

小規模寒地河川における流氷雪制御方法に関する研究

Control Method of Frazil Slush on the Cold Region Small River.

峯田 稔* 山崎 誠** 平山 健一*** 杉田 誠****

By Minoru MINETA, Makoto YAMAZAKI, Kenichi HIRAYAMA and Makoto SUGITA

The cold region river forms a large quantity of frazil slush during the winter period. Frazil slush often causes the clogging of the intake structure at water-power plant. So we developed the ice control structure, it is proved that the installation of the structure prevents the trouble of the intake structure. In the present report, we describe the relation between the growth of the ice dam and water temperature, and frazil slush accumulation is proved to depend on the installation of the ice control structure.

Keywords: frazil slush, ice control structure, cold region river, velocity distribution, ice control

1. はじめに

北海道のほとんどの河川では、冬期間、流氷雪と呼ばれるスノーフラッシュやフラジルスラッシュが流下する。特に結氷の初期、大量に発生するフラジルスラッシュは表層水の下面に付着し堆積するとともに、大量の水を必要とする水力発電所の取水設備へ流下し、しばしば取水障害を起こすことがある。

今回、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、木製格子による防氷フェンスと布団籠による石積堰の組合わせによる流氷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し、下流への流下を防止するなど、ほぼ所期の目的を達成することができた。本報では、現地で観測した河川水温とアイスダムの発達過程の関係と、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述べる。

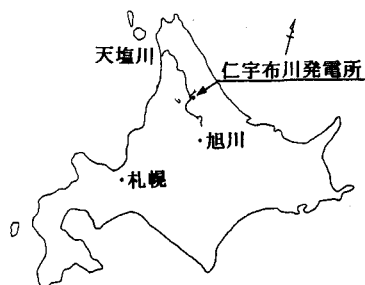


図-1 仁宇布川発電所位置

*	正会員	北海道電力株式会社	総合研究所	(〒004 札幌市豊平区里塚461-6)
**	正会員 工修	同上	土木部	(〒060 札幌市中央区大通り東1丁目)
***	正会員 Ph.D.	岩手大学教授	工学部建設環境工学科	(〒020 盛岡市上田4丁目3-5)
****		北電興業株式会社	技術部	(〒060 札幌市中央区北1条東3丁目)

2. 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¹⁾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、流速の遅い河川での制御に適する方法であって、今回の仁宇布川発電所のような比較的流速の早い上流域の小規模河川には適さない方法である。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、Perham²⁾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、両端をアンカーブロック、立木により固定する方法で成果を納めた報告がある。

3. 対策工の考え方

仁宇布川発電所で、筆者らは前述のPerhamの研究を参考にしながら、取水えん堤上流約310mの位置に図-3に示すように、河川に対し直角に配置した木製の防水フェンスと、両端を固定する布団籠による石積堰で構成される対策工を設置した。防水フェンスは鋼製の支持金物による自立型で、長さは90cmで互いを鋼線ににより連結した。なお、スリットの間隔等の諸元は取水ロスクリーン等を参考に決定した。

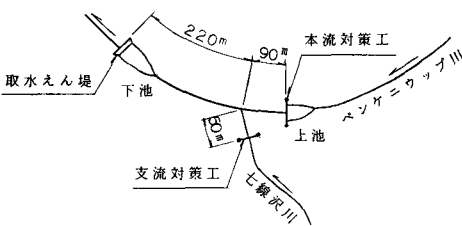


図-2 対策工設置位置

また、対策工は図-2に示すペンケニウップ川本流（流域面積159k㎡）のほかに支流（流域面積32k㎡）にも設置したが、観測は主として本流の対策工で行った。フラジルスラッシュの発生と河川水温等の関係を調べるため各種観測を実施した。観測項目を表-1に示す。

防水フェンス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。

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し、堰上げられた水面に短期間に表層氷を張らせることを目的としている。アイスダムは池を形成することにより、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、表層氷の発達により、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。

