



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	融雪機械の性能試験について（第2報）：間欠雪投入および連続雪投入時の性能
Author(s)	伊藤, 献一; Ito, Ken-ichi; 谷口, 博 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 56, 17-26
Issue Date	1970-03-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40989">https://hdl.handle.net/2115/40989</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	56_17-26.pdf



# 融雪機械の性能試験について（第2報）

—間欠雪投入および連続雪投入時の性能—

伊藤 献一\* 谷口 博\*\*

斎藤 武\*\* 深沢 正一\*

（昭和44年11月29日受理）

## On a Performance Test of a Snow Melting Machine (II)

—Intermittent and Continuous Feeding of Snow—

Ken-ichi ITO Hiroshi TANIGUCHI

Takeshi SAITO Shoichi FUKAZAWA

(Received November 29, 1969)

### Abstract

The method of a performance expression on a snow melting machine and the results of a performance test for a stationary machine which was usually operated in intermittent feeding of snow were described in the previous report of this study.

In this report the performance of the machine is analyzed under conditions of intermittent and continuous feeding of snow. The melting capacity of the new machine was about two times of the previous one.

Under continuous feeding, the snow which was fed in the melting pool floated on and covered its surface, in such a way that the heat exchange became effective and residual snow was reduced.

The efficiency of the machine increased under continuous feeding as compared with that of intermittent feeding. It was shown that the heat loss transported by the overflow was reduced.

### 1. ま え が き

融雪装置の性能試験方法，トラック搬入雪による間欠的な雪の投入状況における性能の測定<sup>1)</sup>については第1報<sup>2)</sup>において述べた。第2報では，間欠ならびに連続雪投入状態の試験<sup>3),4)</sup>について述べ，これら種々の状況における融雪機械の性能値を求めるため，基準となるべき任意区間の設定を明確にして，性能試験方法，性能表示方法をより具体的なものとした。

従来，排雪運搬にはほとんどトラックが使用されており，そのため，融雪装置への雪搬入状況は間欠的であるが，既報のごとく，融雪状況が非定常にならざるをえず，排水方法がオーバーフロー式の場合には雪塊による排除体積相当の溢水を生ずることから，有効効率の向上はあまり望めない。この点から，融雪装置への雪投入負荷を連続的に行なった場合の性能測定，さらに融雪補助装置の使用による雪まじり排水を行なった場合などの性能測定を行ない比較検討した。

性能試験は昭和44年1月，北海道土木部小樽土木現業所除雪センター構内に設置された融雪能力60 t/h型の装置により行なった。

本研究は，札幌市よりの委嘱を受け，費用の一部は同市委託研究費，文部省科学研究費（試験

\* 機械工学科 燃焼工学講座

\*\* 機械工学科 熱機関学第一講座

研究) によったもので、供試融雪機械の運転および雪投入作業において北海道土木部の援助をうけ、測定とその整理には北海道大学工学部熱関係講座各位の協力を得、北海道大学工学部石黒亮二助教授には貴重なご助言を戴いた。ここに深甚なる謝意を表する。

## 2. 試験方法概要

### 2-1 供試融雪機械

試験に用いた融雪機械は酒井重工業製 60 TM型で、前報において使用した 40 TM型と融雪方式は全く同じで、融雪能力は 60t/h、燃料消費量は 484 ℓ/h と称されており、水中バーナーを 2 本備えている。燃焼用空気は 37 kW 電動機で駆動される遠心式ブロアー 2 台により各バーナーへ送入される。

融雪槽は 4.3 m × 5.5 m × 2.5 m のコンクリート槽で融雪用水量は 40 m<sup>3</sup>、融雪水は巾 2.3 m の溢水口より下水道に排出され、融雪槽より約 10 m はなれた川に放流される。

融雪補助装置として溢水口には投入雪の一部を排水と共に掻出すための掻出し装置、融雪槽壁面には噴流攪拌用の噴流ノズルを備えている。図-1 に供試融雪機械の概要を示す。

