

灌漑用多孔ホースの水理特性と散水分布モデル

永井明博・四方田穆・山内 悟^{a)}

(農業水理学研究室)

Received July 1, 1986

Hydraulic Characteristics of Perforated Hose for Spray Irrigation and Mathematical Model for Calculating Spray Distribution

Akihiro NAGAI, Atsushi YOMOTA and Satoru YAMAUCHI^{a)}

(Laboratory of Irrigation and Drainage)

An experiment has been carried out to examine the hydraulic characteristics of perforated polyethylene hose for spray irrigation. This hose has a special filter designed to protect the perforation from clogging with suspended materials such as soil, sand, and debris.

First the coefficient ca is expressed as a linear function of pressure intensity, where c and a are the discharge coefficient and the cross sectional area of the perforation of the hose respectively. Spray distribution pattern on one side of the hose is fitted to the two-parameter gamma distribution. The shape parameter of the distribution is approximated by constant value regardless of the pressure intensity, while the scale parameter is represented by a function of the intensity.

Next the flow in the perforated hose is formulated hydraulically. The value of C_H , the coefficient of the HAZEN-WILLIAMS formula for uniform flow, is found to be 60 on the basis of the results of simulation. A hydraulic model is proposed to calculate the two-dimensional distribution of spray intensity and the flow conditions involving discharge and pressure head. It is shown that this model can produce results fairly close to the actual conditions.

緒 言

多孔管による灌漑は、均一な散水分布が得やすいこと、比較的 low 水圧で高い散水強度が得られること、水滴落下時の衝撃力が小さいことなどから、作物の発芽前後の灌漑や施設園芸などに適する^{1,2)}といわれている。一般に多孔管としてはアルミ管・塩化ビニル管のほか、軟質ビニルなどのフレキシブルホースが用いられる。このような多孔管灌漑を効果的に行うには、それぞれの散水上の特徴を用途に応じて活用することが重要となる。そのためには管およびそれに設けられた小孔の水理・散水特性を明確にする必要がある。これについては、これまでにいくつかの研究成果があるが^{3,4)}、それらは例えば多孔管に沿った散水量を一定と仮定して得られたものである。しかしながら現実には、むしろ、ある所定の水圧を与えた場合に上下流端散水量の差がどの程度になるか、あるいはその差は実用的に許容範囲内にあるかということなどが問題となる場合が多い。

このような問題を解決するには、いろいろな場合の散水分布が計算できるような数理モデルが必要である。ここでは、特殊フィルタを内蔵したポリエチレン製多孔ホースをとりあげ、その水理・散水特性を調べるとともに、散水分布をシミュレートするための水理計算法についても検討した。

a) 現在、西松建設株式会社

材 料 と 方 法

1. 材 料

対象は特殊フィルタを内蔵するポリエチレン製多孔ホース(噴霧型, 製品名: エバーフロー, 三井石油化学製)である。厚さ 0.19mm のこのホースには, 長さ 1.3mm の細孔(スリット)が噴射角を変えながら 22mm 間隔にあげられており, ホース 1m 当りの細孔数は 45.6 個である。この噴出角度は Fig. 1 のように左右それぞれ 2 種類ある。カタログでは, この多孔ホースは $p = 0.28 \sim 0.70\text{kg/cm}^2$ の範囲の水圧で使用でき, 散水分布の均一性は 50m までとなっている。実験に先立ち, 水圧 p によるホース外径 D の変化程度を調べたところ, $p = 0.31 \sim 0.63\text{kg/cm}^2$ の範囲で $D = 23.25 \sim 23.60\text{mm}$ とほとんど変化はなく, 後述の数理モデルではホース外径は水圧に無関係に $D = 23.52\text{mm}$ として計算することとした。

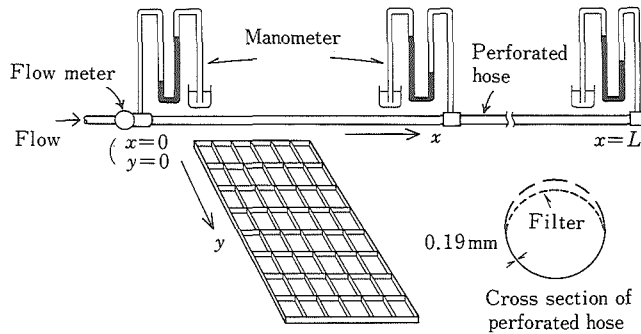


Fig. 1. Experimental apparatus.

