

流雪溝屈曲部における閉塞に関する実験的検討

Experimental Considerations on the Limiting Conditions of Snow Transportation
by the Flow in Elbow Parts of Snow-removing Ditches

北山 一衛*・高橋 迪夫**・木村 喜代治***

By Kazue KITAYAMA, Michio TAKAHASHI and Kiyoji KIMURA

A problem related to the capacity of snow removing by flowing water in ditch is treated. The capacity of snow removing is affected remarkably by the flow in elbow parts or rapidly varied parts of ditch.

In this paper, the limiting conditions of snow transportation by flowing water through the elbow parts of ditch have been studied by experimental considerations.

In this experiment, crushed ice was used instead of snow.

keywords : snow-removing ditch, snow-water mixture flow,
block limit, elbow part

1. ま え が き

雪国の都市にとって、豪雪時においても都市機能を確保することは永年の念願であり、そのための街づくりが各地で進められている。近年、都市内の除・排雪手段として、経済的で効率の良い除雪が可能な流雪溝が見直され、各地で流雪溝の整備がかなり進められるようになってきたが、一部の都市・区域を除いて、現在布設されている流雪溝施設の多くは、直線水路でしかも水路勾配の比較的大きなものが多い。これは、流雪溝が整備し易い部分から優先的に施工されているということと同時に、流雪能力の十分な評価、とくに流雪溝の屈曲部あるいは断面急変部における流雪の機構の解明がまだ十分になされていないことにも起因していると考えられる。今後、流雪溝施設を面的な除・排雪システムとして市街地全域にわたってより効率良く機能させるためには、街区形状や地形特性に応じた流雪溝の布設が益々要求され、その結果、屈曲部あるいは断面急変部の個所がかなり増大してくるものと思われる。

一般的に流雪溝においては、直線部よりも屈曲部、断面急変部、分・合流部において雪塊の滞流や水路の閉塞を生じ易く流雪能力が劣るために、流雪溝の機能はこのような部分の流雪能力に大きく左右されることになる。さらに、流雪溝による面的な除・排雪システムを検討していく場合には、屈曲部、断面急変部、分・合流部が多くなり、これらの部分における流れの機構に関する十分な検討が必要になると考えられる。

* 学生員 日本大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒963 福島県郡山市田村町
** 正会員 博士(工学) 日本大学助教授 工学部土木工学科 徳定中河原1)
*** 正会員 工 博 日本大学教授 工学部土木工学科

流雪溝直線部の流れの特性及び流雪能力に関しては、佐藤・首藤¹⁾、渡邊²⁾、大熊ら³⁾、佐々木ら⁴⁾、早川・福岡ら^{5)、6)}等によって検討がなされており、また管路内の雪水二相流については、川越⁷⁾、梅村ら⁸⁾、白樫ら⁹⁾、川島ら¹⁰⁾等の報告がある。一方、流雪溝屈曲部の流れに関しても、田中ら¹¹⁾、今村ら¹²⁾等による研究がある。しかしながら、流雪溝屈曲部の流れの機構あるいは流雪能力に関しての水工学的研究は少なく未解明の部分がまだまだ存在しているのが現状と思われる。

近年とくに、高齢化あるいは冬期間のみの転出を含む過疎化に伴う除・排雪の省力化のために、除雪機による流雪溝への投雪が各地で見られるようになり、今後はこのような機械による投雪が増えていくものと考えられる。連続的に流雪溝に投入された雪は、多くの場合、直線部を流下するに伴い一体化して、いわゆる寒天状のかなりの長さを有するブロックを形成して流下するものと考えられる。

本研究は、一体化して流雪溝内を流下する雪の屈曲部における閉塞限界を明らかにするために、疑似雪として削氷を用いた、削氷と水混相の流れに対して屈曲角度、流雪密度、流雪厚さ、及び水理条件を系統的に変化させた45度及び90度の屈曲部における閉塞限界の変化に関して、室内模型実験の結果を基に二、三の検討を試みたものである。

2. 実験装置および方法

使用した水路は、図-1に示すような直線部上流200.0 cm、下流200.0 cm、幅7.0 cm、深さ10.5 cmのアクリライト製勾配可変の循環式開水路で、水路の中間部に45度および90度の屈曲部が取り付け・交換が出来るようになっている。なお、45度屈曲部間の距離は42.5 cmである。

