



Title	雪の堆積論 III : 横張り防雪柵への吹だまり
Author(s)	小林, 大二; KOBAYASHI, Daiji; 油川, 英明 他
Citation	低温科学. 物理篇, 39, 91-100
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18417
Type	departmental bulletin paper
File Information	39_p91-100.pdf



雪 の 堆 積 論 III*

— 横張り防雪柵の堆雪過程 —

小林大二・油川英明

対馬勝年**・木下誠一

(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

I. ま え が き

防雪柵の研究の歴史は古く、多くの貴重なデータが先人によって報告され、実用に供されている。その多くは、実用上、最大堆雪量と堆積丘の位置等に関するものである。そこで、今回は、防雪柵の堆雪過程、防雪柵のふぶき捕捉率、柵周辺のふぶき現象等に関する調査研究を行った。この仕事は、塩谷^{1,3)}・新井^{2,3)}・秦野⁴⁾・今井^{4,5)}等の一連のふぶきと防雪柵の機能に関する研究を参考にしたものである。

調査は1972年から1976年にかけて3冬期間にわたって、北海道西岸のふぶき地帯である羽幌近辺において行った。対象とした主な防雪柵は、横張りの板柵で、高さ3~3.3 m、空隙率20%前後、下部間隙0.4~0.7 mのものであった。この他にむしろ柵、吹き払い柵の調査も一部で行った。

その結果、堆積の初期は柵の風上にやや多く堆雪するが、中期以降は、柵風下の堆雪量は風上の2~3倍に達すること、冬期を通じての柵の推定ふぶき捕捉率は50~80%である事等がわかった。一方短時間ではあったが、ふぶき最中の数回の現象調査での柵の実測捕捉率は66~99%となった。又目視及び煙での観測では、ふぶきの飛雪の大部分は、柵風上においても平地と同じく雪面近くに集中して移動し、柵の下部間隙を通り抜けて、柵風下に運ばれ堆積することも判明した。その他に柵風下においてふぶきの再発生・発達を示す、ふぶき輸送量の漸増のデータも得られた。

II. 防雪柵の堆積過程とふぶき捕捉率

1. 全冬期間のふぶき量の見積り

ふぶき量を風速のデータから算出することは非常にむずかしい。その主な原因は、飛粒子が雪であり、かつ積雪面上を輸送されるため比較的短時間に雪面での付着、焼結現象がおこることにある。このためふぶきの生存限界の風速 (V_i) が一義的に定まらない。又ある風速のもとの最大可能ふぶき量らしきもの (Q_{max}) は存在するが、最小ふぶき量は0になりうる。す

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2283号

** 現富山大学理学部

なわち、その時のふぶき現象は、降雪、温度、日射、積雪状態、風速、ふぶき状態及びそれ等の時間経過によって大きく異なる。(これ等の事は、ふぶき研究者の間で古くから注目され、断片的に報告されている⁶⁻¹⁰⁾。)

そのようなわけで、ふぶき量の見積りの式は、その地域毎に経験的に求めるわけである。今回は短時間のふぶきの発生しやすい条件のもとでは¹¹⁾

$$Q_{max} = 0.03V^3$$

長期間の見積りには^{12,5)}

$$Q = 0.02V^3$$

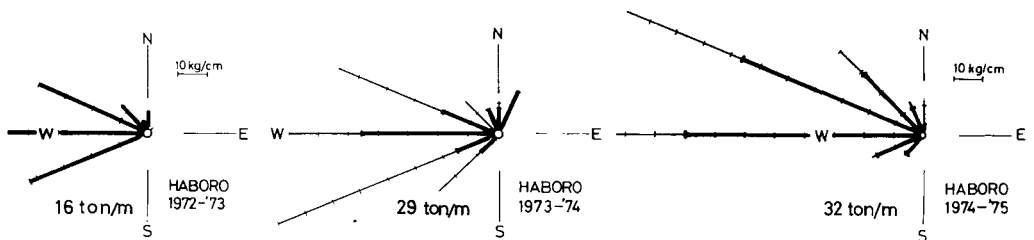
但し Q : ふぶき量 (g/m・s)

