

水耕用吸気ノズルに関する研究 (Ⅱ)

—— ミキシングショックによる吸気特性 ——

岩尾 俊男*・竹山 光一*・林 圭腕*

The Performance of Air Suction by Mixing Shock Phenomenon
with Multi-Orifice Nozzle in Aquaculture

Toshio IWAO, Koichi TAKEYAMA, Gyuwan IM

Succeeding to the previous report, to ensure effective use of a water-air ejector in aquaculture, this report dealt with the performance of drawing air into water by the mixing shock phenomenon of water-air ejectors with the multi-orifice nozzles.

And the objective of this study was to obtain high drawing air performance and the shortening of the length of working tubes in order to put it to practical use. As the main experimental results, the length of the mixing shock (L_{mix}) was gradually decreased with the increase of the water flow rate. as the result, the working tube length could be able to shorten, keeping the mixing shock phenomenon. Though the rate of drawing air from an air inlet in the nozzles increased with the increase of the cross section area, the increase of the rate of drawing air was not always the increase of the value of dissolved oxygen (DO) in water.

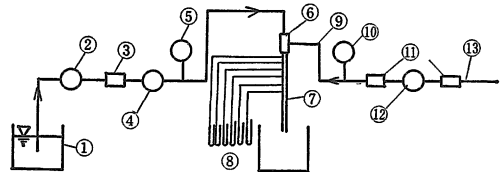
I. 緒 言

水耕用として現在広く用いられている吸気ノズルは、網を用いた泡沫式のもの、ベンチュリー方式によるものがある。前者は、網目をより小さくすることにより空気の吸込量が增加するが、反面、細砂、浮遊物等により目詰りを生じ、その結果、酸素供給性能及び給水能力に著しい低下をもたらすと共に、作物の生育に著しい支障の生じることが指摘されている。一方ベンチュリー式は製作上複雑となる上にコストが高つく欠点がある。

従って、作物の生育に支障の生じない程度の空気吸入特性を有し、かつ構造的に簡単に目詰りの問題が生じないノズルの開発が望まれる。

これらのことから、この研究は前報に引き続きミキシングショック現象が空気の吸込を著しく増大させることに着目し、ミキシングショックに関係する要因 (空気吸

込口断面積、空気室容積、噴口断面積、噴口穴数、流量など)を変化させ、作動管内圧力分布、背圧力、空気吸込圧力、空気吸込量及び DO 値から、高い空気吸込量を保持しながら、作動管長の短縮を計るための必要な条件を実験的に調べたものである。



- ① タンク ⑤ 圧力計 ⑨ 空気吸込管 ⑬ ガラス管
- ② ポンプ ⑥ ノズル ⑩ 圧力計
- ③ バルブ ⑦ 作動管 ⑪ バルブ
- ④ 流量計 ⑧ マノメータ ⑫ 圧力計

第1図 実験装置

* 農林システム学講座

II. 実験方法

1. 実験装置 実験装置は、①タンク、②ポンプ（最高圧力3.4 MPa）、④流量計（最大2.0 m³/h）、⑤供試ノズル部、⑥作動管内圧力測定用マノメータ（50 mm 間隔）、及び吸気量測定装置から成る（第1図）。

供試ノズルは、水がポンプを介してノズルの噴口より作動管に噴出される。この時空気室が負圧となり、空気吸込口より空気を吸い込み、ノズル内で吸い込まれた空気と噴口より噴出された水との間で、作動管中に圧力変動による水の泡立つ現象としてのミキシングショック⁴⁾⁵⁾が生ずる。このミキシングショックが、水の中への空気の注入をもたらす。

供試ノズル：第2図(a, b)は2種類の供試ノズルの概略である。作動管はAノズル（内径20φ×1,000 mm）、Bノズル（内径17φ×1,000 mm）の2種類である。吸込口の断面積は1.7, 7.1 mm²の2種類とし、噴口断面積は20, 40, 60, 80 mm²で、噴口の穴数は、断面積20mm²では1個、40 mm²では、1, 2, 3個、60 mm²では1, 2, 3, 5, 8, 12, 19, 60個、80 mm²では1, 2, 3個とした。

