

落下衝撃によるばれいしょ損傷試験

島 田 実 幸^{**}

Damage on Potato Tuber caused by Impact

Miyuki SHIMADA

ばれいしょの中に加速度変換器を埋めて糸で吊り、振子の先端につけた衝撃部を衝突させて加速度を測定した。衝撃部には丸鋼（直径7, 10, 15, 20, 25, 30 mm）及び平鋼を用いた。衝撃時の芋に与える最大加速度は衝突面の形状によって異なる。最高値を示したのが、外傷による変形が小さい平板との衝突であり、1 m落下高さで600 Gを示した。丸鋼による衝撃は圧砕などの外傷が伴い、芋の変形により衝突エネルギーが吸収されるので、7 mm 丸鋼の場合で1 m高さの加速度は200 Gと平鋼の1/3にすぎない。丸鋼でも直径が30 mmになると、芋の圧砕破壊が弱まるので、加速度は500 Gと平鋼に近い値を示す。落下高さとの関係は落下高さが高くなるにつれて損傷程度が著しくなり、更に、丸鋼の直径が細くなる程、圧砕破壊が強く現われる。又、芋が大きい程損傷が生じやすい。打撲傷についても同様な傾向があるが、発生高さが低くなり、7 mm 丸鋼ではL芋で7 cmの高さで打撲になる。一方、丸鋼をゴムで被覆した場合には圧砕、打撲損傷共に許容落下高さが高くなり、それだけ損傷が生じ難いことを示した。特に、打撲については衝撃に対する緩衝作用が大きく、丸鋼の直径の違いによる差がほとんどなく、40 cm 高さで発生した。損傷の深さは丸鋼が細く、かつ、芋が大きい程深く入るが、ゴムを被覆することによって深さが緩和され被覆による防止効果が明らかに認められた。

I 緒 言

現在導入されている食用ばれいしょ収穫機は輸入、国産機種共に種類も多いが、収穫の際の損傷がかなり生じ、改善目標となっている。これが更に1月以降出荷される貯蔵ばれいしょの損失に影響し問題となっている。

損傷発生要因は主として芋と機械との衝突、芋と芋との衝突で生じるが、収穫後のばら貯蔵段階でのハンドリング時の芋相互の衝突も加わることが知られている。

特に、早出しのための早期収穫では損傷の発生が著しく、中でも皮むけが多く、ハーベスタの使

用が困難であり、この解決が重要な課題となっている。皮むけについては、PHILLIPSON⁹⁾が収穫後の日数毎に皮むけ、損傷の難易度を検討し、又、皮むけの機構についてはHAMMERLE⁶⁾が行っているが、ここでは衝撃による外傷、打撲損傷について試験を行った。

野菜、果物の衝撃試験は種々の形で行われており、HAMMERLE⁵⁾ら⁴⁾、FLUCK⁴⁾はスライダ方式をとり、野菜等を下に置き、スライダを落下させて衝突させたが、この方法では衝突時に野菜の逃げがなく、衝撃力をほとんど野菜が吸収することになるので、実際のハーベスタ収穫時の芋の挙動とは大きく異なってくる。ハーベスタ内での芋の挙動は、むしろフリーであると考えられるので、PARKE⁸⁾が行った振り子方式をとり、芋を糸で吊し衝突後の動きをフリーにした。同じ衝撃振

1976年7月10日受理

• 1976年4月 農業機械学会講演

** 北海道立中央農業試験場、夕張郡長沼町

子方式でも FINNEY³⁾ のように野菜をホルダに固定するとスライダ方式と類似になる。

又、中馬²⁾、RIDER¹⁰⁾ のように落下高さが低く、かつ平板衝突の場合には、芋に埋めた加速度変換器はほぼ所定の位置に衝突するが、本試験のように、丸鋼を用い、かつ、落下位置が高い場合には自由落下による加速度測定は極めて困難である。したがって、ここでは振り衝撃装置を用いて最大加速度を測定するとともに、自由落下による損傷の発生を検討した。

II 試験方法

1. 材 料

品種は男爵いもで秋収穫芋を供した。芋の大き

Table. 1 Weight and hardness of potato tuber.

