

緒 論 収穫の現況並びに研究目的

収穫の現況

パレイショは北海道の基幹作物として安定した作付面積を維持しており、45年～52年の8年間の作付面積は68,700～74,900haの範囲内で変動するのに止まり、又生産量においても2200,000トン前後で推移している。

一方タマネギはパレイショを除いては未成熟トウモロコシに次いで大きな作付面積を有しており、45～52年の8年間の推移を見ると、稲作転換政策の影響もあって、作付面積は年々増加の傾向をたどり、昭和52年は45年の2倍強の面積増加となっている。作付面積の増加に伴い、生産量は増大し、45年の178,800トンに対して、52年においては374,300トンと面積同様に約2倍の増加となっている。

かかる状況の中でパレイショ収穫機は、15年程前から国産機の製作が始められたが、食用収穫の実用機として普及されるようになったのは数年前のことである。最近では国産収穫機の性能も向上し、ここ1～2年における収穫機に関する性能試験においても5社より10台程の依頼があり、その性能についても輸入収穫機を上回るものが出ている。

しかし国産、輸入収穫機に拘らず収穫機を利用した場合、貯蔵中に塊茎の変質或は腐敗を誘発し、これが収穫機の改善目標の一つになっている。特に1月以降に出荷する貯蔵パレイショは損失量が増加し、収穫後のハンドリング方法も含めてパレイショの取扱いが問題となっている。

一方タマネギも2～3年前から収穫機の普及が高まり、従来のデガタイプに代わるものとして期待されるに至っているが、パレイショと同様に貯蔵中における品質劣化の問題をかかえている。

以上の如く北海道のパレイショ、タマネギは貯蔵出荷が前提で特産化されているものであり、機械化に伴う損傷発生の解消は今日の大きな検討課

題である。損傷の発生要因には収穫時の掘取、土砂分離及び選別工程等の機械的衝撃の外に収穫物のハンドリング、運搬或は選別貯蔵施設に至る複雑な工程における多様な衝撃があげられる。更にキュアリング或は貯蔵方法等についても多くの未解決部分はあるが、少なくとも圃場収穫時点で損傷の発生を最小限に抑えることがその後の収穫物を良品質に維持させるための必要条件であると考ええる。

既にパレイショ及びタマネギ収穫機は損傷防止のために種々対策がとられてはいるが、損傷の発生箇所或はその発生機構については不明な点が多く、十分な防止効果を得るには至っていない。

例えばコンベヤのロッドに用いる被覆材についてもゴムやビニールが使われ、又同じゴムであっても形状に工夫をしたもの等種々であるが、それらの使用根拠については必ずしも明らかではない。

収穫機の利用による農産物の損傷は貯蔵における品質低下の問題に止まらず、生鮮食品としての品質評価の一部として位置付けられる。作物の種類によって収穫機構が異なるので、損傷の発生メカニズムにも差異が生ずると同時に、損傷発生と圃場損失或は良品口における夾雑物の混入等は深い関連性があり、従って相互の関係を考慮しながら損傷対策を進めて行く必要がある。

収穫時における生産物の品質に影響する要因を大まかに区分すると次のようになる²⁾。

1. 損傷：機械により生じた損傷
 2. 夾雑物：ここでは特に材料に関係する不必要物の混入（例えば、茎葉、根等）
 3. 異物混入：材料と直接関係のない異物の混入（例えば、石、虫等）
 4. 不良品の混入：例えば未熟物、腐敗、奇形、虫喰等
 5. 圃場損失
- 上記の区分のうち、不良品の混入については機

械による直接原因ではなく、収穫機においては人手によって選別除去される方法がとられる場合が多く、機械性能の範ちゅうから離して考えて差し支えない。又異物混入についてはバレイショ収穫機に見るように損傷の関連で土砂の混入を許容範囲において発生させることもあり得るが、多くの場合は生産物のある圃場条件に大きく左右される場合が殆んどである。更に夾雑物及び圃場損失については水稲収穫機と異なり、損傷との因果関係は少ないと考えられる。

以上のごとから品質評価の位置付けとしての損傷は、バレイショ及びタマネギについては他の要因と分離して取扱うことができる。

バレイショ、タマネギ収穫並びに取扱中に発生する損傷は更に次のように細分される。

- 1) 落下等の衝突により生ずる損傷
- 2) 不要部分の切断分離する時に生ずる損傷
- 3) 接触摩擦により生ずる損傷
- 4) 切傷

1)による損傷には土砂分離コンベヤとの衝撃損傷、タンカ或はコンテナへの投入時の衝撃損傷、更には収穫物のコンベヤ上の移動過程における突起物等による衝撃損傷等があげられる。

2)による損傷にはバレイショ収穫における莖葉分離、タマネギ収穫においてはタッピングロール等による莖葉切断時の損傷があげられるが、バレイショについては莖葉分離が容易なので、タマネギに比較すると問題はない。

3)による損傷には収穫機内の移動工程における側壁或は収穫物相互との摩擦により生ずるすり傷及び剥皮があげられる。

4)の損傷については掘取刃による切断損傷或は機械構造内に存在する鋭利な部分による切傷があげられる。

以上の損傷のうち、4)の切傷については機械調整或は適切な機械操作等により解決が可能である。すり傷は周皮に止まれば、剥皮として実質的な損傷から外して差し支えない。しかし早出しのための早期収穫においては皮むけが著しく多く発生し、収穫機の使用が困難であり、この解決は重要な課題でもある。この剥皮についてはPHILLIPSON等²¹⁾

が収穫後の日数毎に剥皮及び損傷の難易度を検討し、又皮むけの機構についてはFLUK等²²⁾、HAMMERLE²³⁾が行っている。しかし本研究においては落下衝撃或は移動時における衝撃による損傷が非常に多いことから、特に1)の損傷をとりあげている。

