

II-23

流水雪流入防止対策工の設置による フラジルスラッシュの堆積について

北海道電力(株)総合研究所	正 員	峯田 稔
" 土木部	正 員	山崎 誠
岩手大学工学部	正 員	平山 健一
北電興業(株)技術部		杉田 誠

1. はじめに

冬期間、北海道の河川や水路では、乱流状態における開水面からの熱損失によりしばしば過冷却現象を起こし、小さな氷の結晶であるフラジル(晶氷)を形成する。フラジルは流れの中に万遍なく分布し、水温が過冷却の状態にあれば活性化し、フロック状に凝集したフラジルスラッシュを形成する。

水力発電所等の取水設備では連続的に発生するフラジルスラッシュにより断面が閉塞され取水障害が発生することがある。そこで筆者らは、小規模河川である天塩川水系ペンケニウップ川の北海道電力仁宇布川発電所において、冬期取水障害の軽減を図る目的で、木製格子による防水フェンスと布団籠による石積堰の組合わせによる流水雪流入防止対策工を開発し設置した。その結果、過冷却による氷の成長を積極的に利用したアイスダムを形成することができ、上流に池が形成された。また、上流から流下するフラジルスラッシュがこの池に堆積するなど、ほぼ当初の目的を達成することができた。

本報では、現地で観測したアイスダムの発達過程と対策工の設置によるフラジルスラッシュの堆積と流速分布について述べる。

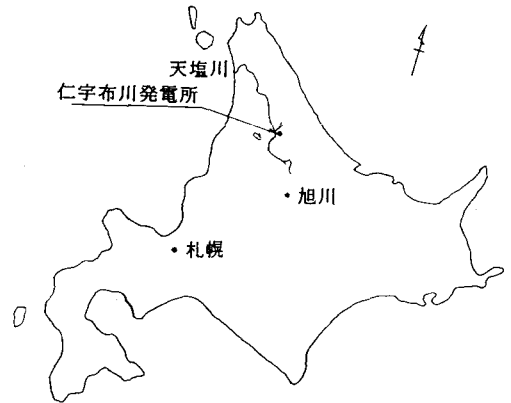


図-1 仁宇布川発電所位置

2. 河川の氷

河川結氷のはじまりは、フラジルと呼ばれる小さな氷の結晶の誕生から始まる¹⁾。

Michelはフラジルの成長についてactiveとpassiveな状態の2つに分類している²⁾。activeな状態とは、水温が氷点以下の過冷却な状態の中で、小さな核状や円盤状の大きさの氷に成長する過程のことである。この時の過冷却温度は、氷点下100分の数度以内であると述べている。passiveな状態とは水温が氷点より高い状態で、氷の成長が停止してしまう過程のことである。activeな状態のフラジルは、非常に付着力が強く、水面下の全ての物体に付着する他、互いにくっつき合いフロック状態となり、フラジルスラッシュ、スラッシュボールを作り、氷盤へと氷化が進んで行く。

Frazil Slush Accumulation Depends on the Installation of the Ice Control Structure.
by Minoru MINETA, Makoto YAMAZAKI, Kenichi HIRAYAMA and Makoto SUGITA

3. 流水雪制御方法

流水雪を制御するための実験的研究および設計の考え方は、主としてアメリカ陸軍の研究機関（CRREL）を中心に行われてきた。しかし、多くの研究²⁾はアイスブームやエアールブ等による制御方法で、これらは主として、河川の中・下流域の水深が深く、流水雪が浮上して流れてくる河川での制御に適する方法である。小規模河川における流水雪制御に関する研究は少ないものの、Perham³⁾の研究では木製格子による防水フェンスをワイヤーにより放物線状に設置し、両端をアンカブロック、立木により固定する方法で成果を納めた報告がある。この時、防水フェンスは鉛直に設置しているが、水位やフラジルスラッシュの流量に変化のある河川において、防水フェンスを鉛直に保ち、流水雪を制御することは施工性が良くない。このため、筆者らは図-3に示すように、鋼製の支持金物によって防水フェンスを自立型とした。今回の流水雪流入防止対策工は図-4に示すように取水えん堤上流約310mの位置に設置し、河川に対し直角に配置した防水フェンスと両端を固定する布団籠による石積堰で構成される。防水フェンスは長さ90cmで互いを鋼線により連結した。なお、スクリーンは木製でスリットの間隔等の諸元は、取水口スクリーン等を参考に決定した。

