

卒業論文要旨

スラリーアイス内に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 1250164 森岡 太一

1. 緒論

スラリーアイスとは、水溶液に約 0.2mm の氷粒子が懸濁した液状氷である。スラリーアイスに含有する氷粒子は同体積の砕氷と比べて粒子径が小さいため、比表面積が大きくなり、周囲との熱交換が多くなる。そのため同体積の砕氷と比べて融解が起りやすく、氷の融解潜熱を利用して対象物を急速に冷却することができる。

エアバブリングを行っているスラリーアイス内に沈下対象物を投入した際、対象物の種類によってはエア流量を増加させなければ沈下が促されず、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ということが要因である。したがって、タンク内で静止状態にあるスラリーアイスに一定値以上の圧力が加わることがないと対象物は沈下せず、鮮度を保つことができない。そこで、本研究では、バブリングによるエアの流入がスラリーアイスに与える影響を調べ、バブリング位置やエア排出口の形状の変化による影響を調べることで、より効率的に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を検討することを目的とした。

2. エアの流入による侵入熱の影響

2.1 目的

バブリングを用いた計測を行い、エアの流入により生じるスラリーアイスの融解量を調べることで、エアがスラリーアイスに与える影響を明確にすることを目的とした。

2.2 実験手順

実験装置のフローを図 1、実験条件を表 1 に示す。スラリーアイスは、スラリーアイス生成装置を用いて生成した。コンプレッサ(アネスト岩田株式会社, SLP-37C)から得られる圧縮空気の圧力と流量はエアバルブの開閉で制御し、エア流量の値は気体用流量センサ(FD-A100)から得た。また、エアバルブの先で配管を 2 つに分岐させ、配管の先にアルミパイプを取り付けた。アルミパイプに吸盤を使用し、タンク底面に設置した。コンプレッサから送り込まれるエアがアルミパイプに開けたエア排出口を通り上方に噴出される。5 分ごとに溶液を攪拌および採取し、30 分間実験を行った。

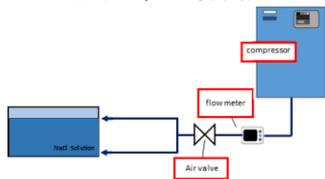


Fig. 1 Experimental apparatus flow

Table1 Experimental conditions

Experimental Conditions	
Volume of Water[L]	50
IPF [wt%]	30
Volume of Air[L/min]	0,75,85
Salinity[wt%]	1
Air Outlet[mm]	φ4
Test Time[min]	30

2.3 実験結果

氷充填率(Ice Packing Factor, 以下, IPF)の減少と経過時間の関係を図 2 に示す。30 分経過後の水溶液の IPF はそれぞれ、平均エア流量 0L/min では 25.10wt%, 75L/min では 24.82wt%, 85L/min では 24.80wt%であり、0L/min では 2.94wt%, 75L/min では 3.31wt%, 85L/min では 3.38wt%の IPF が減少した。

また、エアの流入による侵入熱がスラリーアイスに与える影響は雰囲気温度による影響と比べると微小であることが分かった。

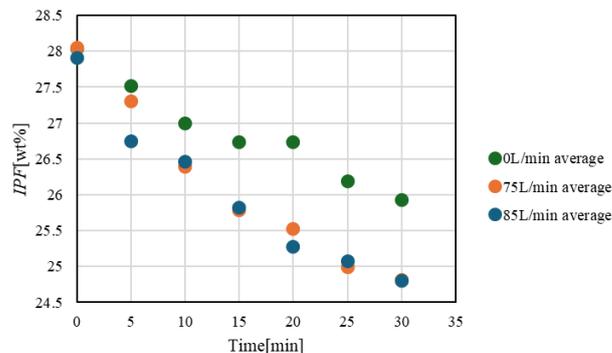


Fig.2 Relationship between IPF decrease and elapsed time(average value)

2.4 実験データを用いた侵入熱の算出

氷の融解熱を 333.6kJ/kg として、エア流量 0L/min の実験データからエア流量別の侵入熱を求めると侵入熱は 490.56kJ と算出できる。

同様にエア流量 75L/min, 85L/min における侵入熱の計算を行うと、エア流量 75L/min での侵入熱は 551.98kJ, エア流量 85L/min での侵入熱は 563.77kJ と算出できる。

エア流量 75L/min, 85L/min における侵入熱の計算で算出した熱量はエア以外の侵入熱も含んでいるため、エア流量 0L/min での侵入熱を減算することで、エアによる侵入熱を算出する。算出すると、エアによる侵入熱は

75L/min で 61.42kJ, 85L/min では 73.21kJ となる。

2.5 侵入熱の算出

流入前の空気を標準空気と仮定し、空気温度 T_{air} を 20°C、空気密度 ρ_{air} を 1.206kg/m³、比熱容量 C_p を 1006J/(kg・K)と おいてエアーク流量別の侵入熱の算出を行う。流入後の空気は、タンク内のスラリーアイスの温度である-0.9°Cになると仮定すると、エアーク流量 75L/min での侵入熱は 57.06kJ となった。