本研究の稿を始めるに当たり、終始御懇切な御指導と御教示を賜わり、且つ校閲の労をとられた北海道大学教授岡村俊民博士に心から厚く感謝の意を表す。又本研究の遂行においては、北海道立中央農業試験場農業機械部長斉藤巨博士に御指導と有益な御助言を賜り、更には本研究を取りまとめるべく、種々便宜を与えて頂き厚く感謝する。

又本研究の実験並びに現地試験の遂行に当っては北海道立中央農業試験場農業機械部藤田昭三機械科長を始め桐山優光研究職員、笹島克己研究職員、原令幸研究職員の諸氏に種々御協力を賜わり厚く感謝するものである。

研究目的

バレイショ収穫機は既に広く普及しており、又タマネギ収穫機はここ数年間に性能が向上し、市販普及をみている。しかしこれらの収穫機が実用化していることと、生産物の損傷の問題が解消されることとは一致するわけではない。むしろ、逆に貯蔵中の変質及び腐敗が問題になっていることは前に述べたところである。このような現状を把握するために現地において各種収穫機の性能を適宜実施すると同時に実態調査を行い、問題解決の糸口をつかむ必要がある。本研究においても現在市販されている代表的な収穫機をとりあげ、その性能のうち、特に損傷の発生について実態の調査を行わんとした。

又このような性能調査或は実態調査と併せて実験的研究が必要でありその発生機構を分析検討して損傷の防止に努めることが肝要である。本研究でタマネギとバレイショの損傷発生機構をとりあげたゆえんである。

バレイショとタマネギは作物の分類からみると異なったものであるが、これらを収穫したり或は搬送取扱いの面からみると類似点も多い。両者共

に球形に近い形状をなし、且つある程度の強度を有しているので、収穫機の形態も共通点が多く、掘取後のロッドコンベヤによる搬送及び手選別工程、更にタンカ又はコンテナへの投入等の生産物の流れ順序は共通点の一つである。又反面バレイショとタマネギの内部からみた物理的性質にはかなりの差が認められる。バレイショは周皮、厚皮、維管束及び髓部から成るが²⁴⁾、これらの各区分層は一体化となって形成されている。一方タマネギは鱗葉より成り鱗葉を重ねた層の状態になっている。この違いが衝撃時に生じる損傷にも現れてくる。従って本研究では両者の共通と共に、異なった物理性を持ったバレイショとタマネギをとりあげ、その異なった物理的性質から生ずる損傷発生を比較検討することによりこの種の生産物の損傷発生機構を明確にすると共にそれぞれの損傷防止対策の指針を与えんとするものである。

本研究はタマネギ及びバレイショを用いて衝撃により発生する損傷を取扱っているが、野菜及び果物の衝撃試験は以前から多くの研究者により種々の形で行われている。HAMMERLE等¹²⁾、FLUCK等⁷⁾はスライダ方式をとり、野菜等を下に置いて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、殆んど野菜が衝撃力を吸収することになるので、実際のハーベスタ収穫時の塊茎或はタマネギの挙動とは大きく異なってくる。ハーベスタ内での生産物の挙動は、むしろフリーであると考えられるので、PARKE²⁰⁾やJINDAL, MOHSENIN¹⁶⁾が行った振り方式を採用し、バレイショ或はタマネギを糸で吊し衝撃後の動きをフリにする方がより実際の挙動に近い。同じ振り衝撃でもFINNEY等⁵⁾、MOHSENIN等¹⁸⁾のように野菜等をホルダに固定する方法はスライダ方式と類似している。又中馬等⁹⁾、RIDER等²¹⁾の実験の如く落下高さが低く、

且つ平板衝突の場合にはバレイショ或はタマネギに埋めた加速度変換器はほぼ所定の位置に衝突するが、本実験の如く丸鋼を用い、且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²⁵⁾。従って、ここではその目的に応じて振りによる衝撃方法と自由落下による衝撃方法とを使い分けて次の如き諸事項を明らかにせんとした。

バレイショ収穫機やタマネギ収穫機は掘取後の収穫物の移動手段にロッドコンベヤが多く使用されており、特に第6章で述べているように直径が10mm以下の細い丸鋼との衝撃の場合には大きな損傷となることがある。又タンク或はコンテナに収穫物を投入する際には落下衝撃が伴うので、落下途中にクッションを置いて緩衝効果を期待しているが、必ずしもそのセット高さが適切ではない。従ってこの種の原因による損傷を解決すべく、本研究では直径が異なった種々の丸鋼を用いると同時に木板及び鉄板を使用し、バレイショ或はタマネギがこれらの衝撃体と衝突した時の損傷発生機構を検討する。又タンク或はコンテナへの投入時には収穫物相互の衝撃が行われるので、バレイショ並びにタマネギそれぞれについて落下高さを変えて損傷の発生程度を検討する。更に衝撃時の損傷状態を調査すると同時に加速度変換器を用いて衝撃時にバレイショ或はタマネギが受ける動的な物理変化を測定し、HERZの衝撃理論を適用することによって損傷発生機構の理論的展開を試みることを目的としている。

損傷の防止についてはゴム及びビニールを被覆材としてとりあげ、衝撃時の最大加速度、接触時間及び反撥高さ等を測定することによってゴムとビニールの衝撃に対する物理的性質を明らかにし、これらの緩衝効果について検討を行うものである。

第1章 収穫機による損傷発生の実態

第1節 タマネギ収穫機の損傷実態

1. 実験目的

近年タマネギの機械化が進み、掘取り、タッピングから選別に至る作業工程のいずれかに機械化が導入されている。タマネギ収穫機は予乾等の関係で一台の機種で一度に収穫することは困難であるため、リフタ、タッパ、デガー、ピッカなど種々の形式がみられるが、一般的には省力効果の大きいハーベスタに発展している。このような機械の導入につれてタマネギが種々の形の衝撃体と接触する頻度が高まり、損傷の増加が危惧されるようになった。本実験では普及率が高い反面で損傷が最も多く発生すると言われるハーベスタについて性能を調査し、損傷実態を明らかにする。特に、

