

408 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 a Tube

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

1. 緒言

ハイフィンチューブは古くから空冷用熱交換器の伝熱管として使用されてきたが、近年になって排熱回収ボイラに代表される高温ガス用へも使用が拡大されてきた。従来のハイフィンチューブはフィン高さが高く、フィン間隔も狭かったために素管部の伝熱特性は無視されてきたが、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、フィン間隔が広いために、素管部の伝熱特性が無視できない。よって、より高精度に熱伝達特性を知るためにはフィン表面と素管部の熱伝達率を個別に考慮する必要がある。素管部からの熱伝達は基本的には円柱周りの強制対流熱伝達であり、これに関しては多くの研究が行われてきているが、ハイフィンチューブ素管部の伝熱特性に直接結びつくような研究は見あたらない。ハイフィンチューブ素管部は螺旋状に巻かれた空間に存在する伝熱面であり、フィンによる速度境界層と温度境界層の干渉を受ける複雑な現象となる。本研究ではこの現象の基礎研究として、断熱環状フィンの影響を受ける単一円柱および円柱群での円柱周りの強制対流熱伝達について調べた。

2. 実験

2-1 実験装置

図1に実験装置の概略図を示す。①の送風機によって⑥のテストセクション内に室内空気を送り込む。流量の調節は②、③のバルブの開閉によって行い、その値は④に設けたコーナータップオリフィスにおける差圧を⑦のベッツ型マンメータで読み取り、JISに基づき算出した。

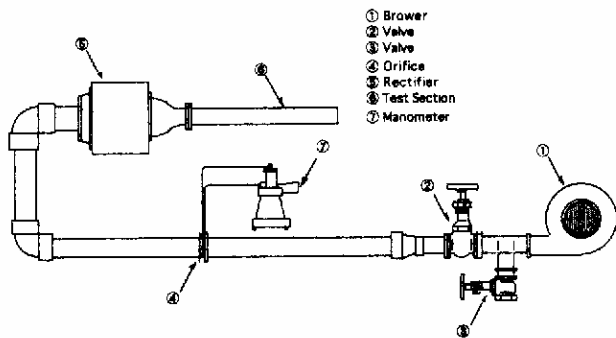


Fig.1 Experimental equipment

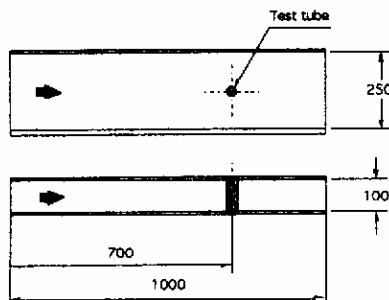


Fig.2 Test section

図2に示すテストセクションは断面250mm×100mm、長さ1000mmで、供試円柱はテストセクション入り口から700mmの位置に設置した。また、テストセクション出入口には空気温度測定用のT型熱電対が取り付けられている。円柱の配列は単一円柱、一列円柱群、千鳥配列円柱群の3パターンを採用した。図3は千鳥配列円柱群の配列であり、斜線で示す1本のみが供試円柱である。一列円柱群は流れの方向に直角に円柱を並べたものである。供試円柱以外の円柱はすべて供試円柱と同一寸法形状で非加熱のダミー円柱である。

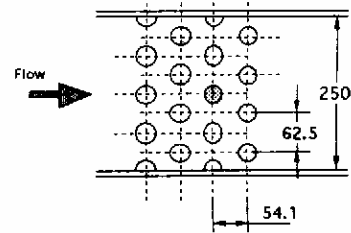


Fig.3 Tube bundle

2-2 供試円柱

供試円柱を図4に示す。直径30mm、加熱部100mmである。円柱はベークライト製の円管に厚さ0.025mm、幅5mmのステンレス箔を巻いたものを使用し、直接通電加熱した。温度の測定には図4(a)のようにステンレス箔の裏側から接着したT型シート熱電対を用いた。円管内には断熱材としてグラスウールを充填した。フィンは厚さ1mm、フィン外形54mmの紙製である。フィン間隔sは5mm、7mm、9mm、14mm、20mmと変化させ、平滑円柱との伝熱特性の違いを比較した。

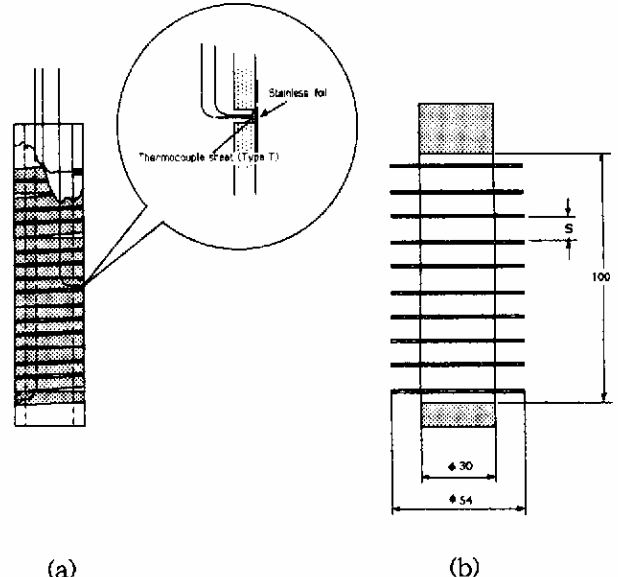


Fig.4 Test tube

3. 実験結果

図5は単一円柱の実験結果である。縦軸は円柱全表面の平均温度と空気温度との差から定義される平均熱伝達率を無次元化したヌセルト数である。横軸は最小流路断面での平均流速で定義されるレイノルズ数であり、それぞれ代表長さは円柱直径、物性値は膜温度に対応する値を用いた。図中の曲線はGnielinskiによる平滑円柱の熱伝達率整理式(1)、○が本実験における平滑円柱(フィンなし)実験値であり、両者は±5%以内で一致した。また同図より、フィン間隔を小さくすると平均熱伝達率は徐々に低下していくことが分かる。一列円柱群、千鳥配列円柱群においても同様の傾向であった。

