

米選機に関する研究 (IV)

— 回転米選機内における穀粒の運動 —

中川 健治・堀部 和雄・大下 誠一

Studies on the Rice Grader (IV)

— The Motion of Grains in the Cylinder of Trommel Type Rice Screen —

Kenji NAKAGAWA, Kazuo HORIBE, Sei-ichi OSHITA

I 緒 言

面転米選機のシリンダ内における穀粒の運動について考察し、粒子運動の近似解析と、実験による運動径路の観察を行った。通常の選別作業では穀粒はシリンダ内を層状をなして動いているが、この運動の数学的解析は難かしい¹⁾。それで、ここでの運動解析は粒子間相互に干渉のない単粒子の運動について考えてみた。少量の穀粒を流すときはこれに近い運動となる。これによって大よその穀粒運動の状態と、これに関与する各種要因のかかわり方、およびこれが選別機の特徴などが明確になり、今後米選機の選別性能をよくするための構造や取り扱い上の改善点を見出すうえに役立つものと思うので、ここにその概要を報告する次第である。

[記 号]

C : 穀粒がシリンダ内を通過し終わるまでの間のサイクル数
 D : シリンダの直径 (m)
 F : シリンダ内面上における穀粒のまさつ力 (kg)
 g : 重力の加速度 (m/sec^2)
 h : 穀粒がシリンダ内を 1 サイクルする間の進み距離 (m)
 h_1 : 着地点からシリンダ内壁に沿って上昇し離脱するまでの間の進み距離 (m)
 L : シリンダの長さ (m)
 l : 穀粒がシリンダ内を通過する間にシリンダ面に

接している総延長距離 (m)

 m : 穀粒の質量 (kg) N : シリンダの毎分回転数 (rpm) N_1 : すべりが無いときの穀粒選別可能上限界毎分回転数 N_2 : すべりがあるときの穀粒選別可能上限界毎分回転数 R : 穀粒がシリンダ内面から受ける法線方向反力 (kg) r : シリンダの半径 (m) t : 穀粒がシリンダ内を 1 サイクルするに要する時間 (sec) t_1 : 着地点からシリンダ内面に沿って上昇し離脱するまでの所要時間 (sec) t_2 : 穀粒が投てきされて後、着地するまでの間の滞空時間 (sec) T : 穀粒がシリンダを通過するに要する時間 (sec) v : シリンダの周速度 ($=r\omega$), (m/sec) v_1 : すべりがあるときの投てき速度 (m/sec) w : 投てき直前の穀粒のすべり速度 (m/sec) w_1 : $\theta = \pi$ における穀粒のすべり速度 (m/sec) X : シリンダの中心点 O を原点とする直角座標の水平方向値 (m) Y : 同上垂直方向値 (m) x : 穀粒のシリンダ内面離脱位置を原点とした直角座標の水平方向値 (m) y : 同上垂直方向値 (m) α : シリンダの傾斜角度 (deg) θ : シリンダの回転角 (deg)

$$m\left(r\omega^2 - 2\omega w + \frac{w^2}{r}\right) \leq mg \sin\left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right) \\ = -mg \cos \theta_4 \quad \dots(6)$$

$$\cos \theta_4 = -\frac{r\omega^2 - 2\omega w + \frac{w^2}{r}}{g} \\ \therefore \theta_4 = \cos^{-1}\left(-\frac{r\omega^2 - 2\omega w + \frac{w^2}{r}}{g}\right) \quad \dots(7)$$

③ 穀粒のすべり速度

シリンダ内面上の穀粒のすべり速度は、ある回転数における離脱点位置の実測値よりこれを推定することができる。

$$m\left[r\omega^2 - 2\omega w + \frac{w^2}{r}\right]^2 = mg \sin\left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right) \quad \dots(8)$$

(8)式を整理すると

$$w^2 - 2r\omega w + r\left[r\omega^2 - g \sin\left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right)\right] = 0$$

この2次方程式の根を求めると

$$w = r\omega - \sqrt{r^2\omega^2 - r\left[r\omega^2 - g \sin\left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right)\right]} \\ = r\omega - \sqrt{gr \sin\left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right)} \quad \dots(9)$$

