片面に凹凸を有する鉛直流路内の伝熱流動に関する研究

Study on heat transfer and fluid flow characteristics of vertical channel having grooved pattern in one side

○学 若松 昭宏 (山梨大院)
正 武田 哲明 (山梨大)

学 稲葉 隆介 (山梨大院)
正 船谷 俊平 (山梨大)

Akihiro WAKAMATSU, Ryusuke INABA, Tetsuaki TAKEDA, and Shumpei FUNATANI,
University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

The objective of this study is to investigate heat transfer and fluid flow characteristics of one side heated vertical channel having grooved pattern. This system is used as a wall of house and is discussed using as solar energy collector. The side wall is heated by radiation of solar energy and is cooled by natural convection of air. This paper describes the heat transfer and fluid flow characteristics of inside channel having grooved pattern. We have carried out a numerical analysis of natural convection in the vertical channel using the commercial CFD code. From the results obtained in the numerical analysis, it is found that air inside the channel heated by solar energy. This system has the potential to enhance heat transfer by using porous material.

Key Words: Convective heat transfer, Natural convection, Vertical channel, Grooved Pattern

1. 緒言

近年、環境への意識向上に伴い、省エネルギー技術への関心が高まっている。しかしながら、産業分野に比べ、民生分野では実際に省エネルギー化が進んでいるとは言えず、民生分野での省エネルギー化が大きな課題となっている。

そこで、省エネルギー技術として、スパンドレルを住宅壁として使い、太陽熱集熱器として使用することが検討されている⁽¹⁾。スパンドレルとは、周期的な凹凸を有する建築用の鋼板材である。また、一般的な建築資材であるため、比較的安価での導入が可能であるとされている。

スパンドレル壁面が受ける太陽熱の集熱性能を向上させるためには、スパンドレルから内壁側流路内の空気への伝熱効率を高める必要がある。また、このような場合において、流路内に高空げき率の多孔性材料を挿入することで伝熱を促進する方法⁽²⁾が提案されている。これは、流路内に繊維状の金属細線を挿入し、熱放射及び伝熱面積の拡大を利用する方法である。

そこで、本研究ではスパンドレルの集熱性能を調べることを最終的な目的とし、スパンドレルの内壁側流路内に多孔性材料を挿入した場合の伝熱流動特性を求めるため、実験装置を製作し、同時に数値解析を行った。ここでは、事前解析として、スパンドレルの内壁側流路内に何も挿入しない場合の自然対流熱伝達の解析を行い、得られた伝熱流動特性及び多孔性材料を挿入することによる伝熱促進の可能性について検討を行った。

2. 解析モデルおよび条件

数値解析は、商用の数値解析ソフト PHOENICS (英国 CHAM 社) を用いて三次元定常解析を行った。

解析モデルの概略図を Fig.1, Fig.2 に示す。本解析では、市販品のスパンドレル (672mm×800mm) を模擬するため、スパンドレルの材質には、厚さ 1mm のアルミニウムを用いた。また、スパンドレルの内側には木材と断熱材 (グラスウール) を貼り合わせた形状とし、住宅の壁を再現した。現在、市販のスパンドレル壁を用いた伝熱流動実験を実施しているが、日射を模擬するためスパンドレルの凸部分にラバーヒータを貼り付けて加熱

していることから、この実験条件に合わせるため、両端 2 つ以外の凸部分に熱流束を与えた (Fig.2 赤線部)。与えた熱流束は冬季 (1 月) の晴天日の 12~13 時における日射量を平均することにより算出した。日射量データは、(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の標準気象・日射データ⁽³⁾を用い、 437.0W/m^2 とした。また、熱流束を与えていない部分は自然放熱すると考えられるため、スパンドレル両端 2 つの凸部分、凹部分および木材の外側には大気中平面の熱伝達率の概略値として $6.0\text{W/m}^2\text{K}$ を境界条件として与えた (Fig.2 青線部)。本解析では自然対流による熱流動特性を明らかにするため、流路の上下端部の境界条件は自由流境界条件とし、流速は与えていない。また、流路下端部の空気の温度を、冬季 (1 月) の晴天日の 12~13 時における外気温を用い、 8.5°C とした。

