

風洞内におかれた水平氷円柱の融解における 遷移領域の伝熱特性

野澤 勝 廣・藤 木 卓*1

長崎大学教育学部工業技術教室
(昭和58年10月31日受理)

Properties of Heat Transfer in the Transition Region when
Horizontal Cylindrical Ice Fuses in the Wind Tunnel

Katsuhiko NOZAWA and Takashi FUJIKI

Department of Technology, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852
(Received Oct. 31, 1983)

Abstract

In the horizontal wind tunnel, the fusion of horizontal cylindrical ice is experimented in the range of Re number from 600 to 2,500. Consequently, it is observed that the transition region exists clear where the experimental value of Nu number is near Re number 1,000.

緒 言

氷の融解現象は、3相の変化を伴うため複雑な様相を呈することは良く知られている。しかし、その研究例は少なく遅れている。

筆者らは、湿り空気中におかれた氷の融解に関する伝熱工学的研究を行い、その特性の実験的検討を行ってきた。今回はまだ解明されていない Re 数1,000から3,000の範囲、すなわち層流から乱流への遷移領域について Nu 数の実験値を求めて検討した。その結果若干の知見が得られたので報告する。

*1 玉之浦中学校教諭

1 実験装置および実験方法

実験装置を Fig. 1 に示した。

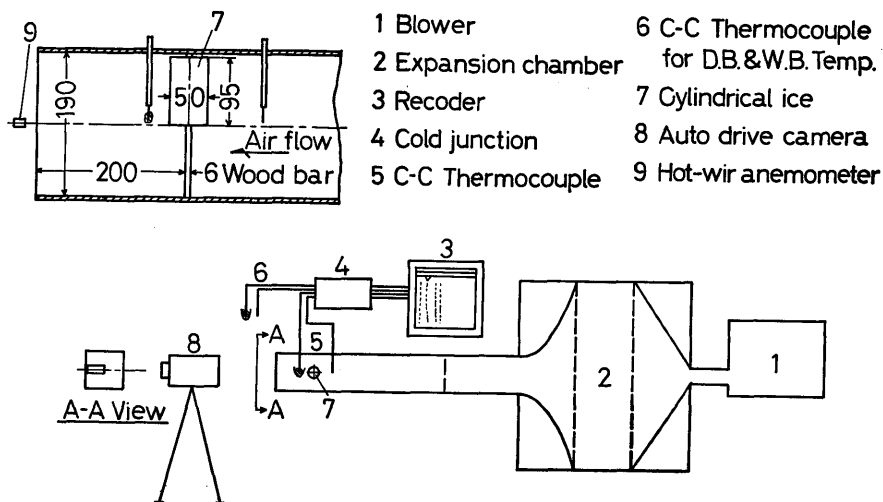


Fig.1. Experimental apparatus

測定に用いた氷円柱は、初期直径52mm、長さ95mmである。これを主流空気に対し直角になるよう固定した。実験は室温空気を用い、実験開始前に慣らし運転を1～2時間行い、装置が安定したところで氷円柱をセットし、自動カメラにより一定時間毎における氷円柱の形状変化を写真測定した。実験範囲を下に示す。

主流速度	0.17～0.68 m/sec
Re 数	614～2431
空気温度	18.4～52.3°C
空気湿度	0.0066～0.0274 kg/kg'
氷円柱直径	52 mm

Re 数, Nu 数に使用する代表寸法は、氷円柱が融解する場合、直径が変化するが、現象が遅く準定常と考え、また半径方向の融解速度が一定の初期伝熱を考慮ことにし、氷円柱の初期直径を代表寸法とした。

2 遷移領域付近の実験値の整理

Re 数600~2,500, 湿度0.0066~0.0274kg/kg' の範囲における平均 Nu_m 数の特性を Fig. 2 に示した。従来の研究⁴⁾により, Re 数700から3000のあいだに遷移領域の存在が推察されている。そこで Fig. 2 を観察すると, Re 数600から2500までのあいだの平坂 Nu_m 数と Re 数の関係は, 広い湿度の範囲ではあるが, 実験値のばらつきが大きく, 相当に複雑な不安定領域になる傾向のあることがわかる。

