

Ⅱ－100 氷板下での水の流れと粗度係数の室内実験について

八戸工業大学 ○伊藤 雅樹、川崎一弘、町屋俊行
八戸工業大学 正会員 竹内 貴弘
八戸工業大学 正会員 佐々木幹夫

1. はじめに

一般に閉鎖性水域では、一旦水質が悪化すると回復には多くの時間が必要とされる。水産養殖（ホタテ・カキ）が盛んなサロマ湖や能取湖などの冬期間に氷結する閉鎖性水域でも同様である。これらの湖では氷の存在が抵抗として作用し、流速に影響を及ぼす。そこで本研究では、室内実験により氷と水との間のマンニングの粗度係数を評価することを目的とし、特に氷の寸法が粗度係数に与える影響を実験的に評価検討した。

2. 実験内容

実験は、実験用水路（幅 34.5cm・長さ 8m）を使用し、水深 50cm の条件下で、氷板の存在の有無やそれらの寸法が流速分布にどのような影響を与えるかを計測した（写真 1）。氷板のモデルには、氷の密度に近い $\rho = 0.90 \text{ g/cm}^3$ の一枚板（200cm×33.5cm×5cm）を使用する。次に 4 種類の寸法のポリプロピレン（A＝5cm×5cm×5cm、B＝5cm×5cm×3cm、C＝5cm×5cm×1cm、D＝10cm×10cm×5cm；写真 2）と、さらにそれらの混合を使用する（AB, AC, BC；体積をほぼ同比率）。流量は 3 種類（ $Q_{10} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{15} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{20} = 3.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ）に変化させた。また、ポリプロピレンを氷板として使用するの、水中での氷の摩擦係数とほぼ同じ値であることによる。流速計には、3 次元の電磁流速計（ケネック VP3000）を用い、計測された流速分布を対数分布と仮定した以下の方法（Majewsky:1988）によりマンニングの粗度係数 n_i を計算した。

（式 1～5）。

$$y_0 = \exp\left[-\frac{b}{a}\right] \quad (1)$$

ここで、
 y_0 ：氷板下での流速が 0 の深さ (m)
 $V_{\max, c}$ ：計算で求めた最大流速 (m/s)
 $y_{\max}$ ：最大流速が発生する水深 (m)
 V_{ave} ：平均流速 (m/s)
 a と b ：係数
 f_i ：摩擦損失係数
 n_i ：マンニングの粗度係数 ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)

$$V_{\max, c} = a \times \ln y_{\max} + b \quad (2)$$

$$V_{\text{ave}} = \frac{V_{\max, c} \times y_{\max}}{y_{\max} - y_0} - a \quad (3)$$

$$f_i = 1.28 \left[\frac{V_{\max, c}}{V_{\text{ave}}} - 1 \right]^2 \quad (4)$$

$$n_i = \sqrt{\frac{f_i}{8g}} (y_{\max} - y_0)^{1/6} \quad (5)$$

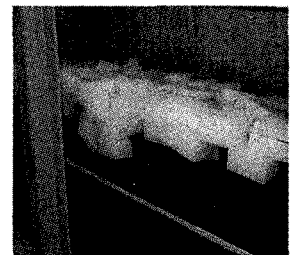


写真 1：水槽内で混合にした状態のポリプロピレン

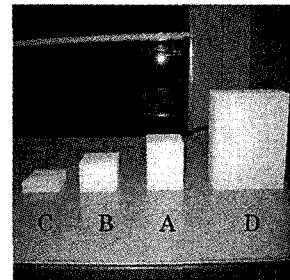


写真 2 C・B・A・D のポリプロピレン

3. 実験結果・考察

1) 氷板が存在しない状態での流速実験

図 1 は流量 $Q = 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の条件での縦流速分布である。水面に近いほど流速が大きくなり、水底に木材板があり摩擦が生じるため流速が次第に小さくなる。チョウの提案した木材のマンニングの粗度係数はおよそ 0.011～0.014 ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$) 程度であり、上記の方法で算出すると 0.012～0.014 ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$) の値となったことから、整合性が確かめられた。レイノルズ数 $Re = 10799.4$ となり乱流状態となる。

