第４章　ロードヒーティング設備

第４章　ロードヒーティング設備

1. 基本方針 5-4-1
1.1　適用 5-4-1
1.2　用途と目的 5-4-2
2. 計画・設計の留意事項 5-4-2
3. 設計手順 5-4-3
4. 融雪設備の種別 5-4-4
5. 方式の概要 5-4-4
6. 設計条件 5-4-5
6.1　気象条件及び地理的条件 5-4-5
6.2　ロードヒーティング設置場所の選定 5-4-6
6.2.1　調査項目 5-4-6
6.2.2　対象施設の構造 5-4-6
6.2.3　沿道（周辺）状況の調査 5-4-6
6.2.4　交通量の把握 5-4-7
6.2.5　除雪の実態（計画）調査 5-4-7
6.2.6　気象特性の調査 5-4-7
7. 発熱線によるロードヒーティングの設計 5-4-14
7.1　車道部・歩道部（高架式を除く）の所要発熱量 5-4-14
7.2　高架道路等の所要発熱量 5-4-17
7.3　発熱線の埋設間隔 5-4-18
7.4　発熱ユニットの設計 5-4-18
8. 自動制御装置 5-4-19
9. 主要器材 5-4-19
9.1　ロードヒーティングケーブル標準規格 5-4-19
9.2　発熱線 5-4-19
9.3　導体抵抗及び呼称 5-4-19
9.4　ケーブル構造 5-4-20
9.5　規格 5-4-20
9.6　リードケーブル 5-4-20

第４章　ロードヒーティング設備

1.　基本方針

基本方針は、次の項目によるほか、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-1-1 基本方針」によるものとする。

1.1　適　用

適用は、次の項目によるほか、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）第13章道路融雪設備」によるものとする。

本要領は、北海道開発局が施工および、維持管理する高規格道路（自動車専用道路）のロードヒーティング設備の設計に際しての基本的な考え方を示すものであり、具体的な設計にあたっては、地域の気象条件，エネルギー源条件，維持管理条件，その他対象場所に求められる諸条件を、充分に考慮する必要がある。

なお、ロードヒーティング設備の設置基準および融雪範囲については、地域性や除雪計画を含む雪氷対策において、総合的に検討するものとする。

また、本要領は、走行する車がチェーンや、スタッドレスタイヤ等の雪路用タイヤを、装着していることを前提としたものである。これと条件の異なる場合には、各設計場所の特殊性を充分考慮したうえで、計画・設計を行う必要がある。

ロードヒーティング設備は、無散水融雪設備の総称として取り扱われることが多いが、無散水融雪設備の発祥が電熱線ロードヒーティングであったことから、電熱線融雪方式＝ロードヒーティング設備が定着している。また、北海道開発局内において施工される融雪設備のほとんどが、電熱線融雪方式であることから、本要領では電熱線融雪方式＝ロードヒーティング設備として記述する。

設計条件の相違や技術進歩により、本要領によることが適当でない場合、技術的により高度な、あるいは対象ヒーティング場所の特殊条件により適合した設計を行うことを妨げるものではない。ただし、この場合でも、本要領の条文に示す技術水準を損なってはならない。

＜参考文献＞

文献-1：「路面消・融雪施設等設計要領」　(社)日本建設機械化協会
文献-2：「ロードヒーティング設備の設計指針」　(社)建設電気技術協会
文献-3：「新編防雪工学ハンドブック」　(社)日本建設機械化協会

1.2 用途と目的

本要領は、北海道開発局が施工および維持管理する高規格道路（自動車専用道路）において、ロードヒーティング設備の合理的な計画・設計・施工および維持管理に資することを目的とする。

(1) 除雪対策の種類

道路等の雪氷対策は、除雪対策・凍結対策・防雪対策・情報対策（雪氷情報の収集・提供）に大別される。このうち、除雪対策を系統的に示したものが図4.1.1である。

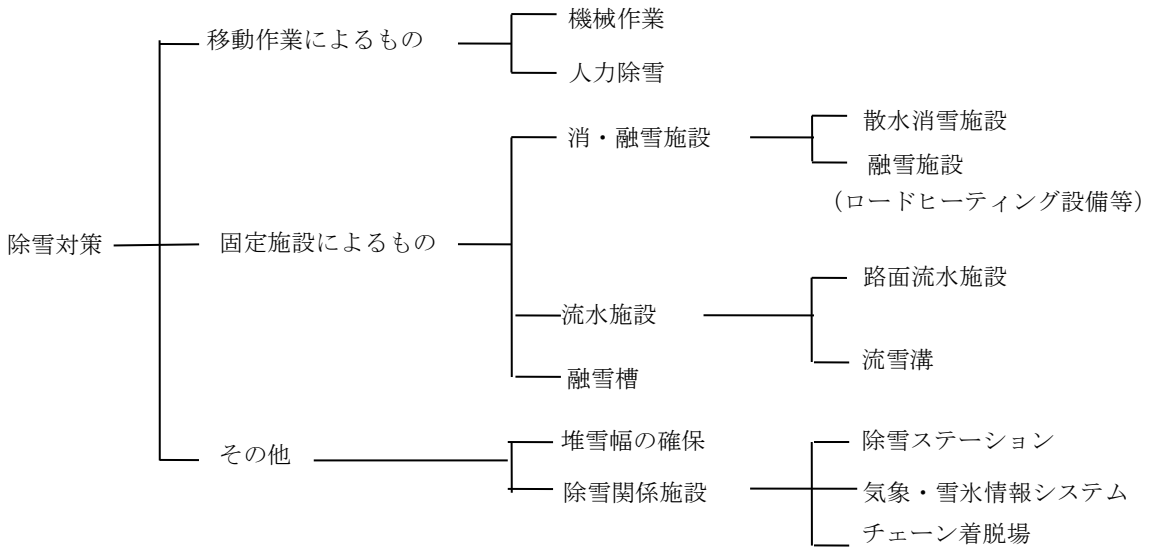


図4.1.1 除雪対策

2. 計画・設計の留意事項

計画・設計の留意事項は、次によるものとする。

ロードヒーティングにおける電気設備は、現地の条件、維持管理を考慮し、計画・設計を行う。
他の施設との異なる留意事項を以下に示す。

(1) 気象条件を十分検討する。

(2) 経済産業省で定める「電気設備に関する技術基準を定める省令・同解釈」および日本産業規格（JIS C 3651)「ヒーティング施設の施工方法」に基づき設計する。

