固形化雪の空気力輸送実験　－圧送方式における固形化雪の形状の比較－

著者	小林 俊市, 熊谷 元伸
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	55
ページ	1-8
発行年	1995-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001067

防災科学技術研究所研究報告　第55号　1995年3月

固形化雪の空気力輸送実験
— 圧送方式における固形化雪の形状の比較 —

小林俊市*・熊谷元伸**

Study on the Pneumatic Conveying System of Snow Lumps
— Comparison between Shapes of Snow Lumps in Positive Pressure Type —

By

Toshiichi KOBAYASHI* and Motonobu KUMAGAI**

**Nagaoka Institute of Snow and Ice Studies,*
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
***Construction Equipment Division, Economic Affairs Bureau, Ministry of Construction*

Abstract

This paper describes experimental results carried out in the outdoors on pneumatic conveying system of snow in the form of snow lumps. They are air-compressed snowballs and snow columns.

In order to investigate suitable form of the snow lump for conveying, snowballs and snow columns were tested independently in a pipeline. In these experiments, a pipeline, 57m long in total length, consisting of a horizontally straight pipe and four horizontally bent pipes, was used. These experiments were conducted under the positive pressure condition.

As a result, snowballs were conveyed in the pipe under the air velocities of more than 4m/s. On the other hand, snow columns were carried under the air velocities of more than 5m/s. The pressure losses in the pipeline for snow columns were about twice as large as those for snowballs in any case. Therefore, it is concluded that the method of snowball conveying is more effective than that of snow column conveying.

キーワード：空気力輸送（雪）(pneumatic conveying of snow)，圧送方式 (positive pressure type)，固形化雪 (snow lump)，雪玉 (snowball)，円柱雪 (snow column)，輸送管 (pipeline)

*防災科学技術研究所　長岡雪氷防災実験研究所　第3研究室
**建設省　建設経済局　建設機械課

1．まえがき

狭い道路の除雪や家屋周辺の雪処理技術の新しい方法の一つとして，空気力により雪を管路輸送する実験を実施している．

これまでの研究結果（小林・熊谷，1989；小林，1991；熊谷・小林，1992）から，特に北陸地方のように水分を含んだ重い湿雪（ベタ雪）に対しては，積雪をそのまま管内に投入して輸送するよりも，あらかじめ積雪を一定の形に固形化したものを投入して輸送した方が効率よく輸送できることが判明した．

また，この方式により輸送された雪は，管路内を移動するため，途中で汚染される恐れがない．したがって，雪そのものを活用したり，雪を冷熱源として利用できるため，克雪・利雪技術として実用化できる見通しが得られた．

本稿では，輸送に適した固形化雪の形状を調べるため，圧送方式の実験装置を用いて，雪玉及び円柱雪を投入して比較実験を行った結果について述べる．

2．実験方法

2.1　実験装置

実験装置の概略を**図1**に示す．本装置は，空気力を発生する送風機（ルーツブロワ，22 kW），固形化雪を作製する雪固形化装置，固形化雪を輸送管内へ供給する固形化雪供給装置，並びに輸送管（管内径15 cm，材質：アクリル及び硬質塩化ビニル，総延長57 m，水平直管・水平曲管）から構成される．図1から明らかなように，本装置の輸送形式は圧送方式であり，輸送管内は常に大気圧よりも高い圧力が維持されている．

積雪を固形化するのは，雪固形化装置である．この装置は，コンプレッサと2本のエアシリンダなどから成る．コンプレッサから得られる6～7 kgf/cm^{2}の空気圧（圧縮力に換算すると約2 ton）により，ホッパから投入した積雪を圧縮すると，雪は一定の形状に固形化される．その際，圧縮用エアシリンダに取り付けたピストンの先端及び相手の受け金具の先端が，ともにおわん形をしている場合（**図2のa**）には，球状の固形化雪（以下，これを雪玉と称する）が形成される．また，ピストンの先端と相手の受け金具の先端が，ともに平らな円板状の場合（**図2のb**）には，円柱状の固形化雪（以下，これを円柱雪と称する）が形成される．図1では，レボルバー式の固形化雪供給装置のシュートに所定の個数の固形化雪を装填したのち，モータによりシュートを回転させ，輸送管内に固形化雪を連続的に供給して輸送する方式を示している．しかし，一度に大量の固形化雪を供給する場合，固形化雪供給装置と輸送管との整合性が悪く，管内への供給がスムーズにいかないケースがみられた．そこで，3個以上の固形化雪を供給する実験では，供給装置の接続を外して，その代りに，フレキシブルホースを取り付け，その中に所定の個数の固形化雪を装填したのち，一気にホースを持ち上げて管内に供給する方法を併用した．

