 (W/m・℃)	1.6	コンクリート

< 必要送水温度の算定 >

必要な送水温度を算定する。

放熱管平均通水温度 ($\bar{T}$) は式 5-13 より、

$$\begin{aligned}
 \bar{T} &= q_u \cdot \frac{L_1 + L_2}{2\lambda} + q \cdot \frac{a'}{2\pi \cdot \lambda_p \cdot L} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i} + T_m \\
 &= 171.3 \times \frac{0.106 + 0.075}{2 \times 1.6} + 190.3 \times \frac{20}{2 \times \pi \times 43 \times 100} \times \ln \frac{0.0217}{0.0161} + 1.0 \\
 &= 9.5 (^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

放熱による温度低下 (ΔT_1) は式 5-12 より、

$$\Delta T_1 = \frac{q \cdot a'}{q' \cdot \rho_w \cdot C_w}$$

$$= \frac{166.0 \times 15}{0.000163 \times 1045 \times 3727}$$

$$\div 3.92 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

よって、放熱管入口温度(T1)は式 5-11 より次のようになる。

$$T_1 = \bar{T} + \frac{1}{2} \cdot \Delta T_1$$

$$= 9.5 + \frac{1}{2} \times 4.50$$

$$\div 11.8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

したがって、必要送水温度(T_h)は式 5-10 より次のようになる。

$$T_h = T_1 + \Delta T_2$$

$$= 11.8 + 0.2$$

$$= 11.8$$

$$\div 12.0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上より、放熱管(SGP)に循環水を通水させて融雪を行う場合は、概ね 12℃以上の循環水温度が必要となる。

(ア)地中熱ヒートポンプ方式

ヒートポンプを併用した地中熱ヒートポンプ方式は、地中熱と機械（電気）の併用方式である。

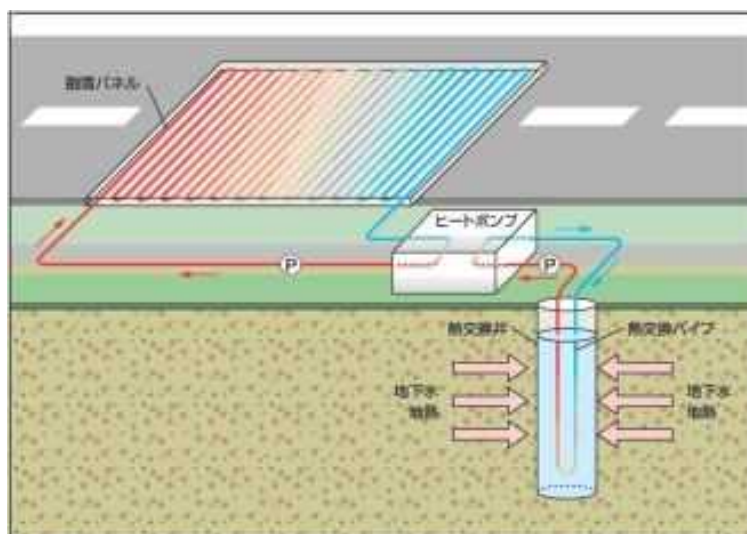


図 5.4 地中熱ヒートポンプ融雪システム 概要図

[ヒートポンプの出力]

全体の必要熱量 Q_h は次式により算定する。

$$Q_h = q \cdot A + q_l$$

Q_h : 全体の必要熱量 (W)

q : 単位面積当り必要熱量 (W/m²)

A : 融雪面積 (m²)

q_l : 送水管からの損失熱量 (W)

ここで、送水管からの損失熱量 q_l は、次式によって算出する。

$$q_l = Q_r \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot \Delta T_2$$

Q_r : 送水量 (m³/s)

$$17 \text{ パネル} \times 9.8 \text{ l/min} = 166.6 \text{ l/min}$$

ρ_w : 融雪用不凍液の密度＝エチレングリコール系 40%濃度 1,045 (kg/m³)

C_w : 融雪用不凍液の比熱＝エチレングリコール系 40%濃度 3,727 (J/kg・℃)

ΔT_2 : 送水管からの温度低下量 0.2 (℃)