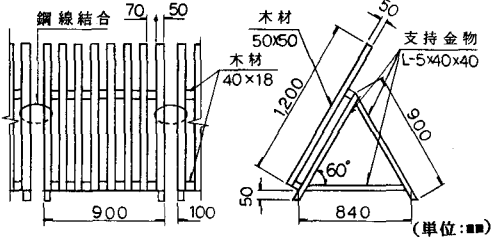


図-3 対策工詳細（防水フェンス）

表-1 観測項目

項目	観測位置	観測時間	観測方法
気温	取水ダム左岸	毎時	自記
水温	取水口	"	"
雨雪量	取水ダム左岸	"	"
風向、風速	"	10分間平均値	"
積雪深	"	1~2回/週	実測
流量	"	日平均流量	"
天候	委託人の自宅	毎日	"
川幅	各測線 対策工から上流160m間	1回	実測
開水面幅	"	1~2回/週	"
水位	各測線の氷際 対策工から上流160m間	"	"
氷の表面高さ	各測線の河心付近1ヶ所 対策工から上流160m間	"	"
氷厚	"	"	"
川幅	各測線 ダムから上流140m間	1回	実測
開水面幅	"	1~2回/週	目視
氷厚	ダム付近1ヶ所	"	実測
流水雪の取水口への流入状況	取水口	流水雪処理の都度	目視

4. アイスダムの発達過程

12月24日に防水フェンスを設置した後、寒暖を繰返して、1月初旬から本格的に結氷が始まった。対策工上流に形成された小規模な池（以下、上池）と発電所取水えん堤の池（以下、下池）の2箇所について、測

線20m毎に全川幅に対する結氷幅の割合（結氷率）を週2回観測した。その他の観測項目として結氷面の高さ、氷厚を測定した。図-4に結氷率が最大に達した2月7日の上池・下池における結氷範囲のスケッチ図を示す。また、図-5、6に上池における結氷面の縦断的な変化を示す。