2.2 固形化雪の製造

本実験に使用した固形化雪は，雪玉と円柱雪の2種類である．それぞれの大きさ，重量及び密度を**表1**に示す．既報（熊谷・小林，1992）でも述べたように，固形化雪の直径は輸送管内径の90%に相当する13.5 cmを適値とした．

また，円柱雪の長さについては，次に示す予備実験結果を基に適正値を決定した．すなわち，輸送に適した円柱雪の長さを求めるため，種々の長さの円柱雪を投入して，輸送状況を調べた．その結果，長さ23 cmの円柱雪を投入した場合，水平曲管部でつかえて管内閉塞するケースがみられた．逆に，半分に切断して長さ10～12 cmにした円柱雪を投入したところ，今度は輸送途中で円柱雪の向きが変わり，同様に水平曲管部でつかえて管内閉塞を起こした．

したがって，円柱雪の長さとしては20 cm程度（アスペクト比：直径／長さ＝1/1.5）が適正ではないかと考えられる．以後，円柱雪試料を作製する場合は，20 cm程度になるように長さを調整し実験に用いた．

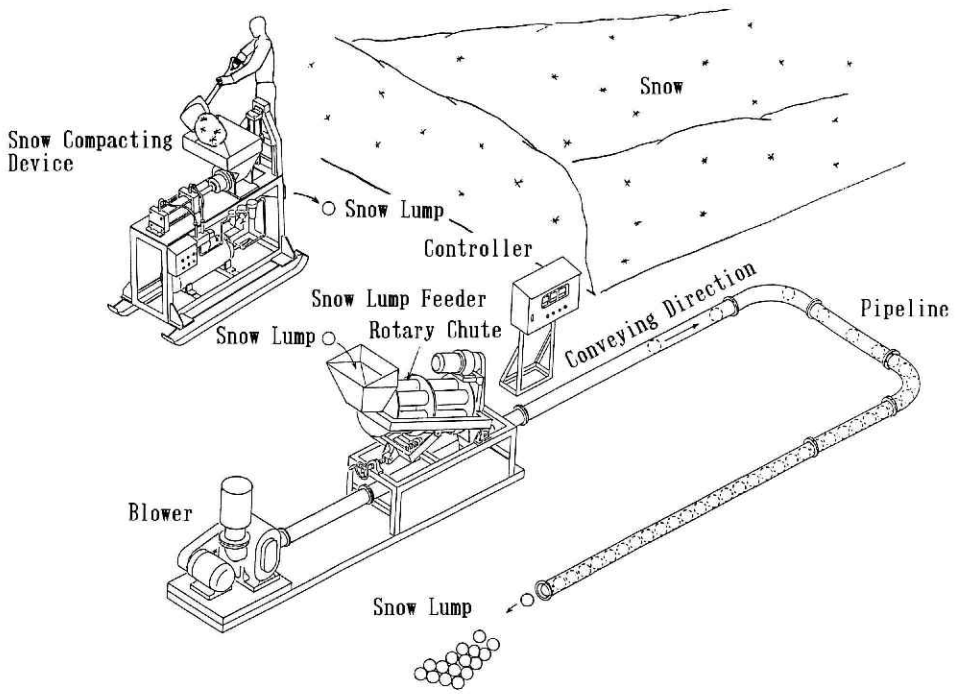


図1　固形化雪空気力輸送実験装置

Fig. 1　Schematic diagram of the experimental equipment for a pneumatic conveying system of snow lumps.

表1　　固形化雪の比較

Table 1　Comparisons between snowballs and snow columns.

Form of snow	Diameter	Average length	Average weight	Average density
Snowball	13.5cm	—	1.1kg	860kg/m³
Snow column	13.5cm	21cm	2.0kg	670kg/m³

