

水耕用吸気ノズルに関する研究

—水養液—空気エジェクタ—

岩尾 俊男*・竹山 光一*・伊藤 憲弘**

The Performance of Water-Air Ejecters with Multi-Orifice Nozzles in Aquaculture
Toshio IWAO, Koichi TAKEYAMA and Norihiro ITO

To ensure effective use of a water-air ejector in aquaculture, this paper dealt with the performance of water-air ejectors with the multi-orifice nozzles. And the objective of this study was to put it to practical use, and the principal arrangement of which was shown in Fig. 2.

In the water-air ejector, the water spurted from a multi-orifice nozzle centrally into the mixing tube.

As the experimental result.

- 1) In the flow phenomenon, it was cleared that the process of mixing of the jets was often completed before the exit section of the working chamber. And the ratio of volume flow (Q_{gc}/Q_w) showed marked increase by the mixing shock phenomenon.
- 2) The length of mixing tube was gradually decreased with the increase of the water flow rate and was influenced by the size of a orifice.

I. 緒 言

水耕たん水栽培では、ベットの水溶液中の酸素は根によって吸収されるために、水養液中に酸素を供給する必要がある。その酸素の供給方法として、サッカー方式、ベンチュリ方式、泡沫方式などの装置やノズルが用いられている。

しかし、これらには一長一短があり、機構上から酸素を供給するために、圧縮ポンプを必要とするものあるいは、ノズルの製作に特殊加工が必要なものなどがある。また、網を用いたノズルでは、細砂、浮遊物などによる目詰りを生じ、酸素供給性能及び給水能力に著しい低下¹⁾が生じ、作物の生育に支障が生じる現象が見られる。

これらのことから、以上のノズルについては、酸素供給方式について、性能、費用、耐久性、利用上などの面からの改善が必要とされる。

したがって、以上の問題点を解決するため、ここに取り上げるエジェクタノズルは、工業用としては低効率な

ことからポンプに取って変られたものであるが、低コストで可動部分がなくしかも機構的に簡単なことの特長をもつものであり、このノズルの吸気特性が水耕用ノズルに利用が可能であるものと考えられる。

また、このエジェクタノズルに関する研究は、シングルジェット、マルチジェットについて従来より行われているものである。しかし、これらの研究は加圧状態の空気をを用いたものである。²⁾³⁾

したがって、この研究は、強制的に加吸気を行わないで、エジェクタノズルの吸気特性を最大限に利用し、従来の給水管システムの状態で、現在一般に利用されている酸素補給ノズルより利用上高い吸気性能を有するノズルを開発するための可能性について検討したものである。

本研究に当りご協力をいただいた当研究室大学院修士生北守千兼君に謝意を表す次第である。

II. 実験装置及び実験方法

1. 実験装置

* 栽培管理制御工学

** 島大附属農場

実験装置は、タンク、ポンプ（出力 250 W、揚水量 $3.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{min}$ 、圧力 $12 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4 \text{ Pa}$ ）、フローセル（最大 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ）、ブルドン管圧力計（ 2 kg/cm^2 ）及び供試ノズル部から成る。第 1 図は実験装置の概略である。

第 2 図は供試マルチノズルの概略図である。供試ノズルでは、ポンプを介してノズル(a)より管(b)に噴出された時に、空気室(d)が負圧となり空気孔より外気を吸い込み、管の途中で空気と水の攪拌が起り水の中に空気が混入される。

供試ノズルの規格は、Spiridonow の実験結果に基づいたものである。

2. 実験方法

実験は、流量（ $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ）と噴口の穴の径（ $1.5 \sim 3.0 \text{ mm}$ ）及び網の数（ $1 \sim 2$ 枚）との組み合わせ条件における空気の混入特性を調べたものである。

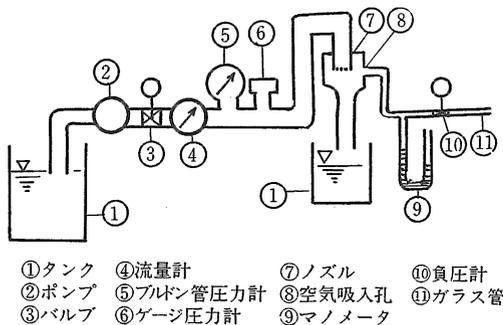
ノズルの空気吸入口に生ずる負圧は、内径 5 mm のガラス管を空気吸入口に差し込み、マンメータとストレーンゲージを用いた圧力センサーにより同時に測定した。