(出典：路面消・融雪施設等設計要領 P.164)

これより、ヒートポンプ出力は次式のように算出される。

$$H_p = Q_h \cdot k'$$

H_p : ヒートポンプ出力 (kW)

Q_h : 全体の必要熱量 (kW)

k' : 安全率 (空気熱源方式 1.05～1.1、地中熱方式 1.0)

(出典：路面消・融雪施設等設計要領 P.179)

これらを用いて以下にヒートポンプ出力を算定する。

$$q_1 = 166.0 / 60 / 1000 \times 1,045 \times 3,727 \times 0.2$$

$$\div 2.2 \text{ (kW)}$$

$$Q_h = (250 \text{ m}^2 \times 0.166 \text{ kW/m}^2) + 2.2$$

$$\div 43.7 \text{ (kW)}$$

$$H_p = 43.7 \times 1.0$$

$$\div 43.7 \text{ (kW)}$$

よって、ヒートポンプの出力は 43.7 kW となる。

[地中熱交換井の本数]

必要熱量（ヒートポンプ出力）：Q=43.7 kW

地中採熱量：「必要熱量」－「必要熱量」/COP = 43.7-43.7/5 $\div$ 35.0 kW

COP：地中熱ヒートポンプ成績係数(目標値 5.0)

地中熱交換井の熱交換器総延長：「地中採熱量」/「長さ当り採熱量」

$$= 35.0 \text{ kW} / 35 \text{ W/m} \div 1,000 \text{ m}$$

※地中の連続可能採熱量は 30～40W/m と言われているため（「地中熱ヒートポンプシステム」北海道大学 地中熱利用システム工学講座 H19.9）、35W/m とする。

（なお、平成 26 年度 国補 軽井沢中学校校舎他建設工事地中熱利用設備工事サマールレスポンス試験においては、推定放熱量が平均 36.7W/m と推定されている。）