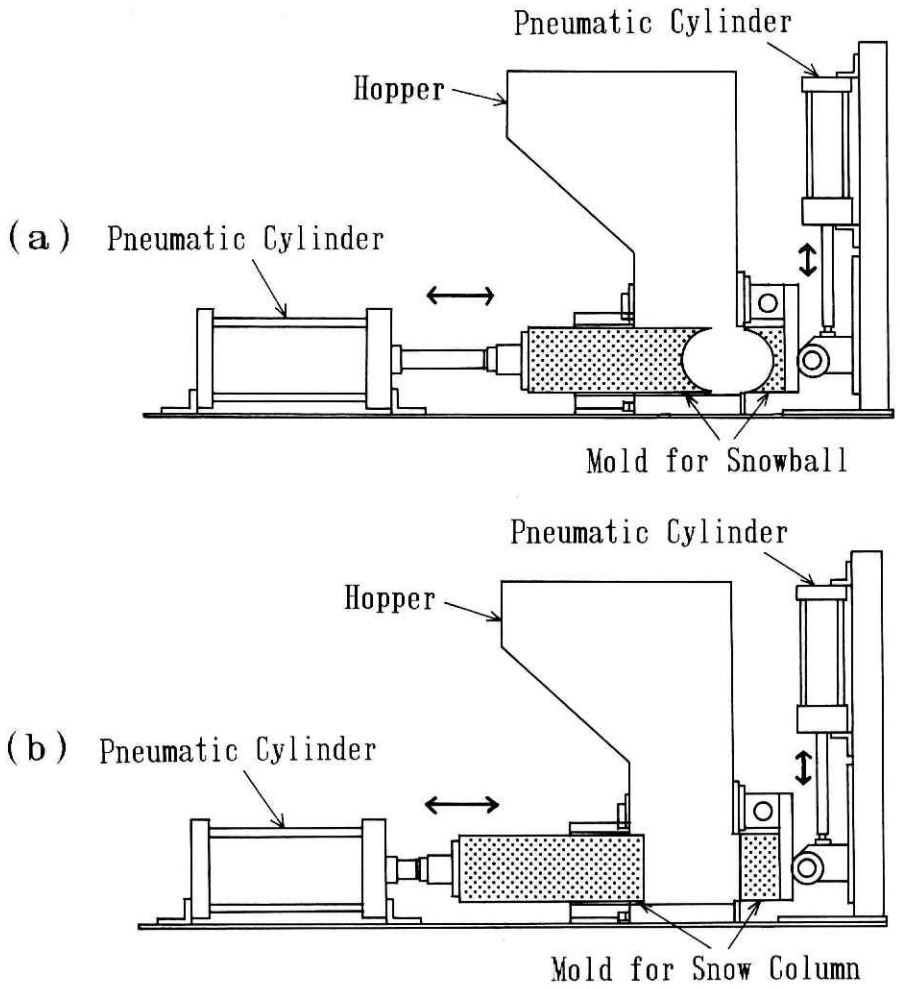


図2　　雪固形化装置の断面図（正面図）．(a) 雪玉作製用，(b) 円柱雪作製用．

Fig. 2　Drawing of the snow compacting device (front view); (a) device for making snowballs, (b) device for making snow columns.

2.3 計測項目

本実験に使用した輸送管の配管状況（平面図）を図3に示す．輸送管の総延長は前述のように57 mである．図3の中に▽印で示したのは，圧力変換器の取り付け位置である．圧力変換器No.1と2の測定値から水平直管部における圧力損失を，またNo.2と3の測定値から水平曲管部における圧力損失を算出した．また，管内風速を熱線風速計により測定した．

なお，実験方法の詳細については，熊谷・小林（1992）に詳述してある．

3．実験結果

3.1 水平直管部における圧力損失

図4に水平直管部における圧力損失と管内風速の関係を示す．本実験では，効率のよい輸送条件を求める目的から，管内風速を3～7.5 m/sの低風速に抑えた．図4からも分かるように，この風速範囲における圧力損失の風速依存性は余り顕著に現れていない．しかし，雪玉，円柱雪ともに，輸送雪量が大きくなるほど圧力損失も増大する傾向がみられた．

また，雪玉と円柱雪とを比較した場合，同程度の輸送雪量では，円柱雪の場合の方が雪玉の場合に比べてほぼ1.5～2倍程度大きな圧力損失を示した．

3.2 水平曲管部における圧力損失

図5に水平曲管部における圧力損失と管内風速の関係を示す．水平曲管部における圧力損失は，水平直管部の場合に比べて，同一条件での圧力損失は5.9～12.5倍と大きな値を示した．この値は，既報（熊谷・小林，1992）で述べた総延長34 mの輸送管における変化割合（1.7～3.2倍）に比べると約3.8倍に増大している．

