

II-17

雪面上の顕熱及び潜熱の交換特性に関する実験的研究

日産建設株式会社 正員 奥村 学
長岡技術科学大学 建設系 正員 小池俊雄
長岡技術科学大学 建設系 正員 後藤 厳

1. はじめに

極地方やアジア高山地方の積雪領域におけるエネルギー収支は、地球規模の水循環に与える影響が大きくその現象の解明と融雪量分布のモデル化が望まれている。本研究では、極地や高山地域での融雪現象の解明を念頭においた低温強風下での融雪現象の解明のために、1988.89 年富士山吉田側斜面の五合目（標高2200 m）、七合目（2900m）、八合目（3400m）の3地点で融雪観測を行った。その観測結果には、①春先の低温強風下において雪面を冷やす負の顕熱交換量が非常に多いこと、②梅雨期の高温多湿強風下における融雪を起こす潜熱交換量の激増が見られた。これらの現象を解明するために2種類の風洞実験を行った。

2. 実験方法と主要な結果

実験は、大学内の常温用恒温室と低温用恒温室を使用して、②の現象を含めた融雪を起こす正の顕熱交換特性および潜熱交換特性の解明を目的とする常温室内風洞実験と①の現象を含めた雪面を冷やす負の顕熱交換特性の解明を目的とする低温室内風洞実験を行った。

2-1. 常温室内風洞実験：この実験は、室温を14℃から30℃に制御できる恒温室内に図1のゲッチング型

（回流型）風洞を製作し、表1に示すように風速、温度、湿度を変化させて、12ケース行った。雪サンプルは、開き目4.76mmのふりいでふって断熱材で囲まれた幅40cm×高さ30cm×長さ120cmの型枠に入れて-5℃の低温室で2日以上保存したものを使用した。その雪サンプルの雪面が風洞測定部底面に合うように置き、融雪による雪面沈下に伴ってジャッキで高さを調節し、そのサンプルの高さの変化に密度を乗じて

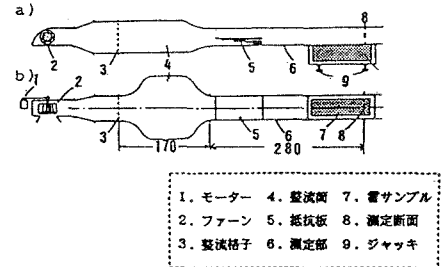


図1 常温室内風洞実験のゲッチング型風洞
表1 実験条件

		風 洞 中 心 速 度		
		1.6 m/s	5.0 m/s	10.0 m/s
温 度	27℃	① 20%	② 23%	③ 24%
	12℃	④ 76%	⑤ 81%	⑥ 83%
湿 度	27℃	⑦ 50%	⑧ 63%	⑨ 46%
	12℃	⑩ 62%	⑪ 81%	⑫ 83%

求めた融雪量と雪面上の気温・水蒸気圧・風速のそれぞれの

垂直分布及び放射収支量を計測した。

雪面上では、温度、風速の境界層の発達が見られた。風速のプロファイルの流下方向を図2に示す。境界層厚は3cmから5cmへ変化していることが示され、また雪面粗度はいずれも0.0002cmであった。温度についても3cmから5cmの境界層の発達が見られた。そして、これらの境界層厚が発達し切ったと見なせる雪の前端から98cm地点で融雪量の計測を行った。図3、4、5は、

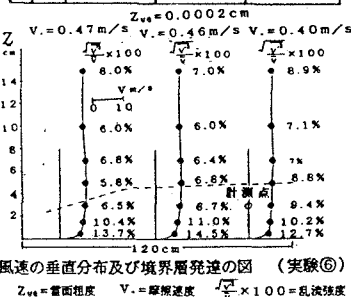


図2 風速の垂直分布及び境界層発達の図（実験⑥）
Z₀=雪面粗度 V₀=摩擦速度 V_z×100=風速強度

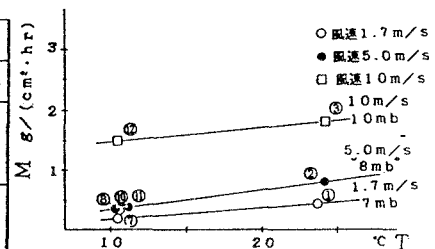


図3 融雪強度と温度との関係図

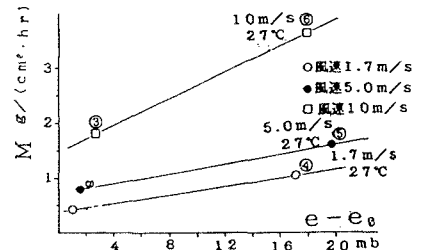


図4 融雪強度と雪面からの水蒸気圧差との関係図

融雪強度 M (単位面積当たり単位時間に融ける雪の質量) と雪面からの高さ 3 cm の温度 T 、水蒸気圧差 $e - e_a$ 、風速 V との関係図である。融雪強度と温度、水蒸気圧差との関係は、線形であるが、風速との関係は非線形である。したがって、雪面の正の顕熱・潜熱交換量と風速の関係が非線形になることが示された。

