

吸水性ポリマーを用いた人工積雪の特性(1) 積雪構造の観察

上林泰二(PAS研究会)・藤野和夫(北大低温研)

1. はじめに

現在屋内人工雪ゲレンデシステムが開発されており、実用化されると一年中スキーを楽しむことができる。これらのシステムには、屋内を氷点下に保って水を噴霧し微細状氷を発生させる方式と、吸水性ポリマーに水を吸わせ床面から冷却して人工積雪を形成させる方式がある。吸水性ポリマーを用いた方式は、造雪が容易で室温で維持できることから、脚光を浴びているが、人工積雪の生成機構や特性については、ほとんど解明されていない。そこで人工積雪の薄片観察により、積雪の構造と生成過程について調べた。

2. 吸水性ポリマーを用いた人工雪ゲレンデシステム

図-1に示すように、ポリマーに水を吸わせ凍結すると人工積雪が生成し、更に未凍結部と混合(グルーミング)するとスキーゲレンデに適した自然積雪に類似した積雪構造となる。

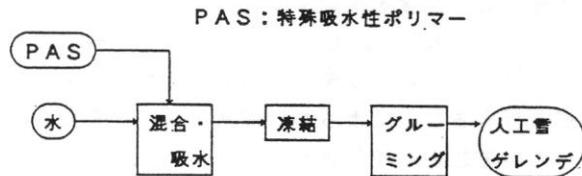


図-1 PAS人工雪ゲレンデシステム

3. 実験方法

実験に使用するポリマーの性状を表-1に示す。PASは球状で、吸水してもゲル状にならず流動性にすぐれた微粒状となるが、比較の市販品Aは破砕状で、吸水するとゲル状を呈する。

図-2に示す実験装置を用い、アルミ板の上に吸水させたポリマーを5cm敷設し、-25℃のブライン(シリコンチューブ内)を循環させて冷却し、凍結させる。約20時間後、下層の凍結部分と未凍結部分をグルーミングし、再び冷却する。

表-1 吸水性ポリマーの性状

	PAS-1	PAS-2	市販品A
・吸水能(倍)	80	80	220
・平均粒径(μm)	90	400	700
・50倍吸水後の粒径(mm)	~0.4	~2.0	ゲル状

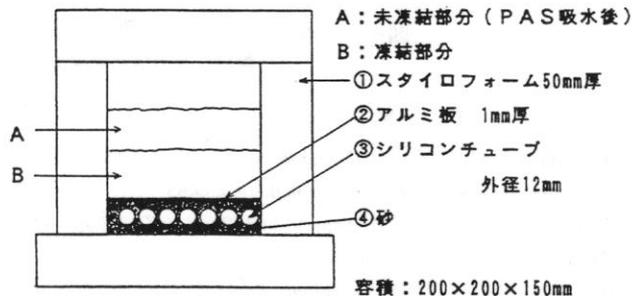


図-2 実験装置

粒径、性状の異なる3種のポリマーを同一吸水倍率で比較するとともに、同一粒径のポリマーに吸水能以上で吸水させた場合についても行なう。(表-2)

表-2 実験条件

実験No.	吸水性P	吸水倍率	グルーミング	
			凍結時間	再凍結時間
1	PAS-1	50	19Hr	7Hr
2	PAS-2	50	20	22
3	市販品A	50	18	—
4	PAS-1	83	24	17

#### 4. 実験結果

結果を表-3にまとめた。吸水倍率50倍で行なったところ、PAS-1では新雪状、PAS-2ではあられ状、市販品Aでは板氷状となり、凍結部分の密度がPAS-1<PAS-2<市販品Aの順で高くなった。PAS-1で吸水能以上で吸水させて凍結した場合、下層から板氷状-新雪状-未凍結部分の3層構造となった。グルーミングして再凍結すると、PAS-1、PAS-2ともに密度が0.4前後に上がり、木下式硬度でそれぞれ4kg/cm<sup>2</sup>以下、7kg/cm<sup>2</sup>程度とスキーゲレンデに適する条件となった。一方市販品Aでは硬度が20kg/cm<sup>2</sup>とアイスバーン以上の硬さで、ゲレンデには適さない。