地中熱交換井本数：「地中熱交換井の熱交換器総延長」/「採熱井深」

$$= 1,000 \text{ m} / 100 \text{ m} \div 10 \text{ 本}$$

方 式	仕 様
地中熱ヒートポンプ方式	融雪面積：250 m ² ヒートポンプ：43.7 kW級 熱交換井戸：100m級×10本

(イ)地中熱ヒートパイプ方式

地中熱ヒートパイプは、電気等のエネルギー投入や制御設備が不要で、地表部と地中の温度差に応じて放熱を行います。

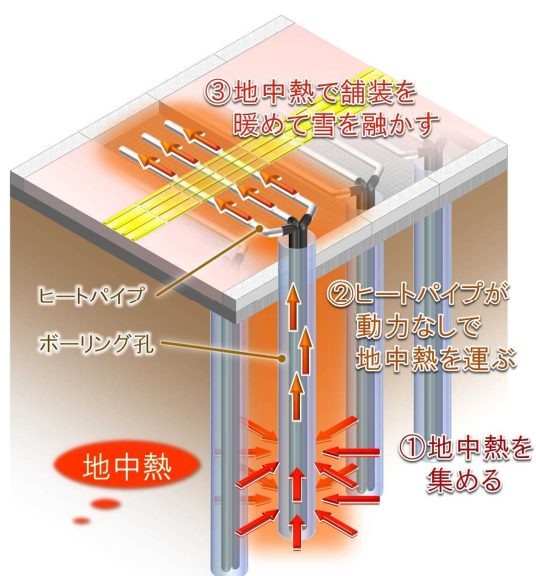


図 5.5 地中熱ヒートパイプ融雪システム 概要図

1) 必要熱量を満足する構造の検討

○施設構造

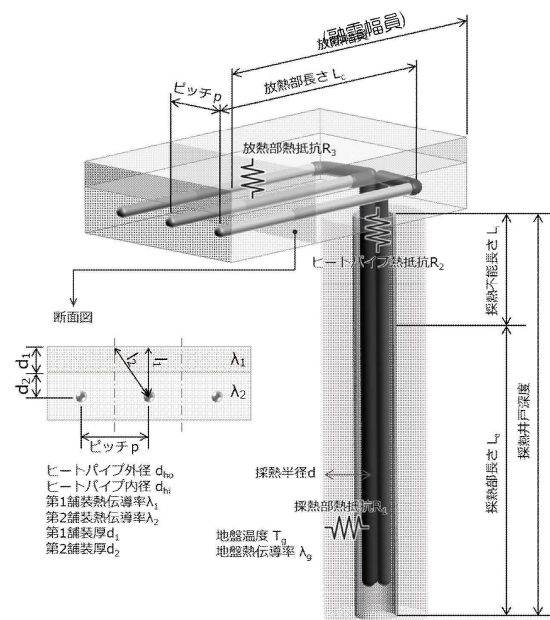
第1舗装材： コンクリート 55 mm
第2舗装材： コンクリート 0 mm
第3舗装材： コンクリート 0 mm

○放熱量の算出

放熱量は、以下の式により算出する。

$$Q = \frac{T_g - T_m}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [W/m^2\text{°C}]$$

T_g ： 地盤温度 $[^{\circ}\text{C}]$
 T_m ： 路面温度 $[^{\circ}\text{C}]$
 R_1 ： 採熱部熱抵抗 $[m^2\text{°C}/W]$
 R_2 ： ヒートパイプ熱抵抗 $[m^2\text{°C}/W]$
 R_3 ： 放熱部熱抵抗 $[m^2\text{°C}/W]$



各熱抵抗は以下の式で算出する。

採熱部熱抵抗

$$R_1 = \frac{p W n_{hp}}{2 \pi L_e} \left[\frac{\ln(d/d_{wo})}{\lambda_g} + \frac{\ln(d_{wo}/d_{wi})}{\lambda_w} + \frac{\ln(d_{wi}/d_o)}{\lambda_f} + \frac{\ln((d_o)/(d_o - 2d_{po}))}{\lambda_{po}} + \frac{\ln((d_o - 2d_{po})/(d_o - 2d_{hp} - 2d_{po}))}{\lambda_{hp}} \right] \quad [m^2 \circ C/W]$$

W : 融雪幅員	= 3.00	[m]	
p : ヒートパイプピッチ	= 0.200	[m]	
L _c : ヒートパイプ放熱部長さ	= 2.88	[m]	
L _e : ヒートパイプ採熱部長さ	= 10.0	[m]	≒ 採熱井戸深度 - L _i
L _i : 採熱不能部長さ	= 8.0	[m]	
d _{ho} : ヒートパイプ外径	= 0.0265	[m]	
d _{hi} : ヒートパイプ内径	= 0.0255	[m]	
d _{hp} : ヒートパイプ肉厚	= 0.0005	[m]	
λ _{hp} : ヒートパイプ管材熱伝導率	= 16	[W/m°C]	
d _{po} : ポリエチレンシース厚	= 0.001	[m]	
λ _{po} : ポリエチレン熱伝導率	= 0.30	[W/m°C]	
n _{hp} : ボーリング孔1本あたりのヒートパイプ挿入本数	= 3	[本]	
d _o : 全ヒートパイプ相当外径	= 0.0494	[m]	= (d _{ho} + 2 d _{po}) √ n _{hp}
λ _f : 充填材熱伝導率	= 2.2	[W/m°C]	(ケイ砂)
d _{wo} : 採熱井戸外径	= 0.1143	[m]	
d _{wi} : 採熱井戸内径	= 0.1053	[m]	
λ _w : 井戸管材熱伝導率	= 43.0	[W/m°C]	
d : 採熱径	= 1.2494	[m]	≒ d _o + 1.2
λ _g : 地盤熱伝導率	= 1.10	[W/m°C]	(砂)

以上より、

$$R_1 = 0.07419 \quad [m^2 \circ C/W]$$

ヒートパイプ熱抵抗

$$R_2 = \frac{p W}{\pi d_{hi} (\alpha_e L_e + \alpha_c L_c)} \quad [m^2 \circ C/W]$$

α _e : ヒートパイプ蒸発熱伝達率	= 1750.0	[W/m ² °C]
α _c : ヒートパイプ凝縮熱伝達率	= 1750.0	[W/m ² °C]