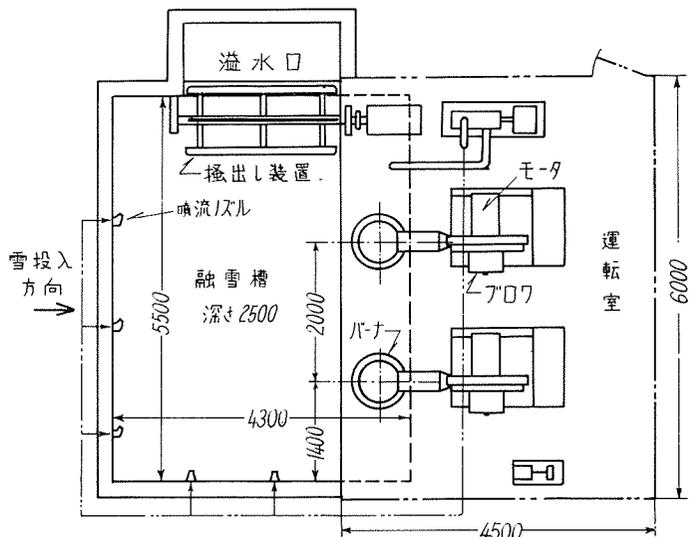


図-1 供試融雪装置概要図

### 2-2 試験方法および試験条件

試験に供される雪は排雪現場でスノーローダによりダンプトラックに積込まれ、除雪センターへ運ばれる。トラックへの積込量は小樽市塵芥処理所に設置されているトラックスケールにより計量される。適宜、トラックに積載された状態において、雪試料サンプリング、雪温測定、硬度測定をしたのち、雪は融雪槽に投入される。

融雪槽への雪投入方法、投入雪量（投入負荷）、雪質、融雪補助装置使用の有無を性能比較の対象項目とした。

雪投入方法は、トラックに積込まれた雪を一定間隔（6分、4分、3分）で全量一度に融雪槽に投入する間欠雪投入方法と、融雪槽の側に一旦雪をトラックから下し、スノーローダにより一定時間をかけて連続的に融雪槽に投入する連続雪投入方法の二通りについて検討した。

雪質については、郊外道路排雪および比較的塵芥、氷塊含有の多いと考えられる市街地道路排雪の二種を選んだ。

以上のことから条件の異なる7通りの試験を行なった。試験条件および試験時の平均気温を表-1に示す。

表-1 試験項目

項目番号 No.	雪質	雪投入方法	雪投入間隔	融雪補助装置の使用	試験日	試験期間の平均気温
1	郊外排雪	間欠雪投入	6分	無	1月21日	-6℃
2	"	"	4	"	"	-7
3	"	"	3	"	"	-8
4	"	"	4	掻出装置のみ使用	"	-8
5	"	連続雪投入	4*	無	1月22日	-7.5
6	市街地排雪	間欠雪投入	4	"	"	-6
7	"	"	4	使用	"	-5

\* 連続雪投入方法における投入間隔は、この時間内にトラック1台分の雪をスノー・ローダにより融雪槽へ投入することを意味する。

### 2-3 試験経過

性能試験は昭和44年1月21日、22日の両日にわたって行った。21日には郊外排雪をトラック54台分、216トンほど処理し、翌22日は郊外排雪の連続投入と市街地排雪の間欠投入について試験し、トラック51台分200トン进行处理した。

## 3. 測定方法および測定結果

とくに記載のない場合、測定方法および測定結果の整理、計算方法の詳細は第1報に述べた通りである。

### 3-1 雪の諸性質の測定

2日間に延べトラック105台分の雪を処理し、このうち20台分について、測定を行なった。表-2にその結果を示す。

表-2 雪の諸性質

試験日	雪質	見かけ比重 gr/cm <sup>3</sup>	雪の硬度 gr/cm <sup>2</sup>	雪の温度 ℃	エンタルピー kcal/kg	含水率 %
21日	郊外排雪	0.533	3933	-2.8	-80.47	0.34
22日	"	0.520	3948	-4.0	-80.96	0.53
"	市街地排雪	0.587	2584	-4.1	-81.03	0.52