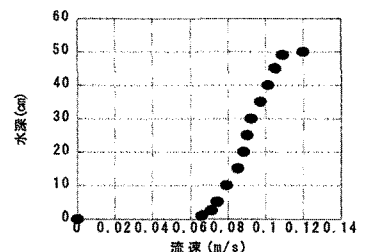


図 1 水の縦流速分布図

2) 氷板が存在する場合の流速実験

氷板が存在する場合では図2のように水面及び水底に近づく程流速が0に近い値となった。そこで最大流速から水面側（氷板の摩擦影響範囲）の流速データを用い水深(y)を対数変換したものが図3である。その結果、相関係数Rが1に近くなったことからMajewskyの手法によりマンニングの粗度係数 n_i を計算した。一枚板の粗度係数は0.021~0.024 ($m^{1/3}s$)で混合の氷板モデルが0.027~0.044 ($m^{1/3}s$)の値となった。その結果として図4を作成し比較すると、一枚板に比べ混合の氷板モデルの寸法が大きいほど粗度係数が大きくなることが分かった。次に個々の氷板モデルの粗度係数は0.025~0.05 ($m^{1/3}s$)という値となり、図5からも分かるように氷板モデルの寸法が大きくなると粗度係数も大きくなった。

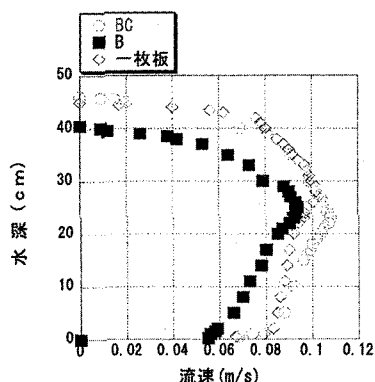


図2：氷板が存在する場合の流速分布

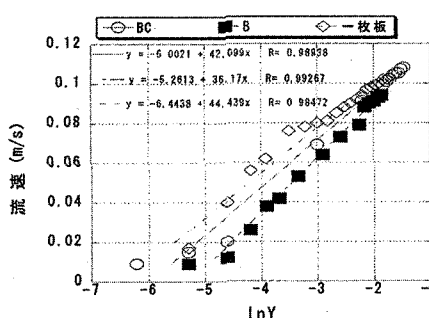


図3：流速分布（水深を対数変換）

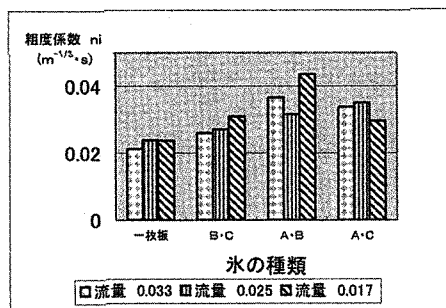


図4：一枚板と混合の場合の粗度係数

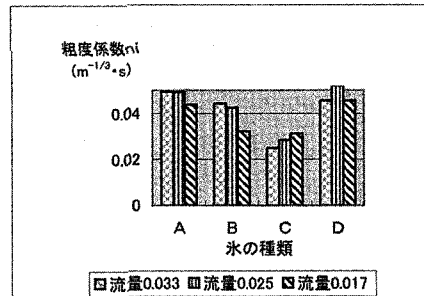


図5：個々の場合の粗度係数

4. まとめ

- ・ 氷板が存在することにより水面及び水底に近づく程、流速は小さくなった。
- ・ 氷板の寸法が大きいほど凹凸が大きくなるため粗度係数は大きくなった。
- ・ 実際のサロマ湖や能取湖では、今回のような規則的な氷板形状ばかりではないので種々の形状を組み合わせた実験を行ない、今後、より実際の湖に近い条件での実験を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 蒔田俊輔、佐伯浩：“閉鎖性水域の海水交換に与える養殖施設の影響”，海洋開発論文集（土木学会）、Vol.20, pp.395~400, 2004.
- 2) W.MAJEWSKY, M.BAGINSKA, P.WALCZAK: “DETERMINATION OF ROUGHNESS COEFFICIENT OF THE UNDERSIDE OF ICE COVER” Proc. of IAHR Ice Symposium, Vol.2, pp.122~130, 1988.