

58. 雪の空気管路輸送技術の開発

建設省土木研究所：杉山 篤・村松 敏光
* 梶田 洋規

1. 研究目的

近年、積雪地域の冬期間における経済活動を維持する上で、道路交通の占める割合が大きいことから、冬期間においても十分な交通容量を確保することがますます重要になってきている。そのため、多数の機械が除雪事業に当たり、経済基盤である道路交通の確保を図っているところである。しかし、機械では路上の雪を路側に積み上げたり、路外に放出することしかできないため、市街地の幅員の小さな道路では積み上げられた雪や排雪作業に伴う交通障害が問題となっている。このため、川の水を利用した「流雪溝」が使われているが、地形の制限、水の確保、流末での雪の処理が困難なこと等の問題があり、流雪溝に代わる排雪機構の開発が望まれている。一方、雪を貯蔵して、水資源や低温熱源として活用するなどの利雪が叫ばれているが、貯蔵場所へ雪のみを効率的に運搬する機構の開発が遅れており、利雪を実現する上でのボトルネックとなっている。そこで、雪を粉体あるいは固体として扱い、これを輸送する技術を開発し、市街地での排雪、利雪のための運搬を効率的に実施することによって、より円滑な冬期交通の確保を図るとともに利雪を計ることを目的とする。

2. 研究方法

本研究は、63年度を初年度とする3か年において、引き続いて実施される実用技術とするための研究に必要な基礎的な知見を蓄積するものである。初年度に当たる63年度は、現在実用化もしくは考案されている気体を中心とした輸送技術について、性能、機構等の調査を行った。この結果に基づき、気体搬送実験装置の基本性能を決定し、装置を製作し、基本的な性能の確認を行った。第2年度に当たる元年度においては、雪の管路輸送における実用的な搬送性能を得るための実験装置の改造を行い、その特性を把握するための実験を行った。管路の材質による変化を見るために実用システムに適用可能な塩化ビニール管（硬質）及びブルーホースにおける圧力損失、管壁への付着等について実験的に確認した。3年目に当たる平成2年度においては、各種の輸送管を用いた圧送実験を行い、輸送管と圧力損失の関係を把握するとともに、圧送時の雪の挙動についての考察を行った。

3. 研究成果

3.1 輸送機構の調査

雪の輸送機構について、現時点で製品化されているものや、開発中のものについて調査した。

この中には、類似したコンセプトの下に開発されたものがあり、構造的には圧送空気との接続部が異なっている。

また、いずれも時間当たり数トンから十数トンの能力で、設備としても大きい。

3. 2 実験装置

3. 2. 1 実験装置の性能

本研究は、市街地の幅員の小さな道路等での使用を前提にしているため、装置も2tトラック以下で運搬できる小型のものを目標としており、輸送管は内径を150mmとした。

搬送風速については、風速が速いほど搬送し易いといわれており、限界の風速は20m/s程度との報告がある^[1]。そこで、雪の投入時の風速低下を考慮して、実験装置の最大値(40m/s)と搬送限界、及びそれらの中間の3水準とした。

次に、風圧を考えるのに圧力損失についてみる。雪を空気によって搬送するときの管内圧力損失に関する知見は少ない。ある文献^[2]によると、ざらめ雪での風速40m/sの時の管内圧力損失が13mmAq/mであるので、管長50mでの管内圧力損失は650mmAqとなる。

空気輸送では、投入された粉体が空気によって風速まで加速されるわけで、その時の加速に伴う損失を検討する必要がある。この加速損失は、次式で表わされている。

$$\Delta P_c = (C+m) \frac{\gamma}{2g} \cdot V^2 \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 ΔP_c ：加速損失[mmAq]、 C ：混入機の形式による定数(2.0と仮定)

m ：混合比(空気の量に対する雪の比率を混合比とする。)、 γ ：空気の密度[kg/cm³]

g ：重力加速度[m/s²]、 V ：風速[m/s]

風速40m/sでは、この加速損失が212mmAqとなることから圧送損失と合わせて862mmAqが必要になる。よって、容易に十分な風量と風圧が得られるターボブロア(風圧1,000mmAq)を用いることとした。

予備実験において、閉塞までの限界を知るには、60m³/h程度以上の投入能力が必要になることが予想されたため、雪投入コンベヤの速度を最大投入が65m³/hとなるようにした。

