ポンプの吸込み性能改善に及ぼすインデューサの 入口角と出口角の影響*

田 原 晴 男**, 真 鍋 明***

Influence of Inlet and Outlet Angles of Inducer on Improvement in Suction Performance of Centrifugal Pump

by Haruo TAHARA and Akira MANABE

When inducer is attached to centrifugal pump in order to improve the suction performance of the pump, the inducer is required to have better suction performance and enough total head. Then cambered inducer which is expected to satisfy these requirements is suggested because its inlet and outlet angles can be selected independently.

In this paper, experimental studies of several cambered inducers that were made on same design conditions except inlet and outlet angles were performed and followings were clarified. First, the outlet angle had effects on the exit flow condition and the total head of inducer. Second, the suction performance of the pump equipped with inducer was determined by inlet angle but influenced by the suction performance of pump when the total head of inducer was not enough.

Key Words: Hydraulic Machine, Cavitation, Suction Performance, Cambered Inducer, Inlet Angle, Outlet Angle

1. 緒 言

遠心ポンプの吸込み性能を改善する有力な方策の一つとしてインデューサの取付けが提案され、産業用のポンプについてもかなりの実施例^{(1)~(3)}がある。

インデューサにより吸込み性能を改善するためには、インデューサ自体の吸込み性能がポンプの吸込み性能を上まわっていることと、ポンプの羽根車においてキャビテーションが発生しないように十分な予圧ができることが必要である。前者に対する解決策はインデューサ自体の問題としてその入口付近の最適設計を行うことによって得られ、後者に対してはインデューサの全揚程がポンプの吸込み性能に直接関係して要求される⁽⁴⁾⁽⁵⁾。この二つの設計目標は全く独立して与えられるので、目標への到達を別途に考えることができれば、設計は容易に逐行できるものと考えられる。

インデューサの性能を決定する設計パラメータは吸込み性能についても揚程性能についても非常に数が多く、多くの研究^{(4)~(8)}がなされている。平板インデュー

サの場合には、羽根角度は入口と出口で同一であり、羽根角度の決定により吸込み性能と揚程性能が同時に決まるが、入口角と出口角を別々に選定することができれば、入口角によって吸込み性能が、出口角によって揚程性能が大きな影響を受けるであろうことはすでに報告されている⁽⁹⁾。入口角と出口角が異なるインデューサはそりつきインデューサと呼ばれているが、報告された例⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾は比較的少なく、その性能は十分明らかとは言えない。

本論文では、各々の性能に及ぼす影響を、互いに独立して与えると思われる入口と出口の羽根角度をパラメータに選び、実験結果により検討した結果を述べる。

2. 記 号

H : 全揚程または全圧ヘッド m
 H_{ID} : インデューサの全揚程 m
 h_{sv} : NPSH m
 H_{sv} : 必要 NPSH m
 (揚程降下が3%となるとき NPSH)
 P : 軸動力 kW
 Q : 吐出し量 m^3/min
 R : 半径比 $= r/r_i$

* 昭和57年8月28日 第927回講演会において講演、原稿受付 昭和59年2月27日。

** 正員、筑波大学構造工学系 (〒305 茨城県新治郡桜村天王台1-1-1)。

*** 准員、筑波大学大学院。

β : 羽根角度 $^{\circ}$ η : 効率 % ϕ : 絶対速度無次元値 $=c/u_t$ Φ : 流量比 $=(Q/Q_n) \times 100$ % ψ : 全圧ヘッド無次元値 $=2gH/u_t^2$ ψ_s : 静圧ヘッド無次元値 $=2gh/u_t^2$

