



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	下水管梁による雪の輸送に関する研究
Author(s)	寺島, 重雄; 神山, 桂一; 真柄, 泰基 他
Citation	衛生工学, 16, 49-62
Issue Date	1968-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36195
Type	departmental bulletin paper
File Information	16_49-62.pdf



下水管渠による雪の輸送に関する研究

寺 島 重 雄 *
神 山 桂 一 **
真 柄 泰 基 ***
河 村 功一郎 ****

An Experimental Study for the Disposal of Snow through Municipal Sewers.

Shigeo TERASHIMA
Kēichi KOYAMA
Yasumoto KAGARA
Kōichiro KAWAMURA

In urban area of the snowy district, the disposal of snow from the street is now a great problem. The conveyance of the snow through municipal sewer is considered an applicable method in the congested area. Thus the authors examined the possibility of the application in this city, Sapporo.

The road side snow blocks are thrown into the sewer through ordinary manholes without any treatment. Thrown snow drops down the sewage temperature in course of the melting. Practically snow blocks are carried out under the half melted state. Thus the drop of the temperature is less than the value predicted by the theoretical calculation which carried out by the assumption that all of the snow should melt out. The difference between calculated and experimental values are distinct in such conditions as the treatment of high density snow blocks and high snow-sewage ratios. These gives the following results. The snow-sewage ratio should be restricted by allowable temperature drops of the carrying sewage.

1, ま え が き

本研究は札幌市の委託をうけ、トラックなどによる運搬排雪にかわって、人力あるいは機械力を用いて雪を下水管渠に直接投入し排雪する方法の可能性を検討するために行なったものである。

昔から、ベルリン市⁽¹⁾、およびケルン市⁽²⁾では、下水管渠に図—A、および図—B、のごとき雪孔を設けて、排雪を行なっているし、北欧の都市では下水管渠の人孔の近くにスノーメルターを設置して、融雪水を下水管渠に放流しており、全く新しい方法とはいえないが、雪質や下水道の相異などもあり、改めて札幌市において検討することになった。

*	下水工学講座	教授
**	〃	助教授
***	〃	助手
****	〃	大学院M・C. 2年

下水管渠の人孔より雪を投入し、下水温度および下水の流下状況が投入雪量によってどのように変化するかを知るために、通算6回の実験を行なった。実験前の準備として、札幌市内の下水幹線について下水量、積雪、交通状況などを調査したが、下水幹線の下水量の大なところは交通状況などで実験が困難であり、そのような障害の少ないところは下水幹線の下水量が少なくて実施できないという実情であった。

2、実験方法

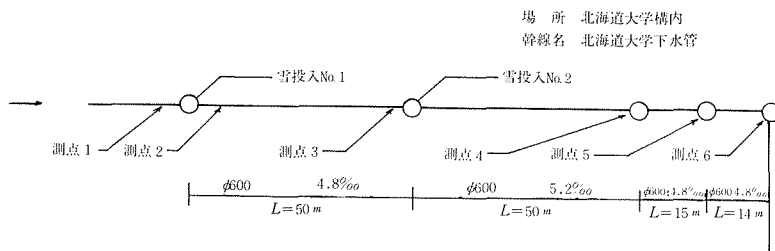
調査済の下水幹線の人孔の近くに雪を集め、型枠を使って直方体に雪を積み上げて雪の容量を測定した。つぎにスノーサンプラーを用いて積み上げた雪の比重を測定し、投入する雪の重量を算定した。一方下水管渠の流量は、フローレッシェンまたはフロート投入し、一定距離を流下するに要する時間から流速を求め、これと実測水深とから求めたが、下水管渠の水理特性曲線から算出した値でチェックした。ただし実験5のみは末端に設置してあるパーシャルフリュームを利用した下水流量計の値を用いた。

つぎに雪を投入しようとする人孔の上流部の人孔と、下流部数箇所の人孔で下水温度を1分間隔で測定した。下水温度の測定を開始してから直ちに雪を人力あるいはベルトコンベヤーなどの機械力を用いて、投入人孔へ投入した。その際に大きなかたまりは砕きながら投入した。下流部の人孔では下水温度を測定しつつ、下水の流下状況、特に融解しないで流下してきた雪の量を観測し、雪の投入が終了した後でも下水温度が雪を投入する以前の温度に復帰したことを確認できるまで測定作業をつづけた。

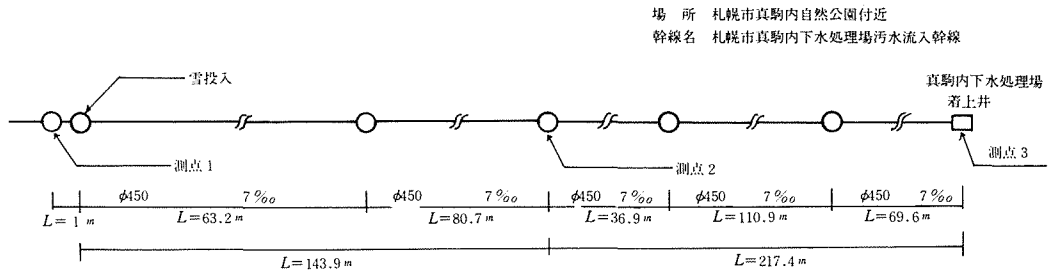
実験を行なった年月日および場所の一覧表は表・1のとおりであり、実験1～4、実験5、実験6の下水管渠平面図および人孔の配置図はそれぞれ図－1、図－2、図－3のとおりである。

