

ゲート上流部における氷片の堆積に関する実験的研究

岩手大学 学生員 ○ 照井 巧
正 員 平山 健一

1. はじめに 冬期になると寒冷な地方の河川や水路では大量の浮氷や雪が流下し、低流速域にあるセヤや橋脚などの上流部に連続的に堆積して氷板を形成する。本実験では水路における氷の堆積による水位の上昇・Ice Jammingの発生を予測するため氷板の堆積・流下のメカニズムを実験的に検討した。実験ではまず実験に使用した刃形ゲートの水理学的性質を明らかにし、次にポリプロピレン粒子を氷片の代わりに流れに供給して平衡厚さを実験的に測定して Pariset の提案した ice cover の平衡氷厚に関する式 [1966] (以下、Pariset の式) を用いてポリプロピレン粒子の平衡厚さを推定することを目的としている。

2. 実験設備および実験方法 本実験に使用した水路は断面 30 cm × 30 cm、全長 7 m、勾配 1 / 1000 の水路に FIG. 1 のように刃形ゲートを設置したものであり、水路側面はガラス、底面およびゲートはベンキを塗った合板である。また氷片として使用したポリプロピレン粒子は比重 0.90、粒子 1 個の平均質量 25 mg、内部摩擦角 $\phi = 35.8^\circ$ の赤血球型の硬質の粒子であり、粒子の体積を球に換算するとその直径は $d = 0.375$ cm になる。また水路に供給される流量 Q は、ベンチュリ管によって求めた。実験ではゲートの開度 α を 1.9 cm から 3.3 cm の間の 7 段階に設置して、それぞれの開度で流量 Q を変え平衡厚さを求めた。ポリプロピレン粒子の投入にあたっては水路の上流端から水面全幅にあたってポリプロピレン粒子が重ならないように投入した。平衡厚の測定は粒子投入後、厚さの変化がなくなった時点でゲート上流 3 m までの 8 地点で測定し厚さのほぼ一定な区間の平均値を平衡厚とした。

3. 平衡厚さについての理論 Pariset は断面形や粗さが一定である理想的な矩形断面の水路における ice cover の平衡厚さに関する式を導いた。FIG. 1 の control volume に作用する力のつりあいから

$$df_0 B + 2(\tau t + \tan \phi K_1 f_0) dL = (f_2 + f_3) B dL \quad \text{---(1)} \quad [\tan \phi \text{ は氷の摩擦係数}] \quad \text{境界条件 } f_0 = f_1 \text{ at } L=0 \text{ のもと}$$

$$\text{で式(1)を積分すると } f_0 = \frac{B}{2K_1 \tan \phi} (f_2 + f_3) - \frac{\tau t}{K_1 \tan \phi} - [\alpha] \exp - \frac{2K_1 \tan \phi L}{B} \quad \text{---(2)} \quad \text{ここで } [\alpha] = \frac{B}{2K_1 \tan \phi} (f_2 + f_3) - \frac{\tau t}{K_1 \tan \phi} - f_1 \quad \text{---(2)}$$

となる。式(2)において $\alpha > 0$ のとき cover 先端から離れると f_0 はある値に近づき $\lim_{L \rightarrow \infty} f_0 = \frac{B}{2K_1 \tan \phi} (f_2 + f_3) - \frac{\tau t}{K_1 \tan \phi} \quad \text{---(3)}$ となる。一方 cover への全外力に対する内部抵抗は、

$$P' \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \frac{g z^2}{2} \text{ から } P' \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \frac{g z^2}{2} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \text{ の間を変化}$$

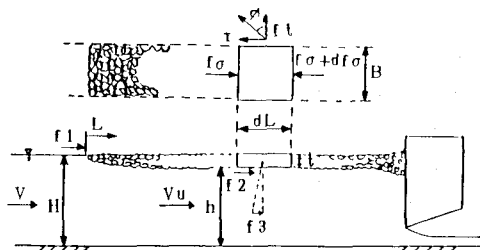
し、この内部抵抗を $f_2 = P' \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \frac{g z^2}{2} K_2$ とすると f_2 は式(3)の値と一致し、 $\mu = K_1 K_2 \tan \phi$ とおく

$$P' \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \frac{g z^2}{2} = \frac{B}{2\mu} (f_2 + f_3) - \frac{\tau t}{\mu} \quad \text{---(4)} \quad \text{と表わすこと}$$

ができる。ここで $f_2 = \frac{f}{8} \rho V u^2$, $f_3 = P' \tau f \frac{V u^2}{4h}$ (f は摩擦損失係数) の関係を式(4)に代入して整理すると

$$B V u^2 \frac{f}{8} \left(\frac{\rho'}{\rho} + 1\right) = \mu P' \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \frac{g z^2}{2} + \frac{2\tau t}{\mu} \quad \text{---(5)}$$

となり、これが Pariset の式であり、本実験では広矩形断面であるとの仮定により径深として $R = (h/2)$ を用いている。



f_0 : 流れ方向の応力
 f_1 : COVER 上流端への流れによる力
 f_2 : COVER 下に働く単位面積当りの流れによるせん断力
 f_3 : COVER 垂直の流れ方向の成分
 f : 側面に対する氷による力 ($f t = K_1 \cdot f$)
 τ : 側面と氷との粘着力
 t : 氷厚
 B : 水路幅

