

岩手大学工学部 学生員 ○ 高橋 正博
 岩手大学工学部 学生員 竹内 教浩
 岩手大学工学部 正 員 平山 健一

1、はじめに

寒冷地の河川における結氷の発生は、種々の災害に関連している。河岸の橋脚などの水理構造物へ大きな氷圧力を与え、又、融氷期に氷片が河川を塞ぎ洪水を発生する等 様々な障害を引き起こす。この結氷板形成は、兩岸より河道の中心へ向かい徐々に成長していく岸氷タイプと、大量に流下するFrazil ice等が滞留、堆積し、一時期に凍結し結氷板となるタイプとに分類される。本研究は、岸氷タイプの結氷板形成過程について、実験的に解析したものである。

2、岸氷の氷板形成モデル

結氷板で覆われた流水路における氷板成長過程は、図-1に示す流水、結氷板、大気熱収支を考えることにより解析モデルを求めることができる。流水から結氷板下面へ、結氷板内、結氷板上面から大気への熱移動量をそれぞれ ϕ_{wi} 、 ϕ_i 、 ϕ_{ia} 、とくと次式で表される。

$$\begin{aligned}\phi_{wi} &= h_{wi}(T_w - T_m) \\ \phi_i &= k_i(T_m - T_s)/\eta \\ \phi_{ia} &= h_{ia}(T_s - T_a)\end{aligned}$$

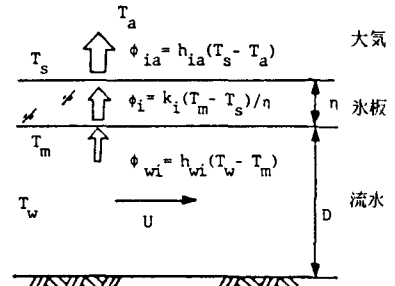


図-1 熱の移動

ここで、 k_i は氷の熱伝導率 $2.24(\text{W/m}^\circ\text{C})$ 、 h_{wi} 、 h_{ia} は、それぞれ水面から氷板下面へ、氷板上面から大気への熱伝達係数 $(\text{W/m}^2/^\circ\text{C})$ 、 T_w 、 T_m 、 T_s 、 T_a は、それぞれ水、氷板下面、氷板上面($=0^\circ\text{C}$)、大気温度 $(^\circ\text{C})$ 、 η は氷厚 (m) を示す。又、 $\phi_i = \phi_{ia}$ であることから次式となる。

$$\phi_i = \frac{T_w - T_a}{\frac{\eta}{k_i} + \frac{1}{h_{ia}}} \quad \phi_i - \phi_{wi} = \rho_i \lambda \frac{d\eta}{dt}$$

氷厚の増加に関しては、上式が得られる。

$$\Delta\eta = \frac{\Delta t}{\rho_i \lambda} \left\{ \frac{T_m - T_a}{\frac{\eta}{k_i} + \frac{1}{h_{ia}}} - h_{wi}(T_w - T_m) \right\}$$

ここで、 ρ_i は氷の比重 $916(\text{Kg/m}^3)$ 、 λ は氷の潜熱 $3.34 \times 10^5(\text{J/Kg})$ 、 $d\eta$ は氷厚の増加量、 dt は時間間隔これより氷厚の増加の計算式として、上式が得られる。

又、水面から結氷板下面への熱伝達係数 h_{wi} は、Ashtonの論文より次式で与えられる。

$$h_{wi} = C_{wi} \times U^{0.8} / D^{0.2}$$

3、実験装置及び方法

実験装置の概略図を図-2に示

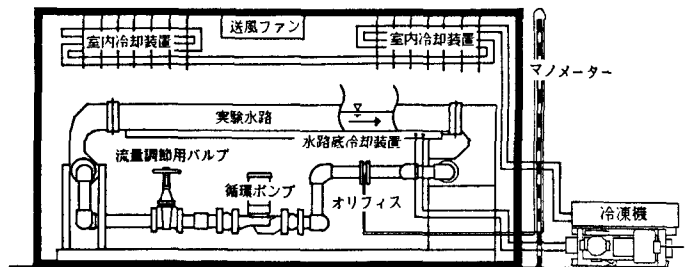


図-2 実験装置概略図

す。低温実験室内には、流下距離2.4(m)、幅0.4(m)、深さ0.2(m)の矩形断面を持つ循環式開水路が設置されており、バルブ及び可変流量ポンプで流量を変え、オリフィスに取り付けたマンメーターの読み取りで調節する。水路側壁には熱伝導率の低いプラスチック板が張り付けられている。又、水路底部には、冷媒を循環する配管があり温度コントロールが可能であり、水路底に氷を形成することができる。水温は、 $0.01(^{\circ}\text{C})$ まで読み取れるサーミスター温度計を用い測定した。又、室温は、室内天井全面に取り付けた放熱板により冷却される。

