

自脱型コンバインの生脱穀に関する研究 (第2報)

選別作用について

石原 昂・寺田 優*

(鳥取大学農学部農業機械学研究室)

Studies on Wet Threshing by Small Combines with Self-feeding Type Thresher

II. Function of Selecting

Akira ISHIHARA and Masaru TERADA

(Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Tottori University)

In this paper, we are reporting about the selective performance in the thresher and small combine. The authors observed the motion of grains in the thresher. Continuously, the sending-out motion of grain on the oscillating selector was studied. On the same selector, the selecting motion of grain was analyzed theoretically and experimentally.

The studies were performed with the following results : for improving the performance of small combines, the designer must apply more effective factors related to wet threshing in designing each part of the combine.

緒 言

刈取り脱穀を同時に行なういわゆる生脱穀は 従来の慣行脱穀法に比べて極めて能率的であるから、今後一層普及するものと考えられる。しかるに、現在の自脱型コンバインの脱穀部および生脱穀兼用の自動脱穀機は、改良してあるにしてもそのごく一部を改良しているにすぎず、生脱穀特有の構造的諸条件が余り考慮されていない。そこでこれらの生脱穀における諸問題を究明するため、第1報では脱穀作用について検討した。引続いて本報では生脱穀の選別作用についての検討結果を報告する。

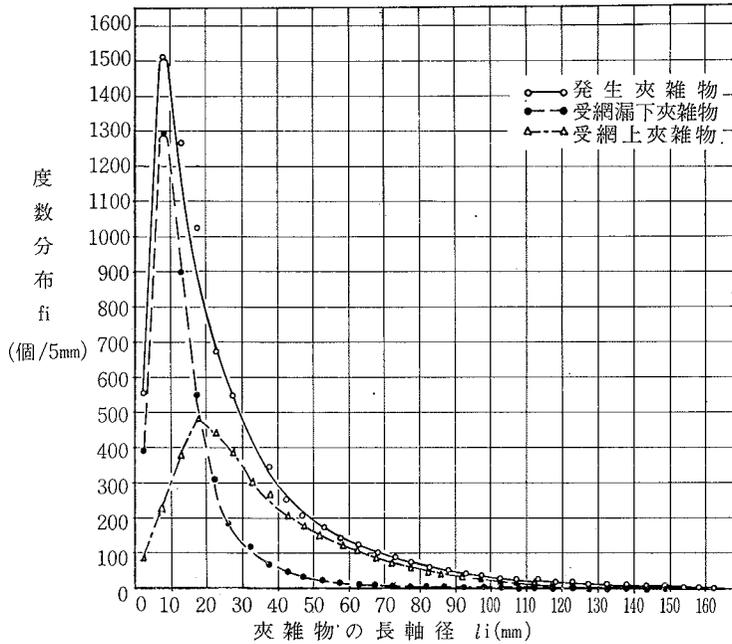
全自動脱穀機内での夾雑物の発生状態と受網の選別性能実験

脱穀機で稲を脱穀すると、目的の脱粒物の外に不完全脱粒である枝梗付着粃、穂切粃、脱稈米、胴割米、碎

米などを生じる。また、脱穀副産物としてわら屑、塵芥などの夾雑物を多量に生じる。これら精粃以外の夾雑物は、脱穀機内で受網により粗選別されて漏下し、さらに吸引唐箕、順風唐箕により精選別されて機外に排出される。そして、受網での選別は比較的大きい夾雑物をふるう予選別である。そこで、この受網の予選別性能を調べ受網の目開きなどを検討するために、脱穀で発生する夾雑物の大きさと頻度およびこれらの夾雑物がクリンプ網で選別される程度などを調べるために実験を行った。

(a) 実験装置および方法

実験装置は第1報で試作した手扱き式の動力脱穀機である。これを 550rpm の規定回転数で運転し、供試稲(品種はヤマビコ)をバインダ刈りして後、1kg束に結束して30束を3秒間隔で脱穀した。試作機の受網の下には区画を設けた脱穀物受箱を入れ捕集し、脱穀物の縦方向分布と横方向分布を測定した。また、つぎに受箱を取