以上より、

$$R_2 = 0.00033 \quad [m^2 \circ C/W]$$

放熱部熱抵抗

放熱部熱抵抗は、「路面消・融雪施設等設計要領」（路面消・融雪施設等設計要領編集委員会：2000）の融雪施設のモデルに基づいて以下のように求めた。

$$R_3 = \frac{W}{L_c} \cdot \left[\frac{l_1 + l_2}{2\lambda} \eta + \frac{p}{2\pi} \frac{\ln(d_{ho}/d_{hi})}{\lambda_{hp}} \right] \quad [m^2 \cdot ^\circ C / W]$$

l_1 : ヒートパイプ中心から路面までの最長距離	= 0.1141	[m]
l_2 : ヒートパイプ中心から路面までの最短距離	= 0.0550	[m]
λ : 舗装の熱伝導率	= 1.60	[W/m・°C]
η : 熱効率	= 0.90	

※舗装が3層の場合の舗装の熱伝導率

$\lambda = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}}$	λ_1 : 第1舗装熱伝導率	= 1.60	[W/m・°C]	コンクリート
	λ_2 : 第2舗装熱伝導率	= 1.60	[W/m・°C]	コンクリート
	λ_3 : 第3舗装熱伝導率	= 1.60	[W/m・°C]	コンクリート
	d_1 : 第1舗装厚	= 0.055	[m]	
	d_2 : 第2舗装厚	= 0.000	[m]	
	d_3 : 第3舗装厚	= 0.000	[m]	

上式より、 $R_3 = 0.04963 \quad [m^2 \cdot ^\circ C / W]$

求められた各熱抵抗より、放熱量は以下のように求められる。

$$Q = (T_g - T_m) / (R_1 + R_2 + R_3) \\ = (15.9 - 0.0) / (0.07419 + 0.00033 + 0.04963) \\ = 128.1 \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

○融雪能力について

必要熱量と見込み放熱量を比較すると、

$$\begin{array}{ccc} 166.0 & [W/m^2] & > & 128.1 & [W/m^2] & (77 \%) \\ \text{必要熱量} & & & \text{見込み放熱量} & & \end{array}$$

となり、融雪能力を70%以上確保するものと算出される。

方 式	仕 様
地中熱ヒートパイプ方式	融雪面積：250 m ² ヒートパイプ：L=21.1m（放熱長2.88m）351本 採熱井戸：18.5m級×117本

(ウ)空気熱ヒートポンプ方式

空気熱を利用した融雪システムとしては、空気熱ヒートポンプ方式が利用可能である。そこで、地熱ヒートポンプ方式のヒートポンプ出力算出式と同様の式を用いて、空気熱源ヒートポンプの出力を以下に算出する。ただし、空気熱源ヒートポンプであることから、安全係数 k' は 1.1 とする。

(出典：路面消融雪施設等設計要領 p 179)

$$H_p = Q_h \cdot k'$$

H_p ：ヒートポンプ出力(kW)

Q_h ：全体の必要熱量(kW) $\doteq 43.7\text{kW}$

k' ：安全率(空気熱源方式 1.05～1.1)

$$H_p = 43.7 \times 1.1$$

$$\doteq 48.1 \text{ (kW)}$$

方 式	仕 様
空気熱ヒートポンプ方式	融雪面積：250 m ² ヒートポンプ：48.1 kW級

(エ)温水ボイラー方式

温水ボイラー方式は、液体燃料または都市ガスを燃料として必要な熱量を循環水に加える方式である。

温水ボイラーの出力は以下の算定式で求める。

$$H_b = Q_h \cdot k_1 \cdot k_2$$

H_b ：容量（缶体出力 kW）

Q_h ：全体の必要熱量（kW）

k_1 ：配管損失係数（1～1.1）

k_2 ：たき始め負荷係数（1～1.2）

(出典：路面消・融雪施設等設計要領 P. 174)

$$H_b = 43.7 \times 1.1 \times 1.2$$

$$\doteq 57.7 \text{ (kW)}$$

方 式	仕 様
温水ボイラー方式	融雪面積：250 m ² ボイラー加熱出力：57.7kW

(オ)電熱方式

電熱方式は、電気で発熱線に負荷をかけて必要な発熱を与える方式である。

電熱方式のヒーター出力は、全体の必要熱量が必要となる。

$$\begin{aligned}\text{ヒーター出力} &= \text{単位面積当たり必要熱量} \times \text{融雪面積} \\ &= 166.0\text{W/m}^2 \times 250\text{ m}^2 \\ &\approx 41.5\text{kW}\end{aligned}$$