同様にエアーク流量 85L/min における侵入熱を 64.82kJ と算出できる。

2.6 実験値と計算値の比較

実験値と計算値の結果を表 2 に示す。

Table2 Experimental and calculated results

	75L/min	85L/min
Test value[kJ]	61.42	73.21
Calculated value[kJ]	57.06	64.82

結果から誤差率[%]を求めると流量 75L/min では 7.1%、流量 85L/min では 11.5% となった。

このことから、バブリングによる侵入熱は雰囲気温度による侵入熱と比べて微小であり、実験を行った日時の雰囲気温度の変化がスラリーアイスの融解量に影響を与えているといえる。

3. エアー排出口径変更の影響

3.1 目的

エアー排出口の径が対象物の沈下に与える影響を調べ、有効なエアー排出口の径を検討することを目的とした。

3.2 ポリプロピレンとスラリーアイスでの実験

3.2.1 実験準備

本実験では ϕ 7mm のポリプロピレン(以下、PP)とスラリーアイスを用いて実験を行った。

3.2.2 実験手順

実験装置のフローを図 3、実験条件を表 3 に示す。PP での実験では ϕ 7mm の PP を 15kg タンクに投入し、スラリーアイス実験では、装置を用いてスラリーアイスを生じた。コンプレッサ (アネスト岩田株式会社, SLP-37C) から得られる圧縮空気の圧力と流量はエアークバルブの開閉で制御し、エアー流量の値は気体用流量センサ(FD-A100)から得た。また、エアークバルブの先で配管を 2 つに分岐させ、配管の先にアルミパイプを取り付けた。エアー排出口は ϕ 2mm と ϕ 4mm の 2 種類を用いた。アルミパイプに吸盤を使用し、タンク底面に設置した。コンプレッサから送り込まれるエアーがアルミパイプに開けたエアー排出口を通り上方に噴出される。沈下時間の計測は動画撮影 (使用機器: Canon EOS Kiss) にて行った。

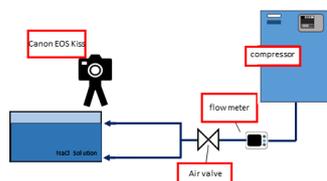


Fig.3 Experimental apparatus flow

Table3 Experimental conditions

Experimental Conditions		
Volume of Water[L]		35,50
IPF [wt%]		30
PP[kg]		15
Volume of Air[L/min]		75,85
Salinity[wt%]		1
Air Outlet[mm]		ϕ 2, ϕ 4
Test Time[min]		30
Object	Mass[g]	124
	Density[kg/m ³]	941

3.2.3 実験結果

実験結果を表 4 に示す。実験結果は、最も沈下の遅い対象物の沈下時間を計測し、3 回平均を行い算出した。エアー流量 75L/min, 85L/min いずれの場合も ϕ 2mm で沈下が促された。また、スラリーアイスでの実験では、PP での実験に比べて沈下速度が減少した。

Table4 Experimental results

Air Outlet[mm]	PP				Slurry ice			
	ϕ 4		ϕ 2		ϕ 4		ϕ 2	
Volume of Air[L/min]	75	85	75	85	75	85	75	85
Average[s]	146	2.7	23.7	2.1	270	24.2		

3.3 考察

PP とスラリーアイスでの結果を比較する。結果に違いが発生した理由として、凍着現象の違いによる影響が考えられる。凍着現象とは、氷の熱伝導率が、物体の熱伝導率に比較して大きいこと、氷の保有する冷熱が素早く伝わり、形成された薄い水膜を凍結させて、氷結晶層が生成される現象である。この現象によって、物体の沈下が阻害され、PP での実験に比べて沈下に要する時間が増加したと考えられる。また、実験で沈下時間が減少した理由として、エアー排出口の径を変更したことにより、スラリーアイスに与える圧力が増加し、液状化が発生したことによって、対象物とスラリーアイス間でせん断力が発生したことが考えられる。

4. 結言

本実験ではバブリングがスラリーアイスに与える流動化の影響を調べた。また、エアー排出口径の変更による沈下時間への影響を確認することで、より効率的に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を検討した。

はじめにバブリングによる氷粒子融解への影響を確認した。その結果、エアー流量による侵入熱は雰囲気温度と比べて微小であることが得られた。

エアー排出口の径変更を行った実験では、径を小さくすることで対象物の沈下を促すことが明らかとなった。

本実験から、エアー排出口の径を小さくすることが有効である見通しが得られた。

参考文献

- (1) 林 佳奈, スラリーアイス流動化における対象物の浸漬法に関する検討(2017)
- (2) 前川製作所, 凍着現象の基礎とその利用技術(2020)