ここでは現在市販され普及している収穫機として地干を前提としない直接収穫方式のコンバイン型収穫機と地干収穫方式のピッカ型収穫機の2機種をとりあげている。

2. 実験方法

1) 材料並びに実施条件

供試品種には札幌黄を使用し、その作物条件は表1-1に示す通りである。コンバイン型収穫機とピッカ型収穫機の実施圃場が異なり、タマネギの大きさや収量に差が出ているが、この様な圃場内の差異は一般的で本実験の目的遂行には支障がない。両供試機共に収穫試験は1977年9月に行ったが実施場所はコンバイン型収穫機については栗山町であり、又ピッカ型収穫機については長沼町とした。

Table 1-1. Conditions of onions

Kind of harvester	Row width cm	Spacing cm	Plant length cm	Yield kg/10a	Non-standardized production %	Onion weight g	Rotted onion %	Moisture content of leaf sheath %
Combine type	16.8 —30.3 Two rows planting	13	34	4636	0.6	166	4.1	40
Picker type	Windrow width 70	—	62	5019	9.5	273	—	74.1 31.6

2) 供試機

コンバイン型収穫機の全体図を図1-1に、仕様を表1-2に示した。掘取ったタマネギはロッドコンベヤを経てタッピング部に入り、タッピング後ドラムコンベヤで選別コンベヤに送り、ここで手選別で不良玉を除去した後、積込エレベータにより伴走のコンテナに投入する。

ピッカ型収穫機の全体図を図1-2に、仕様を

表1-2に示した。この機種は予め9畦を1列に畦寄せして地干を行ったタマネギをピッカで掻き込みロッドコンベヤを経てタッピング部に送る。タッピングされたタマネギは上昇バケットエレベータによってコンテナへ投入される。本機はリフトを後部に有しているの、コンテナの伴走は不要である。

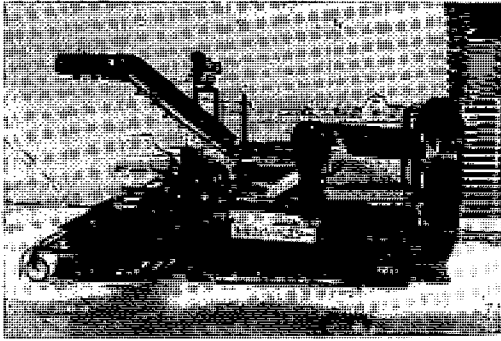


Fig 1-1. Combine type of onion harvester

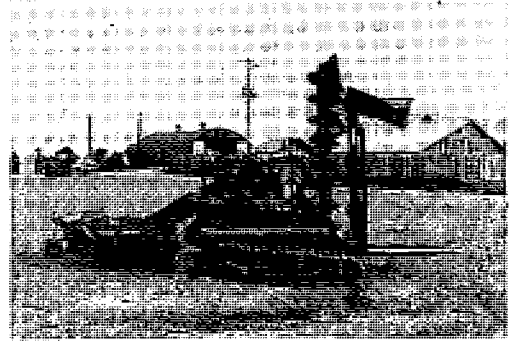


Fig 1-2. Picker type of onion harvester

Table 1-2. Specifications of onion harvesters

Items of specification	Combine type		Picker type	
Length×width×height	4510×3530×2570mm		5050×2100×3530mm	
Weight	2025kg		2113kg	
Engine power				
Rated power	11PS/1800rpm		8PS/1800rpm	
Maximum power	15PS/2000rpm		10PS/2000rpm	
Digging or picking	Round steel bars		Rubber plate reel	
Topping				
Roll diameter	60.5mm		76mm	
Roll speed	187rpm/Engine 1400rpm		324rpm/Engine 1800rpm	
Conveyer				
	1 st	13.5/0.34	Picking	9.0/0.37
Rod dia.mm/speed m/s	2 nd	9.0/0.50	Vertical	Bucket/0.36
at engine speed of	2 rd	10.5/0.53	conveyer	
1450rpm	Drum	9.5/0.73		
	Selecting	Flat belt/0.40		
	Loading	Partition plates/0.49		
Track	Rubber track		Rubber track	
Ground contact pressure	0.24 kg/cm ²		0.47kg/cm ² When container with onions mounted	

3) 測定方法

10m の測定区間を設け、それぞれの作業機で収穫し、区間内の全量をサンプルとする。このタマネギから損傷玉をとり出し、次の3種類に分けた。

- (1) 外傷 鱗茎内部に達している傷があるもの
- (2) 剥皮 葉鞘がさけて鱗葉の一部が剥皮したもの
- (3) 打撲 切傷、剥皮以外の損傷玉であり、衝撃を受けて生ずる傷で軟化状態を呈するか、貯蔵

後に変色するもの

損傷の調査は収穫直後に行うほか、60日後と約150日後に行なった。

3. 試験結果及び考察

両供試機の損傷発生の調査結果は表1-3に示す通りである。コンバイン型収穫機とピッカ型収穫機の損傷発生状況を比較すると、打撲損傷はピッカ型に多く生じているが、外傷については両機

Table 1-3. Damage caused by onion harvesters

Kind of harvester	Amount of onions in a container	Travel speed m/s	Revolution speed of topping roll rpm	Percentage of damage %		
				Bruise	Severe damage	Scuffing
Combine type	Vacant	0.32	187	1.8	2.2	0.6
	Half	∩		0.8	1.8	2.1
	Catched with canvas	0.36		0.4	1.5	3.5
Picker type	Vacant	0.19	310	3.3	2.9	5.4
		0.21	280	3.5	1.5	2.7
	Over half.	0.19	250	2.5	1.7	3.7
		0.14	200	1.1	0.7	1.4