2. 実験方法 実験方法は流量（4.5~1.4 m³/h）と噴口断面積、空気吸込口断面積及びA, Bノズルとの組み合わせ条件における、空気吸込量、溶存酸素量及びミキシングショック長等の特性を調べたものである。

ミキシングショック長の測定については、作動管中における圧力の変動と分布を調べ、可視による直読値の妥当性について検討した。

作動管の圧力の変動と分布の測定において、作動管に50 mm ごとに設けたU字管の変動を同時に判読することの困難なことから、ビデオカメラにより撮影し、解読

する方法を用いた。

ノズルの空気吸込口に生ずる負圧は、吸込口に連結したガラス管の圧力をU字管圧力計とストレインゲージによる圧力計により測定した。

また、空気吸込口より吸引される空気流量は、便宜的に空気吸込口に接続したガラス管（内径5 mm, 長さ2,500 mm）中を通過する綿の球（内径約2 mm）の移動速度より求めた値である。

低溶存酸素水は、水中酸素を植物により吸収する方法により調整したものである。この場合の低溶存酸素水はDO 15%程度である。

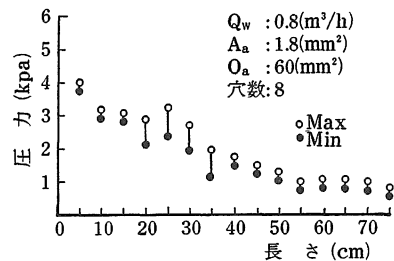
III. 実験結果及び考察

1. 作動管内圧力分布とミキシングショック

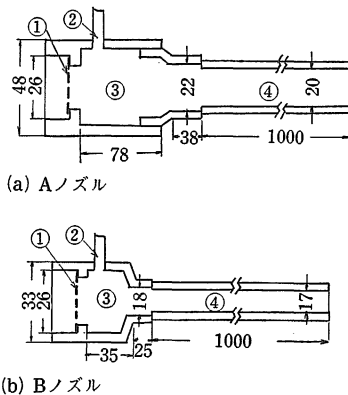
第3図は、ノズルA, 空気吸込口断面積1.8 mm², 噴口の断面積60 mm², 噴口穴数8個で流量が0.8, 1.1 m³/hの場合の作動管内圧力分布を示す。

分布圧力は負圧力であり、作動管の末端に進むに従い小さくなる傾向がある。上部より20~35 cmの範囲では最高値と最低値の差、すなわち変動が著しく大となる。

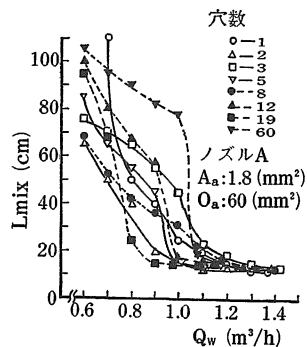
この現象は可視によるミキシング現象の生じる位置と重なり、圧力変動が急に小さくなった位置（40 cm）がミキシング長と一致する。ここに、可視によるミキシング



第3図 作動管内圧力分布



① 噴口 ② 空気吸込口 ③ 空気室 ④ 作動管
第2図 (a, b) 供試ノズル



第4図 流量と L_{mix} との関係

ショック長の測定の妥当性が明確になったので、今後は便宜的に可視による測定方法とした。

2. 流量とミキシング長 (L_{mix})

第4図は、ノズルA、空気吸込口断面積 (A_a) 1.8 mm²、噴口断面積 (O_a) 60 mm² が一定の条件のもとでの噴口穴数別の流量と L_{mix} との関係である。

L_{mix} は流量の増加と共に急激に減少の傾向となる。流量が約 1.2 m³/h 以上では、 L_{mix} が 15 cm 程度となり一定の値となる傾向がある。この場合、噴口の穴数が L_{mix} に与える影響は明らかでない。

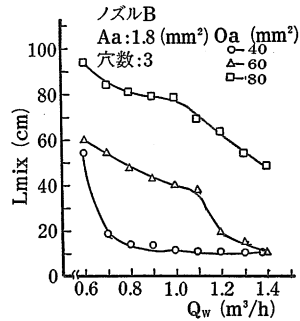
第5図は、A、Bノズルについて、 A_a 1.8 mm²、 O_a が 60 mm² で一定の時の噴口穴数別の流量と L_{mix} との関係である。