### 3-2 投入雪量の測定

各試験項目の計測状態に入る前に融雪槽の状況に応じ数回の雪投入を行ない予備運転を行なった。予備運転期間中の雪投入を含め、搬入雪は全量をトラックスケールにより計量した。その結果を表-3に示す。

### 3-3 溢水流量および溢水温度の測定

融雪槽からの溢水は直径400mmの下水管を通り川（小樽市勝内川）に放流される。溢水流量は、下水管放出口における水位変化を5秒間隔にて撮影記録し、水位から計算により求めた。融雪槽の水ぬきの際、槽の面積と槽水位の低下速度から下水管への流出量を実測し、下水管水位と流量との関係を求めた。

溢水温度は溢水の落下点（溢水口直下）にクロメル-アルメル熱電対をおいて自動平衡型記録

表-3 雪 投 入 量

項目番号	予備運転を含めた雪投入回数	雪 投 入 量	トラック 1 台 平均の積載量
No. 1	13	52.38 ton	4.03 ton
2	16	65.16	4.07
3	11	43.38	3.94
4	14	55.44	3.96
5	20	73.14	3.65
6	15	62.18	4.14
7	16	64.86	4.05

計にて連続記録させた。溢水流量および溢水温度の測定結果は性能試験結果の解析の項で示されている。

### 3-4 送風空気流量および燃料消費量

送風機とバーナを結ぶ空気導管（ゴム製、内径 270 mm）にピート管移動測定具を垂直、水平方向に取付け、ピート管からの全圧および管壁における静圧を水銀マンオメータに指示させ、空気導管内の速度分布を測定し、それより送風空気量を算出した。全試験期間を通じ、任意の管内半径位置にピート管を固定し、静圧と共に全圧を監視した。風圧、風量共ほとんど変動はなかった。表-4 に測定結果を示す。燃料ポンプとバーナ間に容積型流量計（オーバルミニオイルメータ、10~700 ℓ/h 用）を取付けバーナに供給される燃料流量を計測した。全試験期間を通しての燃料消費量の平均値と、これと空気流量から求めた空気過剰率を表-5 に示す。

表-4 送風空気流量

ブロウ	送風空気流量 Nm <sup>3</sup> /hr
1号	3880
2号	3890

表-5 燃 料 流 量

バーナ	平均燃料流量 ℓ/h	空気過剰率
1号	218.5	1.97
2号	219.0	1.96

試験項目ごとの測定結果については表-6 に示される。

なお、使用燃料の仕様はつぎの通りである。灯油 出光 JIS 1号、元素分析 C=0.850, H=0.139, 比重 0.791（使用時0.80）、高発熱量 11,060 kcal/kg、理論空気量 11.38 Nm<sup>3</sup>/kg

### 3-5 騒音の測定

指示騒音計（B & K 社、2203型）により、融雪機運転時の騒音測定を行なった。図-2 に A および C スケールによる指示値を示す。融雪装置の周囲、地上 1 m において 90 dB（A スケール）であった。融雪槽前方および川側への音圧減衰は他の方向より少ない。なお、運転室内の騒音レベルは A スケールで 100~104

