

案内式散粒ノズルに関する研究*

岩崎正美**・石原 昂**

昭和51年8月31日受付

Studies on the Granular Guide Molding Type Nozzles

Masami IWASAKI** and Akira ISHIHARA**

The granular boom-type blow-head is divided into the following classes, guide molding type, wall insert type, band insert type and throttle molding type. These have been commercially released for attachment to the knapsack power duster.

In this paper, a guide molding type nozzle which was attached to the pipe was tested looking for the improvement of the granular boom-type blow-head.

The following findings were obtained.

1. The relation between the granular discharge area of the nozzle and the decrease ratio of the wind velocity in the pipe was almost a straight line at the range of the ratio of the static pressure to the total pressure in the pipe, 0.5 to 0.73.
2. The average granular discharge ratio tended to approach at the rate of the granular discharge area of the nozzle to the section area of the pipe, with the increase of wind velocity.
3. The distributions of granular flying length and granular discharge weight were directly influenced by the dynamic pressure in the pipe, but were not affected by the modifications of the passing granular weight and the static pressure in the pipe employed.

緒 言

背負式動力散粉機のアタッチメントとして利用されている散粒用多口ホース噴頭は、散粉用多口ホース噴頭と異なり、種々のノズル形式を有したものが市販されている。一般には、衝突式、斜帯式、絞り式、案内式等の名称¹⁾で分類されているが、これらは試行錯誤の繰返しによって製品化されているのが現状のようである。これは、農用粒剤や農作物の種子の形状、大きさ、安息角、比重など種々の物理的性質が異なるため、同一噴頭でも散布ムラを生じることが原因となっている。一方、近年粉

剤散布における空中への飛散など公害防止の意味から今後農用粒剤の使用はますます増加すると思われ、さらに水稻における直播栽培に散粒用多口ホース噴頭が利用できる可能性をもつ意味からも、均一散布の可能な散粒用多口ホース噴頭の開発が望まれる。

ここでは、散粒用多口ホース噴頭改良のための資料を得るため、案内式散粒ノズルをとりあげ、単孔ノズルでの風速低下率、粒剤吐出割合、飛距離別落下量分布等を測定し、実験式から最適ノズル面積、ノズル間隔を求めようとした。

* 昭和49年9月農業機械学会関西支部例会にて講演(松江)

