C 3 0 9 曲がり円管内の案内羽根周りの流れ場に関する研究

富松 重行[○](電業社), 米内山 弥生(電業社), 浦西 和夫(電業社)

Study on Flow Field around Guide Vane in Curved Circular Pipe

Shigeyuki TOMIMATSU, Yayoi YONAYAMA and Kazuo URANISHI

ABSTRACT

In order to reduce fluid loss, a guide vane is often used in a curved pipe. However, recently, some vibration or damage problems of the guide vane are reported. This is assumed that these problems are related to FIV (Flow Induced Vibration), but there are few researches about vibration or damage problems. In this paper, flow field around the guide vane in a curved circular pipe was studied. Recently, in order to reduce costs, a curved fitting is often used, instead of using a curved circular pipe. So, CFD analysis was conducted to check differences of flow field in a curved circular pipe and in a curved fitting. And there was no big difference between these results. In addition, PIV measurement was conducted to study instantaneous flow field behind a guide vane, and vortex shedding from the trailing edge of the guide vane was observed.

Keywords: CFD, PIV, Guide vane, Curved circular pipe, Vortex shedding

1. 結 論

案内羽根入り曲がり円管はポンプ吸込部や吐出し部に用いられる管路要素の一つである。曲がり円管内に案内羽根を設置すると、はく離や二次流れが抑制されて流体損失を低減できることは良く知られており、工業用プラント等で使用されている。しかしながら、ポンプ吸込部もしくは吐出し部に案内羽根入り曲がり円管を用いた場合、案内羽根が振動し、場合によっては損傷するといった事例が近年報告されている。この案内羽根の振動現象は流体関連振動の一種であると考えられるが、案内羽根の振動現象もしくは振動時の流動状態を取り扱った研究はまだ少ない¹⁾。

Fig. 1 Example of fitting

本研究では案内羽根入り曲がり円管内の流動状態を把握することを目的としている。近年コスト縮減策の一つとして、Fig. 1に示すような溶接で管をつなぎ合わせた異形管が曲がり流路部によく用いられる。案内羽根の損傷事例としてあげられる管の構造は、曲がり円管のみならずこのような異形管の場合もある。そこで、CFDによる解析では曲がり円管の形状について検討した。さらに、PIVによる計測では非定常流れ場の流動状態について検討した。

2. 実験および解析

2.1 実験および計測方法

Fig. 2に実験装置の全体図を示す。実験はテストセク

Fig. 2 Experimental Setup

Fig. 5 Mean velocity vectors and contour

析結果が実験で計測された速度分布とよく一致するという結論を得た^{4),5)}。そこで、乱流モデルには SST $k-\omega$ モデルを用いた。

管形状の違いによる管内流動状態の違いを調べるために、曲がり円管と曲がり異形管について CFD 解析をそれぞれ行ったが、曲がり円管と異形管の管中心軸の曲率は同じ $R_c=170$ mm であり、したがって、デーン数はともに 5.1×10^5 である。

なお、今後案内羽根を基準に管の内側を案内羽根腹面側、外側を背面側と表現する。

3. 結果および考察

3.1 管形状の違いによる内部の流動状態

Fig. 5 に曲がり管内流れ場の CFD 解析を示す。(a) が曲がり円管内流れ場の解析結果を、(b) が曲がり異形管内流れ場の結果をそれぞれ表す。ここで、 u 、 v は x 方向および y 方向の各速度成分である。

図より、入口直管部において、主流方向速度成分はともにわずかに管内壁側に偏ることがわかる。

曲がり管部では、管形状の違いに関係なく案内羽根背面側近傍の領域に速度の大きい領域が形成されることがわかる。また、管内側の壁近傍にも速度の大きい領域が形成されることがわかる。この速度の大きい領域の形成位置およびその値は、曲がり円管、異形管の違いに関わらずほぼ同じであった。また、管外側の壁近傍では、曲がり円管の場合ははく離領域がほとんど存在しないのに対して、異形管の場合ははく離領域が存在することがわかる。特に異形管の継ぎ目部分の周辺で、はく離領域が顕著に観察された。

