

# 斜交波状フィン熱交換器の試作評価

## Experimental Assessment of Oblique Wavy Fin Heat Exchanger

伝正 \*鹿園 直毅 (東大) 井上 満 (東大)  
 澄野 慎二 (東大) 斉藤 雄介 (東大)  
 矢部 充男 (コマツ)

Naoki SHIKAZONO<sup>1</sup>, Mitsuru INOUE<sup>1</sup>, Shinji SUMINO<sup>1</sup>,  
 Yusuke SAITO<sup>1</sup> and Mitsuo YABE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mech. Eng., The Univ. of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656  
<sup>2</sup>Komatsu Ltd., Manda 1200, Hiratsuka-shi, Kanagawa 254-8567

The performance of oblique wavy fin heat exchanger is evaluated by hot water experiment. The heat transfer coefficients and pressure drops of plate fin and two oblique wavy fins are compared. It is found that the heat transfer coefficients of oblique wavy fins are twice or three times larger than that of the plate fin, while the increase of pressure drop remained at a moderate level. Thus, oblique wavy fin heat exchanger can be expected as a promising heat transfer enhancement device.

*Key Words* : Heat Exchanger, Heat Transfer Enhancement, Heat Transfer Coefficient, Pressure Drop

### 1. 緒言

単相層流域の伝熱促進手法として、前縁効果を用いたルーバフィンやスリットフィンが空調分野を中心に広く用いられている<sup>(1)</sup>。ルーバフィンはその原理から、低流速でも大きな伝熱促進効果が得られる一方で、ゴミ、凝縮水、霜等による目詰まりや、加工性の問題から更なる伝熱促進は困難な状況にある<sup>(2)</sup>。また、伝熱促進以上に圧力損失が増大してしまうという課題がある。近年、前縁効果を用いない新たな層流熱伝達促進法として斜交波状面が提案されている<sup>(3)(5)</sup>。正方形および長方形ダクトの上下壁面に斜交波状凹凸を設けることで、剥離を生じることなく有効な二次流れが発生し、層流域での伝熱特性の顕著な向上が実現できることが示されている。しかしながら、上記知見は数値計算結果に基づくものであり、実際の熱交換器での実験結果は報告されていない。

以上のような背景を鑑み、本研究では斜交波状フィンを有するコルゲートフィン熱交換器を試作し、温水実験によってその性能を評価する。熱伝達率および圧力損失の測定を通じて、斜交波状フィンの特性を実験的に評価することを目的とする。

### 2. 斜交波状フィン熱交換器

2.1 斜交波状伝熱面 福田・鹿園<sup>(5)</sup>は、図1に示すような距離 $\delta$ 離れた平行な斜交波状伝熱面間を流れる入口助走区間を含む層流熱伝達の数値シミュレーションを行った。斜交波状伝熱面は、流れ方向に傾斜した凹凸がスパン方向に一定の周

期で鏡像対称に連なった構成となっている。図1に、ピッチと波長が等しい ( $r=w$ ) 場合の対称構造の基本要素を示す。数値計算において様々な条件でパラメータを変化させたときの斜交波状面の熱伝達率  $h$  および  $jf$  因子を図2に示す<sup>(5)</sup>。パラメータは、流れ方向となす波角度  $\theta$ 、波長  $w$ 、折返しピッチ  $r$ 、および振幅  $a$  である。縦軸、横軸とも平行平板での値を用いて規格化してある。レイノルズ数にも依存するが、平板と比較して熱伝達率が最大5倍程度増加することが予測されている。また、熱伝達率と圧力損失の比である  $jf$  因子は、条件によっては平板の値と同等以上の高い値を示している。このことは、斜交波状伝熱面によれば、圧力損失の増加以上に熱伝達率を増大させることが出来る可能性があることを示している。一般に、ルーバフィンの  $jf$  因子は平板よりも劣るため、斜交波状面はルーバフィンを凌駕する伝熱促進

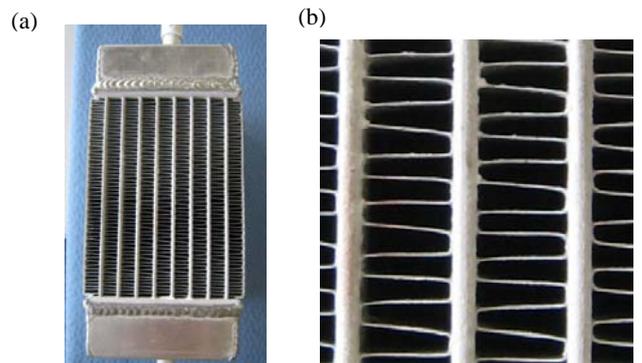


Fig.3 Prototype heat exchanger (plate fin).  
 (a) Overall and (b) magnified views.