** 鳥取大学農学部農業工学科農用作業機械学研究室

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

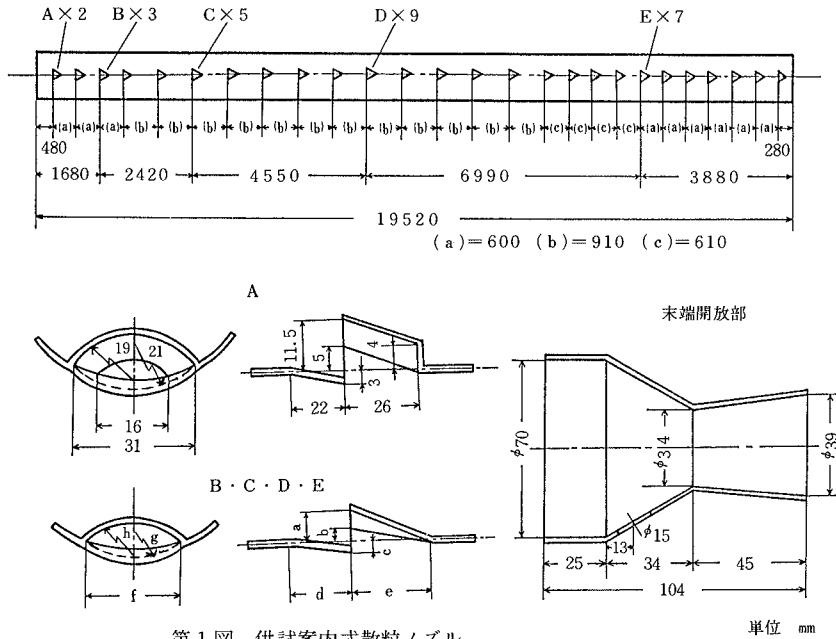
実験材料および方法

1. 供試ノズルと供試粒剤

散布巾20m用の供試した案内式散粒ノズルを第1図に

散粒機は、背負式動力散粉機(Y製MK_R-10A)を供試し、吐粉機構は空気攪拌搬送方式で、粉剤、粒剤共に利用できる構造となっている。

供試粒剤は、硫酸アンモニアでこの性状を第2表に示す。



第1図 供試案内式散粒ノズル

単位 mm

示す。ホースは内径73mm、厚さ0.1mmのポリエチレンでできており、このホースに形状の異なる5種類、合計26個のノズルが溶着されている。ここでは、散粒機側から順に、A~Eノズルとする。各ノズルの形状を第1図に示す。Aノズルのみ粒剤吐出口に鉛直方向4mmの衝突板を設けている。B~Eノズルの各部寸法およびA~Eノズルの開口面積S (cm²)を第1表に示す。SはAノズルが最も大きく、Bノズルからホース末端に近いEノズルまでは次第に大きくなっている。そして、末端は開放されておりホースを支持するための紐が取付けられている。ノズル間隔は、散粒機側および末端がせまく配置されている。

第2表 供試粒剤の性状

粒 剤 名	硫酸アンモニア (NH ₄) ₂ SO ₄
1 粒 重	1.10kg
平均 径	2.4mm
密 度	1.79g/cm ³
安息 角	35°
1 粒平均重	0.013gr

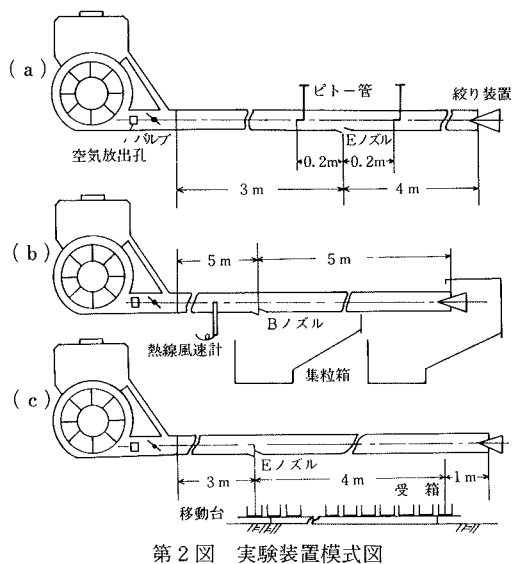
第1表 供試ノズルの各寸法と開口部面積

形式	a	b	c	d	e	f	g	h	S
A	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2
B	5.5	2	2	25	26	18	14.5	14.0	0.8
C	6.5	2	2	28	25	20	15.5	14.0	1.1
D	9.0	4	3	24	26	23	15.0	14.5	1.8
E	11.0	5	4	24	27	24	15.5	14.5	2.0

単位 a~h : mm S : cm²

2. 実験方法

ホース内の圧力分布を調べるためにピトー管により3点法にて水柱マンメータで測定した。またホース内風速V (m/s)については、熱線風速計も併用した。次に、ホース内流動空気ノズル部通過による風速低下について調べるために、第2図(a)に示すようにEノズルを1個取りつけたホースを試作し、ノズル前後20cmの位置で圧力測定を行った。種々のホース内圧力を得るため、散粉機を改造して空気放出孔とバルブを設け、ホース末端には、可変の絞り装置を設けた。次にBノズルについて第2図(b)に示すような吐出粒剤の全量を収集する装置を設け、ホース内風速およびホース内通過粒剤量



第2図 実験装置模式図

の違いによるノズルからの吐出量を測定した。また粒剤の飛距離離落量分布を調べるため、第2図(c)に示すように、ノズル直下1mの位置に25cm間隔で移動台の上に受箱を4mにわたって17箱設置した。散粒機およびホースは固定して、移動台をサーボモータ駆動によりホースと直角方向に往復移動させた。移動速度は2.4m/minで5往復させたのち、自動天秤で受箱内の粒剤量を測定した。