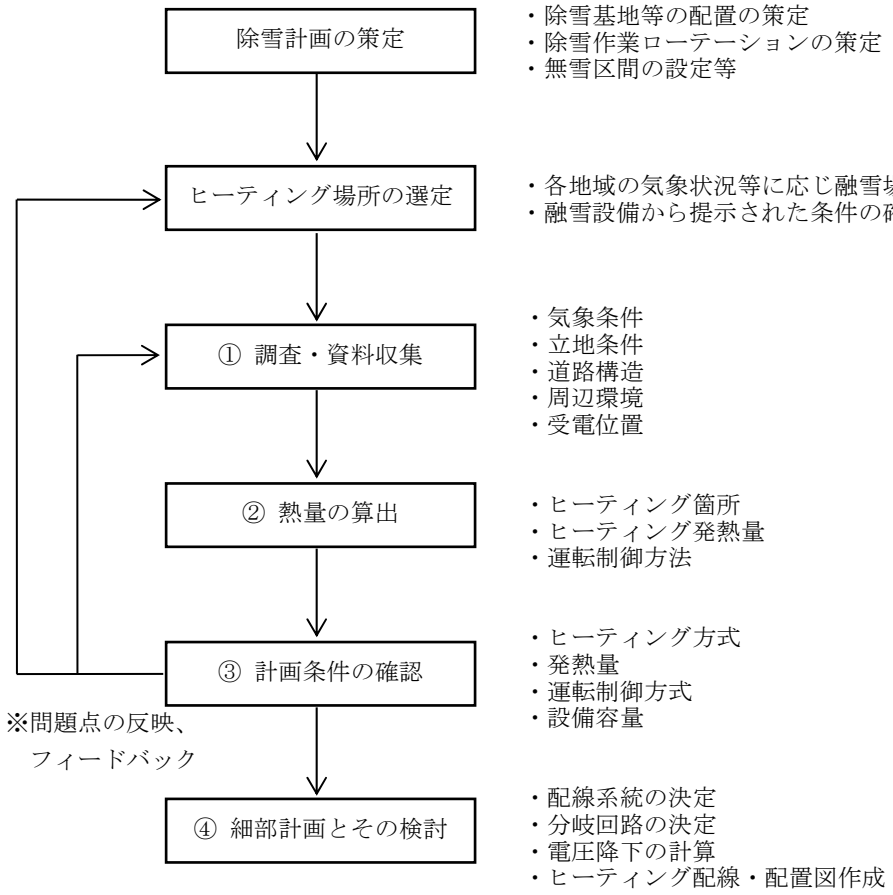
なお、「電気設備に関する技術基準を定める省令・同解釈」の関連する条例は、解釈第228条である。

(3) 設備の運転は、気象状況及び路面状況を検知して制御する「自動運転」とする。

(4) 受電電圧および契約種別は、負荷設備容量、運転時間を考慮して、電気供給契約約款により決定する。

3. 設計手順

積雪地域では、冬期間の交通確保のための除雪対策として、経済性・機動性などを勘案し、機械除雪による体制を主体として整備されていることから、ロードヒーティング設備の計画を行う手順は、次によるものとする。



ロードヒーティング設備は、除雪計画策定の一環として計画され、具体的な融雪場所・融雪範囲については、各地域または、路線毎の冬季の交通運用に対するサービスレベルの考え方，気象条件，立地条件，除雪管理体制，あるいは運用条件等を勘案して決定される。

上記、除雪計画の中で得られた条件を基に、本要領によりロードヒーティング設備の細部計画を行う。

① 調査・資料収集

ロードヒーティング設備の計画に先立ち、立地条件，道路構造，周辺環境等の諸条件ならびに、熱量の算定に必要な気象値等について、調査・資料収集を行う。

② 熱量の算定

熱量は、設計気象値に基づき算定する。ただし、最終的な設備計画上の熱量は、計画対象となる道路の利用形態、機械除雪によるバックアップ体制および、気象条件の類似した道路における融雪効果等を勘案して決定する。

③　計画条件の確認

ロードヒーティング設備の細部計画を行う前に、エネルギー源の確保，設備ヤードの確保，方式の制約事項等について確認する。

例えば、計画条件としての融雪範囲，計画熱量が定まると、対象場所における必要なエネルギー量が明らかになる。その結果、エネルギー源の容量に問題がある場合には、融雪範囲，融雪方式の見直し等、合理的な計画になるような検討を行う。

④　細部計画とその検討

細部計画は、熱量計画，融雪方式の決定により、決められた事項を基に本要領により詳細な検討を行う。

4.　融雪設備の種別

融雪設備の種別は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-1-2 方式の概要」により電熱式を標準とする。

道路における除雪対策の中心をなすものは機械除雪であり、融雪設備は機械除雪が困難な場所，あるいは不適当な場所に適用されている。

融雪設備には各種の方式があるが、道路への適用性，施工実績等から「5.方式の概要」に示す各方式が一般的に採用されている。

散水融雪設備は、設備対効果の面で最も有利である。しかし、「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法」（S31.4.14.法律第72号）に示される積雪地域（2月の積雪の深さが最大値の累年平均（最近5年以上の間における平均）が50㎝以上の地域）では、散布した水の再凍結や融雪区間外への水のひきずりによって発生する路面の凍結など、二次的な障害を引き起こす可能性がある。また、外気温と散布水の温度差が大きい場合に発生する霧などについても対策が必要となることから、無散水融雪設備で対処することとする。

道路における雪害対策は、機械除雪による体制を主体に整備されていることから、融雪設備を設置する場所は機械除雪が困難か不適当な場所であり、ある程度限定されることになる。

このため、設備の方式としては、スポット的な融雪範囲に対応できるもの（ゾーニングが容易なもの）が良いと考えられるので、電熱線融雪方式を標準とする。

5.　方式の概要

融雪方式の概要は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-1-2 方式の概要」によるものとする。融雪方式別コストについては、文献-1によるものとする。

6. 設計条件

6.1 気象条件及び地理的条件

気象条件と地理的条件は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-1-3 設置の条件 1.気象条件及び地理的条件」によるものとする。

