

振動ふるい分けに関する研究 (第1報)

往復運動ともみの移送速度および網通過率について^{**}

岩尾 俊男^{*}・田辺 一^{*}・中尾 清治^{**}

Toshio IWAJO, Hajime TANABE and Seiji NAKAO

Screening Character of the Oscillating Screen (1)

Flowing Velocity and Screening Rate of Grains on the
Screen under Reciprocating Motion.

緒 言

産業機械におけるふるいは、その仕事の多様性と複雑性からそれぞれ独自の発達をなし、網の固定式のものから動的高性能なふるいへと発展し、その用途に適した種々様々なふるいが広く利用されている。農業においては、収穫調製機械の分野において、そのふるいの占める役割は大きくなり、もみすり機の万石により代表される固定式のものから、次第に振動ふるいへと開発研究が推進されようとしている。

今までの振動ふるいの研究は、粉体、鉱石、石等を対象にした工業振動ふるいの一般性能⁽⁶⁾⁽⁷⁾と力学的な研究⁽⁸⁾がほとんどであるので穀粒、わら等を対象にした農業用振動ふるいの開発のために、その設計の基礎資料を得ることの必要性が痛感されるところである。

そこで、現在振動ふるいとして一般に使用されているふるいの代表的な基本運動形〔往復運動、閉曲線運動(円、楕円)〕と振動条件、振幅、振動数、とをあたえて、網面とふるい分け物体との間の関係、すなわち、粒子の運動状態、移送速度等とふるい分けとの結びつきについて解析し、ふるい性能の向上のための合理的な運動形と振動条件を解明しようとする。

本報は、一つの機構で、往復運動、閉曲線運動(円、楕円)、とくに近似的楕円運動を行なわせるため Four-bar Linkage⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁵⁾を利用したふるい構造で網面が往復運動する場合のもみのふるい分けを実験的に研究をした。ただし取付梁の固有振動数の関係から床上固定式とした。

なお、本研究は、文部省科学試験研究費の補助により試作実験を行なった一部でここに慎しんで謝意を表わす。

* 農業機械工学研究室

** 第36回農業機械学会関西支部講演会発表(昭和41年11月)

I 実験装置および実験方法

一般に往復運動を行なう振動ふるいの振動は、近似的に正弦振動と見做されて解析されている場合が多い。しかし、実際に、農業機械に使用される往復運動機構の振動は、機構上から、大振幅低振動形で、connecting rod 長に対する crank 長の割合が比較的大きいため、quick return motion の振動となっている。供試機の振動には、下記の特長をもたせるため、Four-bar Linkage の C 点の往復運動を用いたが、結果的には、上述のような、quick return motion となった。

なお、Four-bar Linkage の各 bar の長さの比は、 $a:b:c:d=1:4:3.5:6$ で、(Fig.1 参照) bar a, b, c, d, はそれぞれ driver, connecting rod, rocking arm. 固定 bar である。

この機構は次の特長をもつ、1) connecting rod (b) 上の任意の点が近似的楕円運動を行ない、楕円の長軸の長さを一定にして、短軸長さ/長軸長さの比が自由に換えられる。2) driver (a) の全振幅が rocking arm (c) 点の全振幅に近似する、 $c'c''/2a$ は 1.07 である。3)

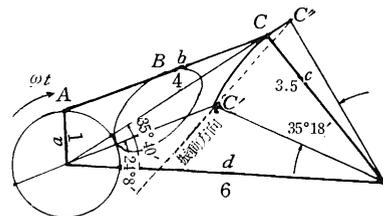
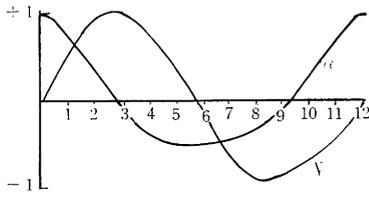