方 式	仕 様
電熱方式	融雪面積：250 m ² ヒーター出力：41.5kW

5.5. 利用可能融雪方式の比較

5.4. (3) で検討した各方式の概要から、イニシャルコストおよびランニングコストを算出し、経済性を評価するとともに、融雪能力、施工性、維持管理性、環境負荷の各項目についても評価して、利用可能融雪方式を比較検討した。

なお、比較検討は各項目の評価点の合計を 100 点満点として評価することとし、各項目の評価点は表 5.8 のように配点した。比較検討表を表 5.9 に示す。

表 5.8 評価項目と配点

評価項目	点数	配点条件		
融雪能力 (10 点満点) ※必要能力 =設計条件に合 致する場合に 必要な融雪熱 量	10 点	運転時に必要能力を発揮可能		
	8 点	運転時に必要能力を発揮可能であるが、方式の特性上調整運転時間が必要な場合がある。(霜取り運転等) 機械的に必要能力が調整できず、最大で必要能力の 80%程度能力が見込める。		
	6 点	機械的に必要能力が調整できず、最大で必要能力の 70%程度能力が見込める。		
施工性 (5 点満点) (加点制)	1 点	融雪部分以外の施工箇所が無い		
	1 点	採熱孔や井戸などの地下深く掘削が必要な工種が無い		
	1 点	気密性および勾配管理が必要な配管施工が無い		
	1 点	高圧受電施工および油タンク施工が無い		
	1 点	構造部との干渉が無い		
維持管理性 (15 点満点)	15 点	シーズン前後の点検および日常点検が不要		
	10 点	シーズン前後の点検が必要。 センサー利用による自動運転が可能で基本的に日常点検が不要		
	5 点	シーズン前後の点検が必要。 センサー利用による自動運転が可能であるが、燃料補給が必要		
環境負荷 (10 点満点) [年間 CO2 排出量] + [ばい煙排出有無]	配点	年間 CO2 排出量 (概算)	配点	年間 CO2 排出量 (概算)
	10 点	0t/年	-5 点	ばい煙排出有り
	8 点	1t/年以上 5t/年未満	-3 点	騒音・振動有り
	6 点	5t/年以上 10t/年未満		
	4 点	10t/年以上 15t/年未満		
	2 点	15t/年以上 20t/年未満		
	-5 点	20t/年以上 40t/年未満		
	-10 点	40t/年以上		
経済性 (60 点満点)	イニシャルコスト、ランニングコストについてそれぞれ下式で算出する。 ※満点 60 点=イニシャルコスト 35 点+ランニングコスト 25 点 $\frac{\text{最大コスト方式のコスト} - \text{評価耐用方式のコスト}}{\text{最大コスト方式のコスト}} \times (\text{満点})$			
合計 100 点満点				