表・1 実験期日および実施場所

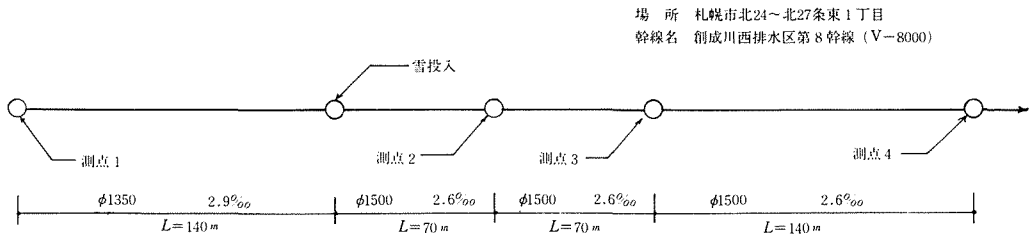
実験番号	実施期日	実施場所
実験 1	昭和43年 1 月11日	北海道大学構内、下水幹線
2	1 月11日	〃 〃
3	1 月17日	〃 〃
4	2 月22日	〃 〃
5	3 月 5 日	札幌市真駒内、真駒内排水区污水幹線
6	3 月 6 日	札幌市北25条西1丁目創成川排水区第8幹線



図－1 実験番号1,2,3,4 実施下水管渠図および測点配置図



図－2 実験番号 5 実施下水管渠図および測点配置図



図－3 実験番号 6 実施下水管渠図および測点配置図

3, 実験結果

3・1 実験1～実験4

実験1～実験4は北海道大学構内の径 600mmの下水幹線で行なった。

実験1の条件は次のとおりである。

気 温 －5℃

下水流量 195m³ / 時

下水流速 0.70m / 時 (実測)

投入雪量 2.8t / 10分＝17t / 時

6.5m³ / 10分＝39m³ / 時

投入雪比重 0.43

投入負荷 (投入雪量 / 下水量) 0.085

図－4 は, 上記の条件下の実験結果を示すものであるがここに理論的温度降下値とは雪が完全に融解することによって降下した後の水温を示すものである。理論的温度降下値は次の(1)式より求めた。

