

第5章 被覆材による損傷発生防止

第1節 実験目的

収穫機による収穫バレイショをタンクに投入したり或はその後のハンドリングにおいてもかなり高い位置から塊茎が落下する場合が少なくない。従って本実験では落下位置が高い場合に対応して振り衝撃方法を採用し、落下位置が高い場合の衝撃時最大加速を測定し、次の諸事項を明らかにせんとする。

最大加速度は衝撃を受けた塊茎の損傷程度に応じて減少度が異なるので、衝撃体には鉄板及び丸鋼を使用して塊茎衝撃時の最大加速度を測定すると同時に衝撃を受けた塊茎の損傷を調査し、塊茎の損傷度合による最大加速度の減少程度を検討する。

被覆材の緩衝効果については現在の収穫機に使用しているゴム及びビニルを用い、それらの材料の厚さを変えて最大加速度、接触時間及び反撥高さを測定することによって落下高さ毎の緩衝効果を究明する。更に落下高さを変えて塊茎を落下させ、衝撃体との衝撃により生ずる損傷を調査することによって各種被覆材の実際利用に際しての効果を検討する。

第2節 実験方法

1. 供試材料

品種には第3章と同様に男爵薯を使用した。第3節の1項においては長沼町1976年産のものを用いたが、このバレイショは8月27日頃より1週間にわたり収穫したものである。塊茎の大きさはM玉(100~70g)に限定したが、その一個体の平均重量は81.5gであり、又塊茎硬度の平均値は4.59kgで $E/(1-\nu^2)$ の値は189.15kg/cm²である。塊茎の曲率半径は第3章第2節に述べた方法で求め、平均曲率半径(R_1)は3.20cmである。

本章第3節の3項で使用した男爵薯は硬度が

4.60kgであり、曲率半径は3.50cmである。なおこのバレイショは栗山町1976年産で9月上旬に収穫したものである。

2. 被覆材料

被覆材についてはBITTER等¹⁾がポリエチレン等の材質と厚さを変えてその緩衝効果を検討しているが、ここではゴム及びビニルを使用し、更に特殊材料として内面に突起を出した特殊形ゴム及び糸入りビニルを用いた。

3. 実験装置

衝撃加速度の測定は図5-1の如き装置で行った。振子の腕の長さを100cmとし、振子の先端に衝撃体をボルトで固定してある。振子の回転軸はボールベアリングで支持してある。振子の腕を任意の高さに固定できるように振子の円運動と同心軸を持つ支持桿を設け、ストップをスライドさせるようにした。

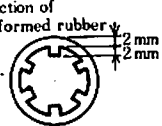
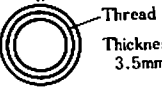
衝撃体には丸鋼と鉄板の2種を使用した。丸鋼の直径は7, 10, 15, 20, 25, 30mmとし、鉄板の厚さは3mmのものを使用した。塊茎に穴をあけて加速度変換器を埋設し、ビニルテープで固定した後糸を取付けて衝撃測定装置の吊具に吊り下げ得るようにした。この塊茎を振子先端の衝撃体の通過線上に静止させておき衝撃体が塊茎の所定の箇所確実に衝突するようにした。

衝撃時の加速度はストレインメータで測定したが、これを152cm/sのテープ速度でデータレコーダに記録した後、1/20に減速再生し電磁オシログラフに記録させた。

衝撃速度は衝撃直前に振子の衝撃体の通過路を挟んで光源とフォトダイオードを一定間隔に2対設定し、デジタルカウンタによって通過時間を測定した。

本章第3節2項の被覆材の緩衝効果の場合については振子の落下前の位置及び衝突後の反撥高さ

Table 5-1. Cushioning materials

Kind of materials	Quality of material	Hardness	
Rubber	1 mm 2 mm 3 mm Special form	41	Section of special formed rubber 
Vinyl	1 mm 2 mm 3 mm Containing thread	86~88	Section of vinyl containing thread 

Measuring hardness JIS hardness tester, shimazu-seisakusho, temperature 20°C, humidity 65%

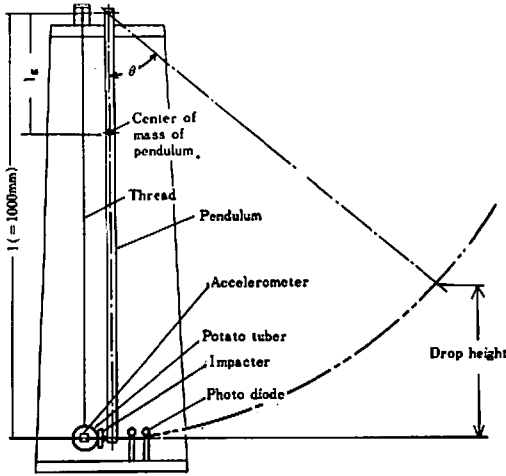


Fig 5-1. Pendulum impact apparatus

の測定をポテンシオメータによって行った。特にこの2項が1項と異なる点は衝撃体を7mm径丸鋼に限定し衝撃装置のフレームに固定したことと、加速度変換器が振子の先端に取付けたことである。この違いによる振子加速度変換装置の仕様は次のようになる。振子腕の長さ (l) 100cm, 全重量 (W) 2,688 kg, 重心位置 (l_g) 27.8cm。

本章第3節3項の被覆材適用による塊茎の損傷発生装置は第3章と同様に自由落下衝撃装置を使用した。

4. 測定方法

落下高さは最高100cmとし、第3節1項では6, 17, 32, 51.5, 100cmの5段階とし、同節2項では1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20,

25, 30, 40, 50cm, 更に同節3項では5, 7, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100cmとした。同一の測定に対して3個体を供試した。なお衝撃を受けた塊茎を低温室に3週間貯蔵し、周皮及び断面の損傷を調査した。損傷程度の表示は第3章に従い次の3種に区分した。

1) 圧碎損傷 損傷の中でも最も重い傷で塊茎の衝撃箇所が完全に破壊されて凹状に圧碎されたものである。

2) 亀裂損傷 この亀裂は鉄板或は丸鋼でも直径の大きい衝撃体と衝突した時に多く発生し、塊茎の周皮或は厚皮等に変色や局部変形をもたらさず1条以上の亀裂が発生するものを言う。

3) 打撲損傷 衝撃直後には観察が困難であるが、貯蔵後に塊茎断面に変色等の異常が認められるものである。なお本章第3節3項の損傷表示は直接的損傷部から派生する亀裂を含めており、損傷の発生深さと損傷領域としての断面積 (深さ×幅) とした。

5. 振子衝撃装置による衝撃理論

図5-1から衝撃体の落下高さ及び振子重心の落下高さは次式になる。

$$h = l(1 - \cos \theta) \quad (5-1)$$

$$h_g = (l_g/l)h \quad (5-2)$$

又反撥高さは同様にして(5-3)式になる。

$$h_r = l(1 - \cos \theta_r) \quad (5-3)$$

振子の慣性モーメントは(5-4)式で表される。

$$I = \frac{T^2 W l_g}{4 \pi^2} \quad (5-4)$$

更に落下エネルギー及び周速度はそれぞれ(5-5), (5-6)式で示される

$$W l_g = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (5-5)$$

$$V = l \omega \quad (5-6)$$

(5-5), (5-6)式を用いて(5-4)式に含まれる周期Tを衝撃速度Vに置換えると、慣性モーメントは(5-7)式になる。

$$I = \frac{2 W l l_g h}{V^2} \quad (5-7)$$

振子の運動において(5-8), (5-9)式が成立つので、衝撃力は(5-10)式で表される。

$$I \frac{d\omega}{dt} = l F \quad (5-8)$$

$$\frac{dV}{dt} = l \frac{d\omega}{dt} \quad (5-9)$$

$$F = I \frac{dV}{dt} / l^2 \quad (5-10)$$

振子による衝撃はdV/dtが最大の時に行われるので、最大加速度を $\ddot{\alpha}_{\max}$ とおくと(5-10)式は次式のようになる。

$$F = \left(\frac{I}{l^2} \right) \ddot{\alpha}_{\max} \quad (5-11)$$

(5-11)式から明らかなように振子の先端に取付けた衝撃体が衝突する時には I/l^2 が衝撃体の有効質量として作用する。又(5-6)式から振子による衝撃速度は(5-12)式で表される。

$$V = l \left(\frac{2 W l_g h}{I} \right)^{1/2}$$

$$= \left(\frac{2 W l l_g h}{I} \right)^{1/2} \quad (5-12)$$

(5-12)式と同様にして反撥速度は(5-13)式で示される。

$$V_r = \left(\frac{2 W l l_g h_r}{I} \right)^{1/2} \quad (5-13)$$

$\ddot{\alpha}_{\max}$	最大加速度
F	衝撃力
h	衝撃体の落下高さ
h_r	衝撃体の反撥高さ
h_g	振子重心点の落下高さ
I	振子の慣性モーメント
l	振子腕の長さ
l_g	振子重心点の長さ
T	振子の周期
V	衝撃体の衝撃速度
V_r	衝撃体の反撥速度
W	振子の総重量
ω	振子の角速度
θ	落下角度
θ_r	反撥角度

第3節 実験結果及び考察

1. 振子衝撃装置を用いた 加速度測定と損傷

振子の衝撃による最大加速度の理論式は球体の衝撃理論式(2-9)を適用することによって求められるが、(2-9)式において衝撃体の質量 m_2 を決め、更に丸鋼については R_2 を球体半径 R_2 に補正する必要がある。

(5-11)式から衝撃有効質量として m_2 に I/l^2 を用いることによって最大衝撃力は(5-11)式から求められる。(5-7)式から I/l^2 は落下高さ h と衝撃速度の関数として(5-14)式で表される。

$$\frac{I}{l^2} = \frac{2 W l_g h}{V^2} \quad (5-14)$$

(5-14) 式の形から明らかなようにそれぞれの衝撃体によって $2Wl_g/l$ は表5-2に示すような一定値をとるので、 l/l^2 は h/V^2 によって決まる。

Table 5-2. Weight of impactors, center of mass of pendulum and value of $2Wl_g/l$

Kind of impacters	Weight of impacters g	Assembly of pendulum		$2Wl_g/l$
		Weight kg	Center of pendulum mass cm	
Steel plate	63.6	2.7636	26.5	1.4647
Round steel bar, diameter mm				
7	25.1	2.7251	25.5	1.3898
10	31.6	2.7316	25.7	1.4040
15	60.2	2.7602	26.3	1.4519
20	103.0	2.8030	27.5	1.5417
25	155.0	2.8550	28.9	1.6502
30	216.8	2.9168	30.4	1.7734

Length of pendulum $l = 100$ cm

衝撃速度の実測値は表5-3に示した通りであるが、衝撃体の違いによって衝撃速度が異なる。これは次節の(5-23)式に示すように振子の振幅が大きくなると周期が変化するためである。 l/l^2 の値を求める際には任意の落下高さにおける衝撃速度が必要であるから(5-15)式に示すような関係式が便利である。

$$\left. \begin{aligned}
 V_{(\phi \text{ plate})} &= 43.550 \text{ h}^{0.516} \\
 V_{(30 \phi)} &= 38.370 \text{ h}^{0.540} \\
 V_{(25 \phi)} &= 38.964 \text{ h}^{0.540} \\
 V_{(20 \phi)} &= 39.107 \text{ h}^{0.544} \\
 V_{(15 \phi)} &= 40.339 \text{ h}^{0.537} \\
 V_{(10 \phi)} &= 40.875 \text{ h}^{0.535} \\
 V_{(7 \phi)} &= 40.887 \text{ h}^{0.536}
 \end{aligned} \right\} \quad (5-15)$$

サフィックスの plate は鉄板、 $30\phi \sim 7\phi$ は丸鋼の直径を示す。

Table 5-3. Measured impact velocity of pendulum impacters, cm/s

Drop height cm	Steel plate	Diameter of round steel bars mm					
		7	10	15	20	25	30
5		94.38	94.49	93.38	92.28	90.81	89.24
10		141.71	141.65	140.10	137.98	135.98	134.48
20		207.99	207.74	205.95	203.11	200.76	197.27
30		257.79	254.72	252.17	249.65	246.78	243.57
40	292.76	296.28	295.96	294.48	290.72	286.31	283.48
50	326.92	330.60	330.94	328.55	325.48	321.44	317.25
60	361.03	366.09	365.30	362.32	358.01	354.47	350.10
70							379.88
80							407.53
90							433.72
100		478.37	476.51	472.95	465.45	460.98	457.53