種間の差が殆んどない。ピッカ型に打撲が多いのはピッカ型のタッピングロール回転数がコンバイン型に比較して1.5倍前後高いので、スパイラルロール等との衝撃をより多く受けることが原因であると考えられる。

ピッカ型収穫機についてはタッピングロール回転数を変えて行っているが、ロール回転数が200 rpmの時に打撲並びに外傷はそれぞれ1.1%、0.7%であり、一方タッピングロール回転数が280 rpmの時の発生割合が打撲、外傷がそれぞれ3.5%、1.5%であり、タッピングロールが低速回転の時に損傷の発生が少ない。

又コンテナが空の場合とタマネギが1/2程度入っている場合について損傷発生程度を比較すると、コンバイン型の打撲はシートで受け衝撃を与えない時には0.4%と少ないが、空コンテナに直接投入した場合には打撲は1.8%に増加している。ピッカ型についても同様な傾向が見られ、同じ作業速度では空コンテナへ投入した時の打撲の発生割合が3.3%であるのに対してコンテナ内にタマネギが1/2入った場合にはその発生は2.5%と少ない。このように空コンテナへの投入時に打撲が増加する原因はタマネギがコンテナの底部又は側壁に衝突し衝撃を受けたものと考えられる。

実際の収穫作業ではコンテナ投入時の損傷発生を防止するために、図1-3に示すようなクッションをコンテナに取付けているが、第2章で論ずるようにこの落下高さから判断して問題が残る。図1-4にクッションをセットした時の寸法を示

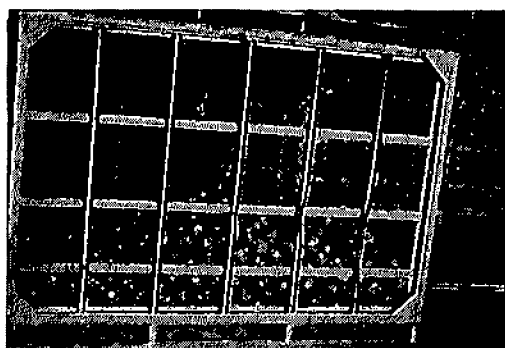


Fig 1-3. Cushion canvas set up a container

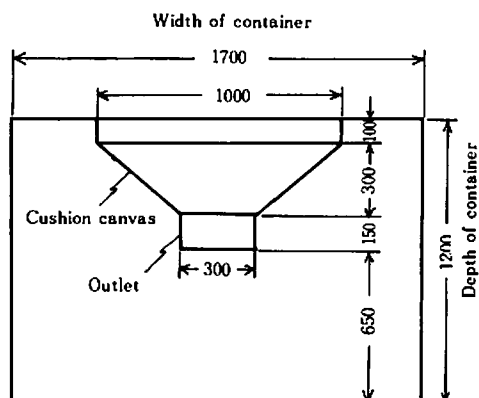


Fig 1-4. Cushion canvas for container

したが、仮りにクッションの排出口でタマネギが一旦止まり、そこから落下したとしても800mmの落差となり、損傷を発生させるのに十分な高さとなる。実際にはクッションの排出口ですでにかなりの初速度をもっているから一層損傷の危険性

があると言い得る。

又ロッドコンベヤについては両供試機共2～3箇所使用しており、ロッド径が9mm～10mmと比較的直径の小さいものを用いているため第2章で述べる如く損傷が発生する危険性があり、被覆材を適用する等の対策が必要であると考えらる。

第2節 パレイショ収穫機の損傷実態

1. 実験目的

近年食用パレイショの収穫にはハーベスタが一般化した。これに伴って多くのハーベスタが開発され、国産と輸入機種を合せると道内の市販機種のみで20数種に及ぶ。しかし貯蔵販売の段階で収穫機で収穫したパレイショが貯蔵中に品質の低下をまねいており、特に1月以降に出荷される貯蔵パレイショの損失に影響を及ぼし問題となっている。

る。損傷発生の要因には収穫後のハンドリング法も重要な問題点としてあげられるが、他方では掘取、土砂分離及び選別の各工程を行う収穫機をあげることができる。外国機種についても数年前に比較すると損傷対策は向上しているが、まだ十分とは言えない^{14,22}。ここでは一般に市販されている収穫機について性能を調査し、損傷発生の実態を明らかにする。

2. 実験方法

1) 材料並びに実施条件

品種には農林1号を使用し、パレイショの条件を表1-4に示した。収穫実験は1978年9月18日～26日にわたり、芽室町で行ったが、収穫時期が比較的早期であったため、塊茎重量分布は50～120gの範囲の塊茎が52.3%を占め、収量は2700kg/10aと低かった。

Table 1-4. Conditions of potatoes

Row width cm	Spacing cm	Plant length cm	Weight of stems and leaves kg/5m ²	Distribution of tuber weight kg/5m ²					
				g 0～30	g 30～50	g 50～120	g 120～190	g 190<	Total
66.9	38.2	172.5	11.25	1.00	1.56	8.40	3.66	1.45	16.07
				6.2	9.7	52.3	22.8	9.0	100 %

2) 実施方法

北海道内で市販されている21機種について同じ土性の圃場で且つ下記に示す同じ実施方法で実験を行った。測定区間は20mとし、同一実験条件で3回繰返し、塊茎の損傷区分は次の通りである。

(1) 損傷 50g以上の塊茎を対象として打撲及び外傷に分け、傷の大きさが20mm以上で、且つ厚皮に達したものを損傷(大)とし、20mm以下のものを損傷(小)とした。