実験は $0.6(^{\circ}\text{C})$ の水温から、25、50、75時間までの水温変化と、各時間での氷厚を測定した。実験は、設定気温 -2 、 -3 、 -4 、 $-5(^{\circ}\text{C})$ 、開水時の平均流速 0.026 、 $0.052(\text{m}/\text{S})$ で行った。又、水路底部の温度は $0(^{\circ}\text{C})$ に固定した。本実験において岸氷の発生過程を求めようと考えたが、水路の流下距離が短いこと、水面からの熱移動の他に、管路からの熱放出、ポンプからの熱流入があることから、岸氷の発生メカニズムを実験から求めることには困難があった。

4、実験結果と考察

流速が $0.052(\text{m}/\text{S})$ の場合の時間経過に伴う水温変化を図-3に示す。座標は縦軸が水温、横軸が基準水温からの時間変化を示している。図より、ある程度 氷が張り始めるまで水温は直線的に低下し、最低水温になり、その後水温はやや上昇し、全面結氷すると一定値になることがわかる。又、実験はFrazil Iceを発生させない条件で行ったものであるが、設定気温 $-5(^{\circ}\text{C})$ の場合のみ、Frazil Iceが発生した。Frazil iceが発生する流れでは、水温が $-0.02(^{\circ}\text{C})$ の過冷却状態に一時期なることがわかる。

次に同流速での氷厚増加の理論値と全面結氷後の実測氷板厚の横断方向の平均値との比較を図-4に示す。図中、縦軸は氷厚変化を、横軸は時間変化を示している。理論値を線分で、実測値を記号で表した。

又、氷板上面から大気への熱伝達係数 h_{ia} は、 $20(\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C})$ を用いた。Ashtonの論文から引用した水面から氷板下面への熱伝達係数 h_{wi} の係数 C_{wi} は、氷の凹凸で1622から $2433(\text{W}\cdot\text{S}^{0.8}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ まで変化する係数であるが、これを $1800(\text{W}\cdot\text{S}^{0.8}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ とした。図より、理論値は実測値とほぼ一致することが解る。これより実験室におけるそれぞれの係数は上述の値を使えば良いことが分かった。

以上、氷板形成用実験水路の概要とその実験結果を述べたが、流れにおける氷板の発生、成長について、今後、更に検討を進める予定である。

<参考文献>

- (1) George D.Ashton,"Suppression of river ice by thermal effluents."
US Army CRREL Report 79-30 (Dec.1979)
- (2) Hirayama K.,"Ice cover formations in small and steep rivers."
IAHR Ice Symposium Vol-2 P451-464 (Aug.1986)

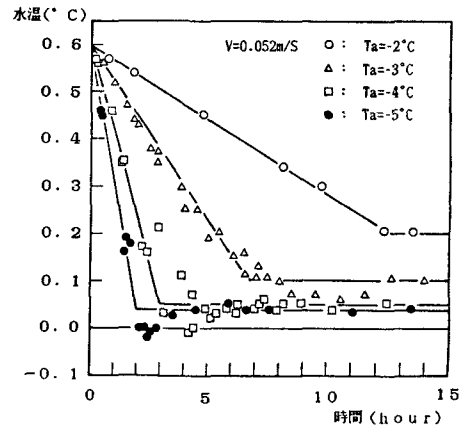


図-3 時間経過と水温変化

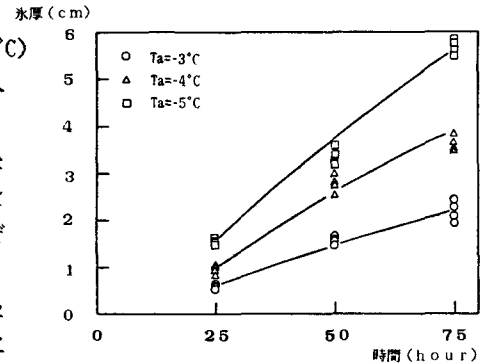


図-4 氷厚の理論値と実験値との比較