第1図 発生夾雑物，漏下夾雑物，選別後の夾雑物と長軸径の関係

り去り，可変傾斜流穀板（傾斜角 0～60°）を使用して脱穀物を脱穀機底面に落下させて，流穀板上の流下状態および堆積物の横方向分布，縦方向分布を測定した。

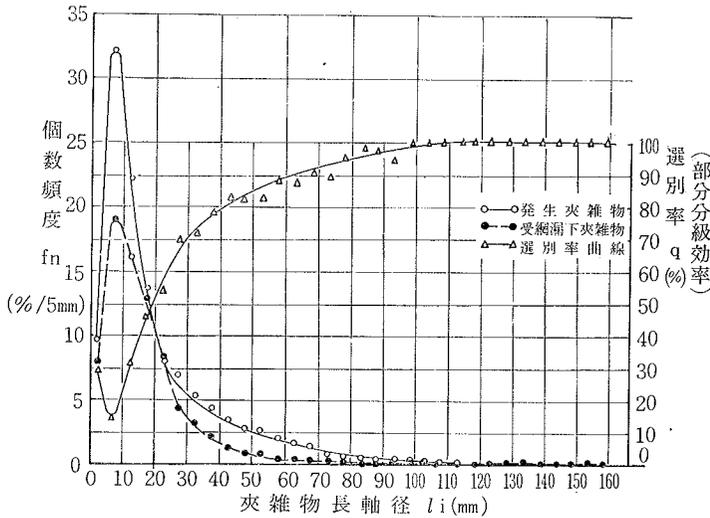
(b) 実験結果および考察

脱穀時に発生する夾雑物の分布は第1図に実線で示す傾向にある。本図は縦軸に夾雑物の発生個数頻度を，横軸に夾雑物の長軸径をとっている。発生する夾雑物は長軸径が5～10mmのものが最も多い。5mm以下および10mm以上の夾雑物の発生頻度は急激に減少し，分布は単峰性非対称分布を示す。受網漏下夾雑物の分布と受網の選別性能については，発生した夾雑物が受網により粗選別されて受網を漏下し脱穀機底部に堆積するのであるから，受網を漏下した夾雑物の分布を調べると受網の粗選別性能は判る。受網は2mmφ，8mm×8mmの正方形目開きである。漏下夾雑物の分布を第1図に鎖線で示す。本図より受網を通過した夾雑物は長軸径が5～10mmのものが最も多く，これをピークとした単峰性非対称分布を示す。発生夾雑物曲線と漏下夾雑物曲線とはほぼ同様の傾向を示しているが，細部においては相違する。そして，受網の選別能力はこの細部における相違に基因するから，これを統計的に処理しその結果を第1表に示す。これらの8項目により選別性能は判断されるべきである。つぎに

第1表 両曲線の相異点

項目	発生夾雑物(A)	受網漏下夾雑物(B)	(A)-(B)
分布範囲 R (mm)	0～170	0～120	50
算術平均 m (mm)	27.59	15.26	12.33
メディアン Me (mm)	15.70	9.80	5.90
モード Mo (mm)	8.48	8.48	0
曲線の歪度 Sk	1.67 > 0	1.35 > 0	0.35
標準偏差 σ	21.24	12.29	8.97
分布型	正の非対称	正の非対称	—
1.3σ内の存在個数 N' (Nは全資料数)	N' = 0.409N のものが 0～55.2mm	N' = 0.408N のものが 0～31.6mm	13.6mm

左側縦軸に個数頻度を%で，右側縦軸に部分分級効率とも呼ばれる選別率を%で示したのが第2図である。発生夾雑物は実線のごとき分布を示し，これを受網で選別すると漏下夾雑物は鎖線のような分布を示す。これより選別率を求めると選別率曲線のようになる。図より選別率約15～100%にいたる長軸径は，約7.5mmから110mmまで



第2図 選別率と夾雑物の長軸径の関係

の102.5mm という広範囲におよび、選別率は夾雑物長軸径の大小に支配されて、極めて鈍感な選別が行なわれていることが判る。受網下の脱穀物の分布を風選なしの状態で見ると、その均一性がよく判る。かくして測定した結果、脱穀物の縦方向分布は流穀板に規制され、前方に緩傾斜、後方に急傾斜の凸型分布を示した。また、横方向分布は稲の供給側に多く、空稈側に少ない偏分布を示した。これは選別にとって都合の悪い分布である。