(2) 剥皮 損傷と同様に50g以上の塊茎を対象とし、周皮のむけた広さが1cm²以上を剥皮(大)とし、1cm²以下を剥皮(小)とした。

3. 実験結果及び考察

パレイショ収穫機21機種の損傷発生の調査結果は表1-5に示した通りである。表1-5にはそ

れぞれの損傷区分毎に平均値と最小値—最大値を示している。この表に見るように、損傷の発生割合は機種によってかなりの差が生じている。損傷(大)の発生割合については、平均値では0.49～3.40%の範囲であるが、収穫機のパレイショ損傷に対する安全性から判断すると、平均値よりむしろ最大値をとる方が有効である。損傷(大)発生割合の最大値は0.97～5.20%であり、平均値より差が大きくなる。又損傷(大)の発生が多い機種は損傷(小)の発生も多い。損傷(小)発生割合の平均値は0.34～13.33%であり、最大値が0.55～13.93%である。損傷発生程度を、機種をあげて検討すると、損傷(大)の最も多い機種はNo.7であり、損傷(大)の割合が5.14%であり、損傷(小)の割合が13.93%となって損傷発生が著しい。又損傷が多い機種は剥皮も多く、このNo.7の剥皮割合は平均

Table 1-5. Damage occurrence of potato harvesters

%

Number of harvesters	Total of damage	Severe damage			Slight damage			Severe scuffing		Slight scuffing			
		Mean	Min.—Max.		Mean	Min.—Max.		Mean	Min.—Max.	Mean	Min.—Max.		
1	7.20	1.01	0.68	1.54	6.19	2.81	10.34	20.73	15.63	27.39	32.03	28.78	37.89
2	6.45	0.87	0	2.62	5.58	4.39	6.90	17.11	15.85	18.00	30.99	22.34	36.29
3	3.01	0.99	0.57	1.08	2.02	0.97	3.89	10.40	7.15	16.58	16.67	9.55	22.45
4	5.48	2.14	1.02	2.97	3.34	2.48	3.95	2.95	1.69	4.43	16.78	14.85	18.91
5	2.93	1.08	0.49	1.63	1.85	0.81	2.38	4.69	1.71	7.58	24.50	16.18	37.39
6	4.35	1.17	0.21	1.80	3.18	1.84	4.45	12.95	6.95	21.47	21.10	14.87	27.03
7	16.73	3.40	2.30	5.14	13.33	12.18	13.93	8.57	5.20	11.24	26.44	22.89	29.38
8	7.74	1.26	0.75	2.04	6.48	4.28	8.26	1.43	0.76	1.85	16.91	15.38	19.47
9	6.99	2.89	2.74	3.03	4.10	1.68	6.16	1.71	0.52	3.08	18.84	12.45	31.51
10	2.42	0.60	0.11	1.01	1.82	1.24	2.39	5.87	4.12	7.00	18.44	16.99	20.30
11	6.07	2.35	0.96	3.35	3.72	3.05	4.06	3.13	0.63	7.50	17.70	11.32	23.93
12	5.84	1.53	1.12	2.14	4.31	1.47	6.65	3.39	1.29	6.38	14.84	11.72	21.06
13	4.55	1.54	0.68	2.23	3.01	1.53	5.14	3.65	1.63	5.68	12.33	9.66	15.79
14	7.17	3.20	2.55	3.95	3.97	2.68	4.96	3.17	1.62	5.88	13.40	10.63	14.81
15	6.19	3.36	2.38	3.92	2.83	2.52	3.08	5.12	4.24	6.82	21.75	17.02	24.92
16	3.55	0.97	0.67	1.17	2.58	1.68	3.65	1.07	0.30	2.46	31.42	30.22	32.62
17	0.83	0.49	0	0.97	0.34	0	0.55	0.22	0	0.45	6.96	4.88	11.10
18	11.52	2.55	1.48	4.46	8.97	5.60	12.24	2.57	0.95	5.09	24.89	21.98	29.28
19	7.30	3.02	0.55	5.20	4.28	1.83	6.57	1.40	0.67	2.50	11.05	6.70	16.00
20	3.03	0.67	0.24	1.44	2.36	1.05	3.80	0.64	0	1.44	2.34	1.99	2.99
21	5.15	1.12	0.51	2.03	4.03	0.43	6.80	0.81	0.31	1.09	2.77	2.08	4.13

値で大が8.57%，小が26.44%であり剥皮発生の多い部類に入る。

損傷発生程度によって収穫機の良否を判断する場合には損傷大のみを用いる等の方法はあるが、ここでは塊茎の安全性を考慮して損傷大小の発生

割合の合計を用いると表1-6のようになる。損傷割合が10%以上の機種が1台、7~10%では5台、5~7%では7台となっており、5%以下は3台に過ぎず、結局損傷発生が5%以上の機種は全体の61.9%を占めている。

Table 1-6. Distribution of harvesters according to damage percentage

	<5%	5~7%	7~10%	10%<	Total
Number of harvesters	8	7	5	1	21
Percentage %	38.1	33.3	23.8	4.8	100

4. 損傷防止対策の実態

収穫機の損傷防止対策の1つに土砂分離コンベヤに対する被覆の問題があげられる。このコンベヤには土砂が混入するので被覆の必要性が低いと考えられ勝ちであるが、今回のような砂壤土では土砂分離が非常に良いので、塊茎とロッド(丸鋼)との衝撃によって損傷が生じる。土砂分離コンベ

ヤの被覆方法にはすべてのロッドに被覆している機種と1本おきに裸ロッドと被覆ロッドが交互に配列した機種とがある。交互に被覆する方法は土砂分離に必要な間隙を保つためにとられている。次に被覆材にはゴム或はビニールが用いられているが、大部分の機種はゴムを多く用い、被覆厚さは3~5mmとなっている。又被覆加工には部品製造の段階でロッドと1体化加工にしたもの、或

はロッドとは別に被覆材を加工し、組立ての段階でロッドに被覆するものがある。後者の場合にはロッドと被覆材との間に遊びがあり、供試機の中にはかなりの遊びを有するものもある。