V : 雪面上 1 m 高の風速 (m/s)

長期間の現場の風速を観測することは困難である。今回は年毎に 1~2 週間程度、羽幌測候所 (市街地) の 12.5 m 高の風速と現場 (広い台地) の 1 m 高風速の比較観測を行った上で、測候所のデータを換算して用いた。(1972~73, 1973~74 年冬期は測候所の 12.5 m 高風速と現場 (競馬場) の 1 m 高風速はほぼ等しかったが、1974~75 年冬期は、測候所の風速が現場 (競馬場、興津) のそれよりも 1~2 m 低いことが多かった。)

ふぶきの存否の判定は便宜上次のようにして行った。測候所の 3 時毎の気象データで、気温が 0°C 以下、降雪中又は降雪後 3 時間以内までは、現場風速 5 m/s 以上、降雪後 3~6 時間の間は、7.5 m/s 以上、6 時間以後は 10 m/s 以上の場合に地ふぶきが発生するものとして、ふぶき量の積算を行った。

なおふぶき量 Q は風速 V の 1 次式ではないので、風速の平均時間のとり方によって、関係式が大きくかわるので注意を要する⁹⁾。ここでは、10 分間平均値を用いてある。

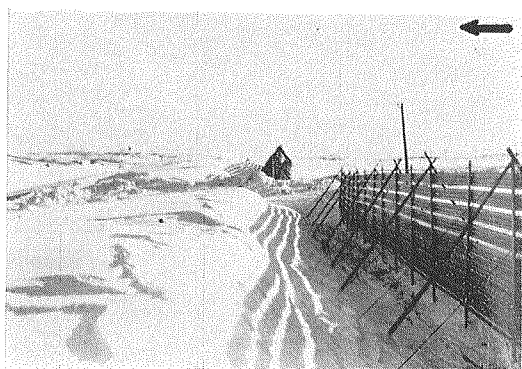
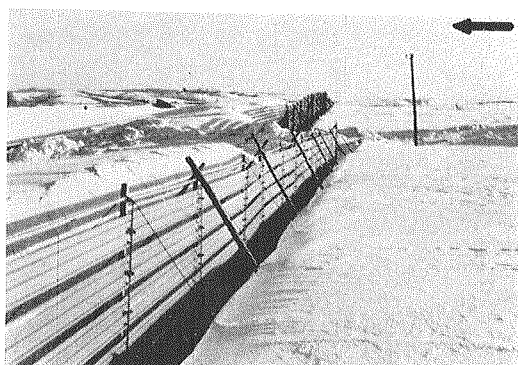


第 1 図 風向別のふぶき推算量 (太線部: 柵吹溜観測期間)

このようにして推算した 1972 年から 1976 年にかけての羽幌の冬期の風向別ふぶき量を第 1 図に示した。1972~73 年冬期は暖冬であり、大きなふぶきが少なかった。他の 2 冬期の総ふぶき量は約 30 ton/m となった。平年値に近いものと推定される。ふぶき時の主風向は西である。

2. 防雪柵の堆積過程と柵のふぶき捕捉率

防雪柵への吹きだまり状況を第 2 図の写真で、堆雪過程を第 3, 4, 5 図に示す。堆雪の当初は柵の風上にやや多くたまるが、しばらくすると飛雪の 2/3 以上は柵の下部を通り抜けて柵



