

VI-2 スノープレスサーによる雪圧縮実験

北海学園大学工学部 正会員 当麻庄司
三井建設(株)技術研究所 正会員 田村富雄

1. 緒言

近年、北国での冬の生活をより快適に過ごすことができるように、克雪問題への関心が高まってきている。克雪問題の中心は除雪をいかに効率よく行うかということであり、除雪をこれまでのようにただ費用をかけて処理するのではなく除雪環境に適合した方策が取れるように、除雪システムの多様化の試みがなされるようになってきた。¹⁾また、一方では雪を単に除雪の対象としてではなく、これを積極的に活用する利雪の試みもなされ、雪を利用した発電装置や夏期に野菜を貯蔵する氷室構想等が研究されている。²⁾このような克雪・利雪に対し、雪を圧縮して処理することが考えられているが、³⁾⁴⁾圧縮することにより雪はそれまでの粉状からブロック状に変換されることになり、雪の取扱いあるいは利用において根本的にその捉え方が異なってくる。雪を圧縮してブロック状の形にすることにより、(1)取扱いがし易くなる、(2)雪ブロックを利用することができる、(3)体積が減少する、等の利点が出てくる。すなわち、雪を圧縮することで新しい可能性を生じさせることになる。

粉状の雪を圧縮すると、焼結現象により粒子が結合して固形化することができる。⁵⁾この時の状況には雪に加える圧縮力の大きさ、時間の長さ、それに温度の高さと、何れも重要な影響を及ぼす。このように多くの要素が影響するために、雪を圧縮する現象は複雑である。特に温度に関しては、雪は通常融点に近い温度環境におかれることになり、雪温の違いが雪の性質を大きく左右する。

ここでは、現在雪圧縮用として“スノープレスサー”と呼ばれる装置が開発されているが、これを用いて雪圧縮実験を行った結果について述べることにする。実験では、種々の状態の雪に対して圧縮力の大きさと圧縮後の雪の密度との関係を求め、雪が圧縮されたときの圧縮度について調査した。

2. 実験の概要

スノープレスサーの概要は写真-1に示すように、ホッパーに蓄えられた雪を油圧駆動のピストンによって圧縮して、雪ブロックを製造する装置である。製造される雪ブロックは、直径20cmで、長さは約40～70cmの円筒形である。スノープレスサーの仕様としては、重さ約1.2ton、長さ3m、幅1m、高さ1.3mである。約30秒を1サイクルとして、雪ブロックを製造することができる。

実験は、昭和62年1月下旬に北海学園大学工学部構内(札幌市)の屋外で行った。対象とした雪は、新雪、長期間堆積した雪、踏み固められた雪、および雨で濡れた雪の4種類である。雪の温度は、その時々で0℃～-5℃と変化している。また、雪に水を添加してその圧縮効果への影響をも調べた。

圧縮力の載荷方法は、先ず所定の圧力を設定した後ピストンを作動させて雪を圧縮し、変形(ピストンの移動)が進行している間は載荷を継続させ、ほぼピストンの移動が止まった段階で載荷を終了した。従って、雪は高速度で圧縮が進行する初期の段階から、非常にゆっくり圧縮される終盤の時期を経由して固形化される。その後、ブロックを圧縮機から取り出して全体の重量を測定し、そこから密度を算出して圧縮力との関係を求めた。

3. 実験の結果と考察

新雪に対する実験は、前夜に降った雪を用いて行った。外気温と雪温は共に-5℃であった。このような状況では雪は綿のような状態にあり、風を送る

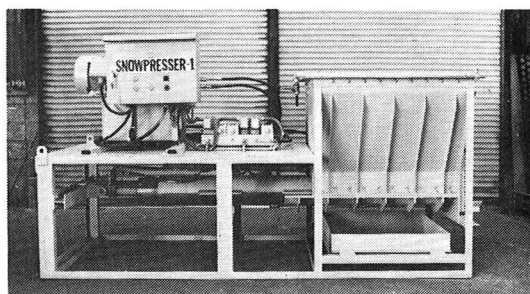


写真-1 スノープレスサー

と簡単に吹き飛ばすほど密度は小さくまた乾燥している。スノーサンプリングでこの雪を採取し密度を計測すると、 0.097g/cm^3 であった。しかし、地上で自然に降雪した状態にあるこの雪を圧縮機のホッパーに投入すると、当然雪は乱されて密度は大きくなる。ホッパー内の圧縮前の初期密度は約 0.25g/cm^3 であった。