2. 実験方法と実験装置

実験は岡山大学農学部実験棟水理実験室で行った。装置の概要を Fig. 1 に示す。実験にはホースを 10m ごとに切断したものを 5 本用意し, これを 1~5 本つなぎあわせて, 全長 $10, 20, 30, 40, 50\text{m}$ のホースとし, 以下の項目を測定した。

①ホース上流端流量: 水道用積算型羽根車式簡易量水計で測定した。量水計の精度を確かめるため, これを通過した水を $2.0 \times 0.5\text{m}$ の水槽に貯水して, 量水計の示す通過水量 V_m と貯水量 V_s を 12 ケースについて比較した。その結果, 両者の差 $(V_m - V_s)$ は V_s に対して $-0.6 \sim 2.4\%$ であり, この量水計によって十分精度よく流量を測定できることがわかった。ただし, この検定の通水時間は 10 分とし, V_s は $76.0 \sim 162.0\text{l}$ の範囲とした。

②水圧: ホース上下流端および上流端から 10m ごとの点において水銀マンオメータで測定した。上流端水圧は $0.3 \sim 0.7\text{kg/cm}^2$ の範囲で変化させた。

③散水分布: 横断方向 (Fig. 1 の y 軸方向) 散水分布はホース軸に関して左右対称となるので, 片側分布のみを測定した。これには $1.8 \times 0.9\text{m}$ のベニヤ製木枠に $22.3 \times 13.5\text{cm}$ のプラスチック容器を 48 個 (長辺方向に 8 個, 短辺方向に 6 個) 並べた受水箱を用いた。この受水箱は Fig. 1 のように短辺がホース軸に平行となるように設置した。このようにすると, ホースから所定の距離だけ離れた点の散水量は, ホース軸に平行な容器 6 個の合計受水量として求まる。またホース軸に沿う流下方向散水分布はこの箱を移動させることによって測定

した. このように測定した総受水量は, ホースからの噴出量(上流端流量)に対して, 平均値 99.9%, 標準偏差 5.0% であり, 受水箱にプラスチック容器を並べた上述の方式でも実用的には十分な精度で散水量を測定できることがわかる. なおこの数値は, ホース長 $L = 10, 20\text{m}$ の場合につき, 上流端圧力をいくつか変化させた合計 12 ケースの検定結果に基づいている.

水理・散水特性

1. 細孔の流出係数

細孔断面積は水圧に応じて変化すると予想されるが, この変化の測定は困難である. そこで細孔の流出係数 c と細孔断面積 a の積 ca を一個の係数とみなすと, ca は次式で求まる.

$$ca = \frac{Q_u}{Ln\sqrt{2gh}} \quad \dots\dots(1)$$

ここに, Q_u : 上流端流量 (m^3/s), L : ホース長 (m), n : ホース単位長当りの細孔数で, いまの場合 $n = 45.6$, g : 重力加速度 (m/s^2), h : 圧力水頭であり, h と水圧 p の関係は, w を水の単位体積重量とすると, $h = p/w$ である.

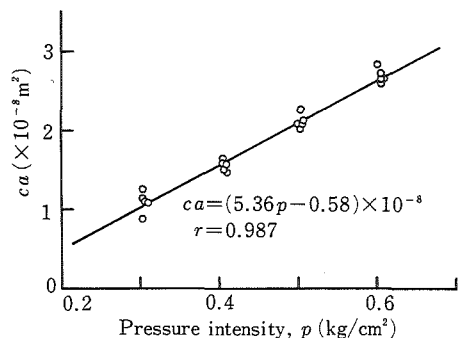


Fig. 2. Relation between coefficient ca and pressure intensity.

ホース長 $L = 10\text{m}$ の場合の ca と p の関係を Fig. 2 に示す. ただし, $L = 10\text{m}$ では上下流端圧力差がほとんどないので, (1) 式の h にはこれらの平均値の圧力水頭換算値を用いた. 水圧 p が大となるに伴い, 係数 ca の値も大きくなっていることがわかる. 同図中には a を m^2 単位, p を kg/cm^2 単位とした次の回帰式も併示している.

$$ca = (5.36p - 0.58) \times 10^{-8} \quad \dots\dots(2)$$

2. 横断方向散水分布特性

y 軸の原点をホースにとると (Fig. 1), ホース片側の散水分布形状は, 後示の Fig. 5 のように y の大きい所に裾をもった形状となる. そこで, これに次のガンマ分布をあてはめる.

$$f(y) = \frac{\nu(\nu y)^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\nu y} \quad \dots\dots(3)$$

ここに, $\Gamma(\)$: ガンマ関数, k : 形状母数, ν : 尺度母数, y : 距離 (m).