実験は、疑似雪として自動氷削機より作られた削氷を使用し、これを長さ60 cm、幅6.95 cmの箱に入れ、人力により締め固め、削氷密度、削氷厚さを変化させ整形した後、水路の上流端より投入しておこなった。また、実験室内を出来るだけ低温になるようにし、さらに、上、下流端にある貯水槽に大量の水を常時投入することによって実験中の水温をほぼ+2℃前後に保ち、削氷が溶けないように心掛けた。ちなみに、この水温は福島県内における実際の流雪溝に使用される河川水あるいは農業用水の水温¹⁴⁾にほぼ対応している。また、下流端にはゲートを

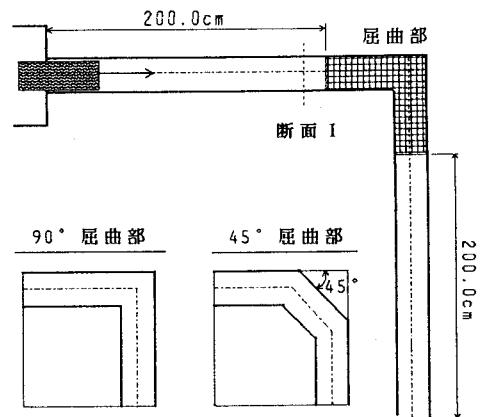


図-1 模型水路概略図

を設け、水深、フルード数等の水理条件を種々変化させて実験を行った。図-1に示す断面Ⅰ等の水深測定位置には水路の横に水深測定用のポケットを設け、削氷の流動に対する測定の影響がないように配慮した。

3. 実験結果および考察

3. 1 削氷の流下状況

45度および90度の屈曲部における削氷の閉塞限界を明らかにするために、削氷密度、削氷厚さならびに流れのフルード数を種々変化させて、閉塞するか、しないかを目視観測した。

写真-1、2、3は、90度屈曲部における削氷の流下状況を例として示したものである。ここに、 F_{R1} ：削氷投入前の断面Ⅰにおける径深 R_1 を用いたフルード数($=v_1/\sqrt{gR_1}$)、 ρ (g/cm^3)：削氷密度、 h_s/h_1 ：削氷投入前の断面Ⅰにおける水深 h_1 に対する削氷厚さ h_s の比。

写真-1は、水路の上流端より投入された削氷が水潤して水と一体化して流下し、屈曲部にさしかかり、屈曲部壁面に衝突し崩れず詰まった状態である。なお、この状態が5秒以上続いた場合を閉塞とした。

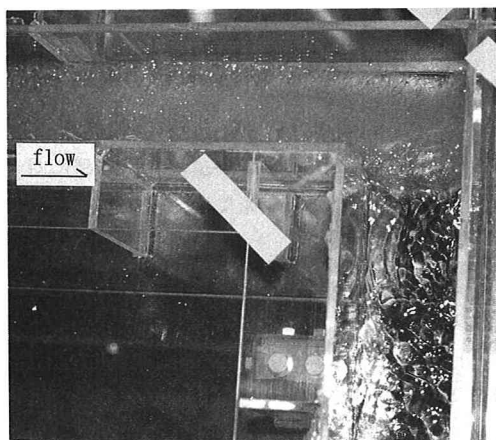


写真-1 閉塞状態の流況
($F_{R1}=0.512$ $\rho=0.275$ $h_s/h_1=0.822$)



写真-2 非閉塞状態の流況
($F_{R1}=0.512$ $\rho=0.258$ $h_s/h_1=0.822$)

写真-2は、写真-1より削氷密度が 0.258g/cm^3 と疎の場合で、削氷が屈曲部壁面に衝突し徐々に崩れて流下した場合である。この状態を非閉塞とした。この結果、写真-1、2より、削氷密度が $0.258\sim 0.275\text{g/cm}^3$ の間に閉塞限界があると推測される。これについては、後に詳細に検討していく。

写真-3は、削氷が壁面に衝突し、密度が密なために崩れて流下せず、 h_s/h_1 が小さいため削氷自体が波を打ち徐々に崩れ、または、捻れて流下した状態である。

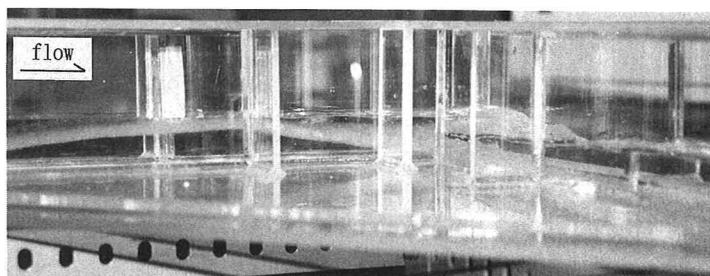


写真-3 屈曲部における削氷の捻れの流況
($F_{R1}=0.512$ $\rho=0.362$ $h_s/h_1=0.275$)