これが離脱点位置直前のすべり速度である。

④ 投てき初速度と投てき角

すべりが無いときの投てき速度 v はシリンダの周速度(= $r\omega$)に等しいが、すべりがあるときは $v_1 = r\omega - w$ となる。

すなわち、

$$v_1 = r\omega - \left\{ r\omega - \sqrt{gr \sin\left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right)} \right\} \quad \dots(10)$$

離脱点における投てき角は、ほぼ接線方向とみてよいであろう。

⑤ すべりがある場合の離脱後の穀粒運動方程式と落下点位置。

空気抵抗がないと仮定すれば、穀粒の運動方程式は

$$y = x \tan \phi - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_1 \cos \phi} \right)^2 \quad \dots(11)$$

ただし、 $\phi = (\pi - \theta_4)$

(11)式はシリンダの断面形状を円形とし、かつ、直角座標の原点を穀粒の離脱点とした場合である。シリンダ

内着地点を (x_1, y_1) とすれば、それは

$$(x_1 - r \cos \varphi)^2 + (y_1 + r \sin \varphi)^2 = r^2 \quad \dots(12)$$

ただし、 $\varphi = \left(\theta_4 - \frac{\pi}{2}\right)$

を満足する。したがって、 $x-y$ 座標でのシリンダ内着地点 θ の座標値 x_1, y_1 は、(11)式の (x, y) に (x_1, y_1) を代入した式と(12)式より計算によって求められる。また、 X, Y 座標でのその座標値 X_1, Y_1 は次式で与えられる。

$$X_1 = x_1 - r \cos \varphi, \quad Y_1 = y_1 + r \sin \varphi$$

⑥ 選別可能な上限回転数

シリンダの回転数を増していくと穀粒の速度も大となり、穀粒には強い遠心力が働くようになるので離脱点が次第に上昇し、ついには「ともまわり」をするようになる。このように穀粒がシリンダに対して相互運動をしなくなれば選別作業は不能になるので、これが選別可能な上限の回転数となる。もし、すべりが最初からなくて、ともまわりしていたとすると、遠心力と重力が $\theta = \pi$ の位置で釣り合うときの理論的回転数 N_1 は $m r \omega^2 = mg$ より $\omega = \sqrt{\frac{g}{r}}$ となり、これを毎分回転数になおすと

$$N_1 = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r}} \quad \dots(13)$$

となる。これがすべりが無いときの理論ともまわり開始時毎分回転数であり、かつ選別可能上限界回転数 N_1 でもある。しかし、実際にはすべりがあるため、シリンダがこの速度に達しても、ともまわりせずに選別作用も行われている。

つぎに、すべりがある状態からシリンダの回転速度をさらに上昇していくと、すべりを生じながらも遂に、穀粒はシリンダ内面から離脱することなく、とも廻りをはじめようになる。その瞬間における回転数をすべりがあるときの理論的ともまわり開始回転数、ないし、すべりがあるときの穀粒選別可能上限界毎分回転数 N_2 とし、 $\theta = \pi$ の位置におけるすべり速度を w_1 とすると、

$$m \frac{v_1^2}{r} = m \left[r\omega^2 - 2\omega w_1 + \frac{w_1^2}{r} \right] = mg$$

