

スラリーアイス内における対象物の沈下を促すエアバブリングの検討

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 神谷 流

1. 緒言

スラリーアイスには氷粒子と魚介類の接触面積が広いこと、魚介類を急速に冷却することが可能である。このことが高鮮度保持を可能とする1つの要因として挙げられる。しかし、スラリーアイス内に魚介類を投入した際、魚種によっては浸漬せず、スラリーアイス本来の冷却が行えないという課題がある。これは、スラリーアイスが降伏点をもつ非ニュートン流体であり、降伏点以上の力が働かない静止状態においてスラリーアイスは固体としてふるまわれることが要因である。先行研究では、簡易的な試験体を用いて、沈下に有効なエアバブリングの位置と形状を明らかにした。そこで、本研究では魚介類の形状や密度を考慮した試験体を製作し、スラリーアイス内に対象物の沈下を促すバブリング方法について検討した。

2. 魚体密度と魚体の形状

アジの魚体密度の計測実験を行った。その結果、平均魚体密度は参考文献^{(1)~(4)}と実験結果より、 1022.4kg/m^3 であることがわかった。魚類の形状は大きく側扁形、縦扁形、紡錘形の3つに分けられる⁽⁵⁾。その中で、側扁形と縦扁形は90度回転させると同じ形状であることがわかる。したがって、魚類の形状は扁平体形と紡錘形の2つに分けられると考えられる。

3. 試験体製作

3.1 サンプルの製作

前章をふまえて2つのモデルを設計した。そして、これらを3Dプリンタ(XYZプリンティング製, da vinci super)にてPETGを用いて、製作した。また、浸水による密度の変化をさけるために水性ウレタンニス塗布し、防水性を付与したものを実験で用いた。試験体を図3-1に示す。



Fig. 3-1 Test specimens with fusiform morphology (left) and flattened morphology (right)

4. バブリングなしでの実験

4.1 実験手順

スラリーアイスを生じ試験体を沈下させた。このときの浸漬の状態を確認し、スラリーアイスの融解と試験体の沈下を試験体が完全に浸漬するまで繰り返した。試験体が完全に浸漬したときの溶液を採取し、*IPF*を測定した。なお、向きについては図4-1のように設定した。ただし、紡錘形はZ軸を軸とした回転体であるため、X軸とY軸では同じ結果になる。よって、紡錘形のY軸は除外している。

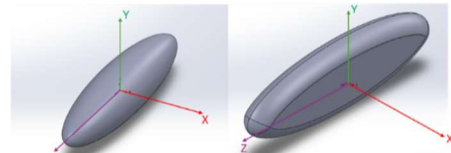


Fig. 4-1 Test specimen orientation (left: fusiform, right: flattened)

4.2 実験結果

実験結果を図4-2に示す。扁平体形Z軸方向、紡錘形Z軸方向が完全浸漬するときの*IPF*に大きな差はみられず、約11.8wt%~16.6wt%であった。一方で、扁平体形X軸方向、扁平体形Y軸方向、紡錘形X軸方向が完全浸漬するときは、*IPF*が2.3wt%~8.0wt%の間であった。また、完全浸漬するときの*IPF*は同条件においても変化することが分かった。

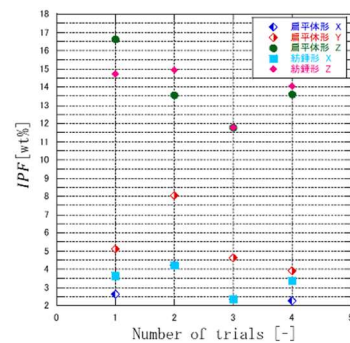


Fig. 4-2 *IPF* when the test specimen is fully submerged

4.3 考察

実験結果から完全浸漬と*IPF*に相関は見られなかった。そこで観察にて氷粒子層厚さが小さい程、完全浸漬する傾向となった。このことから、新たな支配要因である氷粒子層厚さでも評価する。測定した*IPF*から氷粒子層厚さを算出し、図4-3に示す。その結果、氷粒子層厚さは製氷前の溶液量に関係しないことが分かった。また、試験体の重量を各向きの断面積の最大値で割ったものを最小圧力として表4-1を作成した。最小圧力が大きい向きほど完全に浸漬する氷粒子層は厚いことがわかる。これは、氷粒子層の浮力よりも試験体が氷粒子層に与える圧力が大きくなることにより、完全浸漬するためであると考えられる。

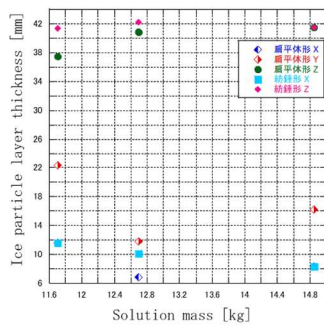


Fig. 4-3 Relationship between solution mass and ice particle layer thickness at full immersion