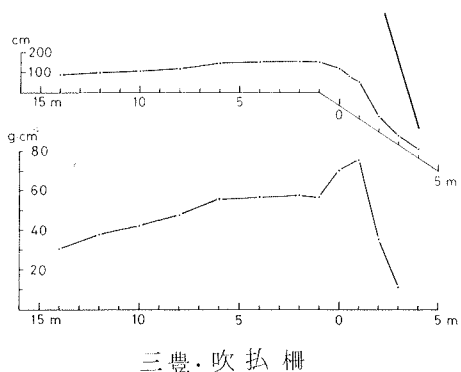
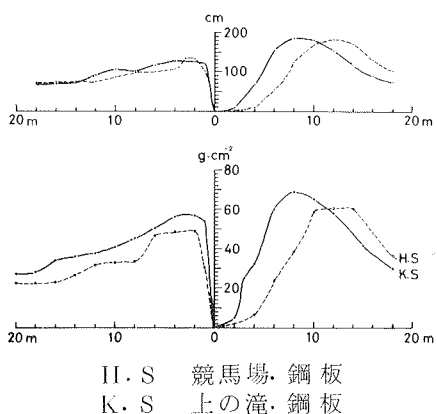
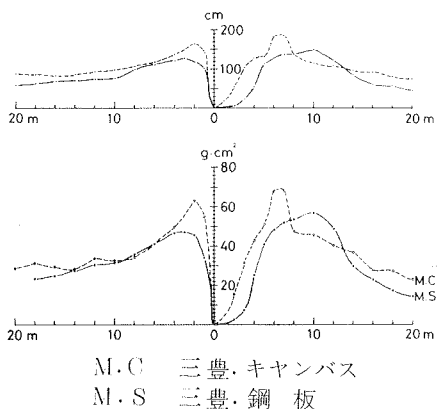
第2図 防雪柵への吹溜り(三豊)
上: 風上, 下: 風下

の風下にたまるようになる。柵の下部を雪面に沿って通り抜けた飛雪は、雪丘頂部で雪庇状に堆積しながら、風下へと堆雪がのびる。堆雪の形を最も左右するのは柵の下部間隙である。

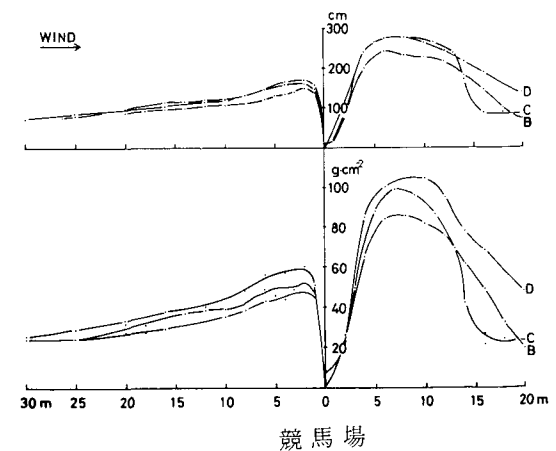
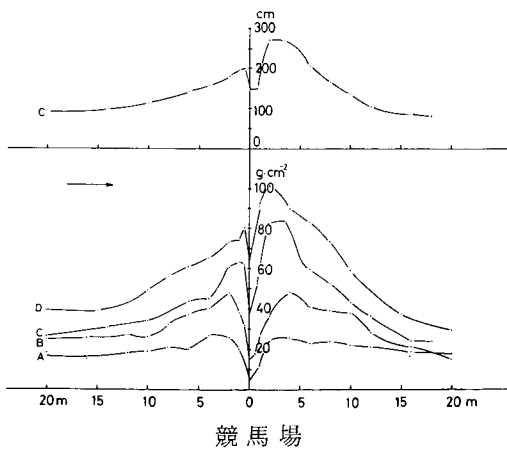
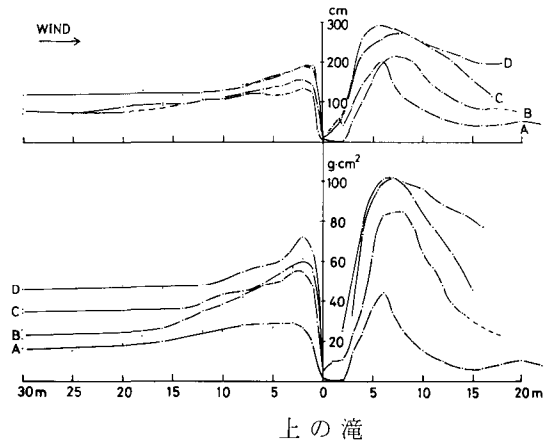
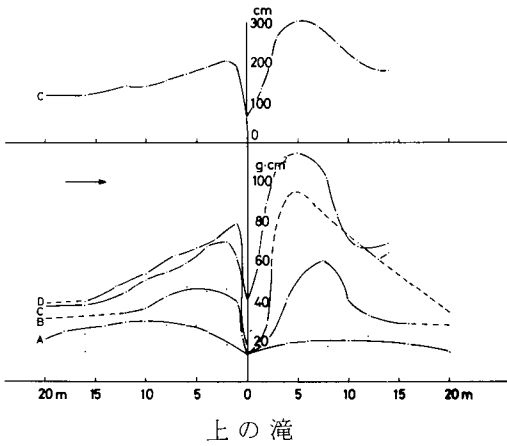
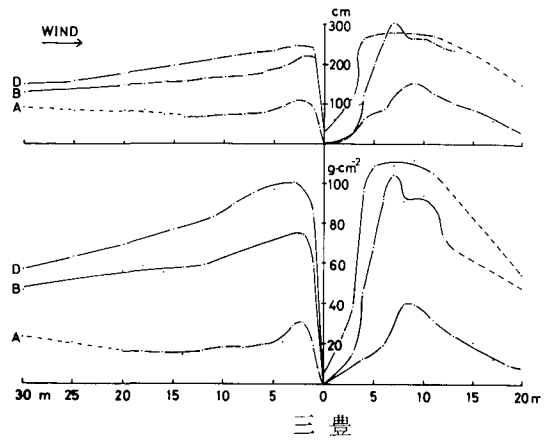
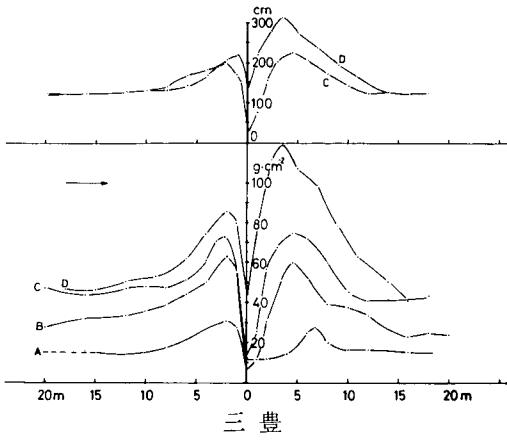
推算ふぶき量と防雪柵への堆雪量を第1, 2, 3表に1冬期毎に示した。柵への吹きだまり量の算定は意外に困難な作業である。今井⁵⁾になって、全堆雪量から、柵の風上、風下毎に平地積雪量を差引いて、吹溜量とした。一般に柵近傍の平地積雪量(柵から少し離れて雪面がほぼ平らになる所の積雪量)は、今井が指摘しているように、柵の風上において、風下におけるよりも大きい。防雪林の風上、風下でも同じ現象¹³⁾がみられる。