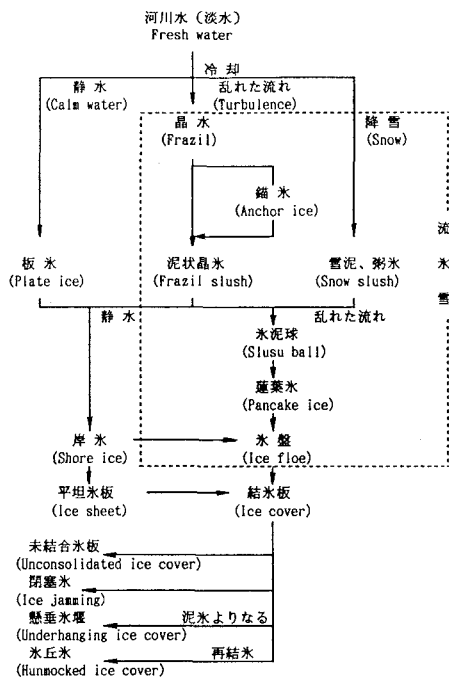


図-2 河川氷の分類

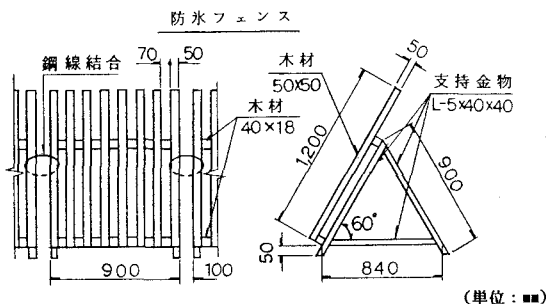


図-3 流水雪流入防止対策工

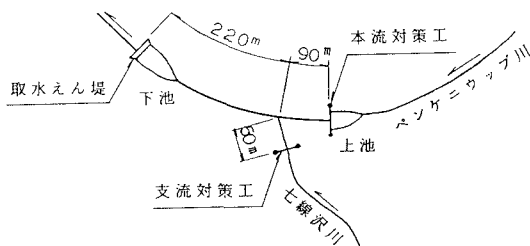
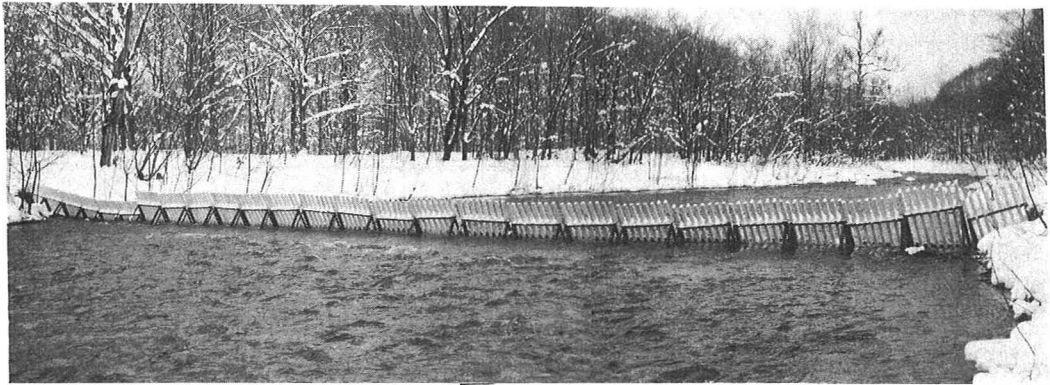


図-4 流水雪流入防止対策工設置位置

また、対策工は図-4に示すように、ペンケニウップ川本流（流域面積159km²）のほかに、支流（流域面積32km²）にも設置したが、観測は主として本流の対策工で行った。本流対策工の設置箇所の河床勾配は約1/150、河床は玉石および砂利で構成されている。