Table 1 Dimensions of Prototype Heat Exchangers.

|                         | Plate fin | Oblique A | Oblique B |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| HEX Height (mm)         | 100       | 100       | 100       |
| HEX Width (mm)          | 76.6      | 76.6      | 76.6      |
| HEX Depth (mm)          | 100       | 100       | 100       |
| Fin pitch (mm)          | 1.75      | 1.75      | 1.75      |
| Wave amplitude $a$ (mm) | -         | 0.175     | 0.175     |
| Wave angle $\theta$ (°) | -         | 60        | 60        |
| Return pitch $r$ (mm)   | -         | 3.0       | 3.0       |
| Wave length $w$ (mm)    | -         | 1.8       | 1.167     |

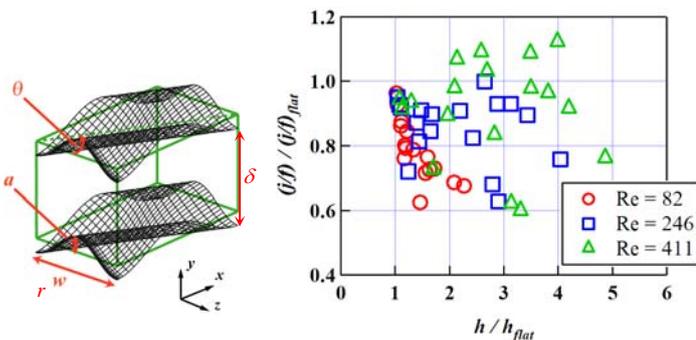


Fig.1 Oblique wavy surface<sup>(5)</sup>.

Fig.2 Heat transfer coefficient and  $jf$ <sup>(5)</sup>.

進手段としての可能性を秘めていると言える。

**2.2 試作フィン** 上記数値計算からの知見をもとに、図 3 に示すようなコルゲートフィン熱交換器を試作した。ピッチ、高さ、奥行き等の等しい平板フィンと 2 種類の斜交波状フィンの計 3 種類を試作した。量産性を考慮し、斜交波状フィンも全てプレス加工で作製した。熱交換器およびフィンの緒元を表 1 に示す。斜交波状フィン B は、フィン A よりも波長  $w$  が小さい。

**3. 実験方法**

図 4 に実験装置を示す。風量測定用風洞出口に熱交換器を接続し、温水を供給した。熱通過率は温水流量と温水出入口温度差から  $\epsilon$ -NTU 法を用いて求めた。管内側に発達した層流熱伝達率を仮定し、壁面熱伝導とともに差し引くことで、空気側熱伝達率を求めた。空気側圧力損失は、断熱時の熱交換器前後の差圧を微差圧計を用いて測定した。

**4. 実験結果**

図 5 に、空気側熱伝達率をフィン間通過風速に対してプロットした結果を示す。斜交波状フィンの熱伝達率は平板フィンよりも 2 倍以上に増加していることがわかる。また、風速が大きいくほど伝熱促進率も増加しており、これは福田・鹿園<sup>(5)</sup>の計算結果の傾向と一致する。波長  $w$  が小さい斜交波状フィン B の方が斜交波状面 A よりも熱伝達率が高い。

図 6 に、断熱時の空気側圧力損失を示す。斜交波状フィンは平板フィンよりも 2 倍以上に圧力損失が増加する。波長  $w$  が小さい斜交波状フィン B の方が斜交波状フィン A よりも圧力損失が大きく、これは熱伝達率での傾向と同様である。

図 7 は、斜交波状フィンの平板フィンに対する熱伝達率および圧力損失の増加率を整理した結果である。一般に、ルーバフィンやスリットフィンでは、平板に対する伝熱促進率は圧力損失増加率よりも小さくなるが、斜交波状フィンは数値計算から期待されていたように、伝熱促進率が圧力損失増加率を上回る結果となった。