より $r^2\omega^2 - 2r\omega w_1 + w_1^2 - gr = 0$

$$\omega = \frac{w_1 + \sqrt{gr}}{r} \quad \dots(14)$$

$$N_2 = \frac{30(w_1 + \sqrt{gr})}{\pi r} \quad \dots(14')$$

7 穀粒のシリンダ内通過所要時間

A. 穀粒がシリンダの周速度と同じ速度ですべり、またはころがりながらシリンダ内の底面を直線状にはうよにして流下するときの通過所要時間。

シリンダが1回転する間の軸方向のすすみ距離 h は、シリンダの傾斜角を α 、直径を D とすれば、

$$h = \pi D \tan \alpha \quad \dots(15)$$

通過所要時間 T は、シリンダの全長を L とすると

$$T = \frac{60L}{N\pi D \tan \alpha} \quad \dots(16)$$

B. 離脱点がシリンダ内の回転角で $\left(\frac{\pi}{2} \sim \pi\right)$ の間にあり、離脱後放物運動をする場合の1サイクル所要時間、すすみ距離、シリンダ通過時間。

1) 穀粒の落下点からシリンダ内面に沿って上昇し、離脱するまでの所要時間 t_1 とその間のすすみ距離 h_1 。

所要時間 t_1 は（移動距離/穀粒の平均速度）で与えられる。

平均速度は着地点からすべりはじめまではシリンダの周速度と同じで、それ以後離脱直前までの間は徐々に減少するが、ここでは近似的に次のようにして求めることにする。

$$\text{穀粒の平均速度} = \frac{r\omega + \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)}}{2}$$

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{\pi D \cdot \frac{\angle QOP}{2\pi}}{\frac{r\omega + \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)}}{2}} \\ &= \frac{D \cdot \angle QOP}{r\omega + \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)}} \quad \dots(17) \end{aligned}$$

穀粒がシリンダ内の内面をその長手方向に対して直角方向に上昇したと仮定したとき、着地点から離脱まで進む間の進み距離 h_1 は、

$$h_1 = \left[r + r \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right) \right] \tan \alpha \quad \dots(18)$$

2) 離脱点から落下地点までの滞空時間 t_2 と、その間の進み距離 h_2 。

滞空時間 t_2 は着地点の x 座標を用いて $x_1 = v_1 \cos(\pi - \theta_1) \cdot t_2$ より

$$t_2 = \frac{x_1}{v_1 \cos(\pi - \theta_1)} \quad \dots(19)$$

進み距離 h_2 は

$$h_2 = v_1 \sin(\pi - \theta_1) \tan \alpha \cdot t_2$$

(10) 式により v_1 をおきかえると

$$\begin{aligned} h_2 &= \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)} \cdot \sin(\pi - \theta_1) \\ &\quad \cdot \tan \alpha \frac{x_1}{\sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)} \cos(\pi - \theta_1)} \\ &= x_1 \tan(\pi - \theta_1) \tan \alpha \quad \dots(20) \end{aligned}$$

3) 1サイクル所要時間とその間の進み距離、シリンダ通過所要時間。

$$\begin{aligned} t = t_1 + t_2 &= \frac{D \cdot \angle QOP}{r\omega + \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)}} + \frac{x_1}{v_1 \cos \phi} \\ &= \frac{D \cdot \angle QOP}{r\omega + \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)}} \\ &\quad + \frac{x_1}{\sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)} \cos(\pi - \theta_1)} \quad \dots(21) \end{aligned}$$

穀粒の1サイクル間に進む距離 h は

$$\begin{aligned} h &= h_1 + h_2 \\ h &= \left[r + r \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right) \right] \tan \alpha + x_1 \tan(\pi - \theta_1) \tan \alpha \quad \dots(22) \end{aligned}$$

穀粒がシリンダを通過する間のサイクル数 C は

$$C = \frac{L}{h} \quad \dots(23)$$

通過所要時間 T は

$$\begin{aligned} T = C \cdot t &= \frac{t \cdot L}{h} \quad \dots(24) \\ &= \frac{D \cdot \angle QOP}{r\omega + \sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)}} \\ &\quad \frac{L}{\tan \alpha \left[r + r \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right) \right] + x_1 \tan(\pi - \theta_1) \tan \alpha} \\ &\quad + \frac{x_1 L}{\sqrt{gr \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right)} \cos(\pi - \theta_1) \tan \alpha \left[r + r \sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{2}\right) \right] + x_1 \tan(\pi - \theta_1) \tan \alpha} \quad \dots(24') \end{aligned}$$