また、吸込口より吸引される空気流量は、空気流量が非常に小さいので、空気吸込口に接続したガラス管（内径 $5 \text{ mm} \times$ 長さ 200 mm ）の中を通過する綿の球（直径約 2 mm ）の移動速度を測定することにより求めた値である。

III. 実験結果及び考察

(1) マルチノズルの特性式

マルチノズルは、噴口に多くの穴を有するもので、Witte, Spiridonow らにより研究が行われ、流量に対する混入空気吸込比は、噴口の穴数を増加させることにより増大することが確められている。したがって、単一噴口より多穴噴口の方が流量が同一の条件においては、



第 1 図 実験装置

より多くの空気の吸込が計られるものと考えられる。

Witte によれば、ノズル出口の形状は穴数 $N = 19$ 、形状 $n = 6$ 角形が良好と考えられている。

また、Spiridonow によれば、ミキシングショック長と管径との関係は、経験的に次のように表されている。

$$L_{mix}/D_3 = CU_0/\sqrt{\Omega_{03}} \quad (1)$$

ここに、 L_{mix} ：噴口先端よりミキシングショックまでの長さ、 U_0 ：水の流量に対するガス流量の割合、 D_3 ：作動管直径、 Ω_{03} ：噴口の穴断面積と作動管断面積との割合、 C ：定数

$$U_0 = Q_{gs}/Q_w \quad (2)$$

$$Q_{gs} = m_a R_a T_w / (P_2 - P_v) \quad (3)$$

ここに、 Q_w ：水の流量、 Q_{gs} ：吸込空気流量、 m_a ：空気の質流量、 R_a ：空気的气体定数、 P_v ：温度 T における水の蒸気圧力、 P_2 ：受け管内における絶対圧力。

したがって、マルチノズルにおけるミキシングショックの発生長は、

$$L_{mix} = C m_a \frac{R_a T_w}{(P_2 - P_v) Q_w} \cdot \frac{D_3}{\sqrt{\Omega_{03} N}} \quad (4)$$

(2) ミキシングショックの発生

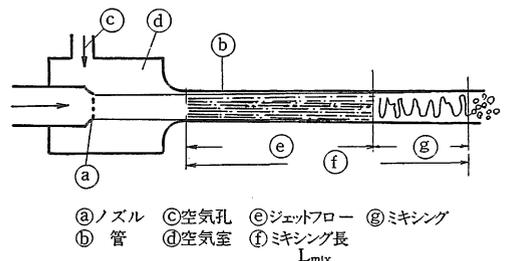
ミキシングショックとは、液体—ガスエジェクタにおいて、管内に生ずる異常現象であり、噴口から噴出される流れの泡立つ流れと定義され、この現象をミキシングショックと呼ぶ。

ミキシングショックにおいては、下流の圧力は上流の圧力より高く、流速が遅いこと、噴出流と気体間にすべりが存在することなどが知られている。

第 3 図は、マルチノズルの場合の流量とミキシングショック長との関係である。ミキシングショック長とは、噴口先端からミキシングショック現象の終りまでの距離である。

ミキシングショック長は、流量の増加と共に減少する傾向となる。すなわち、流量の増大と共にミキシングショック長は短縮される。

一方、同一流量の場合においても、流量 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ 、



第 2 図 供試マルチノズル

噴口の穴径 3mm と 2mm の場合においては、それぞれ約 90cm と 10cm 程度となり、穴径の減少と共にミキシングショック長 L_{mix} は著しく短縮されることがわかる。