2-2 低温室内風洞実験: この実験は -10°C の恒温室内に、図6に示すエフェル型 (吹き流し型) 風洞を製作し、風洞中心風速 9.4 m/s の条件下で行った。低温のため雪面の沈下はない。雪サンプルは恒温室内風洞実験と同じものを使用した。計測は、雪上及び雪表層内の温度及び風速の垂直分布を測定した。その観測結果を使って、雪の前端から 98 cm の地点で高さ 0.5 cm における風速 $V_{0.5}$ 、気温 $T_{0.5}$ と雪面温度 T_0 の観測結果から、バルク法による負の顕熱伝達量

$$Q_{s-} = \alpha_{0.5-} \cdot V_{0.5} (T_{0.5} - T_0) \quad (1)$$

を算定した。この実験では、顕熱伝達以外の項を無視しているので、雪表層内の温度勾配より求めた雪の降温熱量 Q_H が顕熱伝達量に等しいと考えて計算した。この計算を各時間毎の温度プロファイル (図7) に適用し、それから求められバルク係数 α_{z-} と大気不安定度を示すリチャードソン数 Ri との関係を図8に示す。実験時間の経過と共に雪面が冷えてリチャードソン数は、不安定から中立の方へ向かうが、バルク係数は徐々に大きくなる傾向を示している。つまり、雪面と雪面上との温度差が小さくても降温熱量が変化しないことを表している。この原因としては、図9のように雪面上を吹く風が、雪面から約 1 cm の薄い層内に弱い気流を誘発してできる「雪内気流」の影響が考えられる。これらについては、今後の検討が必要である。結論: 富士山の観測結果より、①春先の低温強風下において雪面を冷やす負の顕熱交換量が非常に多い②梅雨期の高温多湿強風下において融雪を起こす潜熱交換量の激増が見られた。風洞実験より、③融雪を起こす正の顕熱・潜熱交換量と風速の関係は、非線形である。④負の顕熱交換量は、バルク法では表せず、雪内気流の影響が大きい。

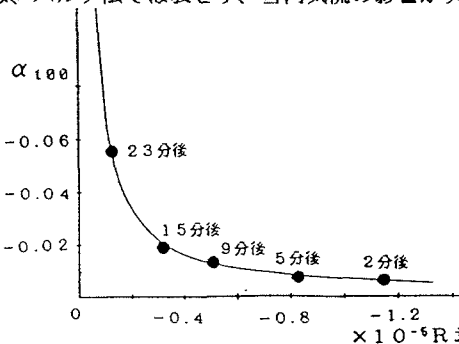


図8 バルク係数 α_{100} とリチャードソン数 Ri との関係
 α_{100} は雪面上高さ 100 cm に変換した値

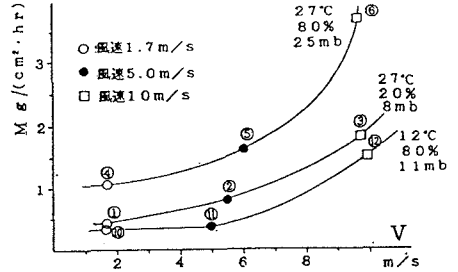


図5 融雪強度と風速との関係図

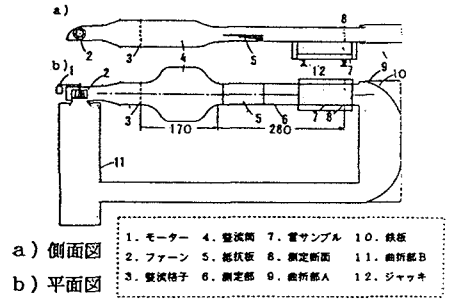
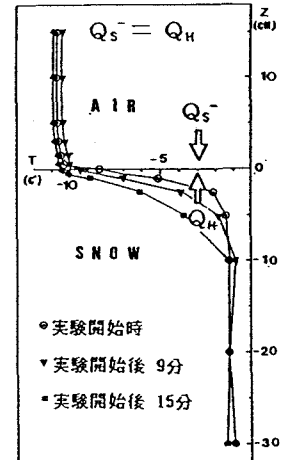


図6 低温室内風洞実験のエフェル型風洞



バルク法による顕熱フラックス Q_s
降温熱量 Q_H

図7 雪温と風洞内温度の鉛直分布図

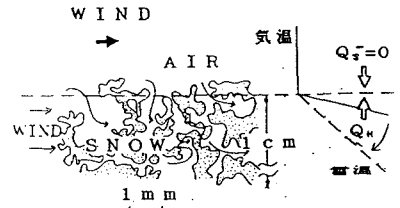


図9 積雪表面の雪内気流図