道内（札幌管区気象台）の気象データから「日降雪深の大きさと頻度」、「日降雪深の累積相対頻度」のグラフを次に示す。

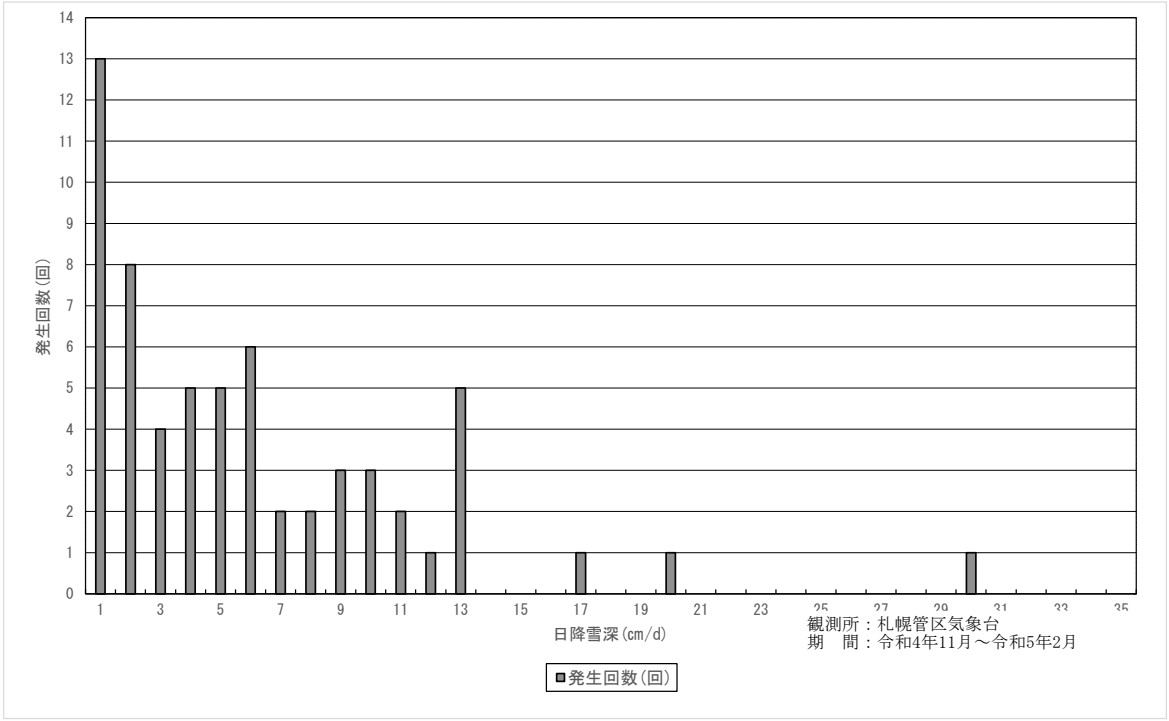


図4.6.1　日降雪深の大きさと頻度

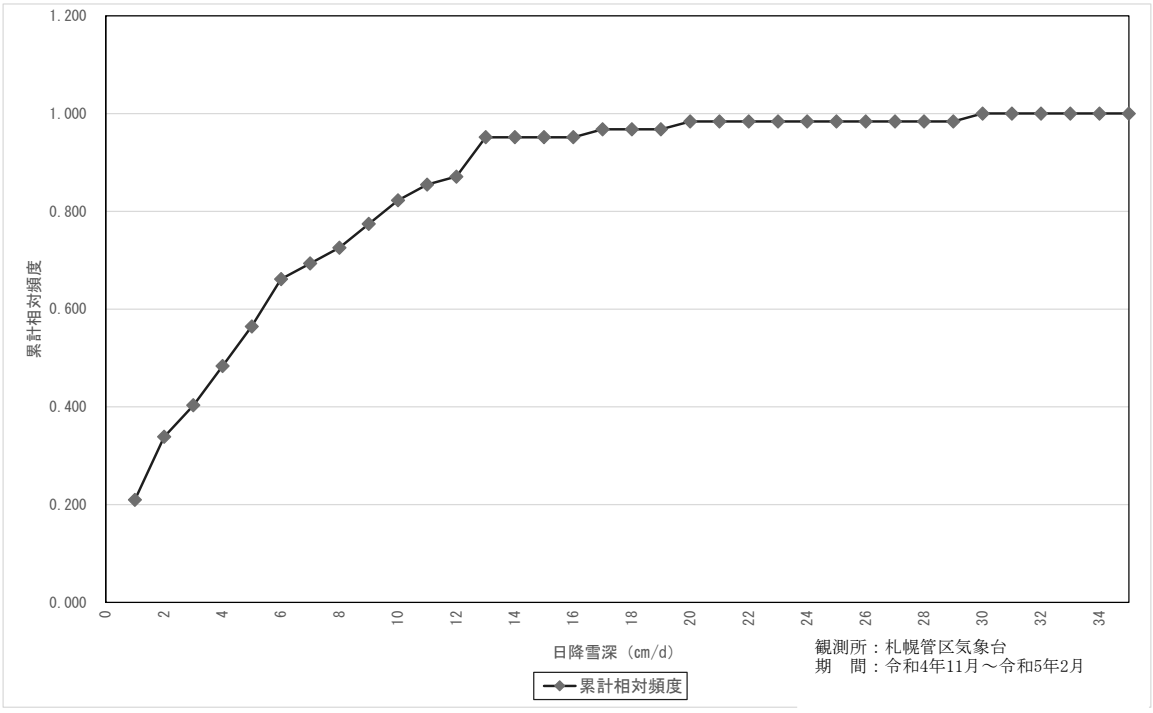


図4.6.2　日降雪深の累積相対頻度

6.2　ロードヒーティング設置場所の選定

ロードヒーティング設置場所の選定については、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-1-3 設置の条件 2.設置場所の選定」によるものとする。また、設置場所の調査については、次の項目によるものとする。

6.2.1　調査項目

調査は、融雪施設の設置計画・設計・維持管理のために必要な資料を得るために実施するもので、必要な調査項目はおおむね次のとおりである。

(1) 融雪対象施設の特定
(2) 除雪の実態（計画）
(3) 融雪対象施設の構造
(4) 融雪対象施設の沿道（周辺）状況
(5) 交通量等の状況
(6) 気象特性
(7) 融雪レベルの設定

融雪設計の設置計画を検討するには、融雪の対象とする施設の設置箇所の諸条件を調査したうえで除雪対策の実態などを把握し、融雪施設設置の可能性を見出し、融雪レベルを設定して検討する必要がある。

調査項目は、大別して融雪しようとする施設（車道・歩道・チェーン着脱場等）の範囲，気温・降雪深などの気象特性など設置場所・目的に応じた調査をしなければならない。

6.2.2　対象施設の構造

対象とする車道・歩道・駐車帯等の構造（延長・幅員・面積・勾配・舗装構造・排水の状況等）を調査しなければならない。

融雪施設の設置計画・設計に際し、対象とする施設の構造・形状がわからないと融雪施設の設置位置や型式・種類が選定できず、融雪に必要なエネルギー計算等もできないため、構造や形状を明確にする必要がある。

なお、排水施設は他に被害を及ぼすことのないよう充分調査しなければならない。

6.2.3　沿道（周辺）状況の調査

沿道状況や道路等の利用状況によって、融雪の方法，融雪に利用するエネルギー等が制限されることがあるので、沿道および周辺の状況を調査しなければならない。

電熱線方式でロードヒーティングを行う場合、電源供給の可否が最重要課題となる。融雪設備を計画する場所の電力供給状況や電圧等について調査しておく必要がある。

6.2.4　交通量の把握

融雪を計画する場合は、夜間の交通量が最も少ない時間帯の１時間の交通量を把握する必要がある。

融雪施設の計画のためのエネルギー計算では、車両による撹拌効果が、融雪エネルギーに大きく影響する。したがって、交通量が最も少ない時間帯の交通量を把握する必要がある。しかし、地方部で夜間の交通がほとんど無い道路では、夜間の路面露出率を考慮せず、朝の通勤が始まる6時すぎの交通量を把握し、融雪レベルを設定してもよい。

