



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	都心北融雪槽における融雪槽運転管理シミュレーションプログラムの性能
Author(s)	高山, 清白; 塩田, 朗; 結城, 修 他
Description	第6回衛生工学シンポジウム (平成10年11月5日 (木) -6日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 モデリング・評価 . 2-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 33-38
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7317
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-2-2_p33-38.pdf



2-2 都心北融雪槽における融雪槽運転管理シミュレーションプログラムの性能

高山 清自 (札幌市建設局) 塩田 朗 (三機工業株式会社)
結城 修 (札幌市建設局) 加藤 孝 (三機工業株式会社)
田縁 明弘 (札幌市建設局) 田代 博一 (三機工業株式会社)

1. はじめに

札幌市は年間約5mもの降雪があり、除雪や排雪などの雪対策が昭和53年以来、市民の市政要望の第一位となっている。これに対して市では、雪対策技術のレベルアップや新たな雪対策施設の整備を目指して「雪さっぽろ21計画」(平成3年～平成12年)を策定している。この計画の中で、融雪槽は市の基本的社会資本の一つとして位置付けられている。

都心北融雪槽は、「札幌駅北口広場総合整備事業」の一環として1998年3月に竣工した。都市機能が集中し公共性の高い都心部に融雪槽を設けることで排雪の効率化を図り、地域熱供給プラントの夜間余剰熱源を有効に活用できる。

エネルギーの有効利用の観点から、排熱量が最小となる運転をすることが重要であり、融雪運転開始前に運転状況を仮定し各時刻における最適な蓄熱量や排熱量を予測する必要がある。このたび、融雪槽の建設に併せ、いろいろな運転条件に対して水温や水位などの融雪槽内の状態および蓄熱量や排熱量などのエネルギー量をシミュレートするプログラムを開発した。ここでは、このプログラムの計算値と実測値の比較により性能を確認し、さらに、最適運転の応用例について報告する。

2. 都心北融雪槽概要

融雪槽の概要を表1、システムフローを図1に示す。基本的な運転方法は次のとおりである。投雪開始時刻の23時の水温を35～45℃にする。ダンプカーにより搬入した雪を投雪口から融雪槽内に投下し、翌朝6時まで投雪作業を行う。投雪している間、水位は上昇し水温は低下する。水位が最大水位5.8mを越えると、融雪槽からオーバーフローし排水される。水温は、最低で約5℃程度まで低下する。6時以降、設定水位までポンプにより排水する。徐々に水温が上昇し、23時には35～45℃となり、投雪を開始する。

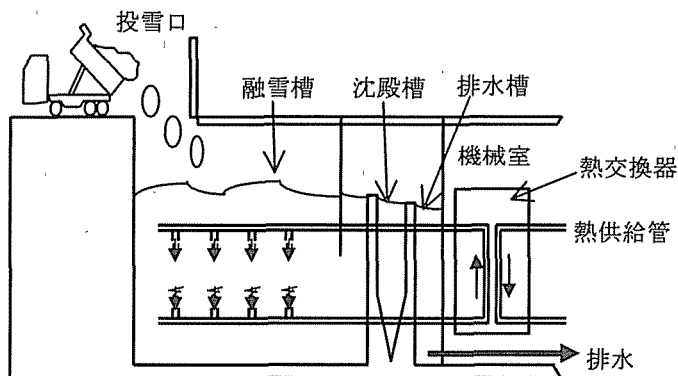


図1 都心北融雪槽システムフロー

表1 都心北融雪槽概要

最大水位	5.8 m
融雪槽容量	4,000 m ³
融雪能力	4,000 m ³ /日

3. 運転管理シミュレーションプログラム概要

3.1 入力

起動時の画面を図2に示す。また、入力するデータ一覧を表2に示す。物性値とパラメータ、タイムテーブルデータの3種類がある。タイムテーブルデータは毎正時24個のデータとなる。これらの値をキーボードから入力して与える。