$$a (80 + T_2) = T_1 - T_2 \quad (1)$$

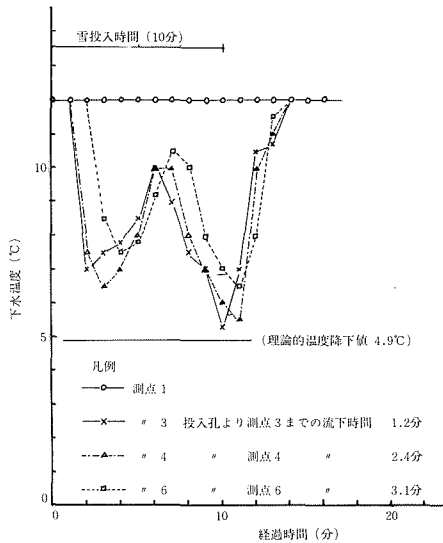
ここで a = 投入負荷 (投入雪量 / 下水量) kg / kg

T_1 = 氷の融解熱 Cal / kg

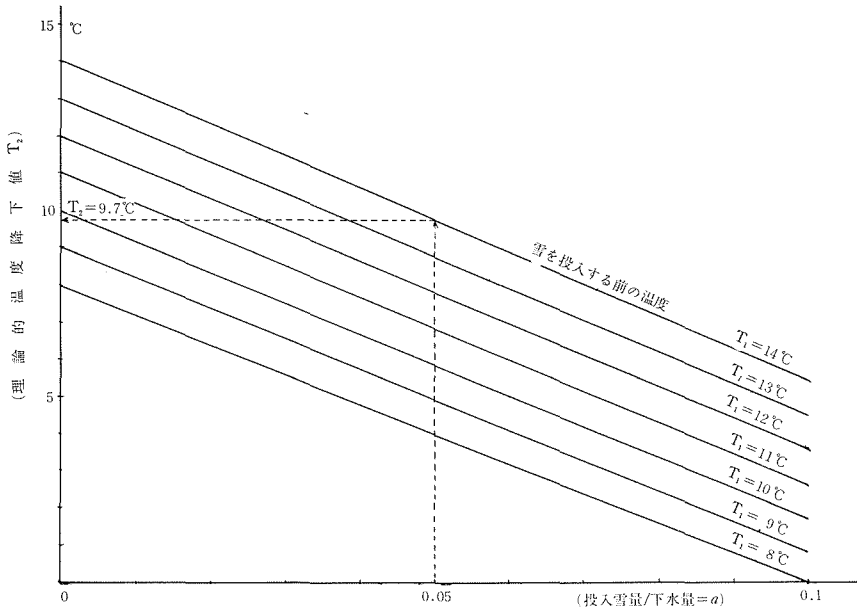
T_1 = 雪を投入する前の下水温度 ℃

T_2 = 雪を投入し, 雪が完全に融

解した後の下水温度 ℃



図－4 実験番号 1



図－5 理論的温度直線図

なお杉戸博士⁽¹⁾は、雪を投入する人孔または雪孔の間隔を(2)式に示している。

$$L = \frac{80 S V}{3 Q} + l \quad (2)$$

ここに L = 雪孔の最小間隔(m)

S = 投入雪量 (kg / 分)

但し、雪の温度は 0°C として下水温度は 0°C 以下にはならないものとする。

すなわち T_2 が理論的温度降下値である。雪を投入する前の下水温度 T_1 を $8 \sim 14^{\circ}\text{C}$ 、投入負荷 a を $0 \sim 0.1$ としたときの理論的温度降下値 T_2 の値を示したのが図－5である。たとえば雪を投入する前の下水温度 T_1 を 14°C 、投入負荷 a を 0.05 としたときは理論的温度降下値 T_2 は 9.7°C となる。またこのとき、下水管渠の下水流量が 1000t/時 、理論的温度降下値 T_2 を 9.7°C に保ち、投入負荷 a を 0.05 とすれば、 $1010 \times 0.05 = 50\text{t/時}$ の雪を投入できることになる。

ここに L = 雪孔の最小間隔(m)

S = 投入雪量 (kg / 分)

V = 下水の流速 (m / 分)

Q = 下水量 (kg / 分)

ℓ = 雪を投入したために低下した下水温度を普通の下水温度にまで回復するに要する流下距離(m)

(2)式は雪 1 kgをとかすのに80Calの熱量を要し融雪のために低下した温度は約3℃であることから導かれた式であるが、融雪に要する時間を考慮する必要のあること、融雪後の下水温まで融雪水の温度が上昇するのに要する熱量(上式の例では約10Cal)を80に加える必要のあること、また温度回復に要する距離が20~30mでたりとする点などに疑問がもたれたので、本研究では熱収支のみから導かれた(1)式を用いて検討した。ただし(1)式は地熱による水温の回復については考慮していない。

雪の投入はベルトコンベヤーのみで行なっていたが、雪がコンベヤーの回転部にはさまり、ベルトが停止して投入能力が低下し、スコップによる投入を行なうなどして均一な雪の投入が行なわれなかったために、実験の途中で温度が上昇する結果となった。

また測点6の人孔においては融解しきらなかった雪が流下してくるのが観測され、その量は水面比でおよそ2割程度であった。

実験2の実験条件は次のとおりである。

気 温	- 6℃
下水流量	65m ³ / 時
下水流速	0.45m / 秒 (前後の平均)
投入雪量	6.7t / 10分=40t / 時
	16m ³ / 10分=76m ³ / 時
投入雪比重	0.42
投入負荷(投入雪量/下水量)=0.61	

図-6は上記の条件で得られた結果である。

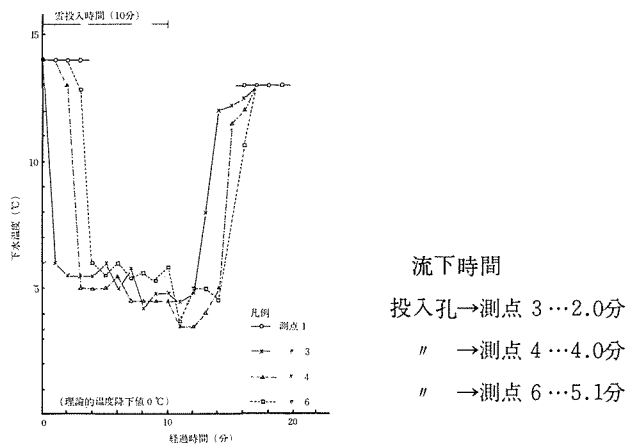
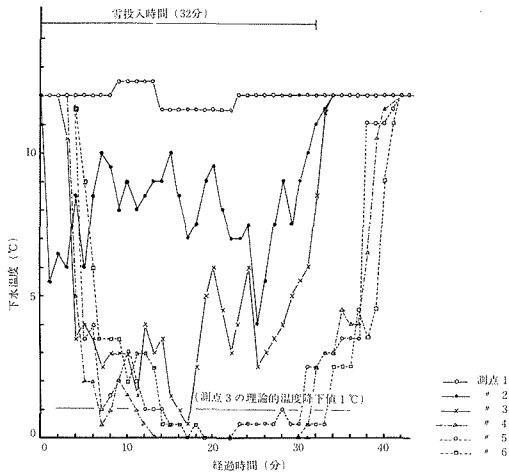


