蒸気エゼクタに関する研究 (第3報)⁽¹⁾植 田 辰 洋⁽²⁾

Study on the Steam Ejectors (3rd Report)

by Tatuhiro UEDA

Each dimension of the steam ejector has the great effects on its characteristic and efficiency. Then it is the purpose of this paper to know the effects of the dimensions of diffuser on the steam ejector. By the calculation method of flow in diffuser (2nd Report), the following facts have been discovered.

The length of convergent part of diffuser L_1 is to be long as much as possible.

If the diameter of diffuser throat D_t is made small, the exit pressure of diffuser will take high value, but the hysteresis phenomena will be apt to rise.

It is desirable to make the length of throat $L_t = (5 \sim 6) \cdot D_t$ and the length of divergent part $L \geq 10D_t$.

1. 緒 言

蒸気エゼクタにおいて、各部寸法はその作動状態および特性に微妙かつ重大な影響を及ぼすものであり、これがエゼクタ設計の困難と考えられてきたゆえんである。したがって合理的にエゼクタを設計するためには、まずこれらの影響を明らかにすることが必要である。

さて第2報においてエゼクタにおけるディフューザ内状態変化の熱力学的計算法を述べたが、この計算方法からエゼクタ各部寸法のうち、ディフューザ各部の寸法による影響を論ずることができる。

2. エゼクタ各部寸法の影響について

エゼクタ各部寸法の影響は次の三つに大別して考えることができる。

1. 混合室真空と被圧縮気体の吸入量との関係、すなわち性能曲線に及ぼす影響。
2. ディフューザ出口圧力に及ぼす影響。
3. ディフューザ内流動の状態に及ぼす影響。

このうち最も重要なものは3の項であり、エゼクタは常に使用全範囲において第1報で述べた高真空性能のごとき流動状態に安定していなければならない。そしてかかる流動状態にある限り、第1報で述べたごとくディフューザ先細部において流れが音速をこしていると考えられることから、次のことが明らかとなる。すなわち、性能曲線は噴流蒸気の状態とノズルおよびディフューザ先細部の比較的ノズルに近い部分のみによって決定されてしまい、それ以後のディフューザ寸法およびディフューザ出口圧力には無関係となる⁽³⁾。したがって1の項はエゼクタ前半の寸法のみに関係す

るものとなる。一方2, 3の項はこの性能曲線とディフューザの各寸法によって決定されるものである。

本報告で述べるのは2, 3の項についてのみであり、エゼクタの性能曲線は一定のものとしてディフューザ各部寸法の影響を考えてみる。なおディフューザ先細部の寸法に関連したものは、上述のごとく1の項と結びついたものであるから、これの2, 3の項は当然1の項に結びついてくる。しかし本文では1の項は全く考えず、2, 3の項のみを純粹に取り出して考え、1の項は別個に続報において述べることにする。なお第1図は普通使用されるエゼクタの形状である。

第 1 図 エゼクタの構造

3. ディフューザ先細部長さの影響

ディフューザのど部入口における蒸気と被圧縮気体との混合程度は、ディフューザ先細部長さ L_1 によってきまる混合距離に関係する。さて前述のごとく性能曲線は一定であるとし、かつ他の部分の寸法はすべて変化せず、単に L_1 だけが変化した場合を抽象して考えてみる。そうすると L_1 の変化による影響は主としてこれによって生ずるディフューザのど部入口における蒸気と被圧縮気体との混合程度の変化による影響で置きかえることができる。なお一般にかくのごとき状

第 3 図 D_t と各部圧力の関係(計算例) 第 4 図 L_t の影響

高圧力である。そして図中の破線は実験の性能曲線から計算した限界圧力である。なお第4図、第5図のエゼクタ寸法は第1表の No. B, C のごとくである。

図から明らかなごとく、この場合 $L_t = (5 \sim 6) \cdot D_t$ であればディフューザ出口圧力が限界圧力とほぼ一致しており、のど部において衝撃による圧力上昇が完了しているものと考えられる(衝撃による圧力上昇がのど

第 5 図 L_t の影響

部で完了しないときは、ディフューザ出口圧力が低下してくる⁽⁵⁾。のど部の衝撃による圧力上昇の大小によって、圧力上昇が完了するに必要な L_t は幾分変化するものと思われるが、実際には連水氏が述べられたごとく

$$L_t = (5 \sim 6) \cdot D_t$$

としておけばよいと思われる。

6. ディフューザ末広部長さの影響

ディフューザ末広部長さ L_2 も性能曲線には無関係で、ディフューザ出口の限界圧力に関係するものである。第6図、第7図は連水氏の実験結果⁽⁴⁾であり、図中

第 6 図 L_2 の影響

第7図 L_2 の影響

の破線はのど部において衝撃による圧力上昇が完了したとして、計算から求めたのど部出口圧力とディフューザ出口の限界圧力である。なお第6図、第7図のエゼクタ寸法は第1表の No. D, E のごとくである。

この図からわかるごとく連水氏の実験のように $L_2 = (5 \sim 6) \cdot D_t$ で、のど部出口においては衝撃による圧力上昇が完了していると考えられる場合、だいたい $L \geq (5 \sim 10) \cdot D_t$ であればほぼ十分であることが明らかとなる。しかし L_t の長さが不足していると思われる谷下教授の実験⁽⁶⁾では L_2 の長いほど有利という結果が出ているが、これはのど部において完了しなかった衝撃による圧力上昇を末広部で回収するためには L_t が大であるほど、効率がよいためであると考えられる。以上のことから末広部長さは

$$L_t \geq 10 \cdot D_t$$

としておけばよいと思う。

なお $L_2 = 0$

の場合でもディフューザ出口圧力がのど部出口圧力より大であるのは、第8図のごとき構造と考えられることから次式が成立し

$$\frac{\pi}{4} (D_t)^2 \cdot P_t' + \frac{(1+a) G_s}{g} w_t' = \frac{\pi}{4} (D_0)^2 \cdot P_0 + \frac{(1+a) G_s}{g} w_0 - \left[\frac{\pi}{4} (D_0)^2 - \frac{\pi}{4} (D_t)^2 \right] \cdot P_0$$