4) 穀粒がシリンダ内を通過する間にシリンダ面に接している総延長距離 ℓ 。

総延長距離 ℓ は

$$\ell = \frac{\angle QOP}{2\pi} \cdot C \cdot \pi D \quad \dots(25)$$

ℓ が長いほど糶の選別は十分行われると考えられる。

Ⅲ 計算および検証実験例

上述の計算式に諸数値を代入して計算するとともに、実用に供されている回転米選機とテスト用小型米選機に、少量の玄米を投入して検証実験を行った。

① シリンダ内で穀粒がすべり始めるときの回転角。

シリンダの半径 $r=0.14$ m, 回転数 72 rpm, まさつ係数 $\mu=0.4$ を(4)式に代入すると

$$\begin{aligned} \theta &= \sin^{-1} \frac{0.4 \times 0.14 (7.54)^2}{9.8 \sqrt{1+0.4^2}} - \sin^{-1} \frac{-0.4}{\sqrt{1+0.4^2}} \\ &= 18^\circ.0' + 21^\circ.50' = 39^\circ.50' \approx 40^\circ \end{aligned}$$

② 穀粒のすべり速度

シリンダ回転数 72 rpm における離脱点位置の観測値は回転角 120° である。このときのすべり速度を(9)式で計算すると

$$\begin{aligned} w &= 0.14 \times 7.54 - \sqrt{9.8 \times 0.14 \sin(120-90)} \\ &= 0.227 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

③ 穀粒の離脱点位置

すべり速度を $w=0.227$ m/s として(7)式で離脱点の位置の回転角 θ_4 を求めると

$$\begin{aligned} \theta_4 &= \cos^{-1} \left\{ -\frac{0.14(7.54)^2 - 2 \times 7.54 \times 0.227 + \frac{0.227^2}{0.14}}{9.8} \right\} \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{-4.90}{9.8} \right) = 120^\circ \end{aligned}$$

④ 投てき初速度と投てき角

(10)式で投てき初速度 v_1 を求めると

$$v_1 = \sqrt{9.8 \times 0.14 \sin(120-90)} = 0.828 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

投てき角 ϕ は

$$\phi = (\pi - \theta_4) = 180^\circ - 120^\circ = 60^\circ$$

⑤ 離脱後の穀粒の運動方程式と落下点位置

(11)式の上記の諸数値を代入すると

$$\begin{aligned} y &= x \tan 60^\circ - \frac{9.8}{2} \left(\frac{x}{0.828 \cos 60} \right)^2 \\ &= 1.3x - 0.283x^2 \end{aligned} \quad \dots(a)$$

シリンダの方程式は

$$\begin{aligned} (x_1 - 0.14 \cos(120-90))^2 + (y_1 + 0.14 \sin 30)^2 &= 0.14^2 \\ (x_1 - 0.121)^2 + (y_1 + 0.07)^2 &= 0.0196 \end{aligned} \quad \dots(b)$$

(a), (b)式より

$$0.08x_1^3 - 0.979x_1^2 + 0.038x_1 - 0.02 = 0 \quad \dots(c)$$

この三次方程式の実根をはさみ打ち法により求めると

$$x_1 = 0.122 \text{ m}, \quad y_1 = -0.211 \text{ m} \quad \dots(d)$$

となる。これを X, Y 座標値であらわすと

$$\begin{aligned} X_1 &= x_1 - r \cos \varphi = 0.122 - 0.121 = 0.001 \text{ m} \\ Y_1 &= y_1 + r \sin \varphi = -0.211 + 0.07 = -0.141 \text{ m} \end{aligned}$$

⑥ 穀粒の運動経路と選別可能な上限界回転数。

すべりが全然ないと仮定したときの上限界回転数 N_1 は(13)式より

$$N_1 = \frac{30}{3.14} \sqrt{\frac{9.8}{0.14}} \approx 80 \text{ rpm}$$

すべり速度を $w_1=0.5$ m/s と仮定したときの上限界回転数 N_2 は(14)式より

$$N_2 = \frac{30(0.5 + \sqrt{9.8 \times 0.14})}{3.14 \times 0.14} \approx 114 \text{ rpm}$$

となる。

このようにすべりの有無によって大きな差があるが、これについては次のような実験を試みた。

シリンダ内での穀粒の運動状態を肉眼でも見やすいように若干量の玄米をテスト用米選機のシリンダ内に入れ、回転数を徐々に増加していったときの運動経路の変化を観察した。それを図示すると図2のようになる。

この図をみると回転数を増加していったときは 116 rpm に達してはじめて穀粒がシリンダ内面に付着したままとも廻りするようになるが、いったんとも廻りした状態から徐々に回転速度を下げていくと、100 rpm 前後から再びすべりを生じて相対運動がみられるようになる。そしてこれらの観測値は供給量や振動の有無によってもちがってくるので、かなりの幅があるようである。