この関係式から実験時の落下高さにおける衝撃速度は表5-4に示され、表5-2の $2Wl_g/l$

の値とから(5-14)式に従い表5-5に示すが如き l/l^2 の値を求めた。

Table 5-4. Calculated impact velocity of impacters, cm/s

Drop height cm	Steel plate	Diameter of round steel bars, mm					
		7	10	15	20	25	30
6.0	105.34	106.77	106.66	105.50	103.55	102.48	100.97
17.0	184.32	186.26	186.52	184.49	182.39	179.78	177.19
32.0	258.90	261.75	261.32	259.05	257.21	252.93	249.32
51.5	344.30	337.75	337.12	334.41	333.13	326.98	322.37
100.0	469.01	478.37	476.51	472.95	465.45	460.98	457.53

Table 5-5. Value of l/l^2

Drop height cm	Steel plate	Diameter of round steel bars, mm				$\times 10^{-4} \text{kg}$
		7	10	20	25	
6.0	7.9197	7.3148	7.4048	8.6268	10.4360	
17.0	7.3291	6.7912	6.8798	7.8785	9.6023	
32.0	6.9925	6.4912	6.5791	7.4571	9.1294	
51.5	6.7496	6.2743	6.3621	7.1545	8.7882	
100.0	6.5647	6.0732	6.1833	7.1162	8.4716	

又丸鋼の球体半径への補正值 R'_2 は(2-51)式により計算し、その値を表5-6に示してある。

Table 5-6. Value of R'_2 , cm

Radius of curvature of tuber cm	Diameter of round steel bars, mm						Covered with vinyl of 1mm thickness	
	7	10	15	20	25	30	7	20
3.20	0.674	0.805	0.986	1.139	1.273	1.395	0.764	1.194

鉄板が糸で吊した塊茎に衝撃を与える時の最大加速度は(2-9)式において $R_2 = \infty$ と置くことによつて(5-16)式で表される。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = 1.2827 \left(\frac{\sqrt{R_1}}{A} \right)^{2/3}$$

$$V^{6/5} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right)^{2/5} \quad (5-16)$$

ここで塊茎の大きさ及び硬度は平均値を用い一定としているので、 A を $5.2867 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{kg}$ 、 R_1 を3.20cmとして左式は(5-17)式になる。

$$\ddot{\alpha}_{\max(\text{plate})} = 13.179 V^{6/5} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right)^{2/5}$$

(5-17)

又丸鋼が塊茎に与える最大加速度は(2-9)式から(5-17)式と同様にして次式で示される。

$$\ddot{a}_{\max(\text{bar})} = 13.179 V^{6/5} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right)^{2/5} \left(\frac{R_1 R_2'}{R_1 + R_2'} \right)^{1/5} \quad (5-18)$$

式(5-17), (5-18)から落下高さ別の最大加速度の計算値は表5-7に示す通りである。この表から明らかなように塊茎に与える衝撃は鉄板との衝撃時に最も高い加速度値を示し、丸鋼の場合には直径の小さな丸鋼が大きな直径に比較して若干低い値を示している。

Table 5-7. Calculated maximum acceleration during impact of tubers and impacters, G

Drop height cm	Steel plate	Diameter of round steel bars, mm			
		7	10	20	30
6.0	160.31	145.37	149.36	151.18	150.08
17.0	314.67	284.83	292.50	299.21	295.49
32.0	473.99	428.59	439.98	452.95	445.89
51.5	645.12	582.88	598.18	618.84	607.72
100.0	977.98	886.44	907.32	924.66	926.28

衝撃体の重量が最大と最小を示す丸鋼は7mm径と30mm径であるのに対して最大加速度の増加割合は落下高さが6~100cmの範囲で3.1~4.3%であり、表5-2に示した衝撃体の重量増加に比較すると極めて小さな増加に止まっている。

落下高さが6, 17, 32, 51.5, 100cmの時の衝撃時最大加速度の実測値は図5-4に示す通りである。

この図から明らかなように振子の衝撃体の落下位置を高くすると衝撃速度が増加して最大加速度は増大するが、丸鋼の如く塊茎に破壊的な損傷が生じる場合にはこの最大加速度の増加は弱まる。更に損傷発生が著しくなると、衝撃力が損傷によって吸収され、丸鋼の7mm径、10mm径に見るように最大加速度は逆に減少する。このように衝撃体の形状が異なる場合には損傷の発生程度が違ってくるので、その損傷程度に応じて最大加速度に差が生じる。比較的損傷の少ない鉄板及び30mm径の丸鋼については最大加速度と落下高さの関係は(5-19)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{a}_{\max(\text{plate})} &= 26.753 h^{0.692} \\ \ddot{a}_{\max(30\phi)} &= 26.935 h^{0.663} \end{aligned} \right\} \quad (5-19)$$

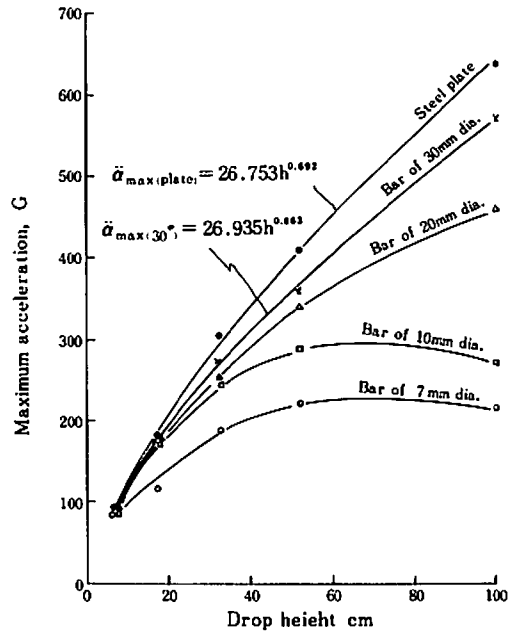


Fig 5-4. Maximum acceleration of tubers when impacted with round steel bars and steel plate

以上の如く最大加速度は塊茎損傷と深い関係があるので、図5-4の最大加速度をもたらしした時の塊茎の損傷を表5-8に示してある。

Table 5—8. Damage of tubers in using pendulum impact apparatus

Cushioning material	Drop height	Diameter of round steel bars, mm				Steel plate
		7	10	20	30	
Uncovered	6.0	0	0	0	0	0
	17.0	***	*	0	0	0
	32.0	***	***	*	*	0
	51.5	***	***	—	*	*
	100.0	***	***	***	***	**
Vinyl of 1 mm thickness	6.0	0	—	0	—	0
	17.0	***	—	0	—	0
	32.0	***	***	*	*	0
	51.5	***	—	**	—	0
	100.0	***	—	***	—	**

* Bruised damage
 ** Cracked damage
 *** Crushed damage
 Size of tuber, M 83.0g

鉄板との衝撃の場合には塊茎は圧砕損傷が伴わないので反撥作用が大きくなり、他の衝撃体と比較すると最大加速度は最も大きな値を示す。落下高さが100 cmの時には裂傷が生じたが、裂傷は圧砕損傷のように衝撃力の吸収が大きくないので最大加速度の低下が少なく 638 G を示した。

丸鋼との衝撃の場合には丸鋼の直径が小さく、且つ落下位置が高い程塊茎に生じる損傷は著しくなるので、衝撃力が破壊による変形に吸収されて反撥作用が弱まる。落下高さが6 cmの時には衝撃体の種類に拘らず損傷は発生しないが、17cmの高さになると7 mm径では圧砕損傷が生じ、図5—4に示したように最大加速度の低下が著しく現れている。落下高さが33cmになるとすべての丸鋼に損傷が生じ、7 mm径に次いで10mm径についても圧砕損傷が現れ、最大加速度の低下が明瞭に示された。落下高さが51.5cmの場合では7 mm径による圧砕が著しくなり、最大加速度は60cm前後の高さの時を最大値としてこの高さを越えると逆に減少し、100 cmの落下高さでは最大加速度は200 G程度に低下する。

丸鋼に1 mm厚さのビニルを被覆した場合には損傷が緩和されるので、最大加速度の現れ方が丸

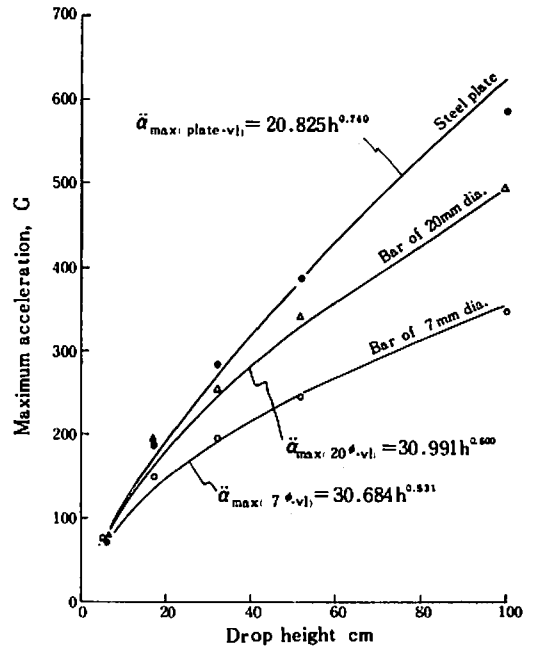


Fig 5—5. Maximum acceleration of tubers in impact with impacters covered with vinyl of 1 mm thickness

鋼のみの場合と異なり、図5—5に示すように加速度の下降現象が見られない。最大加速度と落下高さとの関係は(5—20)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{a}_{\max(\text{plate-vl})} &= 20.825 h^{0.740} \\ \ddot{a}_{\max(20\phi\text{vl})} &= 30.991 h^{0.600} \\ \ddot{a}_{\max(7\phi\text{vl})} &= 30.684 h^{0.541} \end{aligned} \right\} \quad (5 \sim 20)$$

サフィックス vl ビニル被覆を示す

被覆7mm径丸鋼による最大加速度は32cmの高さまでは丸鋼のみの場合とほぼ同じ値を示すが、落下高さが51.5cmに達すると同じ圧碎損傷を生じた場合でもその程度が少なく最大加速度が増大している。又被覆した20mm径丸鋼の最大加速度は51.5cmの高さまで殆んど差がないが、落下高さが100cmに達すると、被覆時の最大加速度が若干増加する。被覆鉄板の場合には鉄板のみの時と同様に裂傷が発生するが、ビニルが緩衝作用となるので、丸鋼のみに比較すると最大加速度は低い値を示している。

このような圧碎損傷が伴った時の衝撃時の加速度変化を図5-6に示している。この図は落下高さが17cmの場合について示しているが、(a)は鉄板との衝撃時の最大加速度であり、圧碎損傷が発生していないのでピークが1つだけ鮮明に現れており、且つ接触時間は3msと短い。10mm径丸鋼については(b)に示すようにこの落下高さでは打撲程度なのでピークの乱れが少ない。しかし(c)の7mm径丸鋼の場合では圧碎が発生するので、ピークが2つ以上現れると同時に最大加速度値が低くなり、丸鋼による圧碎作用が進行していることを示している。従って接触時間は4msと鉄板に比較して長くかかっている。更に最大加速度に達する時間は鉄板との衝撃では0.8~1.5msであるが、丸鋼との衝撃の場合ではピークが2つ以上できるので、最後のピークに達する時間は2~3msかかり、接触時間の場合と同様に塊莖が破壊されている時には最大圧縮時間は長くかかる。

又衝撃体の種類によって塊莖に生ずる損傷の状態が異なるので、落下高さが100cmの場合について損傷の1例として表面並びに断面から見たものを図5-7に示している。塊莖と鉄板の衝撃の場合では塊莖にNo.97のような亀裂が生じるか或はNo.98のような周皮が切れずに厚皮、髓部が破壊される。他方塊莖と丸鋼の衝撃についてはNo.108、