Fig. 1 Four-bar Linkage の各点の軌跡



V: 図解より求めた速度 } それぞれ max 値で
α: 実測値の加速度 } 割った値で nondim-
ension にて示す

Fig. 2 速度・加速度 diagram

運動形（往復，円，楕円）が得られ，投射角が自由に換えられる。

Fig. 1 に bar 上 A, B, C 点の運動形を，Fig. 2 に C 点の速度（図解），加速度（実測値）の diagram を示す。

供試実験装置 Fig. 3 (a) (b) は次の各部より成る。
(1) 供給漏斗，(2) 網：全長 1470mm，有効長 1270mm，有効幅 270mm，正方形網目，線径 24 μ ，平均目開き / もみ径 83%，もみとの静止摩擦係数 0.967，(3) 振動発生源 Four-bar Linkage，(4) 投射角 (γ) 調整板 (0 \sim 50度)，(5) 網の傾斜角 (β) 調整台 (0 \sim 40度) 水平方向に対し網先上向，(6) 網通過量集穀部，(7) 網上流下量集穀部，(8) 各部集穀量記録装置，

網は 4 本の Four-bar Linkage により支持され，4 本の Four-bar Linkage は，単相モータ (1/2PS) を動力源とし，変速機，カウンタシャフトにより変速され V ベルトにより同時に駆動される。網の各種の運動形は，網を，A, B, C 点に固定することにより，円，楕円，往復運動形となる。振動数は 0 \sim 300 cpm，網面の振動方向は固定 bar (d) の投射角調整板への取付位置をえることにより 0 \sim 50度の範囲で 5 度ごとに換えられる。

単位時間内の網通過量と網上流下量を測定するために，各口量記録装置 (Fig. 4) を設けた。この装置は各集穀口にて，集穀した各口量をプラスチック製容器に集め，その重量変化をカンチレバーの変位に換え，カン

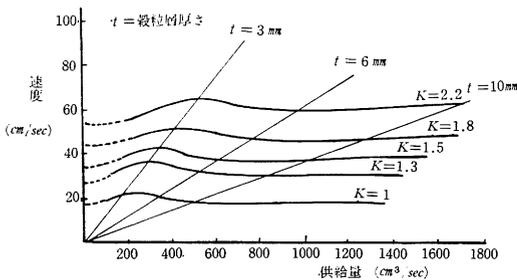


Fig. 5 供給量と移送速度との関係

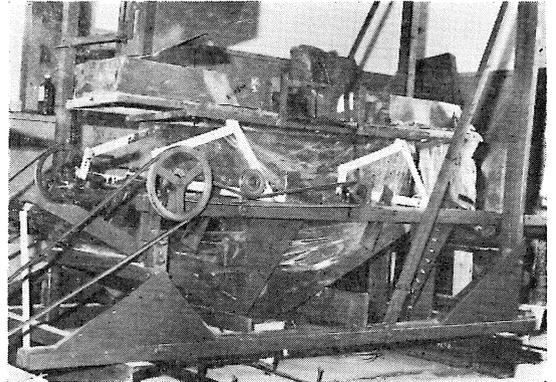


Fig. 3 (a) 実験装置

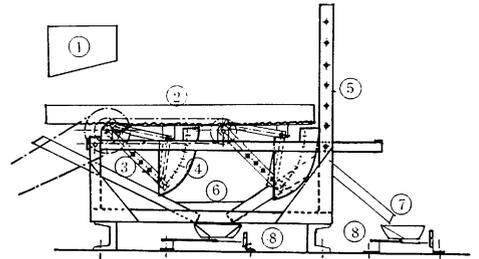


Fig. 3 (b) 実験装置

チレバーに取り付けた鉛筆により，定速巻取記録装置の記録紙上に記録させるものである。各口の粒流量は網上においてもみの流れが一定状態になってから 10 秒間同時に記録測定した。両口の合計を供給量とし，網通過量と供給量の比を網通過率とした。網面上のみの移送速度は，網上を流れる目立った粒子に注目しながらストップウオッチにて測定した。

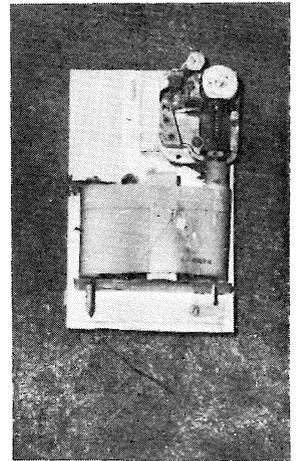


Fig. 4 各口量記録装置

II 実験結果および考察

ふるい分けはもみと網とに相対速度が生じたときに起るもので，その大きさは性能を左右する主要因となっている。(3)(4)(10)したがって，相対運動をおこさせる振動条件（振幅，振動数）と移送速度および網通過率の関係につ