2種類のノズルにおいて、 L_{mix} は流量の増加と共に減少するが、流量が 0.9 m³/h 以下では、Aノズルの L_{mix} はBノズルより長くなる。これらは、空気室容積と作動管径が関係するものと考えられる。一方、流量が 0.9 m³/h 以上の範囲では、 L_{mix} はBノズルの方が長い場合もある。

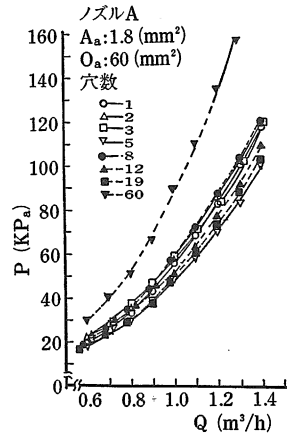
第6図は、ノズルB、 O_a 60 mm² で、 A_a 1.8, 7.1 mm² の場合の流量と L_{mix} との関係である。

A_a が 7.1 mm² の時には、ミキシングショック現象

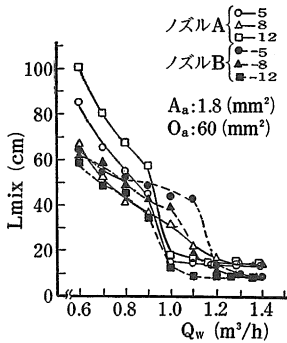
は断続的である。一方、1.7 mm² の場合は流量に関係なく連続的に生ずる。また、7.1 mm² の場合は1.8 mm² に比べ、 L_{mix} は流量の増加に従い減少の割合も小さくなる。



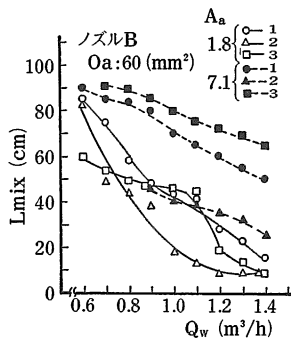
第7図 流量と L_{mix} との関係



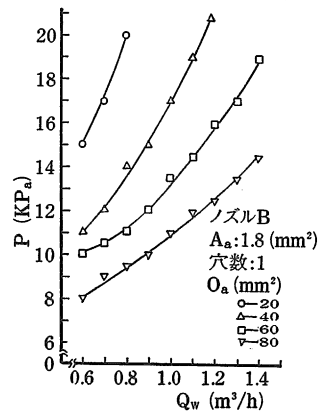
第8図 流量と背圧力(P)との関係



第5図 流量と L_{mix} との関係



第6図 流量と L_{mix} との関係



第9図 流量と背圧力(P)との関係

これらのことから、ミキシングショックを連続的に起させ、 L_{mix} の減少を計るためには、空気吸込口の断面積を小さくすることが必要である。

第7図は、ノズルB、 $A_a 1.8 \text{ mm}^2$ 、噴口穴数3個で一定の場合の噴口断面積別の流量と L_{mix} との関係である。

噴口穴数が一定の条件においても、噴口断面積が変化すれば L_{mix} は変化する。 O_a が増大する程、流量の増加に対する L_{mix} の減少は小さい。

以上の結果より、噴口断面積が 60 mm^2 以下とする必要があるものと考えられる。

3. 流量と背圧力

第8図は、ノズルA、 $A_a 1.8 \text{ mm}^2$ 、 $O_a 60 \text{ mm}^2$ で一定の条件での噴口穴数別の流量と背圧力との関係である。

背圧力は流量の増加と共に曲線的に増加の傾向となる流量と背圧力との関係は、噴口穴数が1~19個までは穴の個数による差は認め難い。しかし、穴数が60個については、流量の増加による背圧力の増加が著しい。これは穴の総面積が同一であっても、水が小さい穴に分流される時の抵抗により増大したものと考えられる。

第9図はノズルBについて、 $A_a 1.8 \text{ mm}^2$ 、噴口穴数1個の場合の O_a 別の流量と背圧力との関係である。

背圧力は、噴口断面積が小さくなるほど高くなる。背圧力は噴口断面積に影響されるところが大である。

第10図は、 $A_a 1.8 \text{ mm}^2$ 、 $O_a 60 \text{ mm}^2$ について、A、Bノズル別の流量と背圧力との関係である。