ガンマ分布のパラメータは, \bar{y} を平均散水距離, s^2 を散水距離の分散として, 次式から推定できる.

$$k = (\bar{y}/s)^2, \quad \nu = \bar{y}/s^2 \quad \dots\dots(4)$$

ホース長 $L = 10\text{m}$ の結果からこれらの母数を定めた. パラメータ k と水圧 p の関係を Fig. 3(a) に示す. これらの間には一定の関係が見られないので, 取り扱いを簡単にするため, とりあえず平均値に近い整数をとって $k = 6$ と近似した. また, \bar{y} と p の関係を Fig. 3(b) に示すが, 両者の関係を図中の式で近似すると, 結局ガンマ分布のパラメータは次式で表さ

れる。

$$k = 6, \nu = k/\bar{y} = \frac{6}{1.38p + 0.12} \quad \dots\dots(5)$$

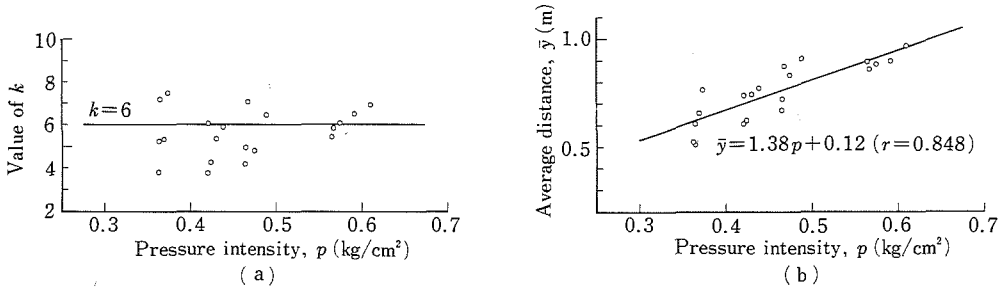


Fig. 3. Relations between (a) value of k and pressure intensity, and (b) average distance and pressure intensity.

散水分布モデルとその再現性

1. 多孔ホース内流れの基礎式

ホースに沿って流下方向に x 軸をとると、連続式・運動方程式はそれぞれ次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ}{dx} &= -q, \quad q = nca\sqrt{2gh} \\ \frac{dh}{dx} &= \frac{2qQ}{gA^2} - (0.849C_H R^{0.63} A)^{-1.85} |Q|^{0.85} Q - \frac{dz}{dx} \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

ここに、 Q : 流量、 h : 圧力水頭、 R : 径深、 A : 流水断面積、 z : 基準面からの標高、 C_H : HAZEN-WILLIAMS 公式の係数、 q : ホース単位幅当り散水量、 ca : (2)式より求まる係数。

この実験ではホースは水平に設置されており、 $dz/dx = 0$ である。また上式を解くための境界条件は、 h_a を下流端圧力水頭とすると、次のとおりである。

$$\text{下流端 } x = L \text{ で, } h = h_a, Q = 0 \quad \dots\dots(7)$$

連立常微分方程式(6)式の数値解法には種々の方法を利用できるが、ここでは RUNGE-KUTTA 法を用いる。この計算には岡山大学農学部データ集録処理装置 MS 50 を用いた。

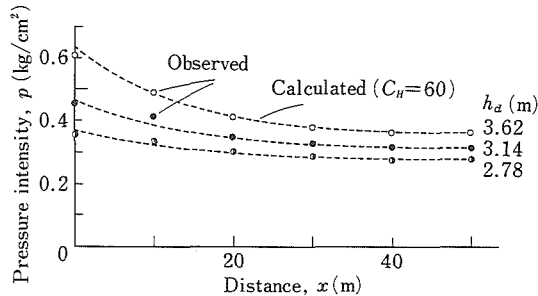


Fig. 4. Examples of calculated pressure intensity.