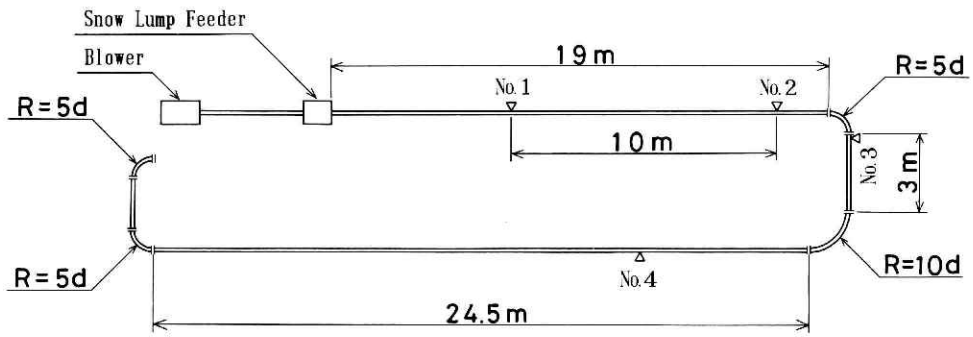


図3　輸送管の配管図（平面図）．
図中▽印は圧力変換器の取り付け位置を示す（4箇所）．
また，Rは曲率半径，dは輸送管内径を示す．

Fig. 3　Schematic diagram of the pipeline (plan);
▽ : locations of pressure gauges, R : radius of curvature,
d : inner diameter of the pipe.

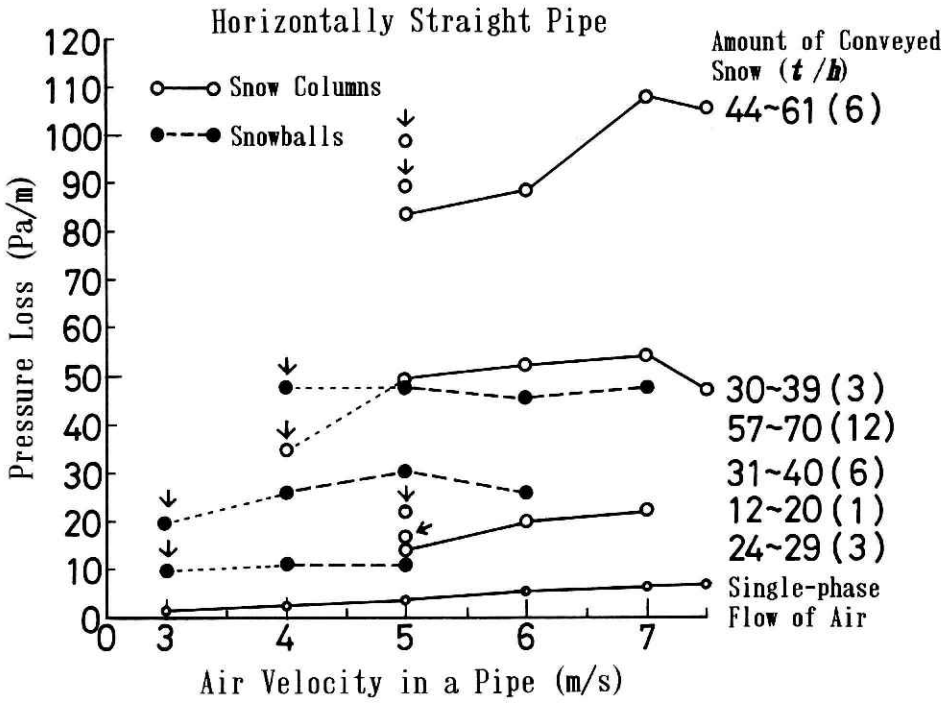


図4　圧力損失と管内風速の関係（水平直管部）．
図中矢印を添えた記号は，輸送管内につまりを生じた時のデータを示す．また，輸送雪量の右側のカッコ内の数字は，各固形化雪の投入個数を示す．

Fig. 4　Relation between the pressure loss and the air velocity in a horizontally straight pipe. Eight arrows show the air velocities under which no snow could be conveyed inside of a pipe. The number in each parenthesis shows the number of snow lumps fed in a pipe.

また，バラツキはあるものの，管内風速の増加とともに圧力損失も増大する傾向がみられた．さらに，水平直管部の場合と同様に，輸送雪量が増加すると圧力損失も増大する傾向がみられた．

次に，雪玉と円柱雪を比べた場合，同程度の輸送雪量においては，円柱雪の場合の方が，雪玉の場合に比べて1.4～2.4倍の大きな圧力損失を生じた．

3.3　限界風速

図4及び図5において矢印を添えた記号は，輸送管内につまりを生じた時のデータを示している．例えば，雪玉を投入した実験では，図4，図5ともに，管内風速5 m/sまでは順調に輸送することができた．しかし，4 m/sになると，輸送できる場合もあったが，できない場合もあったことを示している．したがって，雪玉ではほぼ4 m/sが輸送限界管内風速（以下，