背圧力はAノズルよりBノズルの方が大である。これは作動管の太さが関係しているものと推定される。作動管を細くすることにより背圧力が増大するものと考えられる。

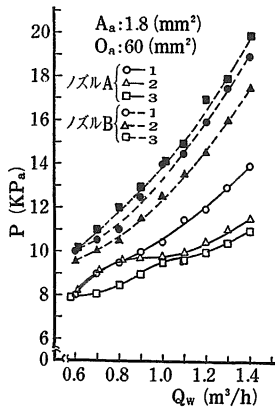
4. 流量と空気吸込量

第11図は、ノズルAで、 $A_a 7.1 \text{ mm}^2$ 、 $O_a 60 \text{ mm}^2$ における噴口穴数別の流量と空気吸込量との関係である。

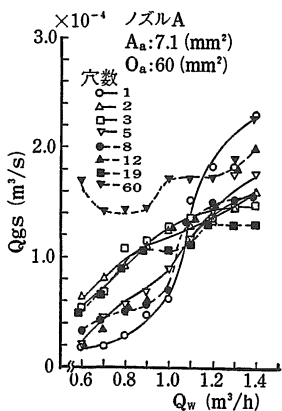
空気吸込量は流量の増加と共に増加する傾向となる。特に、噴口の穴数が1個の場合においては、流量が $1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合、連続的なミキシングショックの起ることが確認できたことから、これが空気吸込量を増加させる原因となっている。

一方、噴口の穴数が60個においては、低流量の場合、空気吸込量が約 $1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ で高い値であり、低流量から高流量の幅の広い流量の範囲にわたり、高い吸込量となっているが、噴口の1個の穴径が 1 mm 程度であり、目詰りを考慮すれば、実用的には適さないものだろう。

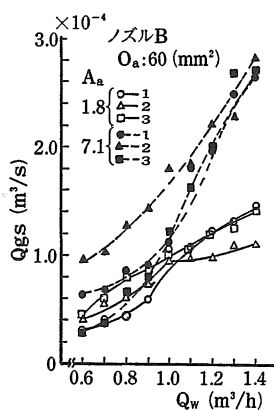
第12図は、ノズルB、 $O_a 60 \text{ mm}^2$ 、 $A_a 1.8, 7.1 \text{ mm}^2$



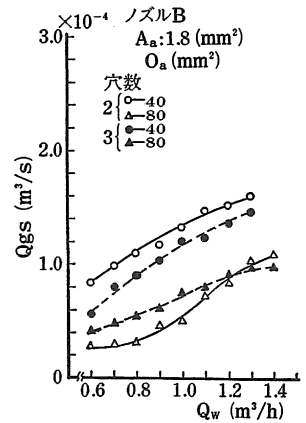
第10図 流量と背圧力(P)との関係



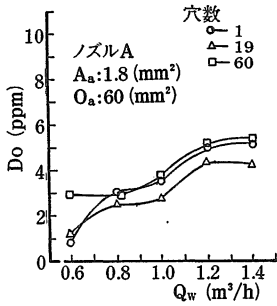
第11図 流量と空気吸込量(Q_{gs})との関係



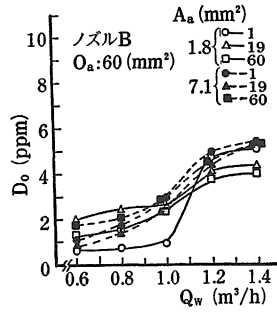
第12図 流量と空気吸込量(Q_{gs})との関係



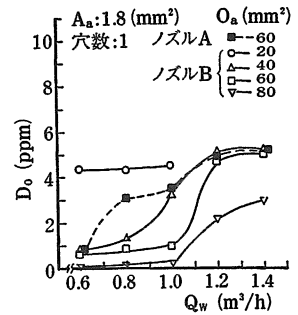
第13図 流量と空気吸込量(Q_{gs})との関係



第14図 流量と DO との関係



第15図 流量と DO との関係



第16図 流量と DO との関係

における流量と空気吸込量との関係である。

空気吸込量は流量の増加と共に増大する。また、空気吸込口の断面積による空気吸込量の差は、流量が 1.0 m³/h 以上において顕著に表われる。

流量 1.2 m³/h では、 A_a 7.1 mm² において、1.8 mm² の約 2 倍の空気吸込量となる。この結果から、空気吸込量を増加させる要因としては空気吸込口の断面積の増加が考えられる。