実験結果および考察

1. ホース内の圧力分布

市販品のホース内圧力分布および風速分布を、粒剤を通過させない状態でエンジン回転速度7500rpmの場合について第3図(a)(b)に示す。全圧 P_t (mmAq)、動圧 P_a (mmAq)共に、ホース末端に近づくにしたがって減少しているが、静圧 P_s (mmAq)は、13m付近よりホース末端までほぼ一定値を示している。ホース内風速 V (m/s)は、散粒機側Aノズル通過前で39m/sから、ホース末端では8m/sに減少している。なお、 V は次式にて算出した。

$$V = C\sqrt{2gP_a/\gamma} \quad \dots(1)$$

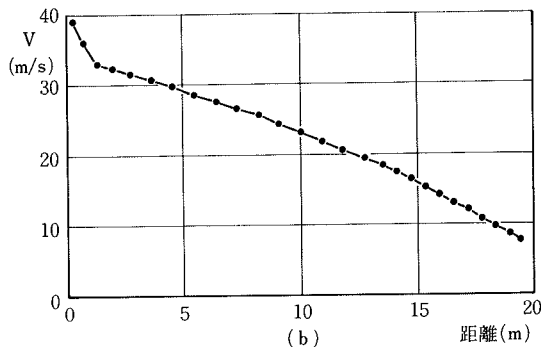
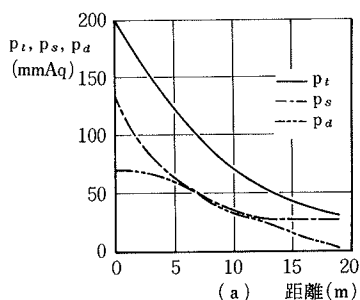
ここで C : 速度係数

g : 重力の加速度(m/s²)

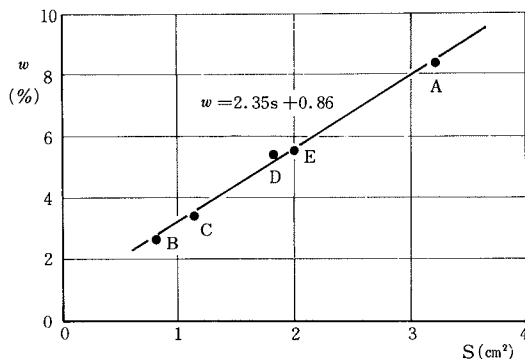
γ : 空気単位体積重量(kg/m³)