新雪に対する圧縮実験の結果を図-1に示す。実験は、先ず地上の雪をそのままホッパーにいれて行った場合と、水を少量加えた場合、更に水を多量加えた場合について行った。図中の各種マークは測定値を示し、線はその測定値に対して一致するように引いたものである。水を加えない場合の実験結果を見ると、圧縮力が 5kg/cm^2 の時密度が約 0.45g/cm^3 、圧縮力が 15kg/cm^2 になると密度が約 0.53g/cm^3 となり、圧縮力が3倍になっているにもかかわらず密度の上昇率はそれ程大きくない。これは、圧縮力が小さい時には雪の粒子間に存在する空气の排出がスムーズに行われるが、粒子の間隙がある程度狭くなってくると中の空气がなかなか排出され難くなることを示している。雪を強い圧力で圧縮すると究極的には氷になるのであるが、その氷も中に空气を含まない透明なものが最も密度が大きいことになる。雪を圧縮することは、すなわち雪粒子間の空气を排出させることに外ならない。

雪に水を加えることは、雪粒子の結合をし易くする。明らかに水を加えると密度は大きくなるが、これは水の重量が増えるために当然の結果であると言える。すなわち、この時の密度は次式により計算される。

$$\gamma = W' / V$$

ここに、 γ = 雪の密度、 W' = 水を含む雪ブロックの重量、 V = 雪ブロックの体積

図-1を見ると、水を加えない場合計測値は安定しているが、水を加える場合は水の量によって結果が異なるため、少しバラツキが出ている。これは、加える水の量はホッパー内で行うために一定量とすることは難しく、従って雪を圧縮する時の水の影響は大まかにしか捉えることができなかったことによる。また図-1では、水を少量加えた場合は圧縮力の増大に伴って密度もかなり大きくなっているが、水を多量加えた場合にはその傾向は見られず、水を加えない場合とほぼ平行の曲線となっている。

図-2は、堆積した雪の圧縮力と密度の関係を示す。図中の各種のマークは実験値を示し、線はそれに合わせて引いたものである。実験に用いた雪は、約1m位の厚さにまで長期間積み上げられた積層雪の中間から取り出したものである。この雪の実験日の外気温は -2.7°C 、雪温は -1°C であった。また、この雪の初期密度は 0.313g/cm^3 であった。図-2を見ると、水を加えない場合圧縮力が 7kg/cm^2 の時密度がほぼ 0.6

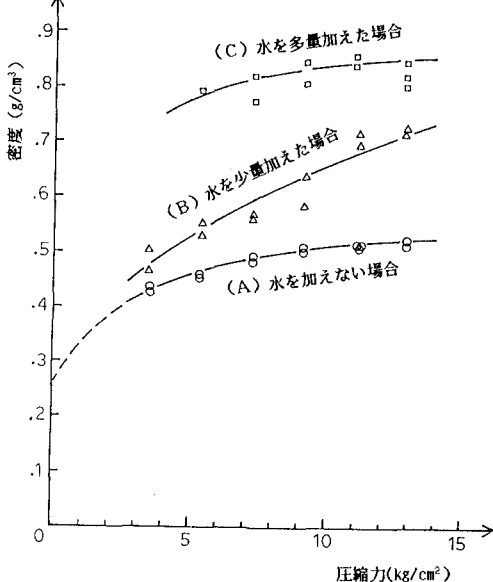


図-1 新雪の圧縮力-密度曲線 (-5°C)

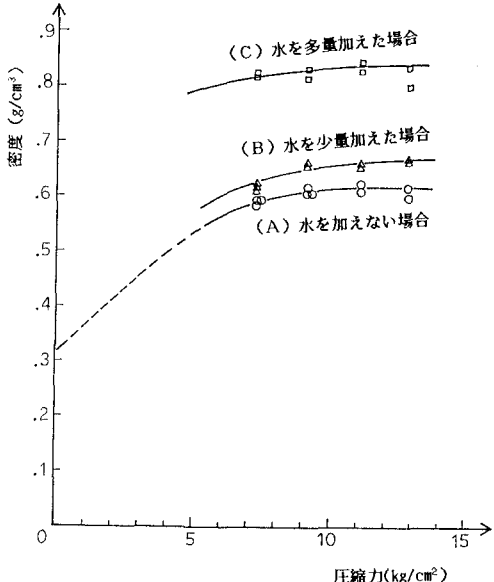


図-2 堆積した雪の圧縮力-密度曲線 (-1°C)