分離コンベヤで更に問題になる所はベルトとロッドとの接合部分である。ロッドをベルトにビス止めをすると、必ずロッドの端とビスの頭が上面に露出することになり、塊茎がこの部分に接触すると大部分が何らの傷を受ける。従って供試機の多くのは種々の対策を講じており、1つはビスが露出しているコンベヤの両端を被覆材で覆い、塊茎との接触を避ける方法である。しかしこの方法では塊茎が被覆材の中にもぐる場合があって利用者には好まれないことがある。対策の2つはベルトの下側にロッド接合部を置き、ベルトの上から六角穴付ボルトで締付ける方法である。この六角ボルトの頭はほぼ平らなので締付けるとベルトに食込んで塊茎が接触した場合でも損傷が生じ難い構造になっている。3つ目の方法はロッドを取付けたビス頭が出ないようにその両側をゴム材を用いて高くし、塊茎がビス或はロッドの端に接触しない構造をとっている。この方法は簡便で有効な方法であるが、比較的小さな塊茎は接触する可能性があり、又塊茎の長軸方向で曲率半径の小さな先端部が当たった場合には損傷発生の恐れがある。

選別コンベヤは、塊茎の動きが比較的少ないことから、被覆をしていない機種が大部分である。しかし選別コンベヤ自体は損傷発生は少ないが、他のコンベヤとの乗り継ぎの時点でコンベヤ間の落下が大きい場合には落下衝撃を受けるので注意を要する。一例をあげるとロータリバケットから逆転コンベヤに落下し、莖葉は上方へ除去され塊茎は落下する。この落下箇所が8mm径の裸丸鋼から成る選別コンベヤ上である場合には、当然損傷発生の原因になる。更に塊茎の一部はそのまま転がり落ちるのではなく、一旦上方へ持上げられた後勢いを増して落下するので衝撃は一層大きくなる。

以上のようにコンベヤによって塊茎が移動する過程で損傷が発生するので、塊茎が移動する時に

接触する箇所では鉄部の露出或は鋭利な突起部の存在を避ける必要がある。機種によってコンベヤ数に違いはあるが、塊茎搬送コンベヤは3～5箇所であり、これらのコンベヤの側壁等を点検すると、損傷をもたらす危険性のある箇所は少ない。

第3節 摘 要

タマネギ収穫機は代表的な収穫機として直接収穫をするコンバイン型収穫機と地干を前提とするピッカ型収穫機の損傷発生の実態を調査した。コンバイン型収穫機については打撲損傷が0.4～1.8%発生し、外傷は1.5～2.2%であった。特に空のコンテナに投入する場合には打撲が1.8%と多く生じている。剥皮は0.6～3.5%発生した。ピッカ型収穫機については打撲が1.1～3.5%、外傷が0.7～2.9%、剥皮が1.4～5.4%発生した。ピッカ型の場合も打撲損傷は空コンテナへの投入時が3.3%の発生をもたらす。他に比較してその発生割合が高い。タッピングロール回転数が310rpmと高い場合には打撲及び外傷共に発生割合が高く、それぞれ3.3%、2.9%であった。一方タッピングロール回転数が200rpmと低い場合には打撲及び外傷の発生割合はそれぞれ1.1%、0.7%であり、タッピングロール回転数が高い場合に比較すると損傷発生は少ない。

パレイショ収穫機については国産と輸入機種を合わせて21機種の損傷発生に関する調査を行った。その調査結果を平均値でみると損傷(大)及び損傷(小)の発生割合はそれぞれ0.5～3.4%、0.3～13.3%の範囲であった。又剥皮(大)及び剥皮(小)の発生割合はそれぞれ0.2～20.7%、2.3～32.0%である。更に損傷(大)の最大発生割合は1.0～5.2%であり、機種によっては高い損傷割合を示している。損傷(小)の発生割合の最大値は0.6～13.9%であり、機種間で大きな差が生じている。損傷大、小の合計発生割合で10%以上の機種が1台あり、10～7%の機種が5台、7～5%のものが7台となっており、5%以上の損傷割合をもつ収穫機は全体の62%を占めており、収穫機による損傷の発生実態が明らかとなった。

第2章 タマネギの落下衝撃による損傷発生機構

第1節 実験目的

タマネギを収穫機で収穫する場合の衝撃により損傷が発生する箇所はコンベヤのロッド（丸鋼使用）、タッピングロール、コンテナの底板又は側壁板等があげられるので、木板、鉄板及び丸鋼を用いて、落下高さを変えることによって衝撃力を変化させ、その時の損傷の発生状況を検討する。更に加速度変換器を用いることによって衝撃時に受けるタマネギの物理現象が明らかになり、又 HERZ の衝撃理論を適用して最大加速度、最大変形深さ、接触時間並びに最大接触応力の面から損傷の発生機構を究明せんとする。

収穫機内での材料移動中或はコンテナ投入時にタマネギは絶えず相互に衝突が生じているので、落下高さの違いによる損傷の発生程度を知ることが必要である。本実験では同一大きさのタマネギ相互衝撃をとりあげ、衝撃による損傷の発生深さを最大変形深さとの関係から検討している。

又タマネギと同じ直径と重量の木製球を使用しタマネギの場合と比較することによってタマネギ自体の変形による最大加速度の変化の程度を推定することにした。更に鉄板にゴムを被覆した場合についても木製球を用い、ゴムのみの変形による最大加速度の減少程度を検討する。

タマネギ収穫機は丸鋼をコンベヤに使用する場合が極めて多いので、ここでは特に使用頻度の高い10mm径の丸鋼を用いた。丸鋼との衝撃の場合についても衝撃時の接触面積から近似的に丸鋼を球体に転換することによって HERZ の衝撃理論の適用を図った。