揺動選別機の輸送理論および実験

(a) 揺動選別機の機構と構造

揺動選別機は振動装置として電磁石、カム、偏心軸などを用いて、振動面にこれと鉛直な面内で上下振動、円運動、楕円運動などの振動を与え、振動面上の物質を輸送、選別する機構をもっている。機械の構成は、振動しながら物質を輸送する輸送部と輸送しながら選別を行なう選別部とから構成されている。農業機械への応用としては、外国製の普通型コンバインにおけるドラム後方のチャフシーブヤストローラックがこれであり、国産の自脱型コンバインではダイナミックシーブに揺動選別機を応用したのが始めてである。すなわち、生脱穀の選別部として揺動選別機を応用したことは意義が深い。

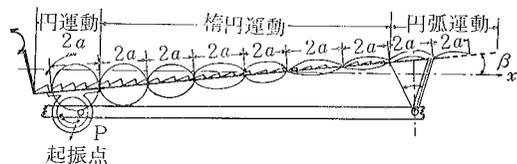
(b) 輸送の理論的考察

輸送される生脱穀物の物理的性質は、輸送の難易を支配する。脱穀物の物理的性質を第2表に示す。揺動選別機の運動機構と振動面各点の軌跡を究明するために、まず偏心円板の運動軌跡を求めてみる。回転軸に固定され

第2表 脱穀物の物理的性質

項 目	粳	わら	備 考
真 比 重	1.11	—	品 種
見 掛 け 密 度 (kg/m ³)	666	約50	細断わら
空 隙 率 (%)	50.4	—	ばら積み
鋼 と の 摩 擦 係 数	0.41	0.22	含水率 14%
平滑木材との摩擦係数	0.44	—	含水率 14%
安 息 角 (°)	36°	—	含水率 14%
摩 擦 角 (°)	0.73	—	含水率 14%

た偏心軸が回転する時、偏心円板上の一点Pが描く軌跡は、偏心円板が $\theta = \omega t$ だけ回転した時、第3図に示す



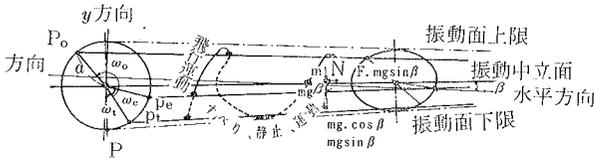
第3図 振動機構と各点の運動軌跡

るとき運動軌跡を示すことになる。つぎに揺動選別機の運動機構について、これを四節回転リンクと考える。振動面の脱穀物供給側に、偏心円板を介して円運動を行なわせると同時に、振動面の脱穀物放出側では振り運動を

行なわせる。そして、一端に円運動を他端に振子運動を与えられた振動面は、その中間点では楕円運動を行なう。すなわち、起振点以外の振動面上の点は、楕円運動を行なう。楕円運動における x 方向, y 方向の速度, 加速度を求めると,

$$\left. \begin{aligned} x_t &= -a \cos \omega t, & y_t &= -b \sin \omega t \\ \frac{dx_t}{dt} &= a\omega \sin \omega t, & \frac{dy_t}{dt} &= -b\omega \cos \omega t \\ \frac{d^2x_t}{dt^2} &= -a\omega^2 \cos \omega t, & \frac{d^2y_t}{dt^2} &= b\omega^2 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

ただし, a : 楕円の長軸径, b : 楕円の短軸径, ω : 角速度, t : 時間, である。いま, 第4図に楕円振動面上



第4図 楕円振動面上の力関係と運動軌跡

の力関係と運動軌跡とを示す。記号を次の通り定める。
 m : 輸送物 (脱穀物) の質量, g : 重力の加速度, β : 振動面の傾斜角, N : 振動面が脱穀物に与える抗力, F : 振動面と脱穀物の摩擦力, ω_e : 起振点の任意時間における角度, ω_c : 起振点における脱穀物飛行開始角度, ω_s : 起振点における脱穀物の着板時の角度, μ : 振動面と脱穀物の摩擦係数, P_t : ω_t における P 点の位置, P_e : ω_e における P 点の位置, P_o : ω_o における P 点の位置, x_m : 振動面上の脱穀物の x 方向変位, y_m : 振動面上の脱穀物の y 方向変位。