融雪施設は、除雪体制・費用・効果（施設費、運用管理費、利用交通量）を検討したうえで設置の要否を判断することが大切である。

6.2.5　除雪の実態（計画）調査

融雪施設の設置計画にあたっては除雪の実態を把握し、時代の趨勢・地域の実状等に応じた計画とする必要がある。

除雪は、通常は機械除雪による方法が最も経済的であるとされている。一方では沿道状況・除雪体制・凍結防止・利用者の安全確保・地域の要望等の面から融雪施設を設置する箇所も少なくない。

スパイクタイヤの使用禁止に伴い、交通渋滞やスリップ事故が多発する交差点や橋梁取り付け部および坂道等に融雪設備の設置が進められている。

したがって、融雪施設を設置する必要性・合理性を明確にしておく必要がある。

6.2.6　気象特性の調査

融雪設備の設計において、融雪熱量の算出に直接関係する気象値の項目は、下記のとおりである。

(1) 時間降雪深
(2) 雪の密度
(3) 雪の温度
(4) 気　温
(5) 風　速

融雪には、ある温度（通常は0℃以下）の雪を、0℃の氷にするための熱量（顕熱）と、0℃の氷を0℃の水に変えるための熱量（潜熱）が必要であり、その熱量を算出するためには「時間降雪深，雪の密度，雪の温度」を定めておくことが必要である。

また、融雪によって生じた水が、路面で再凍結しないための熱量（凍結防止熱量）も考慮しなければならない。凍結防止熱量の算出には「気温」と「風速」が使われる。

気象条件のデータ引用は、可能な限り豊富な方が良いが、近年の地球温暖化傾向も考慮し、最低過去数年間のデータから引用するものとする。

(1) 設計時間降雪深

設計時間降雪深は、次式によって算出する。

$hs = 0.32Hs^{0.7} = 0.425Hm^{0.7}$

hs＝設計時間降雪深（cm/h）
Hs＝日降雪深　　（cm/d）
Hm＝平均日降雪深　（cm/d）

ある時間内に、地表に降り積もった雪の鉛直方向の深さを「降雪の深さ」といい単位はcmで表す。

「時間降雪深」とは、単位時間あたりの降雪の深さのことであり、融雪に必要なエネルギーを計算する根拠となる。

このように、時間降雪深は路面積雪対策には欠かせない要素でありながら、その観測例は非常に少ないのが現状であり、一般には日降雪深から推定した数値が用いられている。

融雪設備の計画にあたり、「設計時間降雪深」をどのように選ぶかが、融雪に必要な熱量の算定に大きく影響する。

本書では、設計時間降雪深の算出を文献-1に準じて行う。

文献-1によれば、設計時間降雪深について、次のとおり解説されている。

最大降雪時に、路面に残ったシャーベット状の雪も、その後の降雪の弱まった時間帯で充分融雪できることから、最大降雪以降、数時間の平均を「計画対象降雪深」とする。この時間は過去の観測例から3時間とした。

しかし、降雪の時間的変化は一般に観測されていないため、日降雪深から推定できるようにしている。

札幌管区気象台における降雪の観測は、9:00, 15:00, 21:00の定時観測であるため、最大降雪発生時間の把握が困難である。(降水量の時間変化は記録されているが、降雪の密度との関係から、時間降雪深の特定ができない)

文献-1では、時間降雪深を観測した結果から、日降雪深と最大降雪後3時間平均降雪深との関係を求めており、設計時間降雪深を日降雪深から推定する算定式$hs = 0.32Hs^{0.7}$を導きだしている。

設計時間降雪深算定式において、日降雪深の値（Hs）を、既往最大値あるいは年最大値とした場合は、他の降雪に対して非常に過大な融雪水準となる。そのため1冬期のどの位の降雪日数を対象とすべきかを決めて、日降雪深を決定する必要がある。

そのため、文献-1から融雪の対象とする日降雪深は、降雪日数の80％が対象となる日降雪深とした。

しかし、この日降雪深Hsも、過去数年間のデータを集計しなければならないため、簡便法として、降雪日あたりの平均日降雪深Hmに1.5を乗じたHs＝1.5Hmとし、設計時間降雪深ｈｓ＝0.32$Hs^{0.7}$＝0.425$Hm^{0.7}$として求める。

$$hs = 0.32 \times (1.5Hm)^{0.7}$$
$$= 0.425Hm^{0.7}$$

なお上式は、文献-1を参考として、平均日降雪深から設計時間降雪深を決定するものである。各計画値において、日降雪深の頻度分布特性が得られていれば、これを用いた方が良い。また上式の融雪水準は、降雪日の80％をカバーできるよう固定しており、これと異なる融雪水準とするときは、別途に気象データを入手し、十分な検討が必要となる。

