

# 路面消・融雪施設等設計要領

平成20年5月

路面消・融雪施設等設計要領編集委員会

# 路面消・融雪施設設計要領編集委員会

委員長 委員	和田	惇	(社)北陸建設弘済会
	丸山暉彦		長岡技術科学大学
	坂上悟		北陸地方整備局
	宮崎清隆		〃
	山下信雄		〃
	(谷口英雄)		
	渡部長務		〃
	(木村周二)		
	宮村兵衛		〃
	和田日朗		〃
	高木努		新潟県土木部
	(野沢英之助)		
	柴田聡		富山県土木部
	(竹谷倫一)		
	高橋裕之		石川県土木部
	(盛本誠一)		
	中村純一		福井県土木部
	阿部誠		東日本高速道路会社
	(長内和彦)		
	嘉指登志也		中日本高速道路会社
	田中義明		(社)雪センター
	桑原剛		(社)新潟県融雪技術協会
	青木鉄朗		(社)日本建設機械化協会
幹事長 幹事	坂上	悟	北陸地方整備局
	上村靖司		長岡技術科学大学
	山本義則		北陸地方整備局
	大矢真二		〃
	宮下孝		〃
	大井孝輝		〃
	安達志郎		〃
	瀧澤秀則		〃
	大本陽一		〃
	笠原昌明		新潟県土木部
	濱田守		富山県土木部
	田辺広明		石川県土木部
	松田利男		福井県土木部
	田子瑞宏		東日本高速道路会社
	横山康弘		中日本高速道路会社
	池野正志		(社)新潟県融雪技術協会
	三日月晋一		(社)日本建設機械化協会

氏名の( )書きは前任者

## 第2章 施設的设计

融雪施設とは、舗装体に埋設した放熱管に温水を通水したり、ヒートパイプや発熱線で路面温度を上昇させたりして融雪あるいは凍結防止を行うものである。必要熱量の算定には、これまでに各種の算定式が提案されている。しかし、熱源や放熱方式に違いはあっても融雪又は凍結防止に必要な熱量は同じである。したがって、必要熱量の算定にあたっては共通の算定式を採用するものとする。

### 2.1 必要熱量の算定

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 $q$  ( $W/m^2$ ) とする。

#### (1) 融雪に必要な熱量

$$q_1 = 1/\eta \cdot (q_s + q_n) \dots\dots\dots \text{式 (2.1)}$$

$q_1$ : 融雪熱量 ( $W/m^2$ )

$q_s$ : 顕熱 ( $W/m^2$ )

$q_n$ : 融解潜熱 ( $W/m^2$ )

$\eta$ : 熱効率 (0.65~0.9)

#### (2) 凍結防止に必要な熱量

$$q_2 = 1/\eta \cdot A_r \cdot (q_e + q_i) \dots\dots\dots \text{式 (2.2)}$$

$q_2$ : 凍結防止熱量 ( $W/m^2$ )

$q_e$ : 気化熱 (蒸発熱) ( $W/m^2$ )

$q_i$ : 対流輻射熱 ( $W/m^2$ )

$\eta$ : 熱効率 (0.65~0.9)

$A_r$ : 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の比

#### 〔解説〕

##### (1) 融雪熱量 $q_1$

大雪が降り続く場合に、全ての雪を直ちに融解し、路面を雪の無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る状態まで許容出来るものとする。

ここで式 (2.1) の中の $q_s$ と $q_n$ は、次式で表わされる。

$$q_s = 2.78 \times (C \cdot \Delta\theta \cdot h_s \cdot \rho_s) \dots\dots\dots \text{式 (2.3)}$$

$$q_n = 2.78 \times (J \cdot h_s \cdot \rho_s) \dots\dots\dots \text{式 (2.4)}$$

$C$ : 雪の比熱 ( $2.1J/g/^\circ C$ )

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

$h_s$  : 設計時間降雪深 (cm/h) ..... <第2編1.3.1(1)参照>

$\rho_s$  : 雪の密度 (g/cm<sup>3</sup>) ..... <第2編1.3.1(1)参照>

$J$  : 雪の融解潜熱 (334J/g)

