

振動による加工用トマトの脱離特性[※]

岩 尾 俊 男^{※※}・田 辺 一^{※※}

Toshio IWAO and Hajime TANABE

Studies on the Some Properties of Detachment of Processing Tomato under Vibration

I 緒 論

加工用トマト収穫機の設計上、果実の物理的諸性質を適確に把握する必要がある。

今まで、収穫機の研究において、 F/W (脱離力と果実重量との比) あるいは $(F/W)\omega^2 y_0$ (ω 振動数, y_0 振幅) 値がその比較検討値として提案されている¹⁻³⁾。しかし、これらの値は、巨視的な取扱いを行なう上、すなわち脱離の目安に用いる点で有用であるが、その果実の脱離特性を的確に把握するとはいい難い。

この研究は、我々の今までの果実の物理的特性についての研究 (引張りおよびねじり脱離抵抗力) に引き続いて、振動中の果実の状態をつり下げの場合とし、その系にはばねと粘性抵抗が作用するものとして解析し、その運動特性を明らかにする一方、系に吸収されるエネルギーおよび果実の脱離性について検討を行なったものである。

ここに、本研究に当り、島大附属農場 寺田俊郎助教授ならびに伊藤憲弘助手に種苗の提供と栽培法の御指導をいただき、また当研究室の専攻生松井康紀氏の労をいとわぬ協力を受けた。ここに記して謝意を表す。

II つり下げの果実の運動

今、Fig. 1 のように座標を仮定する。すなわち、この系は、 $y = 0$ で固定され、他端の

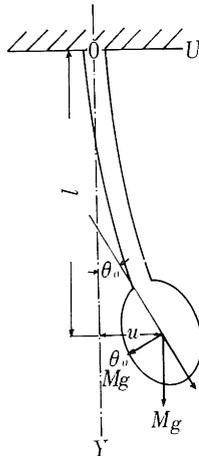


Fig. 1 つり下げ果実の座標

$y = l$ に質量 M が固定された弾性棒におけるつり下げ振子となり、平面において左右に微小振動するものとする。このとき、 $y = l$ における振れを u とすれば、その点における剪断力 P は⁴⁾,

$$P = Mg\theta_0 + M \frac{d^2u}{dt^2} \quad (1)$$

しかるに、

$y = l$ における棒の傾斜、および撓みは、

$$EI \frac{du}{dy} = -\frac{1}{2} Pl^2 \quad (2)$$

$$EI u = -\frac{1}{3} Pl^3 \quad (3)$$

$$(2) \text{と} (3) \text{から} \quad \frac{du}{dy} = \frac{3}{2} \frac{u}{l} \quad (4)$$

ここに、 $\frac{du}{dy} = \theta_0$ とすれば、(1)式は

$$P = \frac{3}{2} Mg \frac{u}{l} + M \frac{d^2u}{dt^2} \quad (5)$$

したがって、(3)式と(5)式から

$$M \frac{d^2u}{dt^2} + 3 \left(\frac{EI}{l^3} + \frac{1}{2} \frac{Mg}{l} \right) u = 0 \quad (6)$$

ところで、この系には、粘性抵抗 $\mu \frac{du}{dt}$ が⁵⁾あり、かつ $a = a_0 \sin \omega t$ なる調和振動が固定端に加えられるものと仮定し、 $u = x$ として書き改めると、

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} + 3 \left(\frac{EI}{l^3} + \frac{1}{2} \frac{Mg}{l} \right) x = M \frac{d^2a}{dt^2} \quad (7)$$

この特解は、

$$x = x_0 \sin(\omega t - \phi) \quad (8)$$

※ 農業機械学会関西支部例会 和歌山 (1973) 講演
 ※※ 農業機械工学講座

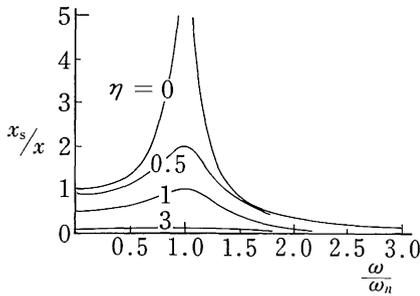


Fig. 2(A) 粘性減衰のある場合の強制振動の振幅

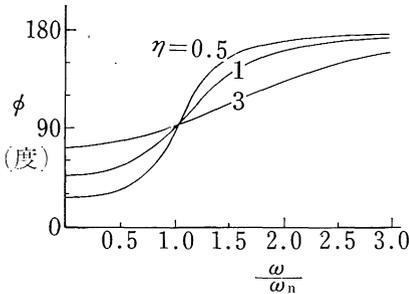


Fig. 2(B) 粘性減衰のある場合の強制振動の位相

$$x_0 = \frac{Ma_0\omega^2}{\sqrt{(-M\omega^2+K)^2+(\mu\omega)^2}} = \frac{x_s}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2+\eta^2}} \quad (9)$$