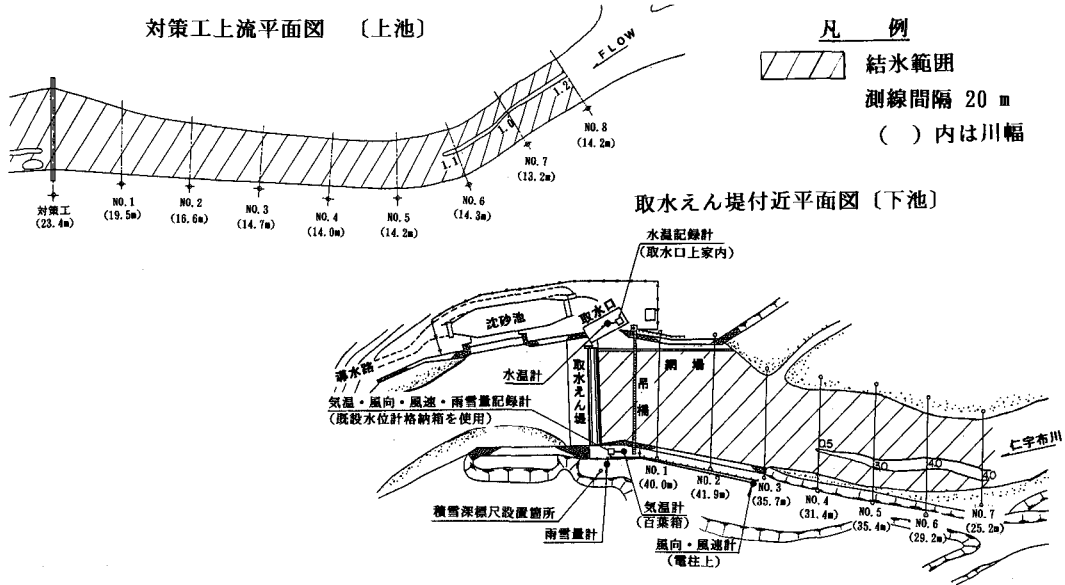


図-4 上池、下池の結氷範囲（平成4年2月7日）

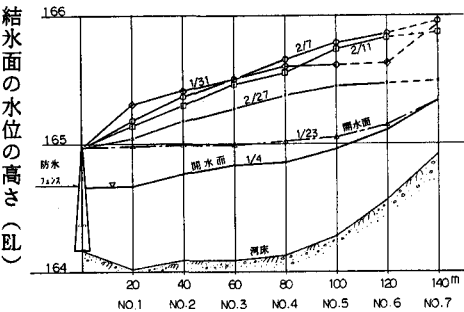


図-5 上池における結氷面（開水面）の変化

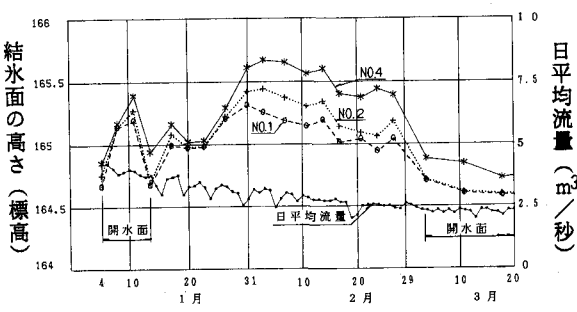


図-6 測線No.1,2,4の結氷面（開水面）の変化

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。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た。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し結氷面を上昇させた。2月上旬に各測線での結氷面の標高がピークに達した。図-7（下図）に上池、下池それぞれ構造物から上流方向に発達した全面結氷の長さを示す。上池が2月上旬にピークを示し、ほぼ下旬まで安定しているのに対し、下池は2月7日をピークに結氷率が縮小する傾向を示す。これは上池が対策工により人工的にアイスダムを形成しフラジルスラッシュが堆積するにともなって結氷面を上昇させたのに対し、下池は河川流量の低減とともに結氷面が低下したため、後述する河川水温のPassiveな状態がまず上池では堆積したフラジルスラッシュを減少させ、下池では表層氷を融解させたものと考えられる。

