遠心圧縮機羽根車における複雑渦流れ場の数値解析

Numerical Simulation of Vortical Flow Field in a Centrifugal Impeller

才木一寿,九大,812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1, saiki@mech.kyushu-u.ac.jp

古川雅人, 九大, furu@mech.kyushu-u.ac.jp

井上雅弘,九大, ino@mech.kyushu-u.ac.jp

茨木誠一,三菱重工業㈱長崎研究所,851-0392 長崎市深堀町 5-717-1,ibaraki@ngsrdc.mhi.co.jp 東森弘高,三菱重工業㈱長崎研究所,higa@ngsrdc.mhi.co.jp

Kazuhisa SAIKI, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581 Masato FURUKAWA, Kyushu University

Masahiro INOUE, Kyushu University

Seiichi IBARAKI, Mitsubishi Heavy Ind.s Ltd., 5-717-1, Fukahori-machi, Nagasaki 851-0392 Hirotaka HIGASHIMORI, Mitsubishi Heavy Ind.s Ltd.

Complicated flow field in a centrifugal compressor impeller has been investigated by three-dimensional Navier-Stokes flow simulation. The semi-analytic method for identifying vortex was applied to visualize the vortical flow field. The simulation shows that the vortex structure contains leading edge separation vortex, tip leakage vortex, horseshoe vortex and corner vortex. The complicated vortex structure dominates the nature of flow field inside the centrifugal impeller.

(1)

(2)

ターボ機械の羽根車においては翼端漏れ渦,馬蹄形渦およ びコーナーはく離渦など組織的渦構造が現れることが広く 知られている.しかし,遠心圧縮機羽根車の場合,流線の曲 率に基づく遠心力およびコリオリカにより,翼端へ向かう極 めて強い二次流れが翼面境界層内に生じる.さらに,翼端す き間を通り抜ける翼端漏れ流れおよびケーシング面と羽根 車の相対運動による影響も相俟って,流れ場は一層複雑な様 相を呈することになる.そのため,遠心羽根車における内部 流れ場の把握は容易ではない.本研究では,遠心圧縮機羽根 車の内部流れについて定常 Navier-Stokes 数値シミュレー ションを実施し,羽根車内に形成される渦流れ構造に着目す ることにより,その複雑流れ場の詳細な解析を行った.

計算対象は羽根車外径446mmのメインブレード6枚およ びスプリッターブレード6枚で構成されるスプリッター付遠 心羽根車(1)である.スプリッターを含むメインブレード翼 列の1ピッチ間を解析対象とし,マルチブロック形の計算格 子を用いた.すなわち,メインブレードとスプリッターブ レードの翼間に主流部の格子(計2ブロック)を生成し,メ インブレード翼端すき間部およびスプリッター翼端すき間 部にそれぞれ1ブロックをはめ込んだ合計4ブロックから成 る複合格子である.なお,各領域でH形の構造格子を形成 し,主流部では流れ方向に136セル,スパン方向に85セル, ピッチ方向に75セル設定した.翼端すき間部にはめ込まれ た格子は,メインブレードすき間部においてコード方向 100,ピッチ方向10,スパン方向10セル,スプリッターす き間部においてコード方向60,ピッチ方向10,スパン方向 10セルから構成された.セル総数は1,750,000セルである.

数値計算手法として,有限体積法を用いた緩和形陰的高解 像度風上スキーム(2)を用いた.非粘性流束は MUSCL 形の 高次精度 TVD 法により評価され,粘性流束は中心差分的に 評価された.なお,乱流モデルには Baldwin & Lomax の代数 乱流モデルを適用した.さらに,流れ場の可視化に Critical point 理論に基づく渦の同定法(3)および無次元へリシティ (4)を適用し,遠心圧縮機羽根車内に生じる渦構造を抽出し た.

図1に供試遠心羽根車を上流側から眺めた計算結果を示す.同定された渦コアに無次元ヘリシティがグレースケール 表示されている.さらに,図中にはハブ面および翼面上の限 界流線が黒線で示されている.まず限界流線には,翼面上に ハブから翼端へ向かう強い二次流れが,ハブ面上に圧力面か ら負圧面へ向かう二次流れが認められる.特に,メインブレード負圧面上の前縁付近に前縁はく離が生じていることが限界流線から明らかである.このはく離領域内には前縁はく離渦が形成され,メインブレード翼端の前縁近傍から巻きあがる漏れ渦と干渉している.このメインブレート翼端から放出される渦構造を伴う低エネルギー流体は,遠心力によりケーシング面上に集積し,スプリッター前縁に衝突する.その結果,スプリッター翼端側には馬蹄形渦の巻き上がりが明瞭に認められる.さらに,この供試羽根車内の流れ場においてはスプリッター翼端漏れ渦およびハブ・圧力面のコーナー渦などが生じて極めて複雑な渦流れ構造を呈しており,これらの渦の挙動が羽根車の性能および特性に顕著な影響を及ぼしていると考えられる.



- 36.
 (3) Sawada, K., Trans. Japan Soc. of Aero. Space Sci., Vol. 38, No. 120 (1995),
- pp. 102-116.
 (4) Levy, Y., Degani, D., and Seginer, A., AIAA Journal, Vol. 28 (1990), pp. 1347-1352.



Fig.1 Vortex structure and limiting streamlines on wall surface in centrifugal impeller