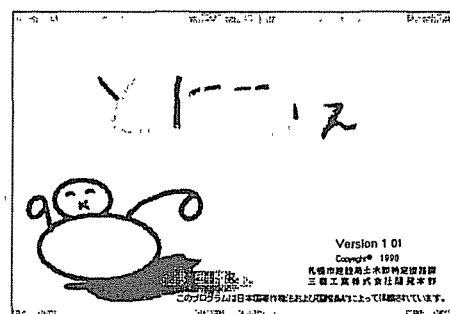


図2 起動時の画面

表2 入力データ一覧

物性値	パラメータ	タイムテーブルデータ
①水の比熱	①初期水位	①投入間隔
②雪の比熱	②最大水位	②公社供給熱量
③水の密度	③床面積	③ポンプ排水量
④雪の密度	④初期水温	
⑤雪の融解潜熱	⑤ダンプ積載雪量	
⑥熱量換算係数	⑥投入口数	
⑦雪の温度	⑦設備熱効率	
⑧雪の融解温度		

3.2 出力

計算が終了すると計算結果をパソコンの画面上に数値表(図3)で表示する。また、槽内温度、投雪量、蓄熱量、水位、排熱量の経時変化の各グラフを画面に表示し、印字出力することもできる。

時刻	投入熱量	投入雪量	投入水量	水温	水位	蓄熱量	排熱量	投雪量	蓄積雪量	投入口数	設備熱効率		
0時	2.10	0.00	0.00	2.65	0.00	2722	2720	422.62	-	-	-		
1時	43.10	742	0.00	4.11	0.00	30382	2482	315.677	630.0	0.0	0.000		
2時	45.20	70	0.00	4.81	0.00	34022	1574	224.525	742.0	0.0	0.000		
3時	22.20	444	0.00	4.65	0.00	34443	1743	291.330	30.0	1442.0	0.0	0.000	
4時	0.00	784	0.00	4.96	0.00	36652	1331	204.252	448.0	0.0	0.000		
5時	13.00	1006	0.00	5.49	0.24	39718	602	100.182	784.0	0.0	0.000		
6時	41.00	322	0.00	5.85	1.14	38628	329	502.40	1006.0	0.0	0.000		
7時	31.30	0	453.00	5.80	1.16	38628	1.78	28.743	453.0	1.610	1.640		
8時	23.50	0	403.00	5.23	1.14	34474	357	51.263	0.0	403.0	423.0	3.147	
9時	23.10	0	376.00	4.88	1.00	30043	429	54.112	0.0	423.0	423.0	4.021	
10時	25.10	0	397.00	4.17	0.79	27932	429	50.206	0.0	423.0	379.0	4.811	
11時	24.70	0	159.00	3.69	0.58	25140	373	39.234	0.0	423.0	373.0	4.417	
12時	23.10	0	429.00	3.47	0.43	24118	322	35.912	0.0	423.0	159.0	2.481	
13時	23.10	0	0.00	3.47	0.37	2459.9	448	46.086	0.0	423.0	0.0	0.000	
14時	23.10	0	0.00	3.47	0.34	2564.7	421	45.089	0.0	423.0	0.0	0.000	
15時	23.10	0	0.00	3.47	0.30	2711.0	428	47.463	0.0	423.0	0.0	0.000	
16時	23.10	0	0.00	3.47	0.27	2711.0	889	95.736	0.0	423.0	0.0	0.000	
17時	23.10	0	0.00	3.47	0.24	2711.0	1121	123.871	0.0	423.0	0.0	0.000	
18時	23.10	0	0.00	3.47	0.20	2711.0	1418	152.006	0.0	423.0	0.0	0.000	
19時	23.10	0	0.00	3.47	0.17	2711.0	1873	196.141	0.0	423.0	0.0	0.000	
20時	23.10	0	0.00	3.47	0.14	2711.0	1925	208.976	0.0	423.0	0.0	0.000	
21時	26.00	0	0.00	3.47	0.10	2711.0	2186	234.411	0.0	423.0	0.0	0.000	
22時	26.00	0	0.00	3.47	0.00	2711.0	2487	267.891	0.0	423.0	0.0	0.000	
23時	26.00	0	0.00	3.47	0.00	2711.0	2777	298.971	0.0	423.0	0.0	0.000	
合計	785.10	4294	1721.00	-	-	-	-	-	4294.0	-	21542	31.006	62269