これらは、噴口の穴径が小さくなれば、流量が同じでも背圧力が増大し、噴口からの流速が増大する結果となり、ミキシングショックが促進されるものと考えられる。

また、流量の増加による L_{mix} の減少についても、流量の増加が噴口より噴出する流速の増加となり、ミキシングショックが促進されるものと考えられる。

したがって、 L_{mix} の減少を計る上での影響因子としては、噴口の穴径の減少と流量 Q_w の増加及び背圧力の増大などが考えられる。

第 4 図は、噴口の背圧と流量との関係である。一般に圧力は、流量の増大と共に曲線的に増加の傾向となり、噴口の穴径の大きい方が圧力も低く、またその増加割合も小さい。

第 5 図の場合の噴口の穴径 2, 3mm の同一圧力 (約 245KPa) における流量は約 0.75, 0.90 m^3/h をこれを第 6 図の場合について比較検討すると、噴口の穴径では流量 0.75 m^3/h , L_{mix} は約 8cm, 噴口の穴径 3mm では 0.90 m^3/h の場合の約 75cm に相当する。

これらのことから、 L_{mix} に影響する 1 つの因子は、噴口の穴径であることが明らかとなった。

しかしながら、これらは圧力が 0.4 kg/cm^2 までの場合であり、その値以上の圧力については更に検討する必

要がある。

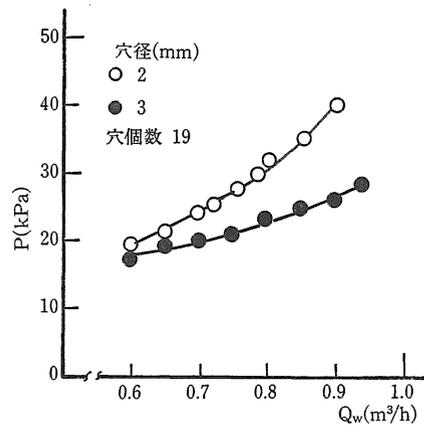
(3) 空気混入比

第 5 図は、流量と混入比 (Q_{gs}/Q_w) との関係である。

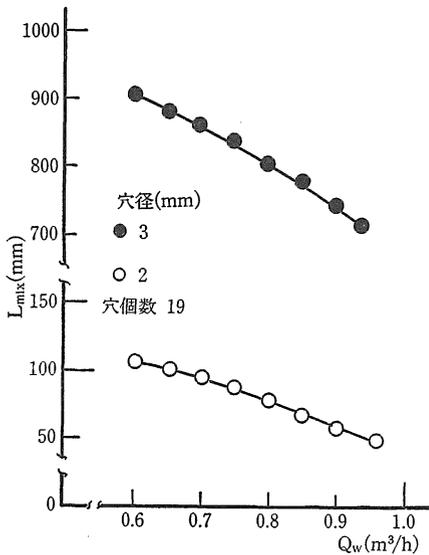
空気混入比は、流量が 0.6 m^3/h までは一定の値と見做され、約 0.02×10^{-2} の低い値であるが、0.6 m^3/h 以上においては、流量の増加と共に増加の傾向となる。

特に、増加の傾向は噴口の穴径が 2mm の場合において著しい増加となる。

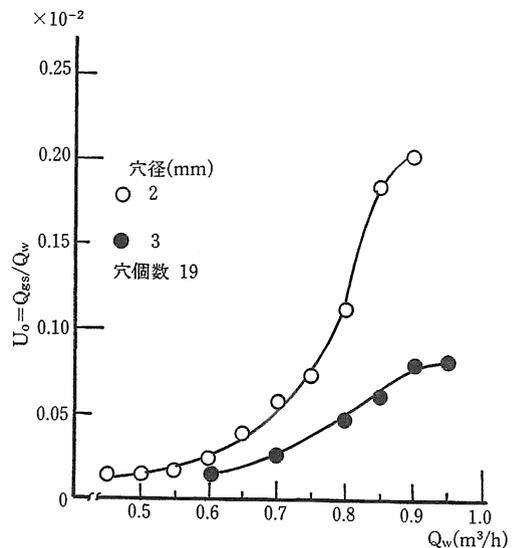
ここに、空気混入比が増大する条件は、第 5 図から明らかのように、ミキシングショックが生じることにある。しかし、空気混入比は同じミキシングショックが生ずる範囲においても流量の増大、すなわち、噴口から噴