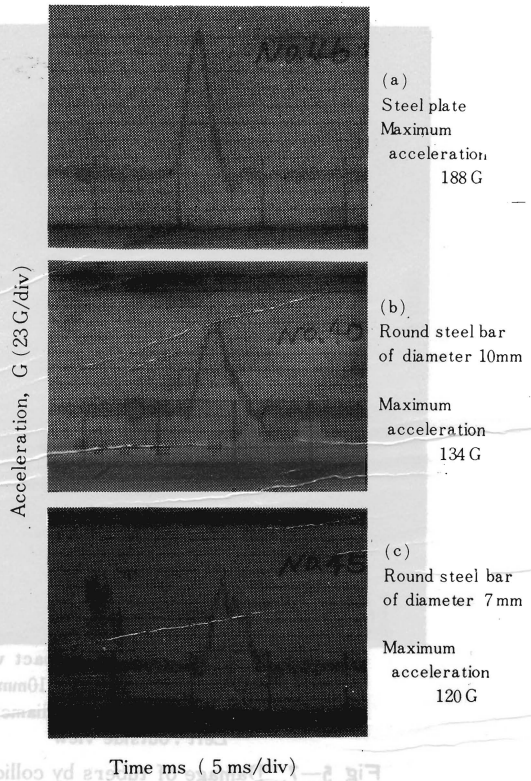


Fig 5-6. Acceleration curve during impact with different impacters at the drop height of 17 cm

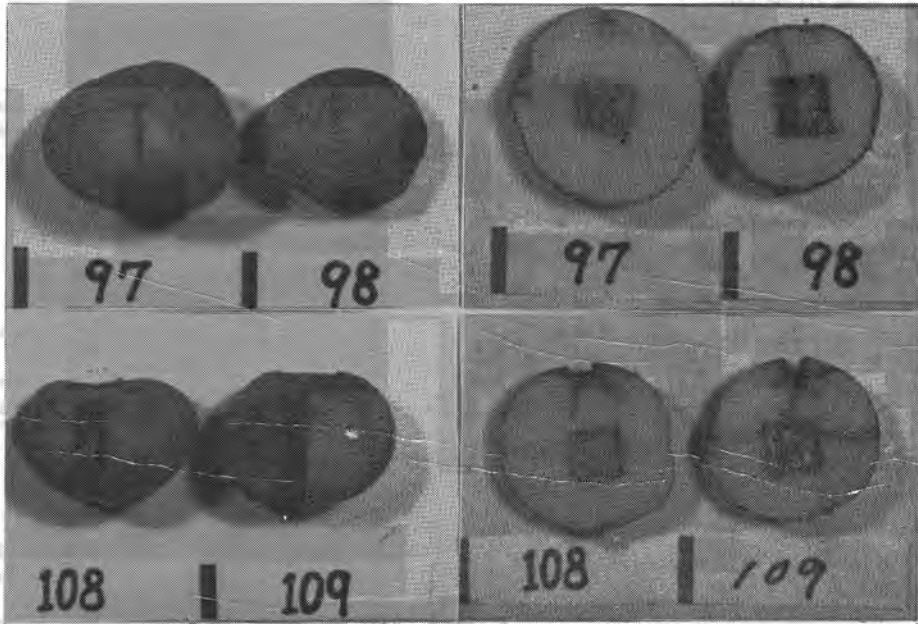
No.109のように衝撃箇所が圧碎されて凹状に破壊され、この圧碎損傷から亀裂が延長して走る。更に圧碎損傷の断面を見ると直接損傷部を中心に内部又は周辺に向って放射状に亀裂が入り、衝撃力が大きい程圧碎部の深さが増し、且つ亀裂が深く入る。

2. 被覆材の緩衝効果

本実験においては加速度変換器が振子の先端に取付けられているので振子の重量、重心位置及び振子の長さが一定値である。従って加速度変換器の衝撃速度は図5-8に示すように1つのベキ関数曲線になり、次式で表される。

$$V = 50.834 h^{0.494} \quad (5-21)$$

振子の周期については最高落下高さが50cm(振上げ角度60°)であるため振幅が大きく、且つ軸受の抵抗を受けるので、周期は落下高さによって異



No. 97, No. 98 Impact with steel plate, No. 108 Impact with round steel bar of 10mm diameter, No. 109 Impact with round steel bar of 7mm diameter
Left : outside view Right : sectional view

Fig 5-7. Damage of tubers by colliding with impacters at drop height of 100 cm

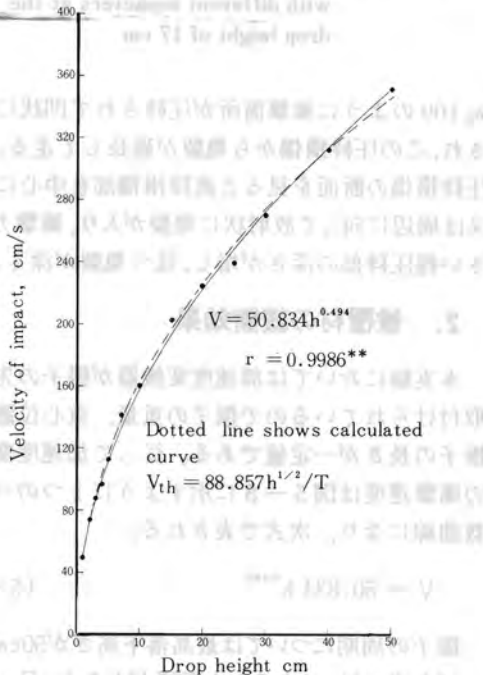


Fig 5-8. Impact velocity of accelerometer mounted on the pendulum

なり一定値とはならない。実測の結果は図5-9に示すように周期は落下高さに比例的な増加関係を示すので、その実験式は(5-22)式の如く一次式で表される。

$$T = 2.0765 \times 10^{-3} h + 1.7223 \quad (5-22)$$

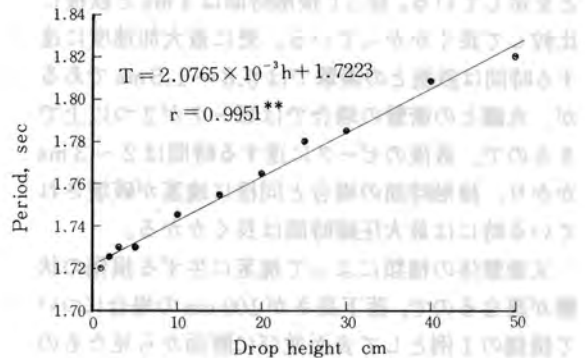


Fig 5-9. Period of free oscillation of pendulum

振子の衝撃速度の理論式(5-12)式は(5-4)式を用いて衝撃速度を周期との関係に書き直すと

(5-23) 式となる。

$$V = \left[\frac{8\pi^2 l h}{T^2} \right]^{1/2}$$

$$= 88.857 h^{1/2} / T \quad (5-23)$$

(5-22), (5-23) 式を用いて衝撃速度を求めると図5-8に示すように実測値とよく一致する。

(2-14) 式で $R_1 = \infty$, $m_2 = \infty$ とおくと、振子による最大加速度は(5-24)式で表される。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = 1.2826 V^{4/5} m_1^{-2/5} \left[\frac{\sqrt{R_2}}{A} \right]^{2/5} \quad (5-24)$$

m_1 には l/l^2 を用いるので(5-14)式に(5-21)式の V を代入すると(5-25)式が得られる。

$$\frac{l}{l^2} = \frac{2W l_g}{l} \frac{h}{V^2}$$

$$= 5.783 \times 10^{-4} h^{0.013} \quad (5-25)$$

(5-24) 式の m_1 に(5-25)式の l/l^2 を代入すると、最大加速度は(5-26)式で表される。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = 2.570 \times 10^3 \left[\frac{\sqrt{R_2}}{A} \right]^{2/5} h^{0.557} \quad (5-26)$$

ここに両方の衝撃体は軟鋼であるから $E = 2.1 \times 10^6$ (kg/cm²) $\nu = 0.3$ として A の値を求めると、次の値となる。

$$A = [(1 - \nu^2) / E] \times 2 = 8.66 \times 10^{-7}$$

ここでは球の衝撃と仮定して(5-26)式を用いると丸鋼の半径が0.35cmであるから最大加速度は落下高さに関して(5-27)式が得られる。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = 6.085 \times 10^5 h^{0.557} \quad (5-27)$$

しかし(5-26)式より求める値は著しく大きな値となり、例えば落下高さが50cmの時最大加速度は6171Gであるが、実測値の最大加速度は908Gに過ぎない。このような最大加速度の違いは被衝撃体の丸鋼を固定したことによって生ずる大きな衝撃エネルギーを、この衝撃装置では弱過ぎたため

に歪や振動として吸収したものと推察される。又振子の腕は自由落下と異なり、回転軸に束縛された運動であるので、衝撃面で衝撃方向が微小なずれがあっても振子に振が生じて衝撃エネルギーを吸収する。前節の実験のように塊茎がフリである場合と大きく異なる場所である。更に反撥高さの面から衝撃装置による衝撃エネルギーの吸収を検討すると、落下高さが50cmの時で9cmに止まり、衝撃理論では鋼球の反撥係数は1:1とされているので、実験値の反撥高さ9cmは理論反撥高さの18% ($[9/50] \times 100$) に相当する。この反撥高さの減少率から最大加速度の実測値を推定すると、1100G程度になり実測値に近い値を示す。

1) 最大加速度

衝撃力は(5-11)式に(5-25)式の l/l^2 を代入すると、衝撃力は(5-28)式で表される。

$$F = 5.783 \times 10^{-4} h^{0.013} \ddot{\alpha}_{\max} \quad (5-28)$$

7mm 径丸鋼に被覆材を適用した場合の最大加速度は表5-9に示す通りである。表5-9の実測値より求めた最大加速度と落下高さとの関係は被覆材の有無及び被覆材の種類によって次式で表される(図5-10~図5-18)。

丸鋼のみの場合

$$\ddot{\alpha}_{\max(R)} = 62.070 h^{0.653} \quad (5-29)$$

ゴム被覆の場合

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max(R1)} &= 26.965 h^{0.804} \\ \ddot{\alpha}_{\max(R2)} &= 22.695 h^{0.764} \\ \ddot{\alpha}_{\max(R3)} &= 17.567 h^{0.730} \\ \ddot{\alpha}_{\max(R5)} &= 16.869 h^{0.754} \end{aligned} \right\} \quad (5-30)$$

ビニル被覆の場合

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max(v1-1)} &= 65.413 h^{0.627} \\ \ddot{\alpha}_{\max(v1-2)} &= 68.627 h^{0.598} \\ \ddot{\alpha}_{\max(v1-3)} &= 61.568 h^{0.609} \\ \ddot{\alpha}_{\max(v1-s)} &= 46.967 h^{0.696} \end{aligned} \right\} \quad (5-31)$$

サフィックス R ゴム被覆, v1 ビニル被覆,
数字 1, 2, 3 被覆厚さ, RS
特殊形ゴム, v1-s 糸入りビニル,
数字 0 丸鋼のみ

式(5-29), (5-30), (5-31)に基づいて衝撃力を求めると, 各落下高さ別の衝撃力は表5-10に示す如くなる。しかし衝撃力は前節の(5-4)式, (5-11)式から周期Tの関係でみると, (5-32)式で示される。

$$F = \frac{W l_g}{4 \pi^2 l^2} T^2 \ddot{a}_{max} \quad (5-32)$$

更に(5-32)式に(5-22)式を代入すると, (5-33)式が得られる。

$$F = B (2.076 \times 10^{-3} h + 1.722)^3 \ddot{a}_{max} \quad (5-33)$$

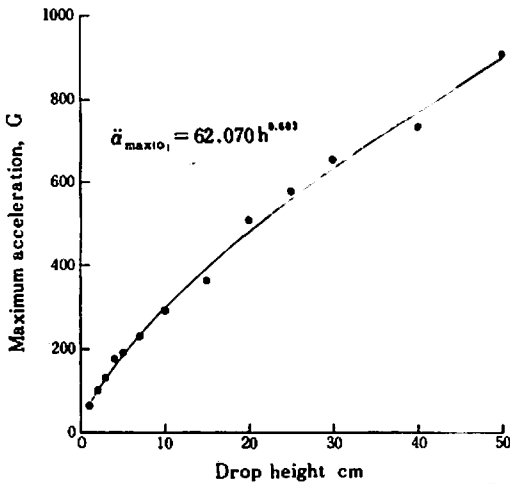


Fig 5-10. Maximum acceleration in impact with round steel bar of 7 mm diameter without cushioning material