Table 4-1 Test specimen orientation and minimum pressure

| Test specimen orientation | | Minimum pressure [N/m ²] |
|---------------------------|--------|--------------------------------------|
| Fusiform shape | X axis | 223.4403 |
| | Z axis | 928.1841 |
| Flattened shape | X axis | 152.9892 |
| | Y axis | 323.1533 |
| | Z axis | 1050.3600 |

4. バブリングを用いた実験

5.1 実験手順

実験条件を表 5-1, 実験フローを図 5-1 に示す. 空気の流量をエアバルブの開閉で制御し, エア流量は流量センサから得た. また, エアバルブの先で配管を2つに分岐させ, 配管の先にエア排出口を開けたアルミパイプを取り付けた. アルミパイプを底面に固定し, エア排出口から上方に噴出されるように設置した. そこに, 試験体を沈下させ, 完全浸漬したときの IPF を計測し, 氷粒子層厚さを算出した. 試験体の向きについては, 図 4-1 と同じである.

Table 5-1 Experimental conditions

| | |
|---------------------------|--|
| Salinity [wt%] | ~1.0 |
| Air flow rate [L/min] | 75, 85 |
| Air outlet diameter [mm] | φ2, φ4 |
| Test specimen orientation | Fusiform (X axis, Z axis), Flattened (X axis, Y axis, Z axis) |

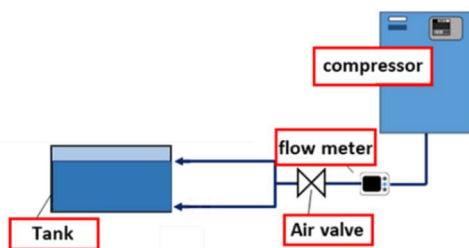


Fig. 5-1 Experimental workflow

5.2 実験結果

バブリングの様子を図 5-2, 実験結果を図 5-3 に示す. 今回の実験では, 局所的な流動化になった. 排出口が小さいほど完全浸漬する氷粒子層厚さは大きくなるという傾向が示された. また, 流量に比例して完全浸漬する氷粒子層厚さは大きくなっていることがわかった.

図 4-3 と図 5-1 を比較すると, 全ての条件でエアによっ

て流動化させたときの方が完全浸漬するときの氷粒子層厚さが大きいことがわかった.



Fig. 5-2 Bubbling behavior with 4mm outlet diameter and 85L/min flow rate

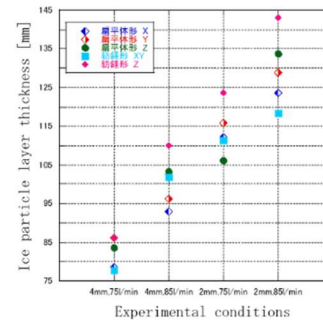


Fig. 5-3 Relationship between solution mass and ice particle layer thickness at full immersion

5.3 考察

局所的な流動化によって, バブリングが生じている部分では気体, 液体, 固体が混在することによりみかけの密度が低下する. その結果バブリングなしの状態よりも全体の氷粒子層厚さが大きくても試験体が完全浸漬したと考えられる.

ステンレスパイプの開口径の変更によって圧力が増加していることを示す方法として, 流量と流速の関係がある. 流量と流速の関係は流量を Q [m³/s], 流量係数を C [-], 流路面積を A [m²], 流速を v [m/s] とすると

$$Q = C \cdot A \cdot v \quad (4.1)$$

式 (4.1) より流量一定の場合, エア排出口を小さくするにつれて, ホース内の流速が増加する. これによって動圧が増加するため, スラリーアイスに与える圧力が増加し, 流動化が促されたと考えられる.

5. 結言

本実験では, 魚介類の形状や密度を考慮した試験体を製作し, スラリーアイス内に対象物の沈下を促すバブリング方法について検討した.

作成した試験体を用いたスラリーアイスでの沈下実験では, エアによるバブリング方法は対象物の沈下を促す方法として有効であることが明らかとなった. バブリングが生じている部分ではみかけの密度が低下し, バブリングなしの状態よりも全体の氷粒子層厚さが大きくても試験体が完全浸漬したと考えられる. また, エア排出口の径については小さくするほど対象物の沈下を促すことがわかった.

参考文献

- (1) 水産庁: 世界の水産物消費 (2022)
- (2) 槌本六良, 宮田克也, 松尾重己, 大里進子, 高良治江, 三嶋敏雄, 橘勝康: 養殖マグダイの体脂肪量と魚体密度の関係 (1991.8.12)
- (3) Mohr, K.H. , Kirchstein, U : Lebensmittelindustrie (1987)
- (4) Sahin, S. , Sumnu, G : Mass-volume-area properties of frozen skipjack tuna (2011)
- (5) 矢部衛, 桑村哲生, 都木靖彰: 魚類学 恒星社厚生閣 (2017.9.15)