上述の吹溜量算出方法は実用的であるが、種々問題を含んでいる。

先に推算した1冬期の全ふぶき量のうち、防雪柵の設置期間のふぶき量と、柵の吹溜量を比較してみると、柵のふぶき捕捉率は50~80%となっている。できるかぎりのあいまいさを



第3図 1972~'73年冬期吹きだまり
(1973年3月14日)



第4図 1973~'74年冬期吹きだまり

A: 12月25日 B: 1月17日
C: 2月21日 D: 3月19日

第5図 1974~'75年冬期吹きだまり

A: 12月19日 B: 1月22日
C: 1月28日 D: 2月20日

第1表 防雪柵への吹溜量と推算吹雪量 (1972~'73)

12月13日~ 3月14日	三 キャンパス 豊 柵 (kg/cm)	三 鋼板 豊 柵 (kg/cm)	上 鋼板 滝 柵 (kg/cm)	競 鋼馬 場 柵 (kg/cm)	三 吹 弘 豊 柵 (kg/cm)
風上 全溜量	76	66	85	68	94
吹溜量	35	25	44	27	54
風下 全溜量	75	63	86	48	
吹溜量	38	31	51	44	
合計 全溜量	151	130	172	153	94
吹溜量	73	57	95	72	54
柵の法線方向 の推定吹雪量 (捕捉率)	—	—	132 (>72%)	128 (>56%)	—
柵の方線方向	W 32° S	W 32° S	W 4° N	W 18° N	W 28° S
柵仕様	むしろ柵 下のギャップ 40 cm 柵高 3.5 m	26 cm 幅の鋼 板を 7 cm 間 隔に 7 枚 下のギャップ 50 cm 柵高 3.5 cm	三豊に同じ	三豊に同じ柵 下のギャップ は 89 cm	吹弘柵 第4図参照