図3 計算結果出力例

4. 実測値との比較試験

4.1 試験方法

水温・水位について、実測値と計算値を比較検証した。試験対象日は全12日分である。

4.2 試験結果

表3は試験対象日ごとに水温と水位の誤差を一覧表にしたものである。ここでは、2乗平均誤差を用いた。

水温について、平均誤差が0.4℃である。水位について、平均誤差が0.02mである。

水温と水位の経時変化の一例を2月6日についてそれぞれ図4、図5に示す。この図からも、計算値と実測値は、ほぼ一致しているといえる。

以上より、このプログラムは運転シミュレーションに実用上有効であることを確認した。

表3 水温と水位の実測値と計算値の誤差

1998年 月日	投雪量 (m ³ /日)	水温(℃)	水位(m)
		平均誤差	平均誤差
1/26	4,020	0.4	0.01
1/29	3,000	0.5	0.04
1/30	4,000	0.5	0.01
2/5	4,020	0.6	0.03
2/6	4,000	0.3	0.03
2/9	3,220	0.2	0.03
2/15	4,270	0.5	0.04
2/18	2,420	0.3	0.02
2/19	2,250	0.6	0.02
2/20	2,310	0.3	0.02
2/21	2,200	0.1	0.02
2/23	2,740	0.2	0.01
平均	3,200	0.4	0.02

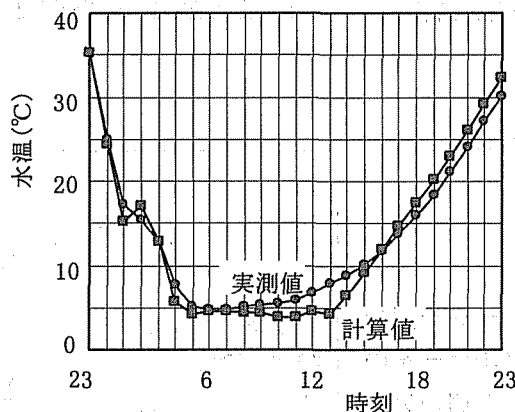


図4 水温の経時変化(2/6)

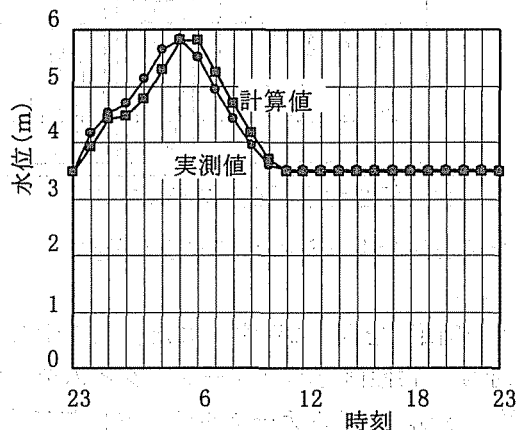


図5 水位の経時変化(2/6)

5. 運転方法の検討

このシミュレーションプログラムを利用した計算例を以下に示す。供給熱量は表4のパターンで固定とする。投雪時間は23時～6時とする。また、最終水位＝初期水位となるように、ポンプによる排水を行う。

表4 供給熱量スケジュール

時刻	供給熱量 GJ/h r	時刻	供給熱量 GJ/h r	時刻	供給熱量 GJ/h r
23	44.0	7	29.3	15	31.4
0	44.0	8	25.1	16	31.4
1	44.0	9	25.1	17	31.4
2	44.0	10	31.4	18	33.5
3	44.0	11	31.4	19	33.5
4	39.8	12	31.4	20	33.5
5	39.8	13	31.4	21	33.5
6	39.8	14	31.4	22	33.5
				計	837.4

5.1 初期水位と初期水温の検討

初期水位を3.0、3.5、4.0mとした場合の、各状態量を図6に示す。投雪量 $4,000\text{m}^3/\text{日}$ 、初期水温 35°C とする。