Tuber size	Weight (g)	Hardness(kg)
L	175.9+32.7	2.69+0.11
M	85.0+13.0	2.69+0.12
S	58.2+ 7.1	2.72+0.11

Note: Hardness was measured with the cone type of Universal Hardness Meter (SATO Mfr. Co.)

さは L, M, S の3段階とし、それぞれの重量と硬度を表1に示した。

2. 試験装置

(1) 衝撃加速度測定

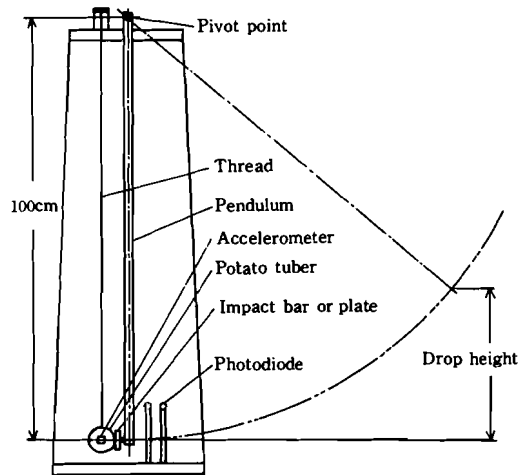


Fig. 1 Pendulum impact apparatus

振子の腕の長さを1mとし、振子の先端に衝撃部を取り付け、高さを変えて振子を放し、糸で吊った芋に衝突させてその時の最大加速度を記録した(図1)。衝撃部には丸鋼と平鋼を用い、丸鋼の直径は7, 10, 15, 20, 25, 30mmとし、平鋼の厚さは3mmとした。加速度変換器を芋の中に埋め、振子の通過線上に糸で吊り静止させた後に衝撃を与えた。衝突時の最大加速度は、データレコーダに152 cm/s のテープ速度で記録し、1/20に減速して電磁オシログラフに再生記録した(表2)。衝突直前の振子の速度測定にはフォトダイオード

Table. 2 Specification of measuring apparatus

Accerometer	Mobel: AS-1000A Capacity: 1000G/1528 Frequency range: 0-4500Hz
Detarecorder	Model: TEAC R-400 Frequency range: Recording tape speed 152 cm/s DC-20 KHz Reproducing tape speed 7,6 cm/s DC-1000Hz
Strainmeter	Mobel: DPM-200B Frequency range: DC-2000Hz
Oscillograph	Model: Rapet RMS-11 Galvanometer: MS-400 Frequency range: 0-300Hz Paper speed: 10 cm/s

を用い、デジタルカウンタで時間間隔をホールドした。

(2) 自由落下損傷試験

芋を糸で吊り、芋が静止した時点で、糸を火で切り離し、下方に固定した衝突部に衝突させた(図2)。糸の固定は小木ネジを芋にさし、附加重量を

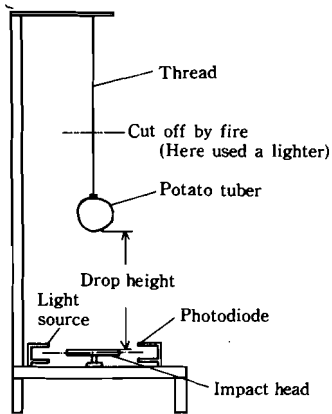


Fig. 2 Free fall impact apparatus
When the fall velocity is measured
impact bars or plate are removed

最小限におさえた。又、火による糸切断は芋に動きを与えないので、適確な地点に落下ができた。

3. 実験方法

最大衝撃加速度試験は落下高さ、衝撃部の形状、衝撃部のビニール被覆について行い、芋の自由落下による損傷試験は落下高さ、衝撃部形状、ゴム被覆並びに芋相互間の衝突について実施した(表3)。被覆物については BITTNER ら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たが、ここではビニールとゴムを供した。

4. 損傷の表示

衝撃による損傷は、NELSON ら⁷⁾は体積で表現したが、衝撃部が丸鋼の場合には損傷の生じ方が複雑であり、体積表示では却って困難である。ここでは損傷を種類別に次の3種に大別した。