限界風速と称する）であるとみなすことができる．同様にして，円柱雪の場合の限界風速を求めると，5 m/s となる．

したがって，限界風速は円柱雪の方が雪玉よりも 1 m/s だけ大きな値となった．

4．結　論

前章の実験結果から，圧力損失についてみると，水平直管・曲管部ともに円柱雪の方が雪玉の約 2 倍の大きな値を生ずることが判明した．

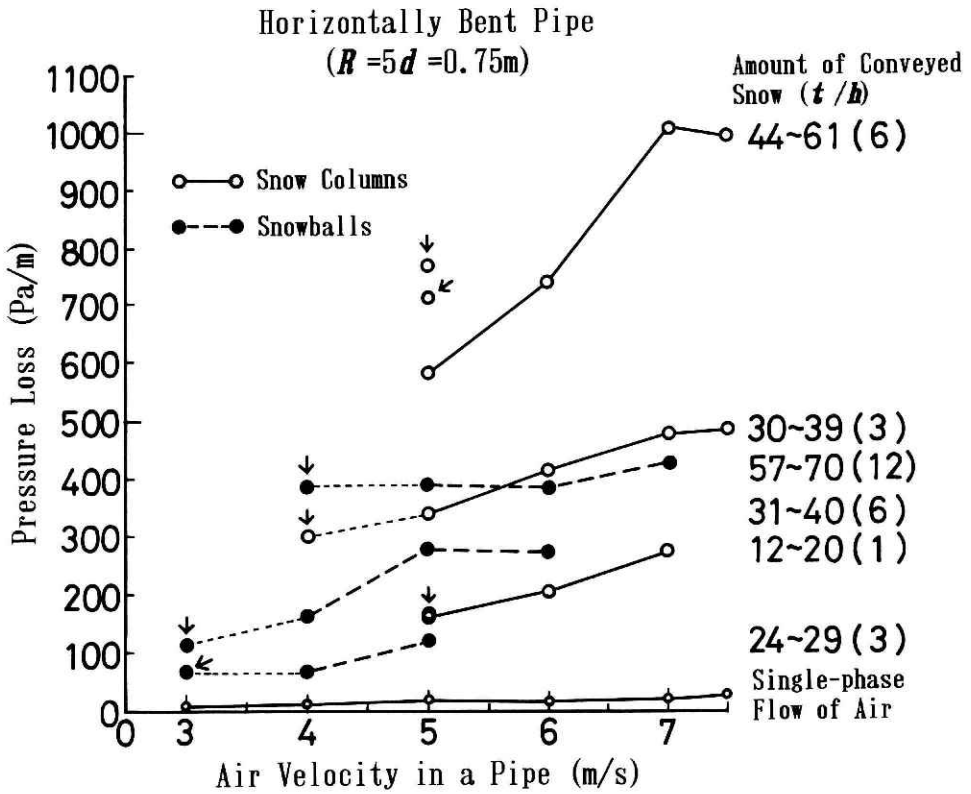


図 5　圧力損失と管内風速の関係（水平曲管部）．
図中矢印を添えた記号は，輸送管内につまりを生じた時のデータを示す．また，輸送雪量の右側のカッコ内の数字は，各固形化雪の投入個数を示す．

Fig. 5　Relation between the pressure loss and the air velocity in a horizontally bent pipe. Seven arrows show the air velocities under which no snow could be conveyed inside of a pipe. The number in each parenthesis shows the number of snow lumps fed in a pipe.

また，限界風速についても，水平直管・曲管部とも円柱雪の方が雪玉よりも1m/s大きな値を示した．

これらの結果を合わせて考えると，円柱雪よりも雪玉の方がより効率的な輸送が可能であるとみなすことができる．

謝　辞

本稿をまとめるに当り，長岡雪氷防災実験研究所の中村勉所長並びに納口恭明主任研究官から適切な御助言を頂いた．ここに記して感謝の意を表する．

なお，本研究は科学技術振興調整費によって実施されたものである．

参考文献

1）小林俊市・熊谷元伸（1989）：雪の空気輸送実験（その1）－水平直管部の圧力損失－．国立防災科学技術センター研究報告，**44**, 105～121.

2）小林俊市（1991）：管路による雪の空気力輸送に関する研究．雪氷，**53**, 211～216.

3）熊谷元伸・小林俊市（1992）：固形化湿雪の空気力管路輸送に関する研究．雪氷，**54**, 153～158.

（原稿受理：1994年12月28日）