以上、斜交波状面は通風抵抗の増加率を抑えつつ、熱伝達率を平板フィンの 2~3 倍に増加させることが出来るということが実験的に確認された。

**5. 結言**

数値計算結果に基づき、斜交波状面を施したコルゲートフィン熱交換器を試作し、温水実験にて評価した。その結果、斜交波状フィンの熱伝達率は平板フィンよりも 2~3 倍に増加した。また、風速が大きくなるほど促進率も増加した。圧力損失も熱伝達率と同様な傾向を示した。斜交波状フィンの伝熱促進率は、圧力損失増加率と同等以上であることが実験的に確認された。斜交波状フィンは、ゴミ詰まりや耐着霜性もルーバフィンよりも良好な特性が見込まれ、新たな層流伝熱促進手法として期待される。

**謝辞**

斜交波状フィンのプレス加工では、(有)和氣製作所に多大なご尽力を賜った。ここに記して謝意を表す。

**参考文献**

- (1) Webb, R. L., Principles of Enhanced Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc. (1994).
- (2) 鹿園, 冷凍, 75-875, pp.748-753 (2000).
- (3) Morimoto, et al., Trans. ASME J. Heat Transfer, 130-10, 101801 (2008).
- (4) Suzue, Y., et al., Proc. 13th Int. Heat Transf. Conf., HEX-24 (2006).
- (5) 福田・鹿園, 2007 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, pp. 293-296 (2007).

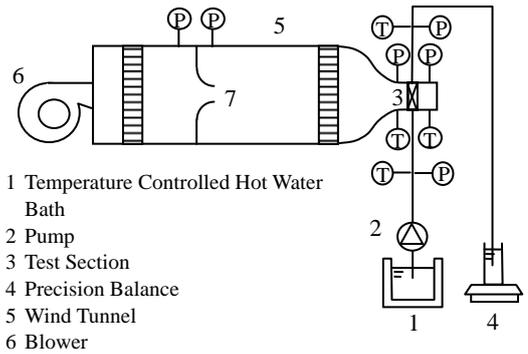


Fig.4 Experimental setup.

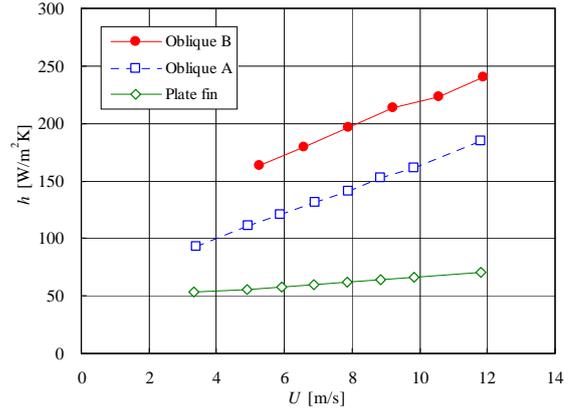


Fig.5 Measured heat transfer coefficient.

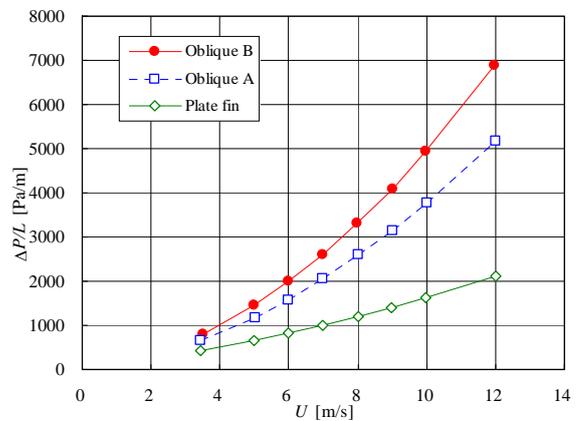


Fig.6 Measured pressure drop.

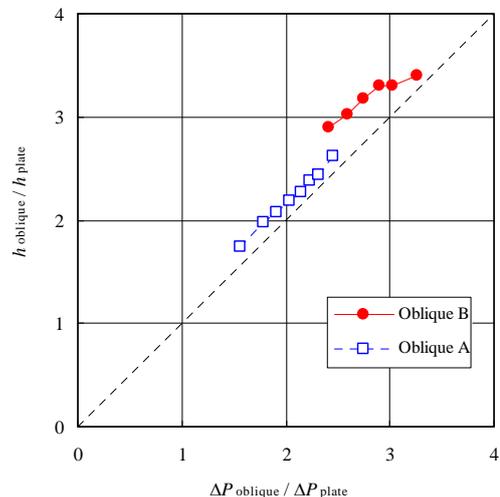


Fig.7 Heat transfer enhancement vs. pressure drop increase.