

岩手大学 正員 ○ 平山 健一
 岩手大学 大村 政義
 本間組 杉山 有

1. まえがき

河川の流れが氷に覆われているときに、氷板に小孔をあけ水面の位置を調べると、氷板及び氷板上の積雪の重さと氷板の受ける浮力の釣り合い深さにほぼ一致する。次に流れ方向に水面の水準測量を行ってみると、水位は氷のない場合に比べて上昇しており、水面勾配も異っている場合がみられる。これらは氷板の存在による効果であるが、氷状は局部的に一様性を欠いていることもあり、結氷時の流れのエネルギー勾配を正しく求めることは難しい。本報告では、結氷時の河川の断面平均粗度係数 n_0 と河床単独の粗度係数 n_1 との比について、北海道開発局より与えられた流量観測資料により考察してみた。

2. 結氷河川断面の粗度係数

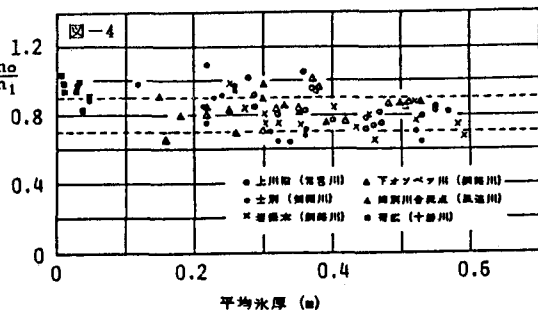
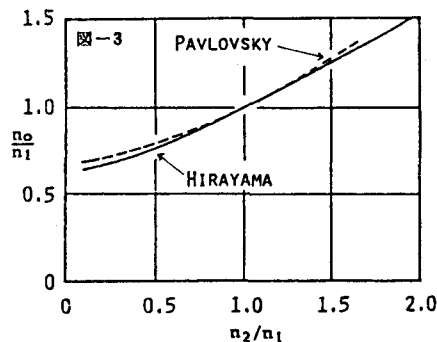
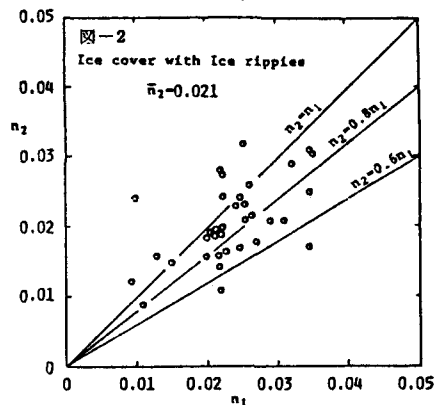
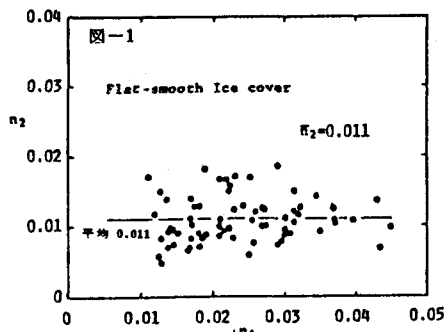
結氷板下の流れの流速分布の実測より求められた氷板の粗度係数の値 n_2 は、平坦な氷板及び氷面に波形(ice ripple)のある場合のそれぞれについて図-1、図-2のように与えられている。平坦な氷板の場合は、滑面とみなされる場合が多く平均は $n_2=0.01$ であるが ice ripple のある場合は、河床粗度係数との弱い相関がみられており、粗度係数の値も大きい。広矩形断面における等流を仮定すれば、河床と氷板の粗度係数をそれぞれ n_1, n_2 とするとき、断面平均粗度係数 n_0 は図-3のように与えられることが導かれている。