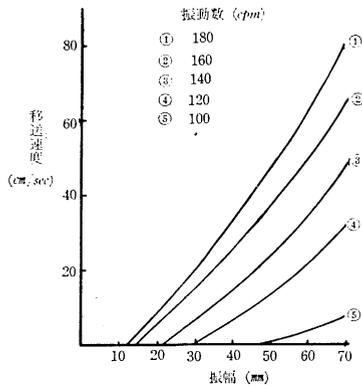


Fig. 6 振動数別の振幅と移送速度との関係

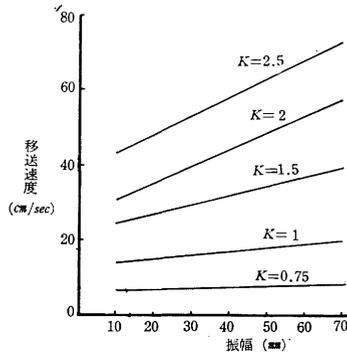


Fig. 7 (a) 遠心効果別の振幅と移送速度との関係

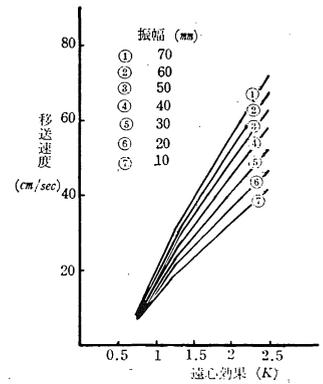


Fig. 7 (b) 振幅別の遠心効果と移送速度との関係

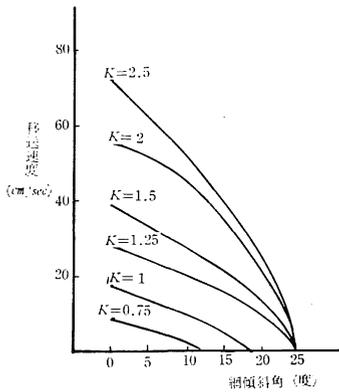


Fig. 8 (a) 遠心効果別の網傾斜角と移送速度との関係

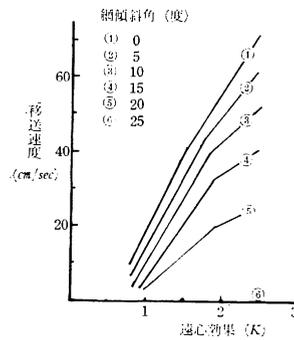


Fig. 8 (b) 傾斜角度別の遠心効果と移送速度との関係

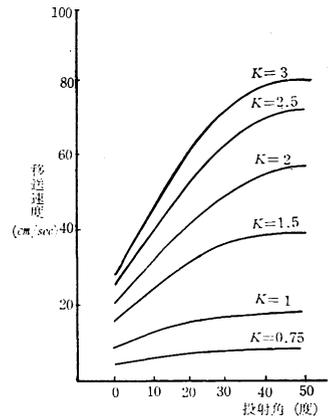


Fig. 9 (a) 遠心効果別の投射角と移送速度との関係

き検討する。

1. 移送速度について

1) 供給量と移送速度

Fig. 5は、 $\alpha: 45^\circ$, $\beta: 0^\circ$, 振幅 70mm の場合の一例である。破線の部分はおみ単粒の移送速度で層流の部分よりも移送速度が小さくなっている。これは単粒の場合は移送方向に反対の方向に転がることに原因があると考えられる。このことについては、第2報⁽¹⁾で報告する予定である。流動層厚さが 6mm 以上では、ほぼ一定に近い値となる。流動層厚さが 6mm の部分、すなわち、網面上に均一にもみが分布する状態において移送速度が最大となる。流動層においては、穀粒は網面で加速されて、下流に移送されるが、網面近くの穀粒は、網面の加速度を直接受けるのに反し、層が厚くなると上層の穀粒は網面の加速度を間接に受けるようになるので移送速度は遅くなる。したがって、全穀粒が網面に一様に並列に分布す