第2表 防雪柵への吹溜量と推算吹雪量 (1973~'74)

		12月25日~ 1月16日 (kg/cm)	1月17日~ 2月21日 (kg/cm)	2月21日~ 3月19日 (kg/cm)	計(12月25日~ 3月19日) (kg/cm)	柵仕様
競場馬 W 18° N (羽幌測候所 より 2 km)	全溜量	45	44	58	148	柵高 2.95 m
	吹溜量	25	34	25	85	板幅 26 cm
	(捕捉率)				(>67%)	板間隔 7 cm
	推算吹雪量	32	49	46	127	下部間隙 60 cm
	// 法線方向	25	29	38	92	
上の滝 W 4° N (羽幌測候所 より 2 km)	全溜量	56		110	169	柵高 2.95 m
	吹溜量	24		76	100	板幅 26 cm
	(捕捉率)				(>79%)	板間隔 5 cm
	推算吹雪量	32		95	127	下部間隙 75 cm
	// 法線方向	24		66	91	
三豊 W 32° S (羽幌測候所 より 9 km)	全溜量	77	54	60	191	柵高 3.2 m
	吹雪量	31	22	44	97	板幅 26 cm
	(捕捉率)				(>76%)	板間隔 7 cm
	推算吹雪量	32	(34)	(61)	(127)	下部間隙 60 cm

第3表 防雪柵への吹溜量と推算吹雪量 (1974~'75)

		12月19日～	1月23日～	1月29日～	計(1月3日～ 2月20日)	柵 仕 様 (cm)	
		1月22日 (kg/cm)	1月28日 (kg/cm)	2月20日 (kg/cm)			
競馬場 W 18° N (羽幌測候所 より 1 km)	全溜量	—	10	45	55	柵高	270
	吹雪量	—	—	—	44	板幅	26
	(捕捉率)	—	—	—	(56~63%)	板間隔	7
	推算吹雪量	141	19	60	79	下部間隙	40
	〃 法線方向 現地風速計による推算吹雪量	126	17	53			
		15					
上の滝 W 4° N (羽幌測候所 より 2 km)	全溜量	83	46	53	185	柵高	320
	吹溜量	58	21	32	110	板幅	26
	(捕捉率)				(50~57%)	板間隔	5~6
	推算吹雪量	141	19	60	220	下部間隙	45
	〃 法線方向 現地風速計による推算吹雪量	125	—	—	192		
		24					
三 豊 W 32° S (羽幌測候所 より 9 km)	全溜量	167		82	249	柵高	335
	吹溜量	59		49	108	板幅	26
	(捕捉率)				(49~68%)	板間隔	6~7
	推算吹雪量	141		79	220	下部間隙	60
	〃 法線方向	—		—	(160)		

取り除いてデータの処理を行ったが、誤差を論議できる程の結論は得られていない。

定性的には、堆積初期は捕捉率が低く、又堆雪量が柵の吹溜容量近くになると捕捉率は又低下しよう。

なお第3図下に示した吹払い柵の風上には通常の防雪柵の風上よりも多量の堆雪がある。吹払い柵といわれる柵の吹払い域は一般にかなり小さく、通常の下部間隔のある防雪柵と機能的にほとんどかわり得ないことに注意を要する。

III. 防雪柵周辺のふぶき現象

1. 防雪柵周辺のふぶき現象調査及びふぶき捕捉率

ふぶきの飛雪粒子が防雪柵に近づいてきた時、どのような経路をどのような運動形態で移動していき、どこに停まるのか、又飛雪粒子がどの位遠くからやってくるのか¹⁴⁾、柵周辺の風の状態はどうなっているのか等わからないことだらけである。