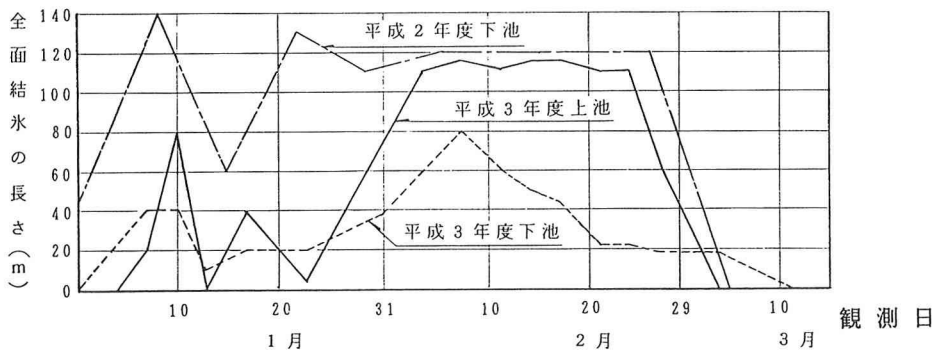
図－５ 流水雪流入防止対策工設置状況

４．対策工の考え方

対策工の一般的な考え方としては、自然河川に防水フェンスを設置することにより、フラジルスラッシュがフェンスの目を塞ぎ人工的なアイスダムを形成する。このため、河川は堰上げられ流速が低下し表面の乱れが少なくなることにより、表層氷を張らせることができる。このように、対策工は短期間に池を形成し表層氷を張らせることを目的としている。これにより河川流速を低下させ表層氷の下にフラジルスラッシュを堆積させるとともに、表層氷が大気への放射冷却を防ぎ、新たなフラジルの形成を抑制させる効果をもっている。

５．アイスダムの発達過程

対策工上流に形成された小規模な池（以下、上池）と、取水堰堤の池（以下、下池）の２個所について結氷状況を週２回測定した（図－９参照）。平成３年度の上・下池の全面結氷長さと、対策工が設置されていない平成２年度の下池の全面結氷長さを図－６に示す。



図－６ 上池・下池の全面結氷の長さ

下池は、平成２年度の対策工が無い状態では120m程度まで全面結氷していたのに比べ、平成３年度は80m以上全面結氷することが無く、さらに２月の10日間位を除くとほとんどが全面結氷長は50m以下である。一方その間の上池は、２月上旬から２月下旬までの約20日間は全面結氷長が110m程となっている。これらのことから、対策工は上流で発生したフラジルスラッシュを上池に堆積させ下流への流下を防止していることが分かる。このため平成３年度は、年に数回発生して

いた発電所取水口に流入する流水雪の除去作業が発生しなかった。

また、上池の縦断的な水深の変化を図-7、8に示す。これらによると、1月上旬の河川水は防水フェンスを透過しており、各測線とも開水面を保っていたが1月中旬からフラジルスラッシュが防水フェンスを塞ぎ始め、上池の水位が上昇し始めている。これにともない、表層氷が形成され、その下面にフラジルスラッシュが堆積することにより結水面を上昇させ、2月上旬に各測線での結水面の標高がピークに達している。