図6は局所熱伝達率分布であり、代表として一列円柱群($Re_0=2.0 \times 10^4$)における分布を示したものである。縦軸には局所表面温度と空気温度との差で定義される局所熱伝達率を無次元化したヌセルト数、横軸はよどみ点からの角度である。円柱前面ではフィンによる局所熱伝達率への影響は小さいが、円柱背面ではフィン間隔の影響は顕著に現れ、平滑円柱において $\theta=120^\circ \sim 180^\circ$ に見られる熱伝達率の回復が弱まっていく。レイノルズ数を変化させてもこの傾向に変化は見られなかった。

図7は縦軸にフィンを取り付けた場合の局所ヌセルト数 Nu_θ と平滑円柱の局所ヌセルト数 $Nu_{\theta 0}$ の比 $Nu_\theta/Nu_{\theta 0}$ 、横軸にフィン高さ h とフィン間隔 s の比 h/s をとって示したものである。これらの実験点は次式で整理できた。

$$Nu_\theta/Nu_{\theta 0} = \exp \left[C_1 \left\{ 1 - (h/s)/C_2 \right\} Re_0^{0.25} \left(\frac{\theta}{180} \right)^{C_3} \right]$$

係数 C_1 、 C_2 および指数 C_3 は表1に示す。図中の曲線はこの式による計算値である。

Table1 Values of C_1 , C_2 and C_3

	C_1	C_2	C_3
Single tube	0.4	0.2	1.85
Single tube row	0.5	0.3	2.16
Tube bundle	0.8	0.5	2.40

ここで、係数 C_2 はフィンによる影響が現れ始める点を表し、その点は単一円柱においては $h/s=0.2$ 以上、すなわちフィン間隔がフィン高さの5倍以下になったときである。一列円柱群においては $h/s=0.3$ 、千鳥配列円柱群では $h/s=0.5$ 以上となった。

レイノルズ数の影響はどの配列においても同じであった。

4. 結言

- (1)フィン間隔を小さくすると円柱背面での局所熱伝達率の回復が弱まり、平均熱伝達率は低下する。
- (2)フィンの影響が現れ始めるフィン間隔は単一円柱、一列円柱群、千鳥配列円柱群の順に小さくなる。
- (3)局所熱伝達率に及ぼすフィンの影響を表す整理式を導いた。

参考文献

- (1) VDI-Waermeatlas, 7.erweiterte Auflage (1994), VDI Verlag, Gel-Gf3

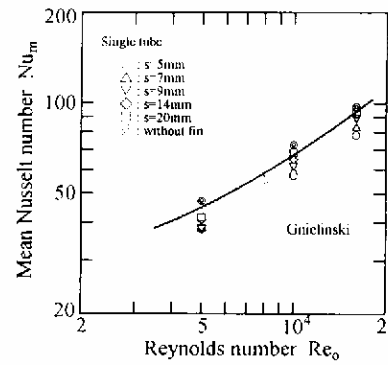


Fig.5 Mean heat transfer coefficient

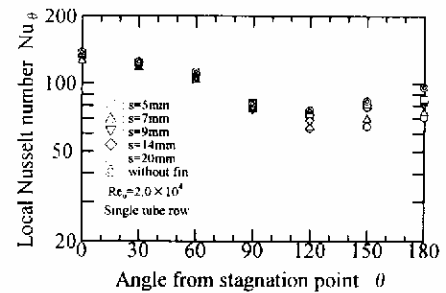


Fig.6 Local heat transfer coefficient

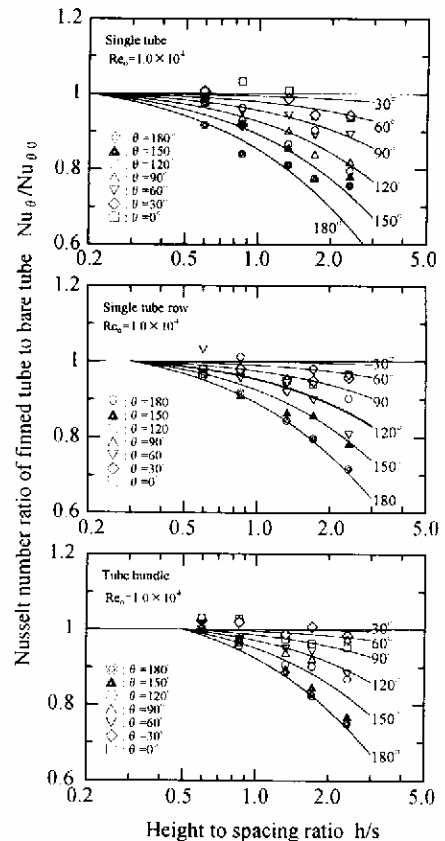


Fig.7 Fin effect on local heat transfer coefficient