第13図はノズル B, A_a 1.8 mm², 噴口の穴数 2, 3 個と O_a 別の流量と空気吸込量との関係である。

噴口の断面積が 40 mm² から 80 mm² に増大すると、空気吸込量は約 30~50% 程度低下する。噴口断面積が減少するほど、同一流量の場合は背圧が高くなり、流速が増大することから、空気吸込量も増加したものと考えられる。

このことから、空気吸込量の増大を図る要素としては、噴口断面積の縮小が考えられる。

5. 流量と溶存酸素量

溶存酸素量は、噴口より排出した水がベッドに溜った状態において測定した値である。また用いた溶存酸素量の値は、ノズルから穴付噴口板を外した時の値を、実際の測定値から差し引いた値であり、従ってこの値は、穴付噴口のみによるものと見做すことができるであろう。

第14図は、ノズル A で、 A_a 1.8 mm², O_a 60 mm² における噴口の穴数別の流量と DO との関係である。

DO 値は流量の増加と共に増加し、最大の DO 値は、流量 1.4 m³/h の約 5.5 ppm であるが、噴口の穴数による DO 値の差は明らかでない。

第15図は、ノズル B で、 O_a 60 mm², A_a 1.8 mm² と 7.1 mm² の場合の噴口の穴数別の流量と DO との関係である。前述の空気吸込量に関しては、空気吸込口断面

積の違いにより、著しい差が認められたが、しかし、DO 値については、その差は明らかでない。すなわち、空気吸込量と DO 値に示される異った傾向は、空気吸込口断面積の大きい場合は、吸い込まれた空気が十分に水に溶け込んでいないことによる結果であろうと考えられる。

この結果より、空気吸込量の過多が必ずしも DO 値の増大に結びつくものではないことが明らかとなった。

その他、 A_a 1.8 mm² で噴口の穴数が 1 個のときの流量が 1.0 m³/h において、DO 値が急激に上昇していることは、ミキシングショックにより、吸い込まれた空気が泡立てられていることから、DO 値が増大したものと考えられる。

第16図は、 A_a 1.8 mm², 噴口穴数 1 個の場合のノズル A, B による O_a 別の流量と DO 値との関係である。

O_a 60 mm² の場合におけるノズル A, B についての流量が 1.2 m³/h 以下では、ノズル A の方が高い DO 値を示す。一方、ノズル B については、噴口の断面積が増大することにより、DO 値は減少する。一般に流量が 1.0 m³/h 以下の場合には噴口断面積の減少を計ることが必要である。

IV. 結 言

前報に続き、この研究は、水耕栽培用吸気ノズル開発のための基礎的研究として、エジェクタノズルにおけるミキシング現象が空気の吸込特性を著しく改善させることに着目し、ミキシングショックに関係する要因の組み合わせ実験を行い、高い空気吸込特性をもち、その上、作動管長をより短くするための条件を実験的に調べたものである。

主な結果は次のとおりである。

(1) 可視によるミキシングショックの位置は、作動管内の圧力変動及び分布から得られる位置に一致し、可視による妥当性が明らかになった。

(2) ミキシングショック長 (L_{mix}) は流量の増加と共に減少する。すなわち、流量の増加により L_{mix} の短縮が可能となり、ノズル長の縮小が計られる。

(3) 流量が $1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上では、空気吸込口断面積の増加は、空気吸込量の増加となる。また、噴口断面積の縮小は空気吸込量の増大となる。

(4) 空気吸込量の増加は、必ずしも溶存酸素量の増加とはならない。

引用文献

1. 岩尾俊男他3名：島根大農研報(21)：134-140, 1987
2. 岩尾俊男他2名：島根大農研報(22)：143-148, 1988
3. 岩尾俊男・林 圭院：農機学会関西支部報(65)：66-69 1989
4. WITTE, J. H. : British Chemical Engineering 10(9) : 602-607, 1965
5. SPIRIDONOV, E. K. : Thermal Engineering 29(7) : 400-402, 1982