5. 気象および水象観測結果

観測期間は平成3年12月18日～平成4年3月25日であり、外気温および水温の結果を図-7（上図）に示す。

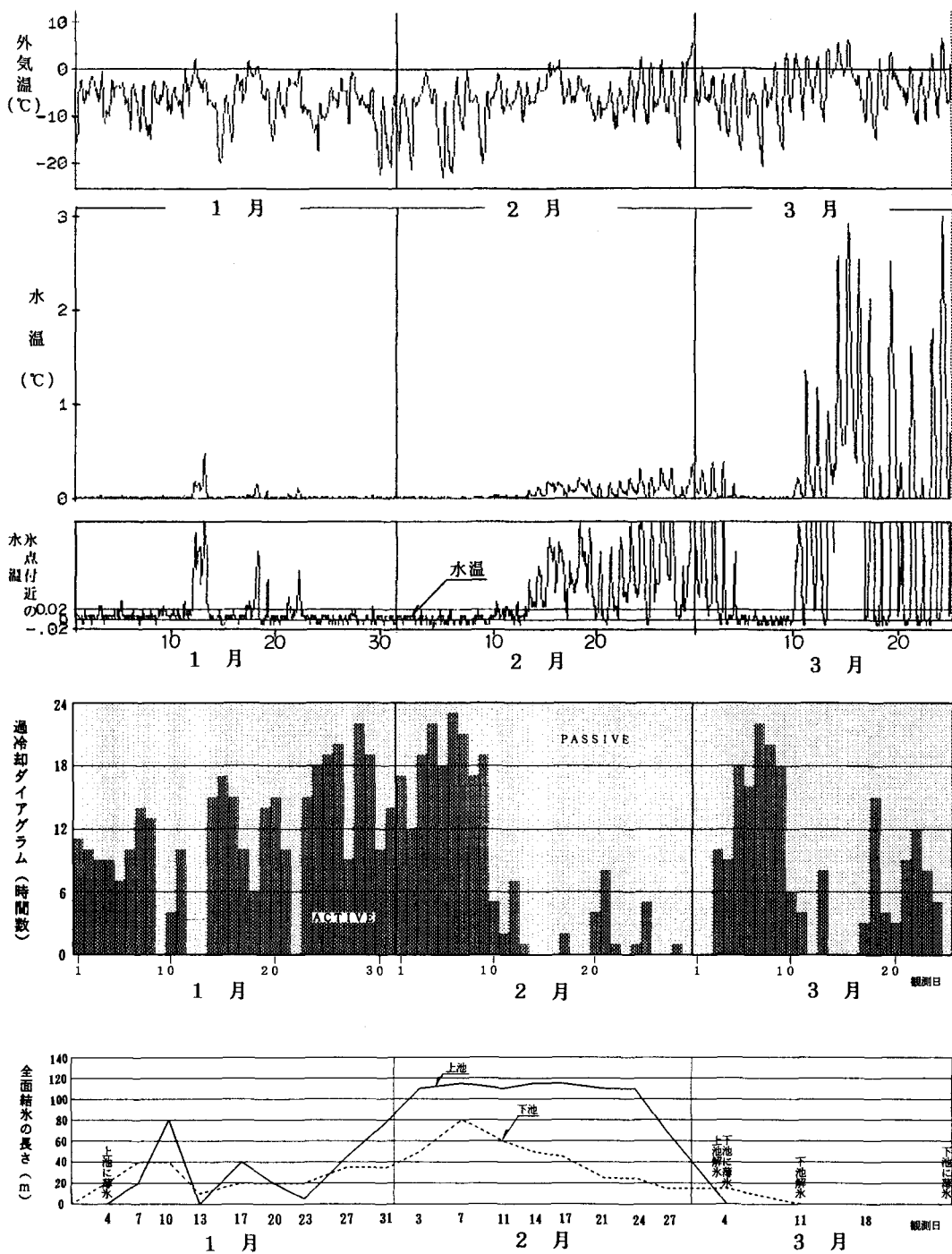


図-7 (上) 気温・水温、(中) 過冷却ダイアグラム、(下) 上池・下池の全面結氷の長さ
(平成4年 1月1日～3月25日)

フラジライス（晶氷）の成長について、Michel¹⁾は2種類の状態、過冷却な条件下で水が成長する状態をactive、氷点に対しわずかに温度が高い状態をpassiveと定義している。

河川水温の記録から、氷点以下の水温をactiveな状態、それ以上をpassiveな状態と仮定した。なお、水温計に使用した白金测温抵抗体および記録計の測定分解能は2/100℃である。それぞれ1日の時間数を過冷却ダイアグラムとして表示したのが図-7（中図）である。

水温の記録から、次のように考察することができる。

- ① 1月の寒暖の繰返しが河川結氷の成長・融解と上池の水の発達状況と一致する。
- ② 1月下旬から2月上旬までのactiveな状態が結氷およびフラジルの成長を促進し、2月中旬のpassiveな状態が上池のフラジルスラッシュの減少（図-5に示す結氷面が2月上旬をピークに低下していること）につながっている。経験的に、上流の自然河川が全面結氷すると流下するフラジルが減少することが知られており、河川水から大気に放射冷却する熱量が結氷のために減少した結果、水温がpassiveな状態に長期間保持されるためと考えることができる。
- ③ 3月初めに対策工で形成した上池の結氷が解氷し通常の河川状態に戻り、その後のactiveな状態では上池に新たな河川結氷は発達せず、下池に薄氷が発達する程度であった。

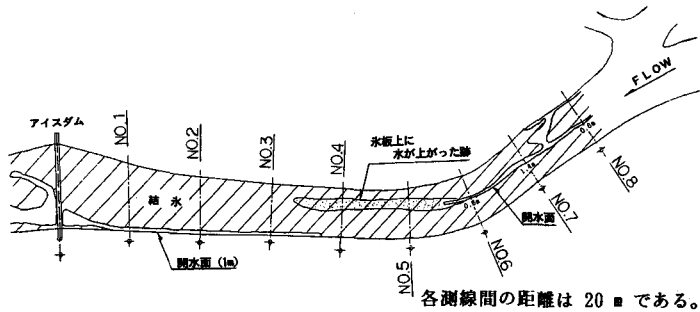


図-8 アイスダム上流の結氷状況（平成4年2月27日）

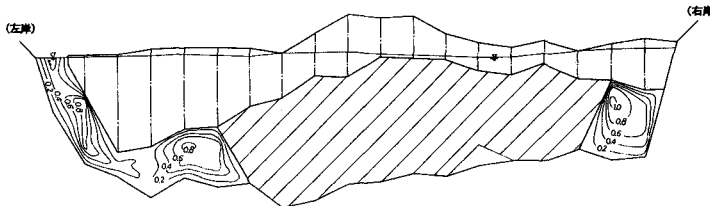


図-9 フラジルスラッシュの堆積と流速分布（No.1）

6. フラジルスラッシュの堆積と流速分布

表層水の下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-8に示すとおりである。

対策工の上流20 (No. 1) , 40 (No. 2) , 80 (No. 4) mの3測線において表層水の下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-9~11に示す。これらの結果から、表層水の厚さは、3断面とも不規則に変化していることが分かる。これは、表層水の発達の過程に差異が生じたためと考えられる。また、対策工の両岸が布団籠による石積工であ