MP: ポンプ

ID: インデューサ

ただし

 c : 流れの絶対速度 m/s g : 重力の加速度 m/s^2 h : 静圧ヘッド m r : 半径 m u : 周速度 m/s

添字

 a : 軸方向成分 u : 周方向成分 n : 規定吐出量 t : インデューサチップ

1: インデューサ入口

2: インデューサ出口

3. 実験装置と実験方法

実験装置は圧力タンクを有する回流管路方式である。インデューサを取付けたポンプの構成を図1に示す。インデューサ部の外壁④は透明なアクリル製で、この部分におけるキャビテーションの発生状況の観察ができる。ポンプ①は、吐出量 $1.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 、全揚程 30 m、回転数 2 750 rpm、所要軸動力約 10 kW の単段うず巻ポンプである。インデューサ②は、チップ径 124 mm、ボス径 32 mm、軸方向羽根長さ 100 mm、羽根枚数 2 枚であり、入口角と出口角について 7 種類の異なる組合せをもつものにつき実験を行った。表1にこれらインデューサのチップにおける羽根入口角、出口角および弦節比を示す。インデューサの名称は、ID (8-12) のように表すものとし、括弧内の数字は入口角と出口角をそれぞれ示す。入口角 8, 12, 16° はそれ

図1 インデューサ付ポンプの構成

ぞれ流量比 Φ が 100, 150, 210% となるときの無衝突流入角に一致している。いずれのインデューサについても、任意の半径における羽根角度と半径との関係は

$$r_1 \tan \beta_1 = (r_1 \tan \beta_1)_t$$

$$r_2 \tan \beta_2 = (r_2 \tan \beta_2)_t$$

であり、この関係は、入口の流れについては、チップにおける入口角が無衝突流入角と一致する流量のときには、すべての半径において無衝突流入することを、出口の流れについては羽根数無限の理論揚程が半径の二乗に比例することを意味している。羽根の形状には一円弧を用いた。

吸込圧力の測定は、インデューサ部入口フランジから 250 mm 上流で、吐出し圧力の測定はポンプの吐出しフランジから 300 mm 下流で測定した。インデューサの入口または出口における流速および圧力分布の測定は、それぞれ羽根の前縁または後縁より 30 mm 離れた断面⑤、③において、検定ずみの五孔ピトー管を用いて行った。

4. 入口流れと出口流れ、全揚程

図2および図3にインデューサ ID(12-12)をポンプに取付けたときの入口流れと出口流れを、キャビテーションが発生していない状態で測定した結果を流量比をパラメータとして示す。

図2は、入口流れの変化を示す。流量比 100% の付近では流れの状態は半径方向にほとんど変わらないが、流量比が 60% 以下になるとチップ付近で旋回を伴う逆流の発生が観察される。

図3は、出口流れの変化を示す。流量比が 40% 以下になるとボス付近に逆流が発生する。静圧および全圧の分布は、チップで最大、ボスで最小となる。ここでは例として ID(12-12) について述べたが、これらの傾向は他のインデューサについても同様である。

図4に5種類のインデューサについて流量比が

表1 インデューサの入口角、出口角および弦節比

	Blade Angle [deg]		Solidity
	Inlet	Outlet	
ID (8-12)	8.3	11.9	2.93
ID (8-16)	8.3	16.2	2.43
ID (12-8)	11.9	8.3	2.93
ID (12-12)	11.9	11.9	2.49
ID (12-16)	11.9	16.2	2.12
ID (16-8)	16.2	8.3	2.43
ID (16-12)	16.2	11.9	2.12

40%のとき入口角と出口角が及ぼす入口流れへの影響を示す。この流量比においていずれの場合も入口流れに逆流が見られるが、流れの傾向は入口角によってほぼ決まることを示している。

図5は、4種類のインデューサについて、流量比が100%のときの入口角と出口角が及ぼす出口流れへの影響を示す。出口流れはほぼ出口角によって決まることを示している。周方向速度、静圧および全圧については入口角の影響も若干みられ、それらの値は入口角が小さいほうがやや小さい。