解析格子は x 方向に 384 セル、y 方向に 89 セル、z 方向に 160 セルとした。重力は -z 方向に設定しており、浮力項の計算には Boussinesq 近似を用いた。乱流モデルには工業的に一般的な k-ε モデルの一種である低レイノルズ数 KECHEN モデルを使用できるが、本解析の範囲は概ね層流の領域であり、モデルの妥当性については検討していない。

Fig.1 Analytical model of the wall

Fig.2 Analytical model of the wall (z-cross section)

3. 解析結果および考察

数値解析により得られたスパンドレル内部の温度分布を Fig.3, Fig.5 に示し、スパンドレル内部の速度ベクトル図を Fig.4 に示す。Fig.3 は $y=55\text{mm}$ の y 断面温度分布である。8.5°C で流入した空気は流路出口において約 30°C まで加熱されることから、1 月晴天日の日射条件において、スパンドレルが太陽熱集熱器として有効に機能していることが分かる。Fig.4 は、 $y=55\text{mm}$ の y 断面速度ベクトル図である。流路中央から出口にかけて、スパンドレル中心付近の流速が速くなっていることが分かる。また、Fig.3 と比較して、温度が高くなっている流路中心部分では流速が速く、温度が低いスパンドレル両端部分では流速が遅くなっている。Fig.5 は $z=100\text{mm}$ (流路入口付近)、400mm (流路中央部)、700mm (流路出口付近) の z 断面の温度分布である。各断面において凹凸状のアルミプレート面近傍に薄い温度境界層が形成され、周囲流との温度差が 10°C 以上あることから、伝熱性能には改善の余地があり、温度が低下している部分に多孔性材料等を用いて周囲流との熱交換を促すことで、伝熱促進効果の改善が見込まれると考えられる。Fig.6 は $y=55\text{mm}$ での $z=100\text{mm}$, 400mm, 700mm における気体温度分布である。また、縦軸は流路内測定点の気体と流入気体との温度差、横軸は流路左側面からの距離を x 方向の流路幅で除した無次元距離を示している。流入した空気が流路出口付近では、約 19°C 温度上昇していることが分かる。また、温度分布は、スパンドレル壁面の凹凸に従っている。このことから、温度が低下している部分に多孔性材料を挿入することで、伝熱面拡大効果あるいは熱放射による伝熱促進効果が得られる可能性がある。

Fig.3 Temperature distribution of y-cross section ($y=55\text{mm}$) Fig.4 Velocity Vector diagram of y-cross section ($y=55\text{mm}$)

Fig.5 Temperature distribution of z-cross section

Fig.6 Line profile of temperature ($y=55\text{mm}$)

4. 結言

日射によりスパンドレル壁の凸部表面が加熱された場合のスパンドレル壁内部の伝熱流動特性を数値解析により調べた。1 月晴天日の日射条件において、スパンドレル壁は十分太陽熱集熱器として機能することが分かった。また、スパンドレル壁内部の温度分布は、スパンドレル壁面の凹凸に従っており、温度が低下している部分に多孔性材料を挿入することで、伝熱面拡大効果あるいは熱放射による伝熱促進効果を得られる可能性があることが分かった。

現在、スパンドレル壁を用いた自然対流伝熱実験を実施中であり、多孔性材料を挿入した場合のスパンドレル壁の集熱性能を調べている。

参考文献

- (1) 鈴木, 武田, 山梨講演会論文集, No.100-3 (2010), pp.94-95
- (2) 武田ら, 機論 B, 74(748), (2008), pp.2607-2614, 2008
- (3) NEDO, 標準気象・日射データ
http://www.nedo.go.jp/library/shiryou_application.html