今回それ等の諸問題解明の手はじめとして、柵周辺の短期間のふぶき移動量をみぞを用いて調べた。又、ふぶき量の測定と同時に、吹溜量も柵の堆雪を横断して調べた。その結果を第4表に示す。実測による横張り柵のふぶき捕捉率は64~99%であることがわかる。但しいず

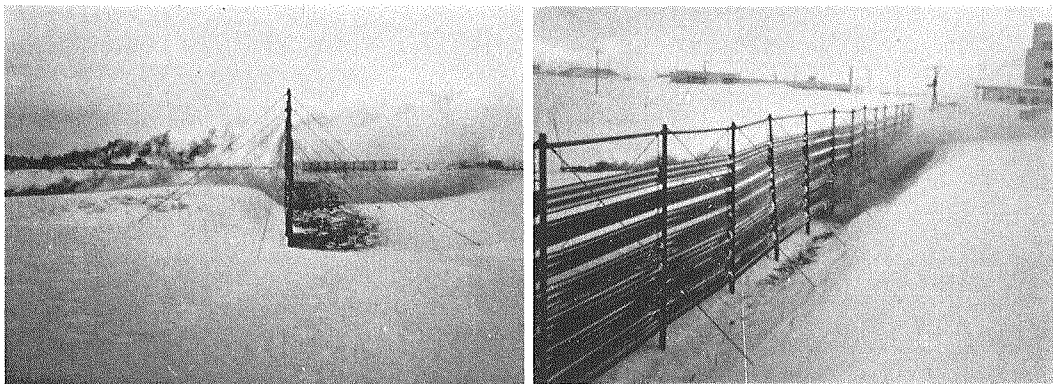
れも柵による堆雪量が中位の時であり、又風速も 6~10 m/sec の限られた範囲であった。キャンパス(むしろ)柵についても調べたが、ふぶき捕捉率は横張り柵よりやや大きい。

防雪柵(むしろ柵)の風下の 20, 40 m 地点のふぶき量を同じくみぞによって調べた結果では、40m 地点では 20m 地点のふぶき量の 2~3 倍にまでふぶきが再発達していることがわかる。

つぎに柵の風上の雪面上 5 cm 及び 1 m の高さで発煙筒をたき、煙の流れを調べた(第 6 図)。風速は 5~6 m/s 及び 7~8 m/s と比較的弱い時であった。低い方の発煙筒から出た煙は、

第 4 表 防雪柵周辺の吹雪量と吹溜量(現象観測)

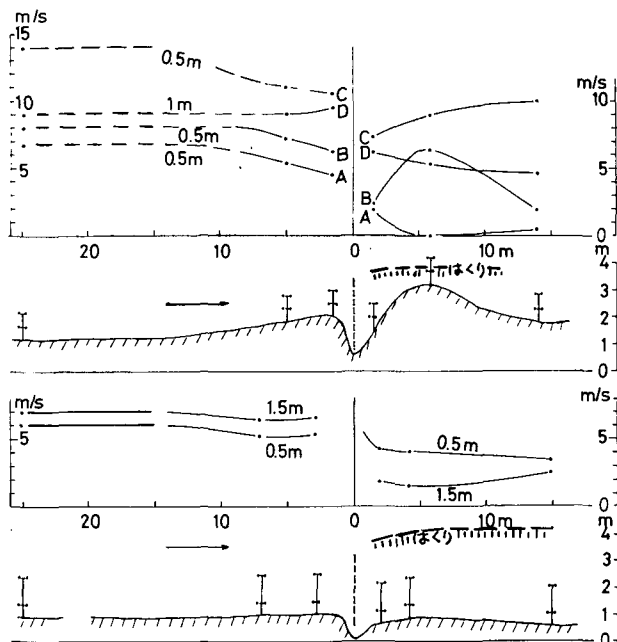
場所別	日時	時刻	吹溜量			風速 (m/s)	継続 時間	吹溜 さ (g/m·s)	全吹 雪量 (g/cm)	吹雪 量 (g/m·s)	柵の 捕捉 率 (%)	柵の周辺のふぶき量 (みぞの中の吹溜り量)			
			風上 (g/cm)	風下 (g/cm)	全 (g/cm)							風上 (g/cm)	風 (g/cm)	下 (g/cm)	
競馬場 鋼板 吹溜柵 (1973)	2月 20日21時 21日13時 14時15分 30分 22日 3時45分 30分		755	2,760	3,515	7.6	16分	6.1	—	<10)	(61)	25m点 26m点			
												—	—	—	
												64	<76	17	
"	1月25日 12時~ 14時50分		—	—	1,300	10.4	125分	17.3	1,320	17.6	99	30m点 20m点			
												1,320	22	—	
川尻 キャン パス柵 (むしろ) (1973)	3月14日 11時15分 11:49分 12:21分 13:32分 14:30分		37.3	20.6	57.9	6.9	34分	2.8	97.3	4.8	60	12.5m 点 20m点 40m点			
												97	7.3	19	
												93	87	5.3	16
												92	171	31	50
			68.7	52.5	121.2	6.8	58分	3.5	147.0	4.2	82	147	33	56	