6. フラジルスラッシュの堆積と流速分布

表層氷の下のフラジルスラッシュの堆積状況および流速分布について平成4年2月27日に測定した。その時のアイスダム上流の結氷状況は図-9に示すとおりである。

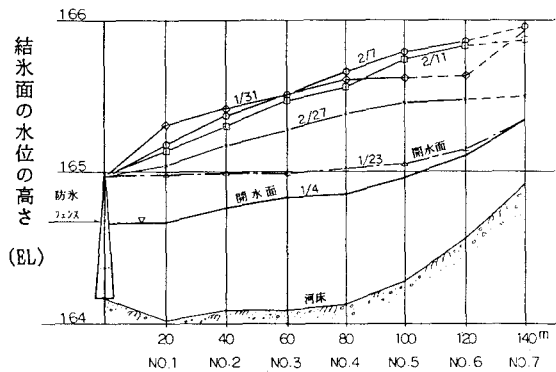


図-7 上池における結水面（開水面）の変化

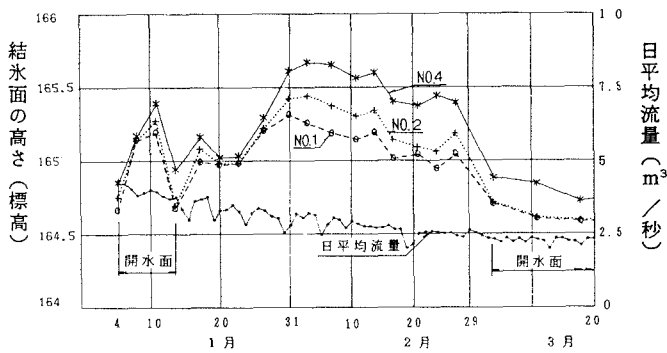


図-8 測線NO.1,2,4の結水面（開水面）の変化

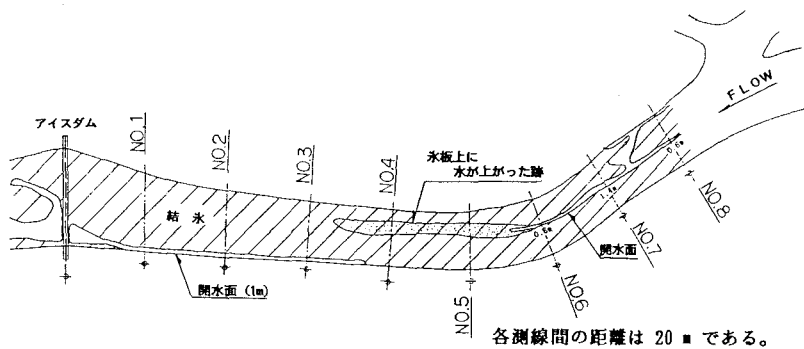
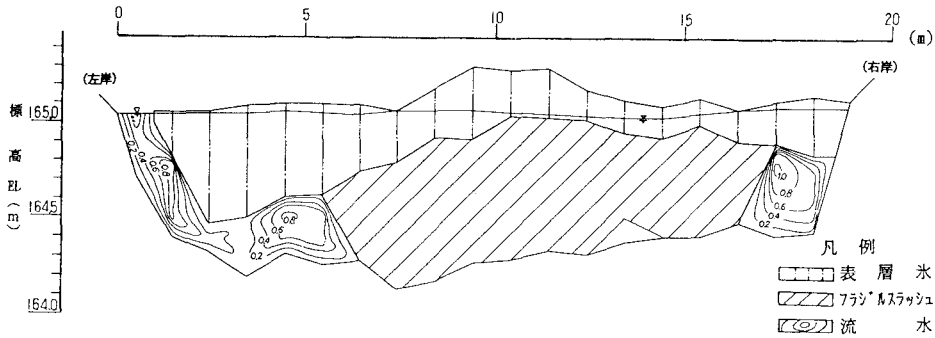


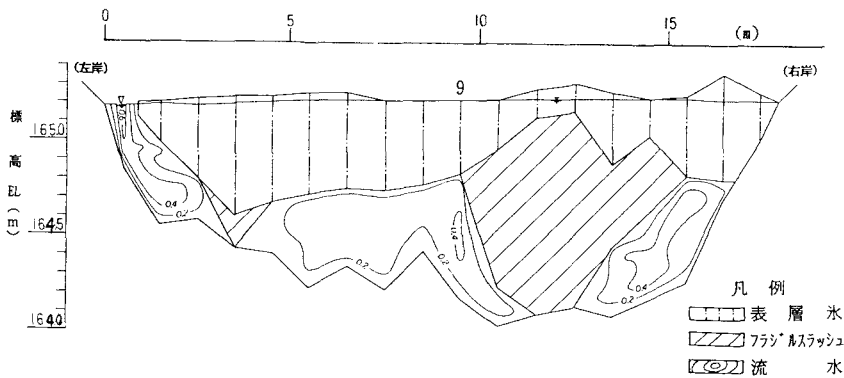
図-9 アイスダム上流の結氷状況（平成4年2月27日）

対策工の上流20 (No.1)、40 (No.2)、80 (No.4) mの3測線において表層氷の下のフラジルスラッシュの堆積と流速分布について測定した結果を図-10～12に示す。これらの結果から、表層氷の厚さは、3断面とも不規則に変化していることが分かる。フラジルの生産には、過冷却であることと、核となる物質があるという両方の条件を満足しなければならないということが知

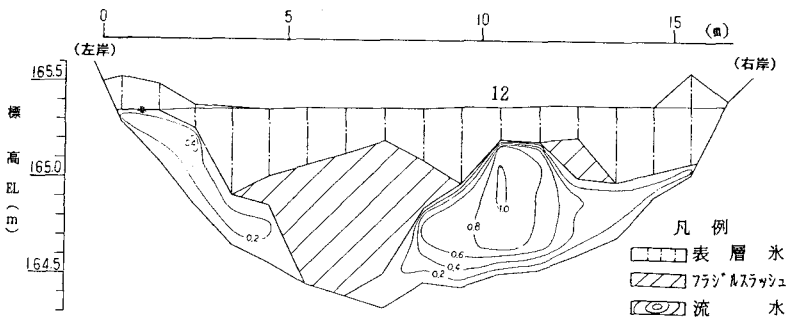
られている。流水断面とフラジルスラッシュ堆積断面との氷厚の差異は、後者がフラジルスラッシュの堆積により結氷面下の断熱材の役割を果たし、氷厚の成長が抑制されると考えることができる。また、対策工の両岸が布団籠による石積工であるため、流れは左右両側に分かれ石積工を透過する。このためフラジルスラッシュの堆積場所は、対策工付近では流速の遅い河川中央に集まる傾向がみられる。