この他に、屈曲部において初めは崩れて流下し徐々に削氷の流下速度が遅くなり閉塞する場合や、一時的に閉塞してもある程度時間が経過して上流側の水位が上昇し下流側よりも高くなり、その力により削氷が押し流される場合も観測された。

45度屈曲部においては、90度屈曲部に比べ屈曲角度が緩いために削氷が崩れて流下しやすいもののほぼ同様の流況が観測された。また、45度屈曲部においては、閉塞、非閉塞は、最初の屈曲部で削氷が崩れるか、崩れないかでほぼ決定され、次の屈曲部にはほとんど左右されないことが観測された。

3. 2 削氷厚さの相違による閉塞限界の変化

流雪溝の流雪能力、すなわち、ある流れに流すことの可能な雪の限界量が分かれば経済的で安全な流雪溝の設置が可能である。

図-2は、45度および90度屈曲部における削氷厚さの相違による閉塞限界の変化をみるために、削氷密度毎に、フルード数 F_{R1} と相対削氷厚さ h_s/h_1 との関係によって閉塞限界を線で区分したものである。実験値として閉塞を(□)、一部閉塞を(+)、非閉塞を(■)で表した。なお、前述のように閉塞とは、削氷

が屈曲部で5秒以上止まった場合、非閉塞とは、止まらずに流下した場合、また、一部閉塞とは、閉塞と非閉塞との中間的な状態で、削氷が屈曲部で一度止まった後に5秒以内に再び流下を始めた場合として、それぞれ判定した。

この結果より、45度屈曲部において、削氷密度 ρ が $0.20\sim0.25\text{g/cm}^3$ の範囲では削氷自体が疎らな状態であり、 h_s/h_1 の値に関係なくフルード数が 0.25 付近に閉塞限界がある。これより、閉塞限界は水深に対する削氷厚さに大きく左右されないと考えられる。削氷密度が $0.25\sim0.30\text{g/cm}^3$ の範囲になると、削氷自体が