2. ノズル開口面積とホース内風速低下率

第4図は、各ノズル通過前後のホース内風速低下率 w (%)を示したものである。ここで w は、ノズル前後の風速差を、ノズル通過前の風速で除した値を百分率で示し



第3図 ホース内圧力分布および風速分布

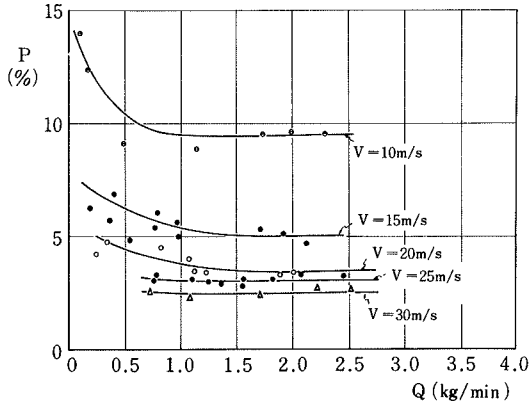


第4図 ノズル開口面積 S と風速低下率 w

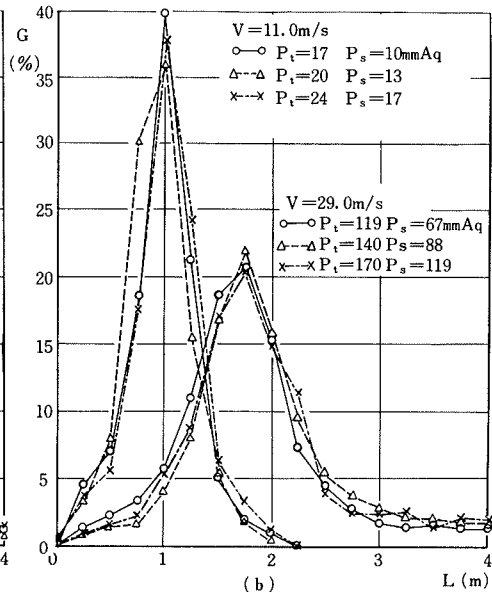
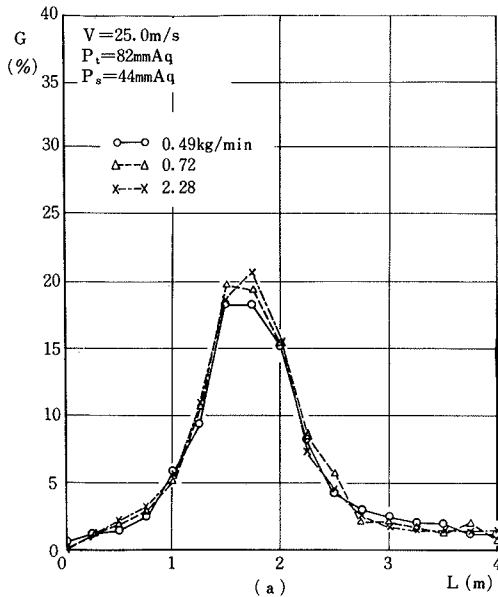
た。同図から、ノズル開口面積 S と w の間には、ほぼ一次直線関係が認められた。ただし、この関係は、ある範囲の条件の下でのみ成立すると考えられ、例えば市販品のホースにおいて、末端部で $V=15$ m/s以下となり、 P_s/P_t が0.7~0.9以上へと上昇するとき、装着されているEノズルの w は、平均9.5%と高い値を示した。このため特にEノズルについて、エンジン回転速度を2000~7500rpmまで500rpmごとに変化させ、 P_a/P_t 値を0.51および0.73について w を求めた。そして w の平均値として5.5%を得た値を同図に示している。

3. ノズルからの粒剤吐出量

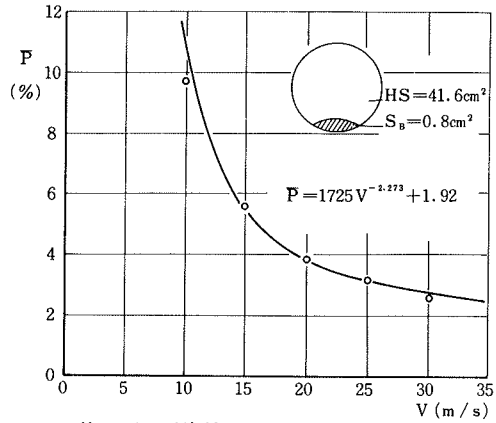
ホース内通過粒剤量 Q (kg/min) と B ノズルからの吐出率 P (%) の関係を、 $V = 10 \sim 30$ m/s について第 5 図に示す。ここで P は、ノズル通過前ホース内通過粒剤量に対するノズルからの粒剤吐出量の割合を百分率で示したものである。これから P は V が低くなるほど変動が大きく、バラツキを示した。また $Q = 1$ kg/min 以下になると、 V が低くなるほど P は増加傾向を示した。次に、ノズルからの粒剤平均吐出率 \bar{P} と V の関係を第 6 図に示す。 \bar{P} は、 V の上昇につれてだいに低下しある限界値に近づく傾向を示している。一般にホース内を通過するホー



第 5 図 ホース内通過粒剤量 Q と粒剤吐出率 P



第 7 図 飛距離 L と粒剤落下量割合 G



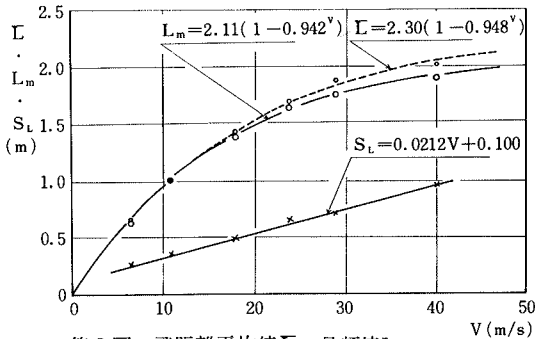
第 6 図 平均粒剤吐出率 \bar{P} と風速 V

ス断面の粒剤分布は、 V の上昇につれて均一分布に近づくものと考えられるゆえ、その漸近線としてホース断面積 $HS = 41.6 \text{ cm}^2$ に対する B ノズルの開口面積 $S_B = 0.8 \text{ cm}^2$ の商をとって図中の実験式を得た。