水位の経時変化を図6(a)に示す。投雪開始時刻の23時から投雪量に従って水位が上昇し、最大水位である5.8mで止まる。排水量の経時変化を図6(b)に示す。投雪終了時刻の6時から初期水位になるまで排水ポンプによる強制排水を行うが、6時以前に排水があるのは最大水位を越えたことによるオーバーフロー分である。総排水量は3パターン共に $2,000\text{m}^3/\text{日}$ である。水温の経時変化を図6(c)に示す。水温が 4°C 程度以下にならないのは一部の雪が融けないで槽内に残っているためである。排熱量の経時変化を図6(d)に示す。総排熱量は初期水位3.0mの場合で $36\text{GJ}/\text{日}$ 、初期水位3.5mの場合で $38\text{GJ}/\text{日}$ 、初期水位4.0mの場合で $44\text{GJ}/\text{日}$ となる。

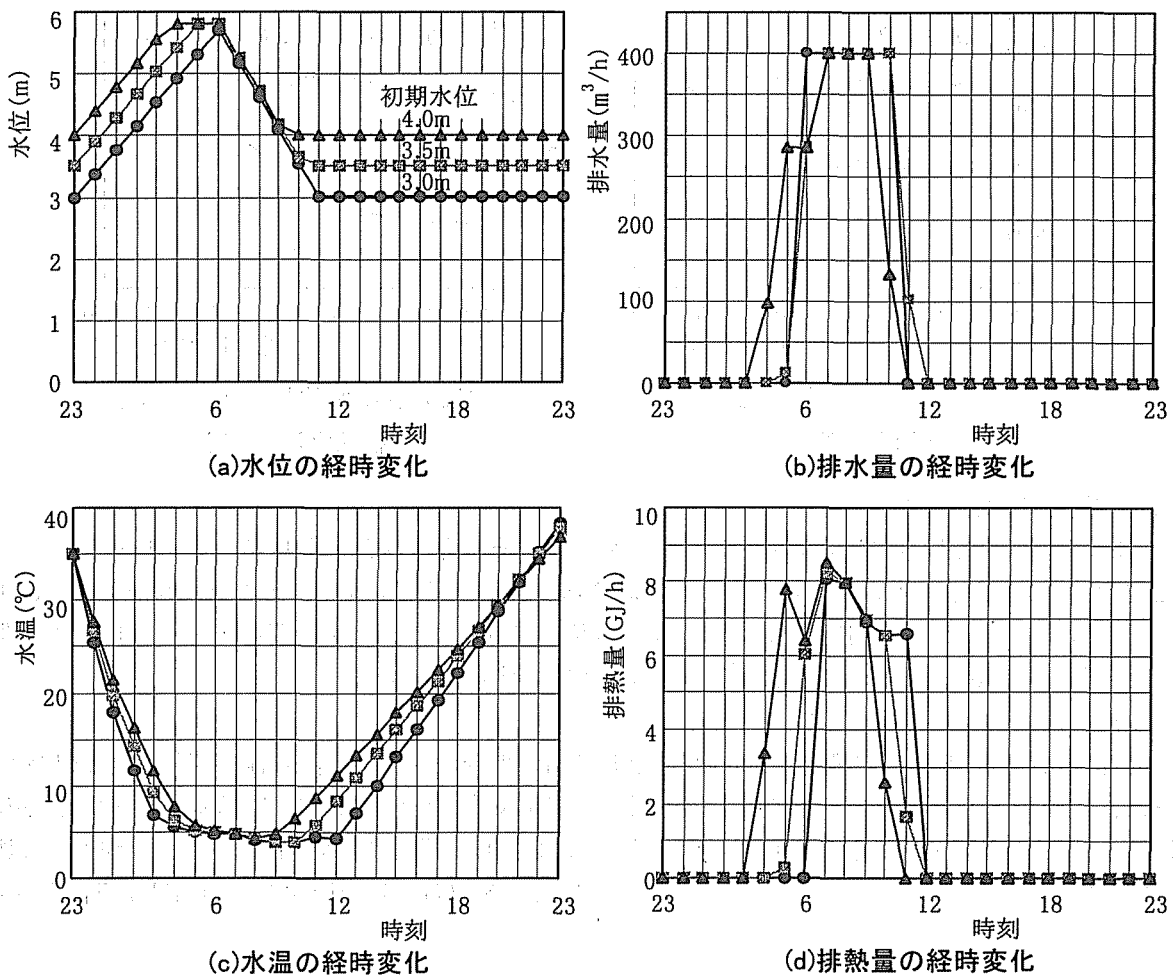


図6 初期水位の違いによる各状態量(投雪量 $4,000\text{m}^3$ 、初期水温 35°C)