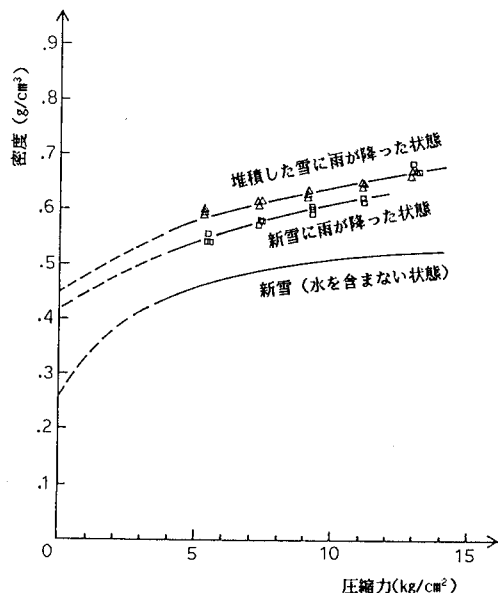
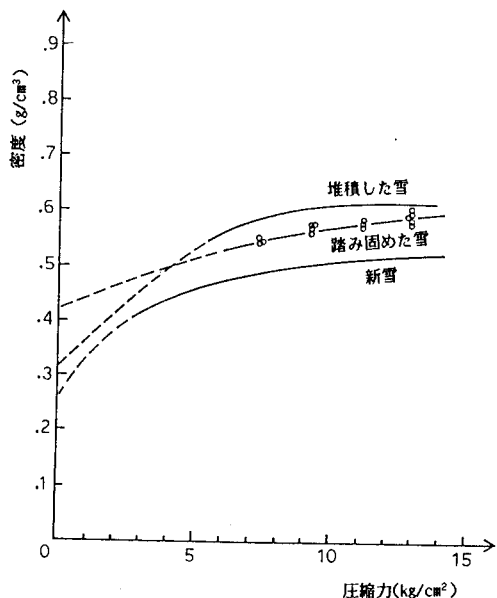


図-3 踏み固めた雪の圧縮力-密度曲線 (-5°C) 図-4 雨でぬれた雪の圧縮力-密度曲線 (-0°C)

g/cm^3 となり、それ以後圧縮力が大きくなっても密度の増加はほんの僅かである。これは、先の新雪の場合と同じ傾向を示している。また水を加えた場合、実験結果の曲線はほとんど平行に水を加えた分だけ上にきている。水を多量に加えると、堆積した雪も新雪もほとんど同じ曲線となる(図-1 (C)と比較参照)。これは、水の影響が大きくなって最初の雪の状態がそれ程意味をもたなくなったためである。水を少量加えた場合は先の新雪の場合と若干傾向が異なるが、これは水の加え方が一定でないために起こったものと思われる。

図-3に、新雪と堆積した雪の比較を水を加えない場合について示す(図-1 (A)および図-2 (A)参照)。当然、堆積した雪は新雪よりも高い密度となっているが、全般的にはよく似た傾向を示している。新雪の方は圧縮力が $5\text{ kg}/\text{cm}^2$ 以前で急激な密度の上昇を示しているのに対し、堆積した雪は圧縮力が $7\text{ kg}/\text{cm}^2$ 位まで急激な密度の上昇が続いている。これは、堆積した雪はある程度すでに粒子間の結合が進み粒子が大きくなっているのに対し、新雪では非常に細かい粒子となっているためと思われる。

また、図-3には実験中に新雪の上を歩き回ったために踏み固められた雪についての実験値もプロットしている。この雪は最初からかなり大きな密度となっており、 $0.42\text{ g}/\text{cm}^3$ の初期密度であった。実験当日の外気温、雪温ともに -5°C であった。実験の結果は図-3に示すように新雪と堆積した雪の中間にあり、かなりフラットな曲線となっている。これは、新雪が足で踏み固められたものであり、かなり新雪の性質を残しているため、ある程度圧縮力が大きくなってくると新雪と同じ傾向の曲線となることによる。圧縮力が小さい範囲では、踏み固められたことによって初期密度が大きいため、それ程密度の急激な上昇はない。

図-4は、実験期間中にたまたま雨の降った日があったために、雨に濡れた雪について計測したものである。実験に用いた雪は、新雪に雨が降った状態のものと堆積した雪に雨が降った状態のものと2種類である。図中には、比較のために水を含まない新雪(図-1 (A)参照)に対する実験結果をも示す。実験日の外気温は、雨に濡れた新雪の日は 1.7°C 、また雨に濡れた堆積した雪の日はその翌日で -1°C であった。雪温は両方とも 0°C であった。初期密度は、雨に濡れた新雪が $0.415\text{ g}/\text{cm}^3$ 、堆積した雪はそれより少し大きく $0.45\text{ g}/\text{cm}^3$ であった。実験結果としては、図-4を見るとほぼ2曲線は平行になっていることが分かる。これは、おのおの先の新雪および堆積した雪の実験における水を少量加えた場合の結果(図-1および図-2参照)と、大体同じ傾向を示す曲線となっている。雨による効果が、先の実験における水を少量加えた