第 6 図 雪面上及び 1 m 高からの煙の流れ(競馬場)
(雪面に沿う煙の流れと柵風下のはくり層)

右: 1973. 2. 12 風速 5~6 m/s (1 m 高) 柵下部間隙 40 cm
左: 1975. 1. 26 風速 7~8 m/s (1 m 高) 柵下部間隙 25 cm

雪面近くをはったままで、柵の下部をくぐり抜けていく。雪面近くに集中して躍動していく飛雪粒子の動きに似ている。



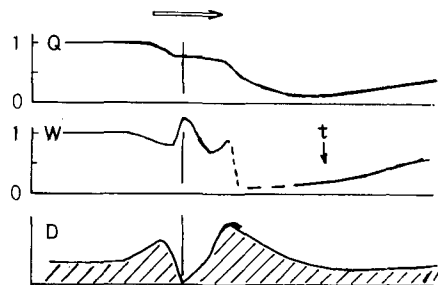
第7図 防雪周辺の風速分布と柵風下のはくり層 (第6図参照)
風速計設置高 (雪面上) 0.5 m, 1 m

1 m の高さから出た煙は一部柵の上を越えて流れていく。風速分布のデータ (第7図) とあわせてみると、はくり層らしきものがみえる。数少い風速分布のデータから言えることは、柵の風上では、比較的近くまで風速が減衰しないこと、風下では、柵下部間隙の影響で、雪面近くに風の強い所があらわれること等である。

2. 横張り型防雪柵の防雪機構の概念

塩谷^{1,3)}、新井^{2,3)}、秦野⁴⁾、今井^{4,5)} 等によって蓄積された防雪柵に関するデータ及び堆雪機構に関する概念に、上述の知見をつけ加えたものが、第8図である。

防雪柵の風上では風速の減少は柵の近傍においてもわずかなものであるが、前報¹³⁾ で定義した、過飽和型及びひっかかり型の吹きだまりが形成される。しかしながら、風速の減少がわずかなために、飛雪の大部分はそのまま風下に進み、柵の下部間隙を通り抜ける。この時収斂した風で加速され吹払われるが、柵風下の発散弱風域に、低い雪丘となって堆積する。一たん雪丘ができると、柵と堆雪丘の相乗作用で、雪底型及び、雪底



第8図 横張り防雪柵の堆雪機構
防雪柵周辺の堆雪 (D)、雪面近くの風速 (W)、ふぶき移動量 (Q)、風下の地ふぶき再発生点風速 (t)
(塩谷, 新井, 秦野, 今井, 小林)

風下の沈積型の堆雪が成長する(第4図, 第5図)。防雪柵の風下の柵高の約10倍も進むと風速は少しずつ強くなり, 堆雪丘を越えた飛雪が引き金となって, 地ふぶきの再発生・発達がおこる(第4表)。今井⁵⁾の指摘している柵風下の積雪の減少域は, 地ふぶきの再発生域(侵食域)にあたるものであろう。なお第8図に示した略図の様式は, 吹きだまりの形成過程でかわってくる。防雪柵の堆雪機構は, 常に柵と柵によってできる堆雪の相乗作用によって決まる。

