

IV—7 雪処理技術の開発に関する基礎的研究

—雪ブロック方式による除雪—

北海学園大学工学部 正会員 当麻 庄司
岩田建設 小田桐道弘

1. まえがき

北海道の除雪方法は、現在機械化が進められた結果一般的には非常に効率の良い方法がとられていると言
うことができる。しかし、それはどちらかと言うと除雪という問題のハードウェアの面からの進歩であり、
ソフトウェアの面の開発は立ち遅れていると言えるのではないだろうか。つまり、今までの除雪の効率化は
高度成長時代の延長として新しい機械の開発や改良によって図られてきたのであり、今までとは全く違った
新しい除雪方法の開発、即ち質的変換には余り努力されなかったということがあるのではないか。例えば、
北海道においては残念ながら気温が低すぎて成功しなかった融雪による方法やあるいは流雪溝¹⁾のような試み
がもっと行なわれても良いのではなかろうかと思われる。

ここで提案する新しい除雪方法は、雪のブロックを製作することにより雪のハンドリングを容易にする
ということである。雪を締め固めてコクリートブロックのように立方体の形状にすることによって取扱いや運
搬がやり易くなり、またこのことを利用して種々の新しい除雪システムが考えられる。この除雪システムに
は地方自治体の高価な機械だけに頼るのではなく、地域住民の参加も含めた対策を考えていく必要もあるが、
これからは今までのどちらかと言うと大型機械による効率化の時代から、よりきめ細かい対策による効率化
を必要とする時代に入ってきたと考えられるのである。

2. 雪ブロックによる雪処理法の提案

今最も一般的に家庭で行なわれている排雪と言えは、スノーダンプによる雪の運搬であろう。これはスノ
ースコップを10倍程度に大きくしたようなもので、最も手軽に運搬に利用できる道具である。排雪作業を
載荷、運搬そして除荷の3つに分解して考えるとすれば、このスノーダンプと呼ばれる運搬器はこれらの作
業を非常に簡便に行なうことができる。しかし、問題は雪の捨て場に苦勞しているのが住宅区域における一
般的な状況であるので、そのような場合にはこのスノーダンプ方式の場合除荷作業が非常に難しくなる。す
なわち、雪を運搬するまでは容易に行なえるがこれを捨てる為には、高く積まれた雪の山に登るか、ある
いはもっと遠くの空き地にまで運搬距離を延ばさなくてはならない。そのような時に、雪がブロックのよう
に固形化されたものであれば、少し位の高い所でも更に積み上げることは可能であるし、路側の雪堤の更に
奥の所にまでほうり投げることもできる。また、札幌市の助成制度²⁾によつて無償貸与されたトラックに積
み込むことも容易である。

雪が力を受けた時の挙動にはいろいろな要素が関係する³⁾。通常の構造用材料の場合は力の大きさが主たる
要素であるが、雪の場合はこれに温度と時間の要素が複雑に関係してくる。このような雪の性質から、雪ブ
ロックを製作するためにはどの程度の圧縮速度が適当かということや、密度はいくら位までにする必要があ
るか、またそのためにはどれ位の圧縮力が必要となるか等の問題が提起されてくる。以下、これらの問題を
検討するために行なった基礎的な実験について述べる。

3. 雪の力学的性質の調査実験

3. 1 実験方法

(1) 圧縮試験

圧縮試験の供試体は、積雪層の雪を中空の円筒に充填したものをを用いる。円筒としては、直径 5.6 cm、高さ 5 cm の塩化ビニールパイプを使用する。充填の方法は円筒下方に金属製の板を置き、パイプの中に雪を入れ、上部から金属製の板を手で押して固める。供試体は密度別に用意し、目的とする密度をそれぞれ 0.3, 0.4, 0.5 g/cm³ 前後の3種類とする。雪の種類は日本雪氷学会の分類で”かわきこしまり雪”に相当する密度が 0.1ー 0.2g/cm³ で、降雪時より一週間前後経過した雪を使用する。

圧縮試験の実施方法は、まず密度別に用意された供試体を土質試験に用いる CBR 試験機 (S J 式室内 CBR 試験機) の下部上昇板の中央に置く。次に上部のピストンが供試体の上部面に接するように下部上昇板を上昇させ、上昇板に取り付けたダイヤルゲージと力量計のダイヤルゲージを零調整する。写真 1 に実験に用いた CBR