初期水温と排熱量の関係を図7に、初期水位と排熱量の関係を図8に示す。蓄熱量を大きくするという観点から初期水位・初期水温は大きい方が良いが、省エネルギーという観点からは排熱量が小さい方が良い。図7と図8から初期水温・初期水位ともに小さい方が排熱量は小さいが、運転の安定性を考慮して、初期水温 35℃、初期水位 3.5mの条件が良いと考えられる。この条件の排熱量を基準値1として各条件における排熱比を求めたのが、図9および図10である。

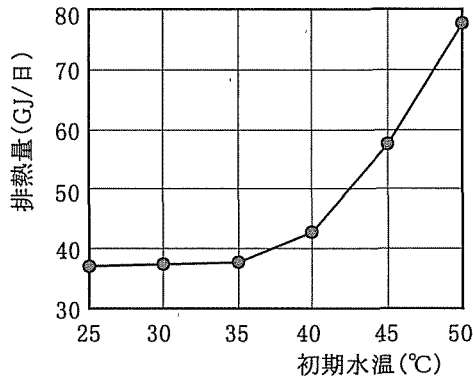


図7 初期水温と排熱量の関係
(初期水位 3.5m)

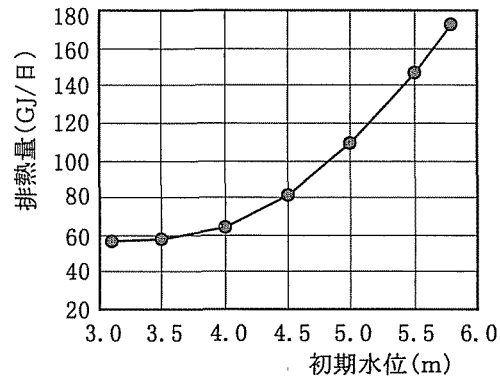


図8 初期水位と排熱量の関係
(初期水温 35°C)

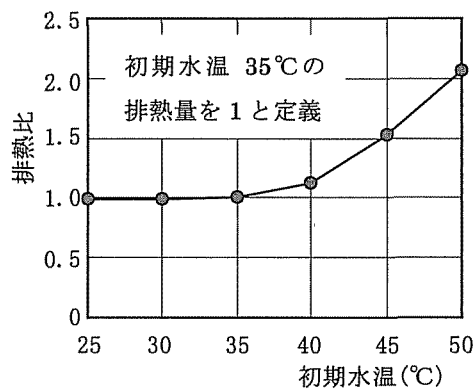


図9 初期水温と排熱比の関係
(初期水位 3.5m)

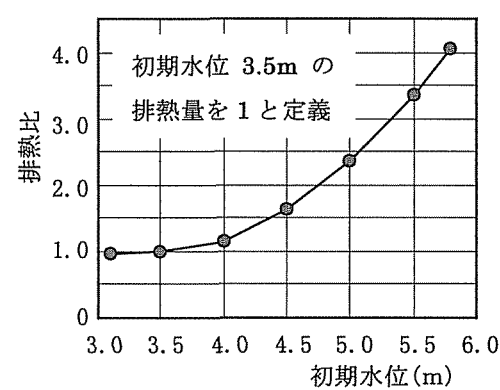


図10 初期水位と排熱比の関係
(初期水温 35°C)