図-6 実験番号 2



図－7 実験番号 3

投入負荷が0.61と大であったため測点6の人孔において融解しないで流下してきた雪の量は水面比で6割程度と多かったが下水管を閉塞するほどではなかった。

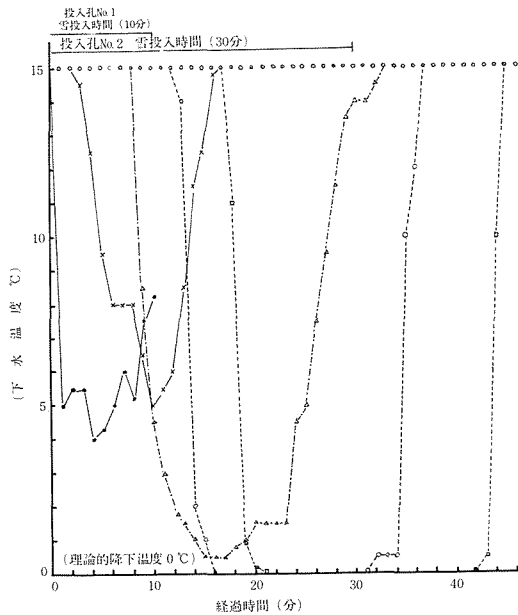
実験3の条件は次のとおりであるが、この場合は特に2箇所の人孔からほぼ同ような負荷で雪を投入した。

流下時間

投入孔→測点 3…1.6分
 " →測点 4…3.2分
 " →測点 5…3.7分
 " →測点 6…4.2分

気温 — 6℃
 下水流量 100m³ / 時
 下水流速 0.51m / 秒
 投入雪量 No.1 投入孔 7 t / 32分=14t / 時
 16.5m³ / 32分=33m³ / 時
 No.2 投入孔 5.5 t / 32分=11t / 時
 13m³ / 32分=26m³ / 時
 投入雪比重 0.42
 投入負荷 (投入雪量) No.1投入孔 0.14
 No.2投入孔 0.11

図－7 は上記の条件で実験して得られた結果を示すが、測点4の人孔以下では水温が0℃となった時間が15～20分間続き、特に管路の屈曲部である測点6の人孔内には未融解のまま流れてきた雪が停滞し、その蓄積した雪の厚さは20cmにも達した。



図－8 実験番号 4

実験 4 の条件は次のとおりであるが、この場合は測点 6 の人孔において下水の流を堰き上げて、管内流速を遅くしたときの効果を求めたものである。図－8 は上記の条件で実験して得られた結果を示したものである。

流下時間

投入孔→測点 3 … 2.5分

〃 →測点 4 … 10分

〃 →測点 5 … 14分

気温	－3℃
下水流量	54m ³ / 時
下水流速	測点 1 ～測点 3 0.36m / 秒
(実測)	測点 3 ～測点 4 0.11m / 秒
	測点 4 ～測点 5 0.06m / 秒
投入雪量	No.1 投入孔 7 t / 10分＝42t / 時 21m ³ / 10分＝ 125m ³ / 時
	No.2 投入孔 6 t / 30分＝12t / 時 18m ³ / 30分＝36m ³ / 時
投入雪比重	0.34
投入負荷 (投入雪量 / 下水流量)	No.1 投入孔 0.78 No.2 投入孔 0.22

測点 3 の人孔では融解しなかった雪は遅滞なく流下していたが、流速の遅くなった測点 4 以下の人孔では雪が閉塞し、上流部からの水流に耐えられなくなると押し流されるというような流下状況であった。

3, 2 実験5

実験5は管径の比較的小なる下水管渠による排雪を検討する目的で、真駒内地区の管径 450mmの汚水幹線で行なったものである。

実験条件は次のとおりである。

気温 -2°C

下水流量 (実測) $216\text{m}^3/\text{時}$

下水流速 $1.03\text{m}/\text{秒}$

投入雪量

負荷A: $1\text{t}/12\text{分}=5\text{t}/\text{時}$

$3\text{m}^3/12=15\text{m}^3/\text{時}$

負荷B: $2.4\text{t}/12\text{分}=12\text{t}/\text{時}$

$7\text{m}^3/12\text{分}=35\text{m}^3/\text{時}$

投入雪比重 0.35

投入負荷 (投入雪量/下水流量) 負荷A: 0.024

負荷B: 0.057

図-9 に上記の条件下の実験結果を示した。測点3の人孔までにほとんど全部の雪が融解されていた。

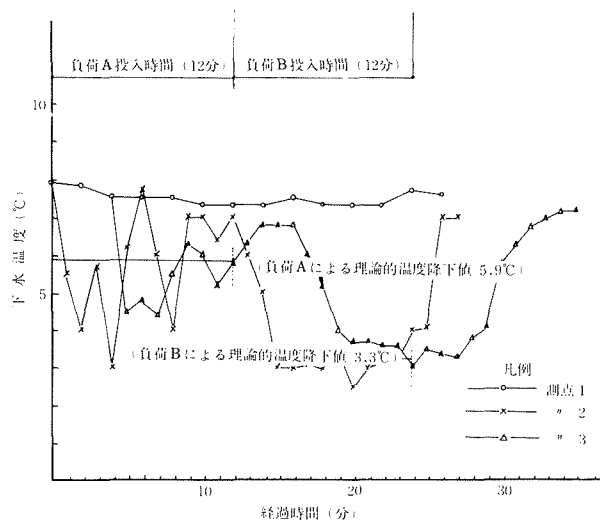


図-9 実験番号 5

気温 $+2^{\circ}\text{C}$
 下水流量 $3,080\text{m}^3/\text{時}$
 下水流速 (実測) $1.31\text{m}/\text{秒}$