図4.6.3は、設計時間降雪深の決定手順を示したものである。

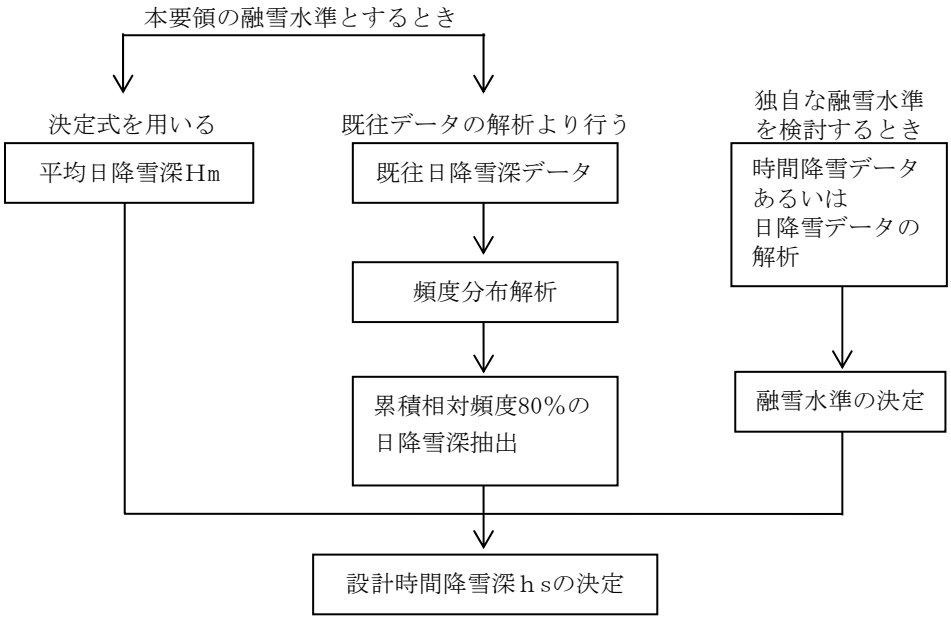


図4.6.3　設計時間降雪深ｈｓの決定手順（文献-1）

(2) 雪の密度

雪の密度は0.05g/cm^{3}を標準とする。

文献-1によれば、図4.6.4に示すように降雪の密度は、気温が低くなると小さく、高ければ大きくなる傾向を示す。

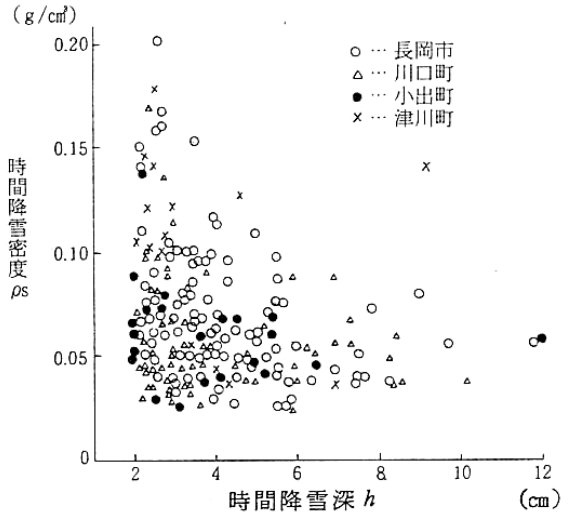


図4.6.4 時間降雪深とその密度（文献-1）

一方、平成13年1月，2月の札幌管区気象台における観測データより、降水量と降雪深から降雪密度を算定したものが表4.6.1である。観測時間が長いものや、気温が高いものについては、降雪後の融解が始まって、密度が高くなったり、特異値として降雪混りのものもあると考えられるが、おおむね0.03～0.07g/cm^{3}の範囲におさまっており、観測時間内最低気温との整合性では、－10℃前後での降雪密度は、外気温に影響される要因は少ないといえる。

また、設計において用いる外気温がおおむね－10℃程度となることから、新雪の密度は0.05g/cm^{3}を標準にするものとした。

表4.6.1　降雪の密度

月	日	観測時間		降水量	降雪深	降雪密度	観測時間内
		開始時間	終了時間	mm	cm	g/cm^3	最低気温
1	1	9:00	15:00	0.5	1	0.050	-6.0
	6	21:00	9:00	0.5	1	0.050	-8.1
	9	15:00	21:00	1.5	7	0.021	-6.9
		21:00	9:00	11	12	0.092	-6.2
	10	9:00	15:00	4.5	7	0.064	-6.5
		15:00	21:00	3.5	2	0.175	-8.8
	15	21:00	9:00	4.5	10	0.045	-8.9
	16	9:00	15:00	4.5	6	0.075	-6.1
		15:00	21:00	7	13	0.054	-6.2
		21:00	9:00	3.5	3	0.117	-12.4
	18	15:00	21:00	1.5	5	0.030	-11.5
		21:00	9:00	1	3	0.033	-11.3
	19	21:00	9:00	2.5	6	0.042	-7.5
	20	15:00	21:00	1	1	0.100	-8.7
		21:00	9:00	7	11	0.064	-10.4
	21	9:00	15:00	3	5	0.060	-10.0
	23	15:00	21:00	0.5	1	0.050	-12.4
		21:00	9:00	5	7	0.071	-10.3
	24	21:00	9:00	1.5	3	0.050	-20.2
	25	9:00	15:00	2	1	0.200	-19.3
2	1	15:00	21:00	7	7	0.100	-4.5
		21:00	9:00	8.5	10	0.085	-9.4
	2	15:00	21:00	0.5	1	0.050	-14.8
		21:00	9:00	1	2	0.050	-14.1
	4	9:00	15:00	0.5	1	0.050	-10.4
	5	15:00	21:00	0.5	1	0.050	-7.8
		21:00	9:00	6.5	10	0.065	-9.0
	8	21:00	9:00	5	8	0.063	-11.3
	9	9:00	15:00	2.5	3	0.083	-11.7
		15:00	21:00	2	2	0.100	-12.6
		21:00	9:00	0.5	1	0.050	-11.5
	12	9:00	15:00	1	1	0.100	-2.9
		21:00	9:00	3	6	0.050	-5.0
	13	15:00	21:00	5.5	9	0.061	-4.4
		21:00	9:00	2.5	4	0.063	-9.6
	14	15:00	21:00	3	3	0.100	-7.2
	15	9:00	15:00	0.5	4	0.013	-13.3
		15:00	21:00	3	2	0.150	-9.1
		21:00	9:00	6	10	0.060	-12.0
	17	21:00	9:00	0.5	1	0.050	-4.5
	19	15:00	21:00	0.5	1	0.050	-3.6
		21:00	9:00	12.5	15	0.083	-7.0
	20	9:00	15:00	1.5	2	0.075	-8.7
		15:00	21:00	2.5	3	0.083	-7.4
	21	15:00	21:00	2.5	6	0.042	-12.3
		21:00	9:00	1	1	0.100	-11.1
	22	21:00	9:00	1	5	0.020	-5.5
	24	9:00	15:00	0.5	2	0.025	-8.7
		21:00	9:00	0.5	2	0.025	-4.6
	25	9:00	15:00	5	9	0.056	-4.3
		21:00	9:00	2	3	0.067	-10.3
	26	15:00	21:00	4	6	0.067	-6.3
		21:00	9:00	3	4	0.075	-10.6
平　均						0.056	-8.9

札幌管区気象台（令和5年1月.2月）

注）降雪密度の平均値は0.1g/cm３を越える密度は特異値として除外して算出した。

(3) 雪の温度

降雪の温度は、設計外気温と同一にする。

外気温と雪の温度の関係は、外気温が低くなるにつれて、雪の温度も低くなるが、文献-1の調査では、外気温0～4℃に対して、雪の温度は0～2℃の間に分布している。雪の温度は、外気温に比べ高い温度での分布を示しているが、北海道における融雪熱量は、最大融雪熱量ではなく、凍結防止熱量で決定される傾向にあり、雪の温度は融雪熱量の算定上影響する割合が低いこと、および道内では設計外気温がおおむね－10℃程度となることから、安全側となるよう、設計外気温と同一で行うものとした。

(4) 気　温

設計に用いる外気温は、冬期間で最も気温の低い月の平均日最低気温とする。

道路融雪設備の設計外気温に、何を選定するかについては、現状において定説はないが、文献-1では「最も気温の低い月の平均最低気温」，文献-2の「一般的気象条件と設計発熱量」の表中に「1，2月における日最低気温の平均」が記入されていることから、本要領では文献-1を用いることにした。