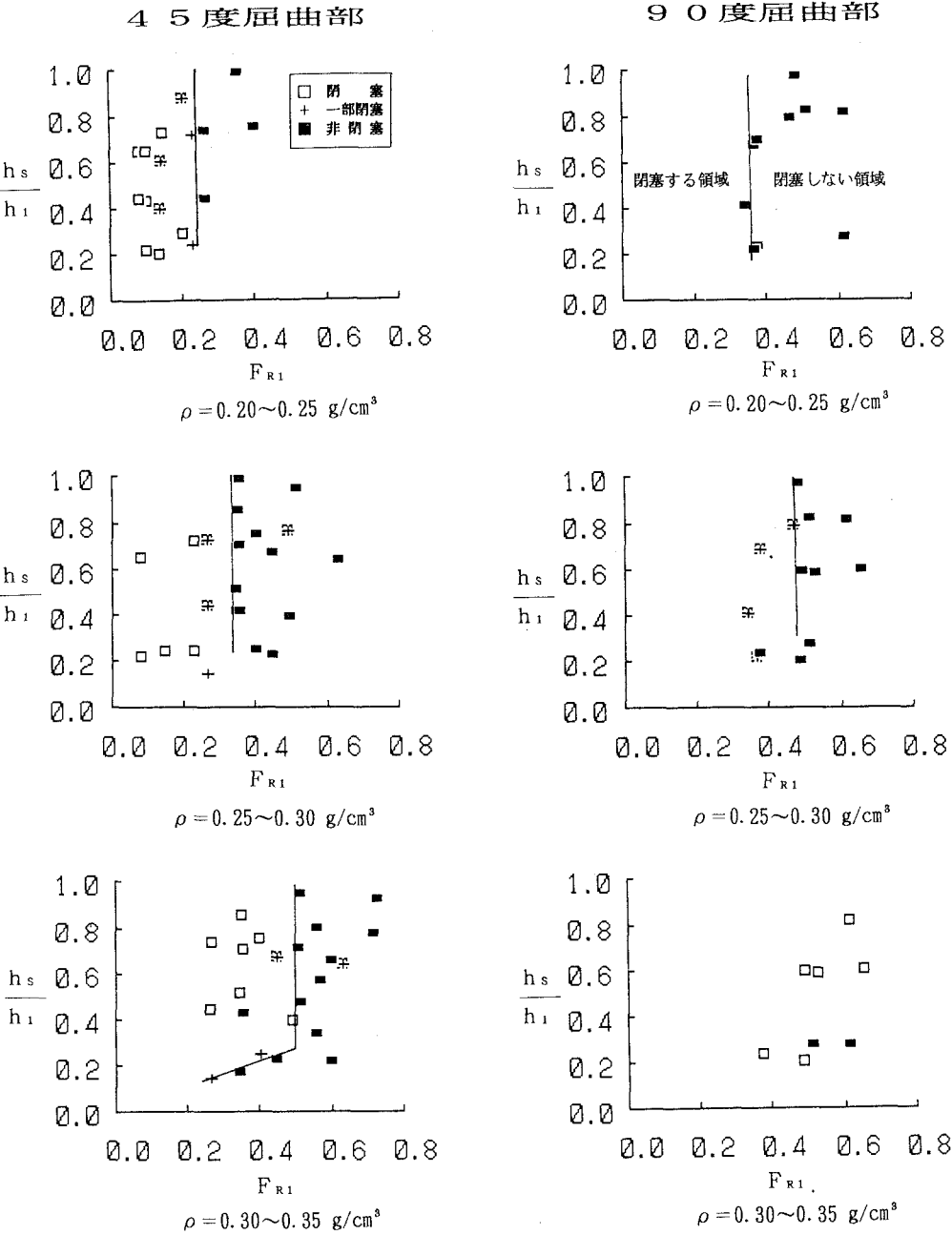


図-2 閉塞限界 (h_s/h_1-F_{R1})

少し密になり、この場合も、 h_s/h_i の値に関係なくフルード数が0.35付近に閉塞限界がある。両者より、削氷密度が密になると、閉塞しないためにはより大きなフルード数の流れが必要である。一方、削氷密度が $0.30\sim 0.35\text{g/cm}^3$ の範囲になると、 h_s/h_i の値がおおよそ0.25以上の場合、ある一定のフルード数の流れで閉塞限界が現れているが、 h_s/h_i の値が0.25以下になると h_s/h_i の値が小さくなるにつれフルード数の値も小さくなっている。この変移している範囲では、流況の項で述べたように水深に対する削氷厚さが小さいために、捻れ等が発生し雪塊が流下しやすくなっているものと考えられる。

90度屈曲部においては、削氷密度が $0.20\sim 0.30\text{g/cm}^3$ の範囲では、45度屈曲部と同様に、 h_s/h_i の値に関係なくある一定のフルード数の流れで閉塞限界が現れている。また、45度屈曲部に比べ、同じ削氷密度でも、閉塞しないためにはより大きなフルード数の流れが必要となる。削氷密度が $0.30\sim 0.35\text{g/cm}^3$ の範囲になると、 h_s/h_i の値のごく小さい場合を除いて、屈曲部において削氷が崩れずほとんどが閉塞状態となる。ただし、 h_s/h_i の値のごく小さい場合には、45度屈曲部の流況と同様により大きなフルード数の流れによって削氷が捻れあるいは水面変動による崩れによって閉塞せずに流下するものと思われる。

3. 3 削氷密度の相違による閉塞限界の変化

閉塞限界は、前述のように h_s/h_i の値にほとんど左右されず、流雪溝に投入可能な雪の量は、削氷密度に大きく関係すると考えられる。

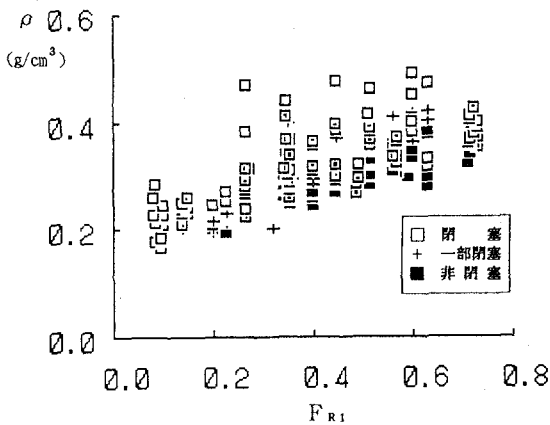


図-3 45度屈曲部における
 ρ と F_{R1} の関係

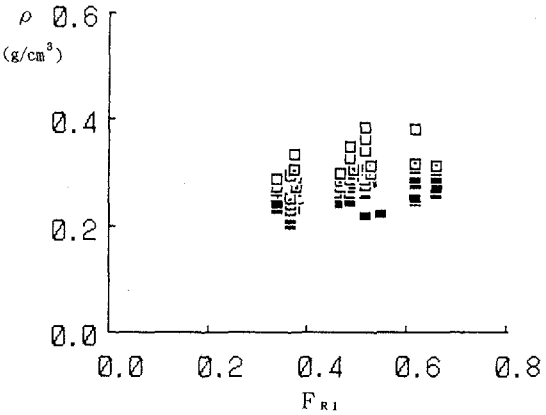


図-4 90度屈曲部における
 ρ と F_{R1} の関係

図-3、4は、それぞれ45度および90度屈曲部における削氷密度の相違による閉塞限界をみるために、全測定結果をフルード数 F_{R1} と削氷密度 ρ の関係で表したものである。実験値として閉塞を(□)、一部閉塞を(+)、非閉塞を(■)で表した。これらの図より、あるフルード数における閉塞限界が、密度によりある程度区分されていることがみられる。また、図-3より、フルード数がおおよそ0.2以下の範囲では、ほとんどが閉塞を生じ、非常に詰まりやすい範囲であると考えられる。