5.2 過負荷運転の検討

1日の投雪量の設計値は 4,000m³/日であるが、大雪後の排雪等を考慮してシミュレートする。ここでは、5,000m³/日、4,500m³/日の場合を検討する。また、週休1日であることを考慮して、6日間を計算対象期間とする。初期水温 35℃、初期水位 3.5mとする。経過時間を t とし、1日目の投雪開始時刻を $t=0$ 、6日目の蓄熱終了時刻を $t=144$ とする。

(1) 日最大投雪量の検討

投雪量 5,000m³/日を1日間、4,000 m³/日を5日間の場合の水温と水位の経時変化を図11に示す。また、投雪量 5,000m³/日を2日間の場合の水温と水位の経時変化を図12に示す。投雪開始時の水温は 10℃以上必要であると考えられるが、図12の3日目の投雪開始時刻にあたる $t=48$ の水温は 7.8℃までしか上がっていない。このことから、投雪量 5,000m³/日の最大融雪期間は1日間となる。

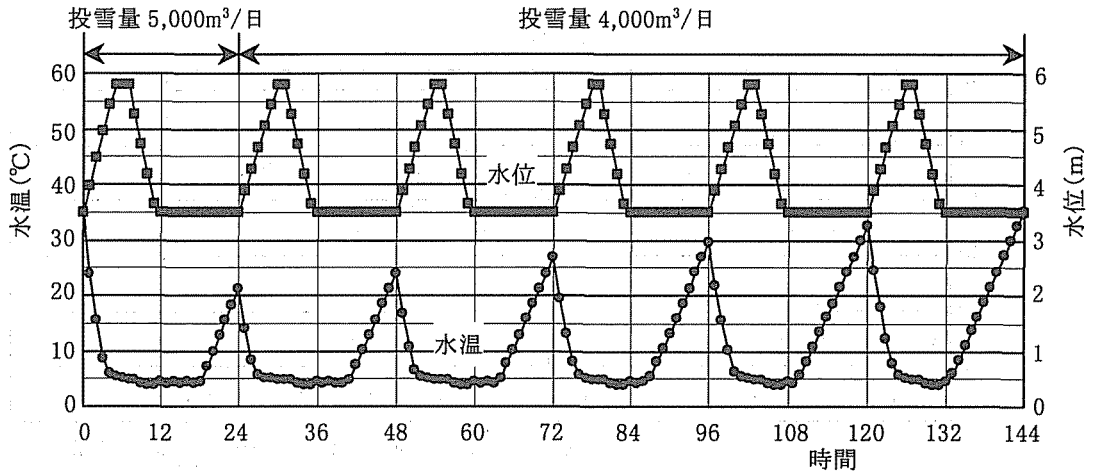


図11 投雪量 $5,000\text{m}^3 \times 1$ 日、 $4,000\text{m}^3 \times 5$ 日
(初期水位 3.5m、初期水温 35°C)