3, 3 実験6

実験6は管径の非常に大きい下水管渠による排雪を検討する目的で、創成川下水処理場に接続する管径1,350 ~ 1,500 mmの遮集幹線で、スノーローダーを使用して大量の雪を投入して行なったものである。実験条件は次のとおりである。

流下時間

投入孔→測点2...2.3分

" →測点3...5.8分

投入雪量	負荷 A :	1 t / 1 分=60t/ 時
		1.5m ³ / 1 分=88m ³ / 時
	負荷 B :	4.5t / 5 分=54t/ 時
		6.6m ³ / 5 分=79m ³ / 時
	負荷 C :	12t / 10分=72t/ 時
		8.9m ³ / 10分= 106m ³ / 時
	負荷 D :	3.6t / 8 分=24t/ 時
		5.2m ³ / 8 分=35t/ 時
	負荷 E :	12t / 12分=60t/ 時
		17m ³ / 12分=85m ³ / 時

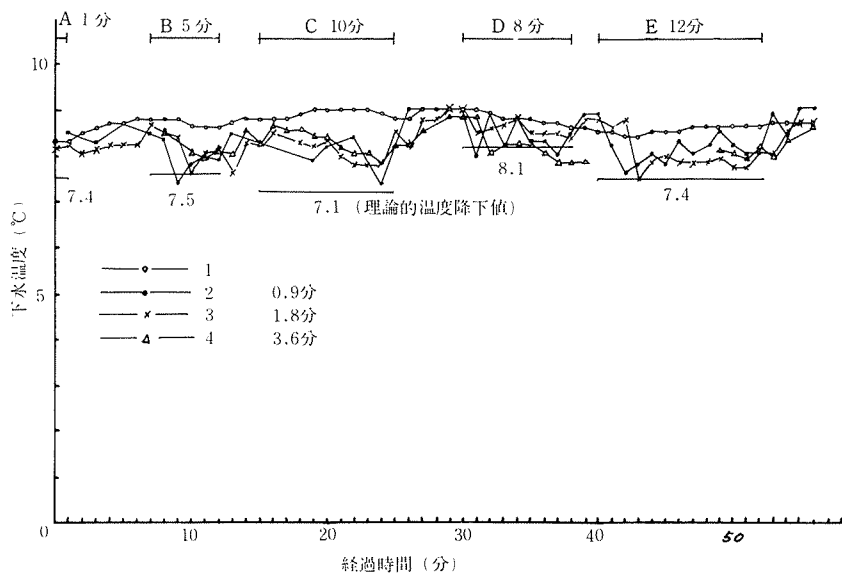
投入雪比重 0.68

投入雪量 / 下水量

負荷 A :	0.02
◇ B :	0.02
◇ C :	0.02
◇ D :	0.01
◇ E :	0.02

図一10は上記の条件下の実験結果を示すものである。投入雪量が5段階に分れて不連続に投入されたのは、雪の比重が大きいため雪がスノーローダーの機械部に閉塞し、運転を休止してこれを取除かなければならなかったためである。