3. 2. 2 ロータリーフィーダ

圧力をコントロールし

て雪を投入する方法では混合率に限界があるため、雪を強制的に管路に送り込むためのロータリーフィーダ(図-1)を製作し、高い体積混合比が得られるようにした。

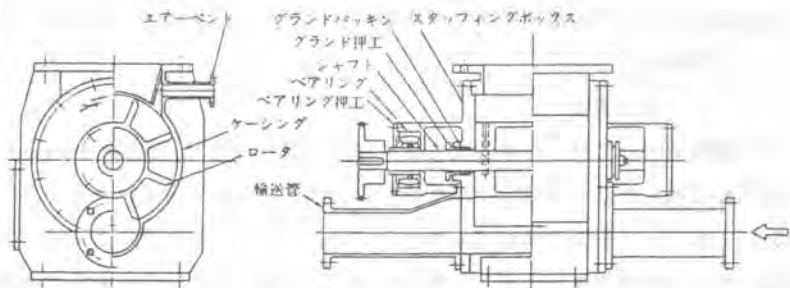


図-1 ロータリーフィーダ

このロータリーフィーダ

は、雪がフィン間に付着する現象が発生しても、搬送空気によって押し出すことが期待できるので、湿った雪についても所要の性能を発揮できるものと考えた。

ロータリーフィーダの性能については、空気の重量に対する雪の容積比を、一般の気体搬送装置における混合比以上にできる性能を目標として設定した。

ロータリーフィーダの処理能力は、

$$Q = 60 \cdot V_1 \cdot N \cdot \eta \dots\dots\dots(2)$$

ここに、Q：時間当り処理能力 [m³/h]、N：ロータの回転数[rpm]（雪の場合、最大50rpm程度）、
η：充填率、V：ロータの容量[m³/rev]

で表わされる。

また、風速30m/sのときの風量は
2.0×10³m³/hであるから、一般的な
空気搬送装置の混合体積濃度の実用
値である3%^[2]にするには、およ
そ60m³/hの投入量が必要である。従
って、フィンの間への充填率を50%
と想定して、回転数を50rpmに設定
したとき、ロータの所要容量は0.04
m³/hとなる。

そこで、ロータ外形450mm、ロー
タ長さ400mmでロータ容量0.046m³/h
のものを採用した。

3. 2. 3 輸送管

搬送管の材質については、内部の
滑らかなものが抵抗なく送れるが、実用を考慮した場合にはフレキシブルなものが望まれる。そこで、
硬質塩化ビニールパイプと、軟質のパイプ（ループホース）に布を軟質ビニールで挟んだパイプ（サニ
ーホース）を加えた3水準とした。これらのパイプの接続については、風速の設定や混合濃度の設定の
綿密な再現が困難なことから、できるだけ直列の接続によって同一条件でのデータを得るようにした。

また、圧送時の雪の挙動を模擬の雪山によって実験的に解析するとともに、実際の圧送状態における
挙動を観察するため、透明のアクリル製のパイプ及び計測用の方眼を書いたアクリル板を製作した。

3. 3 実験結果

3. 3. 1 混合濃度

混合濃度については、体積濃度で最大13%（塩ビパイプ、風速6.7m/s）が達成でき、容易にプラグ流
の状態に遷移したことから、プラグ状態との遷移領域での最大値と考えられる。また、重量濃度では、
90%以上のデータが安定的に得られた。このことから、本装置によって、雪のように附着性がある真
比重の大きな粉体であっても、一般の空気搬送装置以上の性能を発揮できることが判明した。また、混
合濃度の風速の関係については、配管の違いによる差は認められなかった。

3. 3. 2 混合濃度と圧力損失

図-3に示すように、配管の材質の違いによる差が大きく現れているものの、混合濃度の違いによる
差はほとんど認められない。これは、混合量の増大にともなってエネルギー的に有利な形に変化し、圧
送量の増大に対する圧送エネルギーの増大（圧損の増大）が顕著に現れなかったものと推定される。

3. 3. 3 搬送管の種類別の圧送抵抗

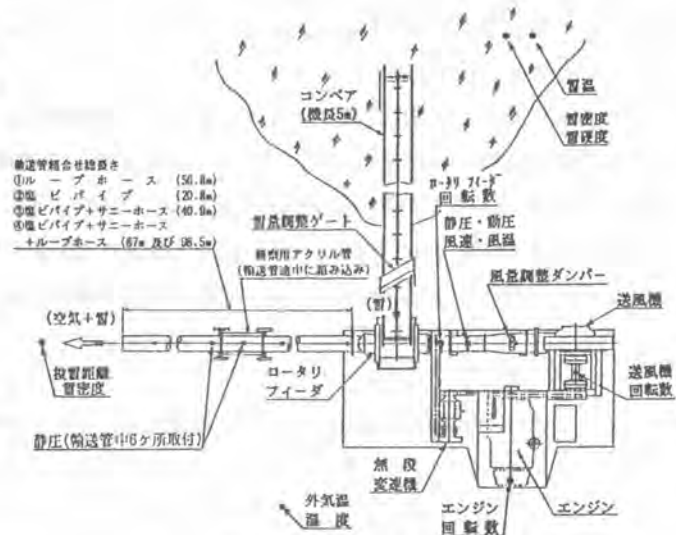


図-2 実験装置

上記の仮定は、硬質塩化ビニールパイプで顕著に認められ、ループホースでは比較的少ない混合比の状態からまとまった塊での移動状態に安定していることと、図-4において、ループホースやサニーホースでわずかに右上がりになっていることを勘案して推定される。ここで、塊の状態を形成することによる圧送エネルギー効率の向上は、塊を形成し易いループホースの方が圧送抵抗が少ないことが推定できる。