ただし

P_t', w_t' : ディフューザののど部出口の圧力, 速度

P_0, w_0 : 復水器への案内管における圧力, 速度

D_0 : 復水器への案内管の直径

この式において $w_t' > w_0$, したがって $P_t' < P_0$ となることから当然である。

7. 結 語

エゼクタ各部寸法のうち、第2報の計算方法から考慮できるディフューザ各部寸法による影響の概要を二三の計算例から求めて、次のことが明らかとなった。

先細部長さ L_1 はできるだけ大にすることが望ましい。

のど部長さ: $L_t = (5 \sim 6) \cdot D_t$

末広部長さ: $L_2 \geq 10 D_t$

そしてのど部直径 D_t は小なるほどディフューザ出口の限界圧力が大となり有利であるが、二重真空現象の危険もまた大となる。したがって最適の D_t を求めるためには個々のエゼクタについて第2報に記した計算を行うことが必要である。

附記 再び二重真空現象について

いま考えやすいようにディフューザ出口状態の流体がディフューザ内を逆方向に流れる。すなわちノズルとして働く場合を考えてみる。そうするとこれは末広ノズルであり、エネルギーおよび連続の式からノズルの末広部(ディフューザ先細部)において第9図の実線のごとき二つの解 A, B が得られる。これから明らか

第9図

なごとくディフューザ先細部内流動が第9図の A のごとき解にある場合が高真空性能となり、ディフューザ先細部において左の破線のごとき変化をし、途中から B のごとき解に沿つた変化を示すものが低真空性能となる。そして流動状態が $A \rightarrow B$ あるいは $B \rightarrow A$ に急変することによって二重真空現象を生ずる。なお A から出る二つの破線のうち、のど部長さが適当でここにおいて衝撃による圧力上昇が完了すれば上の破線のごとなり、のど部長さが不足で衝撃による圧力上昇が末広部に及ぶ場合は下の破線のごとき変化を示す。

第1報の性能曲線は第10図(B)のごとくであり、性能の急変時において $C \rightarrow C', B' \rightarrow B$ となるが、これは第10図(A)のごとき空気流路の特性によるものである。特殊な場合として空気流路の流れに対する抵抗が

非常に小さくかつ非常に大きい空気容器につながれている場合、たとえば第 11 図(A)のごとき場合は第 11 図(B)のごとき性能を示すことになる。

この場合もし性能曲線が(C)のごときであるとすると、エゼクタで大きい容器中の圧力を次第に下げる場合、性能は $D \rightarrow E$ と進んで E 以上の真空にはそのままではなり得ず、したがって高真空性能は現れない。この場合ノズル前の蒸気圧力を高めてやると低真空性能の真空は上昇し、高真空性能と性能曲線が $D'E'$ (B')のごときかさなって始めて BA なる性能が現われ、 A なる高

真空に達し得る。しかし使用蒸気圧力一杯に設計してある場合では(C)の DE のごとき低真空性能のみしか現われず、結局非常に劣悪な真空しか得られない。また第 10 図(A)のごとき空気流路でも弁を閉じて蒸気を通すと、性能は第 10 図(B)において急速に DC' (B')となり、 B' で B に変化せず、ただちに E のごとき真空に落ちてしまい、高真空性能と低真空性能とが重なりあっていない場合は A なる高真空には達し難くなる。

しかしかかる不都合は容易にさけられる。すなわち

第 10 図

第 11 図

ディフューザの中心軸に対してノズルの中心軸を幾分偏心さすかあるいはわずかの角度を持たすように、始めから設計しておくかまたは必要に応じてこの操作が行えるように設計しておけばよい。このようにしておく

第 12 図

くと性能は第 12 図(C)の破線のごときになり、ディフューザとノズルの中心軸が一致していた場合に示す第 12 図の実線のごとき性能における不連続性をなくすることができる。なおかくのごとく

不連続性の消失する原因はノズルの中心軸をディフューザの中心軸に対してずらすことによって、ディフューザのど部において流体の一部は高真空性能に相当する状態で流れ、他は低真空性能に相当する状態になり、この二つの状態の割合が連続的に変化するためであると考えられる。

終りに種々有益な御教示を賜りました山中直次郎教授、谷下市松教授、藤井澄二助教授ならびに種々の実験結果を直接利用させていただいた速水恵二氏に最大の感謝をささげる次第である。

注：一

- (1) 昭和 26 年 11 月 17 日 第 529 回講演会において講演、原稿受付 昭和 26 年 12 月 25 日。
- (2) 正員、東京大学工学部。
- (3) このことは
谷下；理研彙報，18 輯 4 号（昭 14-4），239 ページ。
速水；機械学会論文集，8 卷 31 号（昭 17），II-25。
菅原，速水；機械学会論文集，8 卷 32 号（昭 17），II-53。
あるいは筆者の第 1 報の実験結果に裏われていることであり、まだ第 2 報で述べた考慮から明らかになることである。
- (4) 速水；機械学会論文集，8 卷 31 号（昭 17），II-25。
- (5) 植田，機械学会論文集，18 卷 67 号，103 ページ。
- (6) 谷下；理研彙報，18 輯 4 号（昭 14-4）239 ページ。
- (7) 菅原，速水；機械学会誌，49 卷 334 号（昭 21-1）11 ページ。