状態と同様の条件を作り出したと言える。

次に、図-5にこれまでの各種雪圧縮実験の結果をまとめて示す。図中、“TEST”としてプロットされているのは、筆者らが電動万能圧縮試験装置を用いて以前行った直径50mmの小型試験の結果である。圧縮力は、約60kg/cm²とかなり高压の範囲まで試験を行っている。注目されるのは、雪温が0℃と約-5℃とで明確な違いが出ていることである。そして、それぞれの温度で各種の実験結果はよく一致していることが分かる。今回の実験結果は、圧縮力が14kg/cm²迄と低い範囲で行ったために本図には記入されていないが、-5℃の場合図-1の新雪（水を含まない場合）の曲線とよく一致している。また、図-5の0℃における実験では雪はかなり水を含んだ状態にあったため、この曲線は図-4の新雪に雨が降った状態の実験結果とよく一致している。このことから、圧縮力と密度の関係は雪ブロックの大きさに余り影響されないことが分かる。

図-5の比較によって言えることは、圧縮力と密度との関係は雪の状態によって決まり、試験片の大きさはあまり影響しないことである。すなわち、雪の圧縮力は雪の種類が新雪か堆積した雪か（これは初期密度と関係が深い）、あるいは水をどの程度含んでいるか（これは雪温と関係が深い）等の条件により決まってくると言える。

4. 結語

スノープレッサーと呼ばれる雪圧縮機を用いて雪の圧縮実験を実施し、雪圧縮力と雪の密度との関係を求め、結論として次のようなことが得られた。

(1) 雪の圧縮力と密度との関係は雪の温度によって変わり、雪温が-5℃と0℃の場合図-5に示すようになる。

(2) 雪の圧縮力と密度の関係は、雪の圧縮前の状態（初期密度）の影響が大きい。

(3) 雪の圧縮力と密度の関係は、圧縮される雪ブロックの大きさには影響されない。

雪を圧縮し固形化することにより雪がこれまでの粉状でなくなって、これに対処するときには発想の転換を図ることができ、新たな可能性が生まれてくる。雪圧縮についてはその利用面よりもむしろ先ず雪圧縮機の開発から始められた感があるが、雪圧縮の技術をどのように除雪や克雪に利用するかは今後残された課題であり、具体的な策を考えていかなければならない。

なお、ここで述べた雪圧縮実験の実施に当たっては、昭和61年度の当麻研究室の卒論生、特に江部直純君が中心となって行ったものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 当麻庄司：除雪システムの多様化、北海学園大学工学部研究報告、第15号、昭和63年2月。
- 2) 川本周郎、媚山政良、橋本良明：冬期冷熱の蓄熱および利用システム「氷室計画」の概要、第2回寒地技術シンポジウム講演論文集、1986年11月。
- 3) 当麻庄司：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研究報告、第12号、昭和60年2月。
- 4) 田村富雄、土師秀人、伊藤圭典、当麻庄司：雪圧縮処理工法の開発、第2回寒地技術シンポジウム講演論文集、1986年11月。
- 5) 前野紀一：氷の科学、北海道大学図書刊行会、1981年。

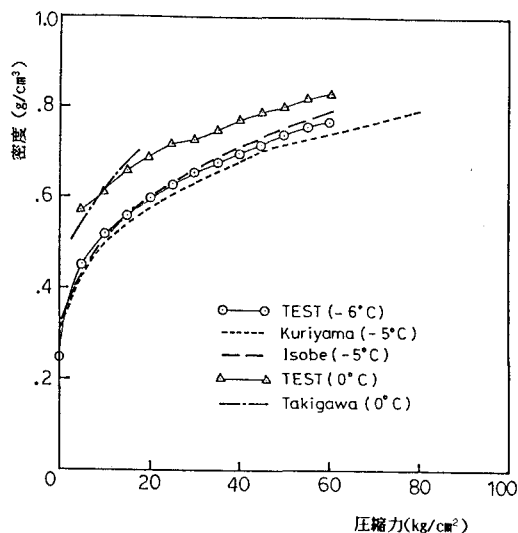


図-5 各種雪圧縮実験の比較