- 1) 圧碎損傷 損傷の中でも最も重い傷で、芋の衝撃個所が完全に破壊されて凹状に圧碎されたもの。
- 2) 亀裂損傷 この亀裂は平鋼あるいは丸鋼でも直径の大きなものと衝突した時に多く生じ、芋表面に変形を与えず1条以上の亀裂ができる。
- 3) 打撲損傷 衝撃時には観察できないが、貯蔵

Table. 3 Test factor

Factor	Specification
Potato tuber size	L, M, S
Drop height	100, 90, 80, 70, 50, 30, 25, 20, 15, 10, 7, 5 cm
Impact materials and kind of impact surface	(a) Steel bars and plate: Bar dia. 7, 10, 15, 20, 25, 30mm plate thickness 3mm (b) Steel bars and plate covered with rubber of 2 mm thickness kind of impact surface is equal to(a) (c) potato tuber size L, M, S

後断面に変色が認められるもの。

III 試験結果及び考察

1. 衝突時最大加速度

衝突時の最大加速度は落下高さを高くし、衝突時速度が速くなると増加するが、衝突部の形状によって加速度の現われ方に差が生じた(図3)。すなわち、落下高さ1mの最大加速度は、芋に圧碎

等の変形を与えない平鋼との衝突で反撥作用が強く現われて600 Gを示した。丸鋼については直径が小さい程芋に圧碎損傷を与えて変形が大きいので、衝突エネルギーが変形分だけ吸収されて反撥作用が弱められ、7mm丸鋼では200 G程度に止まった。この傾向は20mm以下の丸鋼にみられ、衝突速度が340 m/s以上になると、最大加速度は横ばいを示す。しかし、30mmφになると、曲率が

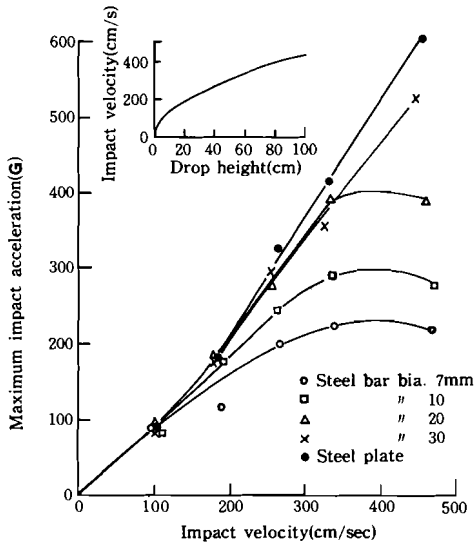


Fig. 3 Relation between maximum impact acceleration and impact velocity with pendulum apparatus

弱まり圧砕作用が減少するので、1 m 落下時で 530 G とほぼ平鋼に近い値を示した。

このような圧砕が伴った時の最大加速度の変化をみたのが図 4 である。(a)は平鋼との衝突時で、ピークが鮮明に 1 つだけ現われ、衝突が行われている時間（以下衝突時間という）が 3 msec と短

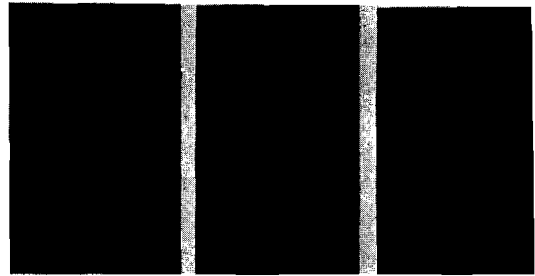


Fig. 4 Impact acceleration curve
Drop height 17cm
Impact head: plane Bar dia. 10mm Bar dia. 7mm
Time axis scale: 5msec, Acceleration axis scale: 23G

Fig. 4 Impact acceleration curve

い。一方、(b), (c)のように丸鋼でかつ直径が小さくなると、圧砕が著しいので、ピークが 2 つ以上現われると同時に最大値が低くなり、丸鋼によって圧砕作用が進行していることを示している。したがって衝突時間も 4 msec と長かかった。最大加速度に達する時間は、平鋼では 0.8~1.5 msec であるが、丸鋼の場合には径が細くなると、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 2~3 msec かかる。つまり、ばれいしょの最大圧縮に達するまでに芋の破壊が進んだことを示している。