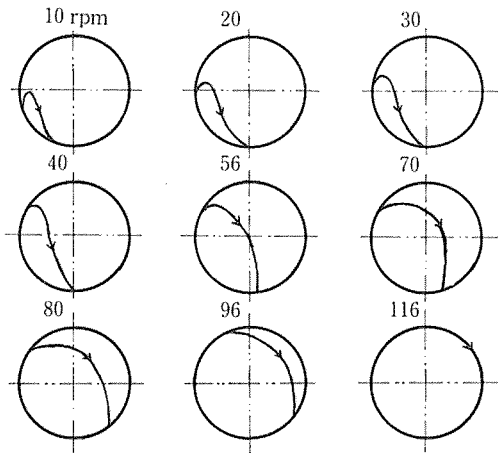


図2 シリンダの回転速度と穀粒の運動経路

⑦ 穀粒のシリンダ内通過所要時間

1) シリンダ内面上をころがりながら流下するときの通過所要時間 T は、(16)式で求まるが、 $L=1.30\text{m}$ 、 $\alpha=5^\circ$ 、 $N=72\text{rpm}$ とすれば

$$T = \frac{60 \times 1.3}{3.14 \times 0.28 \times \tan 5^\circ \times 72} = 15.2 \text{ sec}_{\#}$$

2) シリンダ内をらせん状の回転運動を繰り返しながら流下する場合、穀粒の1サイクルに要する時間 t は(2)式より

$$t = \frac{0.28 \times 120 / 57.3}{\frac{3.14 \times 0.14 \times 70}{30} + \sqrt{9.8 \times 0.14 \times 0.5}} + \frac{0.122}{\sqrt{9.8 \times 0.14 \times 0.5} \cdot 0.5} = 0.316 + 0.288 = 0.604 \text{ sec}_{\#}$$

1サイクル間に進む距離 h は(2)式により

$$h = (0.14 + 0.14 \sin 30) \tan 5^\circ + 0.122 \times \tan 60^\circ \times \tan 5^\circ = 0.037 \text{ m}_{\#}$$

通過所要時間 T は(24)式、または(24)'式によって計算すると

$$T = \frac{0.604 \times 1.3}{0.037} = 21.2 \text{ sec}_{\#}$$

同じ条件下で少量の玄米を回転米選別機に投入し出口に達するまでの時間を測定したところ17~25秒であった。

3) 穀粒がシリンダ内を通過する間、シリンダ面に接している総延長距離 ℓ は(25)式により

$$\ell = \frac{120}{360} \cdot \frac{1.3}{0.037} \times 3.14 \times 0.28 = 10.3 \text{ m}_{\#}$$

IV 論 議

回転米選別機は昭和50年代に入ってから一般に普及しはじめた新しいタイプの玄米中の糶分離機であり、使い方によっては分離率を100%近くまでもっていけるといって高性能な選別機である²⁾。その優れた性能の秘密が上述の諸計算値と縦線型のそれらとの比較からはほぼ解明できたように思う。すなわち、縦線型では選別面を通過する距離は1m内外であり、通過時間も約1秒という極めて短時間であるため、いかに上手に使っても糶分離率を50%以上にするには困難である³⁾。それに対して回転型では投入されたそれぞれの玄米が選別作用を受ける時間は20秒内外であり、その間にシリンダ内面上を通過する総延長距離は10mにも達するから、糶の大部分が分離されても当然ともいえる状態である。この個々の粒子の選別時間の長さの差が両者の最も大きなちがいであると考えられる。

次にシリンダ内の適当な回転数について考えてみると、シリンダ内における穀粒の運動状態からみて、余り回転が遅すぎると穀粒の動きが鈍くなって作業能率が低くなるが、早すぎると穀粒は強い遠心力を受けて、シリンダ内面に付着したまま廻るので選別は不能になる。したがって、選別性能のよい回転速度の領域は比較的狭く、直径0.3mのシリンダで70rpm内外外と考えられる。それとスリット型の選別網を使用しているので穀粒が直接シリンダ面に接触しない限り糶の選別は不可能である。それで多量の穀粒を供給し続けていると、全部の穀粒が常時シリンダ面に触れないので糶の分離が悪くなる。したがって、処理必要量が多い場合は、同時に何本かのシリンダを並列的に使う必要があるわけである。