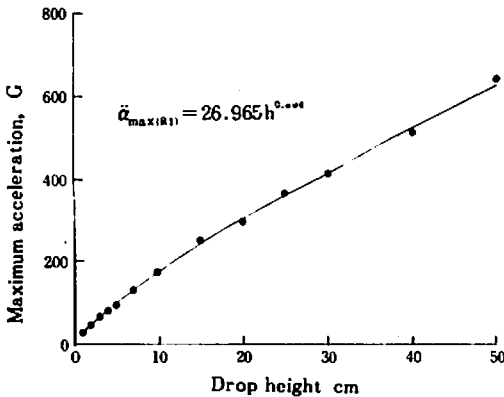


Fig 5-11. Maximum acceleration when covered with rubber of 1 mm thickness

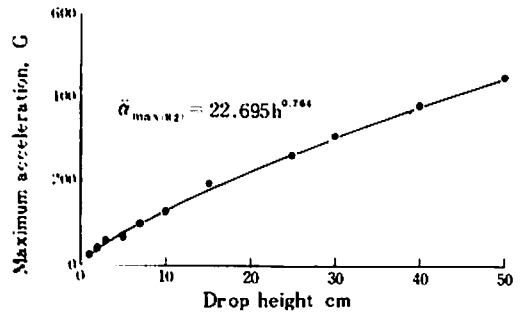


Fig 5-12. Maximum acceleration when covered with rubber of 2 mm thickness

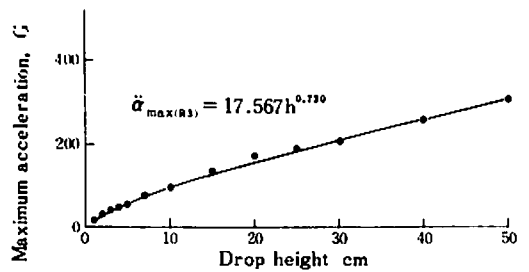


Fig 5-13. Maximum acceleration when covered with rubber of 3 mm thickness

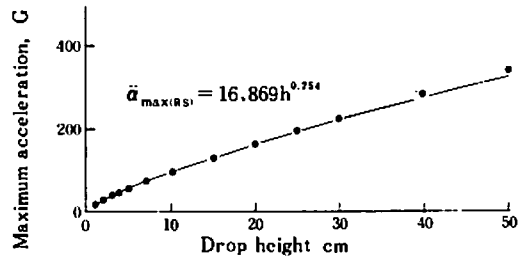


Fig 5-14. Maximum acceleration when covered with specially formed rubber

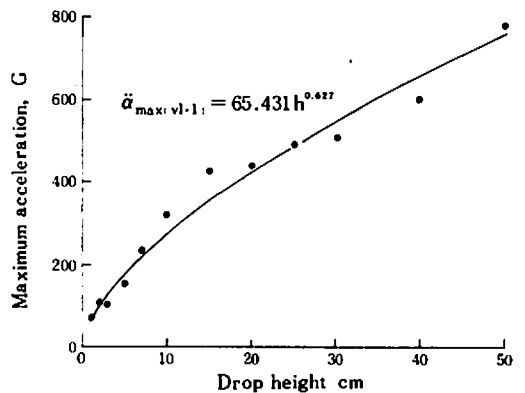


Fig 5-15. Maximum acceleration when covered with vinyl of 1 mm thickness

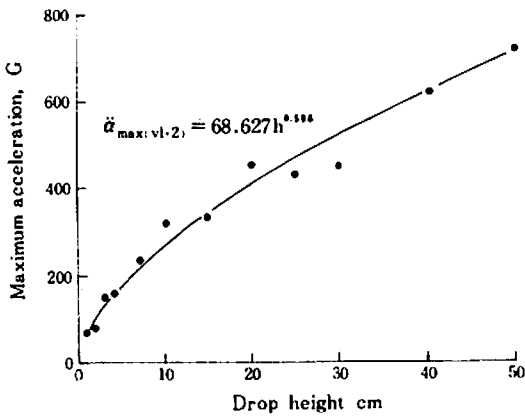


Fig 5-16. Maximum acceleration when covered with vinyl of 2 mm thickness

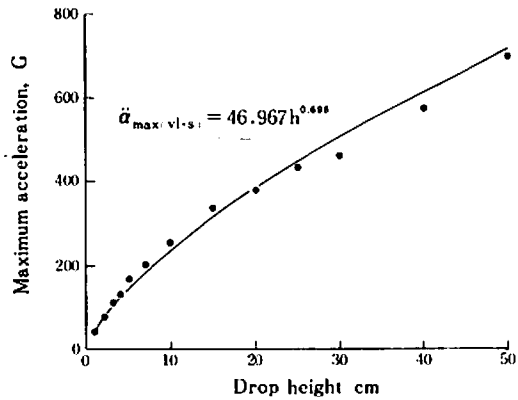


Fig 5-18. Maximum acceleration when covered with vinyl containing thread

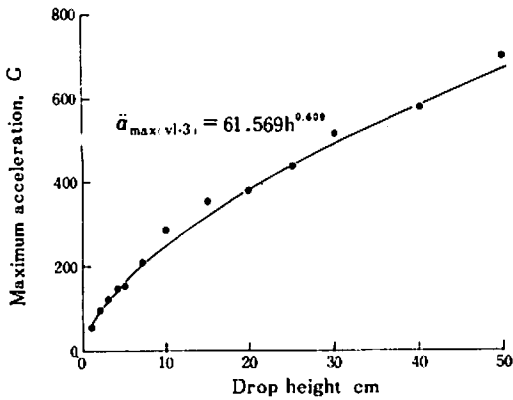


Fig 5-17. Maximum acceleration when covered with vinyl of 3 mm thickness

$$\text{ここに } B = \frac{W l_g}{4 \pi^2 l^2} = \text{一定}$$

(5-33) 式から明らかのように落下高さが50cm以下の場合は $2.0765 \times 10^{-3} h$ の項は殆んど無視出来るので、以下の考察においては衝撃力を含めた形で最大加速度を用いることとする。特に被覆材の緩衝効果については同一落下高さで比較することによって目的は十分に達成出来るのでT=一定となり、従って最大加速度を用いることにより緩衝程度の違いを表すことが可能である。

最大加速度から被覆材の緩衝効果程度を推定す

Table 5-9. Maximum acceleration measured during impact in the case of covering round steel bar of 7 mm diameter with cushioning materials, G

Drop height cm	Uncovering	Rubber				Special form	Vinyl			
		1 mm	2 mm	3 mm	1 mm		2 mm	3 mm	Containing thread	
1.0	60.0	28.0	22.0	18.0	20.0	71.0	73.0	55.0	37.0	
2.0	101.0	47.0	42.0	31.0	28.0	107.0	77.0	97.0	76.0	
3.0	131.0	65.0	57.0	39.0	39.0	103.0	149.0	123.0	107.0	
4.0	174.0	78.0	—	47.0	44.0	—	159.0	148.0	131.0	
5.0	188.0	96.0	66.5	51.5	52.0	151.0	178.0	152.0	166.0	
7.0	229.0	131.0	97.0	71.0	69.0	241.0	232.0	220.0	201.0	
10.0	289.0	171.0	127.5	89.0	86.0	318.0	314.0	284.0	253.0	
15.0	362.0	247.5	193.0	136.0	129.0	426.0	382.0	362.0	331.0	
20.0	508.0	291.0	—	170.0	164.0	439.0	450.0	383.0	375.0	
25.0	576.0	365.0	260.0	187.0	198.0	491.0	429.0	387.0	419.0	
30.0	655.0	415.0	310.0	204.0	224.0	508.0	450.0	422.0	445.0	
40.0	734.0	513.0	381.5	255.0	284.0	602.0	586.0	573.0	—	
50.0	908.0	642.0	452.5	306.0	340.0	782.0	740.0	697.0	696.0	

Table 5—10. Impact force during impact with steel bar covered with rubber and vinyl, kg

Cushioning materials	Drop height, cm											
	1	2	5	7	10	15	20	25	30	40	50	
Uncovereing	35.2	75.6	107.9	136.4	174.8	231.8	283.2	330.8	375.5	458.8	535.9	
Rubber	1 mm	15.3	37.5	56.9	74.9	100.3	139.7	176.7	212.0	246.1	311.3	373.5
	2 mm	12.9	30.2	44.9	58.3	76.9	105.3	131.7	156.6	180.4	225.6	268.3
	3 mm	10.0	22.5	32.9	42.3	55.1	74.4	92.2	108.7	124.5	154.2	182.0
	Special form	9.6	22.2	32.8	42.5	55.8	76.2	95.0	112.7	129.6	161.6	191.8
Vinyl	1 mm	37.1	74.9	103.9	128.9	161.9	209.2	252.3	291.1	327.1	393.2	453.6
	2 mm	38.9	76.1	104.0	127.7	158.8	203.4	242.6	277.9	310.7	370.4	424.5
	3 mm	34.9	69.1	95.0	117.1	146.1	188.1	224.9	258.4	289.4	346.1	397.6
	Containing thread	26.4	58.0	83.5	106.3	137.1	183.3	225.2	264.2	300.9	369.7	433.7

るには (5—34) 式を用いることが出来る。

$$C = \frac{\ddot{a}_{\max(1)}}{\ddot{a}_{\max(0)}} \quad (5-34)$$

C 被覆材適用時と丸鋼のみ時の最大加速度比
 $\ddot{a}_{\max(0)}$ 丸鋼のみ時の最大加速度
 $\ddot{a}_{\max(1)}$ 被覆材を用いた時の最大加速度

ゴム被覆	$C_{R1} = 0.434 h^{0.121}$ $C_{R2} = 0.365 h^{0.080}$ $C_{R3} = 0.283 h^{0.047}$ $C_{RS} = 0.272 h^{0.070}$	} (5—35)
ビニル被覆	$C_{v1-1} = 1.054 h^{-0.056}$ $C_{v1-2} = 1.106 h^{-0.085}$ $C_{v1-3} = 0.992 h^{-0.074}$ $C_{v1-s} = 0.757 h^{0.013}$	

(5—34) 式に従って (5—29), (5—30), (5—31) 式からそれぞれの被覆材の最大加速度比を求めると, (5—35), (5—36) 式が得られる。

この最大加速度比Cは同じ被覆材でも落下高さによって異なるので, 表5—11に落下高さ別の計算値を示した。この表からゴム被覆がビニル被覆より効果が大きいことが明らかである。

Table 5—11. Maximum acceleration ratios of use of cushioning materials to steel bar without them

Cushioning materials	Drop height, cm									
	1	5	10	15	20	25	30	40	50	
Rubber	1 mm	0.435	0.527	0.574	0.603	0.624	0.641	0.655	0.678	0.697
	2 mm	0.366	0.416	0.440	0.454	0.465	0.473	0.481	0.492	0.501
	3 mm	0.283	0.305	0.315	0.321	0.325	0.329	0.332	0.336	0.340
	Special form	0.272	0.304	0.319	0.329	0.335	0.341	0.345	0.352	0.358
Vinyl	1 mm		0.963	0.926	0.906	0.891	0.880	0.871	0.851	0.846
	2 mm		0.964	0.908	0.878	0.857	0.840	0.827	0.807	0.792
	3 mm	0.992	0.880	0.836	0.811	0.794	0.781	0.771	0.754	0.742
	Containing thread	0.756	0.773	0.779	0.783	0.786	0.788	0.790	0.793	0.795

ゴム被覆の場合はゴムが厚くなるに伴い加速度比Cが著しく大きな値を示し、1mm厚さの場合にCが0.697であるのに対して3mm厚さの場合ではCは0.340となりほぼ2倍の効果が現れている。同じ1mm厚さでも5cmの高さではCは0.527であるが、50cm高さになるとCが0.697となるように加速度比Cは落下位置が高い程小さな値をとる。従ってタマネギやパレイショの損傷防止に際しては落下位置の高い場合に特に注意を要する。ゴム3mm厚さと特殊形ゴムとでは緩衝効果に殆んど差が見られないので、加工が難しい特殊形を用いる必要はない。