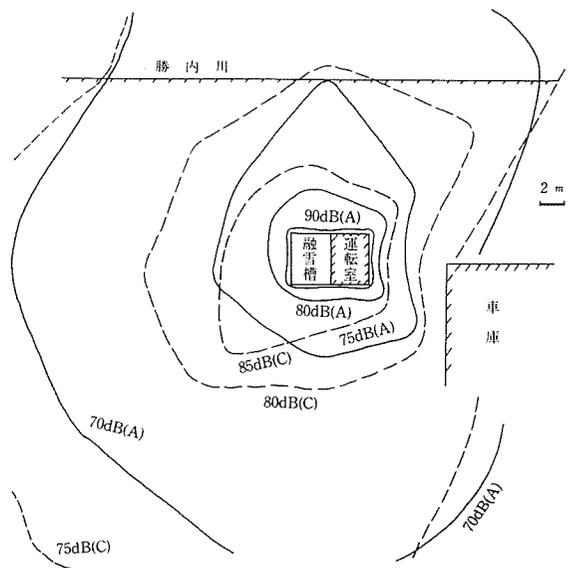


図-2 融雪機周囲の等騒音レベル線

dB, Cスケールで 103~108 dB であった。

### 3-6 その他の測定

バーナ燃焼状態監視のため燃焼筒内に白金-白金ロジウム熱電対を挿入し、燃焼温度を指示させた。また、燃焼ガスを磁気式酸素計（富士電機製, MO型）、燃焼式CO計（理研計器製, GP-450B）に導き分析計録し、さらにガスクロマトグラフによるガス分析を併用した。COは常時0.15%程の排出がみとめられた。

融雪槽内各部にクロメル-アルメル熱電対を入れ、バーナ循環水入口、同出口温度、槽内温度分布の測定を行なった。

## 4. 性能試験結果の解析

### 4-1 性能表示方法

性能試験結果の表示方法は前報における任意区間の性能の考え方を原則とする。しかし、前報においては、任意区間として規定区間を設定してその時間内においてすべての性能を求めたのであるが、残雪の生ずる場合に、これが全部融解するまでの時間を含めた融雪機械の運転期間を通しての性能をつかむことはできない。また、前報の規定区間で考えた効率と全運転時間と全投入雪量から求めた効率との間の差がかなりあること、実際に融雪機械は融雪槽内に残雪がなくなるまで運転されることが普通であり、これらの点を考慮し、以下に定義するごとく、規定区間に代るものとして試験期間を考え、雪の量に関する時間基準とし、効率に関する基準としては融雪時間を選んだ。また、融雪速度（処理能力）については融雪時間を基準とすることが実際の運転状況に即していると考えられ、ここでは、前報の規定区間基準に相当する試験期間基準融雪速度に加えて融雪時間基準の二通りの表示を行なった。さらに、前回試験した融雪装置に比べ、供試装置は融雪槽容積が大きいこと、残雪が槽容積のほとんどを占めて融雪機械としての機能を失なうことのない程度に実際の能力と負荷とのバランスを保ったことなどから、試験期間を通して、融雪量  $W_m$  は溢水量  $W_{ov}$  に等しいとした。

性能試験の結果は表-6に示されるが、表中の各項はつぎの定義による。

試験期間  $\tau_r$  = 雪投入回数 × 雪投入間隔  $\tau_l$

融雪時間  $\tau_m$  = 試験開始から試験期間最後の投雪が終り、融雪槽内の雪が全部融けるまでの時間

したがって、 $\tau_r < \tau_m$  ならば、1回の投入雪が  $\tau_l$  の間に融けきれず、残雪の生ずることを意味する。

$W_s, W_R, W_m = \tau_r$  を基準にとった投入雪量、残雪量、融雪量（処理量）

ただし、融雪補助装置を併用した場合には雪まじり排水となり、このような状態で融雪槽から排出される雪も含めて融雪量と表わすことにする。とくに雪まじり排水を他と区別するならば、処理量と表現すればよいと考えられる。

$$\text{融雪率（処理率） } R_m = W_m / W_s \quad (1)$$

$$\text{投雪負荷 } \dot{W}_R = W_s / \tau_r \quad (2)$$

融雪速度については前述のごとくつぎの二通りの表示を行なう。

融雪速度（処理能力）

$$\text{試験期間平均融雪速度 } \dot{W}_{mT} = W_m / \tau_r \quad (3)$$

$$\text{融雪時間平均融雪速度 } \dot{W}_{mm} = W_m / \tau_m \quad (4)$$

融雪機械の効率は融雪時間を基準にそれぞれつぎのように定義される。

$$\text{熱効率 } \eta_{th} = \frac{(i_{ov} - i_s) W_S}{q_b + q_e + q_p} \quad (5)$$

ただし、 $i_{ov}$ ,  $i_s$  = 溢水, 雪のエンタルピ

$$i_{ov} \cdot W_S = \int_0^{\tau_m} i_{ov} \cdot w_{ov} d\tau$$

$i_{ov}$  = 時刻  $\tau$  における溢水のエンタルピ

$w_{ov}$  = 時刻  $\tau$  における溢水流量

$(q_b, q_e, q_p)$  = 時間  $\tau_m$  中にバーナに供給された燃料の発生熱量, 燃焼用空気により持込まれた熱量,  $\tau_m$  の始めと終りの融雪槽内の保有熱量差