表 5.9 利用可能融雪方式比較表

ケース番号	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
工 法	地中熱ヒートポンプ方式	地中熱ヒートパイプ方式	空気熱ヒートポンプ方式	温水ボイラー方式	電熱方式
熱 源	地中熱＋電気	地中熱	空気熱＋電気	ガス＋電気	電気
概 要 図					
概 要	ヒートポンプを使い地中熱をより融雪に使いやすいエネルギーへ変換することで、高い融雪能力を得ることができる省エネルギーな融雪システム。	採熱井を設置し、その内部に冷媒が充填されたヒートパイプを設置する方式。地温と融雪部の温度差で自動稼働しているため、運転費が不要のメンテナンスフリー方式である。熱源が低温な地温であるため、確保地温と舗装構成で大きく熱量が影響される。なお、ヒートパイプを撤去する際は、撤去前に冷媒を適切に抜取る必要がある。	空気の熱を利用して、ヒートポンプ内蔵の圧縮機により循環水を加熱し、融雪及び凍結防止を行う方式。	ボイラーによりガス燃焼を行い、循環水を加熱し融雪及び凍結防止を行う方式。	電熱ヒーターユニットを舗装内に設置し、電気により熱を発生させて融雪及び凍結防止を行う設備。
機器仕様	地中熱交換井(WUチューブ方式)深度100m 10本 地中熱ヒートポンプユニット 3基 放熱管250㎡・送集水管・不凍液1式	採熱井φ100×18.5m×117本 コルゲートヒートパイプL22.1m×351本	空気熱ヒートポンプユニット 1基 制御盤ポンプユニット 1基 放熱管250㎡・送集水管・不凍液1式	ボイラーユニット2基 ガス供給施設 放熱管250㎡・送集水管・不凍液1式	受電盤・制御盤1面 ヒーターユニット・リードケーブル 低圧受電設備
概算費(250㎡)					
イニシャルコスト(円)	76,000,000	77,000,000	50,000,000	44,000,000	10,000,000
1㎡当りイニシャルコスト(円/㎡)	305,200	309,200	200,800	176,700	40,100
ランニングコスト(円/30年)	45,000,000	0	42,000,000	59,000,000	68,000,000
年あたりランニングコスト(円/年)	電気代(512,265) 点検費(500,000)	0	電気代(677,766) 点検費(500,000)	電気代+ガス代(1,310,025) 点検費(300,000)	電気代(1,635,308) 点検費(300,000)
30年間施設更新内容	不凍液入替(2回)＋電気設備および熱源側循環ポンプ交換(1回)	なし	不凍液入替(2回)＋電気設備入替(1回)	不凍液入替(2回)＋ボイラーユニットおよび電気設備入替(1回)	全設備入替(1回)
トータルコスト(円/30年)	121,000,000	77,000,000	92,000,000	103,000,000	78,000,000
融雪能力(10点)	地中熱採熱量と電気(圧縮機)を複合し、必要送出し温度を確保できるため、能力は高い。	設計計算上、必要熱量の70%程度の能力しか見込んでいない。地温と地表の温度差があれば、常時自動的に放熱を行うが、連続的な強い降雪時の即効性は劣る。	空気熱と電気(圧縮機)を複合し、必要な送り出し温度を確保できるため能力は高い。ただし、霜取り運転中は融雪運転ができず、霜取り運転が頻繁になると効率が低下する。	安定的な運転が期待でき、能力は高い。	安定的な運転が期待でき、能力は高い。
施工性(5点)	10点 大口径の地中熱交換井が複数必要である。ヒートポンプはユニット式なため、現場では据付のみとなる。採熱部、放熱部、送集水管、機械設備と施工の種類が多い。	6点 小口径地中熱交換井の本数が多い。採熱部と放熱部を一体的に施工できるため施工の種類は少ない。	8点 ヒートポンプはユニット式なため、現場で据付のみとなる。放熱部、送集水管、機械設備と施工の種類が若干多い。	10点 ボイラーはユニット式であるため、現場では据付のみとなる。放熱部、送集水管、機械設備、ガス供給設備と施工の種類が多い。消防署への届けが必要。	10点 受電盤・制御盤は現場では据付のみとなる。据付はケーブル類であるため、施工性は良い。
維持管理性(15点)	2点 年次点検が必要である。設備の修繕が必要になることもある。(機械・配管漏水)	2点 維持管理が必要のない、メンテナンスフリーの方式である。	3点 年次点検が必要である。設備の修繕が必要になることもある。(機械・配管漏水)	2点 年次点検が必要である。設備の修繕が必要になることもある。(機械・配管漏水)	3点 年次点検が必要である。ケーブル類は強度が無いことや、接続箇所が多いため、断線・傷による漏電頻度が配管方式に比べ多い。
環境負荷(10点)	10点 COPは4～5程度あり、環境配慮型のシステムであるが、電力消費によるCO2発生はある。(概算CO2排出量：4 tCO2/年)	15点 地中熱100%依存のため、電力やその他燃料は一切不要でCO2発生はない。環境性は最も優れる。(概算CO2排出量：0 tCO2/年)	10点 COPは3程度あり、環境配慮型のシステムであるが、電力消費によるCO2発生量が地中熱ヒートポンプに比べて大きい。(概算CO2排出量：6 tCO2/年)	5点 100%ガスと電気に依存しているため、CO2発生が多く、環境性の評価は低い。(概算CO2排出量：21 tCO2/年)	10点 100%電気に依存しているため、CO2発生が多く、環境性の評価は低い。(概算CO2排出量：13 tCO2/年)
経済性(35点+25点=60点)	5点 このモデルケースでは、トータルコストが最も高価であるが、ランニングコストは中間の価格である。	10点 このモデルケースでは、イニシャルコストが2番目に高価であるが、ランニングコストが0円である。	3点 このモデルケースでは、イニシャルコストが2番目に安価であり、ランニングコストも2番目に安価である。	-13点 このモデルケースでは、イニシャルコストが最も安価であるが、ランニングコストが2番目に高価である。	2点 このモデルケースでは、イニシャルコストが最も安価であるが、ランニングコストが最も高価である。
合計点数(100点)	0点+8点=8点	0点+25点=25点	12点+10点=22点	15点+3点=18点	30点+0点=30点
合計点数(100点)	35点	58点	46点	22点	55点