ビニル被覆の場合は被覆材が厚くなると緩衝効果が高まる点はゴムと同様であるが、その効果程度は小さく50cm高さにおける1mm厚さと3mm厚さのCの値の差は0.102に過ぎない。又ビニルの場合には落下位置が高くなるにつれて緩衝効果が大きくなる。3mm厚さについてみると、1cm高さではCが0.992であり被覆効果は小さいが、落下高さが50cmに達するとCは0.742となり効果が現れてくる。これはビニルの物理的性質を示すものであり、ゴムに比較して硬度が大きく且つ圧縮性が少ないことに原因している。ビニルの中では糸入りビニルがゴムに近い傾向が見られるが、その程度は僅少であり、又C値はゴムより大きく、ビニル特質の範囲を出ない。糸入りビニルは3mmビニルと同程度の緩衝効果であり、強度等の面で特に必要とする場合以外は軟質ビニルの適用で間に合う。

2) 接触時間及び最大圧縮時間

衝撃体が完全弾性体である場合には最大圧縮時間に対して接触時間は対称になり、接触時間は最大圧縮時間の2倍になる。しかし塑性が含まれている場合には $t_m \times 2 < t$ となるのが一般である。最大圧縮点に対する非対称の偏りは(5-37)式で表される。

$$\rho = t/t_m \tag{5-37}$$

- ρ 非対称の偏り比
- t 接触時間
- t_m 最大圧縮時間

衝撃時の接触時間及び最大圧縮時間の実測値は図5-19~図5-26に示す通りであり、各落下高さ別に実験式を求めると、丸鋼のみの場合は次式で表される。

$$t_{(0)} = 0.476 \times 10^{-3} h^{0.127} \tag{5-38}$$

$$t_{(m,0)} = 0.263 \times 10^{-3} h^{0.271} \tag{5-39}$$

サフィックス 0 丸鋼のみを示す

ゴム被覆の場合については接触時間及び最大圧縮時間はそれぞれ(5-40)、(5-41)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} t_{(R,1)} &= 3.265 \times 10^{-3} h^{-0.121} \\ t_{(R,2)} &= 3.951 \times 10^{-3} h^{-0.146} \\ t_{(R,3)} &= 5.712 \times 10^{-3} h^{-0.191} \\ t_{(R,RS)} &= 5.162 \times 10^{-3} h^{-0.197} \end{aligned} \right\} \tag{5-40}$$

$$\left. \begin{aligned} t_{(m,R,1)} &= 1.299 \times 10^{-3} h^{-0.272} \\ t_{(m,R,2)} &= 1.651 \times 10^{-3} h^{-0.276} \\ t_{(m,R,3)} &= 2.666 \times 10^{-3} h^{-0.267} \\ t_{(m,R,RS)} &= 2.259 \times 10^{-3} h^{-0.260} \end{aligned} \right\} \tag{5-41}$$

サフィックス R1, R2, R3: ゴム厚さ1mm, 2mm, 3mm, RS: 特殊形

又ビニル被覆についても上式と同様に接触時間及び最大圧縮時間はそれぞれ(5-42)式、(5-43)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} t_{(v,1)} &= 0.641 \times 10^{-3} h^{-0.110} \\ t_{(v,2)} &= 0.764 \times 10^{-3} h^{-0.137} \\ t_{(v,3)} &= 1.168 \times 10^{-3} h^{-0.240} \\ t_{(v,RS)} &= 1.155 \times 10^{-3} h^{-0.228} \end{aligned} \right\} \tag{5-42}$$

$$\left. \begin{aligned} t_{(m(v),1)} &= 0.326 \times 10^{-3} h^{-0.120} \\ t_{(m(v),2)} &= 0.380 \times 10^{-3} h^{-0.154} \\ t_{(m(v),3)} &= 0.562 \times 10^{-3} h^{-0.224} \\ t_{(m(v),RS)} &= 0.547 \times 10^{-3} h^{-0.228} \end{aligned} \right\} \tag{5-43}$$

サフィックス v1, v1.2, v1.3: ビニル厚さ1mm, 2mm, 3mm, v1.s: 糸入りビニル

(5-37)式を用いてそれぞれの被覆材について偏り比を求めるとゴム被覆については(5-40),

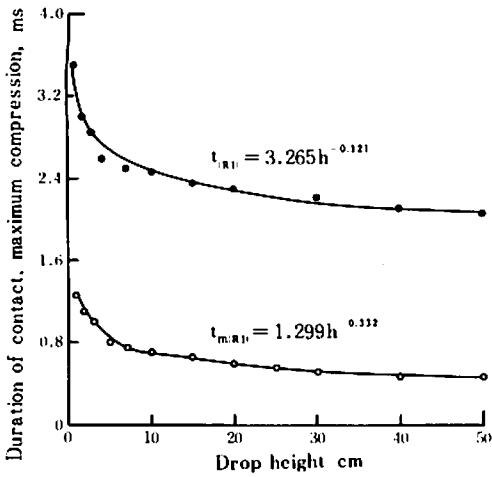


Fig 5-19. Duration of contact and maximum compression during impact when covered with rubber of 1 mm thickness

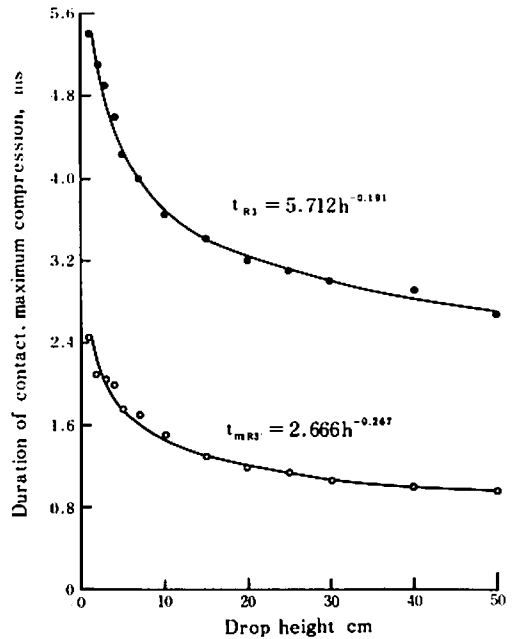


Fig 5-21. Duration of contact and maximum compression when covered with rubber of 3 mm thickness

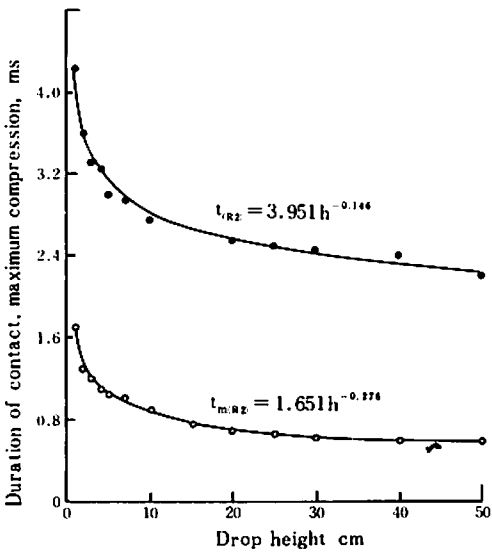


Fig 5-20. Duration of contact and maximum compression when covered with rubber of 2 mm thickness

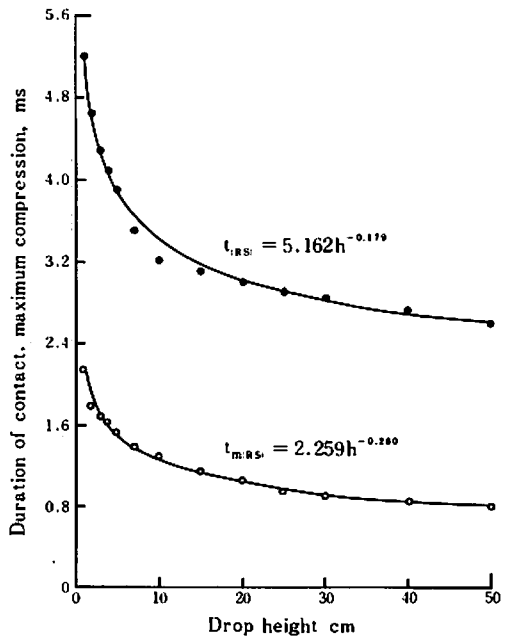


Fig 5-22. Duration of contact and maximum compression when covered with special formed rubber

(5-41) 式から (5-44) 式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \rho_{R1} &= 2.513 h^{0.151} \\ \rho_{R2} &= 2.393 h^{0.130} \\ \rho_{R3} &= 2.143 h^{0.076} \\ \rho_{RS} &= 2.285 h^{0.081} \end{aligned} \right\}$$

(5-44)

又ビニル被覆については上式と同様にして (5-42), (5-43) 式から (4-45) 式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \rho_{vl-1} &= 1.967 h^{-0.010} \\ \rho_{vl-2} &= 2.011 h^{0.017} \\ \rho_{vl-3} &= 2.078 h^{-0.016} \\ \rho_{vl-s} &= 2.113 h^{-6.000} \end{aligned} \right\} (4-45)$$

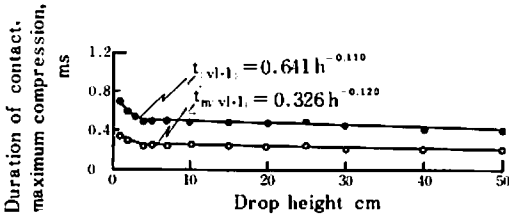


Fig 5-23. Duration of contact and maximum compression when covered with vinyl of 1 mm thickness

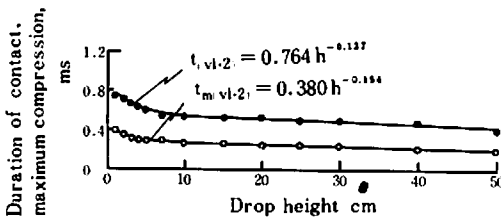


Fig 5-24. Duration of contact and maximum compression when covered with vinyl of 2 mm thickness

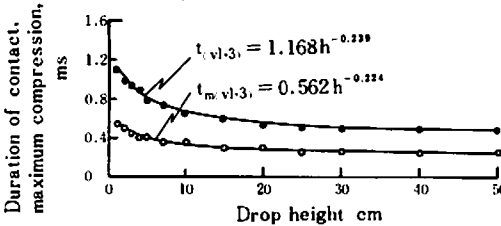


Fig 5-25. Duration of contact and maximum compression when covered with vinyl of 3 mm thickness

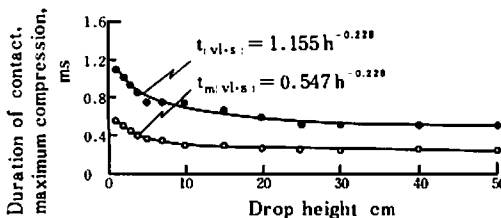


Fig 5-26. Duration of contact and maximum compression when covered with vinyl containing thread

(5-44), (5-45) 式から明らかなように ρ は落下高さの違いによって異なった値をとるので、50cmの高さ以下で偏り比 ρ の範囲をみると、ゴム被覆の場合では (5-44) 式から下記の如き値となる。

ゴム厚さ 1 mm の時	2.5~4.5
〃 2 mm	2.4~4.0
〃 3 mm	2.1~2.9
〃 特殊形	2.3~3.1

ビニル被覆の場合は (5-45) 式から偏り比の範囲は次のようになる。

ビニル厚さ 1 mm の時	2.0
〃 2 mm	2.0~2.2
〃 3 mm	2.0~2.1
〃 糸入り 3.5 mm	2.1

ビニルは変形が少ないために t が t_m に対してほぼ対称に現れているが、ゴムは変形が大きいため t が遅れており最大圧縮時間に対し復元時間がより多くかかることが示されている。従ってタマネギ及びパレイショの損傷発生の程度を推定する場合には接触時間を用いる方が損傷程度の違いが拡大されて捉え得るので便利であるが、被覆材の緩衝効果の根拠として用いるには最大圧縮時間が便利であると判断する。

最大圧縮時間は図5-19~図5-22に見るようにゴムがビニルより大きな値を示し、ゴムの変形深さが大きいことが明らかとなる。このように最大圧縮時間が大きい程最大加速度は緩和されることになる。このことはHERZの理論からも明らかであり、式(2-7), (2-8) から最大加速度と接触時間との関係は (5-46) 式で示される。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = -\left(\frac{5}{4}\right)^{3/5} \left(\frac{4}{3}\right)^{2/5} 2.865 \frac{V}{t} \quad (5-46)$$