2. 係数 C_H の値

ホース長 $L = 50\text{m}$ の実験結果を重視して、 10m ごとの水圧と上流端流量の両者が同時にうまく再現できるような係数 C_H の値を試行錯誤的に求めて、 $C_H = 60$ を得た。結果を Fig. 4 に示すが、計算値は実測値をよく説明している。

一方、著者らはこれまでに他の多孔管についても散水実験を行うとともに、(6)式を基礎にしたシミュレーション結果に基づいて、アルミ製多孔管では $C_H = 120$ 、フレキシブル多孔ホース（織布強化塩化ビニルホース）では $C_H = 110$ の値を得ている。これらの値に比べて今回の特殊フィルタ付き多孔ホースの C_H の値が小さいのは、フィルタによる見かけ上の抵抗が大きいためであると考えられる。

3. 横断方向散水分布の再現性

所定の境界条件の下で(6)式を解くと、任意の点 x の圧力水頭 h (または水圧 p) とホース単位幅当り散水量 q が求まるが、さらに、この p を(5)式に代入してガンマ分布のパラメータを定めれば、ホースから距離 y にある点の散水強度 q_y は、 $q_y = f(y)q/2$ で計算できることになる。実測値と計算値の比較を Fig. 5 に示すが両者はよく一致している。

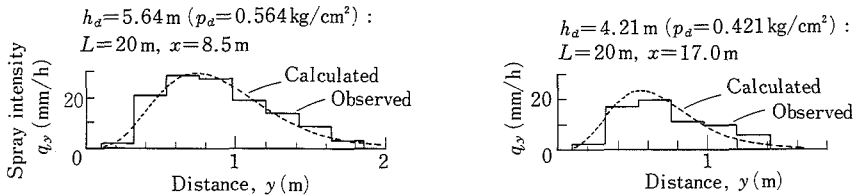


Fig. 5. Examples of calculated distribution pattern of spray intensity.

4. 散水分布モデル

(5)式を媒介にして(6)式に(3)式を組み込んだ散水分布モデルを用いると、任意のケースについて、ホース各点の水圧・流量および縦横断方向の散水強度の分布をシミュレートできる。一例として、ホース長 $L = 50\text{m}$ 、上流端水圧 $p_u = 0.7\text{kg/cm}^2$ を想定した場合の2次元的散水分布状況を Fig. 6 に示す。同図ではホース片側の分布形状しか示していないが、 x が大になるにつれて散水強度は低下し、かつ散水幅も小さくなっており、このモデルは実際の現象をかなり説明できそうである。

また、ここに示したモデルは地形に傾斜のある場合にも適用できるほか、ホースをどのように配置すれば均一な散水分布が得られるかという問題もいくつかのケースをシミュレーションすることによって検討できるはずである。

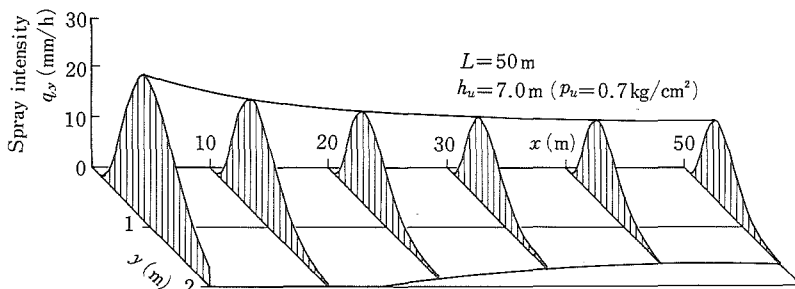


Fig. 6. Three-dimensional illustration of spray intensity distribution on one side of hose.

摘 要

散水灌漑用多孔ホースの水理特性を調べるために実験を行った。このホースはポリエチレン製であるが、流水中のゴミによる目詰り対策用の特殊フィルタが取り付けられている。

まず、ホース細孔の流量係数を c 、その細孔の断面積を a として、係数 ca を圧力の一次式で表した。また、横断方向の散水分布をガンマ分布で近似した。その形状母数は一定値としたが、尺度母数は圧力の関数として表した。

次に、ホース内の流れを水理学的に定式化し、HAZEN-WILLIAMS 平均流速公式の係数 C_H の値をシミュレーション的に調べて $C_H = 60$ を得た。また流量・水圧および 2 次元散水分布を計算できる水理モデルを提示するとともに、これが実際の現象をよく再現できることを示した。

文 献

- 1) 畑地かんがい検討会編：畑地かんがいの手引，107-108，畑地農業振興会，東京（1985）
- 2) 丸山利輔ら：灌漑排水（新編，上巻），128-129，養賢堂，東京（1986）
- 3) 村上康蔵・富士岡義一：農土論集 34，41-48（1970）
- 4) 村上康蔵・敦賀利昌・四方田穆：農土学会中国四国支部講演要旨集，90-92（1981）