損傷の発生は丸鋼の径が小さい程、又、落下高さが高い程大きく現われる（表 4）。落下高さ 7cm では衝突部の形状にかかわらず損傷は発生しない。

Table. 4 Damage of potato with pendulum impact apparatus

Drop height (cm)	With or without vinyl on the impact head	Impact head				Plate
		Steel bar dia. (mm)				
		7	10	20	30	
7	Without	0	0	0	0	0
	With	0	-	0	-	0
17	Without	***	*	0	0	0
	With	***	-	0	-	0
33	Without	***	***	*	*	0
	With	***	-	*	-	0
52	Without	***	***	-	*	*
	With	***	-	**	-	0
100	Without	***	***	***	***	**
	With	***	-	***	-	**

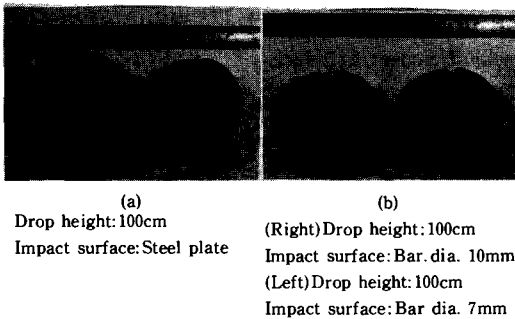
Note: 1) Tuber size M(Average weight 83g)
2) Damage
 *** Crushed
 ** Cracked
 * Bruised

しかし、17 cm になると、20 mm φ 以上では損傷はないが、10 mm φ で打撲が生じ、7 mm φ では圧砕損傷ができた。落下高さ33 cm では平鋼を除いて丸鋼のすべてに損傷が生じ、特に、10 mm φ、7 mm φ では圧砕重傷であった。高さ52 cm 以上になると、平鋼のビニール被覆を除いてすべてに傷が出た。100 cm の高さでは平鋼で亀裂を生じ、丸鋼は直径の大小にかかわらず圧砕重傷が生じた。緩衝方法として厚さ1 mm のビニールを被覆したが、平鋼を除いては効果が現われにくかった。

以上の結果から、衝突時最大加速度の面から損傷の安全限界を推定すると、7 mm φ、10 mm φ では100 G、20 mm φ、30 mm φ では200 G、平鋼では300 Gであり、これ以上の加速度を与えるような衝撃では何らかの損傷を受けることになる。

2. 芋の自由落下による損傷

衝突面の形状、落下高さによって損傷の程度が異なってくる。図5にその1例を示した。落下高さ100 cm の場合には丸鋼との衝突で圧砕が生じ、図5(b)のように、7 mm φ より10 mm φ の方が傷幅が広い。損傷は衝撃点圧砕部を中心に内部に放射状に亀裂が入り、同時に芋表面には丸鋼による帯状に圧砕部から亀裂が延長して走る。衝突力が大きい程、圧砕部の深さが増し、又、亀裂が深く



(a) Drop height: 100cm
Impact surface: Steel plate

(b) (Right) Drop height: 100cm
Impact surface: Bar. dia. 10mm
(Left) Drop height: 100cm
Impact surface: Bar dia. 7mm

Fig. 5 Damage of potatoes by impact

入る。しかし、逆に平鋼との衝突では、図5(a)にみるように、表面が切れずに、内部の組織が破壊され、丸鋼に比較するとその程度は小さい。

圧砕、亀裂損傷は丸鋼の径が大きくなるにつれて発生する落下高さが高くなる。又、芋が大きい程低い高さで損傷が生じる(図6)。7 mm φ についてみると、M、S が25 cm高さと圧砕が生じるが、L では20 cm高さと生じる。特にSのように小さ

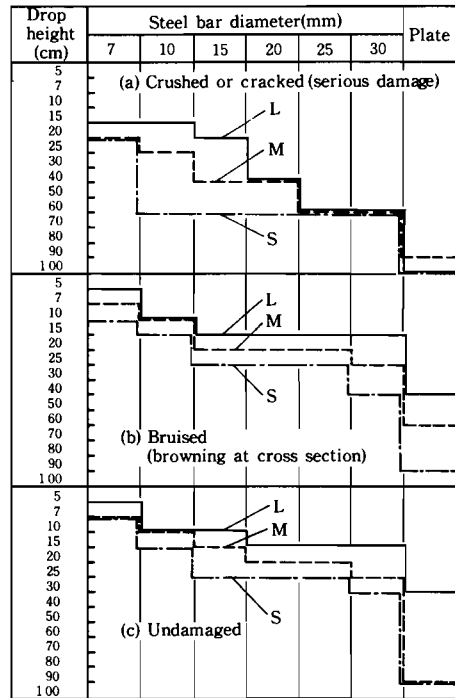


Fig. 6 Influence of impact surface and tuber size on damage when potato dropped from various height

