

603 基盤目配列された円柱周りの熱伝達に及ぼすフィンの影響

Effect of Fin on Heat Transfer Around Tubes in Aligned Arrangement

正 橋詰健一 (広島工大) ○学 末岡良章 (広島工大)
 正 松江孝博 (広島工大)

Kenichi HASHIZUME, Yoshiaki SUEOKA and Takahiro MATSUE
 Hiroshima Institute of Technology, Miyake2-1-1, Saeki-ku, Hiroshima

1. 緒言

ハイフィンチューブを用いる熱交換器の熱設計はフィン側の平均熱伝達率を何らかの方法で求め、これにフィン効率を考慮する方法により行われている。ここで用いられる平均熱伝達率は殆どの場合、フィンが巻かれていない素管部の熱伝達率もフィン表面の熱伝達率と等しいと近似して得られた実験式である。しかしながら、近年になって使用が拡大してきた高温ガス用のハイフィンチューブではフィン高さが低く、また、フィンピッチが大きくなって素管部の表面積がフィンの表面積に比べて小さくないのでこのような近似では不十分であり、精度の高いフィン側の熱伝達率を知るためには平均熱伝達率をフィン表面と素管部とに分離して調べることが必要となってくる。素管部での熱伝達は基本的には円柱周りの熱伝達であるので、筆者らは先にこの伝熱現象の基礎研究として、断熱翼状フィンを円柱に取り付け、単一円柱、一列円柱群、千鳥配列円柱群について円柱周りの局所および平均熱伝達率に及ぼすフィンの影響を明らかにし、報告(1)した。本報では引き続き行った基盤目配列円柱群についての実験結果を報告し、千鳥配列円柱群と比較する。

2. 実験装置および方法

実験装置および供試円柱は前報(1)と同じものを用いた。試験部は幅250mm×高さ100mmで、開放型吹き出し風洞の出口に設置されている。この試験部の内部に図1に示すように円柱を基盤目配列した。図中の斜線で示した1本のみがステンレス箔を巻き付けた供試円柱であり、他は全てこれと同一形状寸法のアクリル製のダミー円柱である。円柱の直径は30mmで、ここに外径54mmの断熱フィンをはめ込んだ。実験は円柱配列を基盤目にした他は、実験条件範囲共に前報と同じである。

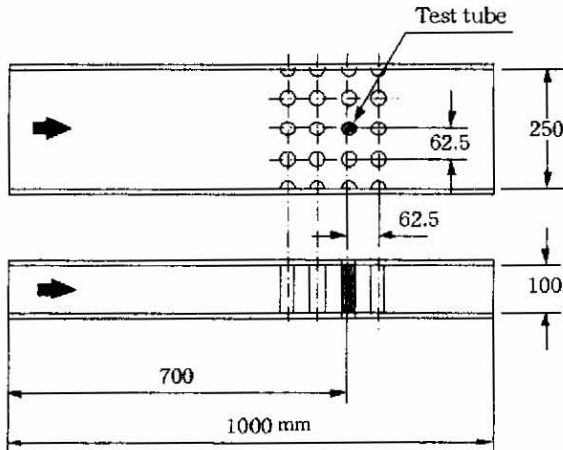


Fig.1 Test section and tube arrangement

3. 実験結果

図2は局所熱伝達率分布の実験結果の代表例としてレイノルズ数 $Re_0 = 2.8 \times 10^4$ における結果を示した図である。レイノルズ数 Re_0 は最小流路断面での平均流速で定義される。縦軸は局所表面温度と空気温度との差から導かれる局所ヌセルト数 Nu_θ 、横軸はよどみ点からの角度 θ である。図中の曲線は前報(1)で得られた千鳥配列円柱群における平滑円柱及びフィン間隔 $s=5\text{mm}$ での実験値をつないだ線である。この図より、フィン間隔 s を小さくすると千鳥配列円柱群では円柱背面でのみ熱伝達率の低下が見られたのに対し、基盤目配列円柱群では円柱全面において熱伝達率の低下が見られることが分かる。また、基盤目配列円柱群は2つの極小値を持ち、その位置は前方よどみ点及び $\theta = 150^\circ$ 付近である。最大値を取る位置は $\theta = 60^\circ$ 付近である。平滑円柱およびフィン間隔 $s=5\text{mm}$ における両配列の局所熱伝達率分布を比較すると、 $\theta = 60^\circ$ 以降の熱伝達率分布の傾向に大きな差は見られないことが分かる。