測点4の入孔では融解しないで流下してきた雪はほとんど観測されなかった。



図一10 実験番号 6

表-2 実験 1 ～ 実験 6 の 総 括

実 験	水 深	流 速	流 量	雪 投 入 時 間	換 算 投 入 量		投入負荷 (5)÷(3)	雪 比 重 (5)÷(6)	投 入 前 下 水 温 度	投 入 後 下 水 温 度 (平 均)	実 測 温 度 降 下 量 (9)―(10)	理 論 的 温 度 降 下 値	理 論 的 温 度 降 下 量 (9)―(12)	降 下 率 (11)±(13)
					重 量	容 量								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	20cm	0.70m / 秒	195m' / 時	10分	17 t / 時	39m' / 時	0.085	0.43	12℃	測点 4 7.2℃	4.8℃	4.9℃	7.1℃	0.67
2	12cm	0.45m / 秒	65m' / 時	10分	40 t / 時	96m' / 時	0.61	0.42	14 ℃	測点 4 4.5℃	9.5℃	0.9℃	14 ℃	0.68
3	14cm	0.51m / 秒	100m' / 時	投入口No.1 32分	14 t / 時	33m' / 時	0.14	0.42	12 ℃	測点 3 3.4℃	8.6℃	0 ℃	11 ℃	0.78
				投入口No.2 32分	11 t / 時	26m' / 時	0.11	0.42	12 ℃	測点 6 0℃	12 ℃	0 ℃	12 ℃	1.0
4	測点 1～3 12cm	0.36m / 秒	54m' / 時	投入口No.1 10分	42 t / 時	125m' / 時	0.78	0.34	15 ℃	測点 3 6℃	9℃	0 ℃	15 ℃	0.6
	測点 3～4 30cm	0.11m / 秒		投入口No.2 30分	12 t / 時	36m' / 時	0.22	0.34	15 ℃	測点 6 0℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃	
	測点 4～5 47cm	0.06m / 秒												
	測点 6 50cm													
5	一	1.03m / 秒	216m' / 時	負荷 A 12分	5 t / 時	15m' / 時	0.024	0.35	7.8℃	測点 3 5.5℃	2.3℃	5.9℃	1.9℃	1.21
				負荷 B 12分	12 t / 時	35m' / 時	0.057	0.35	7.8℃	3.0℃	4.8℃	3.3℃	4.5℃	1.06
6	60cm	1.31m / 秒	3080m' / 時	負荷 A 1分	60 t / 時	88m' / 時	0.020	0.68	8.4℃	測点 4 8.1℃	0.3℃	7.4℃	1.0℃	0.30
				負荷 B 5分	54 t / 時	79m' / 時	0.019	0.68	8.8℃	測点 4 8.0℃	0.8℃	7.5℃	1.3℃	0.61
				負荷 C 10分	72 t / 時	106m' / 時	0.023	0.68	8.9℃	測点 4 8.4℃	0.5℃	7.1℃	1.8℃	0.28
				負荷 D 8分	24 t / 時	35m' / 時	0.012	0.68	8.7℃	測点 4 8.0℃	0.7℃	8.0℃	0.7℃	1.0
				負荷 E 12分	60 t / 時	85m' / 時	0.020	0.68	8.6℃	測点 4 8.0℃	0.6℃	7.4℃	1.2℃	0.5

4, 考 察

実験1～6によって得られた結果を総括すると表・2のとおりである。

4・1 投入負荷 $\left(\frac{\text{投入雪量}}{\text{下水流量}}\right)$ と温度降下率 $\left(\frac{\text{実測温度降下量}}{\text{理論的温度降下量}}\right)$

理論的温度降下量と実測の温度降下量との比〔表・2の(14)〕と投入負荷〔表・2の(7)〕との関係を示したのが図-11である。

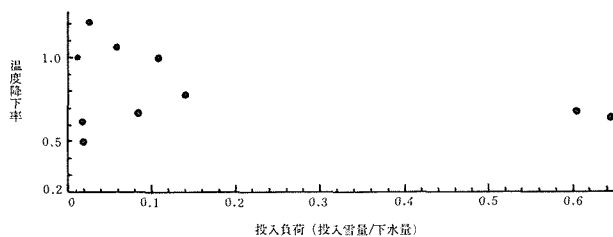


図-11 投入負荷と温度降下率

ただし理論的温度降下値が0℃となる場合については除外した。

投入した雪が完全に融解していない場合には温度降下率が小となる。投入負荷の大きい方でこうした傾向が大きくなると思われるが実験回数が少なく断定できない。

4, 2 雪の 比重と温度降下量比

雪の比重〔表・2の(8)〕と、温度降下率〔表・2の(14)〕の関係を示したのが図-12である。

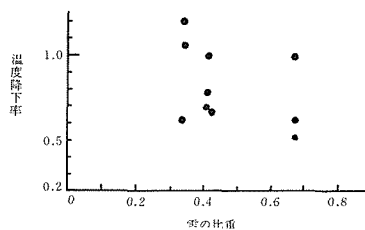


図-12 雪の比重と温度降下率

この図からもわかるように、雪の比重が大きいほど降下率が小さい。すなわち下水温度の降下量が少なく表われている。これは雪の比重が大きいほど、氷に近い状態の雪を投入することになり、融解しないまま雪が流下していることを示している。従って、下水管渠に雪を投入して排雪する時には、雪の比重の小さい状態、すなわち新雪のときか、あるいは出来るだけ雪を砕いた状態にして投入することが望ましい。

4, 3 流下時間と温度降下率

流下時間と温度降下率〔表・2の(14)〕との関係を示したのが図-13である。これによると、流下時間が長くなるほど雪と下水との接触時間が長くなるので、温度降下率が1に近づいている。これは雪と下水の接触時間が長ければ雪は完全に融解するからで、これに要する時間は少なくとも6分以上必要であることを示す。またこの時の下水の流速はほぼ1m/秒であったので融雪を完了させるための流下距離は360m以上を必要とすることになる。