なお、入口流れおよび出口流れにおける静圧ヘッドおよび全圧ヘッドは、吸込圧力測定断面における全ヘッドを基準として示してある。この断面における静圧ヘッドは壁面静圧から、速度ヘッドは平均流速から求めたもので、全圧ヘッドはそれらの和である。

図6に出口流れの測定結果から計算したインデューサの全揚程と流量比との関係を示す。全揚程は出口における全圧の流量荷重平均の値である。インデューサの全揚程は、出口角によってほぼ決まり、流量比が増加すると急速に減少する。

上述のように、出口流れには出口角の影響が大きく、したがって全揚程も出口角の影響を大きく受ける。適切な全揚程をもつことはポンプにおける揚程降下を起こさせないために必要で、このためには出口角

の適切な選定が重要である。

5. 総合ポンプ性能

出口角が12°で入口角が異なるインデューサ3種をポンプに取付け、キャビテーションが発生していない状態で試験を行い、得られた総合性能を、ポンプ単体の場合も併せて図7に示す。規定吐出量付近ではインデューサの影響はほとんどないが、部分流量域では全揚程、軸動力が増加しており、全揚程については、入口角が小さいものほどその値が大きく、軸動力については入口角が大きいものほどその値が大きい。これは、図4に例示した部分流量域における入口流れにおいて、入口角が大きいほど旋回の大きい逆流を形成していることが原因になっているものと思われる。

図7には示されていないが、同様の試験条件で、入口角が等しく出口角が異なるインデューサを取付けた場合にも、部分流量域において全揚程、軸動力が増加するが、出口角の影響はほとんどない。

6. 総合吸込み性能

実験はすべてのインデューサをポンプに取付けて行われたが、例として図8にインデューサID(12-12)を取付けた場合の総合吸込み性能を流量比をパラメータとして示す。図8に示されるように揚程降下の状況は、

図2 吐出量による入口流れの変化
[ID(12-12)]

図4 入口角と出口角の入口流れへの影響
($\phi = 40\%$)

図3 吐出量による出口流れの変化
[ID(12-12)]

図5 入口角と出口角の出口流れへの影響
($\phi = 100\%$)

流量比 60% 以上では NPSH の値が揚程降下開始点より減少すると直ちに急降下するが、流量比 40% 以下では揚程変化の傾向が変わり、揚程が降下し始めてからしばらくは急降下する状態に至らない。この傾向は他のインデューサについても同様である。

図 9, 10 は、流量比が 80% と 100% のときの吸込み性能をインデューサの入口角によって分類し、ポンプ単体の場合と比較して示したものである。流量比 80% の場合には、いずれの入口角の場合においてもインデューサを取付けたときの吸込み性能は、ポンプ単体のときに比べて大幅に改善されており、その改善量は同一入口角であれば出口角によらずほとんど同じである。流量比 100% の場合についても、一部のインデューサを除き吸込み性能の改善量は出口角には関係なく入口角によってほぼ決まるが、ID(12-8) と ID(16-8) の場合は例外で、この場合の吸込み性能は同一入口角の他の場合と全く異なる傾向を示し、ポンプ単体と同程度またはそれ以下の性能となる。

図 11 に入口角が 12° で出口角が異なる 3 種のインデューサを取付けた場合の必要 NPSH と流量比との関係を示す。流量比が 80% 以下のときには、必要 NPSH はほとんど同一で、出口角による影響はあまりみられない。しかし、流量比が 80% を越えると ID(12-12) と ID(12-16) についてはほとんど差がないが、ID(12-8) の場合は必要 NPSH が急激に増加し、流

量比 100% を越えるとポンプ単体の必要 NPSH より大きな値となる。この原因は、流量比 80% 以上では ID(12-8) の全揚程が図 6 に示すとおり負の値をもつからであると考えられる。流量比 100% における揚程急降下点でのインデューサにおけるキャビテーション発生状況を写真撮影した結果を図 12 に示す。ID(12-12) の場合には、キャビテーションが羽根全域に発生しているが、ID(12-8) の場合は羽根の半分程度の領域に発生していることがわかる。これはインデューサにキャビテーションが十分に発生しないうちにポンプにキャビテーションが発生して揚程降下の原因となっていることを示しており、流量比 80% 以上では ID(12-8) の全揚程が十分でなく、流量比が増加するに従ってこの全揚程が急速に減少することによるものと思われる。