な芋では10mm φ より太い丸鋼ではほとんど差がなく、70 cm 高さから生じた。しかし、丸鋼が25 mm φ、30 mm φ と太くなると、芋の大きさによる差がでにくく、70 cm 高さで発生する。平鋼の場合には芋の大きさにかかわらず圧砕は発生せず、一部の芋に亀裂が発生した。

打撲損傷については圧砕損傷と類似した傾向をもつが、発生する落下高さが低くなる。L では7 mm φ で7 cm の高さで生じ、平鋼でも50 cm で生じる。このように打撲は発生位置が低いだけにその防止対策はより困難である。逆に、損傷が発生しない安全な落下位置を示したのが図6の下である。図の上、中と異なり、線より上が安全な落下位置を示す。L についてみると、7 mm 丸鋼では5 cm 以下で安全であり、10 mm φ、15 mm φ では10 cm 高さ、又、20 mm φ ~ 30 mm φ の太い丸鋼では15 cm 以下で安全、平鋼では30 cm 以下で安全である。したがって、この線より高い位置になると打撲などの損傷の危険がある。芋が小さくなると安全位置が高くなり、平鋼衝突ではMで50 cm、Sで90 cm 以下で安全である。

以上の結果から、ハーベスタによる損傷を軽減するには土砂分離コンベヤロッド径を7~15mmと仮定すると、落下安全高さを、7mmφで5cm、10mmφロッドで10cmにしなければならない。実際には土砂の混入で緩衝作用があるが、大小の芋が混在しているので、厳しくみると、5~10cmの落下位置に限定する必要がある。

2mm厚のゴムを丸鋼に被覆した効果をMについて裸丸鋼と対比したのが図7である。被覆効果は丸鋼直径により若干異なるが、圧砕亀裂について

打撲については7mm丸鋼で特に大きな効果があり、発生高さが10cmから40cmに30cmの緩和がみられた。10mmφで25cm、15mmφ以上の丸鋼と平鋼では15~20cmの緩和があった。

以上のように、2mm厚ゴム被覆の効果は明らかであり、更に落下位置の安全限界を図7の下に示した。被覆により7~25mmφで差がなく、落下高さ30cm以下であれば損傷は発生しない。30mmφでは40cmまで許容され、平鋼では80cmまで安全である。

3. 芋相互衝突による損傷

土砂分離コンベヤ、コンテナ詰め等の工程で芋と芋との衝突が生じ、損傷を生じる場合がある。ここでは芋に芋を落下させて衝突させ損傷の発生を検討した。表5に示すように、落下芋が大きいと損傷が多く、損傷の種類も打撲と亀裂がほとんどあり、丸鋼との衝突と比較すると、傷の程度は著しく軽い。L(上)-L(下)、L(上)-M(下)、L(上)-S(下)の組合せのように、落下芋がLの場合に下の芋が損傷を受けた。すなわち、下の芋がLかMの時100cm高きで打撲又は亀裂を生じる。しかし、下の芋がSで小さい場合には落下芋は打撲に止まるが、下に置いたS芋は著しい亀裂を生じた。逆に、Sのような軽い芋が落下芋になる時は、100cmの高きでもほとんど損傷は発生しなかった。

実際の機械収穫では大小芋の混在が普通であり、大きい芋が小さい芋に落下衝突する確率は少ないので、できる限り、落差を小さくし、30cm以下にとどめる必要がある。この試験では平鋼の上に芋を置いたので、損傷の出方が強く現われており、実際の場合には芋の堆積上に置いた芋に衝突するため損傷の発生状況はかなり弱まるものと判断する。