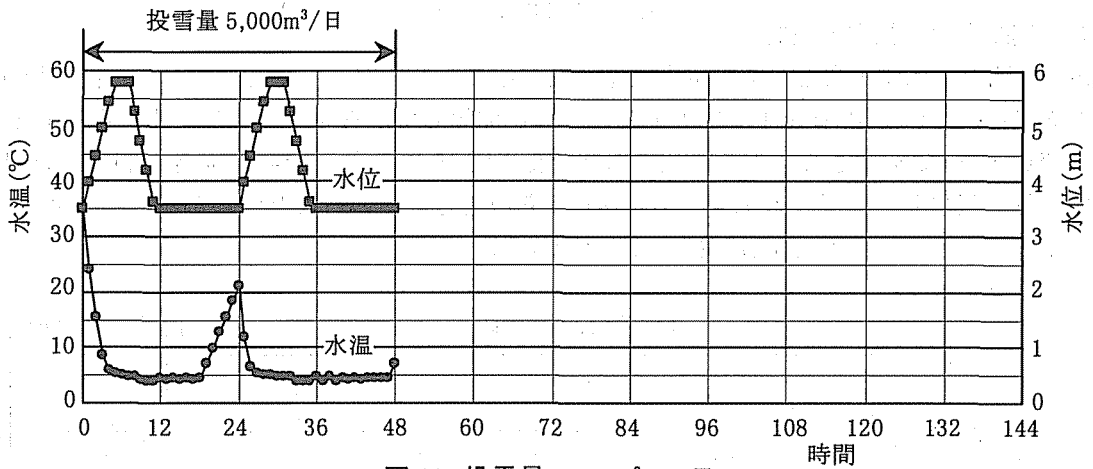


図12 投雪量 $5,000\text{m}^3 \times 2$ 日
(初期水位 3.5m、初期水温 35°C)

(2) 投雪量 $4,500\text{m}^3/\text{日}$ の検討

投雪量 $4,500\text{m}^3/\text{日}$ を 4 日間、 $4,000\text{m}^3/\text{日}$ を 2 日間の場合の水温と水位の経時変化を図 13 に示す。また、投雪量 $4,500\text{m}^3/\text{日}$ を 5 日間の場合の水温と水位の経時変化を図 14 に示す。図 14 の 6 日目の投雪開始時刻にあたる $t = 120$ の水温は 7.4°C までしか上がっていない。このことから、投雪量 $4,500\text{m}^3/\text{日}$ の最大融雪期間は 4 日間となる。

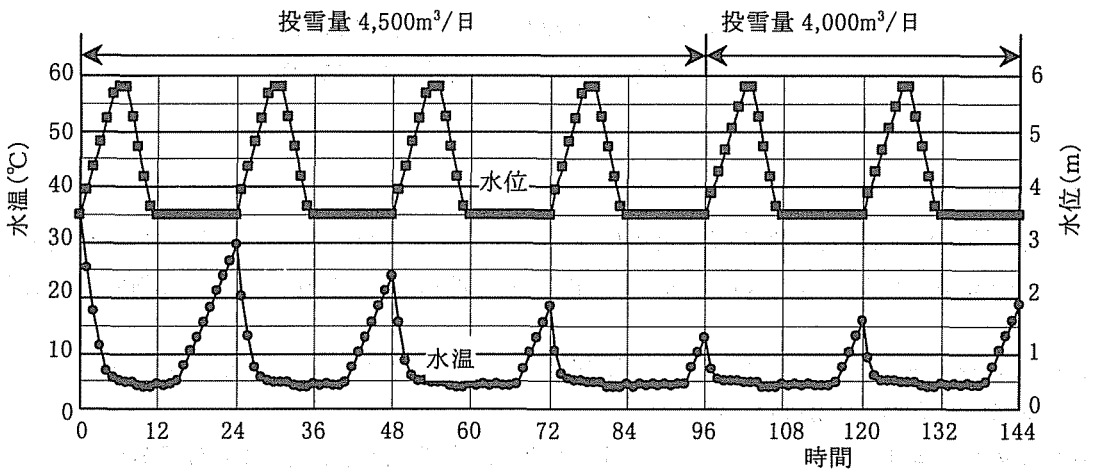


図13 投雪量 $4,500\text{m}^3 \times 4$ 日、 $4,000\text{m}^3 \times 2$ 日
(初期水位 3.5m、初期水温 35°C)