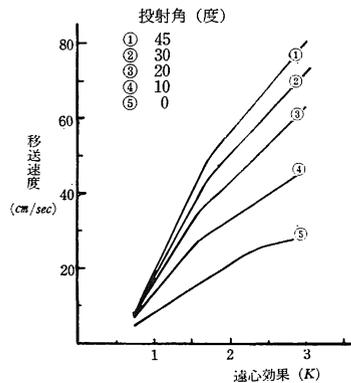


Fig. 9 (b) 投射角別の遠心効果と移送速度との関係

る時最大の移送速度となり、それ以上の層厚さの場合は移送速度は遅くなる。ただし、 $6\sim 10\text{mm}$ の範囲ではその

差は認め得なかった。

2) 振幅と移送速度

Fig. 6 は、 $\alpha: 45$ 度、 $\beta: 0$ 度、供給量 $467\text{cm}^3/\text{sec}$ の場合である。振動数が同じでも振幅の増加により、移送速度は2次曲線的に増加する。この傾向は、谷口氏の報告と一致する。これを遠心効果(後述) K により示すと Fig. 7 (a) のように、遠心効果が同じ場合でも振幅の増加に基づき移送速度は直線的に増加する。しかも、 K の増加に対する移送速度の増加の傾向は、Fig. 7 (b) から明らかなように、 K が1~1.5を境にして遠心効果の移送速度に対する影響のあらわれ方が若干異なるが、移送速度は、 K に比例して直線的に変化する。

3) 網の傾斜角度と移送速度

Fig. 8 (a) は、 $\alpha: 45$ 度、振幅 70mm 、供給量 $467\text{cm}^3/\text{sec}$ の場合である。傾斜角の増加により移送速度が減少することは当然であるが、傾斜角が25度に近づくとき負のすべりが大きくなり、遠心効果(K)の増加にかかわらず移送速度が0になる。この状態では、前進速度=負のすべり速度と考えられる。言換えれば、傾斜角25度以上の利用はほとんど不可能と考えられる。また Fig. 8 (b) から明らかなように、 K の増加に基づく移送速度の増加の傾向は、 K が1~2の範囲において、 K による影響のあらわれ方が異なるが、 K に比例して直線的に増加する。

4) 投射角と移送速度

Fig. 9 (a) は、 $\beta: 0$ 度、供給量 $467\text{cm}^3/\text{sec}$ 、振幅 70mm の場合である。投射角の増加にともない移送速度も増大するが、投射角が45~50度を越えると漸次減少するものと推定される。投射角別 rocking arm C 点の平均速度に対するもみの相対平均移送速度との割合(速度比)と遠心効果との関係を Fig. 10 に示す。遠心効果が、0.5~0.6の範囲で、もみは相対速度を生じ動き出し、この範囲での投射角による速度差は明らかでないが、遠心効果が増加するにしたがい、その差異は明確になる。 K の増加による移送速度の増加の傾向は Fig. 9 (b) から明らかなように、 K が1以上において遠心効果の移送速度に対する影響のあらわれ方が若干異なるが、移送速度は K に比例して直線的に増加する。

2. 網通過率について

1) 振幅と網通過率の関係

Fig. 11 は $\alpha: 45$ 度、 $\beta: 0$ 度、供給量 $467\text{cm}^3/\text{sec}$ 、振幅 $30, 50, 70\text{mm}$ の場合である。振幅が小さくなるともみの動き始めの振動数は $90, 110, 140\text{cpm}$ 、と大きくなる。