※イニシャルコストは舗装費用を含まないコストで 10 万円単位を切り上げて算出した。(ア)(ウ)(エ)のイニシャルコストには騒音対策施設費用を含む。

※※ランニングコストの電気代とガス代は年間運転時間を 1,500 時間とした場合の算出コストである。30 年分のランニングコストは、年間ランニングコストの 30 年合計に施設更新費を加え 10 万円単位を切り上げて算出した。

表 5.9 の比較表のうち各方式の評価点のみを抜粋し留意点を付記したものを表 5.10 に示す。また、トータルコストの 30 年推移を図 5.11 に示す。

表 5.10 利用可能融雪方式比較表（評価点と留意点）

ケース番号	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
工 法	地中熱ヒートポンプ方式	地中熱ヒートパイプ方式	空気熱ヒートポンプ方式	温水ボイラー方式	電熱方式
熱 源	地中熱＋電気	地中熱	空気熱＋電気	ガス＋電気	電気
融雪能力 (10点)	10点	6点	8点	10点	10点
施工性 (5点)	2点	2点	3点	2点	3点
維持管理性 (15点)	10点	15点	10点	5点	10点
環境負荷 (10点)	5点	10点	3点	-13点	2点
経済性 (35点＋25点＝60点)	0点＋8点＝8点	0点＋25点＝25点	12点＋10点＝22点	15点＋3点＝18点	30点＋0点＝30点
合計点数（100点）	35点	58点	46点	22点	55点
留意点	・ 地中熱交換井相互の離隔が4m以上必要であり、地中熱交換井だけで約200㎡以上の敷地を要する。	・ 設計計算上、必要熱量の77%程度の能力しか見込めないため、他の方式に比べて残雪深0cmにするための時間が長くなる。	・ 設計外気温（-8.5℃）より低温の場合に能力が低下する恐れがある。	・ ガス供給施設が必要である。	・ 電気代圧縮のために融雪用電力契約が望ましいが、高圧受電のため融雪用電力契約ができない。 （中部電力資料より）