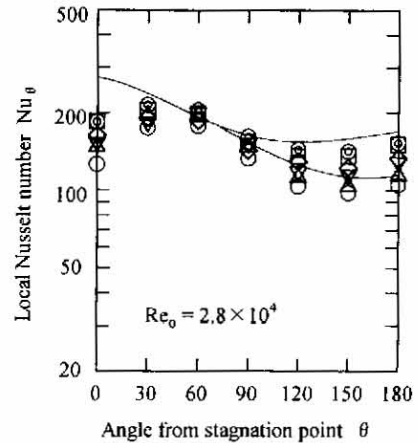


Fig.2 Local heat transfer coefficient

図3は局所熱伝達率の低下の度合いを示した図である。縦軸にフィンを取り付けた場合の局所ヌセルト数 Nu_θ と平滑円柱の場合の局所ヌセルト数 $Nu_{\theta,0}$ の比 $\eta_\theta (=Nu_\theta/Nu_{\theta,0})$ 、横軸によどみ点からの角度を取ったものである。この図より、低下の度合いが最も小さい位置は $\theta = 60^\circ$ で、低下の度合いが大きい前方よどみ点と後方よどみ点での低下の度合いはほぼ等しくなっている。

図4に平均熱伝達率分布を示す。縦軸に円柱全表面の平均温度と空気温度との差から導かれる平均ヌセルト数 Nu_0 、横軸にレイノルズ数 Re_0 をとった図であり、図中の破線は千鳥配列円柱群の平滑円柱における実験結果である。実験値は千鳥配列円柱群と同様にVDI-Waermeatlas(2)の計算値に比べて高い値を示し、約10%高い値となる。また、千鳥配