一般にふるい分けに関係する要因として、(1) 振動数

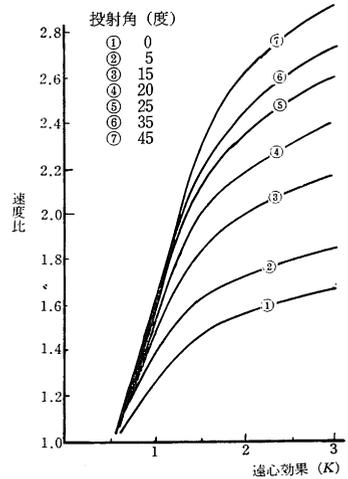


Fig. 10 投射角別のふるいの平均移送速度に対するもみの平均移送速度の比と遠心効果との関係

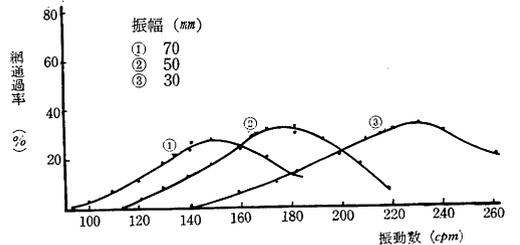


Fig. 11 振幅と網通過率の関係

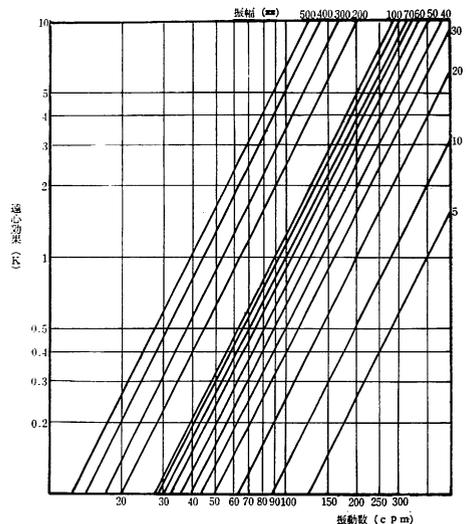


Fig. 12 振動数—振幅—遠心効果の関係

(2) 振幅, (3) 投射角, (4) 網の傾斜角, (5) 網目開きが相互に関係するものであり, 振動数, 振幅を変数として, 他の要因を一定にした場合には, これらのふるい分けの基礎的な指標を $Kluge$ は, 機械指数 (一般に遠心効果) K によることが適当であるとしている. それは次のように表わされる.

$$K = \frac{r\omega^2}{g} \dots\dots(1) \quad r: \text{driver 半径 (cm)}$$

$$\omega: \quad \text{角速度 (radian/sec)}$$

$$g: \quad \text{重力の加速度 (cm/sec}^2\text{)}$$

本振動機構は, *Four-bar Linkage* で *rocking arm*

(C) 点の最大加速度が $\frac{r\omega^2}{g}$ の値より大きくなるために, ここでは遠心効果 (K) の値は

$$K = \frac{\text{C点の最大加速度 (実測値)}}{g} \dots\dots(2)$$

を用いた. Fig.12 は振幅, 振動数と遠心効果 (K) の値を示す. Fig.13 は, 遠心効果 (K) により網通過率を表わしたもので, それぞれ振幅のもつ網通過率が1つの曲線で表わすことが出来る. また, 振幅による網通過率の差異は, 振幅が小さい方が網通過率が多少高くなる傾向が認められた. 振動条件の中で振幅と振動数のみが変化する場合には, 振動ふるいの性能判断の目安として, 振動強度 = $r\omega$ が主張されているが上記のことから遠心効果にて表わすのが適当であろうと考えられる.

2) 供給量, 振動数, 網通過率の関係

Fig.14 は, $\alpha: 15^\circ, \beta: 0^\circ$, 振幅 70mm の場合である. これによると, 供給量の増加とともに網通過率は漸次低下の傾向があり, η が最高になる振動数において最も明らかである. 供給量の増加にともなう網通過率の低下の原因は, 網目の数が一定であるのに対し, 網目に対する穀粒数が層状に増加するため相対的に確率が低下するからである. また網通過率が最大になる振動数 (これを最適振動数とよぶ) は供給量に影響されず一定である. 最適振動数での供給量と網通過率の関係は Fig. 15 に示すように次の関係で表わされる.

$$\eta = aQ^{-b} \dots\dots(3) \quad \eta: \text{網通過率 (\%)}$$

$$Q: \text{供給量 (cm}^3\text{/sec)}$$

a, b : 投射角, 目開き, 傾斜角等により定まる係数

3) 網の傾斜角と網通過率の関係

ふるい分けの条件として, 振動数, 振幅, 投射角および網の傾斜角が変化する場合には, 遠心効果 (K) の外に傾斜角を含めて考えて, 網面に対する垂直方向の遠心効果の指標として, ふるい指数を用いると, 粒子の運動の状態を容易に判断することが出来る.