図－１０ 測線NO.1断面のフラジルスラッシュの堆積と流速分布（平成４年２月27日）



図－１１ 測線NO.2断面のフラジルスラッシュの堆積と流速分布（平成４年２月27日）



図－１２ 測線NO.4断面のフラジルスラッシュの堆積と流速分布（平成４年２月27日）

表層氷下面以下の全断面に占めるフラジルスラッシュの堆積面積の割合は、上流（N o . ４）

から下流（No. 1）に向かって36%（表層氷下面以下の全断面積7.2㎡）、42%（同9.0㎡）、70%（同9.4㎡）となっており、これはフラジルスラッシュの堆積過程が最終状態（末期）の融解過程に入っているため、上流側のフラジルスラッシュの割合が減少しているものと考えられる。

測定結果では、表層氷下面以下の流れの最大流速は、表層氷下面から $(0.36 \sim 0.42)H$ の範囲に生じており、流れの形態は管水路の流れの様相を呈することが確認された。今回測定した、表層氷下面以下の流れの代表的な鉛直流速分布を図-13に示す。

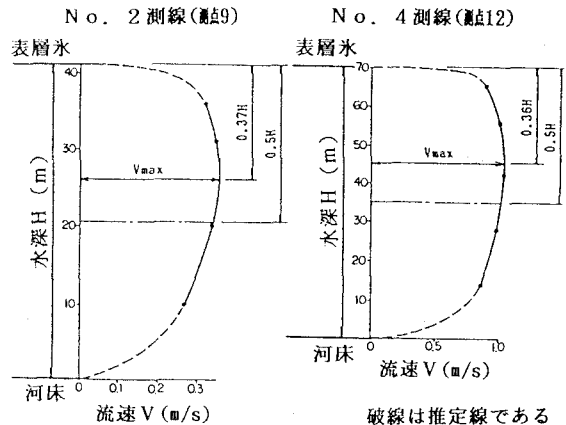


図-13 代表的な表層氷下面以下の鉛直分布

7. おわりに

従来、水力発電所における流氷雪制御には多大な労力と費用を費やしてきた。しかし、今回の、現地試験により本報での対策工が小規模寒地河川における、流氷雪制御方法として有効であるということを確認した。また、対策工の設置により、冬期間の水力発電所の保守業務の軽減を図ることができた。

しかし小規模河川における流氷雪制御に関しては、まだ解明されていない点も多い。今後はさらに研究を重ね対策工にも改良を加え流氷雪制御手法の確立を図りたい。

最後に、本研究の実施にあたりご指導いただいた、北海道旭川土木現業所の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平山 健一：河川の氷、第6回混相流シンポジウム、混相流の流動機構・流動特性、1988.
- 2) Michel, B. : Winter regime of rivers and lakes, Cold Regions Science and Engineering Monograph III-Bla, U.S. Army Corps of Engineers, CRREL, 1971.
- 3) Perham, R.E. : Preliminary study of a structure to form an ice cover on river rapids during winter, Proc. IAHR Ice Symp., 1986.
- 4) 峯田 稔, 阿部 英夫, 山崎 誠：流氷雪流入防止対策工の設置によるフラジルスラッシュの堆積と流速分布について、第8回寒地技術シンポジウム、1992.
- 5) 峯田 稔, 山崎 誠, 平山 健一, 杉田 誠：小規模寒地河川における流氷雪制御方法に関する研究、水工学論文集 第37巻、1993. (投稿中)
- 6) Carstens, T. : Heat exchange and frazil formation, Proc. IAHR Ice Symp., 1970.
- 7) Kajiyama, Y., Oyamada, H., Yamazaki, M. : Frazil slush accumulation process on the small reservoir in Hokkaido, Proc. IAHR Ice Symp., 1988.