※経済性の評価点は、（イニシャルコスト評価点）＋（ランニングコスト評価点）

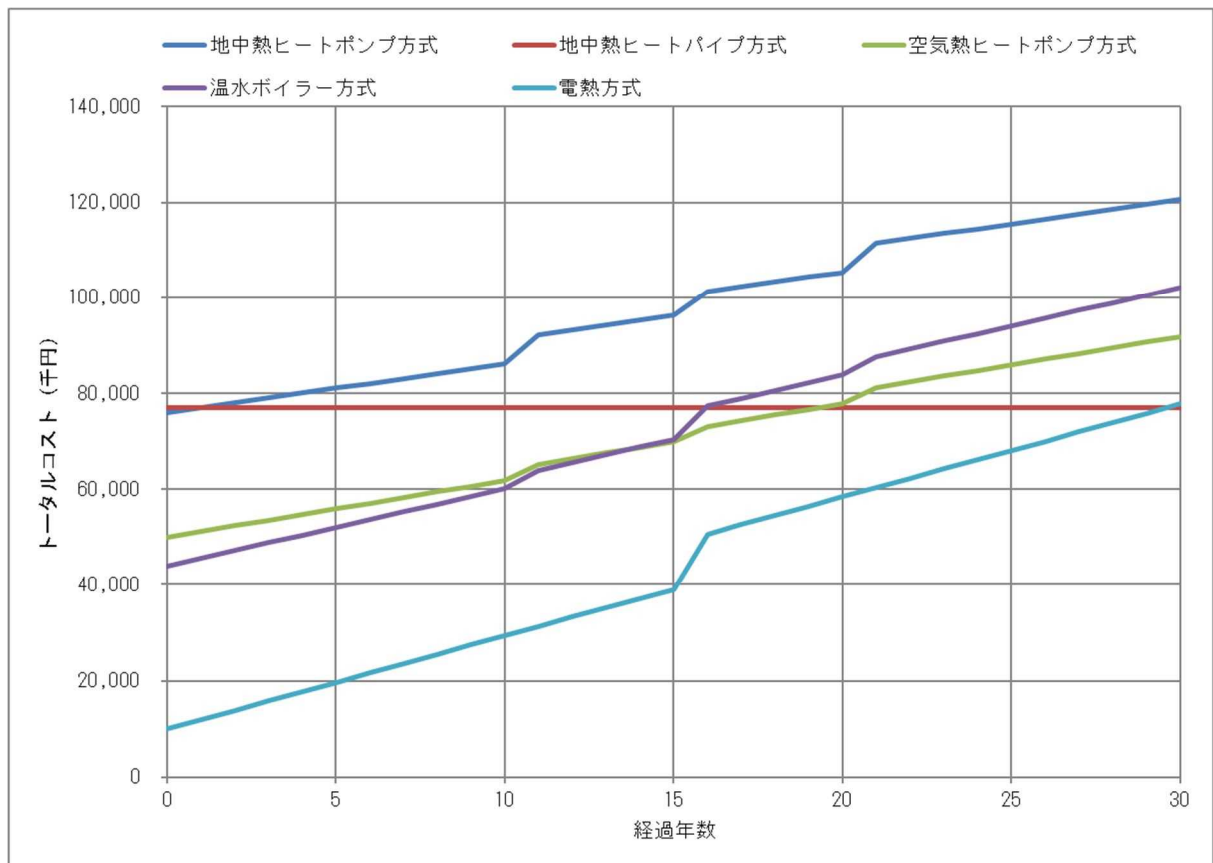


図 5.11 各方式のトータルコスト 30 年推移

[利用可能融雪方式の評価について]

イニシャルコストが最も安価な方式は、電熱方式であるが、電熱方式は年間の電気代が高価であるうえに耐久性に不安があるためランニングコストが最も高価であり 30 年トータルコストが高めに推移する。

ランニングコストが最も安価な方式は、動力費および維持管理が全く必要のない地中熱ヒートパイプ方式であり環境負荷も全く無い。また、30 年トータルコストも最も安価であり、合計評価点でも最も高い得点となっている。ただし、イニシャルコストは 2 番目に高価である。

地中熱ヒートポンプ方式は、経済性の評価が低い、地中熱ヒートパイプ方式以外では最も CO2 排出量が少なく能力も高い。

5.6. 最適方式の選定

利用可能融雪方式の比較検討より、地中熱ヒートパイプ方式を選定する。

5.5. 利用可能融雪方式の比較検討より、地中熱ヒートパイプ方式は、「イニシャルコスト」が2番目に高価であるものの、「ランニングコスト」および「維持管理」が不要で「環境負荷」が無く総合的に最も評価が高い。

地中熱ヒートパイプ方式の評価が高い「ランニングコスト＝“ゼロ”」、「メンテナンスフリー」および「CO2 排出量＝“ゼロ”」については、他に例が無く、非常に優れた点である。

以上のことから、総合的に評価が高い「地中熱ヒートパイプ方式」が最適方式と判断される。