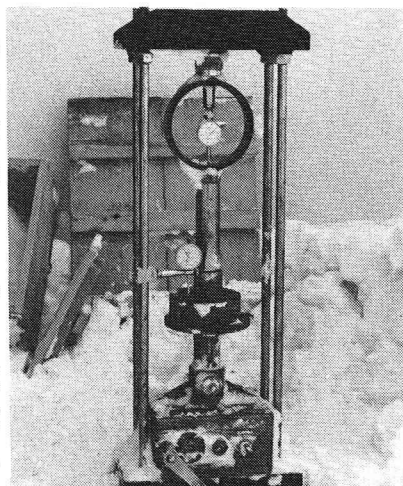


写真 1 CBR 試験機

試験機と供試体のセッティング状況を示す。
荷重は下部に装備されたジャッキにより上昇板を上昇させることにより与えられ、その大きさは上部に取り付けられた力量計のダイヤルゲージから読み取った値に力量補正係数を乗ずることによって求められる。ひずみ速度は 1, 3, 6 mm/min、また初期密度は 0.3, 0.4, 0.5 g/cm³ のそれぞれ3種類とする。

(2) 引張試験

引張試験は、コンクリートや岩盤の引張強度を調べるためによく用いられる圧裂引張試験により試みる。これは、圧縮試験により圧縮された供試体を円筒から取り出して直径方向に圧縮すると、力の方向と直角方向に引張力が働くことになり、この圧縮力を計測することによって雪の引っ張り抵抗力を知ることができる方法である。

試験装置は圧縮試験に用いた CBR 試験機を使用する。上昇板を上昇させる速度は 6ー20 mm/min とし、荷重は供試体の破壊が生じた時の力量計のダイヤルゲージの読みから次の式により換算される⁴⁾。

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi d H}$$

ここに、 σ_t = 雪の引張強度、P = 圧縮荷重、d = 供試体の直径、H = 供試体の長さ

3. 2 実験結果および考察

(1) 圧縮試験

圧縮試験の結果を図 1 に応力ー密度曲線で、また図 2 に応力ー縮み曲線の関係で整理して示す。応力ー密度関係は、応力が大きくなるにつれて若干傾きが大きくなる傾向があるものの、ほぼ比例関係があると言える。これは荷重が小さい範囲にあるので、荷重が大きくなるにつれてその縮み量が急激に小さくなる直前までの範囲を試験結果は示しているためである。図 1 から、初期密度が大きくなるにつれて曲線の傾きが大きくなっていることが解る。そして、大体密度が 0.5 kg/cm³ の雪ブロックを製作するためには 5 kg/cm² の圧縮応力が必要になることが結論として得られる。また、0.4 kg/cm³ の密度を得るために必要な圧縮応力は密度 0.5 kg/cm³ の雪に比べて大体半分程度の圧縮応力で済むが、逆に 0.6 kg/cm³ の密度を得るために