第 4 図 背圧力と流量との関係



第 3 図 流量と L_{mix} との関係



第 5 図 空気混入比と流量との関係

出される水の流速に関係するものと考えられる。これらは、噴口の穴径が 3mm より 2mm の場合の方が、 L_{mix} が著しく小さくなることに関係するものと考えられる。

(4) L_{mix}/D_3 と $U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ との関係

第6図は噴口の穴径 2mm の場合の L_{mix}/D_3 と $U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ との関係である。これらの関係には、

$L_{mix}/D_3 = 5.29 - 48.72 U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ の直線関係がある。

したがって、 $L_{mix} = D_3(5.29 - 48.72 U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N})$ (5)

により与えられる。

また、噴口の穴径 3mm の場合には、第7図に示す通り、 $L_{mix}/D_3 = 41.58 - 361.76 U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ の直線関係で与えられる。

したがって、 $L_{mix} = D_3(41.58 - 361.76 U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N})$ (6)

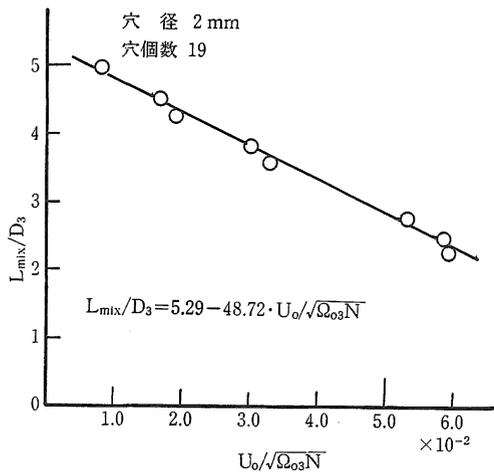
これらのことから、 L_{mix} は D_3 の減少と $U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ の増大により短縮されることが明らかとなった。その上、噴口の穴径の減少により L_{mix} の短縮が計られると共に空気混入比の増加することが予想される。

(5) L_{mix} の短縮

1) 強制的ミキシングショック発生の効果

第8図は噴口の穴径が 2.0mm の場合の強制的にミキシングショックを起させた時の流量と空気流入量との関係である。

強制的なミキシングショックは、排出管の出口の直径を縮小させることにより発生させたものである。



第6図 L_{mix}/D_3 と $U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ との関係

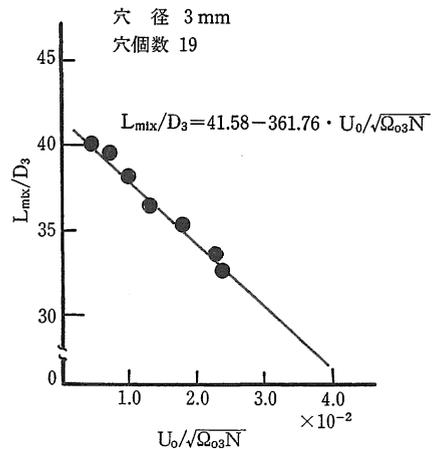
この場合の空気の流入量は、ミキシングショックが自然に起った場合より強制的に起させた場合の方が、約 1.5~2 倍の増大があった。

第9図は、噴口の穴径 2.0mm の場合における流量と空気流入孔の吸込圧力(負圧)との関係である。

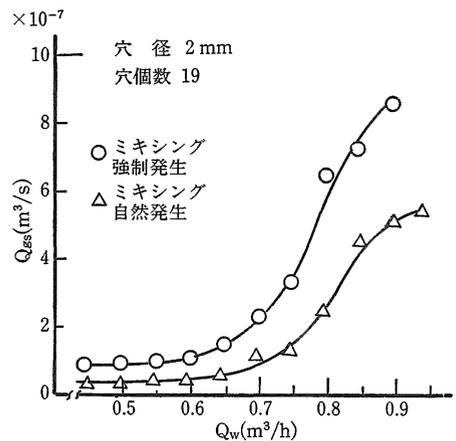
吸込圧力は流量の増加と共にいずれの場合においても増加する傾向にあるが、自然発生の場合の吸込圧力の値が0~0.3程度であるのに比べ、強制的に発生させた場合には約1.4~2.0の範囲の値となり、強制的にミキシングショックを発生させることにより、吸込圧力の値が著しく増大することが明らかとなった。