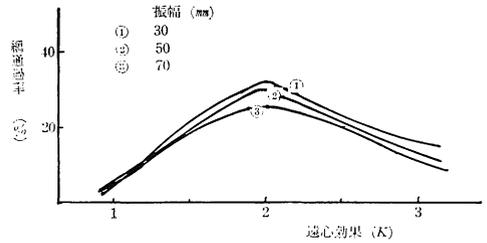


Fig. 13 遠心効果による振幅と網通過率との関係

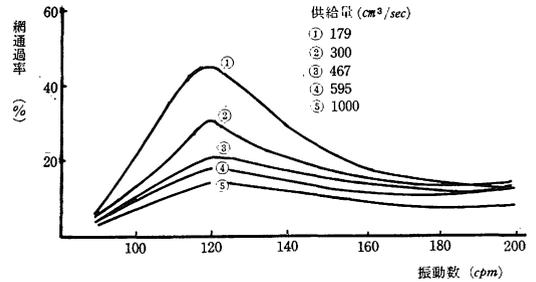


Fig. 14 供給量と網通過率の関係

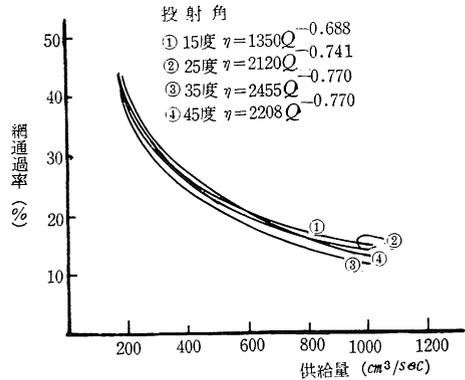


Fig. 15 最適振動数における供給量と網通過率との関係

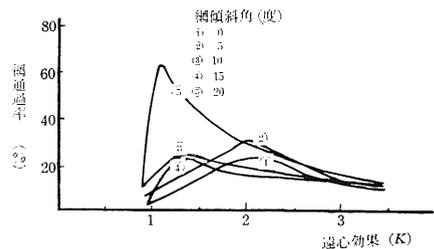


Fig. 16 遠心効果による網傾斜角と網通過率との関係

ふるい指数⁽⁴⁰⁾ K_v は、Klugeにより次のように表わされる。

$$K_v = K \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \dots \dots \dots (4) \quad \alpha : \text{投射角}$$

β : 網の傾斜角

K : 遠心効果

これによると、 $K_v < 1$ では、もみが網面上をすべる運動、 $K_v > 1$ では、もみが網面を離れる運動を行なう。

Fig. 16 は、 $\alpha : 35$ 度、 $\beta : 0 \sim 20$ 度、振幅 70mm 、供給量 $467\text{cm}^3/\text{sec}$ の場合の関係を示す。網の傾斜角が $0 \sim 5$ 度での最適振動数は、 $K = 1.8 \sim 2.0$ 、 $10 \sim 25$ 度では、 $K = 1.0 \sim 1.5$ の範囲にある。投射角が変化しても最適振動数は、 $K = 1.0 \sim 2.5$ の範囲に存在する。

Fig. 17 は、ふるい指数により表わしたもので、網の傾斜角が 5 度以上での最適振動数は $K_v \leq 1$ の範囲にある。

この状態では、もみは網面より離れることなく常にすべる状態にある。網が水平の場合の最適振動数は $K_v > 1$ の範囲で、この場合もみは飛び上り現象となる。この関係は投射角の変化によっても変わるので、最適振動数の存在する範囲は、すべりあるいは飛行のいずれの状態においても生ずる。