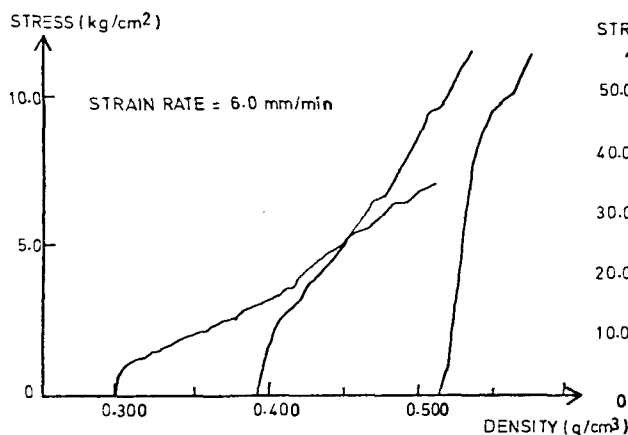


図 1 応力 - 密度 曲 線

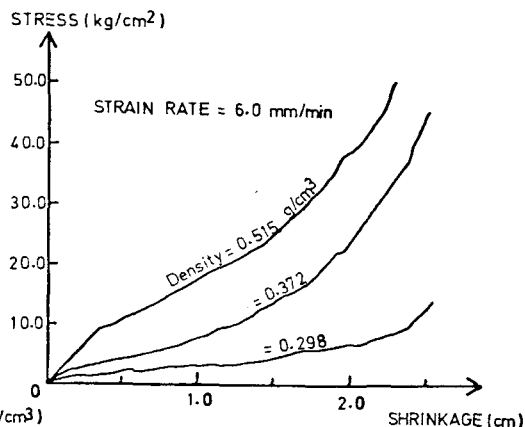


図 2 応力 - 縮 み 曲 線

は非常に大きな圧縮応力が必要となり、 0.5 kg/cm^3 の密度を得るために必要な応力の 2 倍以上になるものと思われる。このように、どの程度の密度を目標とするかによって必要な圧縮力に大きな違いがあるので、雪ブロックを製作する時の密度をいくりにするかは重要なポイントとなる。

一方、応力-縮み関係については、図 2 に最大縮み量が 2.5 cm までの実験結果が示されているが、初期密度の大きさによって作用した応力の範囲が大きく違う。いずれの場合も、縮み量が 2 cm を越えたあたりから応力の増分が急に大きくなっていくことが解る。圧縮速度の違いによる差は、本実験に用いた速度はいずれも遅い速度範囲にあるので、実験結果には大して反映されなかった。

本実験では円筒パイプの中に雪を入れてこれを圧縮する方法をとったため、荷重を受ける方向以外に円周や半径方向にも拘束を受けていることになる。そのため、パイプの内面と雪との間に摩擦力が働くことになり、従って縮みの速度が大きい程この摩擦力は大きくなる。この摩擦力の影響はかなり大きいと考えられるが、これを定量的に把握することは今回の実験ではできなかった。

(2) 引張応力

雪の引張抵抗は焼結作用により時々刻々増加する。従って、雪ブロック製作後どれ位の時間をおくかによって雪ブロックの引張抵抗は異なってくるが、ここでは一応雪ブロック製作直後を考えることにする。表 1 に圧裂引張試験結果を示す。また

表 1 引 張 試 験 結 果

密度(g/cm^3)	歪み速度(mm/min)	引 張 応 力(kg/cm^2)	圧縮最大応力(kg/cm^2)	気 温 $^{\circ}\text{C}$	雪 温 $^{\circ}\text{C}$
0.51	6	1.46	6.05	-5.0	-3.5
0.59	12	7.50	12.35	-3.5	-1.5
0.78	12	17.08	32.35	-3.5	-1.5
0.95	20	13.07	35.17	-2.5	0
1.00	20	7.30	50.35	-2.5	0
1.00	12	5.01	65.9	-3.5	-1.5
1.02	15	4.94	37.26	-2.0	-0.5

写真 2 に圧裂引張試験による正常な破壊を示した例を示す。

圧縮試験によって圧縮された供試体を圧裂試験する時圧縮速度の選択が問題となるが、今回は $6\text{--}20 \text{ mm/min}$ の範囲で試験を行なった。また、密度は $0.5\text{--}1.0 \text{ kg/cm}^3$ の範囲にあるが、この密度は円筒のビニールパイプの変形による影響が含まれていない。密度を大きくするためには大きな力を必要とすることは先の圧縮試験で判明したが、圧縮力が非常に大きくなるとビニールパイプの変形も無視できなくなる。このために、ここで示した密度は大きい密度を示している。試験結果によると 0.5 kg/cm^3 の密度で 1.46 kg/cm^2 の引張抵抗があり、かなりの粘着性を示す。試験結果にばらつきは大きいものの、密度が大きくなるに従

ってこの引張抵抗力は数倍にまで大きくなることが解る。

0.5 kg/cm³ より小さい密度に対しては、本試験法では正常な破壊を起こさずデータが得られなかったが、密度が 0.5 kg/cm³ よりも小さくてもある程度の引張抵抗力を期待できるものと思われる。