$$\begin{aligned} \text{有効効率 } \eta_{eff} &= \frac{(i_{t0} - i_s) W_S}{q_b + q_e + q_p} \quad (6) \\ &= \eta_{th} - \frac{i_{ov} \cdot W_S - i_{t0} \cdot W_S}{q_b + q_e + q_p} \end{aligned}$$

ただし、 $i_{t0} = t_0^\circ\text{C}$  の水のエンタルピ

融雪補助装置の使用などのため雪まじり排水となった場合には、掻出し率を定義してその程度を概算することができる。

$$\text{掻出し率 } R_{SG} = \frac{\dot{W}_{mT'} - \dot{W}_{mT}}{\dot{W}_{mT'}} \quad (7)$$

ここに、 $\dot{W}_{mT'}$  = 融雪補助装置を使用した時の融雪速度 (処理能力)  
燃料消費率についても融雪時間を基準とする。

$$\text{燃料消費率 } B = \text{融雪時間中に供給した燃料量/投入雪量} \quad (8)$$

## 4-2 間欠雪投入時における性能

### 4-2-1 雪質の違いによる影響

表-6, 試験項目 No. 2 と No. 6 により比較すると、郊外排雪の融雪率, 融雪速度共若干市街地のものより上回っている。これは、雪の見かけ比重, 硬度およびエンタルピの違いが総合された結果と考えられるが、この程度の条件の違いでは装置の融雪性能への影響は他の要素に比べ少ないといえる。

表-6 性能

試験項目番号 No.	試験条件				雪投入回数 (回)	試験期間 $\tau_T$ (min)	融雪時間 $\tau_m$ (min)	投入雪量 $W_s$ (ton)	残雪量 $W_R$ (ton)	融雪量 $W_m$ (ton)
	雪質	雪投入方法	雪投入間隔 $\tau_I$ (min)	融雪補助装置 使用の有無						
1	郊外排雪	間欠投入	6	無	8	49	51	32.1	1.2	30.9
2	"	"	4	"	16	64	76	65.2	12.5	52.6
3	"	"	3	"	11	33	58	43.4	17.1	26.3
4	"	"	4	掻出し装置のみ使用	14	56	60	55.4	3.6	51.9
5	"	連続投入	4	無	13	54	54	47.0	0	47.0
6	市街地排雪	間欠投入	4	"	10	41	49	41.3	9.3	32.1
7	"	"	4	使用	11	44	44	44.9	4.5	40.4

#### 4-2-2 雪投入間隔の影響 (投雪負荷の影響)

雪投入間隔の相違による性能の変化はかなり大きい。この影響を試験項目 No. 1, 2, 3 により比較検討する。1回の雪投入量はほぼ一定であるから、投入間隔を変えると投雪負荷が変化することになる。公称能力 60 t/h を 100% 負荷とすると No. 1 は約 70%, No. 2 は 100%, No. 3 は 130% 負荷となる。融雪率は雪投入間隔が短くなるほど低下し、70% 負荷では、平均して1回の雪投入量の約 4% が融雪槽に残されるのに対して、130% 負荷の場合、これが 40% にも達し、残雪量増大による運転不能状態に達するまでの時間が早くなり、過負荷で使用することは好ましくない。この残雪は雪投入ごとに多くなり累積されていく。たとえば 3 分間隔の場合、11回の雪投入ののちには約 17 トンの残雪があり、水中における雪の比重を 0.8 に見積っても、その体積は 21 m<sup>3</sup> にもなり融雪槽容積 (40 m<sup>3</sup>) の半分以上に達する。これを全部融かすためには 25 分間のバーナ運転を要することになり、結局、残雪が多くなるほど融雪水量が減少し、融雪効果をそこない、ますます融雪速度は低下する。