3 遷移領域における平均 Nu_m 数と Re 数

遷移領域の傾向を観察する目的から, Fig. 2 の湿度を整理して $H=0.0066$ から $0.0169\text{kg/kg}'$ の範囲における平均 Nu_m 数と Re 数の関係を Fig. 3 に示した。また同じ湿度範囲の Re 数100から1000までの実験値⁴⁾ 及び Re 数3000から5000までの実験値³⁾ を追記した。参考のために前報の実験式²⁻⁴⁾ Eq. (1)(2)(3)を Fig. 3 に併記した。

$$Nu_m = 0.73 Re^{0.58} \quad (3000 < Re < 15000) \quad (1)^{3)}$$

$$Nu_m = 10 Re^{1/4} \quad (1500 < Re < 10000) \quad (2)^{2)}$$

$$Nu_m = 10 Re^{1/5} \quad (100 < Re < 1000) \quad (3)^{4)}$$

Fig. 3 から平均 Nu_m 数と Re 数の関係を観察すると, 次のような傾向が明らかとなった。すなわち, Re 数1000から3000までの範囲における平均 Nu_m 数の実験値は, 誤差概略±20%で Eq. (1) の値に一致する傾向がある。また, Re 数600から1000までの実験値は誤差概略±20%で Eq. (3) の値に一致する傾向がある。さらに Re 数600から2500の平均 Nu_m 数の実験値と前報^{3,4)} の実験値を合わせて考察すると, 明確に遷移領域の存在が認められ, 特に Re 数1000付近は層流伝熱から乱流伝熱への遷移点であることが明確にわかる。

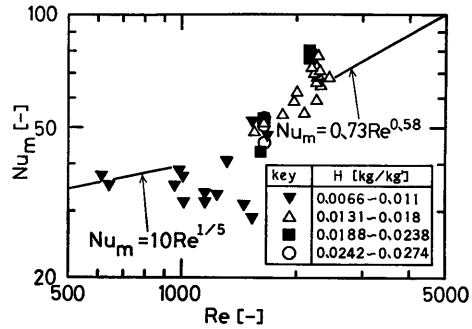


Fig. 2 Experimental value near the transition region

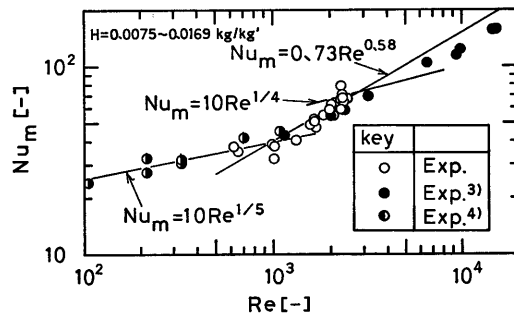


Fig. 3 Relationships between mean Nu_m and Re in the transition region

4 遷移領域における局所の最大 Nu_0 数, 背面 Nu_π 数, 最小 Nu_{min} 数.

Fig. 4 は, 遷移領域における局所 Nu 数の傾向を観察する目的から, Fig. 2 を基にして局所の最大 Nu_0 数, 背面 Nu_π 数, 最小 Nu_{min} 数と Re 数との関係を示したものである。参考のため, 前報³⁾の水円柱前面の実験式 Eq. (4)と, Mc-Adams の整理した物質移動のない円管外の平均 Nu_m 数の値 (以下, 単純伝熱の値¹⁾ という) を追記した。

$$Nu_0 = 2.9 Re^{0.48} \quad (3000 < Re < 120000) \quad (4)^{3)}$$

Fig. 4 における最大 Nu_0 数と Re 数の関係を観察すると, 実験値は誤差 $\pm 20\%$ の範囲で, Eq. (4) と一致する傾向にあることがわかる。また, Re 数1000から2000にかけて実験値の低下する傾向のあることが観察される。これは, Re 数1000付近が遷移点であり, かなり複雑な伝熱特性を示すためと考察される。

背面 Nu_π 数と Re 数の関係を Fig. 4 から調べると, 実験値は単純伝熱の値¹⁾ より大きく, それから70%の範囲内にまたがって散在することが観察される。 Re 数1000から2000にかけては, 実験値の低下する傾向のあることが観察される。

最小 Nu_{min} 数と Re 数の関係を Fig. 4 から観察すると, 実験値は Re 数1000から2000の範囲も同様に低下する傾向のあることがわかる。特に Re 数1600付近では, 単純伝熱の値¹⁾ より著しく低くなる傾向のあることがわかる。