表-3 凍結実験結果

A: 未凍結部分(上層)

B: 凍結部分(下層)

実験No.	凍結前		凍結後	
	厚さ(cm)	密度(g/cc)	厚さ(mm)	密度(g/cc)
1	5.0	0.73	(A) 35~45 (B雪) 35~40	0.73 0.15
2	5.0	0.74	(A) 35~40 (B雪) 35~40	0.74 0.30
3	5.0	0.99	(A) 25~30 (B氷) 25~30	0.99 0.84
4	5.0	0.99	(A) 25~30 (B雪) 25 (B氷) 25	0.76 未測定 0.93

実験No.	グルーミング再凍結後	
	密度(g/cc)	硬度(kg/cm <sup>2</sup> 木下式)
1	0.36	2.7~3.8
2	0.43	6.1~7.1
3	—	17~25 (凍結後)

#### 5. 薄片観察及び考察

実験No-1 (PAS-1 吸水倍率50倍)の凍結後断面図を図-3に示す。凍結部分は下層が不定形、上層が垂直方向に霜柱状に氷柱が成長しているのが観察され、その上部に未凍結のポリマー部分が残った。

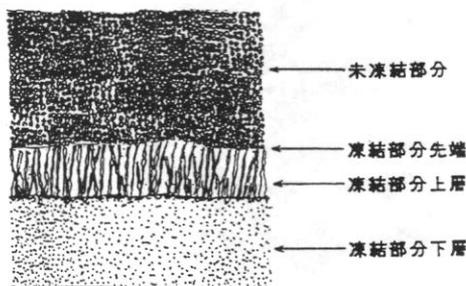


図-3 実験No-1 凍結後断面図

凍結部分を薄片写真で観察した。凍結部の先端付近（図-4）では、細長い霜柱状の氷結晶がポリマー粒子の下部から成長していることが明らかとなった。凍結部分上部では、図-5の薄片写真で明らかなように、数mmの細長い霜柱状の氷結晶が垂直方向に密に並んでいる。一方、凍結部分下部では不定方向に短い針状結晶が多数生成しており、自然積雪に似た構造になっている。（図-6）

未凍結部分とグルーミングして再凍結すると図-7のような構造となる。図-6と比較すると全体に針状結晶が密なこと、ポリマーを内部に含む玉状『メダマ』の水が多数存在していることなどが特に明瞭に観察される。『メダマ』は、未凍結のポリマー粒子が周囲から冷却されて水を外部に吐き出し凍結したもので、その際に核となって周囲の『メダマ』や針状結晶を附着させ、その結果、全体の構造が自然雪と類似した構造になり、人工雪の強度を増加させたと考える。