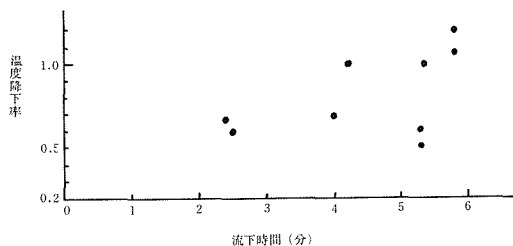


図-13 流下時間と温度降下率

4, 4 流 速

実験作業の経験から判断して、下水の流下を妨げずに排雪するには0.50m/秒以上の流速が必要である。これ以下の流速をもつ下水管に投入する場合には投入負荷を充分に小さくせねばならない。

4. 5 投入方法

本実験では雪の投入に人力あるいはベルトコンベヤーまたはスノーローダーを使用した。計画どおり連続的に均一に投入することは困難であった。ベルトコンベヤーは土砂運搬用のものであったので、ベルトとベルト駆動軸との間に雪がはさまり、ベルトがスリップして投入できないことがあった。またスノーローダー使用の場合は、雪の比重が極端に大きかったこともあるが、ローダーを人孔の近くに据え置いて、雪を小型ブルドーザーでスノーローダーのところに押し集めるという方法をとらざるをえず、その結果としローダーの能力を十分に発揮できなかった。

従って、下水管渠の既存の人孔を利用して排雪するためには人力によるか、あるいは雪運搬用として設計されたベルトコンベヤーを使用しなければならない。また市街部の雪を大量に投入しうる、たとえば創成川下水処理場に接続する遮集幹線（創成川西排水区第8幹線・北18条以北）に運搬して排雪しようとする場合には、連続的に雪を投入できるローダーの開発や、西ドイツのケルン市におけるような雪投入専用の人孔（図-A、B）⁽²⁾を設置しなければならない。またこのような投入設備とともに、投入雪量を決定する基礎となる下水の流量および温度を簡単に求める装置についても考慮を払わなければならない。