図-5は、図-3、4から閉塞限界値を求め整

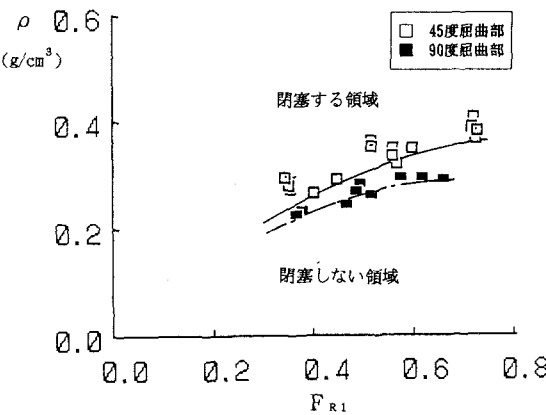


図-5 閉塞限界 ($\rho - F_{R1}$)

理した図である。ここで、閉塞限界値とは、あるフルード数の流れにおける最低の密度で閉塞した値と最高の密度で非閉塞した値の中間の密度とした。また、実験値として45度閉塞限界値を(□)、90度閉塞限界値を(■)で示し、45度閉塞限界を実線、90度閉塞限界を一点鎖線で区分した。これより、図-5からフルード数と削氷密度によって閉塞限界をほぼ推定することができると思われる。また、当然のことながら90度屈曲部では45度屈曲部に比べ疎の密度で閉塞することが示されている。

4. ま と め

流雪溝屈曲部の流れに注目して、一体化してかなりの長さを有するブロックを形成している流雪を対象に疑似雪として削氷を用いた。削氷と水混相の流れに対する室内模型実験の結果を基に、45度および90度の屈曲部における削氷の閉塞限界に関して二、三の検討を試みたが、これを要約すると次のようである。

- (1) 閉塞限界は、相対削氷厚さ(水深に対する削氷厚さ)にはほとんど影響を受けないことがわかった。
- (2) フルード数がおよそ 0.2以下の範囲では閉塞しやすいことが認められた。
- (3) 閉塞限界は、削氷密度に大きく影響を受けることがわかった。
- (4) 45度及び90度の屈曲部における閉塞限界を削氷密度とフルード数によってほぼ推定することができた。
- (5) 90度屈曲部は45度屈曲部に比べ閉塞しやすいことがわかった。

なお、本研究は平成5年度文部省科学研究費補助金(一般研究(C))の補助を受けて行われたものである。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 佐藤敏之・首藤伸夫：第27回水理講演会論文集，pp.301～306，1983.
- 2) 渡邊善八：雪氷，第48巻，第3号，pp.141～148，1986.
- 3) 大熊 孝，他：土木学会論文集，第359号，IV-3，pp.99～106，1985.
- 4) 佐々木幹夫，他：第29回水理講演会論文集，pp.191～196，1985.
- 5) 岡村康一・福嶋祐介，他：水工学論文集，第36巻，pp.287～292，1992.
- 6) 福嶋祐介・早川典生・村上正人：土木学会論文集，No.497/Ⅱ-28，pp.51～59，1994.
- 7) 川越信清，他：第9回自然災害科学総合シンポジウム論文集，pp.103～106，1972.
- 8) 梅村晃由，他：雪氷，第48巻，第4号，pp.207～214，1986.
- 9) 白樫正高，他：雪氷，第48巻，第7号，pp.41～48，1986.
- 10) 佐々木幹夫(研究代表)：文部省科学研究費報告書，1989.
- 11) 田中康之，他：国立防災科学技術センター研究報告，第3号，pp.55～68，1969.
- 12) 山本 潤・今村文彦：日本雪工学会誌，Vol.8，No.4，pp.22～29，1992.
- 13) 野口隆夫・高橋迪夫・木村喜代治：水工学論文集，第36巻，pp.293～298，1992.
- 14) 高橋迪夫・木村喜代治・藤田 豊：第49回土木学会年次講演会講演集，pp.258～259，1994.