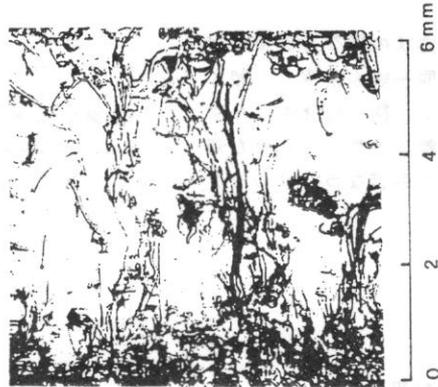


図-4 実験No-1 凍結部分先端部

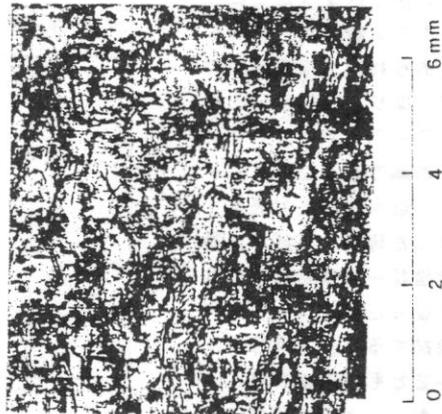


図-5 実験No-1 凍結部分上層

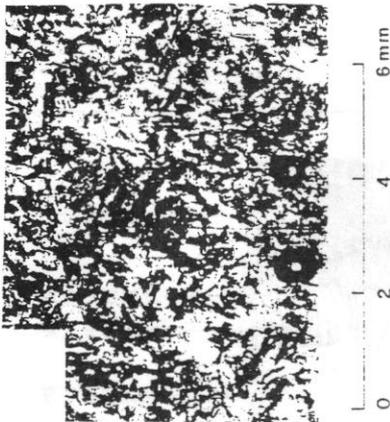


図-6 実験No-1 凍結部分下層

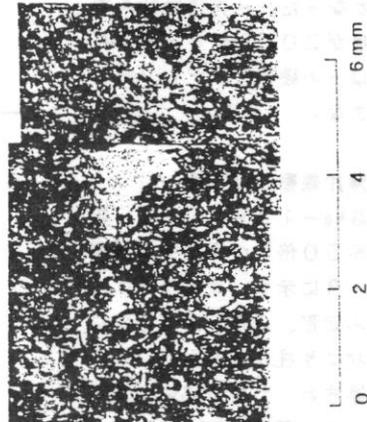


図-7 実験No-1 グルーミング再凍結後

実験No-2 (PAS-2 吸水倍率50倍)では、細長い霜柱状の氷結晶が認められず、図-7の『メダマ』状の氷結晶が成長している。(図-8) これは、PAS-2のポリマー粒径がPAS-1に比較して4倍以上大きく、凍結の際に析出する水量が大きいため、水が粒子下部から氷として成長しづらい、言い換えると、ポリマー粒子を押し上げる霜柱状成長が抑制されていることに起因していると考えられる。

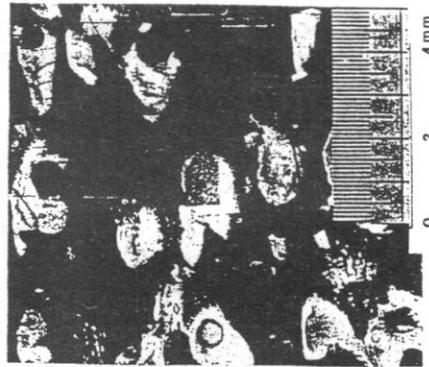


図-8 実験No-2凍結部分

実験No-3 (市販品A 吸水倍率50倍)では一部空隙を持った板氷状の構造をしている。(図-9) 市販品Aは破碎状のポリマーで、吸水させるとゲル状になるため、吸水したポリマー粒子間の滑りがなく、静止した状態で板氷状に凍結していることが明らかである。



図-9 実験No-3凍結部分

## 6. まとめ

### 1) 人工積雪の生成過程

冷却すると吸水したポリマー粒子から水が析出して、粒子の下部から柱状の氷結晶が発生する。柱状の氷結晶はポリマー粒子から水の補給を連続的に受けて上方へ成長し、ポリマーを押し上げていく。凍上現象に見られる霜氷の成長と同じ生成過程として理解できた。

### 2) グルーミング後の人工雪構造

凍結部と未凍結部との混合、凍結により、部分的に未凍結ポリマーが凍結して玉状『メダマ』の氷結晶が生成され、それが人工積雪の核となり周辺の氷結晶を付着して、自然雪と類似した構造を作る。

### 3) 人工積雪が得られる条件

ポリマー種、ポリマー粒径、凍結方法、凍結速度等により、人工積雪の構造は大きく影響を受ける。現在のところ、PAS-1のような球状のポリマーを下面からゆっくりと冷却すると、好結果が得られることが明らかとなった。今後更にそれらの生成条件について、詳しく検討していきたい。

### 4) 物理常数(摩擦係数等)について

現在摩擦係数を含む各種のパラメーターについて調査しており、それらについて後日発表を予定している。