なお、式 (2.3)、式 (2.4) の定数2.78は、熱流束 J/cm<sup>2</sup>/hをW/m<sup>2</sup>にするために、10,000cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>を3,600J/W/hで除した数値である。

## (2) 凍結防止熱量 $q_2$

降雪が無い時に、路面を凍結させない為には路面温度を0℃以上の適切な温度に保つ必要がある。また、式 (2.2) において路面全体に雪がないので $A_r=1$ になり、更に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 (2.2) より、凍結防止熱量は次式のようになる。

$$q_2 = 1/\eta \cdot q_i \text{ ..... 式 (2.5)}$$

ここで $q_i$ は次式で表わされる。

$$q_i = (\alpha_c + \alpha_r) \cdot (T_m - T_a) \text{ ..... 式 (2.6)}$$

$\alpha_c$  : 対流による表面熱伝達率 (W/m<sup>2</sup>/℃)

$$\alpha_c = 5.8 + 4.0u \text{ (風速 : } u \leq 5\text{m/s \text{ のとき) ..... 式 (2.7)}$$

$$\alpha_c = 7.14u^{0.78} \text{ (風速 : } u > 5\text{m/s \text{ のとき) ..... 式 (2.8)}$$

$\alpha_r$  : 輻射による表面熱伝達率 (W/m<sup>2</sup>/℃)

$$\alpha_r = \frac{5.41}{T_m - T_a} \left\{ \left( \frac{273 + T_m}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + T_a}{100} \right)^4 \right\} \text{ ..... 式 (2.9)}$$

$T_m$  : 路面温度 (℃)

$T_a$  : 気温 (℃)

## (3) 風速 $u$

風速は、冬期間で最も気温の低い月の平均風速または、2m/sのいずれか大きい方を採用する。

## (4) 路面温度 $T_m$

融雪熱量 $q_1$ の算定は、降雪時の路面温度を0℃としているが、凍結防止熱量 $q_2$ 算定時には、強風等の影響を考慮して1℃以上とする。

## (5) 気温 $T_a$

冬期間で最も気温の低い月の平均日最低気温とする。

## (6) 熱効率 $\eta$

融雪施設において、土工部では運転開始時を除いて舗装体下部への熱損失は極めて小さいものと考えて良い。したがって、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には $\eta = 0.9$ 程度とし、表層工に多機能舗装等を施工する場合には $\eta = 0.8$ 程度の値とする。

橋梁・高架部等では土工部と比較して下部放熱が多く損失熱量を算出する必要があるが、一応の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の熱効率は $\eta = 0.75$ 程度とし、その他のコンクリート床版の場合には $\eta = 0.65$ 程度の値とする。鋼床版の場合には $\eta = 0.3$ 以下となることもあるので注意を要する。なお、断熱材を設置した場合には熱効率の向上が期待できるため、別途損失熱量を算出して検討を行うものとする。

(7) 必要熱量 $q$ の算出例

① 算出条件

- ・設計時間降雪深  $h_s = 3.53\text{cm/h}$
- ・気 温  $T_a = -7.7^\circ\text{C}$
- ・雪の密度  $\rho_s = 70\text{kg/m}^3 = 0.07\text{g/cm}^3$
- ・風 速  $u = 2.0\text{m/s}$
- ・土工部構造 橋梁 (中空床版橋)

② 必要熱量の算出

・融雪熱量 $q_1$

$$q_1 = 1/\eta (q_s + q_n)$$

$$q_s = 2.78 \times (C \cdot \Delta\theta \cdot h_s \cdot \rho_s)$$

$$q_n = 2.78 \times (J \cdot h_s \cdot \rho_s)$$

$q_s$  : 顕熱 ( $\text{W/m}^2$ )

$q_n$  : 融解潜熱 ( $\text{W/m}^2$ )

$C$  : 雪の比熱  $= 2.1\text{J/g}^\circ\text{C}$

$\Delta\theta$  : 雪温を $0^\circ\text{C}$ まで高める温度 (雪温の絶対値)  $= 7.7^\circ\text{C}$

$h_s$  : 設計時間降雪深  $= 3.53\text{cm/h}$

$\rho_s$  : 雪の密度  $= 0.07\text{g/cm}^3$

$J$  : 氷の融解潜熱  $= 334\text{J/g}$

$\eta$  : 熱効率  $= 0.75$  (中空床版橋)

$$\therefore q_s = 2.78 \times (2.1 \times 7.7 \times 3.53 \times 0.07) = 11.1\text{W/m}^2$$

$$q_n = 2.78 \times (334 \times 3.53 \times 0.07) = 229.4\text{W/m}^2$$

したがって、

$$q_1 = 1/0.75 \times (11.1 + 229.4)$$

$$\approx 321\text{W/m}^2$$

・凍結防止熱量 $q_2$

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

$q_i$  : 対流輻射熱 ( $\text{W/m}^2$ )

ここで、 $q_i$ は次式で表される。

$$q_i = (\alpha_c + \alpha_r) \cdot (T_m - T_a) \quad (\text{W/m}^2/^\circ\text{C})$$

$\alpha_c$  : 対流による表面熱伝達率

風速 $\leq 5\text{m/s}$ の時……  $\alpha_c = 5.8 + 4.0u$

風速 $> 5\text{m/s}$ の時……  $\alpha_c = 7.14u^{0.78}$

$\alpha_r$  : 輻射による表面熱伝達率 ( $\text{W/m}^2/^\circ\text{C}$ )

$$\alpha_r = \frac{5.41}{T_m - T_a} \left[ \left( \frac{273 + T_m}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + T_a}{100} \right)^4 \right]$$

$T_m$  : 路面温度  $-1.0^\circ\text{C}$

$T_a$  : 外気温  $-7.7^\circ\text{C}$

$u$  : 風速 2.0m/s

$$\therefore \alpha_c = 5.8 + 4.0 \times 2.0 = 13.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_r = \frac{5.41}{1.0 - (-7.7)} \left[ \left( \frac{273 + 1.0}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 - 7.7}{100} \right)^4 \right]$$

$$\doteq 4.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

したがって、

$$q_2 = 1/0.75 \times (13.8 + 4.2) \times (1 + 7.7)$$

$$\doteq 209 \text{ W/m}^2$$

以上より、 $q_1 \ 321 \text{ W/m}^2 > q_2 \ 209 \text{ W/m}^2$ のため、 $q_1 = 321 \text{ W/m}^2$ を単位面積当たりの必要熱量として採用する。

## 2.2 放熱方式

### 2.2.1 放熱管

放熱管とは舗装体に埋設された小口径の金属管または樹脂管のことであり、放熱管内に温められた融雪用不凍液あるいは地下水等を通水して舗装体に熱を伝えて路面を温める。放熱管ユニット、送水量及び送水温度は次を標準とする。

#### (1) 放熱管ユニット

- ① 材 質 : 金属管または樹脂管
- ② 管 径 : 10A~20A
- ③ 間 隔 : 150mm~200mm
- ④ ユニット面積 :  $10 \text{ m}^2 \sim 20 \text{ m}^2$

#### (2) 送水量

送水量（循環水量）は、放熱管径に応じた流速を考慮して算定する。

#### (3) 送水温度

送水温度（循環水温度）は、舗装体と放熱管の熱伝導率及び、必要熱量等を考慮して算定する。

### 【解説】

#### (1) 放熱管ユニット

##### ① 材 質

ボイラやヒートポンプを利用して送水温度を所定の放熱量が得られる温度まで上げることができる場合、放熱管の熱伝導率を考慮した設計が可能であるため、金属管・樹脂管のいずれも使用可能である。しかし、地下水熱や地中熱等の自然エネルギーを直接利用する場合は送水温度が低くなりやすいため、熱伝導率の高い金属管を使用することが一般的である。

炭素鋼鋼管（SGP）による放熱管としては、溶接加工及び、長尺管を機械加工して溶接箇所をなくしたものなどで施工実績がある。また、鉄分の多い地下水を放熱管に直接通水すると錆の発生等で早期に管の閉塞等が懸念される場合には内面ライニング放熱管等が使用され