FIG.1. DEFINITION SKETCH

4. 実験結果

(1) 流量係数について 単位幅流量 q と上流水深 H の間には次の関係がある。 $q = C_d \alpha \sqrt{2gH}$ ---- (6) ここで C_d は流量係数で $C_d = C_c / \sqrt{1 + C_c \alpha / H}$ [C_c : 収縮係数] α はゲートの開度である。FIG. 2はゲート上流部に氷片が堆積した場合の C_d の特性を示している。上流水深 H は8 cmから23 cm、単位幅流量 q は15 (kg/m) から45 (kg/m) の間で変化させている。FIG. 2には比較検討のため岩佐・名合の実験結果とHenryの実験曲線を本実験の結果とともに併記したが、本実験結果の特性はどち

ともよく一致する。本実験においては C_d は0.58~0.62の範囲にあり、その平均値 $C_d = 0.599$ を式(6)に代入すると $q = 0.599 \alpha \sqrt{2gH}$ ---- (7) なる関係が得られる。また式(7)を使用することによって直接流量 q を測定することなしに α , H の値を与えることによって q を推定することが可能である。

(2) 平衡cover厚について 式(5)を本実験に適用するに当って摩擦損失係数 f をBresseの公式を使って求めた。 f の算出に当っては実験水路を底矩形断面と仮定し、背水水面形と計算水面形とが合致するように f の値を定めた。その結果 $f = 0.022$ の値を得、この f の値で式(5)を本実験に適用しFIG. 3のプロットを得た。FIG. 3から実験直線の傾き $M = 0.217$ と切片 2.604×10^{-5} を得た。以上からParisetの式を用いてゲート上流部のポリプロピレンの平衡厚さを推定することが可能である。

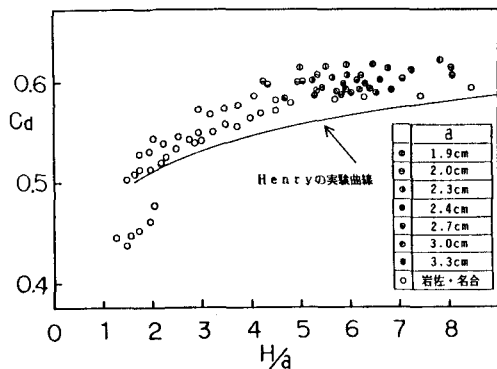


FIG. 2. THE DISCHARGE COEFFICIENT OF THE VERTICAL GATE

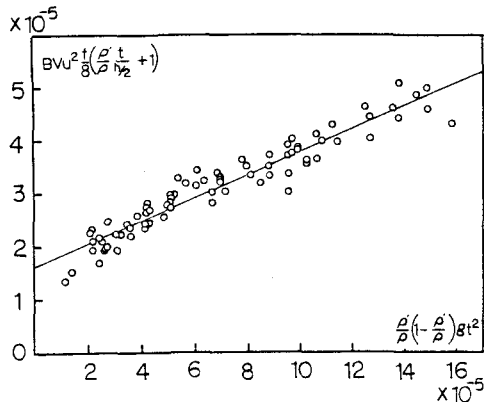


FIG. 3. DETERMINATION OF CONSTANTS τ AND μ

5. 考察 ポリプロピレンを氷片の代りとして使用し

た本実験においては $M = 0.217$ の値を得たが、Parisetによる自然河川の調査による解析では $M = 1.28$ の値が得られている。本来 M は内部摩擦角 ϕ の関数であるため、本実験で用いたポリプロピレン粒子($\phi = 35.8^\circ$)と実際の河川を流れる氷片とは物理的な性質が大きく異なり、 M の値も大きく違ったと思われる。またFIG. 3の実験直線の切片より $\tau = 0.081$ (N/m) が得られたが、これは水路側面のガラスとポリプロピレン粒子の間に粘着力が働いていたことを示している。ゲート上流の水深 H と流量係数 C_d については、ゲート上流にポリプロピレン粒子の堆積がある本実験の特性と岩佐・名合の実験値はよく一致し流量係数と H/a の関係においては堆積の影響は本実験の範囲では小さいことがわかった。また、 $C_d = 0.599$ と近似することによって $q = 0.599 \alpha \sqrt{2gH}$ により流量推定が可能となることは、 q を与えて平衡厚さを求める場合有利な材料といえる。なお、Parisetの式の適用に当っては、Parisetの式の誘導にあたって等流を仮定しているが、ゲート上流部ではセキ上げ背水水面形となっており等流とのちがいがあがる。また、粗度の異なる潤辺について一定の f を用いていることなど、 f の値にしる寄せられデータのバラツキの原因となっていると思われるが、これらの平衡厚さの推定への影響については今後さらに検討をすすめて行きたい。

6. 参考文献

Formation of ice covers and ice jams in rivers by Ernest Pariset, René Hausser and André Gagnon 1966 J. Hydraul. Div. ASCE 92:11-24