融雪補助装置を使用しない場合、この装置の融雪速度は 4 分間隔の雪投入時に最もよく 51.4 t/h であり、これより低負荷でも、また、逆に過負荷においても低下し、熱効率、有効効率も同じ傾向にある。もちろん、燃料消費率も 4 分間隔において他の何れよりも低い値 (8.4 ℓ/t) を示す。融雪補助装置を使用しない場合、すなわち、完全に雪を融かしてから排出する場合には、最高効率を得るような最適雪投入間隔が存在する。

図-3 は溢水流量と溢水温度測定結果の一部である。低負荷では、残雪が少なく、溢水温度が上昇していくこと、雪投入時に速やかに融雪水が排出されることのため、溢水に持ち去られる熱量は、雪投入の瞬間には大きい。逆に、負荷が大になると、残雪が多くなり、溢水温度は徐々に減少する傾向にあり、また、融雪水の排除作用も減じてくるが、溢水量の全量は増大しているのであるから、結局、試験結果では、負荷が変化しても溢水によるエンタルピ損 ( $i_{ov}-i_t$ ) はあまり変化せず、全供給熱量の 7~9% であった。このような装置で間欠雪投入を行なう場合、有効効率の向上は融雪水排出方法により制限を受ける。

#### 4-2-3 融雪補助装置使用の影響

融雪補助装置使用の有無については、試験項目 No. 2, 4, 7 により比較できる。補助装置の使用により融雪率 (処理率) は高くなり、見かけ上の熱効率を計算すると 100% を越えることにな

試 験 結 果

融雪率 (処理率) $R_m$	投雪負荷 $\dot{W}_p$ (t/h)	融雪速度 (t/h) (処理能力)		掻出し率 $R_{sc}$	熱効率 $\eta_{th}$	有効効率 (0°C基準) $\eta_{eff}$	燃料流量 (ℓ/hr)	燃料消費率 $B$ (ℓ/t)	備考
		試験期間平均 $\dot{W}_{mT}$	融雪時間平均 $\dot{W}_{mm}$						
0.962	40.4	37.8	37.7	—	0.825	0.742	426.6	11.3	
0.807	61.2	49.3	51.4	—	0.973	0.888	434.5	8.4	
0.605	78.6	47.8	44.8	—	0.933	0.858	434.4	9.6	
0.935	59.4	55.6	55.4	0.113	—	—	426.4	7.6	
1.00	54.3	52.2	52.2	—	0.987	0.926	436.4	8.3	
0.775	62.1	46.9	50.5	—	0.966	0.899	435.5	8.6	
0.899	62.1	55.0	53.8	0.147	—	—	436.9	7.1	期間の後半は掻出し装置使用せず