4. ノズルからの粒剤飛距離別落下量分布

ホース内圧力を一定に保った状態で、ホース内通過粒剤量 Q を変化させたときのノズル直下を基点とした粒剤の飛距離別の落下量分布割合 G (%) を第 7 図 (a) に示す。 G は、全受箱に入った粒剤量に対する各受箱粒剤量の割合を百分率で示したものである。同図より各圧力一定の下では、 Q の変化にかかわらず、 G はほとんど影響され

ず、かつ飛距離L(m)もQの影響をうけていないことがわかる。そこで次に、Paを一定すなわちVを固定させて、Poを変化させた結果を同図(b)に1例としてV=11m/sおよび29m/sについて示す。これからGおよびLは、Psの変化による影響を認められなかった。すなわち、供試ノズルにおいて、GおよびLに影響を与えるのは、Paのみと考えてよい。そこで、種々のホース内風速下で求めた飛距離L(m)の平均値L̄(m)、最頻値Lm(m)および標準



第8図 飛距離平均値L̄・最頻値Lm・標準偏差SLと風速V

偏差SL(m)の関係を第8図に示す。同図において、L̄, LmはVの増加と共にある限界値に近づく傾向がみられ、漸近線として各々L̄=2.30m, Lm=2.11mとなり、図中の実験式で近似された。またVとSLの関係は、一次直線的に増加する傾向がみられた。

次に粒剤が、ノズルから吐出される時の速度および吐出角度を推定するため、次の運動方程式²⁾から粒子の飛行軌跡を求めた。

$$\rho_p \left(\frac{\pi D^3}{6} \right) \frac{dU_h}{dt} = -C \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \left(\frac{\rho U^2}{2} \right) \cos \theta \quad \dots(2)$$

$$\rho_p \left(\frac{\pi D^3}{6} \right) \frac{dU_v}{dt} = \rho_p \left(\frac{\pi D^3}{6} \right) g - \rho \left(\frac{\pi D^3}{6} \right) g - C \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \left(\frac{\rho U^2}{2} \right) \sin \theta \quad \dots(3)$$

ただし $\cos \theta = \frac{U_h}{U}$, $\sin \theta = \frac{U_v}{U}$, $U^2 = U_h^2 + U_v^2$

$$C = f(\rho U D / \mu)$$

ここで ρ : 空気密度 (kg/m³)

ρ_p : 粒子の密度 (kg/m³)

C : 空気抵抗係数

U : 粒子の相対速度 (m/s)

U_h : 粒子の水平速度 (m/s)

U_v : 粒子の垂直速度 (m/s)

D : 粒子の直径 (m)

θ : 粒子の相対速度と水平速度成分のなす角度 (°)

g : 重力の加速度 (m/s²)

t : 時間 (sec)

(2)および(3)式を、次式のように変形し逐次近似法によって数値計算を行った。

$$\Delta U_h = - \left(\frac{3\rho}{4\rho_p D} \right) \cdot C \cdot U \cdot U_h \cdot \Delta t \quad \dots(4)$$

$$\Delta U_v = \left[\left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \right) g - \left(\frac{3\rho}{4\rho_p D} \right) \cdot C \cdot U \cdot U_v \right] \Delta t \quad \dots(5)$$

ここで $\rho = 1.23 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

$\rho_p = 1.79 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

C = 0.44

D = 2.4×10^{-3} (m)

を代入し、 $\Delta t = 0.005$ (sec), θ を 0~30°まで5°間隔で、ノズルからの粒子の初速度U₀を2.5~30.0(m/s)間で12段階に分け、ノズルの高さを1mとして、落下地点までの飛距離を求めた。第2表に結果の一部を示す。そして、第8図におけるL̄と比較した結果、ノズルからの θ は、約25°, U₀は、ホース内風速の約50%程度と推定された。

5. 模擬試験

これまでの実験結果から得た実験式を利用して、硫酸アンモニア使用のときの吐出粒剤の落下量分布の計算を試みた。すなわち、初期値としてノズル個数、ノズル面積、ノズル位置、および第1ノズル通過前ホース内風速を種々を与え、受箱に入る粒剤量を算出し変動係数CVを以下の条件下で求めた。