インデューサの全揚程が十分な値をもつ流量域では、インデューサを取付けたポンプの吸込み性能は入口角によってほぼ決まり、出口角の影響はほとんど受けないが、流量比が増加してインデューサの全揚程が

図 6 インデューサ全揚程

図 7 ポンプ性能

図 8 各吐出量における NPSH による全揚程の変化 [MP+ID(12-12)]

著しく低下する流量域では出口角の影響を強く受ける。この現象は、出口角によって決まるインデューサの全揚程が十分でないときに、ポンプの羽根車において揚程降下が起こり、ポンプの吸込性能が総合吸込み性能を強く支配するためであると考えられる。

7. 結 言

入口角と出口角の異なる、いわゆるそりつきインデューサについて、入口角と出口角の組合せの異なる 7 種類のものを選び、これらのインデューサをポンプに取付けて、流れの測定、ポンプ性能試験、吸込み性能

試験などを行い、次のことを明らかにすることができた。

- (1) インデューサの出口流れは、出口角の影響が強く、入口角の影響は少ない。このためインデューサの全揚程は出口角によってほぼ決まる。
- (2) 総合ポンプ性能は、規定吐出し量付近ではイ

図 9 NPSH による全揚程の変化 ($\phi=80\%$)

図 10 NPSH による全揚程の変化 ($\phi=100\%$)

図 11 吐出し量による必要 NPSH の変化 ($\beta_1=12^\circ$)

(a) ID(12-12) ($h_{sv}=0.88\text{m}$, $H=28.6\text{m}$)

(b) ID(12-8) ($h_{sv}=2.55\text{m}$, $H=14.1\text{m}$)

図 12 キャビテーション発生状況 ($\phi=100\%$)

ンデューサの影響をあまり受けないが、部分流量域では入口角の影響を受ける。

(3) 総合吸込み性能は、インデューサの入口角によってほぼ決まり、次に述べる場合を除いて出口角の影響はほとんどない。

(4) インデューサの全揚程が不十分である場合には、ポンプに揚程降下が起こり、総合吸込み性能にポンプの吸込み性能が影響を及ぼすことがある。

遠心ポンプにインデューサを取付けて吸込み性能を改善するには、インデューサの吸込み性能がよいことと、適切なインデューサ揚程が必要であり、そりつきインデューサの採用が有用であると思われる。

終わりに、本研究について、研究の計画、装置の設計にご協力をいただいた(株)日立製作所 田中定司研

究員、有力な助言をいただいた筑波大学 正司秀信講師、実験に協力された筑波大学学生 高原直樹、岸本幸宏、木次康雄の諸君に深じんなる謝意を表する。

文 献

- (1) 小林・半沢, 日立評論, 51-10 (昭42), 911.
- (2) 大島, ターボ機械, 3-1 (昭50), 531.
- (3) 青木・ほか4名, 三菱重工技報, 12-5, (昭50), 558.
- (4) 大島, 機誌, 70-578 (昭42), 353.
- (5) 高松・ほか3名, 機論, 44-379 (昭53), 960.
- (6) Stripling, L. B., *Trans. ASME, Ser. D*, 84 (1962), 339.
- (7) 高松・ほか2名, 機論, 44-379, (昭53), 950.
- (8) 大島, 機論, 35-276 (昭44), 1686.
- (9) 上條・ほか7名, 航空宇宙技術研究所報告, TR-415 (昭50), 2.
- (10) Lakshminarayana, B., *Trans. ASME, Ser. I*, 95-4 (1973), 567.