いずれにしても回転米選別機は、縦線型では不可能であった糶の完全分離を可能にしたことにより、米の品質を一段と向上できる可能性を与えたことにその出現の大きな意義があったと言ふべきであろう。

V 摘 要

1. 回転米選別機内の穀粒単粒子の運動について考察し、その運動状態を簡単な方程式によってあらわすことを試みた。そして、それらを解くことによってシリンダ内面上での穀粒のすべり開始点、すべり速度、離脱点と着地

点, 1 サイクルの所要時間と進み距離, シリンダ通過時間などを, シリンダの直径, 長さ, 傾斜角, 回転速度などとの関連において求められるようにした。

2. それらの方程式に数値を代入して計算を行い, その計算と少量供給時の実験値とを比較したところ, 両者はほぼ近い値を示すことから, それらの方程式はほぼ妥当であることを確かめた。

3. 回転米選別機に関する上述の計算値や, 実験値と縦線型で得られた結果との比較から, 回転型の糶分離率がよい理由の1つは, 個々の粒子の選別作業を受ける時間が縦線型に比べて格段にながいことにあることが明確になった。

4. 上述の結果から導かれる回転米選機の適当な使い方は次のとおりである。

1) 回転米選機によるくず米除去は, おもに穀粒がシリンダ内面にふれ, すべりながら上昇するとき分離がなされると考えられるので, うすい層で流さねばならない。換言すれば, 一度に大量の穀粒を投入して層状に流せば

分離率が低下するのでよくないということである。2) すべりが生じる状態で流す必要から, 自らシリンダの適当な回転数の範囲があり, その範囲内で使う必要がある。具体的には直径 0.3m のシリンダでは 70 rpm 前後の回転数が適当である。

参 考 文 献

- 1) 中川・堀部・大下・桑原：米選機に関する研究(Ⅲ) 回転筒型米選機内における穀粒動きの観察, 農業機械学会, 関西支部報, No. 48, pp. 85～87 (1980. 6).
- 2) 中川・堀部・大下・藤塚・小林：米選機に関する研究(Ⅱ) 回転筒型米選機の選別特性とその使用法, 農業機械学会, 関西支部報, No. 46, pp. 126～128 (1979. 6).
- 3) 中川・堀部・堀田・牛田：米選機に関する研究(Ⅰ) 米選機の選別性能と選別特性について, 農業機械学会, 関西支部報, No. 44, pp. 99～100 (1978. 6).

Summary

1. Investigating the motion of an individual grain particle in the cylinder of a trommel type rice screen, the path of a grain particle could be represented in some simplified equations. By solving these equations, the (a) slide-starting point of the grain particle on the inner surface of the cylinder, (b) sliding speed, (c) release and landing points, (d) the time required for one cycle, (e) preceding distance, and (f) the time required for passing through the cylinder were determined in relation to the diameter, length, the angle of inclination and rotating speed of the cylinder.

2. The above equations were validated by the fact that the values calculated coincide approximately with the ones obtained from the experiments in which a small number of grains was fed.

3. From the comparison of the aforementioned results on the trommel type rice screen with those obtained by using the vertical type rice grader, it became clear that the trommel type rice screen has a high efficiency of empty husk separation mainly because of the remarkably long time during which the individual grain is subjected to the separating operation.

4. The proper usage of the trommel type rice screen derived from the above-mentioned results is as follows:

1) As it is thought that waste rice can be separated only when grains rise sliding on the inner surface of the cylinder, grains must flow into the rice screen in a thin layer. In other words, if a large number of grains is fed at the same time and form a thick layer in the cylinder, the efficiency of separation will be lowered.

2) Since the grains are subjected to the separating operation under conditions in which sliding of grains occurs, it is necessary to set the rotational speed of the cylinder within the adequate range. To take a concrete example, a rotational speed of about 70 r.p.m. is suitable for a cylinder with a diameter 0.3m.