(1) 風速低下率wは、ノズル開口面積Sとの間に、第5図より、ほぼ一次直線関係が認められるため、ノズル通過後におけるホース内風速は、次式で与えられる。

$$V_{i+1} = V_i \times \{ 1 - (2.35 \times S + 0.86) / 100 \} \quad \dots(6)$$

ただし、V_{i+1} : 散粒機側よりi番目のノズル通過後のホース内風速 (m/s)

第3表 粒子の飛行距離

θ (°)	U ₀ (m/s)											
	2.5	3.4	5.5	7.5	9.0	12.0	12.5	14.5	17.5	20.0	25.0	30.0
10	0.98	1.26	1.89	2.38	2.68	3.19	3.27	3.54	3.87	4.11	4.46	4.71
15	0.92	1.17	1.69	2.06	2.28	2.63	2.67	2.84	3.11	3.14	3.32	3.41
20	0.68	1.07	1.50	1.79	1.95	2.18	2.21	2.30	2.41	2.48	2.57	2.61
25	0.76	0.98	1.34	1.55	1.66	1.79	1.84	1.90	1.96	2.01	2.05	2.08
30	0.73	0.89	1.18	1.34	1.42	1.53	1.54	1.58	1.62	1.65	1.67	1.68

単位 : m

V_i : 散粒機側より i 番目のノズル通過前の
ホース内風速 (m/s)

(2) ノズルからの平均吐出率 \bar{P} は, 第7図から実験式
がノズル開口面積 S により変化すると仮定して,

$$\bar{P} = 17.25V^{-2.275} + S/41.6 \quad \dots(7)$$

ノズルからの粒剤吐出量 q (kg/min)は,

$$q = Q_i - Q_{i+1} = Q_i \times \bar{P} \quad \dots(8)$$

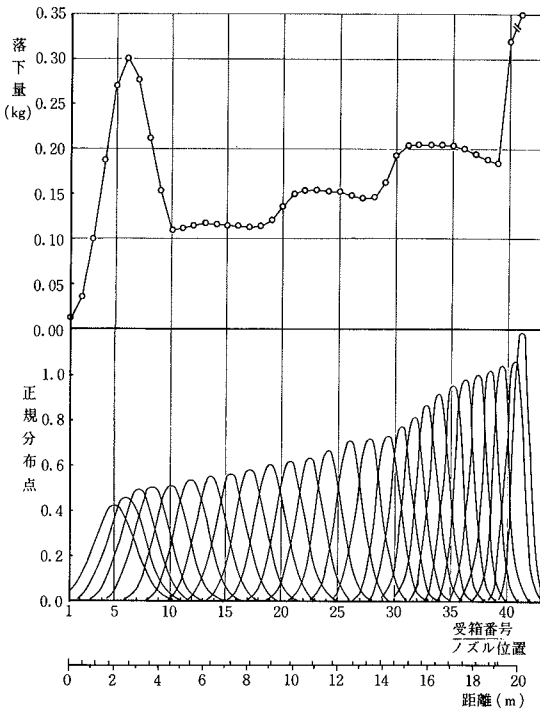
ただし, Q_i : i 番目のノズル通過前ホース内通過粒
剤量 (kg/min)

Q_{i+1} : i 番目のノズル通過後ホース内通過粒
剤量 (kg/min)

(3) ノズルからの粒剤の飛距離別落下量分布は, 第
8図より, 近似的に正規分布曲線をとるとみなすと, 落
下量分布曲線 $G(L)$ は次式で与えられる。

$$G(L) = \frac{1.0}{\sqrt{2\pi} \cdot L_s} e^{-\frac{(L - \bar{L})^2}{2L_s^2}} \quad \dots(9)$$

ただし, \bar{L} および L_s は, S が変化してもかわらないも
のと仮定し, さらに A ノズルは, 第1図に示すように衝
突板を設けて粒剤がノズル直下に落下しやすいうように考
慮してあるが, ここでは, これらを無視して第8図に示



第9図 落下量分布

す実験式から次式を利用した。

$$\bar{L} = 2.30(1.0 - 0.948^V) \quad \dots(10)$$

$$L_s = 0.0212V + 0.100 \quad \dots(11)$$

(4) 粒剤受箱は, 送風機側第1ノズル直下を基点とし
て以後50cm間隔ごとに設けるものと仮定して, 正規分布
点より落下量を算出し, 次式によって変動係数 CV を求めた。