4. 雪ブロックの製作実験

4. 1 実験方法

前章で述べた基礎実験においては、雪を圧縮するためにはかなり大きな力を必要とすることや引張強度も割合期待できること等が判明した。このような基礎実験をもとに、さらに雪ブロックによる雪処理方式を検討していくためには、まず雪ブロックを製作することが可能かどうかということから始める必要がある。そのために、とにかく雪ブロックを簡単な方法で製作してみる実験を行なうことにした。圧縮装置の第1号機としては木箱を用い、これに雪を入れて上からフタをして人間がこの上に載って押さえる方法をまず採った。木箱の寸法は、雪ブロックの大きさを大体人間が容易に運搬できる 10 kg までとなるように決定した。第1号機による実験では、雪ブロックの製作に関する基礎的な問題点を探ることを目的とし、その結果から第2号機による実験計画に進むことにした。第2号機においては、圧縮力を大きくできるようにジャッキを組み込んだ構造とし、これによって最大2トンまで載荷できるようにした。

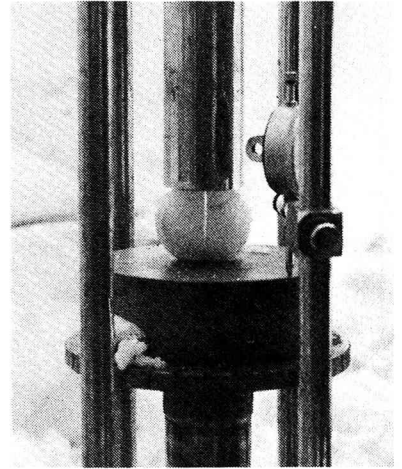


写真2 圧裂引張試験

4. 2 第1号機による雪ブロックの製作実験

第1号機の圧縮装置は、中空の箱の中に積雪層からとった雪を入れて上からフタをし、人間がその上に載って締め固めるという簡単なものである。雪と箱の内面との摩擦を避けるため、箱の内面にワックスを塗布してすべり易くした。人間によって載荷する場合、荷重は単に体重だけでなく、衝撃を与えたり荷重の位置を変えたりできるので、荷重の大きさの割には効率が良い。



写真3 第1号機による雪ブロック

写真3に実験の様子を示す。雪は一度に全部入れずに何回かに分けて入れ、その都度フタの上に人間が載って締め固めることを繰り返した。表2にこの実験によって得られた荷重と雪ブロックの密度との関係を示す。これを見ると解かるように、雪ブロックの密度は載荷した人間の重量とはあまり関係がなく、1人の方が効率が良いと言える。これは、載荷する荷重の大きさよりも、雪を少しずつ入れて何回も締め固めを繰り返すという方法そのものの方がより大きな影響を持つということである。

応力を考えてみると、55 kg、60 kg、および 115 kg の荷重に対してそれぞれ 0.05 kg/cm² および 0.09 kg/cm² となり、先の圧縮試験の荷重に比べて非常に小さい。この様な小さい荷重で、0.3 g/cm³ 程度の密度が得られることは大いに注目される。0.3 g/cm³ 程度の密度を持つ雪ブロックは、手で持った時に若干安定性に欠けるところがあり、注意

表 2 1号機による雪ブロック製作試験結果

荷 重	密 度
60 kg	0.353 g/cm ³
55 kg	0.280 g/cm ³
115 kg	0.326 g/cm ³

深く取り扱わないと壊れる恐れがある。第1号機の圧縮装置によると、雪を何層かに分けてその都度でいいに締め固めるとしても、最大得られる密度は 0.4 g/cm^3 程度であろうと思われる。従って、以下2号機においては更に大きな密度が得られるように圧縮、荷重を飛躍的に大きくできるようにした。

4. 3 第2号機による雪ブロックの製作実験

第2号機においてはまず上から押さえた後、更に横からジャッキで圧縮するという2段階圧縮方式を採った。箱の内面にはビニールシートを貼り付けて、雪との摩擦力を減少させた。ジャッキの最大ストロークは 20 cm であり、フタを押さえることで 0.3 g/cm^3 程度にまで圧縮された雪ブロックをジャッキにより約 0.45 g/cm^3 にまで圧縮することが理論上可能である。写真4と5に2号機の概況を示す。

実験の結果は、3回の実験に対し得られた密度はそれぞれ $0.37, 0.35, 0.34 \text{ g/cm}^3$ であった。ジャッキの最大荷重が2トンであるので、この時の圧縮応力は 2.7 kg/cm^2 に相当し、第1号機よりははるかに大きい荷重で圧縮したことになる。しかし、その割にはあまり大きな密度が得られなかったが、これは第2号機は第1号機に比べて密閉度が大きく、圧縮する時の空気の逃げがないために効率が悪かったものと思われる。圧縮は徐々に起こるのではなく、ジャッキのストロークを伸ばしていくと、ある限界状態に達した時に塑性変形が進行するというのを繰り返しながら締め固めていくことが観測された。