(5-46) 式において V が一定であれば、 $\ddot{\alpha}_{\max}$ は t に反比例するので、接触時間が小さい程最大加速度は増大する。

ゴム被覆におけるゴム厚さの違いによる最大圧縮時間は落下高さにより異なるが、丸鋼との差は

(5-39), (5-41) 式から次の時間を示す。

ゴム厚さ 3 mm の場合	2.4~0.9 ms
" 2 mm	1.4~0.5 ms
" 1 mm	1.0~0.4 ms

即ちゴムが 3 mm と厚くなると、2 mm, 1 mm 厚さに比較して最大圧縮時間が長くなり、従って最大加速度が減少して緩衝効果が増大する。又ビニルの場合についても同様にして丸鋼との差は(5-39), (5-43) 式から次のようになる。

ビニル厚さ 3 mm の場合	0.4~0.2 ms
" 2 mm	0.2~0.1 ms
" 1 mm	0.1~0.01ms

ゴムの 3 mm 厚さ或は 2 mm 厚さの場合の丸鋼との差に比較すると、ビニルの場合は小さく、それだけ衝撃力の吸収が少ないことになり、最大加速度も大きな値を示すことになる。

3) 反撥高さ

振子先端に取付けた加速度変換器の衝撃前後の速度を V_1, V_1' とし、丸鋼の衝撃前後の速度を V_2, V_2' とすると、反撥係数 e は (5-47) 式である。

$$e = \frac{V_2' - V_1'}{V_1 - V_2} \quad (5-47)$$

振子の衝撃時における被覆材による運動エネルギーの吸収量を求めると、衝撃後の速度(5-48), (5-49) 式から (5-50) 式で表される。

$$V_1' = V_1 - (1+e)m_2 \frac{V_1 - V_2}{m_1 - m_2} \quad (5-48)$$

$$V_2' = V_2 + (1+e)m_2 \frac{V_1 - V_2}{m_1 + m_2} \quad (5-49)$$

$$E = \frac{1}{2} m_1 V_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2'^2 - \left(\frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 \right) \quad (5-50)$$

(5-50) 式に (5-48), (5-49) 式を代入すると、エネルギー吸収量は (5-51) 式で表される。

$$E = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (1 - e^2) (V_1 - V_2)^2 \quad (5-51)$$

本実験では丸鋼は固定されているので、 $m_2 = \infty, V_2 = 0$ とおくと E 及び e は (5-52), (5-53) 式になる。

$$E = \frac{1}{2} m_1 (1 - e^2) V_1^2 \quad (5-52)$$

$$e = \frac{-V_1'}{V_1} \quad (5-53)$$

m_1 は (5-11) 式から振子の有効質量として $1/l^2$ を用いると、(5-13) 式から衝撃後の速度 V_1' は (5-54) 式で表される。

$$V_1' = \left[\frac{2W l l_g h_r}{l} \right]^{1/2} \quad (5-54)$$

反撥高さ h_r は実測されているので、エネルギー吸収量 E は式 (5-52), (5-53), (5-54) から求められる。しかし実験の結果によると、図 5-27 ~ 図 5-35 に示すようにビニルよりゴムの方が反撥高さ h_r は大きいので、 V_1' については

$$V_{1'(\text{Rubber})} > V_{1'(\text{vinyl})}$$

であり、 e は次のようになる。

$$e_{\text{Rubber}} > e_{\text{vinyl}}$$

従って (5-52) 式から

$$E_{\text{Rubber}} < E_{\text{vinyl}}$$

となつてゴムの方がビニルより衝撃エネルギーの吸収が少ないことになる。しかし最大加速度及び最大圧縮時間の面からみると、ゴムがビニルよりエネルギー吸収が大きいことから矛盾が生ずる。即ちゴムのようなバネ定数を有する材料と塑性体であるビニルについての比較には (5-52) 式を適用することは出来ない。

反撥高さと落下高さの関係は一次式で表される。

丸鋼のみの場合の反撥高さは(5-55)式で示される。

$$h_{r(0)} = 0.184 h - 0.207 \quad (5-55)$$

ゴム被覆の場合の反撥高さは図5-28~図5-31に示す通りであり、これらの関係式は(5-56)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} h_{r(R1)} &= 0.179 h + 0.182 \\ h_{r(R2)} &= 0.208 h + 0.117 \\ h_{r(R3)} &= 0.239 h + 0.301 \\ h_{r(RS)} &= 0.225 h + 0.243 \end{aligned} \right\} (5-56)$$

ビニル被覆の場合の反撥高さの実測値は図5-32~図5-35に示す通りであり、それぞれの厚さの反撥高さは(5-57)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} h_{r(V1)} &= 0.157 h - 0.097 \\ h_{r(V2)} &= 0.151 h - 0.007 \\ h_{r(V3)} &= 0.148 h - 0.002 \\ h_{r(VS)} &= 0.150 h + 0.026 \end{aligned} \right\} (5-57)$$

反撥高さから被覆材の衝緩効果を明らかにするためにはゴムとビニルを区別して扱う必要がある。反撥高さから衝緩効果を知るためには(5-58)式を用いることが出来る。

$$C_n = \frac{h_{r(R \text{ or } V)}}{h_{r(0)}} \quad (5-58)$$

Ch 丸鋼に対する被覆材の反撥高さ比
 $h_{r(0)}$ 丸鋼のみの場合の反撥高さ
 $h_{r(R \text{ or } V)}$ ゴム又はビニル被覆時の反撥高さ

ゴムの場合は $C_n > 1$ であり、 C_n の値が大きい程衝緩効果は高い。又ビニルの場合には極く低い落下位置を除くと、 $C_n < 1$ となり、ゴムとは反対に C_n の値が小さい程衝緩効果は高いと判断される。式(5-55)~(5-57)から求めた C_n の値を表5-12に示した。ゴムの場合には落下高さが3cmの時に C_n 値は2.1~3.0であるが、落下位置が高くなるにつれて C_n は低下し、50cmの高さでは1.0~1.4となる。表5-12から明らかのように3mm厚さのゴムが最も高い値を示し、ゴムが薄くなるに伴い C_n は小さくなって衝緩効果が減少する。特殊形の場合は3mm厚さと類似した効果であると判断される。

ビニル被覆の場合については3mm厚さと3.5mm厚さの糸入りビニルが2mm及び1mm厚さのビニルに比較して C_n の値が若干低く現れているが、その差は僅少である。ビニルの場合でも落下位置が低くなると C_n は1に近づき、5cm高さ以下では圧縮変形が小さくなり反撥作用が増してくる。

Table 5-12. Rebound height ratio C_n of cushioning materials

Cushioning materials	Drop height cm							
	3	5	10	20	30	40	50	
Rubber	1 mm	2.12	1.52	1.21	1.08	1.04	1.03	1.02
	2 mm	2.18	1.63	1.34	1.23	1.19	1.18	1.17
	3 mm	3.00	2.11	1.66	1.47	1.41	1.38	1.37
	Special form	2.70	1.93	1.53	1.37	1.32	1.29	1.28
Vinyl	1 mm	1.09	0.97	0.90	0.88	0.87	0.86	0.86
	2 mm	1.32	1.06	0.92	0.87	0.85	0.84	0.84
	3 mm	1.29	1.04	0.91	0.85	0.83	0.82	0.82
	Containing thread	1.38	1.08	0.93	0.87	0.85	0.84	0.83

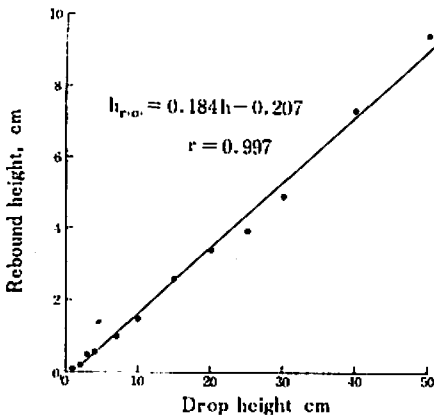


Fig 5—27. Rebound height after impact with round steel bar of 7 mm diameter

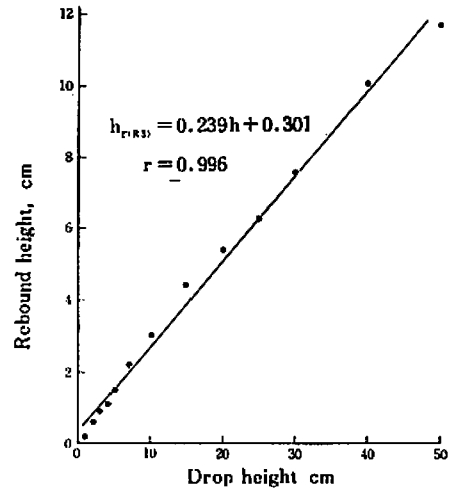


Fig 5—30. Rebound height when covered with rubber of 3 mm thickness

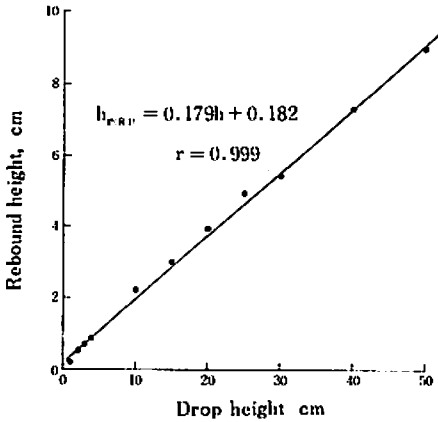


Fig 5—28. Rebound height when covered with rubber of 1 mm thickness

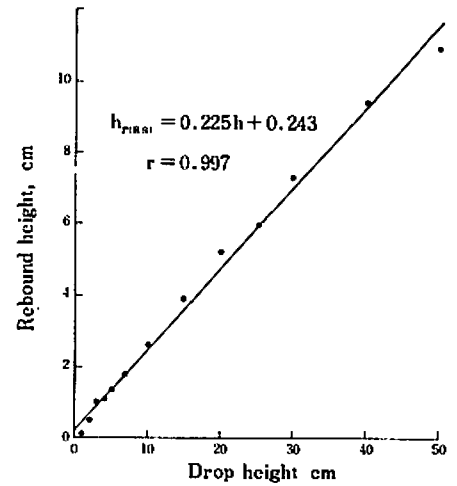


Fig 5—31. Rebound height when covered with specially formed rubber

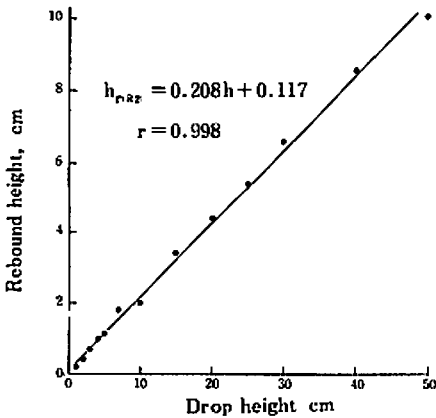


Fig 5—29. Rebound height when covered with rubber of 2 mm thickness

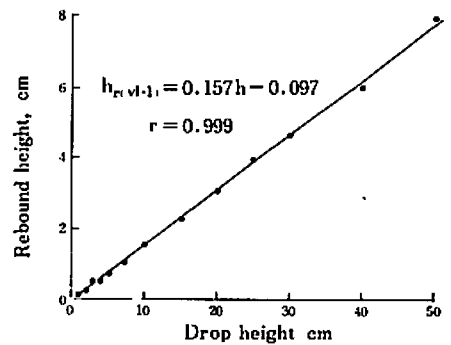


Fig 5—32. Rebound height when covered with vinyl of 1 mm thickness

3. 被覆材の種類とバレイショの損傷

丸鋼及び被覆丸鋼との衝撃による損傷の調査結果は図5—36～図5—44に示す通りである。丸鋼のみの場合及び被覆材を用いた場合共に落下位置が低いところでは落下高さに伴う損傷の発生深さの度合が急激に進み、更に落下位置が高くなり損傷発生が著しくなると次第に損傷の発生深さは横过いの傾向を有する。このようにバレイショの損傷には亀裂が伴うので、タマネギに比較して損傷深さの立上りが急になる。各衝撃体における損傷の発生深さと落下高さの関係式は被覆材の種類別