氷板と河床の粗度係数が等しい場合 $n_0/n_2=1$ となり、 $n_2 \rightarrow 0$ なら n_0/n_1 は 0.63 に近づく。実際の河川断面における n_0 は、流量観測を用いて計算できるが、水面勾配測定の見誤差も含まれ数少ない冬期間の資料数では信頼できる値を求めることは難しい。本報告では水面勾配の通年の変化が比較的小さいという近似が成立する場合について、観測野帳に与えられた断面形、氷厚分布より (1) 式で n_0/n_1 の比を求めてみた。

$$\frac{n_0}{n_1} = \left(\frac{\sum a_i r_i^2}{\sum a_i r_i^3} \right)^{\frac{2}{3}} \text{ 結氷時} / \left(\frac{\sum a_i r_i^2}{\sum a_i r_i^3} \right)^{\frac{2}{3}} \text{ 非結氷時} \quad (1)$$

結氷時の流量に相当する氷のない場合の諸量は、非結氷時の水位-流量曲線と断面形より求められる。

又、 a_i, r_i は測定河川断面の各区分の面積及び径深。図-4には北海道内の結氷地点より、年間を通じて水面勾配が一定している地点をえらび n_0/n_1 の比と氷厚の関係を示したが、 n_0/n_1 は図1~3から予想されるように 1.0~0.65 の間に分布し



ており、平均は約 $n_0/n_1=0.8$ である。又、 n_0/n_1 は氷厚と共にわずかに減少しており、氷厚の増加と共に氷板が平坦化していくことが推察される。

3. 結氷による水位の上昇と流量の断面内分布の変化

広矩形断面を考えて結氷によってエネルギー勾配に変化がないものとする、結氷前後の有効水深 H_0 および H の比は式(2)で与えられ図-5に示される。式中 B は河幅、 B_i は結氷部分幅である。

$$\frac{H}{H_0} = \left[n_0/n_1 / \left\{ \frac{n_0}{n_1} \left(1 - \frac{B_i}{B}\right) + \frac{B_i}{B} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \right\} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (2)$$

常呂川上川沿地点は、水面勾配が比較的安定しており、流下する晶氷が滞留して数日で全面結氷する地点である。昭和50年度の資料について断面を矩形で近似すると非結氷時の水位 H_0 - 流量 Q の関係は図-6のように与えられる。 $n_0/n_1=0.8$ と仮定すると、 $H/H_0=1.16$ ($B_i/B=1.0$) となるが、図中に黒点で示した全面結氷時の値は上式でよく表現されていることがわかる。

次に、河岸より流心に向って徐々に氷が張出していき、水深方向と共に横断方向に成長していく氷板を岸氷(Shore ice)と呼ぶが、岸氷が発達するにつれて、河川断面内の流量の分布は開水面部分に集中してくることは容易に推察される。

図-7は、湧別川開盛地点の岸氷の成長と流量の横断方向分布の変化を示している。本地点では、水面勾配が結氷時と非結氷時では異なり、(2) 式の関係は適用できないが、このような部分結氷時において横断方向の各区间流量 Q_i の全流量 ΣQ_i に対する比は、それぞれの区間の面積、経深を a_i, r_i とし、エネルギー勾配が断面内で一定とすれば (3) 式で与えられる。

$$\frac{Q_i}{\Sigma Q_i} = \frac{1}{n_1} a_i r_i^{\frac{2}{3}} / \left[\frac{1}{n_1} a_i r_i^{\frac{2}{3}} \right] \quad (3)$$

ここで n_i は各区間の粗度係数で、結氷区間、非結氷区間でそれぞれ n_0, n_1 となる。図-8には、上式で $n_0/n_1=0.8$ とした場合の $Q_i/\Sigma Q_i$ の計算値が比較されているが、前節で述べたように、 n_0/n_1 が 0.8 程度の値をとる場合に、部分結氷による開水面への流量の集中がよく説明されている。結氷時における河川断面内の流量の分布は、物質の拡散などを考える場合に大切な要素であり、結氷の進行自体を支配するパラメーターである。

本報告に与えられた結氷河川の粗度係数の考察により、河川結氷時の水位上昇の大きさや、断面内の流量分布を表現する平均的な手法が示されたことになる。

(参考文献) 1. 平山, 赤松, 佐々木: 結氷河川の水利に関する特性について, 第25回水講, 1981

2. 杉山, 大村, 平山: 河川の結氷過程における諸現象, 東北支部 s 57年度