ここに、 $K = 3\left(\frac{EI}{l} + \frac{1}{2}\frac{Mg}{l}\right)$ 、 ω_n は固有振動数、 $C = \mu\omega$ 、 $C/K = \eta$ 、 $Ma_0\omega^2/K = x_s$ とする。

$$x = \frac{x_s}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2+\eta^2}} \sin(\omega t - \phi) \quad (10)$$

(10)ただし、 ϕ は、

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\eta}{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}\right) \quad (11)$$

ここに、 x_s ：果実系の静止最大たわみ、 x_0 ：果実の最大振幅、 η ：内部粘性定数、 ϕ ：位相角

したがって、Fig. 2(A)(B) は、この系の共振曲線を示す。

III 実験方法

1. 実験装置 Fig. 3 は、供試実験装置である。この振動機構は、クランクアーム(1)の回転運動をロッドを介し往復運動に変え、加振台(2)に水平方向の正弦運動を与えるものである。振幅は、クランクアームの取付位置により 0~70mm に変化が可能であり、果実(3)は、下

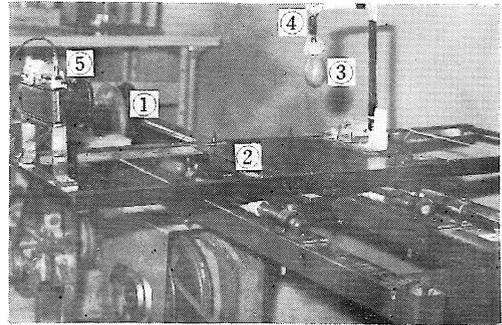


Fig. 3 供試振動実験装置

向きにホルダーを介して加振台上に固定される。果実に働く力は、ホルダー(4)に張られたストレインゲージにより検出され、電気抵抗変化として測定される。果実の相対運動は、加振台に取り付けたカメラ(5)により、ストロボスコープを用いて撮影される。なお、果実に作用する力の外に、カメラのシャッターマーク、加振台の加速度、変位、振動数および位相マークなどもオシログラムに同時に記録される。

2. 供試材料の性状 供試材料は、加工用トマトの細長形の Chico 種、丸形の H1370種で、茎の含水率は 70~80%である。

Fig. 4 は、茎の位置別の弾性係数、断面二次モーメントおよび直径を示す。横軸の位置別百分率は、測定した茎の果実までの全長に対する位置別長の割合を示す。弾性係数の測定には、引張り、曲げおよび振動試験法があるが、ここでは簡単で比較的正確性が認められている

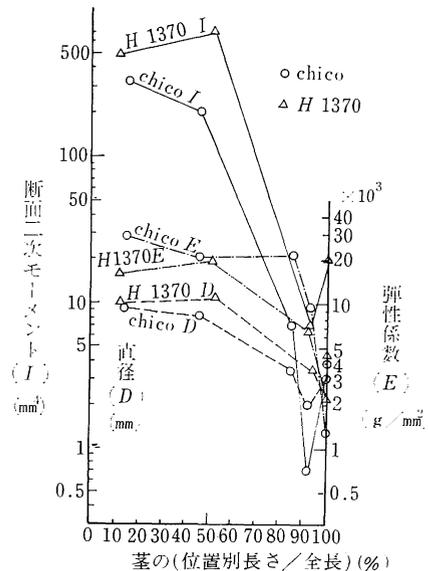


Fig. 4 茎の位置と弾性係数、断面二次モーメントと茎の直径との関係

曲げ試験法を用い、材料の形状をほぼ円筒と仮定して、変位と荷重の関係から計算により求めた値である。

茎の位置別の直径は、根元より50%ぐらいまでは、ほぼ同じ値と見られるが、果梗に近くなるに従い小さくなり、80%以上では、根元の直径の約50%以下となり、その傾向は品種によっても変わらない。