傷の深さは図8に示すように、落下位置が高く

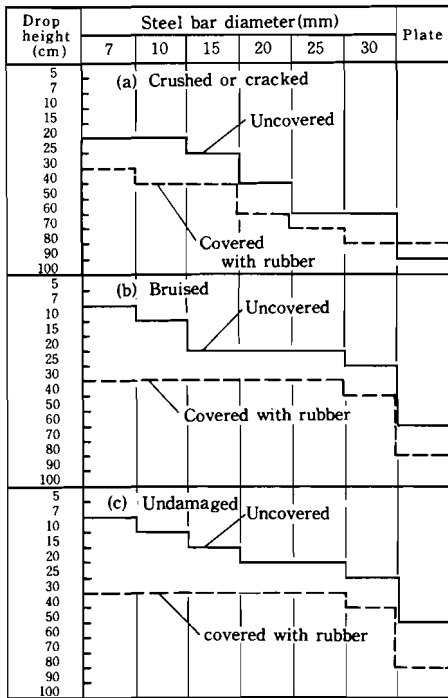


Fig. 7 Effect preventing potato from damage when covered with rubber

は10~20cm落下位置が高まった。7mmφ丸鋼では裸で25cmの時圧砕が生じたが、ゴム被覆によって40cmまで発生が緩和された。

Table. 5 Damag by mutual impact among potatoes

Drop height (cm)	potato tuber size											
	L (Upper)	L (Under)	M (Upper)	M (Under)	S (Upper)	S (Under)	L (Upper)	S (Under)	L (Upper)	M (Under)	S (Upper)	L (Under)
30	—	—	—	—	—	—	Bruised	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—	Cracked	—	—	—	—
70	Bruised	—	—	—	Bruised	—	Bruised	Cracked	—	—	—	—
100	Bruised	Cracked	—	—	—	—	Bruised	Cracked	Bruised	—	—	—

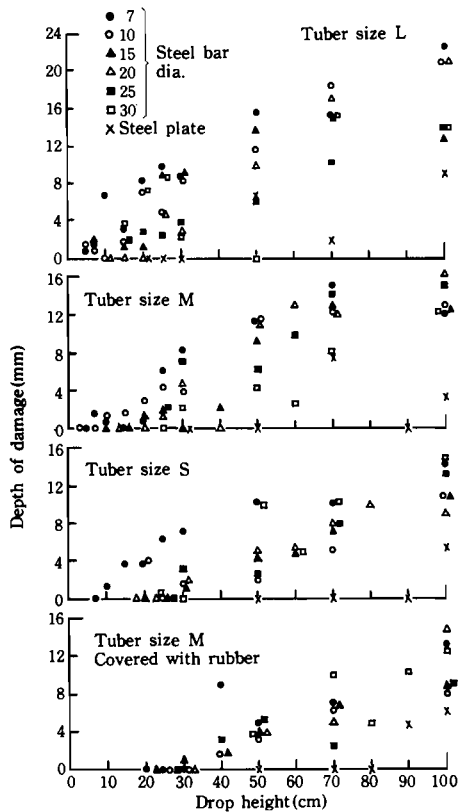


Fig. 8 Influence of impact surface, tuber size and drop height on depth damaged

なるにつれて深く入り、かつ、丸鋼が細い程この傾向が強い。更に、芋が大きくなると損傷が生じやすく、傷も深い。M以下では傷深さが16mm以内に止まったが、Lでは24mmに達した。芋の大きさ別ではSが傷深さが最も少なかった。2mm厚ゴムを被覆した場合にはMについてみると、100cm高さ時の最大深さは類似しているが、落下位置50cm似下の低い高さで効果が著しく、30cm以下では損傷が生じなかった。

IV 結 論

本試験は秋収穫の貯蔵芋を対象としたが、早堀り芋の収穫機改良を目的とした場合には更に厳しい条件が要求される。ハーベスタ収穫作業においては堀取りからコンテナ詰めに至る工程での芋の挙動は複雑であるが、衝突時の芋速度と衝突時の最大加速度との関係と、それに伴う損傷発生程度を知ることにより損傷防止対策の糸口を見出さ

とした。丸鋼7~10mmφでは衝突速度100cm/s、加速度100G、20~30mmφでは180cm/s、200G、平鋼では250cm/sで300Gが損傷発生限界の目安になり、この限界を越える衝突個所には被覆などの対策が必要である。