第4図において脱穀物の運動方程式を求めると,

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x_m}{dt^2} &= F - mg \sin \beta \\ m \frac{d^2 y_m}{dt^2} &= N - mg \cos \beta \end{aligned}$$

したがって,

$$N = m \frac{d^2 y_m}{dt^2} + mg \cos \beta \dots\dots\dots(2)$$

つぎに, $N \geq 0$ とし, $\frac{d^2 y_m}{dt^2} = \frac{d^2 y_t}{dt^2}$ を代入すると,

$$N = mg \cos \beta \left(1 + \frac{b\omega^2 \sin \omega t}{g \cos \beta} \right)$$

$$= mg \cos \beta (1 + K_v \sin \omega t) \dots\dots\dots(3)$$

ただし, $K_v = \frac{b\omega^2}{g \cos \beta}$

この K_v は最大振動強度で, 振動面の振動強度を示すものである。そして, $K_v \sin \omega t \leq 1$ の時は $N > 0$ となり, 脱穀物は振動面とともに運動をする。 $\omega_e < \omega t < \omega_o$ の時, $N = 0$ となり, 物体は振動面を離れて飛行運動を行なう。この両運動をくりかえしながら, 脱穀物は振動面を輸送されることになる。振動面の輸送能力は多くの要因に支配されるが, 輸送速度は輸送能力を支配する大きな要因である。つぎに輸送速度を求めるために脱穀物の運動をより詳細に考察する。楕円運動を行なう振動面上の脱穀物の運動は, 相対静止, 負方向のすべり, 正方向のすべりの3運動と飛行運動を加味すればよい。これらの運動を定常運動とし, その他の場合を非定常運動とする。いま, 記号を,

$$b_i : \frac{d^2 x_m}{dt^2}, \quad C_i : \left(\frac{d^2 x_m}{dt^2} - \frac{d^2 x_t}{dt^2} \right)$$

とし, $i = 1, 2, 3$, で示し, 1は相対静止時, 2は負方向すべり運動, 3は正方向すべり運動とする。しかる時は, 次に示す各関係が成立つ。

(1) 相対静止 $\left(\frac{dx_t}{dt} = \frac{dx_m}{dt} \right)$ の時,

$$\begin{aligned} F_1 &= m (a \omega^2 \cos \omega t - g \sin \beta) \\ b_1 &= \frac{d^2 x_m}{dt^2} = a \omega^2 \cos \omega t \\ c_1 &= \frac{d^2 x_m}{dt^2} - \frac{d^2 x_t}{dt^2} = 0 \end{aligned}$$

(2) 負方向のすべり $\left(\frac{dx_t}{dt} > \frac{dx_m}{dt} \right)$ の時,

$$\begin{aligned} F_2 &= \mu N \\ b_2 &= \frac{d^2 x_m}{dt^2} = F - g \sin \beta = \mu (g \cos \beta - b\omega^2 \sin \omega t) - g \sin \beta \\ c_2 &= \left(\frac{d^2 x_m}{dt^2} - \frac{d^2 x_t}{dt^2} \right) \\ &= \mu (g \cos \beta - b\omega^2 \sin \omega t) - g \sin \beta - a \omega^2 \cos \omega t \end{aligned}$$

(3) 正方向のすべり $\left(\frac{dx_t}{dt} < \frac{dx_m}{dt} \right)$ の時,

$$\begin{aligned} F_3 &= -\mu N \\ b_3 &= \frac{d^2 x_m}{dt^2} = -(F + g \sin \beta) \end{aligned}$$

$$= -\mu \left\{ (g \cos\beta - b \omega^2 \sin \omega t) + g \sin\beta \right\}$$

$$c_3 = \left(\frac{d^2 x_m}{dt^2} - \frac{d^2 x_t}{dt^2} \right)$$

$$= -\mu (g \cos\beta - b \omega^2 \sin \omega t) - g \sin\beta - a \omega^2 \cos \omega t$$