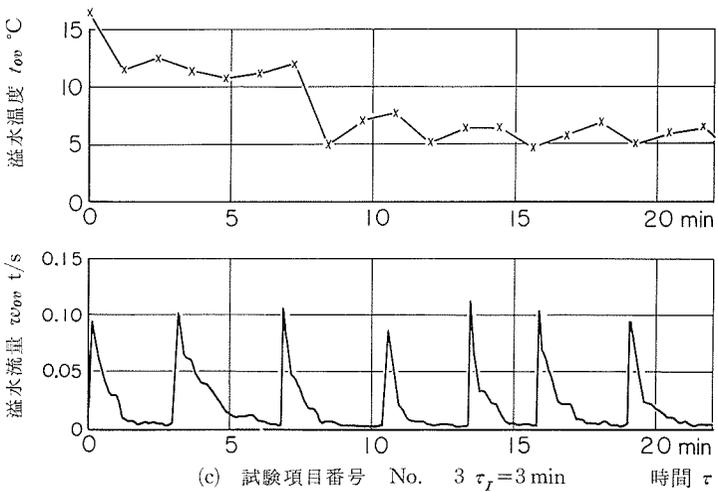
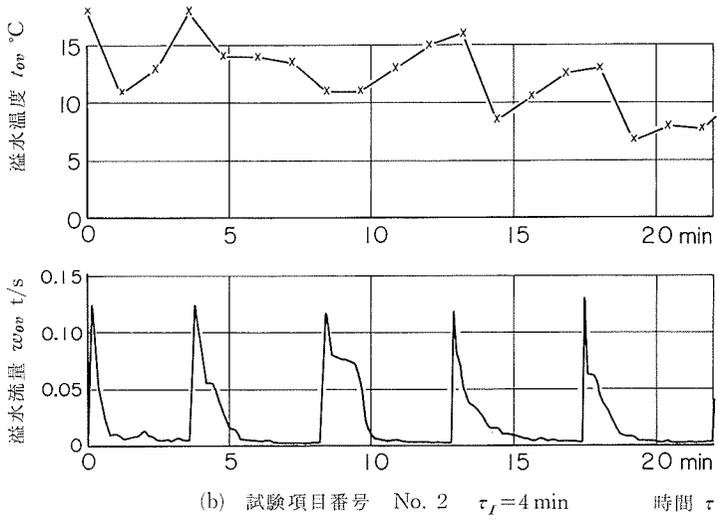
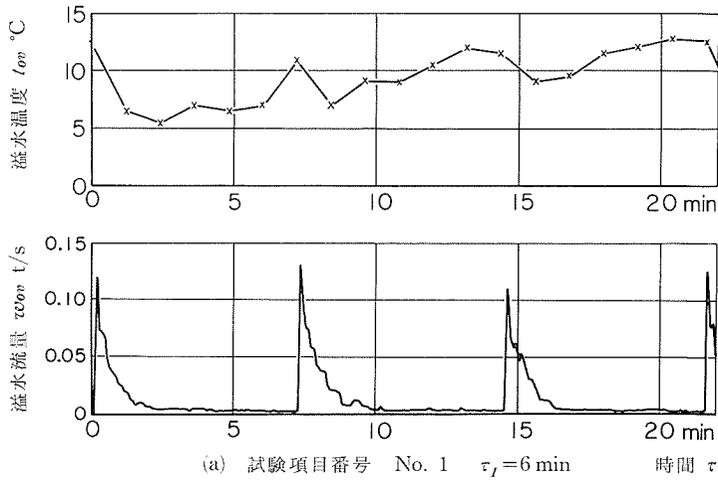
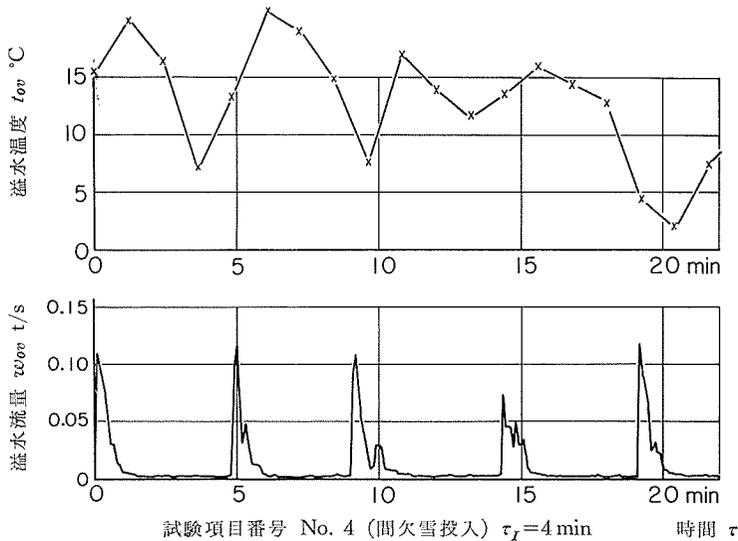