弾性係数は、品種による差異は明らかでないが、根元より約80%までは、約20000g/mm²程度の値であるが、90%以上では、約1000g/mm²以下の値で急激に小さくなり、とくに果梗近くでは、1000~2000g/mm²の小さい値になる。

この低い値は、根元に比べ、果梗は直径が小さくかつ節間が短いので、測定上の誤差が介入することもその一因と考えられるが、一方、根元の茎より果梗に近い茎の方が木質化の進みが遅いためではないかと推定される。したがって、今後茎について組織強度学的な検討が必要であるが、これらの結果から、茎についての物理的性質として、粘性抵抗を加味する必要があるだろう。

IV 実験結果

1. 粘性定数 η の推定

(9)式を変形すると次の関係が得られる。

$$F/W = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \eta^2}} k \quad (12)$$

ここに、 $F = x_0 K$, $M = \frac{W}{g}$, $k = \frac{a_0 \omega^2}{g}$, F : 果実に働く力, W : 果実重量。

Fig. 5は、振幅10mm, 固有振動数395.6cpmのときの、(12)式による η 別の振動数と F/W 値との関係を示す。

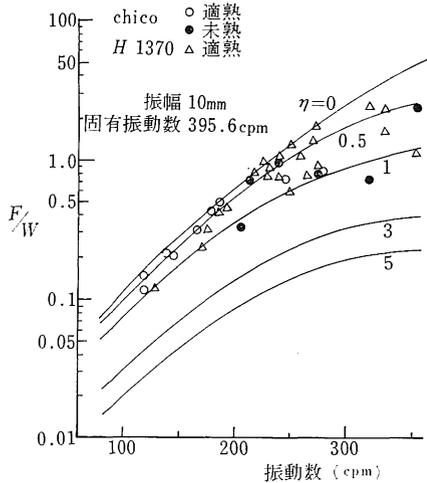


Fig. 5 η 別の振動数と F/W 値との関係

計算に用いた固有振動数は、つり下げ状態での Chico, H1370の平均値である。

F/W 値は、一般に振動数の増加に従い増大する。(12)式から明らかなように、右辺の振動数の増大が F/W 値を増大させることが明らかであり、計算値と実験値はその傾向が一致している。

実験による η の値は、計算による η の 0~1.0の範囲に適合し、品種と熟度による差異は明らかでない。

これらの考察は、 η の値の推定を目的としたものであり、これらの振動系の場合の動特性を明らかにする上で有意義である。したがって、この η の値でもって、Fig. 2(A)の共振曲線を参照すれば、 η の値が1に近い場合は、共振振動数においても共振とならず、すなわち果実の相対変位が小さくて脱離し難い場合もありうることを予想される。

2. 1 サイクルに吸収されるエネルギー

振動中の果実の茎に吸収されるエネルギーは、その変位とそれに加わる力の関係のヒステリシス曲線から、その面積を求めることによりえられる。

Fig. 6は、品種 Chico (適熟期), 振幅10mm, 振動数206cpmのときの変位と力のヒステリシス曲線の1例である。力の最大点は、上, 下死点より多少遅れて現われる。これは、加振台の変位より多少遅れて果実が運動しているものと推定される。この場合、振動数が比較的大きいので変位と力の関係が明確に現われたが、振動数が低い場合には、その面積は小さくなる。

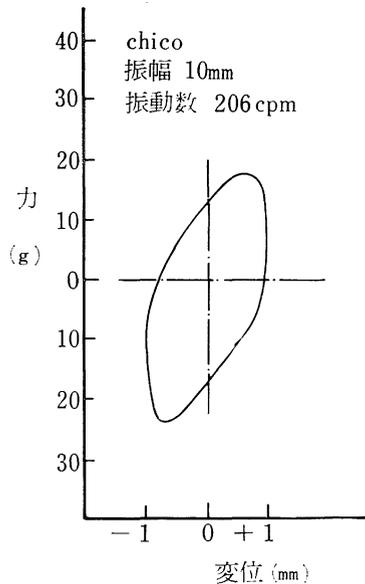


Fig. 6 変位と力のヒステリシス曲線

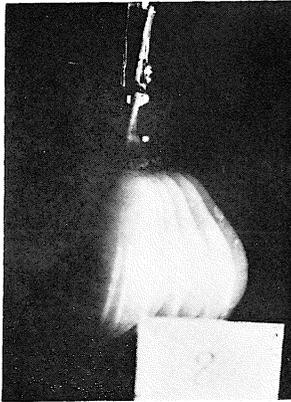


Fig. 7(A) ストロボ写真の1例
振動数 180cpm, 振幅 10mm
ストロボ発光毎分 2,000回

Fig. 7(A) は、振動数 180cpm, 振幅 10mm, ストロボスコープ発光毎分 2000回の場合の Chico についての1例である。

Fig. 7(B)は、Chico (未熟, 適熟), H1370 (適熟) について、振幅 10mm のときの、最大相対振幅 X_r と1サイクルに吸収されたエネルギー (E_n) との関係を示す。 X_r はストロボスコープによる写真から求めたものである。