第2節 実験方法

1. 材 料

タマネギの品種には札幌黄を使用し、供試タマネギを次に示すような3階級に分けた。

LL玉 直径 9 cm以上

L玉 直径 9～8 cm

M玉 直径 8～7 cm

衝撃面の曲率半径 (R_1) は図2—1に示すようにタマネギの中央部の縦断面と横断面についてそれぞれ r_1 , r_2 , r'_1 , r'_2 を測定し、

$$R_1 = \frac{r_1 + r'_1}{2} \text{ or } \frac{r_2 + r'_2}{2}$$

から曲率半径の大きい方を R_1 とし表2—1に示してある。タマネギは第3章でとりあげるバレイショと異なり、図2—1に見るように極めて球形に近い形状をなしている。

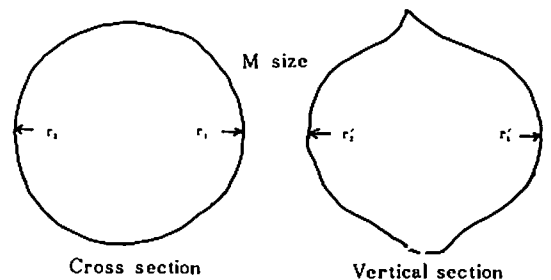


Fig 2—1. Radius of curvature of onion

Table 2—1. Conditions of onions and wooden balls

Kind of material	Weight g	Radius of curvature cm	$E/(1-\nu^2)$
			kg/cm ²
Onion	LL	333.91	4.60
	L	261.9	4.17
	M	191.9	3.75
Wooden ball	LL	360.0	4.60
	L	278.0	4.10
	M	196.0	3.60

タマネギの硬度測定にはバネ式硬度計を用い、針頭に半球型（直径12mm、高さ10mm）を使用した場合の硬度から後述の（2—28）式を用いて

$$\frac{E}{1-\nu^2} \text{ を求めている。}$$

木製球については供試タマネギの重量に一致させ得るように、半径がそれぞれ4.60cm, 4.10cm, 3.60cmの半球を作り、半球の中央部を中空にして、その中に鉄をはめ込んで重さ調整をした後、2個の半球を合せて接着し、図2-2のような球形とした。更に木製球が衝撃を受けた時に中に埋めた鉄が動くとき衝撃時の加速度曲線が乱れるので、接着剤によって木製球と完全に一体化した。

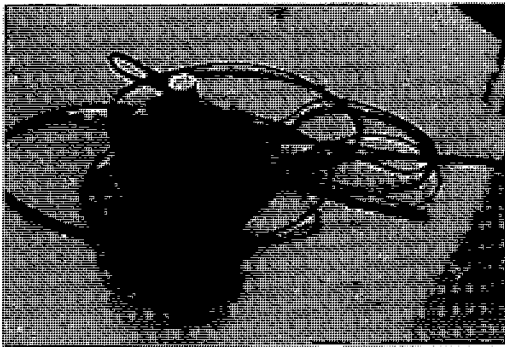


Fig 2-2. Wooden ball with accelerometer

タマネギ及び木製球が衝突する対象衝撃体には15mm厚さの木板、3mm厚さの鉄板並びに直径10mmの丸鋼を用いている。木板及び鉄板は収穫時に利用している木製コンテナと鉄製コンテナに準じて用意したものであり、それぞれの両端を7cmの距離で支持し、板の中央部にタマネギを落下させた。被覆材にはネオプレン軟質ゴム（カーボンブラック加硫で硬度40度）用い、ゴム厚さは3mmとした。これらの衝撃体の $\frac{E}{1-\nu^2}$ の値は次の通りである。

木板：1676.38kg/cm²

鉄板：2.31×10⁶kg/cm²
 $\left(\begin{array}{l} E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ \nu=0.3 \end{array} \right)$

ゴム 3mm + 鉄板：386.8kg/cm²

タマネギの相互衝撃はKUNZE等¹⁷⁾が行った如く緩衝材を用いず直接鉄板の上に置いた。

2. 実験装置

タマネギの衝撃時の加速度測定については最大落下高さを20cmに限定して自由落下衝撃とし、損傷の発生実験については最大100cmとしている。落下装置は図2-3に示すようにタマネギの中に加速度変換器を埋めた後、細い糸で所定の落下高さに吊り、タマネギが静止した時点で火で糸を焼切り、タマネギを落下させた。この方法によると、タマネギが落下する瞬間に姿勢の変化が少なく、加速度変換器の衝撃方向にタマネギの姿勢を一致させることが出来る。特にこの自由落下衝撃方式はタマネギやパレイショに重量付加を最小限に止めることが出来るので、実際に即応した損傷の発生が可能である。

木製球と加速度変換器の固着は、図2-2に見るように、半球の頂部に平面を作り、接着剤を用いて完全に接着した。木製球を取替る時に接着してあると不便であるが、テープ等で固定した場合には衝撃が大きいため完全固定が出来ず、正確な加速度値を得ることが出来ない。

測定装置の仕様は表2-2に示す通りである。衝撃時の加速度波形は

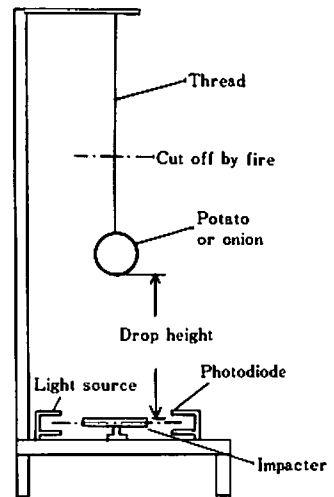


Fig 2-3. Free drop impact apparatus

ストレインメータを介してメモリスコープにストレージされる。落下体を落す前に、ストレインメータの較正値をスコープ管面6div(=6cm)に合わせ、感度を0.2volt/div、掃引速度を1.0ms/divとし、単掃引操作によりSWEEP MODEをSINGLEにセットして較正電圧出力を外し、RESETボタンを押して待受け状態にしておくと、衝撃により同期信号が入ってくれば掃引し、波形