図-3 間欠雪投入時における溢水流量と溢水温度

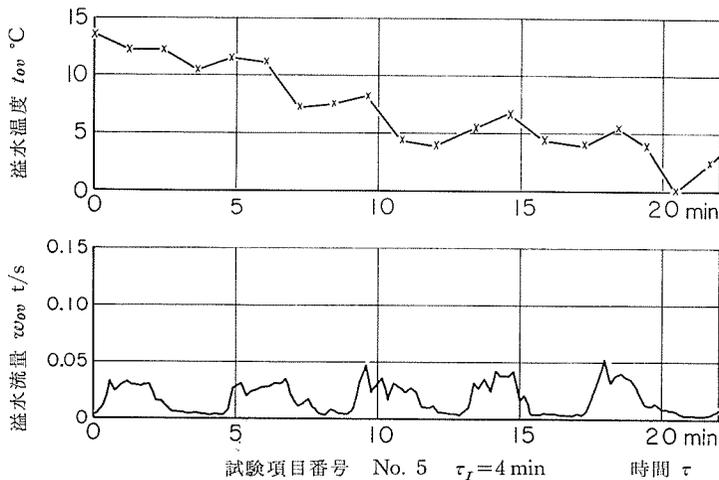
り、当然、燃料消費率は極端に低くなる。この試験において掻出し率は11~15%であるが、溢水の熱量が下水管内などにおいて掻出された雪を融かすために回収されたとしても全量を融かすのには不十分である。雪まじり排水による融雪処理能力の向上は、排水設備とくに排水温度の制限から、制約される。図-4は No. 4 における溢水の温度、流量である。掻出し作用のため溢水流量は雪まじりであってもかなり高く、測温点までの間では雪と水との熱交換が完全には行なわれていないことを示している。



試験項目番号 No. 4 (間欠雪投入)  $\tau_I=4$  min 時間  $\tau$   
 図-4 掻出し装置使用前における溢水流量、溢水温度

4-3 連続雪投入時における性能

融雪槽わきにトラック搬入雪を下し、スノーローダによる融雪槽への連続雪投入方法を試みた結果が試験項目 No. 5 である。試験の都合上、同一投雪負荷における間欠雪投入方法との厳密な比較はできなかったが、一般的に言えることは、融雪率が非常に高く、測定できる程の残雪は生じなかったことである。熱効率、有効効率共に高く、各試験項目中最高である。これは、融雪水表面のほとんどを投入雪で覆うことができ、かつ、雪の重量当りの伝熱面積が著しく増大し、熱



試験項目番号 No. 5  $\tau_I=4$  min 時間  $\tau$   
 図-5 連続雪投入時における溢水流量、溢水温度

交換が有効に行なわれる結果と考えられる。とくに、熱効率と有効効率の差の少ないことに注目される。

図-5 は溢水温度，流量の測定結果の一部である。雪投入にはほぼ比例した溢水流量の変化がみられ，溢水温度は徐々に低下していく。このように，連続的な雪投入方法は，融雪装置を有効に運転することのできる一方法と考えられる。また，排水温度の制御もこの方法ならば比較的容易であろう。

## 5. ま と め

以上の性能試験の結果からつぎのことが要約される。

- 1) 融雪槽への雪の投入は，雪塊による融雪用水排除作用の小さい方が，融雪装置の運転を円滑に行なうことができる。
- 2) 間欠雪投入方法においては，融雪槽の容量の大きい方が，始動性は劣るが，この作用は小さく，融雪性能は高くなる。
- 3) 1)項の考慮により試みた連続雪投入方法は，融雪率，各効率共間欠雪投入方法より高く，融雪装置の有効な運転方法と考えられる。
- 4) 雪まじり排水を行なうには，排水設備の状況を十分考慮しなければならない。
- 5) 性能試験をさらに正確かつ普遍性あるものにし，装置の運転方法や設計の資料を得るためには，今後，融雪機構の解析，融雪方法の検討が必要となる。

## 文 献

- 1) 深沢，齋藤，谷口，伊藤：日本機械学会講演論文集，No. 217，P. 61（昭44年10月）
- 2) 深沢，齋藤，谷口，石黒，伊藤：北大工学部研究報告，第54号，P. 185（昭44年10月）
- 3) 深沢正一：60 T/H 型定置式スノーメルタ性能試験報告，札幌市（昭44年3月）
- 4) 伊藤，谷口，深沢：日本機械学会北海道支部創立10周年記念第13回講演論文集，P. 191（昭44年10月）