以上の実験から、雪を圧縮する時に重要なことは雪中の空気を雪粒子の間からいかにうまく追出すかということであることが判明した。そして、この空気の逃げを工夫することにより、それ程大きな圧縮力を加えなくても良いような簡便な家庭用の雪ブロック製作装置の開発は可能であるとの結論に達した。



写真4 第2号機による雪ブロック製作実験

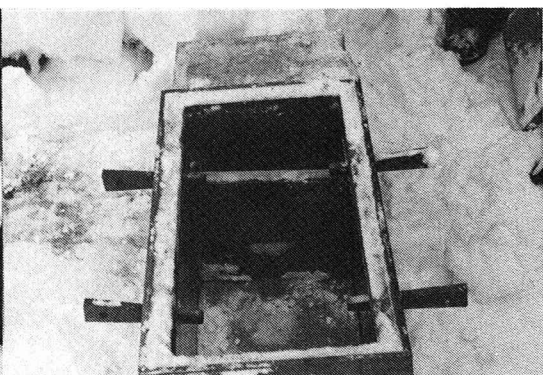


写真5 第2号機の内部

5. まとめ

北海道の経済が低迷が続けている大きな原因はやはり厳しい気象条件にあると思われるが、中でも降雪量の多さは世界の大都市の中でも例を見ない程である。札幌近辺に住む者にとっては冬の生活は雪との闘いと言っても過言ではない。しかし、雪も考え様によっては大切な北海道の資源の1つでもある。我々はこの雪を一方では観光資源として生かしながら、他方では雪害を最も小さくするように日々の生活に工夫をしていかなければならない。

そこで、従来の除雪法とは発想の異なった除雪法の開発が膨大な除雪費を削減していくためには必要と思われるが、ここで提案しているのは雪をブロックのような立方体に固めることによる雪処理法である。これによる利点としては

- (a) 雪ブロックは人間が簡単に運搬処理できるので、運搬用のダンブトラック等は不要になる。
- (b) 雪をブロックの単位で処理するので、排雪は各家庭で敷地内のどこかで処理することができ、遠距離を運搬する必要はない。

等が挙げられる。

問題点としては、雪ブロックをいかに簡単に作るかということで、雪ブロックを家庭で簡単に製作できる道具を開発する必要がある。これによって家庭で処理できる除雪の範囲が現在よりも大幅に向上させることができる。

このように、雪ブロックによる除雪法を開発していくために、ここではまず雪ブロックを製作するための基礎実験を行なった。その結果をまとめると次のようになる。

- (a) 雪ブロックの密度は $0.4 - 0.5 \text{ g/cm}^3$ 程度が適当である。
- (b) そのためには $2.5 - 5 \text{ kg/cm}^2$ 程度の圧縮力が必要となる。
- (c) 上記の圧縮力は、雪の中の空気の逃げと振動圧縮をうまく用いる等、圧縮方法に工夫をこらせば、減らすことは可能である。
- (d) 雪ブロックは、人力によって密度 $0.35 - 0.4 \text{ g/cm}^3$ 位まで圧縮可能である。

以上のような検討から総括的な結論としては、雪ブロック方式による除雪方法は十分可能であるということが言える。今後本研究を進めていくに当たっては、最も重要な課題である雪ブロック製作機の開発と雪処理システムの確立のために、もっと幅広い官民学の共同態勢が必要になってくるであろうと思われる。

最後に本研究を行なうに当たって雪の知識の乏しい筆者らに貴重な助言を頂いた北海道大学低温科学研究所の前野紀一博士に深く感謝致します。なお、本研究は昭和58年度の北海道科学研究助成費によって行なったことを付記致します。

参考文献

- 1) 新道路除雪ハンドブック, 日本建設機械化協会編, 技報堂, 昭和56年12月
- 2) 札幌市除雪実施要領, 札幌市建設局土木部道路維持管理課, 昭和50年
- 3) 雪の話・氷の話, 木下誠一著, 丸善, 昭和59年1月
- 4) 岩盤力学入門, 山口梅太郎, 西松裕一著, 東京大学出版会