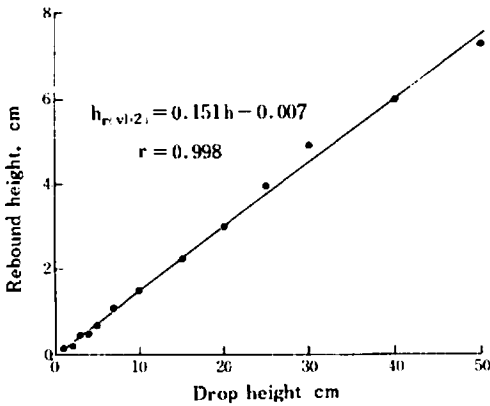


Fig 5—33. Rebound height when covered with vinyl of 2 mm thickness

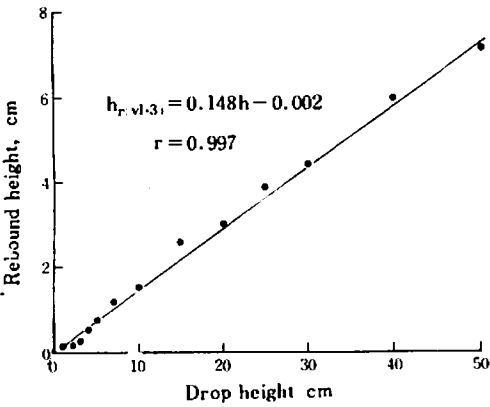


Fig 5—34. Rebound height when covered with vinyl of 3 mm thickness

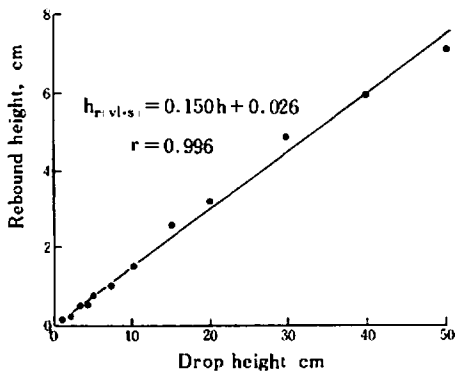


Fig 5—35. Rebound height when covered with vinyl containing thread

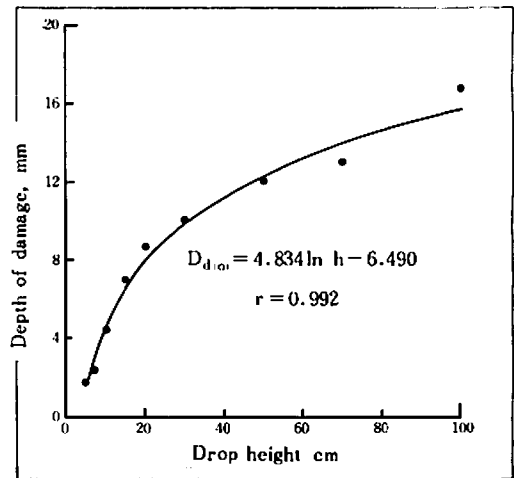


Fig 5—36. Damage depth in impact with round steel bar of 7 mm diameter

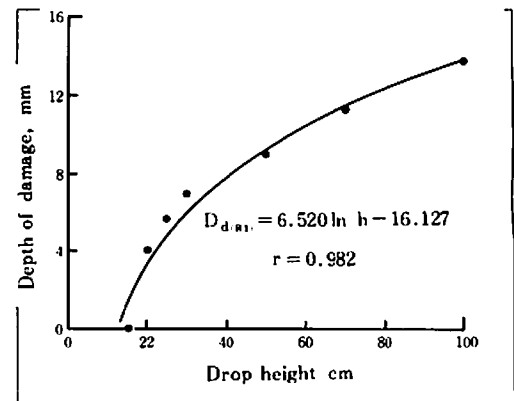


Fig 5—37. Damage depth when covered with rubber of 1 mm thickness

に次の如き式で表される。

丸鋼のみの場合

$$D_{d(0)} = 4.834 \ln h - 6.491 \quad (5-58)$$

ゴム被覆の場合

$$\left. \begin{aligned} D_{d(R1)} &= 6.520 \ln h - 16.127 \\ D_{d(R2)} &= 10.440 \ln h - 35.122 \\ D_{d(R3)} &= 14.067 \ln h - 54.044 \\ D_{d(RS)} &= 9.011 \ln h - 30.518 \end{aligned} \right\} (5-59)$$

ビニル被覆の場合

$$\left. \begin{aligned} D_{d(v1.1)} &= 5.529 \ln h - 11.156 \\ D_{d(v1.2)} &= 7.020 \ln h - 18.660 \\ D_{d(v1.3)} &= 8.090 \ln h - 25.107 \\ D_{d(v1.5)} &= 6.889 \ln h - 19.049 \end{aligned} \right\} (5-60)$$

但し D_d が負の時 $D_d = 0$ とする。

ゴム被覆、ビニル被覆のいずれの場合にも被覆材が厚くなる程損傷の発生深さは減少するが、前節で明らかにしたようにゴムはビニルに比較して圧縮変形に対して弾力性があるので、損傷の発生深さの緩和についてはゴムが効果的である。

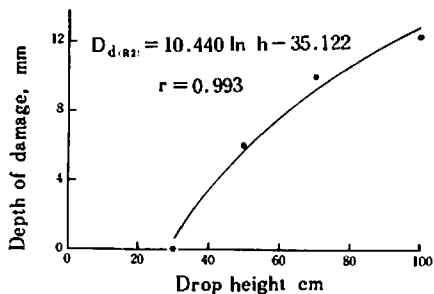


Fig 5-38. Damage depth when covered with rubber of 2 mm thickness

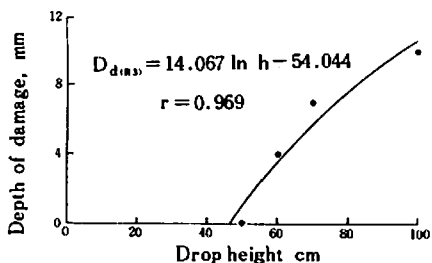


Fig 5-39. Damage depth when covered with rubber of 3 mm thickness

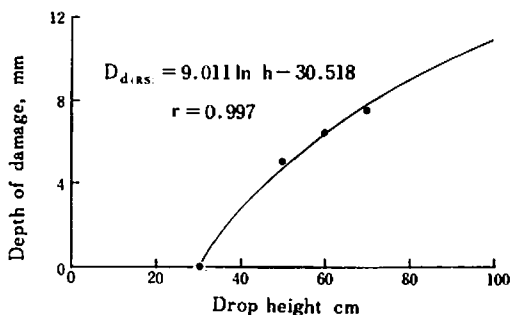


Fig 5-40. Damage depth when covered with rubber of specially formed rubber

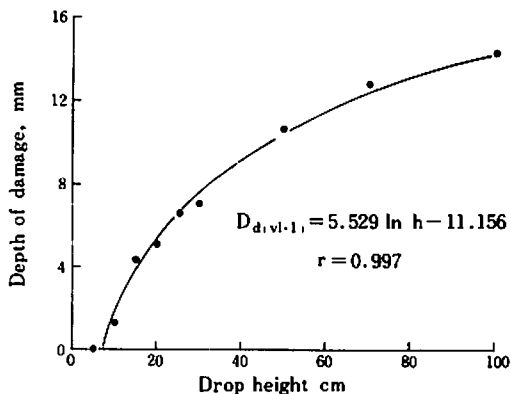


Fig 5-41. Damage depth when covered with vinyl of 1 mm thickness

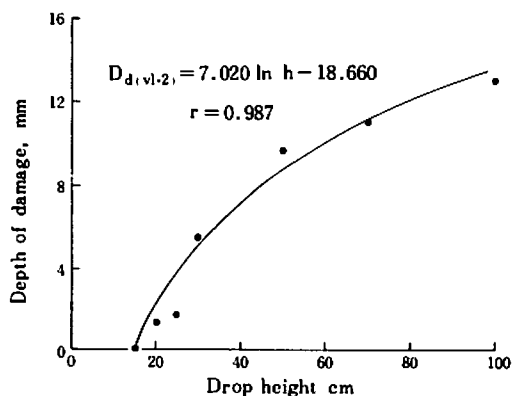


Fig 5-42. Damage depth when covered with vinyl of 2 mm thickness

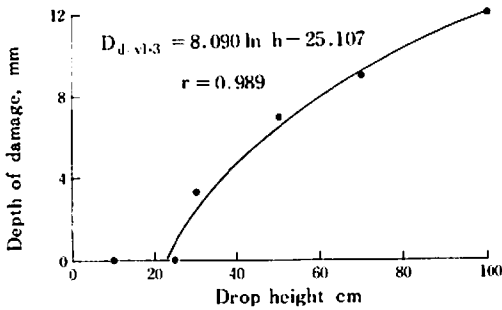


Fig 5—43. Damage depth when covered with vinyl of 3 mm thickness

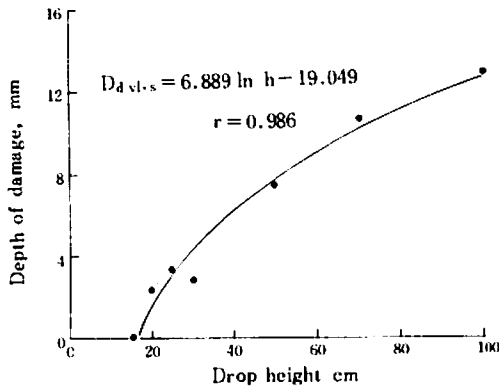


Fig 5—44. Damage depth when covered with vinyl containing thread

被覆材による損傷発生深さの減少度合はそれぞれの被覆丸鋼の損傷深さと丸鋼による損傷の発生深さの比をとることにより明らかにすることが出来、(5—61)式で表される。

$$\delta_d = D_{d(R \text{ or } vl)} / D_{d(O)} \quad (5-61)$$

δ_d 被覆時と丸鋼時との損傷深さ比

$D_{d(O)}$ 丸鋼時の損傷深さ

$D_{d(R \text{ or } vl)}$ ゴム又はビニル被覆時の損傷深さ

各被覆材の損傷発生深さ比 δ_d は(5—61)式により式(5—58), (5—59), (5—60)から求められ、 δ_d の値は一括して表5—13に示した。この表から明らかなように3mm厚さのゴムが落下高さが50cmの時に δ_d が0.08であり、他の被覆材の発生深さ比より小さく、更に100cm高さでも3mm厚さの δ_d が0.68と最も小さい値を示し、供試被覆材の中では損傷の防止効果が大い。特殊形ゴムは厚さ3mmと厚さ2mmの間にあるが、防止効果は3mmと類似している。

ビニル被覆の場合については厚さ1mmのビニルが10cmの高さ時で δ_d が0.35を示し、又100cmの高さでも0.91を示しており、緩衝効果は認められるが、その効果程度は高くない。ビニルの場合でも厚さが3mmになると、100cmの時に δ_d が0.77を示し、2mm厚さのゴムより緩衝効果は大

Table 5—13. Damage depth ratio of using cushioning materials to round steel bar of 7 mm diameter

Drop height cm	Covered with rubber				Covered with vinyl			
	1 mm	2 mm	3 mm	Special form	1 mm	2 mm	3 mm	Containing thread
5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0.35	0	0	0
15	0.23	0	0	0	0.58	0	0	0
20	0.43	0	0	0	0.68	0.30	0	0.20
25	0.54	0	0	0	0.73	0.43	0.10	0.34
30	0.60	0.04	0	0.01	0.76	0.52	0.24	0.44
50	0.76	0.46	0.08	0.38	0.85	0.71	0.52	0.64
70	0.83	0.66	0.41	0.56	0.88	0.80	0.66	0.73
100	0.88	0.82	0.68	0.70	0.91	0.87	0.77	0.80