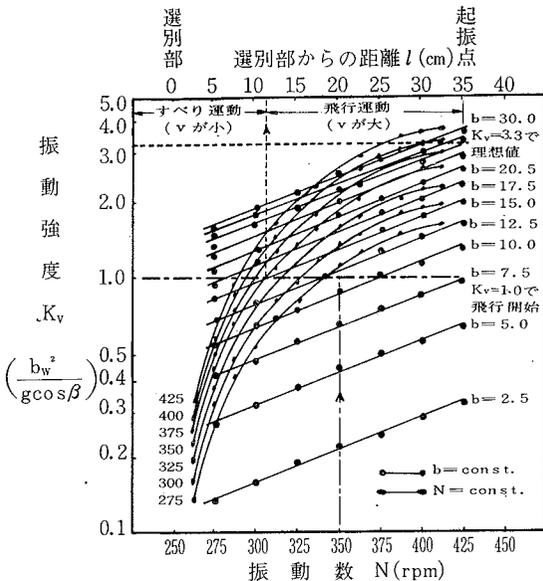
(4) 飛行運動 ($\omega e < \omega t < \omega o$) の時,

$$F_4 = 0$$

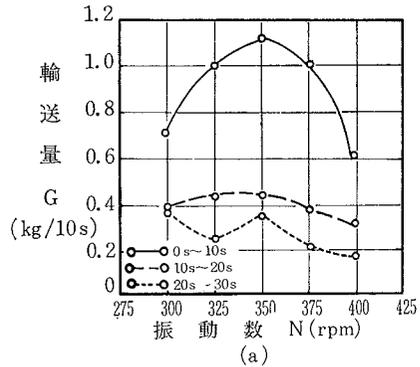
$$b_4 = g \sin\beta$$

$$c_4 = g \sin\beta - a \omega^2 \cos \omega t$$

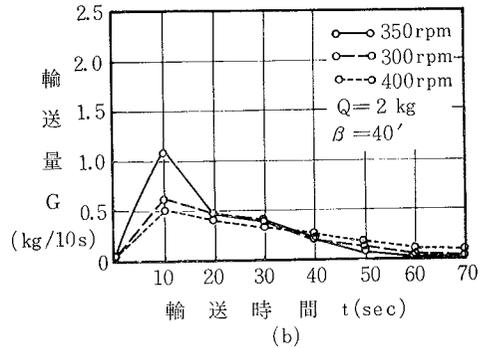
以上は脱穀物の単粒についての解析であるが、揺動選別機の輸送部では楕円運動の軌跡は振動面上の各点において振幅 b が異なる。したがって、各点における K_v 値が異なるから、輸送速度を求めるためには b と K_v および N と K_v との関係を求める必要がある。これを第5に示す。



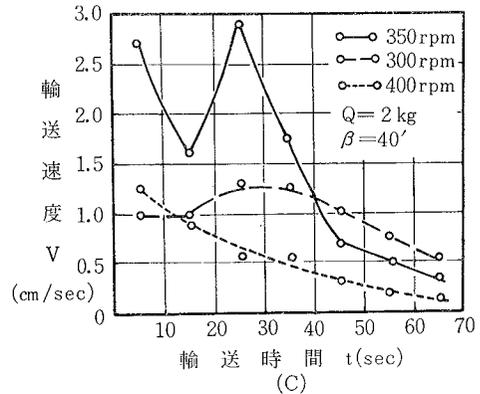
第5図 K_v-l , K_v-N の関係



(a)



(b)



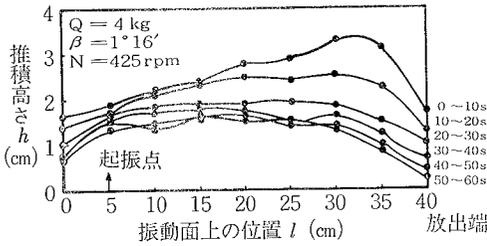
(c)

第6図 振動数と輸送量の関係

(c) 輸送の実験

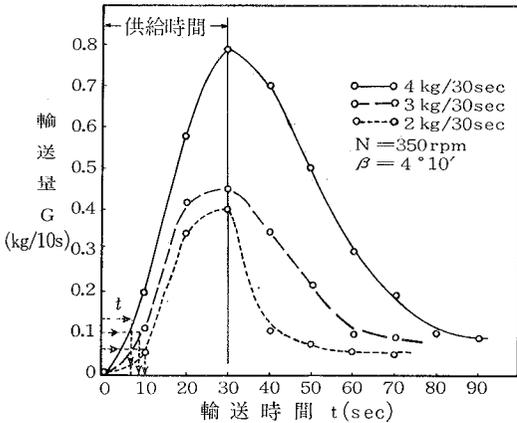
実験装置は、揺動選別機の上に設けたホッパーから、夾雑物を多量に含む脱穀物の一定量を供給する。輸送された脱穀物は、振動面末端で箕で受け箕の下においた秤で10秒ごとに測る。また、振動面上の脱穀物の縦分布はカメラ撮影によって測定した。これらの実験の結果を示すと次のごとくである。振動数と輸送量については第6図 (a), (b), (c) に示す。すなわち、輸送量は振動面振動数に関係し、振動数は振動強度として表