VI. あとがき

防雪柵の調査研究を行ってみて, 先人の防雪に関する努力の集積には, 畏敬の念を禁じ得ない。しかしながら, ふぶき最中の現象調査を更に重ねる必要はあろう。又世界的に使われている空隙率の大きな柵, 近年用地問題で要請のある密閉柵に近いもの等を含めて, 更に系統的な防雪柵の研究も緊急の課題である。実用問題に答える雪の堆雪現象の解明が待たれる。

この研究の費用の一部は文部省科学研究費自然災害特別研究—寒冷地における高速道路の雪害と対策の研究(板倉忠三・他)から出された。現地調査においては開発局留萌開建羽幌出張所(遠藤潔所長)に大変お世話になった。又当研究所の成瀬康二氏, 大学院生高橋修平(現北見工業大学)氏他, 多くの方々の御協力を得た。ここにあわせて謝意を表します。

文 献

- 1) 塩谷正雄 1967 防雪柵, 雪氷, **29**, 100-106.
- 2) 新井秀雄 1954 人工ふぶきによる防雪林の実験的研究. 雪氷, **16**, 1-12.
- 3) 塩谷正雄・新井秀雄 1954 吹雪防止林の機能. 雪氷, **16**, 28-33.
- 4) 湊野武雄・今井篤雄 1969 板柵の雪機能について. 雪氷, **31**, 37-43.
- 5) 今井篤雄 1969 ふぶき移動量の計算と堆積量の適合性. 雪氷, **31**, 7-13.
- 6) Kotlyakov, V. M. 1961 Results of study of the formation and structure of the upper layer of the ice sheet in eastern Antarctica. General Assembly of Helsinki, IASH, IUGG Pub. **55**, 88-89.
- 7) Дюнин, А. К. 1963 Механика Метелей. Сибирского Отделения АН СССР, Новосибирск, 378 pp.
- 8) Budd, W., Dingle, R. and Radok, U. 1966 The Byrd Snow Drift Project—Outline and Basic Results. Antarctic Res. Ser. **9**, pp. 71-134.
- 9) Kobayashi, D. 1972 Studies of snow transport in low-level drifting snow. *Contrib. Inst. Low Temp. Sci.*, **A24**, pp. 58.
- 10) Dyunin, A. K. and Kotlyakov, V. M. 1980 Redistribution of Snow in the Mountain under the Effect of Heavy Snow-storms. Cold Regions Science and Technology, **3**, 287-294.
- 11) 小林大二・小林俊一・石川信敬 1969 みぞによる地ふぶ量の測定. 低温科学, **A**, **27**, pp. 99-106.
- 12) 塩谷正雄 1958 吹雪による年間吹溜量算定の可能性. 雪氷, **20**, 33-36.
- 13) 小林大二・田中夕美子・小林俊一 1979 雪の堆積論 II. —落葉樹防雪林の防雪効果—, 低温科学, **A**, **38** 53-61.
- 14) Tabler, R. D. 1975 Estimating the transport and evaporation of blowing snow. *Great Plains Agricultural Council. Publication* **73**, p. 85-104.

Summary

Formation process of snow drifts by horizontal-slat fences and their capture efficiency of drifting snow were studied for three winters from 1972 to 1976 in Haboro, located in the west coast of Hokkaido Island. With a porosity of 25% snow fences tested range from 2.7 m to 3.2 m in height and from 0.4 to 0.75 m in ground clearance (Fig. 2).

In the early stage of drift formation the amount of upwind drift slightly exceeds that of lee drift, whereas the lee drift increases after each snow storm and in the latter half stage it attains two or three times that of upwind drift (Figs. 3, 4 & 5). The capture efficiencies of the fences are evaluated to be 50~80% (Tables 1, 2 & 3), comparing the total drifts formed by snow fences through the whole winter season with the estimated amount of snow transport (Fig. 1) using the empirical formula $Q=0.02 V^3$, where Q is snow transport rate in $g/m \cdot s$ and V is the 1 m height wind speed in m/s. Meanwhile, direct measurements of snow transport using Oura's trench method in short durations of snow drifting give the capture efficiency values of 64~99% for the horizontal-slat fence and 60 to 90% for the rice-straw fence 40 cm in ground clearance (Table 4).