4) 投射角と網通過率

Fig. 18 は、 $\beta : 0$ 度、振幅 70mm 、供給量 $467\text{cm}^3/\text{sec}$ 、 $\alpha : 0 \sim 45$ 度の場合である。網の傾斜角の場合と同じように最適振動数は投射角により相異なるが、 $K = 1 \sim 2.5$ の範囲に分布し、投射角が漸次大きくなると K は大きな値に移る。投射角 5 度以下を除けば、投射角の増加につれ最適振動数における網通過率は多少高くなる傾向がある。また、いずれの投射角の場合でも、遠心効果 $1.5 \sim 2.5$ では比較的高い通過率となっている。 $\alpha = 5$ 度の場合の最適振動数での網通過率の高い原因は、移送速度が小さく、網面に対するもみの姿勢が移送方向に長軸が平行になり網面を通過し易い状態になるためと推定される。 $\alpha = 45$ 度で、最適振動数での網通過率が高くなっているこの状態では、 $K_v > 1$ の範囲で、飛び上り状態を含む移送の過程であるので、すべっている状態に比べて網との遭遇回数が減少し網通過率の低下が予想される筈である。しかし実際には、1) 飛び上り現象によりもみの姿勢が整えられること。2) 網への着地角が保たれ通過し易い姿勢になること。3) 網への着地強度が増大することの関係に起因し網通過率が高くなるものと推察される。この点については、別に写真解析により明確にする予定である。なお、Fig. 19 は、Fig. 18 をふるい指数に

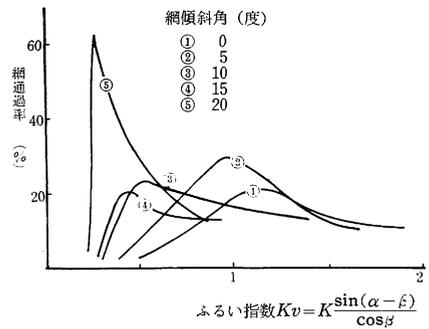


Fig. 17 ふるい指数による網傾斜角と網通過率との関係

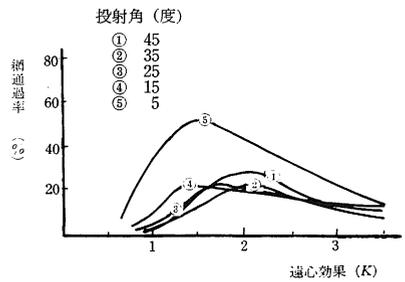


Fig. 18 遠心効果による投射角と網通過率との関係

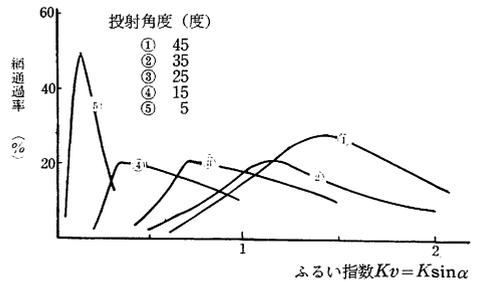


Fig. 19 ふるい指数による投射角と網通過率との関係

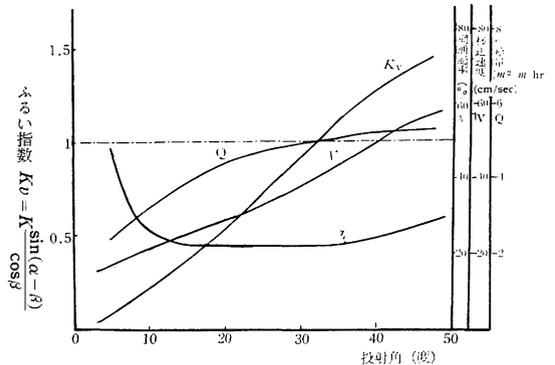


Fig. 20 最適振動数におけるふるい指数、供給量、網通過率、移送速度の関係

より表わしたもので、投射角が25度以下では、最適振動数は $K_v < 1$ の範囲にある。すなわち、常にもみが網面上を離れずすべりの状態にある。35度以上では、それは $K_v > 1$ の範囲で、飛び上り状態にある。結局、最適振動数は、もみが網面上をすべる状態だけでなく飛行状態、すなわち、 $K_v \geq 1$ あるいは $K_v \leq 1$ の何れの範囲にも存在する。また $K_v = 2.5$ 以上では、もみの飛行高さが大きくなることにより、利用不能と考えられる。

以上の考察から、最適振動数に関する主な関係因子は、投射角および網の傾斜角であるが、一般的な振動ふるいの傾斜角度はほとんど水平に近いものである。したがって網の傾斜角度の条件を考えずに、水平ふるいについての最適振動数における投射角、移送速度、網通過率および供給量の関係を示すと Fig.20 の通りである。投射角が0に近い場合には網通過率は高いが、移送速度が小さい、また $K_v < 1$ ではもみが網の上を常にすべるために網の摩擦が大きいと想像されるので実用の範囲と言ひ難い。 $\alpha \geq 10$ 度では網通過率は、 α の増加とともに、多少とも増加する可能性があり、この場合は、移送速度も大きく能率から言っても好ましい状態にあると言ひことが出来よう。したがって移送速度の大きい、 $\alpha = 35 \sim 45$ 度の利用が望ましいと言える。