きいが、50cmの高さ以下では弾性に欠けるため δ_d は低くなっている。又糸入りビニルについては3mm厚さのビニルと類似した結果となっている。

次に損傷の断面積と落下高さの関係をみると、図5-45~図5-53のようになり直線的な関係にある。各被覆材についての関係式は次の如くなる。

丸鋼のみの場合

$$D_{A(O)} = 2.987 h + 3.084 \quad (5-62)$$

ゴム被覆の場合

$$\left. \begin{aligned} D_{A(R1)} &= 2.981 h - 48.458 \\ D_{A(R2)} &= 2.445 h - 86.458 \\ D_{A(R3)} &= 1.784 h - 86.842 \\ D_{A(RS)} &= 1.398 h - 48.760 \end{aligned} \right\} (5-63)$$

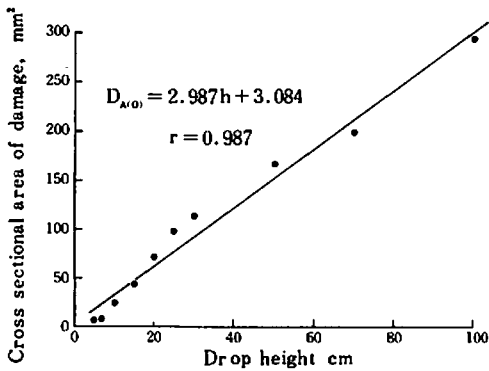


Fig 5-45. Cross sectional area of damage in impact with round steel bar of 7mm diameter

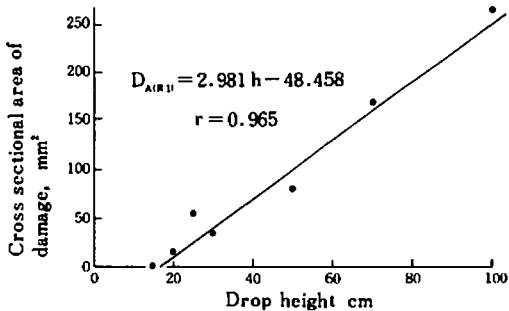


Fig 5-46. Cross sectional area of damage when covered with rubber of 1 mm thickness

ビニル被覆の場合

$$\left. \begin{aligned} D_{A(V1-1)} &= 3.045 h - 31.071 \\ D_{A(V1-2)} &= 2.356 h - 43.439 \\ D_{A(V1-3)} &= 1.916 h - 36.889 \\ D_{A(V1-S)} &= 2.362 h - 44.141 \end{aligned} \right\} (5-64)$$

但し、 $D_A < 0$ の時には $D_A = 0$ とする。

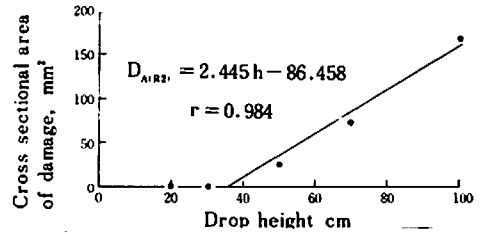


Fig 5-47. Cross sectional area of damage when covered with rubber of 2 mm thickness

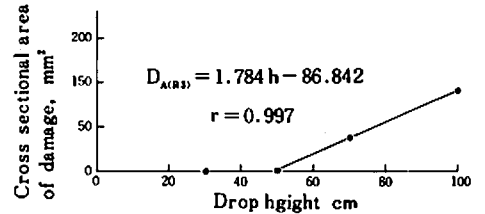


Fig 5-48. Cross sectional area of damage when covered with rubber of 3 mm thickness

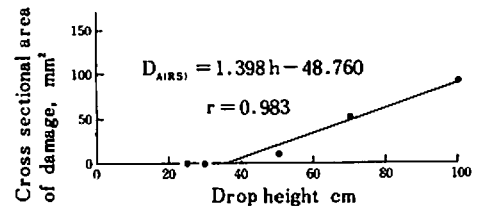


Fig 5-49. Cross sectional area of damage when covered with specially formed rubber

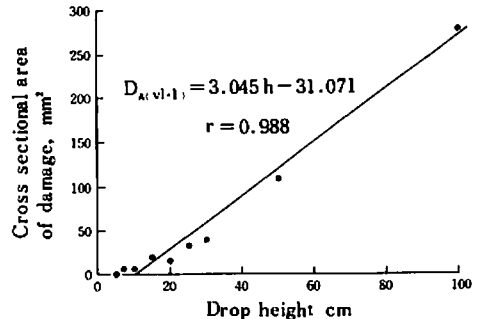


Fig 5-50. Cross sectional area of damage when covered with vinyl of 1 mm thickness

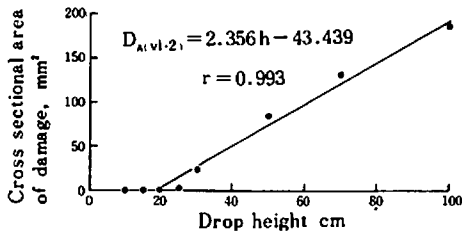


Fig 5-51. Cross sectional area of damage when covered with vinyl of 2 mm thickness

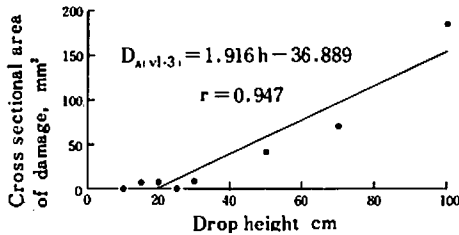


Fig 5-52. Cross sectional area of damage when covered with vinyl of 3 mm thickness

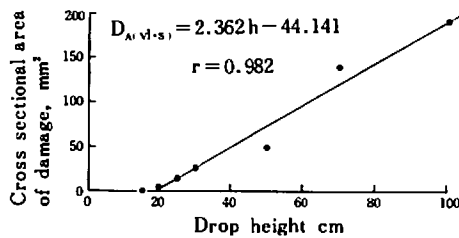


Fig 5-53. Cross sectional area of damage when covered with vinyl containing thread

損傷の断面積についても発生深さと同様な考え
方から損傷の断面積比は(5-65)式で示される。

$$\delta_A = D_{A(IR \text{ or } vl)} / D_{A(0)} \quad (5-65)$$

δ_A 被覆時と丸鋼のみの時の損傷断面積比

$D_{A(0)}$ 丸鋼時の損傷断面積

$D_{A(IR \text{ or } vl)}$ ゴム又はビニル被覆時の損傷断面積

(5-65)式を用いて(5-62), (5-63), (5-64)式からそれぞれの被覆材の損傷断面積比を求めると表5-14のようになる。被覆材の損傷発生防止効果は深さ比 δ_d で明らかにした場合と同様であるが、防止効果の表示度合に違いが見られ $\delta_A < \delta_d$ となっている。これは発生深さが大きい損傷は損傷の幅も大きいこと示すものであり、従って面積で表示すると効果の大きな被覆材と効果の小さい被覆材との差が拡大されて表されることになる。特に丸鋼は被覆をすることによって実質上丸鋼の直径が変わるので、損傷防止効果の評価を行う場合にはむしろ δ_d を用いる方が安全であると考ええる。

Table 5-14. Damage cross sectional area ratio of using cushioning materials to round steel dar without them

Drop height cm	Covered with rubber				Covered with vinyl			
	1 mm	2 mm	3 mm	Special form	1 mm	2 mm	3 mm	Containing thread
5								
7								
10								
15	0	0	0	0	0.30			
20	0.18	0	0	0	0.47	0.06	0.02	0.05
25	0.33	0	0	0	0.58	0.20	0.14	0.19
30	0.44	0	0	0	0.65	0.29	0.22	0.29
50	0.66	0.23	0.02	0.14	0.79	0.49	0.39	0.48
70	0.75	0.40	0.18	0.23	0.86	0.57	0.46	0.57
100	0.83	0.52	0.30	0.30	0.91	0.64	0.51	0.64

第4節 摘 要

振り式衝撃装置を用いて落下位置が高い場合の最大加速度を測定した。又同時に塊茎の損傷を調査し、最大加速度と損傷発生の関係を明らかにした。

塊茎と鉄板の衝撃の場合には圧砕損傷が伴わないので反撥作用が大きく、最大加速度は最も大きな値を示した。落下高さが100cmの時には裂傷を生じたが、圧砕と異なり衝撃力の吸収が少ないので最大加速度は638Gを示した。

丸鋼との衝撃の場合については丸鋼の直径が小さく、且つ落下位置が高い程塊茎に生ずる損傷は著しくなるので、反撥作用が弱まり最大加速度は低下する。7mm径及び10mm径の丸鋼との衝撃の場合では落下高さが51.5cmを越えると圧砕損傷が著しく現れるので、最大加速度は下降傾向を示した。しかし、丸鋼であっても30mm直径の場合には圧砕損傷が減少するので、最大加速度の下降現象は見られず鉄板の衝撃に近い傾向を示す。丸鋼に1mm厚さのビニルを被覆した場合には損傷が緩和され、7mm径丸鋼についても被覆によって最大加速度の下降傾向は見られない。

被覆材の緩衝効果については被覆材にゴム(厚さ1, 2, 3mm, 及び特殊形)とビニル(厚さ1, 2, 3mm及び糸入りビニル)を使用し、最大加速度、接触時間、最大圧縮時間及び反撥高さを測定することによって被覆材の緩衝効果を明らかにした。被覆材にゴム或はビニルを使用した場合の最大加速度による緩衝効果は被覆材を用いた時と丸鋼のみの時の最大加速度の比(C)で表される。ゴム被覆の場合にはゴムが厚くなるに従ってCの値は大きくなる。即ちゴムが1mm厚さの時Cの値は0.697であるのに対して3mm厚さの場合ではCは0.340となり、ほぼ2倍の衝撃力の吸収が認められる。又このCの値は同じ被覆厚さについては落下高さが高くなると小さくなり緩衝効果は減少するので、落下位置が高くなるに伴い被覆材の厚さを厚くすることが必要である。ビニル被覆については厚さの違いによる緩衝効果への影響は少ないが、これはビニルの圧縮性に乏しい物理性に原因している。接触時間の最大圧縮時間に対する非対称による

偏りから接触時間の最大圧縮時間との比(ρ)によって損傷の進行程度を推定することが出来る。ゴム被覆の場合には厚さが1mm, 2mm, 3mm, 特殊形の ρ の値は、落下高さが50cm以下ではそれぞれ2.5~4.5, 2.4~4.0, 2.1~2.9, 2.3~3.1であり、一方、ビニル被覆については厚さ1mm, 2mm, 3mm及び糸入りビニルの ρ はそれぞれ2.0, 2.0~2.2, 2.0~2.1, 2.1であり、ビニルは変形が少ないためにt点が t_m に対してほぼ対称に現れている。ゴムの場合は変形が大きいためt点が遅れて現れ、復元時間に多く要しており、それだけ緩衝効果が大きい。

被覆材と衝突後の振子の反撥高さから緩衝効果は被覆材を用いた時の反撥高さから丸鋼のみの時の反撥高さの比(C_n)で表される。ゴム被覆の場合にはバネ作用により $C_n > 1$ であり、ビニルの場合は塑性であるから極く低い落下位置を除くと $C_n < 1$ となる。ゴムの場合は厚さが増すと C_n の値は大きくなり、高さが3cmの時 C_n は3.00を示している。ビニルについてはゴムと逆に厚さが増すと C_n は減少し、3mm厚さが最も高い効果を示した。しかしゴムのように厚さの違いによる緩衝効果への影響は少ない。

被覆材を用いた時の塊茎損傷に対する効果は、被覆材を用いた時と丸鋼のみの時の損傷発生深さの比(δ_d)で表される。3mm厚さのゴムの δ_d は50cmの高さで0.08を示し、他の被覆材より小さい値をとり最も高い緩衝効果を示した。一方ビニル被覆の場合には1mm厚さの時、100cmの高さで δ_d は0.91を示し、その緩衝効果は少ない。しかし3mm厚さのビニルの δ_d は100cmの高さで0.77を示して2mm厚さのゴムに相当するが、50cmの高さ以下では圧縮性に欠けるため緩衝効果は減少する。

損傷の断面積を用いて発生深さの比と同様な考え方によって緩衝効果を知ることができる。損傷の断面積比(δ_a)は δ_d と比較すると $\delta_a < \delta_d$ であり、損傷の発生深さが大きい損傷はその発生幅も大きくなるので、断面積で表示すると被覆材の効果程度が拡大されて表されることになる。損傷防止効果の評価を行う際には安全をみて δ_d を用いるべきであると考えられる。