最後に、出口直管部についてであるが、管内側の壁近傍にはく離領域が形成されており、その位置および大きさは、曲がり円管、異形管ともにほぼ同じである。また、

曲がり円管の場合、案内羽根腹面側を通ってきた流れおよび案内羽根背面側を通ってきた流れは、管壁に対してほとんど平行に流れることがわかる。これに対して曲がり異形管の場合、案内羽根腹面側を通ってきた流れは管壁に対してほとんど平行に流れるが、案内羽根背面側を通ってきた流れは管外側の壁に向かって流れることがわかる。これは、管形状の違いから遠心力の作用の仕方に違いがあることが原因、すなわち二次流れの発生の仕方に違いがあることが原因と考えられ、結果として案内羽根後方に放射状の低速領域が形成されていると考えられる。この低速領域は曲がり円管の場合も形成されるが、曲がり円管の場合より異形管の場合のほうが大きいことがわかる。

曲がり円管と異形管内の流動状態の大きな違いは、曲がり管部外側のはく離領域と案内羽根後方の低速領域の二点で、それ以外の領域ではさほど大きな違いは見られなかった。

3.2 案内羽根後方の流動状態

Fig. 6 に案内羽根後方領域の瞬時の速度ベクトルおよび渦度分布を示す。各図下の時間は、任意の時間 $\Delta t=0$ を基準とした経過時間をそれぞれ表す。渦度 ζ は次式より求めた。

$$\zeta = \frac{t}{U_0} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (3)$$

ここで、 t は案内羽根の厚さ ($t=3$ mm) を表す。

図より、出口直管内側の壁近傍にはく離領域が形成され、その大きさは刻一刻と変化していることがわかる。同様に、案内羽根背面側にもはく離領域が形成されて、その大きさは刻一刻と変化している。

また、渦度分布に着目してみると、 $\Delta t=0$ s の時、案内羽根の後端から後方に負の渦度を持つ領域が線状に延

Fig. 6 Instantaneous velocity vectors and vorticity contours near guide vane

びており、 $\Delta t=0.25$ s、 $\Delta t=0.5$ s の時は、負の渦度を持つ領域は多少分裂した形となる。 $\Delta t=0.75$ s の時は、案内羽根後方に分裂した渦列が形成されていることがわかる。最後に、 $\Delta t=1.0$ s の時は、再び案内羽根の後端から後方に負の渦度を持つ領域が線状に伸びていることがわかる。

これら案内羽根腹面側の後端より線状に伸びている負の渦度分布の領域はせん断層の放出と考えられる。さらに、放出されたせん断層は下流に進むにしたがって巻き込まれて分裂し、渦を形成する場合があると考えられる。これらの渦は常に観察できるわけではないことから、不安定な渦列であると考えられる。

4. 結 論

案内羽根入り曲がり管内流れ場を解析、計測し次の結論を得た。

- (1) 案内羽根入り曲がり円管、異形管を SST $k-\omega$ モデルを用いて解析した結果、曲がり円管部外側の壁近傍で、はく離領域の大きさに違いが見られた。また、案内羽根後方の低速領域は円管の場合よりも異形管のほうが大きかった。それ以外の領域では、流動状態の違いはあまり見られ

なかった。

- (2) 案内羽根後方を PIV 計測した結果、案内羽根後端の腹面側よりせん断層の放出が起こり、下流に進むにしたがってせん断層は分裂し、渦列を形成する場合があることがわかった。

参 考 文 献

- 1) Miyagawa, K., Kawata, Y., and Iwasaki, Y.: Study on the Vibration Mechanism of Hydraulic Turbine Stay Vanes, Proc. of 7th AICFM, Fukuoka, Japan (2003), #40026.
- 2) 杉山均, 秋山光庸, 篠原康則, 人見大輔: 代数応力モデルによる 90° 曲がり円管内乱流の数値解析, 機論, 63-610, B (1997), pp. 1920-1927.
- 3) 須藤浩三, 高見敏弘: レイノルズ応力モデルによる曲り円管内乱流の数値解析, 機論, 54-506, B (1988), pp. 2755-2761
- 4) 富松重行, 米内山弥生: 案内羽根入り曲がり円管内流れ場の PIV 計測と CFD 解析, 電業社機械, Vol. 27 No. 2, (2003), pp. 7-11.
- 5) 富松重行, 米内山弥生, 浦西和夫: PIV 計測と CFD 解析による案内羽根入り曲がり円管内流れ場に関する研究, 日本機械学会東海支部第 53 期総会・講演会論文集, No. 043-1, (2004), pp. 277-278.