The internal flow of high specific speed mixed-flow pump.

○正 宮部 正洋 (西島製作所)

Masahiro MIYABE, Torishima Pump Mfg. Co., Ltd., 1-1-8 Miyata-cho,
Takatsuki-shi, Osaka, Japan.

To shorten the term of the pump development has been required. In order to grasp the possibility of CFD, the internal flow in a high specific speed mixed-flow pump was analyzed by experiments and by CFD in the wide range of capacity. The velocity distributions and total pressure distributions at design point were reasonably predicted. But the prediction of the adverse flow at impeller inlet was difficult at the partial flow ($Q/Q_{opt}=0.53$). That was the reason why the head rise coefficient and the shaft power coefficient were overestimated.

Key Words : Mixed-flow pump, High specific speed, EFD, CFD

1. 緒言

社会資本を洪水から守る排水機場向け排水ポンプ及び、発電所向け循環水ポンプに対してコスト削減を目的とした高比速度化が求められている⁽¹⁾。これに対する技術的課題としては、設計点で良好な効率を維持しつつ、非設計点では部分流量域における漸降特性と軸動力増大の抑制、更に大流量域での良好なキャビテーション性能が挙げられる。

近年、ターボ機械の流体設計にはCFD技術が広く利用されるようになった⁽²⁾。上記課題をクリアするポンプの開発リードタイム短縮のため、CFDを積極的に活用する第一段階として、広い流量範囲において実験と解析の定量的評価を行う必要がある。そこで、斜流ポンプ内部流れについて五孔ピトー管を用いて測定したものと、市販の流体解析ソフトを用いて解析した結果の比較を行ったので、ここに報告する。

2. 実験装置及び方法

図1に本実験装置全体を示す。供試ポンプは比速度 $1670(\text{min}^{-1}, \text{m}^3/\text{min}, \text{m})$ で、羽根枚数はインペラが4枚、ガイドベーンは9枚を有している。インペラ部分でキャビテーションが発生しない程度にシステムの圧力を高くして実験を行った。

図2はピトー管計測を実施した斜流ポンプの断面図である。 $Q/Q_{opt}=0.3, 0.53, 0.75, 1.0, 1.25$ の各流量において、Pos.1~3で五孔ピトー管をトラバースして時間平均特性を、Pos.4~6で歪み式差圧変換器を用いて壁面静圧を測定した。ピトー管を用いた測定により得られた速度を流路スパン方向に積分して求めた流量と、電磁流量計で測定した流量との差は $\pm 5\%$ であった。

3. 数値解析

数値解析は市販の流体解析ソフトを用い、指定領域格子が回転移動する非定常解析を行った。レイノルズ平均NS方程式と連続の式を四面体要素及びプリズム要素による有限体積法で離散化し、乱流モデルには標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いた。境界条件は入口に質量流量条件を、出口に静圧一定条件を与え、要素数は全体で約120万とした。実験値との比較の際は以下のように評価した。ポンプ全揚程は、ある時刻における流量平均値とし、軸動力及び速度静圧、全圧はインペラ1回転分の平均値で評価した。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Sectional view of test pump

4. 結果と考察

図3にポンプ性能に関する実験値と解析値の比較を示す。設計点付近での性能予測はかなり良好であるが、部分流量域では全揚程、軸動力共に解析値は大きく算出されていることが分かる。

図4～7に図2のPos.1～3における、部分流量時の速度分布に関する実験と解析の比較を示す。ここには示していないが、設計流量及び大流量における速度分布及び全圧分布は、かなり良好に予測出来ている。図2におけるPos.4で、流量と静圧の関係を測定し、インペラ入口チップ側の逆流開始流量を求めたところ、 $Q/Q_{opt}=0.53$ であった。このとき、図4に示すように、比較的規模の大きい逆流が急激に生じている。この流量の時、解析ではインペラ出口及びディフューザ部速度分布は比較的良好に予測出来ているものの、インペラ入口では大きく異なっており、特にチップ側の逆流と、その旋回を捉えることが出来ていない。このため部分流量域では全揚程、軸動力共に解析値は大きく算出されるものと考えられる。

$Q/Q_{opt}=0.3$ の時、図6に示すように比較的良好にインペラ入口チップの逆流を捉えているものの、この逆流の旋回速度は実験値に比べて非常に小さい。また、この流量では、インペラ内フローパターンが遠心型に変わっており、解析でもその傾向が見られることが図4,7から分かる。更に、今回実験を行ったポンプでは、失速による入口予旋回が急増した時点で、フローパターンが遠心型に変化していないが、右上がり不安定性能は現れていない。

5. まとめ

CFDを積極的に活用するため、速度分布等について実験値と解析値との比較を行い、以下の知見を得た。

- (1) 設計点付近及び大流量での性能予測は非常に良好である。
- (2) 失速流量において、解析ではインペラ入口逆流と、その旋回を捉えることが出来ない。
- (3) 失速流量より小流量側では、インペラ内フローパターンの変化を捉えている。

参考文献

- (1) 豊倉富太郎他1名, “大形斜流・軸流ポンプの発展”, ターボ機械, 25-1(1997), p.10
- (2) 例えば, Sakurai et al., 1999, "Pump Design System based on Inverse Design Method and Its Application to Development of diffuser Pump Series", ASME FEDSM99-6845, p.885

Fig.3 Comparison between EFD and CFD on overall pump performances.

Fig.4 Comparison between EFD and CFD on meridional velocity at off-design point.

Fig.5 Comparison between EFD and CFD on peripheral velocity at off-design point.

Fig.6 Comparison between EFD and CFD on velocity at impeller inlet.

Fig.7 Comparison between EFD and CFD on velocity at impeller outlet.