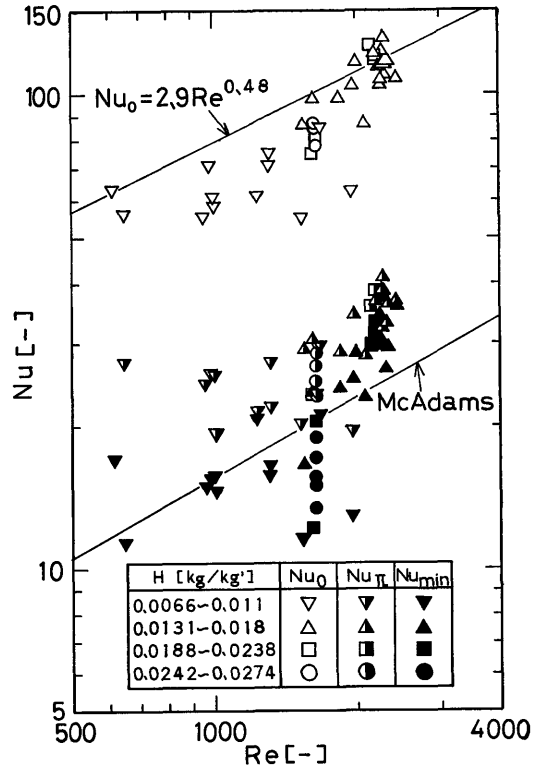


Fig. 4 Relationships between Nu_0 , Nu_π , Nu_{min} and Re in the transition region

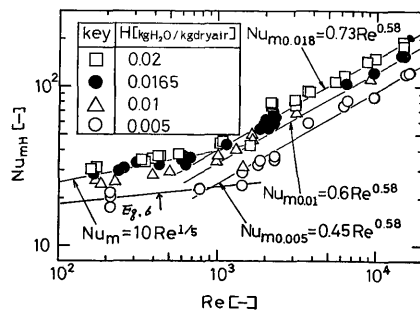


Fig. 5 Relationships Nu_{min} vs Re

5 低風速領域における Nu_{mH} 数と Re 数

特に低湿度における Nu_{mH} 数と Re 数の間の関係を実験的に求めて Fig. 5 に示した。

これによると湿度 H が 0.005 kg/kg' と小さい場合は(5)式で表わされる。

$$Nu_{mH} = 0.45 Re^{0.58} \quad (5)$$

$$Re = 1000 \sim 10000 \quad [-]$$

また, Re 数1000以下については(6)式で表わされる。

$$Nu_{mH} = 8.75 Re^{0.17} \quad (6)$$

6 遷移領域における局所 Nu 数と Re 数

Fig. 6 は, 遷移領域内での局所 Nu 数と Re 数の関係を観察するために, 湿度 0.01 kg/kg' , Re 数649, 1315, 1677 における局所 Nu 数の値を示したものである。この図を観察すると, 局所 Nu 数と Re 数の関係は前報⁴⁾ と類似した波形の傾向を示すことが明らかになった。

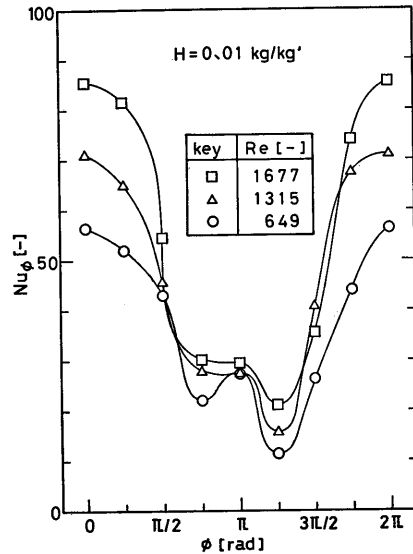


Fig. 6 Relationships between local Nu_m and Re in the transition region

結 論

風洞内におかれた水平氷円柱の融解実験を Re 数600から2500の範囲について行った。それによってえられた平均 Nu_m 数の値と, 前報^{3,4)} の実験値を合わせて検討した。その結果, Re 数1000付近に明確な遷移領域の存在することが明らかになった。

謝 辞

本研究は藤岡貴君, 越道久美君, 水田芳美嬢, 東直助君らの協力を受けた。記して感謝の意を表わす。

Nomenclature

- H = humidity [$\text{kg. H}_2\text{O/kg. dry. air}$] [kg/kg']
- Nu = Nusselt number [-]
- Re = Reynolds number [-]
- ϕ = angle [rad]

(subscripts)

m = mean

min = minimum

0 = angle 0 rad

π = angle π rad

ϕ = angle

引用文献

- 1) McAdams, W. H. : "Heat Transmission", McGraw Hill Co., New York, 3rd, p 259 (1954)
- 2) Nozawa, K. : Kagaku Kogaku Ronbunshu, 4, 325 (1978)
- 3) Nozawa, K. : Kagaku Kogaku Ronbunshu, 6, 339 (1980)
- 4) Nozawa, K. : Kagaku Kogaku Ronbunshu, 6, 533 (1980)