われ、これは輸送速度に関係する。したがって、輸送量と振動数の関係は、輸送速度と振動数の関係にもなる。図に示されるごとく、供給量 Q (kg), 傾斜角 β ($^\circ$) にかかわらず、 $N = 350$ (rpm) の時が最大の輸送量 G (kg/10sec) を示すことが判る。 $N > 350$ (rpm), $N < 350$ (rpm) の場合は、輸送量は減少し減少率は定まらない。最大輸送量の時の振動数を最適振動数とすると、それは $N = 350$ (rpm) になる。つぎに、振動面の輸送状況について第7図に示す。振動面の脱穀物は輸



第7図 脱穀物の輸送状況

送されるので、時間的にその位置を変える。この時間的分布を示したものである。図は $N = 425\text{rpm}$ の時である。つぎに輸送量と供給量の関係について第8図に示す。振動面傾斜角 $\beta = 4^\circ 10'$ 、振動面振動数 $N = 350\text{rpm}$ を一定にした時の関係曲線である。輸送量が多いほど多い傾向が示されている。



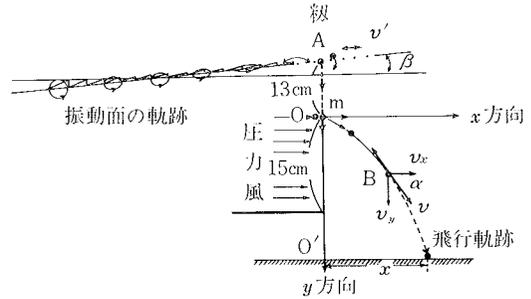
第8図 輸送量と供給量の関係

揺動選別機の選別理論および実験

揺動選別機の選別は受網によってふるい分ける粒径選別法と風選による比重選別法を併用したものであるが、その主体は後者である。

(a) 風選の理論的考察

風路中での脱穀物の運動は、他の選別条件が一定の時は脱穀物の重量、形状、表面積など物質の特性によって異なる。そして、この運動の相違は、風路中の飛行軌跡や飛行距離の相違となって表われる。したがって、風路中の脱穀物の運動を知ることが重要である。いま、風路内の脱穀物の運動状態を第9図に示す。記号を次のように定める。 m : 脱穀物の質量、 t : 時間、 r : 脱穀物を半径 r の粒子と仮定する、 v_x : 脱穀物の x 方向の分



第9図 風路内の脱穀物の運動

速度、 v_y : 脱穀物の y 方向の分速度、 R : 脱穀物が受ける抗力、 α : v_x が v となす角、 ρ_s : 脱穀物の密度、 ρ_a : 空気密度、 C_D : 抵抗係数、 S : 脱穀物の正射影面積、 V : 圧力風速度、 μ : 空気の粘性係数、 D : 脱穀物の直径 ($2r = D$)、 v : 脱穀物の運動速度、 x : 脱穀物の x 方向の変位、 y : 脱穀物の y 方向の変位。

A点で落下運動を開始した脱穀物が、時間 t 秒後にB点に達したとして、その運動方程式を求めてみると、

$$m \frac{dv_x}{dt} = - R \cos \alpha \dots\dots\dots(4)$$

$$m \frac{dy_x}{dt} = mg (\rho_s - \rho_a) / \rho_s - R \sin \alpha \dots\dots(5)$$

(4), (5)式の変形によって、

$$\frac{dv_x}{dt} = - \frac{R}{m} \cos \alpha \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = g (\rho_s - \rho_a) / \rho_s - \frac{R}{m} \sin \alpha \dots\dots(7)$$