更に、図-5及び6に示すように配管の種類別に整理すると、ループホースでは等入量別に顕著な右上がりの傾向を示しているのに対し、硬質塩化ビニールパイプではそのような傾向はみられないことから、上記の仮定が推定される。

配管の違いによる圧送効率の違いは、単に混合濃度によってみるだけでなく、移動速度を加味した整理が必要になる。そこで、等入量と移動速度の積を横軸にとって整理すると、図-7に示すように、硬質塩化ビニールパイプ、ループホース、サニーホースの順に圧送抵抗が小さくなっているものの、高速での大量輸送においては、硬質塩化ビニールパイプが有利になる傾向を示している。このことは、一般の人が安全に使用する低速小容量の設備においては、取扱いの容易なサニーホースの方が効率も良くなることを示している。

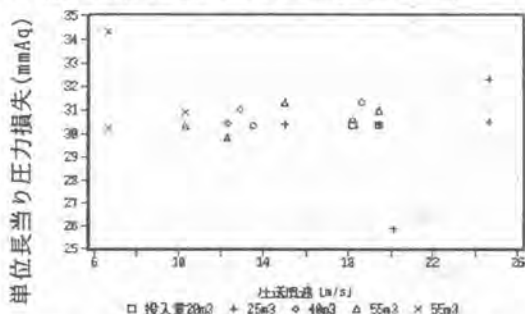


図-6 塩ビパイプにおける圧送風速と圧損

参考文献

[1] 小林俊市他、雪の空気輸送実験(その1) - 水平管部の圧力損失 -、国立防災科学技術センター研究報告第44号、平成元年10月、pp.105-121

[2] 小林俊市他、雪の空気輸送実験(その2)、昭和63年日本雪水学会全国大会講演予稿集、p100

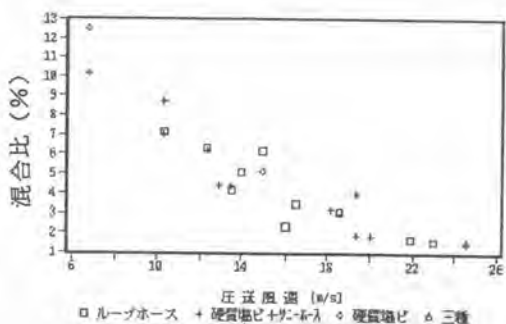


図-3 圧送風速と混合比

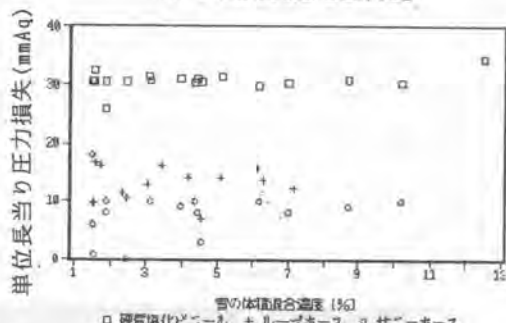


図-4 雪の混合比と圧力損失の関係

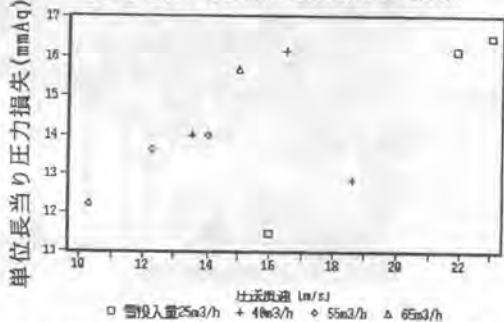


図-5 ループホースにおける圧送風速と圧損

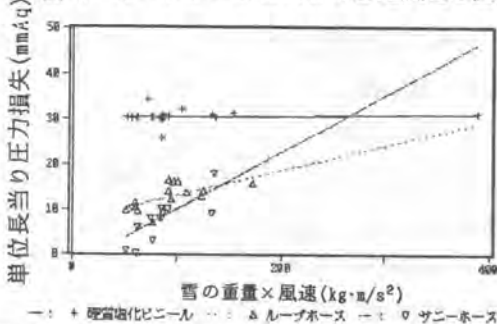


図-7 雪の重量と風速の積と単位長当たりの圧損