第10図は噴口の穴径 2.0mm の場合の流量と空気混入比との関係である。

空気混入比は、流量の増加と共に増加するが、流量0.6



第7図 L_{mix}/D_3 と $U_0/\sqrt{\Omega_{O_3}N}$ との関係



第8図 空気吸い込み量と流量との関係

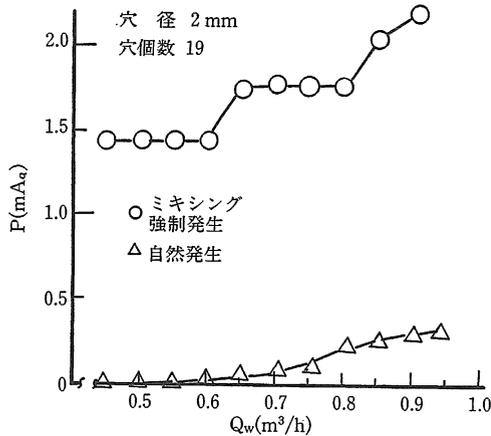
m³/h 程度以上において著しい増加の傾向となる。この場合、強制的にミキシングショックを起させた場合には、自然発生の場合より高い空気混入比となり、流量が0.9m³/hにおいて、自然発生が約0.2、強制発生が0.35程度となり、強制発生による空気混入比増大の効果が明らかである。

したがって、エジクタノズルにおいて、強制的なミキシングショックを起させる機構を付与することにより、空気混入比の増大が期待できる。

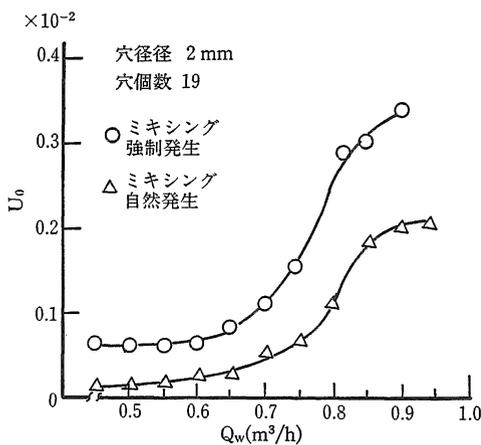
2) 網の装着効果

網は、噴口の下2.2cmの位置に装着した。第11図は、噴口(穴径3mm, 穴数19個)に網(60メッシュ)を付加した時のミキシングショックが自然発生の場合の流量と空気混入比との関係である。