なお、既往の気象関係資料の中に1月または2月のみのデータがあり、それが1，2月の平均値とほぼ同じと判断される場合には、それを用いて良い。

気温は降積雪に比べると、地域性が高いこと，また高度による減率もほぼ定まっているため、推定や補正が比較的容易であること，局地的な変動も少ないことから、路線上のデータがない場合には、最寄りの気象観測所のデータから推定する。

(5) 風　速

風速は、冬期間で最も気温の低い月の平均風速または、3m/sのいずれか大きい方を採用する。

道路融雪設備において、設計風速に何を選定するかについては、定説がないのが現状である。

文献-1によれば、通常の降雪日では、風速は0～6m/sの範囲と考えられるとしている。また、文献-1および、文献-3に示されている計算例では、2，3，4m/sの数値が用いられている。

平成12年度の札幌管区気象台の風速データでは、平均風速はおおむね1～5m/sの範囲であり、これを降雪日あたりに置き換えても、ほとんど差異はない。したがって、特にデータがない場合には3m/sを標準としても問題ないと考えられる。

具体的な設計にあたっては、現地の気象条件および、気象条件が近似していると考えられる地域における既存設備の発熱量と融雪効果等を勘案して定める必要がある。

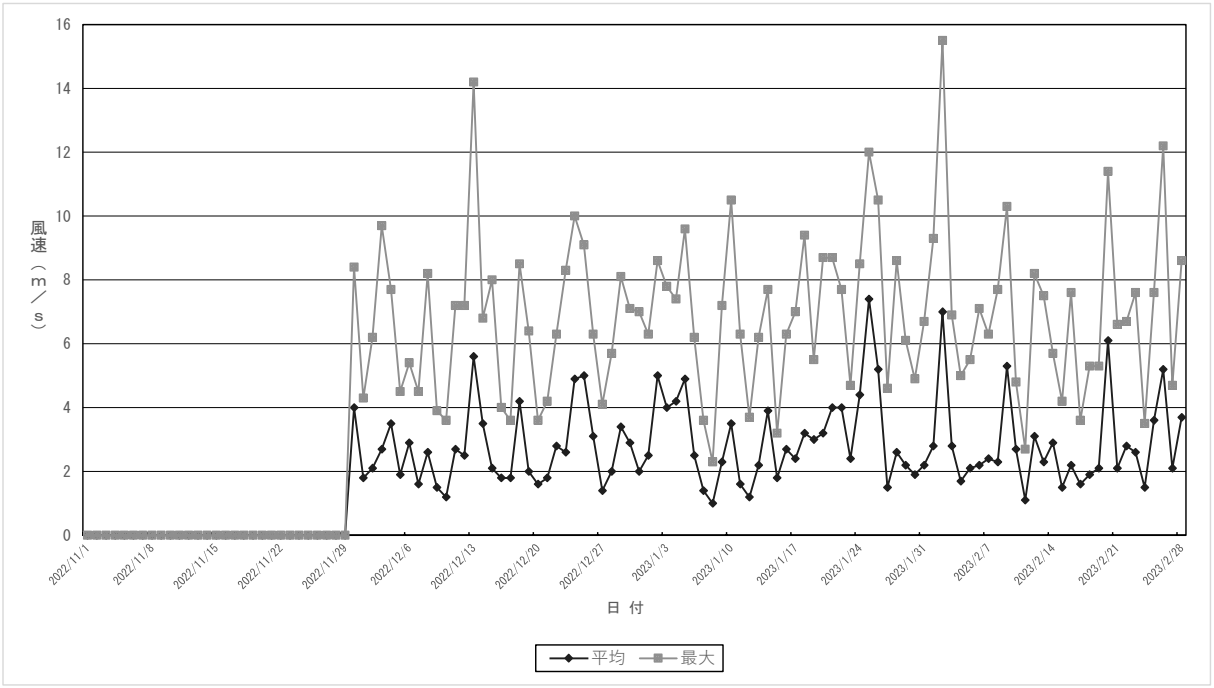


図4.6.5　風速の推移

7. 発熱線によるロードヒーティングの設計

7.1 車道部・歩道部（高架式を除く）の所要発熱量

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あたりの必要熱量とする。

(1) 融雪に必要な熱量

$q_1 = 1/\eta \cdot (q_s + q_m)$

q_1：融雪熱量（kJ/m²･h）
q_s：顕熱（kJ/m²･h）
q_m：融解熱（kJ/m²･h）
η ：熱効率（0.7～0.8）

(2) 凍結防止に必要な熱量

$q_2 = 1/\eta \cdot A_r \cdot (q_e + q_i)$

q_2：凍結防止熱量（kJ/m²･h）
q_e：気化熱（蒸発熱）（kJ/m²･h）
q_i：対流輻射熱（kJ/m²･h）
η ：熱効率（0.7～0.8）
A_r：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比

ロードヒーティングの所要発熱量は、W.P.Chapman によると

$$q_O = \frac{1}{\eta} \{q_S + q_m + A_r (q_e + q_h)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(式-1)}$$

ただし

q_O：所要発熱量（kJ/m²･h）
q_S：雪に伝えられる顕熱量（kJ/m²･h）
q_m：雪の融解潜熱（kJ/m²･h）
q_e：水蒸気の蒸発潜熱（kJ/m²･h）
q_h：対流および輻射による伝熱量（kJ/m²･h）
A_r：全面積に対する積雪の無い部分の面積比
η ：熱効率

一般のロードヒーティング施設の設計条件として、大雪が降り続いているとき、全ての雪を直ちに融解し、路面を雪の無い状態に保つ（$A_r = 1.0$）ことは不経済なので、設計最大降雪量の降雪が発生したときは、路面全体がうすく雪で覆われる状態まで許容できるものとする。

この時必要な熱量を q_1（最大融雪熱量）と呼ぶ。

一方、降雪が無いとき湿った路面が凍結するのを防止する必要があり、この場合路面を0℃以上の温度に保つには路面より輻射・対流等によって失われる熱量を補う必要がある。

この熱量を q_2（凍結防止熱量）と呼ぶ。

一般にロードヒーティングの設計では、q_1とq_2を別々に計算し、いずれか高い方の熱量を設計発熱量として採用される。

① 最大融雪熱量

（式-1）式より

A_r＝0とすると

$$q_1 = \frac{q_s + q_m}{\eta} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-2）}$$

$$q_s = P \cdot C \cdot h_s \cdot (t_m - t_0) \times 10^{-2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-3）}$$

$$q_m = P \cdot \delta \cdot h_s \times 10^{-2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-4）}$$

となる。

P　：雪の密度（kg/m^3）
C　：雪・氷の比熱（kJ/kg・℃）
h_s：設計最大降雪量（cm/h）
t_m：融雪温度≒路面温度（℃）
t_0：降雪温度≒外気温度（℃）
δ　：氷の融解潜熱（kJ/kg）