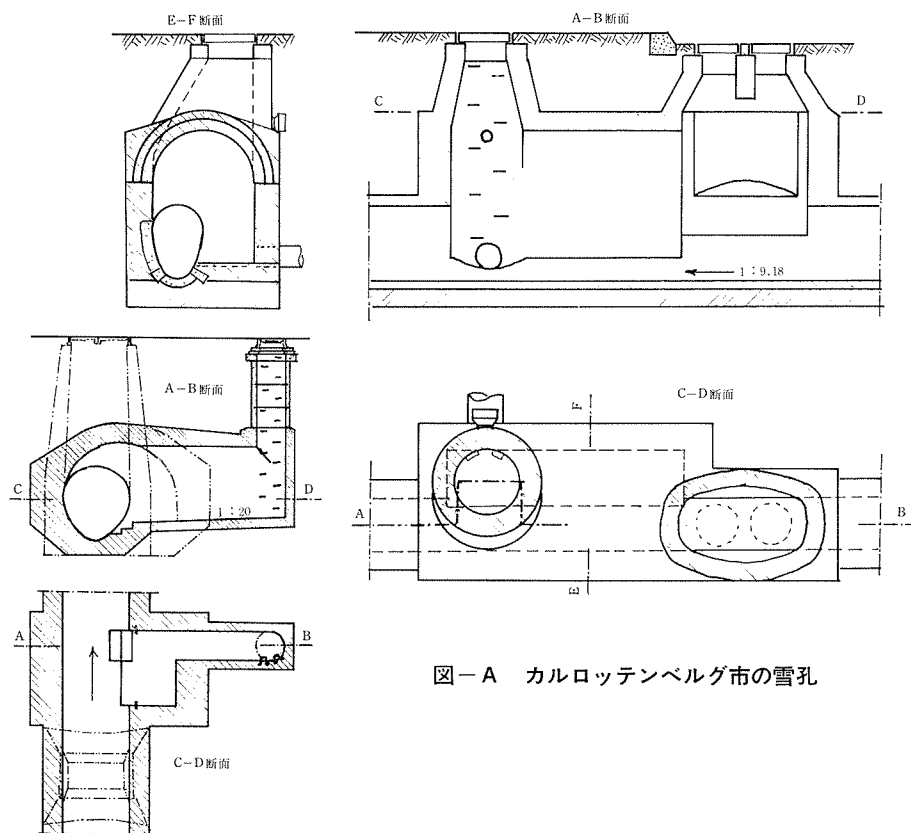


図-A カルロッテンベルグ市の雪孔

図-B ケルン市の雪孔

4, 6 投入可能の下水幹線

札幌市内にある下水幹線を用いて市街部の排雪が可能である管渠とその下水幹線への投入可能な雪量を示したのが図-14である。

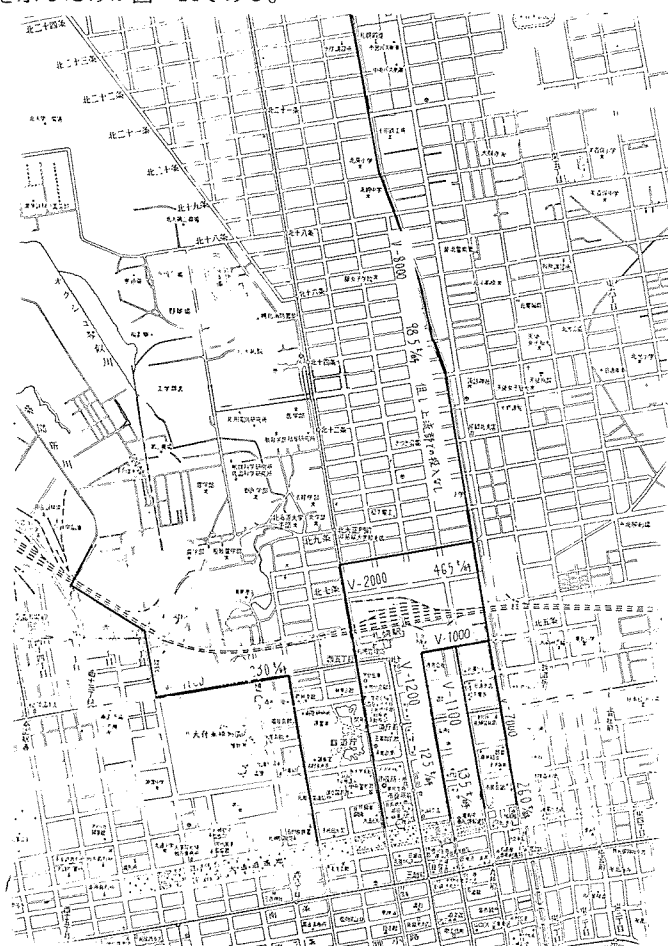


図-14 雪投入可能下水幹線と投入可能量

北1条通り以北で投入すると
して創成川西線（下水幹線番
号V-7000）には26.0t / 時、
西2丁目線（南向き一方交通
路、下水幹線番号V-1100）
には13.5t / 時、西3丁目線
（北向き一方交通路、下水幹
線V-1200）では12.5t / 時
西5丁目線（道庁東側、下水
幹線V-2000）では45.5t /
時、西7丁目線（道警本部前
一中央郵便局西側線、下水幹
線V-1000）では23.0t / 時、
合計 141.5t / 時の排雪がで
きる。またもし上流部分で雪
の投入を行なわなければ創成
川西幹線（北9条以北の遮集
管、V-8000）には98.5t /
時の排雪能力がある。但しこ
の試算は雪を投入する以前の
下水温度を10℃とし、融雪後
の下水温度を下水処理に重大
な支障を及ぼさないとわれ
る6℃として投入可能な雪量

を求めたものである。また投入可能な時間は一日のうちでも下水水量が多い時間帯である午前11時より午後4時までであり、交通の障害とならない夜間は下水水量も減少するので投入は不可能である。

5, 結 論

(1) 投入負荷（投入雪量 / 下水水量）は式(1)から雪を投入する前の下水温度 T_1 を測定し、雪が完全に融解した後の下水温度 T_2 を指定すれば求められる。

- (2) 投入負荷が適正であれば、下水管渠による排雪は可能である。
- (3) 雪が完全にとけるのには、下水との接触時間は6分以上を要し流速を1m / 秒とすれば、流下距離は360m以上なければならない。従って雪を投入する地点はポンプ場、下水処理場などの施設から少くともこれ以上離れた上流でなければならない。
- (4) ベルトコンベヤーは雪運搬用のため改良が必要であり、1箇所から大量の雪を投入するのであれば下水管渠に雪孔のごとき特別な人孔を設けた方がよい。
- (5) 札幌市の既存の下水幹線で排雪に利用できる延長は、流量の関係で極めて少なく中心部の下水幹線の一部と遮集幹線である。

6. あとがき

以上のとおり、下水管への投入による排雪の可能性および投入可能な雪量についてのべた。下水管による排雪に関しては今後さらに雪の投入方法や、投入施設をいかにするかの研究が必要である。交通の障害とならないで既存の人孔を利用するのであれば、1箇所の人孔から投入しうる雪量には限度があり、また既存のローダーなどの機械力を利用するとしても不便、かつ非能率的である。雪投入用の機械の研究、開発が行なわれねばならない。

つぎに融雪水による下水水質の影響に関しては、ひきつづき調査研究を継続するが実際の下水処理場を利用した調査では、関係する因子が多く、融雪水のみによる影響が不明確であるので、モデルプラントによる実験によって融雪水による下水処理への影響を明らかにし、投入負荷の限界を明らかにしてゆきたい。

本研究に行なうにあたり札幌市建設局および施設局下水部の担当部課の方々に種々の御便宜を与えていただいた。ここに厚く感謝の意を表する。また投入実験を行なうにあたって機材の貸与、運搬に関して札幌工業株式会社、ならびに三興設備株式会社に協力していただいた。合わせてここに感謝の意を表す。

最後に各種の実験を行なうにあたっては北大衛生工学科下水工学講座の駒形技官をはじめ大学院学生、学部学生の多数の労に負うところが大きかったことを付記する。

参 考 文 献

- (1) 杉戸 清; 下水道学 前編 p.202
- (2) W.Geissler; *Kanalisation und Abwasserreinigung* p.84