1サイクルに吸収されるエネルギー (E_n) は、品種および熟度別による差異は明らかでないが、 X_r が 20mm 以下では約 300mm-g 以下で、40mm では約 700mm-g である。一般的に E_n と X_r との関係は、 X_r の増加に従い、 E_n も漸次増加の傾向が見られ、平均的には $E_n = 11.56 X_r^{1.091}$ の関係によって表わせる。この傾向は、軟鋼材の板ばねにおける交番荷重のもとで、それに吸収されたエネルギーと X_r との関係に類似する⁵⁾。

3. 脱離全サイクル数

ここに、脱離全サイクル数は、果実が果梗から脱離するに要する全サイクル数であり、振動収穫の場合に脱離振動台上の滞留時間、すなわち収穫機の性能に関係する最も重要な要因である。ここに用いた脱離全サイクル数は、オシログラムから求めたものである。Fig. 8 は、振動数 250cpm, 振幅 10mm, Chico のオシログラムの1例である。脱離時は、果実に作用する力 (F) が急激に減少するのでオシログラム上において判定できる。

Fig. 9 は、振幅 10mm, 品種 Chico, H1370で、脱離必要時間別の振動数と脱離全サイクル数との関係を示す。

品種による脱離に必要な振動数は、H1370 は Chico より高く、品種による適用振動数の範囲は明確である。

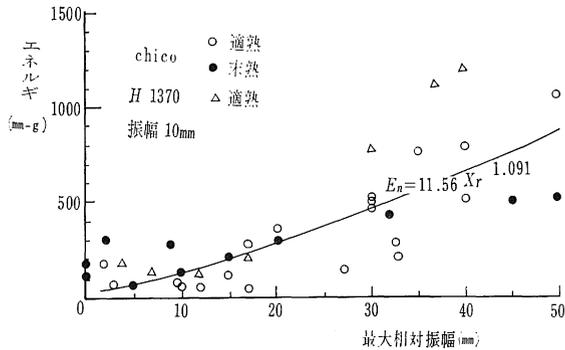


Fig. 7(B) 最大相対振幅と1サイクルに吸収されたエネルギーとの関係

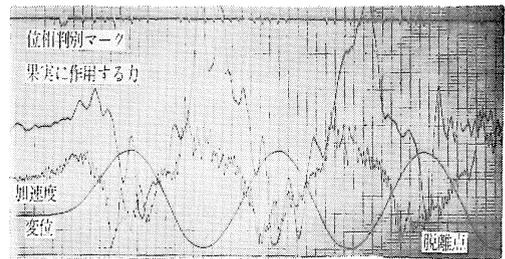


Fig. 8 オシログラムの1例
振動数 250cpm, 振幅 10mm, Chico

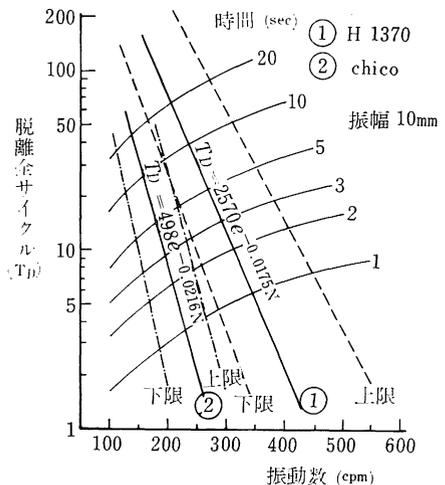


Fig. 9 振動数と脱離全サイクル数との関係

今ここに、振動輸送の平均的な速度として、果実の輸送速度を 30cm/sec とし⁶⁾⁷⁾、有効な脱離輸送板長を 100cm とすれば、滞留時間は約 3.3sec であるから、この点から見れば、適用振動数は、Chico では約 200 cpm 以上、H1370 では約 300cpm 以上が望ましい値である。