摘 要

本報は、往復運動ともみの移送速度と網通過率との関係を実験的に調査したもので、実験機として、往復運動、楕円運動、円運動を1つの機構で行なわせるために、*Four-bar Linkage* を用いた。*bar* の長さの比 $a : b : c : d$ は $1 : 4 : 3.5 : 6$ である。

1) 振動数、振幅および投射角の増加は、移送速度を増加させる。

2) 網通過率（網通過量と供給量との比）は、供給量の増加により減少する。また最適振動数での供給量と網通過率との間には、次の関係がある。

$$\eta = aQ^{-b} \quad \eta : \text{網通過率} (\%)$$

$$Q : \text{供給量} (cm^3/sec)$$

a, b : 係数

3) 最適振動数は、投射角、網の傾斜角により変化するが、 K が $1 \sim 2.5$ の範囲にある。

4) 水平ふるいにおいて、最適振動数は、ふるい指数 $K_v \leq 1$ と $K_v \geq 1$ の何れの場合にも生ずる。すなわち、もみが常に網面上をすべる運動のみの場合にも、あるいは、すべり飛び上る運動のいずれの場合にも存在する。

5) 実用的には、目詰りの防止、網の耐用性および高性能を得る点から考えると、移送速度が高い方が望ましい。すなわち、水平往復ふるいにおいて、以上の条件から推察すると、投射角は、 $35 \sim 45$ 度である。

引用文献

1. 仙波正荘：機械試験所報告：第5号 p.14-20, 1950
2. 稲田重男・林則行・窪田雅男・北郷薫：機構学：朝倉，東京 17-68
3. 谷口修・坂田勝・鈴木康之・小山内泰生：日本機械学会論集：28-18, p.485-492, 1962
4. 三輪茂雄：粉体のフルイ分け：日刊工業，東京 p.171-397
5. Gayfer J. R. and Mills B.: Journal Mechanical Engineering Science : 7 : 3 252-258, 1965
6. Walter Balkin : Archiv für Landtechnik : 4 : p.109-135, 1963/1964
7. Wolfgang Boader : Landtechnische Forschung : 11 : p.160-165, 1961
8. Christain Zabeltitz : Grundlagen der Landtechnik : 18 : p.35-41, 1936
9. Schertz C. E. and Hazen T. E. : Transactions of the A. S. A. E. : 6 : p.6-10, 1963
10. Kluge. W : Erdär und Kohle : 4 : p. 705-711, 1951
11. 川村登・岩尾俊男：農業機械学会講演要旨：p.155, 1967

Summary

This paper is results of the experimental study on screening rate and flowing velocity of paddy particles on the screen under the reciprocating motion. The four-bar linkages is adopted for oscillating mechanism to make the screen act the reciprocating elliptical and circular motion. The main results are as follow ;

1) Larger amount of the frequency, amplitude and projection angle of screen, together, make the flowing velocity increase respectively.

2) The screening rate is increased with the increasing of the feeding rate of paddy. And the relationship between the screening rate and the feeding rate at the most suitable frequency is given by the following equation.

$$\eta = aQ^{-b}$$

η : screening rate (%)
 Q : feeding rate (cm^3/sec)
 a, b are constant respectively.

3) The most suitable frequency vary according to the amount of projection angle and the inclination angle of the screen for the level surface, but it is existed at the value of K =about 1~2.5, where K is Centrifugal effect.

4) $Kv \leq 1$ shows that the paddy travel under the sliding motion, and $Kv \geq 1$ is under the jumping and sliding motion together on the screen surface. And the most suitable frequency exist under $Kv \leq 1$ or $Kv \geq 1$, on both. Where Kv is screening index.

5) In the practical use aiming at keeping the prevention of blinding, large durability and high capacity of screen, the flowing velocity is higher than above result. On the case of this condition of the horizontal reciprocating screen the projection angle is the value of $\alpha=35\sim45$ (degree).