A112 基板上に基盤目配列されたブロック群の 圧力損失と流れの可視化

防衛大 五十嵐 保, 福岡 健人*

Pressure Drop and Flow Visualization of Arrays of In-line Blocks in a Channel Flow

Tamotsu IGARASHI* and Taketo FUKUOKA*

Pressure drop of arrays of blocks arranged In-line on the wall of parallel channel was measured. The flow on the blocks was visualized by a surface oil-film method. The square block height and the pitch of the blocks were varied. The effects of the number of line and row and the other factors on the pressure loss were clarified. The coefficient of loss ζ is given by the sum of the losses of three regimes: the inlet, outlet and intermediate parts ζ_1 , ζ_3 and ζ_2 , respectively. The values of ζ_1 and ζ_3 depend mainly on the blockage ratio of the channel and the value of ζ_2 depends on the pitch and numbers of row of the block. The coefficient ζ can be formulated and the recommended equation agrees with the experimental data within $\pm 15\%$.

1. まえがき

電子機器の熱設計⁽¹⁾において重要な問題の一つは流動抵抗に関する知見である。従来の報告⁽²⁾⁽³⁾では不明な点が多く一般的結論は得られていない。本報では実装機器に近い正方形ブロックが基盤目配列された場合の圧力損失についてブロック高さ, 行数, 列数, ピッチ等を系統的に変化させて実験を行った。流路の幅, 高さを考慮して上記パラメータのブロック群の圧力損失に及ぼす影響を明らかにした。損失係数の定式化を行い, 推奨式を得た。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略とブロックの配列パターンを図1に示す。矩形ダクトのテスト部は高さ $B=30$ mm, 幅 $W=250$ mm, 長さ $L=250$ mmである。正方形ブロックは辺長 $C=30$ mm, 高さ $H=10, 15, 20$ mmの3種類である。流れと直角方向のピッチ $P_1=40, 50, 60$ mmに対し, 流れ方向のピッチは $P_2=40\sim 60$ mm まで5 mm間隔に変化させた。対応する行数 M および列数 N の最大値はそれぞれ6, 5, 4である。実験ではブロックの行数は最小 $N=2$ まで変えた。入口平均速度は $U_m=7, 8$ m/sとした。まず基板上, 上壁およびブロック表面流れの可視化を油膜法により行った。テスト部の上壁に $\phi 0.6$ の圧力タップを流れ方向に48個, 10 mm間隔に設けてある。これを傾斜マノメータに接続して流路の圧力分布を測定し, その損失ヘッドから圧力損失係数を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 流れの可視化 基板と上壁およびブロック上面の油膜模様を図2に示す。写真(a)は $H=20$ mm, ピッチ $P_1/C=P_2/C=4/3$ の場合で, ブロックまわりに馬蹄形渦は形成されない。また第1列ブロック部で縮流が起こる。この先端部での流れのはく離と縮流のため流れは加速され, ブロック上面では第1列の先端部と各列の後端部を除きはく離はない。また上壁に油膜の剥がれとはく離模様が認められる。写真(b)は $P_1/C=P_2/C=5/3$ の場合で, ブロックまわりに馬蹄形渦が形成されている。上壁にもブロック先端部上方の位置にはく離模様が現れている。基板上ではブロック列間がはく離領域となっている。写真(c)は $H=10$ mmの場合で, 上壁の油膜模様からもブロック上側の流れの増速が少ないことがわかる。写真(d)は $P_1/C=P_2/C=2$ の場合で, ピッチ間隔が広いとブロック間の流れが弱まることを示している。

Fig. 1 Configuration and symbols

* The National Defence Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239

Fig. 2 Surface oil-film patterns ($C=30$ mm, $U_m=10$ m/s)

3.2 流路の圧力分布 上壁の圧力分布の一例を図3に示す。第一列ブロックの急縮小部で圧力は急激に減少し、ピッチ P_1/C が小さくブロックが高いほど圧力降下は著しい。圧力降下は第一列ブロック上でやや回復するが中間ブロック列で低下し、最後尾ブロック下流で回復している。ピッチ P_2/C および列数 N の影響はブロック列中間部の圧力降下に顕著に現れ、ブロック入口部の圧力降下とブロック出口の圧力回復への影響は少ない。図4にブロック列の全圧力損失の分割図を示す。ブロック入口の損失ヘッド、ブロック列中間部の損失ヘッド、ブロック出口の損失ヘッドに対応する損失係数をそれぞれ ζ_1 、 ζ_2 、 ζ_3 とすれば、全損失係数は次式で与えられる。

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 \quad (1)$$

3.3 損失係数 ブロック列前後の圧力差 Δp は関係する次の因子で表示される。

$$\Delta p / 0.5 \rho U_m^2 = f(C, H, B, W, P_1, P_2, M, N)$$

流路面積 $A_0 = BW$ 、ブロックの前面面積 $A = CHM$ を用いて流路の開口比 $\beta = 1 - A/A_0 = 1 - (H/B)(C/W)M$ を導入する。管路要素の抵抗係数⁽⁴⁾の支配因子は $\delta = (1 - \beta)/\beta^2$ である。結局、損失係数は次式で表される。

$$\zeta = f(\delta, P_1/C, P_2/C, N) \quad (2)$$

3.4 損失係数の定式化 ブロック列入口部の損失係数 ζ_1 は図5に示すようにピッチ、列数に依らず因子 δ で与えられる。両者の関係を図6に示す。

$$\zeta_1 = 1.55 \delta \quad (3)$$

図7に示すようにブロック列出口部の損失係数 ζ_3 に及ぼすピッチ、列数の影響は不明確である。 ζ_3 も因子 δ の関数で与え、両者の関係を図8に示す。

$$\zeta_3 = -0.75 \delta^{0.8} \quad (4)$$

最後に、ブロック列中間における損失係数 ζ_2 とブロック列の長さ $(P_2/C)(N-1)$ の関係を図9に示す。 ζ_2 はブロック間のキャビティの長さ W と因子 δ で与えられる。

$$\zeta_2 = 0.49 \delta [(P_2/C - 1)(N - 1)]^{1.2} \quad (5)$$

Fig. 3 Pressure distributions

Fig. 4 Division of pressure loss

Fig. 5 Pressure loss at inlet

Fig. 6 Correlations of ζ_1 vs δ

Fig. 7 Pressure loss at outlet

Fig. 9 Pressure loss between inlet and outlet

Fig. 8 Correlations of ζ_3 vs δ

Fig. 10 Correlations of ζ_2 vs ζ_{2rec}

式(5)と実験値との比較を図10に示す。

結局、上式(3)~(5)より全損失係数が与えられる。推奨式より求めた全損失係数 ζ_{rec} と実験値 ζ_{exp} との比較を図11に示す。両者の誤差は±15%以内である。

4. 結論

- (1) ブロック列の圧力損失はブロック入口、出口および中間部の損失の総和で表示できる。
- (2) これらの損失係数は定式化され、推奨式は実験値と誤差±15%以内で一致する。

文献

- (1) 日本機械学会編, 電子機器冷却設計ハンドブック, (1995).
- (2) Moffat R. T., Arvizu D. E. and Ortega A., Heat Transfer Equipment, HTD Vol.48, ASME/AIChE Annual Heat Transfer Conference (1985), 17.
- (3) 松島・柳田・中山, 機論, 59-560, B(1993), 1244.
- (4) 五十嵐・稲垣, 機論, 59-561, B(1993), 1480.

Fig. 11 Correlations of ζ_{rec} vs ζ_{exp}