これを落下高さについてみると、平鋼で30cm以下であり、7mmφ丸鋼では5cmという低さであり、したがって、土砂分離機構にドラム方式などを採用したハーベスタでは芋がバケットから離れた時に落差が大きくなり勝ちなので十分な吟味が必要である。ただし、ゴム被覆による損傷防止効果が極めて大きいことから、芋が衝突しそうな個所にはすべてゴム等による完全被覆が必要であり、細い丸鋼には2mm程度の厚さの被覆が望ましい。

引用文献

- 1) Bittner, D. R. et al. "A method of evaluating cushioning materials used in mechanical harvesting and handling of fruits and vegetables". *Trans. A. S. A. E.* 10, 771-714(1967).
- 2) 中馬豊等. "りんごの衝撃加速度の測定と解析". *農機誌*, 32, 47-52(1970).
- 3) Finney, E. E., Massie, D. R. "Instrumentation for testing the response of fruits to mechanical impact". *Trans. A. S. A. E.* 18, 1184-1187, 1192(1975).
- 4) Fluck, R. C., Ahmed, E. M. "Impact testing of fruits and vegetables", *Trans. A. S. A. E.* 16, 660-666(1973).
- 5) Hammerle, J. R., Mohsenin, N. N. "Some dynamic aspects of fruit impacting hard and soft materials". *Trans. A. S. A. E.* 9, 484-488 (1966).
- 6) Hammerle, J. R. "A technique for evaluating fruit and vegetable abrasion resistance." *Trans. A. S. A. E.* 13, 672-675(1970).
- 7) Nelson, C. W., Mohsenin, N. N. "Maximum allowable static and dynamic loads and effect of temperature for mechanical injury in apples". *J. agric. Eng. Res.* 13, 305-317(1968).
- 8) Parke, D. "The resistance of potatoes to mechanical damage caused by impact loading". *J. agric. Eng. Res.* 8, 173-177(1963).
- 9) Phillipson, A., Lawrence, D. C. "Comparison of potato damage assessments made at different time interval after harvesting". *J. agric. Eng.*

- Res. 8.31-34(1963)
- 10) Rider, R.C. et al. "Elastic behavior of a pseudo-fruit for determining bruise damage to fruit during mechanized handling". Trans. A. S. A. E. **16**, 241-244(1973).

Damage on Potato Tuber caused by Impact

Miyuki SHIMADA*

Summary

This investigation was conducted to find a relation between damage on a potato tuber caused by its collision with impact heads and drop height, as well as a relation between such damage and the shape of the head, namely, the interacting surface of the steel bars and the plate.

The maximum impact acceleration of a tuber brought into collision with a impact head by means of a pendulum impact apparatus was measured. It varied with the shape of the head. Its value showed 600 G when a tuber was hit by a steel plate. The heads used were steel bars with a diameter of 7, 10, 15, 20, 25, and 30 mm and a steel plate with a thickness of 3 mm. With the steel bar 7 mm in diameter, which hit a tuber with the resulting impact energy absorbed, the acceleration was 200 G for the height of 100 cm at which the bar was dropped. When the diameter of a steel bar was more than 30 mm, the acceleration approached that of the steel plate, and showed 500 G.

Following experiments were made by dropping a tuber on a steel bar: As regards a relation between damage in a crushed form and a height of release, the higher was the height and the smaller was the diameter of a head, the heavier was the resulting damage. Moreover, larger tubers were more susceptible to such damage than smaller tubers.

As to damage in the form of a bruise, it showed the same tendency as the damage in a crushed form. With a steel bar 7 mm in diameter, the height at which a tuber was released became lower for the occurrence of such damage; for instance, in case of a L-sized tuber it was bruised when it was dropped at the height of 7 cm.

In the meantime, in case of a steel bar covered with a 2 mm thick rubber, it became difficult to cause damage on a tuber both in crushed and bruised forms. Especially, the bruised damage decreased extremely by covering a steel bar with a rubber, and a difference among the diameters of steel bars became smaller concerning the damage.

As to the depth of a bruise on a tuber, it became deeper as the diameter of a bar became smaller and the size of a tuber larger. In this case, the depth of a bruise decreased by covering a bar with a rubber, whereby the effect of preventing damage was clearly recognized.

* Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan.