道路薄雪層の日射透過-反射特性

福井大学大学院	学生員	藤本明宏*
福井大学大学院		内藤知照*
(株)水工工学研究所	正会員	渡邊 洋**
福井大学工学部	正会員	福原輝幸*

1 はじめに

積雪寒冷地における道路管理は,安全性と経済性を向上 させるために,路面雪氷予測モデルによる高度化が求めら れている.筆者らは熱収支法の観点から路面雪氷予測モデ ルの開発を進めている.本論では,道路雪氷層の熱収支成 分の中で短波放射,すなわち日射に着目する.

昼間における道路の融雪は,直接的には雪氷層のアル ベドに,間接的には透過した日射による舗装表面から雪氷 層への供給熱(舗装熱)に,大きく依存する.道路雪氷層は 日射を散乱する氷粒と水と空気の混合物である.そのため, 道路雪氷層の反射光は雪氷層表面からのみならず,雪氷層 内部で散乱して表面から出てきた光を含む.このように,日 射による道路雪氷層内の熱移動は,雪氷層の内部状態に 左右される.

雪氷層の日射の透過,反射特性は,これまで数多くの研 究例があるものの,厚さが数 cm 程度の比較的薄い道路雪 氷層については研究例が少なく,シャーベットのような水分 を多く含む雪氷層についてのデータも少ない.

そこで、本研究はシャーベット路面の前段として、道路薄 雪層の日射透過-反射特性について、実験的ならびに理論 的に検討を行ったので、その結果を報告する.

2 道路薄雪層における日射の透過と反射理論

雪層表面 (z=0)を横切る日射の下向きフラックス R_0 は,雪 粒により吸収や反射を受けて,指数関数的に減衰する.この 関係を理論的に評価するために, *Giddings* は以下に示す *Diffusion Model*¹⁾を提案した.

$$al_{\infty} = \frac{1 - \boldsymbol{\varpi} / 2}{1 + \boldsymbol{\varpi} / 2} \tag{1}$$

$$al = \frac{1 - \varpi (1 - y)/2}{1 + \varpi (1 - y)/2}$$
(2)

$$y = \frac{e^{-bz} \left\{ A + \boldsymbol{\varpi} \left(A/2 - 1 \right) \right\}}{\boldsymbol{\varpi} \left(A/2 - 1 \right) cosh bz - A sin bz}$$
(3)

$$T_{r} = \frac{\varpi e^{-bz} (1 + tanh bz)}{\left[1 + \varpi/2 \left\{1 + \frac{e^{-bh} (1 + tanh bz)}{\varpi/2 \cosh bz + \sinh bz}\right\}\right] (\varpi/2 + tanh bz)}$$
(4)

ここに、 al_{∞} : 半無限厚さの雪層のアルベド、al:雪層のアル ベド、b:減衰係数、 ω :無次元化した雪密度と粒径に関する パラメーター、A:雪層下面の吸収率、 T_r :透過率 (R_z/R_0) で ある. R_z は雪層内深さzにおける下向き日射フラックスであ る.

道路薄雪層の透過および反射フラックスを得るためには, bとのを実験から求める必要がある.

3 日射の透過と反射に関する実験

3-1 アルベド実験

Fig. 1は野外で実施したアルベド実験の概要である. 実験 では,密粒舗装上に規定高さ(5~40mm)の雪層(W3.0× L3.0m)を敷き並べ,南中時に短波放射計を用いて,雪層へ の入射フラックスと反射フラックスを5分間に亘り測定した.ま た,雪厚さと雪密度も同時に測定した.

Table 1の左半分にアルベド実験条件を示す.

3-2 透過実験

Fig. 2は低温実験室で実施した透過実験の概要である. 実験では,内側側面を白色で,内側底面を黒色でペイントした箱(W0.33×L0.20×H1.10m)の中に,透明のアクリル板 に乗せた雪層(W0.33×L0.20m)を設置する.雪層の上方 0.8m から写真用光源ランプ(500W,色温度 5900K)を照射 し,雪層を透過した短波放射フラックスを雪層の下方に設置 した日射計で測定する.

Table 1の右半分に透過実験条件を示す.

キーワード : 日射,透過率,減衰係数,アルベド,道路雪氷							
*	〒910-8507	福井市文京 3-9-1	TEL	0776-27-8595	FAX	0776-27-8746	
**	〒105-0003	東京都港区西新橋 1-20-10	TEL	03-3595-1362	FAX	03-3595-1300	



4 実験結果

4-1 アルベド

Fig. 3は雪厚さ(h)とアルベド(al)の関係を示す. 同図に は, Giddings の式(2)による理論値を実線で併せて示す. al は h=1.0cm 程度まで急増し, h>3.0cm では 0.8 で一定となる. これより,式(1)に al_∞=0.8 を代入すると, **ω**=0.22 となる. ま た, b=0.48cm⁻¹ のとき, Giddings の式(2)は測定値の分布と 良好に一致した.

4-2 減衰係数

Fig. 4は雪厚さ(*h*)と透過率(*T_r*)を表わす. 同図の白抜き のプロットは自然雪を用いた結果を, 塗潰しのプロットは人 工雪を用いた結果を, それぞれ意味する. *T_r*は *h* の増大に 伴って指数関数的に低下する. 雪密度(ρ_s) = 500kg/m³では *h*=4.0cm で概ね 0 となる. また, *b* は *Giddings* の式(4)に ω =0.22 を代入するとともに, *z* を *h* に代えて, 逆解析から求 められる.

Fig. 5は減衰係数(b)と雪密度(p_s)の関係を示す.
 220< p_s <570 kg/m³において, b はp_sが大きくなるにつれて,
 0.41 から 0.85 cm⁻¹ に増大する. この関係は次式で表される.

$$b = 0.30 \exp(0.0017 \,\rho_s) \tag{5}$$

5 おわりに

本研究で得られた知見を列挙する.

- 雪層のアルベド al は厚さ 1.0cm 程度までの間で急激に 大きくなり、3.0cm 以上になると 0.8 付近に漸近する.
- 2. 道路薄雪層の日射透過および反射フラックスはGiddings の式で求めることができる.
- 3. *ω*を一定とすれば, 雪層の減衰係数 *b* は雪密度*ρ*_s に正 比例する.

今後,シャーベット路面における日射の透過,反射特性を

	Table 1 アルペトおよい透過実験の条件一覧				
	Experiment	Albedo exp.	Transmisstion exp.		
	Thickness (mm)	0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60	5, 10, 15,	20, 30, 40	
_	Snow		220, 350	Artificial	
	density	410	460, 500	Natural	
	(kg/m^3)		530, 570	i tacalai	



明らかにするとともに、実験で得られた成果の適用性を路面 雪氷予測モデルを用いて検討する.

参考文献

 J. C. Giddings and E. La Chapelle: Diffusion theory applied to radiant energy distribution and albedo of snow, Journal of geophysical research, Vol. 66, No. 1, PP. 181-189.