空気混入比は、網(60メッシュ)1枚付加と付加しな



第9図 空気孔負圧と流量との関係



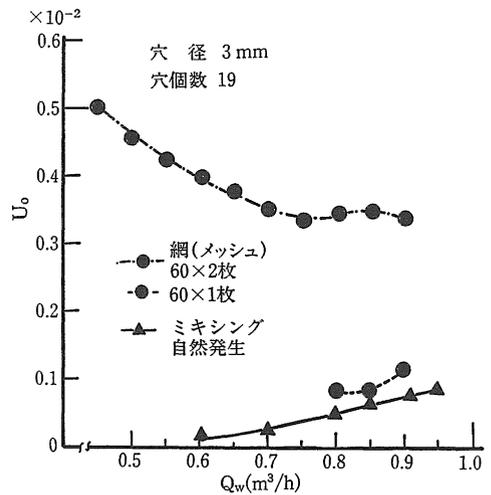
第10図 空気混入比と流量との関係

い自然発生の場合とでは、ほとんど差はなく、その比も0.1以下である。

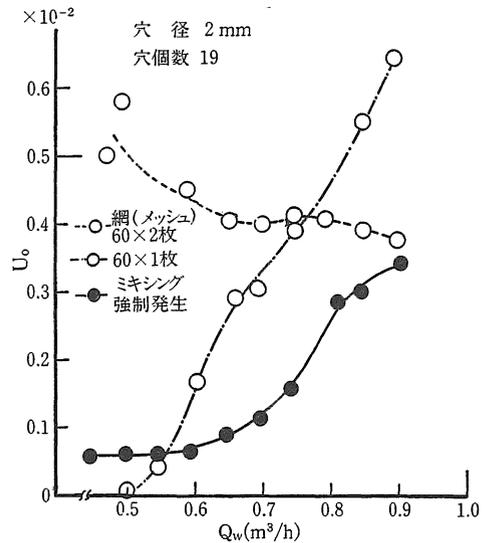
一方、網(60メッシュ)2枚付加においては、流量の小さい場合には高い空気混入比であるが、流量の増加と共に急激に減少の傾向となる。しかし、空気混入比の値は0.3~0.5となり高い範囲の値となる。

これらのことから、噴口の穴径が増大することにより、網の枚数による空気混入比の増大の効果が認められる場合もある。しかし、網の枚数の増加は、浮遊物による網目詰りによる性能の低下が予想される。

第12図は、噴口(穴径2.0mm, 穴数19個)に網(60



第11図 空気混入比と流量との関係



第12図 空気混入比と流量との関係

メッシュ)を取り付けた時の強制的なミキシング発生の場合の流量と空気混入比との関係である。

空気混入比は、流量の増加と共に増大する傾向がある。特に網装着の方が強制発生の場合より増加の傾向が著しい。

また、空気混入比は、流量が $0.55\text{m}^3/\text{h}$ 以下では、網装着の方が強制発生の場合より小さい値となっている。これは網装着において、流量 $0.55\text{m}^3/\text{h}$ 以下ではミキシングショックが発生していないことによるものであると考えられる。

また、流量が $0.55\text{m}^3/\text{h}$ 以上においては、網装着の方が強制発生の場合より空気混入比が大で、約1.5~2.0倍の値となる。

網2枚を用いた場合においては、空気混入比は、流量の増加と共に減少の傾向となる。一方、流量が $0.6\text{m}^3/\text{h}$ 以下においては、0.4~0.6の高い値となる。

したがって、流量の小さい範囲では、網の枚数の増加による空気混入比の増大の効果があるものと考えられるだろう。

一方、流量が $0.7\text{m}^3/\text{h}$ 以上における網2枚を用いた場合の空気混入比は、網1枚の場合より低い値となっている。これは、網の増加により水の通過抵抗が大となり、網上に水の淀みが生じ、吸気の状態が悪化したことに原因するものと考えられる。

したがって、網の枚数の増加は、浮遊物の目詰りの外に、水の通過抵抗の増大となり吸気の状態の悪化を引き起し、空気混入比の低下となる場合もあるものと考えられる。

IV. 摘 要

この研究は水耕用の吸気ノズルの性能向上を計るために、低圧、低流量のエジェクタノズルによる吸気特性について行った。実験結果の主な点は次の通りである。

(1) 吸気量はミキシングショックの発生により増大する。

(2) ミキシングショックは、流量が $0.6\text{m}^3/\text{h}$ 以下では生じない。

(3) L_{mix} は流量の増加と共に短くなる。 L_{mix} は噴口の穴径により左右される。

(4) L_{mix}/D_3 と $U_0/\sqrt{\rho_{03}N}$ の関係は、ほぼ直線の関係にある。

$$L_{\text{mix}} = D_3(5.29 - 48.72 U_0/\sqrt{\rho_{03}N})$$

……噴口穴径 2mm

$$L_{\text{mix}} = D_3(41.58 - 361.76 U_0/\sqrt{\rho_{03}N})$$

……噴口穴径 3mm

(5) 空気混入比は流量の増加と共に増加の傾向となる。

(6) 空気混入比は、ミキシングショックを強制的に起させた場合と自然的に発生させた場合とでは、前者は後者の1.5倍程度となる。

引 用 文 献

1. 岩尾俊男他3名：島根大農研報(21)：134~140, 1987
2. WITTE, J. H.: British Chemical Engineering 10(9): 602-607, 1965
3. SPIRIDONOV, E. K.: Thermal Engineering 29(7): 400-402, 1982