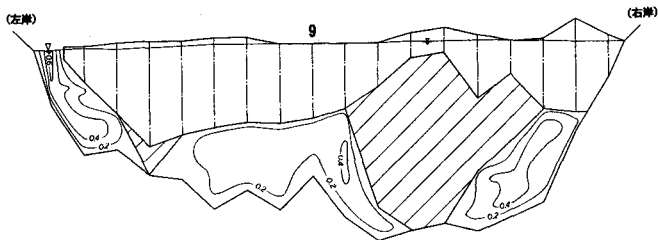


図-10 フラジルスラッシュの堆積と流速分布（No.2）

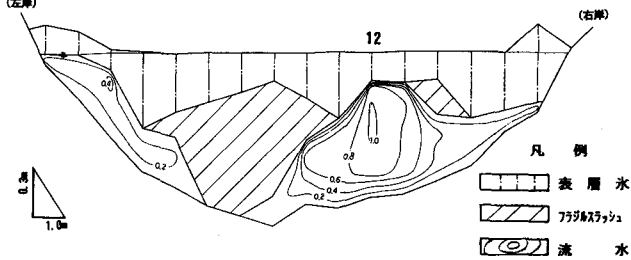


図-11 フラジルスラッシュの堆積と流速分布（No.4）

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。

表層水面以下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(No.4)から下流(No.1)に向かって36%(表層水面以下全断面積7.2m²)、42%(同9.0m²)、70%(同9.4m²)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、表層水面以下の流れの最大流速は、表層水面から(0.36~0.42)Hの範囲に生じており、流れの形態は管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、表層水面以下の流れの代表的な鉛直流速分布を図-12に示す。

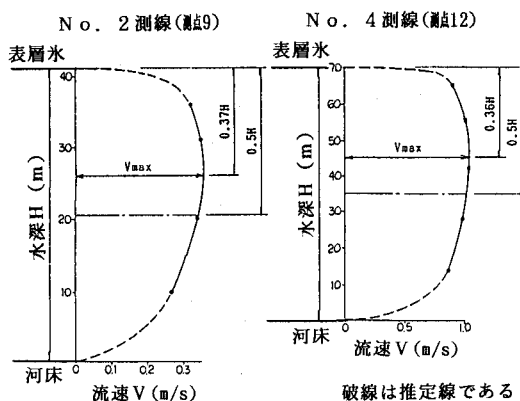


図-12 代表的な表層水面以下の流速分布

7. おわりに

当初、防水フェンスは着氷による目詰まりを起こしてアイスダムが形成され、河川水はオーバーフローするものと考えて設計したが、実際には現状水位(EL.164.6)より約40cm上昇したEL.165.0で測定期間ほぼ一定となり、河川水は防水フェンス底部の玉石および対策工両端の石積堰から潜流となって流下した。この結果、流心は左岸沿と右岸沿に分かれ、その中間に河床までフラジルスラッシュが堆積した。対策工の設置により、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なくなり、ほぼ当初の目的が達成された。しかし、対策工が流水雪の制御に有効であるということは確認されたが、形状等の詳細についてはまだまだ解明されてない点も多い。このため今後更に研究を重ね、対策工の改良を加えながら対策工の設計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心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Michel, B. : Winter regime of rivers and lakes, Cold Regions Science and Engineering Monograph III-Bla, U.S. Army Corps of Engineers, CRREL, 1971.
- 2) Perham, R. E. : Preliminary study of a structure to form an ice cover on river rapids during winter, Proc. IAHR Ice Symp., 1986.
- 3) 峯田 稔, 阿部 英夫, 山崎 誠 : 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と流速分布について、第8回寒地技術シンポジウム, 1992.
- 4) 峯田 稔, 山崎 誠, 杉田 誠 : 寒地河川におけるアイスダムの発達過程について、第8回寒地技術シンポジウム, 1992.
- 5) Carstens, T. : Heat exchange and frazil formation, Proc. IAHR Ice Sympo., 1970.
- 6) Kajiyama, Y., Oyamada, H., Yamazaki, M. : Frazil slush accumulation process on the small reservoir in Hokkaido, Proc. IAHR Ice Symp., 1988.
- 7) 平山 健一 : 河川の水、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.
- 8) 平山 健一 : 結氷した河川の流れと流量測定(その1)、利水評論No. 26、1983.