※電熱量への換算：0.278q_s(W/m^2)、0.278q_m(W/m^2)

ここで定数0.278はqの発熱量（kJ/m^2･h）を（W/m^2）とするため、1 kWh＝3600 kJ より、1000 W を3600 kJ/h で除した値である。

② 凍結防止熱量

降雪が無いとき、路面を凍結させないためには路面温度を0℃以上の適当な温度に保つ必要がある。

この場合（式-1）式において、

降雪量s＝0　であるから、

$q_s = q_m = 0$

A_r＝1.0

また0℃附近では蒸発量も無視出来る程度に少ないので、

$q_e = 0$

したがって（式-1）式より、凍結防止のための熱量は

$$q_2 = \frac{q_h}{\eta} \ (\text{kJ/m}^2\text{･h}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-5）}$$

となる。

ところで、a_t：対流と輻射双方による表面熱伝達率（W/m^2・h・℃）
a_c：対流による表面熱伝達率（W/m^2・h・℃）
a_r：輻射による表面熱伝達率（W/m^2・h・℃）
t_m：道路表面温度（℃）
t_o：外気温度（℃）

とすると

$$q_h = a_t (t_m - t_o) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-6）}$$

$$a_t = a_c + a_r \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-7）}$$

$$a_C = 1.520 \sqrt[3]{(t_m - t_O)} \quad \text{（無風のとき）} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-8）}$$

$$= 5.8 + 4.0v \quad \text{（風速：v≦5m/secのとき）} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-9）}$$

$$= 7.14v^{0.78} \quad \text{（風速：v＞5m/secのとき）} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-10）}$$

$$a_r = \frac{5.41}{t_m - t_o} \left\{ \left(\frac{273 + t_m}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right\} \cdots\cdots \text{（式-11）}$$

図4.7.1は無風時のa_cを
図4.7.2は風がある時のa_cを
図4.7.3はa_rを
図4.7.4は無風時の全熱損失を示したものである。
したがって、電熱量は式（式-5），（式-6），（式-7）より

$$q_2 = \frac{a_c + a_r}{0.86\eta}（t_m - t_o）(W/m^2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots （式-12）$$

なお、熱効率ηは、融雪熱量の計算に使用したのと同様、0.7～0.8の値が用いられる。

② 設計発熱量

以上述べた2種類の熱量「最大融雪熱量」と「凍結防止熱量」をそれぞれ別々に計算し、いずれか大きい方をロードヒーティングの設計発熱量として採用する。

表4.7.1は、一般的な気象条件における設計発熱量として通常採用されている数値である。

なお、一般に地中の温度は地下6m程度でほぼ一定の温度であることが知らされており、また厚さ6mの大地が非常に大きい熱抵抗を有していることもあって、ロードヒーティング通電の過渡期を除いて、地下方向への熱損失は無視し得ると考えて良く、前述の熱効率η＝0.7～0.8の値を採用することは、過渡期における地下方向へ熱損失分についても充分余裕をとったものといえる。

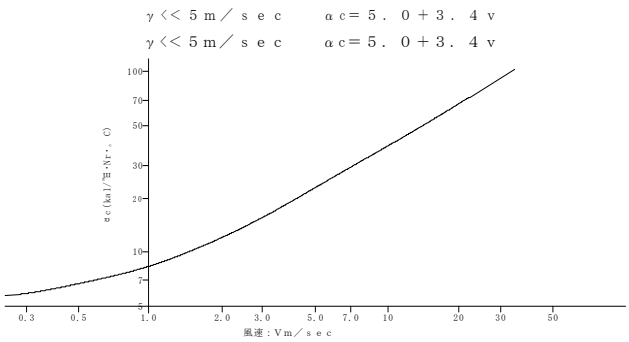


図4.7.1　風のある場合の対流熱伝達率

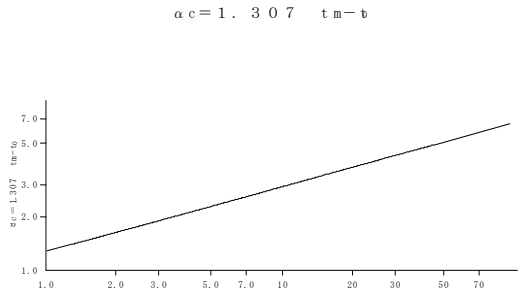


図4.7.2　自然対流の対流熱伝達率

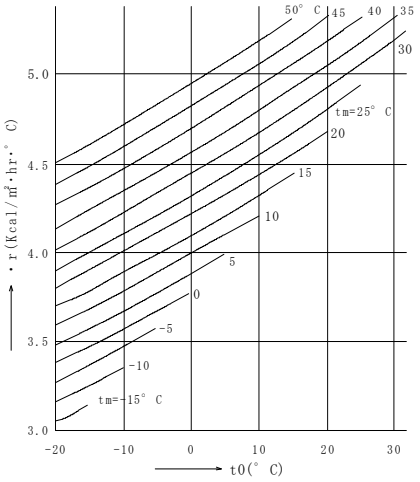


図4.7.3　アスファルト道路の輻射熱伝達率

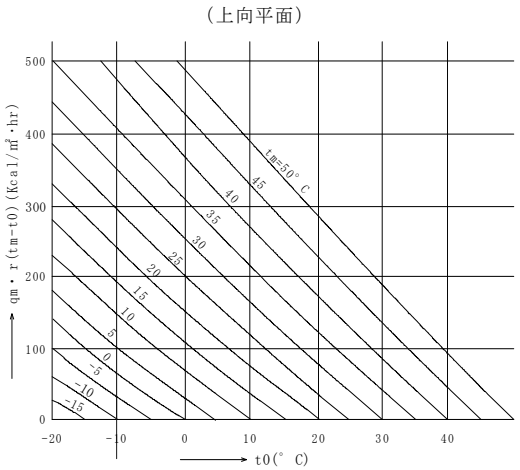


図4.7.4　アスファルト道路無風時の放熱量

表4.7.1　一般的気象条件と設計発熱量

１，２月における日最低気温の平均（℃）	設計最大降雪量（cm/h）	設計発熱量（W/m²）		該当する地域
		歩車道	歩道橋	
－２	1.7	170	200	関東以南の地方
－６	2.0	200	250	東北，北陸，道南地方
－10	2.5	250	300	東北山間部，道央地方
－15	3.0	300	350	道東，道北地方