一方、圧力風により脱穀物の受ける抗力は、

$$R = C_D \cdot S \cdot \rho_a \frac{v^2}{2}$$

$$C_D = \frac{D \cdot V \cdot \rho_a}{\mu}$$

これを(6), (7)式に代入すると、

$$\begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} &= - \frac{C_D \cdot S \cdot \rho_a \cdot v^2}{2m} \cos \alpha \\ &= - \frac{3 \rho_a C_D v_x v}{4 \rho_s D} \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

ただし、 $\cos \alpha = \frac{v_x}{v}$, $\frac{S}{2m} = \frac{3}{4 \rho_s D}$

$$\frac{dv_y}{dt} = g (\rho_s - \rho_a) / \rho_s - \frac{C S \rho_a v_y v}{2m} \sin \alpha$$

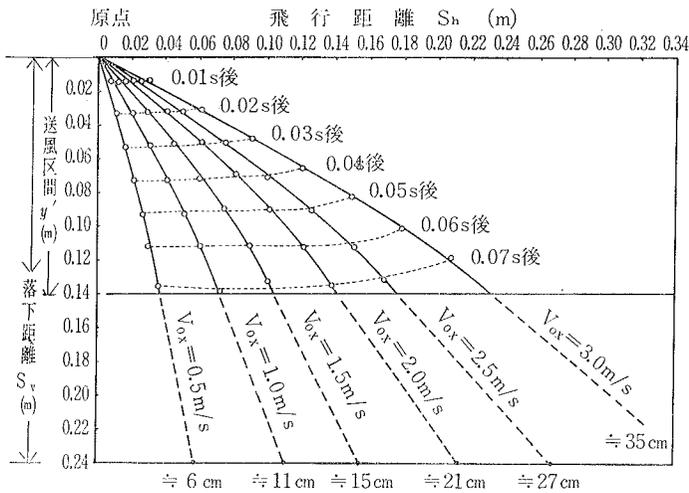
$$= g (\rho_s - \rho_a) / \rho_s - \frac{3 \rho_a C_D v_y v}{4 \rho_s D} \dots\dots(9)$$

(8), (9)式を積分し,

$$x = \int_0^t v_x dt, \quad y = \int_0^t v_y dt$$

によって, x 方向, y 方向の飛行距離が求め得る。

いま, 数値計算を試みるため, 次の各値を与えてみる。 $\rho_a = 1.247$ (kg/m³), $\rho_s = 550$ (kg/m³), $\mu = 0.0001808$ (poise), $t' = 10$ (°C), $v_{0y} = 1.6$ (m/s), $v_{0x} = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$ (m/s), $S = \pi a b$ (a : 楕円長軸径, b : 短軸径), $C_D = f$ (Re) = 0.40~0.48, $\Delta t = 0.01$ (sec)。これにより求めた脱穀物の飛行軌跡と飛行距離を第10図に示す。



第10図 脱穀物の飛行軌跡と飛行距離

がある。受網の粗選別性能は, 夾雑物の大きさにより支配される。

(2) 揺動選別機の輸送には最適振動数があり, この振動数において輸送量は最大となる。単粒としての理論計算値と実験値との間には, 多少の相違があった。

(3) 揺動選別機の風選は, 90%以上のよい選別性能を示す。しかし, 更により一層の性能向上のためには, 機構上の再検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 亀井三郎: 化学機械の理論と計算 p.407~410 産業図書K.K 1959
- 2) 農業機械学会: 農業機械ハンドブック p.691~697 コロナ社 1969

(b) 選別の実験

生脱穀物の選別性を送風速度との関係において調査するために, 送風源として動力散粉機の送風機を利用し, 風速分布を出来るだけ均等にし, 送風速度を5段階に調整した。そして, 風路底面に落下点直下から, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70cmの各位置にブリキ製試料受箱を置いて, たまった試料の分布を計量した。実験の結果を第11図に示す。風速 $v = 5.7$ m/s の場合である。図において, 粃は比較的飛行距離が小さく, わらは大きいのは質量差によるものであり, 糠と枝梗付着粒の分布はピークを示す。

結 論

(1) 脱穀中に発生する夾雑物には, 発生頻度に法則性

- 3) 伊井谷鋼一: 粉体工学ハンドブック p.252~259 朝倉書店 1965
- 4) 上滝具貞: 粉粒体の空気輸送 p.28~23 日刊工業新聞社 1963