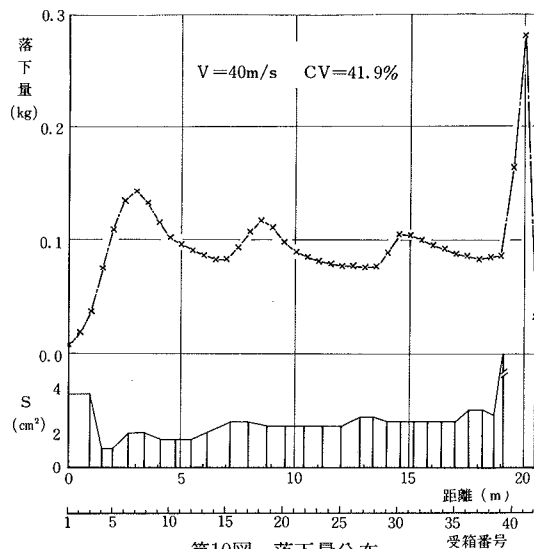
$$CV = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} \times \frac{1}{\bar{x}} \quad \dots(12)$$

ただし, x : 受箱に入った粒剤量 (kg)

\bar{x} : 各受箱に入った粒剤量の平均 (kg)

n : 受箱数

第9図は, 市販の噴頭について, すなわち第1図およ
び第1表のノズル位置およびノズル開口面積で, 前述(6)
~(12)の各実験式を使用してプログラムを組み, 各受箱に
入る粒剤量および CV 値を求めた1例を示す。初期値と
して, 第1ノズル通過前風速 $V_1 = 40$ m/s, 同じく通過粒
剤量 $Q_1 = 2$ kg/min を与えた。同図において正規分布曲線
は, 各ノズルから吐出した粒剤の飛距離別落下量分布を
示しており, 落下量は, 各受箱上における正規分布点か
ら求めた粒剤量の和を算出して示した。このときの CV
値は, 76.5% でかなり高く, $V_1 = 45$ m/s で $CV = 77.2\%$,
 $V_1 = 35$ m/s で $CV = 68.7\%$ であった。そこで, CV 値が
低くなるよう, ノズル開口面積 S およびノズル間隔をか
えて計算した結果の中で, 最も少ない CV 値を得た例を
第10図に示す。市販の26個のノズルを28個に増加させて,



第10図 落下量分布

全体としてややノズル開口面積 S を増加させた結果、 $CV=41.9\%$ を得た。

これらの計算過程における問題点は、前述の仮定のほかに、ホース末端の開放部を無視していること、風速低下率 w は、粒剤を通過させない状態での実験式を適用しており、 P_s/P_t 値が大きくなるホース末端では、 w が大きくなること、またタンクから粒剤がホース内へ放出される位置により、ホース内での粒剤の分布状態が異なることなどが考えられる。今後、実際の試作品による実験結果との比較およびこれらの問題点を明らかにするための基礎実験を必要とする。

総 括

散粒用多口ホース噴頭改良のための資料を得るため、案内式散粒ノズルをとりあげ、単孔ノズルで硫酸アンモニアを使用して基礎実験を行った結果、次のことが明らかとなった。

1. ノズル開口面積 S と風速低下率 w の間には、ホース内全圧 P_t に対する静圧 P_s の割合が $0.50\sim 0.73$ の範

囲でほぼ一次直線関係が認められる。

2. ノズルからの平均粒剤吐出率 \bar{P} は、ホース内風速 V の増加とともに、ホース内断面積 HS に対するノズル開口面積 S の割合に近づく。

3. ノズルからの飛距離別の落下量分布は、ホース内の動圧 P_d による影響を受け、ホース内通過粒剤量 Q およびホース内静圧 P_s の変化にほとんど影響を受けない。

本実験をおこなうにあたり、実験材料の提供に便宜をいただいた(株)マルナカ製作所岩本吉造氏および当研究室の専攻生川島陵司氏、浜尾正雄氏の協力に負うところが多い。記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 農業機械化研究所：散粒用多口ホース噴頭と農薬粒剤の適応性に関する研究，農業機械化研究所，大宮（1971）p. 5
- 2) 井伊谷綱一：粉体工学ハンドブック，朝倉書店，東京（1965）pp. 252～259