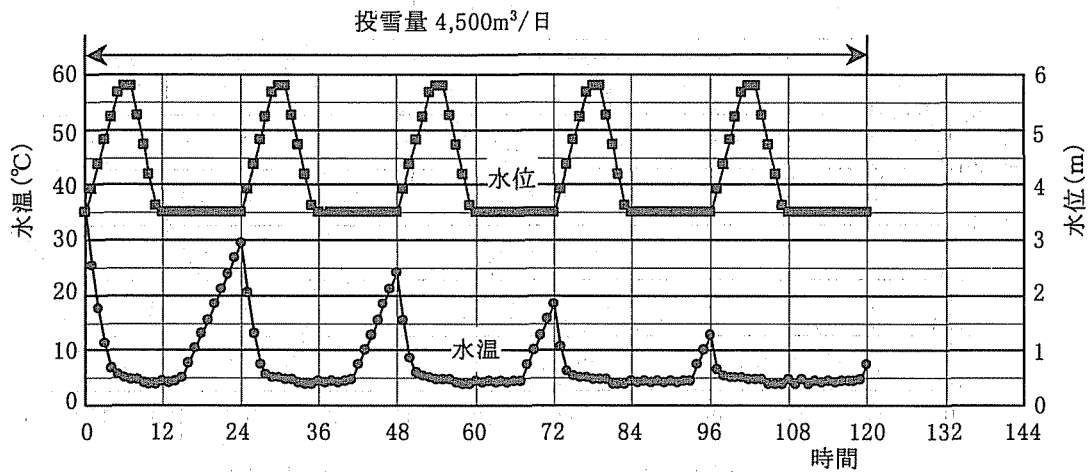


図 14 投雪量 $4,500\text{m}^3 \times 5$ 日

(初期水位 3.5m、初期水温 35°C)

(3) 連続過負荷投雪の検討

融雪期間を延ばす工夫として設定水位を変更することが一例として考えられる。投雪量 $4,500\text{m}^3/\text{日}$ を 5 日間、 $4,000\text{m}^3/\text{日}$ を 1 日間とする。投雪を開始してから 4 日目の最終水位を 4.0m から 3.5m に変更する。このときの水温と水位の経時変化を図 15 に示す。t = 120 の水温は 10.9°C となり、設定水位を変更しない場合の 7.4°C (図 14) から改善されていることがわかる。このように設定水位の工夫により融雪期間を 1 日延ばすことができる。

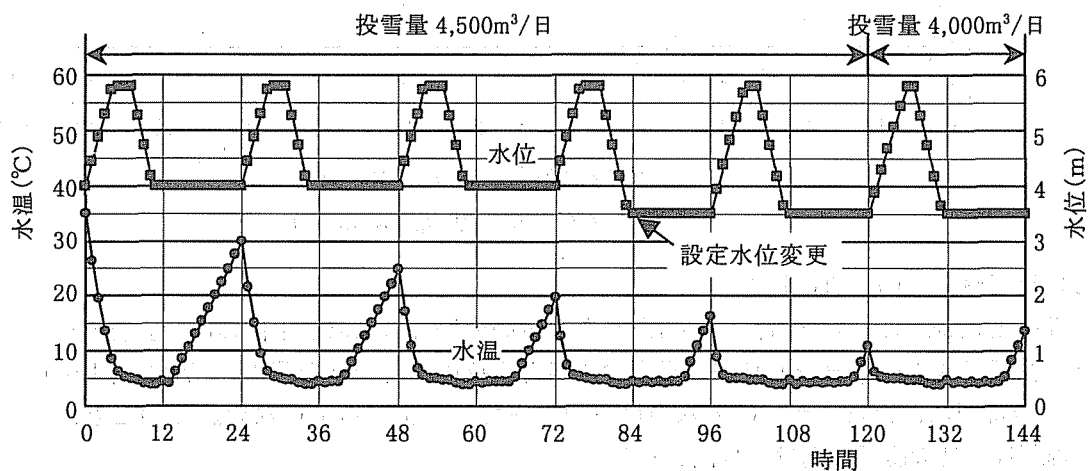


図 15 投雪量 $4,500\text{m}^3 \times 5$ 日、 $4,000\text{m}^3 \times 1$ 日

(初期水位 4.0m、初期水温 35°C)

6. おわりに

- (1) 融雪槽の運転を効率よく行うためにシミュレーションプログラムを作成し、2乗平均誤差について調べたところ、水温が 0.4°C 、水位が 0.02m 程度であり、実用上有効であることがわかった。
- (2) このシミュレーションプログラムを利用することにより、省エネルギーを考慮した効率的な運転に役立つことがわかった。
- (3) このシミュレーションプログラムは都心北融雪槽以外の融雪槽にも適用が可能で、今後は他の融雪槽でも活用したい。