7.2　高架道路等の所要発熱量

高架道路等で道路裏面が外気にさらされる施設に設置するロードヒーティング設備の設計発熱量は、下方向への熱損失を考慮して決定する。

高架道路等の場合は、下方向への熱損失が無視し得ないほど大きくなるので、下方向への損失熱量を算出し、前記の設計発熱量に加算する必要がある。

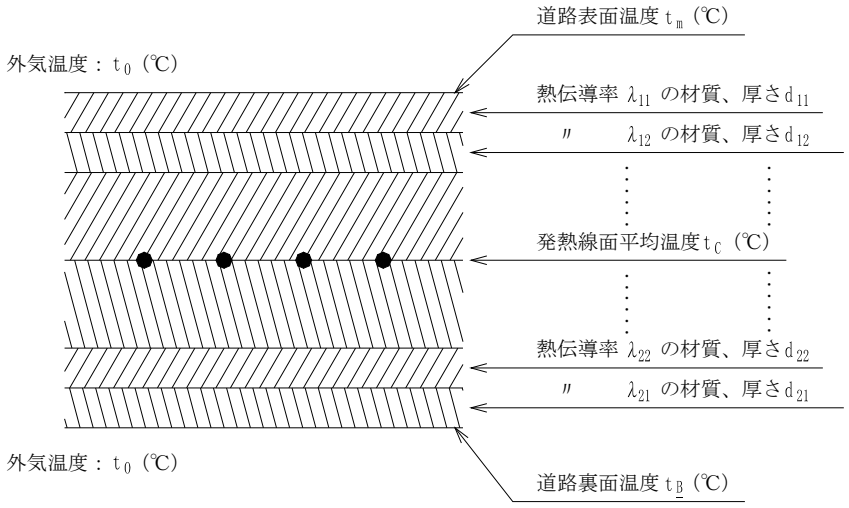


図4.7.5　高架道路の舗装構造

図4.7.5のような構造の高架道路において、前記の方法で算出した設計発熱量を q_U（kJ/m²・h・℃）（この場合 η＝1.0として計算した融雪熱量と、凍結防止熱量のうち、いずれか大きい方）とすると、これが上方向への所要電熱量であるから、

$$q_U = \frac{t_C - t_m}{R_{th1}} \quad \cdots\cdots \quad (式\text{-}13)$$

ここで、　t_C　：発熱線平均温度（℃）

t_m　：道路表面温度　（℃）

R_{th1}：上方向の熱抵抗（m²・h・℃/kJ）

また、

$$R_{th1} = \frac{d_{11}}{\lambda_{11}} + \frac{d_{12}}{\lambda_{12}} + \cdots\cdots + \frac{d_{1n}}{\lambda_{1n}} \quad \cdots\cdots \quad (式\text{-}14)$$

したがって、発熱線面平均温度は、

$$t_C = t_m + q_u R_{th1} \quad \cdots\cdots \quad (式-15)$$

一方、下方向の熱抵抗をR_{th2}とすると

$$R_{th2} = \frac{1}{a_T} + \frac{d_{21}}{\lambda_{21}} + \frac{d_{22}}{\lambda_{22}} + \cdots\cdots + \frac{d_{2n}}{\lambda_{2n}} \quad \cdots\cdots \quad (式-16)$$

ただし、a_rは対流と輻射双方による表面熱伝達率で凍結防止熱量の計算に使用したものと同じ値を使用する。

下方向への損失熱量：q_D（kJ/m^2・h）は

$$q_D = \frac{t_c - t_O}{R_{th2}} \quad \cdots\cdots \quad (式-17)$$

によって得られる。

したがって、所要発熱量（合計）は

$$q_O = q_U + q_D \quad \cdots\cdots \quad (式-18)$$

この場合の熱効率は

$$\eta = \frac{q_U}{q_O} = \frac{q_U}{q_U + q_D} \quad \cdots\cdots \quad (式-19)$$

となり、橋梁の構造、特に下方向への熱抵抗により大きく変化する。

橋梁では、下部に断熱材を挿入してR_{th2}を大きくし、熱効率を改善して電力量を節約する方法が採用されることもある。

断熱材を挿入した場合の熱効率は一般に80～85％程度、断熱材を挿入しない場合の熱効率はコンクリート床板の場合60～70％、鋼床板の場合は30％以下となることもあるので注意を要する。

なお、参考までに図4.7.5の場合の道路裏面温度t_B（C）は

$$t_B = t_O + \frac{q_D}{a_t} \quad \cdots\cdots \quad (式-20)$$

によって得られる。

7.3　発熱線の埋設間隔

発熱線の埋設間隔は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-2-1 発熱線方式の設計 3.発熱線の埋設間隔」によるものとする。

7.4　発熱ユニットの設計

発熱ユニットの設計は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-2-1 発熱線方式の設計 4.発熱ユニットの設計」によるものとする。

8. 自動制御装置

自動制御装置は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-2-2 自動制御」によるものとする。

9. 主要器材

9.1 ロードヒーティングケーブル標準規格

基本方針
(1) ロードヒーティングケーブルは道路等のロードヒーティング用ケーブルに適用する。
(2) ロードヒーティングケーブルは、下記に示す関係法令、諸規則および各種標準規格に適合するものを使用しなければならない。

発熱ケーブル以外の電線、ケーブル類の規格は以下によるものとする。
1) 電気設備に関する技術基準を定める省令・同解釈
　第4節　特殊機器等の施設　第195条　フロアヒーティング等の電熱装置の施設
2) 電気用品の技術上の基準を定める省令
　別表第一　電線および電気温床線
3) 内線規定
　3542節　フロアヒーティングなどの施設
4) 日本産業規格
　JIS C 3651　ヒーティング施設の施工方法

9.2 発熱線

発熱線は、「電気設備の技術基準・解釈　第195条 二 」によるものとする。

電気設備の技術基準・解釈　第195条 二（抜粋）
　発熱線はMIケーブルまたは次に適合するものであること。
　イ　JIS C 3651 ロードヒーティング施設の施工方法　付属書　第2発熱線に係わるものに適合するもの
　ロ　JIS C 3651 ロードヒーティング施設の施工方法　付属書 4. 構造および材料に適合するもの

9.3 導体抵抗及び呼称

導体抵抗及び呼称は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）13-2-2 自動制御 7.道路融雪設備用ケーブル」によるものとする。

9.4　ケーブル構造

発熱体のケーブル構造は、次の三種類がある。
(1) 絶縁体が無機質で、MIケーブルと同様の構造のもの。
(2) 絶縁体がケイ素ゴムで、外管がステンレス鋼などの鋼管である構造のもの。
(3) 絶縁体がブチルゴム、ビニルまたは架橋ポリエチレンで外装がビニルを用いているもの。

9.5　規格

規格は、「電気用品の技術上の基準を定める省令　別表-1　付表　第10、11、14、15、16」に準拠するものとする。

9.6　リードケーブル

リードケーブルは、「電気設備の技術基準・解釈　第195条 三 」に定めたものを使用するものとする。

リードケーブルは発熱線と同等以上の絶縁耐力および耐熱性を有するものを使用する。
1) MIケーブル
2) クロロプレン外装ケーブル
3) 発熱線接続用ケーブル