列円柱群の実験結果に比べて約10%低い値を示している。これは円柱前面において基盤目配列円柱群の局所熱伝達率が低下しているためである。

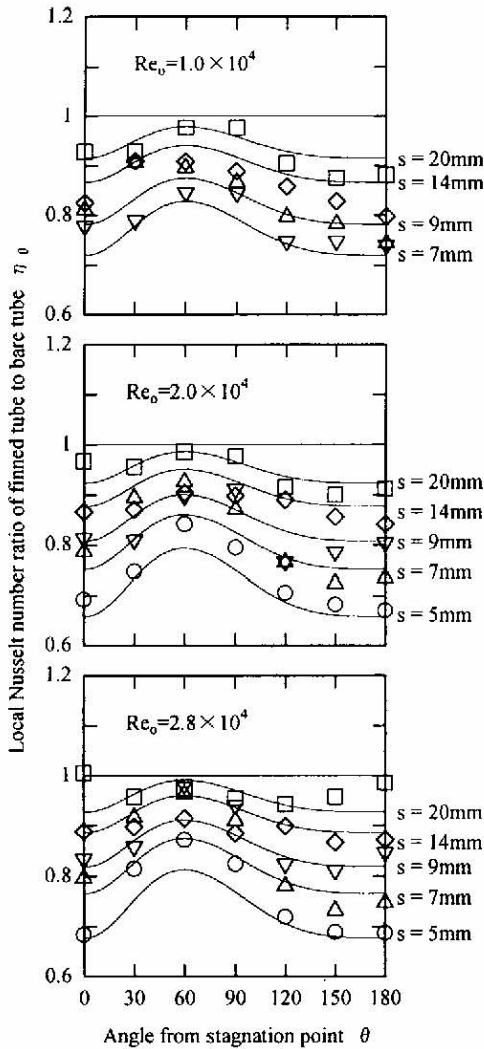


Fig.3 Fin effect on local heat transfer coefficient

図5は平均熱伝達率の低下の度合いを示した図である。縦軸にフィンを取り付けた場合の平均ヌセルト数 Nu_o と平滑円柱の場合の平均ヌセルト数 $Nu_{o,0}$ の比 $\eta_o (=Nu_o/Nu_{o,0})$ 、横軸にフィン高さ h とフィン間隔 s との比 h/s をとったものである。この図より平均熱伝達率の低下の度合いは千鳥配列円柱群と同様にレイノルズ数が大きくなるほど小さくなる事が分かる。また、フィンの影響の現れ始める点は千鳥配列円柱群よりも小さく、その値は $h/s=0.3$ である事が分かる。これは一列円柱群の値と同じである。また、配列によるレイノルズ数 Re_o の依存性は同じである。この実験点は次式で整理される。

$$\eta_o = \exp[0.61 \{1 - (h/s)/0.3\} Re_o^{-0.25}] \dots (1)$$

図5中の実線は式(1)を描いたものである。破線は前報で導いた千鳥配列円柱群の低下の度合いを表す式である。この式(1)より局所熱伝達率の低下の度合い η_θ を表す以下のような整理式を作成した。

$$\eta_\theta = \left(\exp(0.02h/s) \eta_o - \frac{H}{2} \right) + H \left[\sin \left\{ 180 \left(\frac{\theta}{180} \right)^{0.63} \right\} \right]^{3.6}$$

$$H = 0.04 \{1 + (h/s)\}$$

.....(2)

図3中の曲線はこの式(2)を描いたものである。

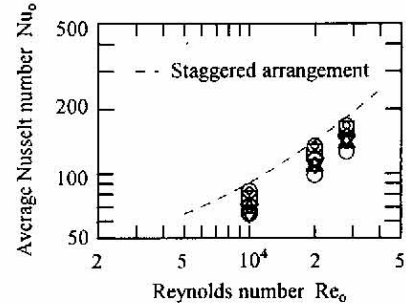


Fig.4 Average heat transfer coefficient

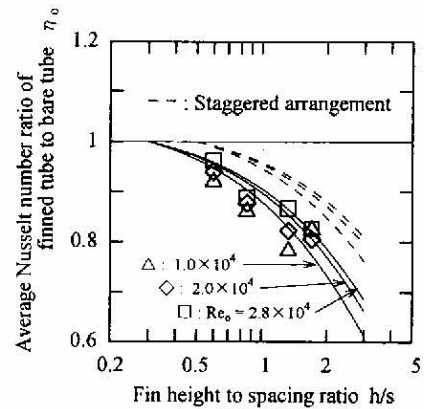


Fig.5 Fin effect on local heat transfer coefficient

Legend for Figs.2 to 4

Symbol	Fin spacing	Symbol	Fin spacing
○	5mm	◇	14mm
△	7mm	□	20mm
▽	9mm	◎	Without fin

4. 結言

- (1) 基盤目配列円柱群の局所熱伝達率分布は2つの極小値を持つが、 $\theta=60^\circ$ 以降の千鳥配列円柱群と分布の傾向に差は見られない。
- (2) 千鳥配列円柱群に比べて、基盤目配列円柱群では平均熱伝達率の低下の度合いは大きい。
- (3) フィンの影響が現れ始めるフィン間隔は千鳥配列円柱群より小さく、一列円柱群の場合と同じである。
- (4) 局所熱伝達率および平均熱伝達率に及ぼすフィンの影響を表す整理式を導いた。

記号 d : 供試円柱直径[mm], h : フィン高さ[mm], Nu : ヌセルト数($=\alpha d/\lambda$), Re_o : レイノルズ数($=u_o d/\nu$), s : フィン間隔[mm], u_o : 最小流路断面での平均流速[m/s], α : 熱伝達率[W/m²K], θ : よどみ点からの角度[°], λ : 空気熱伝導率[W/mK], ν : 空気の動粘性係数[m²/s]

参考文献 (1)橋詰・松江・末岡,機講論,985-2(1998),105-106, (2)VDI-Waermeatlas,7.erweuterte Auflage (1994),VDI Verlag,Get-Gf3