脱離全サイクル数は、振動数の増加と共に減少する。

すなわち、振動数と脱離全サイクル数との関係は、H1370では $T_D = 2570e^{-0.0175N}$ 、Chico $T_D = 498e^{-0.216N}$ で指数関数によって表わされる。

脱離性は、果実に作用する力が大きいほど向上するものであると考えられる。すなわち、(4)式から明らかのように、その力は振幅と振動数の増加と共に増大するものであるが、振動数の増加は、機械に与える影響が大きいので、機構的には、振幅の増加が望ましい。

V 摘 要

本研究は、振動による加工用トマトの脱離と動特性を実験的に調べたものである。供試機は、クランク機構で、水平に振動する振動台上に固定したホルダーにトマトをつり下げ振動させる。ホルダーに作用した力は、ストレインゲージにより検出され、トマトの相対運動は、振動台上に固定のカメラにより記録される。これらの記録から、トマトの相対振幅と脱離全サイクル数が決定される。加工用トマトの種類は、Chico と H1370 である。主な結果は次の通りである。

1. 茎をほぼ円筒と仮定し、曲げ試験による茎の位置別の弾性係数は、茎の大部分では約 20000g/mm^2 で、果梗近くでは $100\sim 2000\text{g/mm}^2$ である。
2. 粘性定数 η は、 $0\sim 1.0$ の値の範囲に適應するので、この系は粘性減衰特性を持つものと認められる。
3. 1サイクルに吸収されるエネルギーは、果実の最大相対振幅と次の関係で与えられる。

$$E_n = aX^n$$

E_n : 1サイクルに吸収されたエネルギー、 X_r : 最大相対振幅、 a, n : 定数

相対振幅と1サイクルに吸収されたエネルギーとの間には、明確な関係があることが認められる。

4. 脱離全サイクル数の見地からでは、脱離適正振動数は品種によって異なることが明らかである。
5. 振動数と脱離全サイクル数との関係は、ほぼ指数関数により表わされる。

$$T_D = ae^{-bN}$$

T_D : 脱離全サイクル数、 N : 振動数、 a, b : 定数

引用文献

1. WANG, JAW-KAI: Trans. ASAE 8: 403-405, 1965
2. LAMOURIA, L. H.: Trans. ASAE 4: 12-14, 1961
3. MARKWARDT, E. D., GUEST, R. W., CAIN, J. C., LABELLE, R. L.: Trans. ASAE 7: 70-74, 1964
4. 西村源六郎: 振動工学, 誠文堂, 東京, 1969, 50-52
5. LANZAN, B. J.: Trans. Am. so. metals Jo.: 499-558, 1950
6. 岩尾俊男・川村 登: 農機誌 33:(4) 355-360, 1972
7. 岩尾俊男・田辺 一: 鳥農研 6, 90-102, 1972

Summary

The object of the work reported here is to study some properties of detachment of processing tomatoes suspended on a vibrating base.

The vibrating apparatus had a crank mechanism which imparted to the fixed base of a holder a sinusoidal motion in the horizontal direction. Forces experienced by the holder during motion were sensed by a strain gage, and relative motion of the tomatoes was recorded by a camera fixed on the vibrating base. From these records, the maximum relative amplitude and total number of cycles to tomato detachment were determined.

The kinds of processing tomatoes used were the chico and H 1370.

The main results were as follows ;

1. Assuming that the stem has approximately a cylindrical shape, the modulus of elasticity has the value of about 20000 g/mm^2 to the greater part of stem, and only the value of about $100\sim 200\text{ g/mm}^2$ at the end of stem, using the bending test method.
2. The constant of viscosity ranged of about $0\sim 1.0$ may be seen from the value on which it expresses the system with viscous damping property.
3. Energy of absorption per cycle is proportional to the n th power of the maximum

relative amplitude X_r in following.

$$E_n = aX_r^n$$

E_n : energy of absorption per cycle

X_r : maximum relative amplitude of tomato

a, n : constant

It is shown that there seems to be a definite relationship between relative amplitude and energy absorption per cycle.

4. The relationship between frequency and the total number of cycles to detachment is given by the exponential function in following.

$$T_D = ae^{-bN}$$

T_D : total number of cycles to detachment

N : frequency

a, b : constant

and, from the stand point of view of the total number of cycle to detachment, it is clear that there is an optimum frequency range for the kinds of tomatoes.