がブラウン管にストレージされる。

最大加速度に達する時間(以下最大圧縮時間と記

す), 加速度軸 0 と交わる時間 (以下接触時間と記

す)をそれぞれ読取ると同時にカメラ撮影を行った。

Table 2-2. Specifications of measuring apparatus

Accelerometer	Model	AS- 1000 A
	Capacity	1000 G/1528 μ
	Frequency range	0 ~ 4500 Hz
	Sensitivity	F. S 764 μ V/V
	Nonlinearity	1.0 % F. S
Strain meter	Model	DPM- 200 B
	Frequency range	DC ~ 2000 Hz
Memory scope	Model	MS-5201
	Frequency range	DC ~ 2 MHz
	Measuring area	8 div ~ 10 div (1 div = 10 mm)
	Writing speed	Over 40 μ s/cm
	Sensitivity	2 mV/div ~ 1 V/div ($\times 1$) 200 μ V/div ~ 0.1 V/div ($\times 10$)
	Sweep time	0.5 μ s/div ~ 0.5 s/div
	Rise time	Less than 180 ns

3. 測定方法

加速度測定及び落下損傷測定は1回の測定項目についてタマネギ3個体を供し、損傷測定分のタマネギは低温室(1~3℃)に17日間貯蔵した後、損傷の調査を行った。

損傷の測定はタマネギ外面に現れる部分については最大径と最小径を測り、断面については損傷の侵入深さを測った。衝撃後の貯蔵日数が比較的短かいので、内部へ深く入った損傷部分は変質程度が小さく現れるが、鱗葉を一葉ずつ剥ぐことにより、白色或は屈曲部が観察されるので、損傷の発生深さが容易に分る。

衝撃理論の適用

TIMOSHENKOとGOODIER²⁶⁾により2球体の衝撃時における最大圧縮点の近接距離は(2-1)式で与えられる。

$$\alpha_1 = \left(\frac{5V^2}{4n_1} \right)^{2/5} \quad (2-1)$$

V 2球体の近接速度

α_1 近接距離

$$n_1 = (m_1 + m_2) / (m_1 m_2) \quad (2-2)$$

$$n = \left[\frac{16R_1 R_2}{9\pi^2 (K_1 + K_2)^2 (R_1 + R_2)} \right]^{1/2} \quad (2-3)$$

m_1, m_2 球体の質量

R_1, R_2 球体の半径

$$K_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1}$$

$$K_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2}$$

E_1, E_2 ヤング率

ν_1, ν_2 ポアソン比

タマネギやバレイショが木板、鉄板及び丸鋼に衝突する場合は、タマネギ等の変形に比較して鉄板等の変形は極めて小さく無視することが出来るので、タマネギ或はバレイショのみが変形すると考えると、(2-1)式の α_1 は衝撃時におけるタマネギ或はバレイショの最大変形深さと見なし得る。(2-1)式に式(2-2)、(2-3)を代入すると(2-4)式が得られるが、この α_1 を前述の最大変形深さと見なし、以下 D_{\max} で表すこととする。

$$D_{\max} = \left[\frac{15V^2 Am_1 m_2}{16(m_1 + m_2)} \right]^{2/3} \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right]^{1/5} \quad (2-4)$$

D_{\max} 最大変形深さ

但し衝撃を扱う場合にはヤング率及びポアソン比は $(1-\nu^2)/E$ の形が便利であるので、(2-4)式中の A は(2-5)式とおいている。

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \quad (2-5)$$

更に、TIMOSHENKO等は弾性球体の衝突接触時間(t)を(2-6)式で表している。

$$t = 2.94 \frac{\alpha_1}{V} \quad (2-6)$$

この(2-6)式に(2-1)式を代入すると、(2-7)式が得られる。

$$t = 2.865 \left[\frac{Am_1 m_2}{m_1 + m_2} \right]^{2/5} \left[\frac{R_1 + R_2}{V R_1 R_2} \right]^{1/5} \quad (2-7)$$

又衝撃時における最大加速度($\ddot{\alpha}_{\max}$)は(2-8)式で与えられる。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = - \left(\frac{5}{4} V^2 \right)^{3/5} (n\eta)^{2/5} \quad (2-8)$$

この(2-8)式に式(2-2)、(2-3)を代入すると、(2-9)式が得られる。

$$\ddot{\alpha}_{\max} = - \left(\frac{5}{4} V^2 \right)^{3/5} \left[\left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right) \frac{4}{3A} \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{1/2} \right]^{2/5} \quad (2-9)$$

最大接触応力(又は圧力)(S_{\max})は RIDER 等²³⁾が示すように(2-10)式で表される。

$$S_{\max} = - (\ddot{\alpha}_{\max})^{1/3} \left(\frac{6}{\pi^3} \right)^{1/3} \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{-2/3} (K_1 + K_2)^{-2/3} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{1/3} \quad (2-10)$$

$K_1 + K_2 = \frac{A}{\pi}$ 及び(2-9)式から最大接触応力(2-10)式は(2-11)式で示される。

$$S_{\max} = 0.6284 \left[\frac{V^2}{A^4} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right) \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right)^3 \right]^{1/5} \quad (2-11)$$

特に半径 R_1 の球と衝撃面が平板である場合には、 $R_2 = \infty$, $m_2 = \infty$ として、式(2-4)、(2-7)、(2-9)及び(2-11)はそれぞれ式(2-12)、(2-13)、(2-14)、(2-15)で表される。

$$D_{\max} = \left[\frac{15V^2 Am_1}{16\sqrt{R_1}} \right]^{2/3} \quad (2-12)$$

$$t = 2.865 \left[\frac{Am_1}{\sqrt{R_1} V} \right]^{2/5} \quad (2-13)$$

$$\ddot{\alpha}_{\max} = - \left(\frac{5}{4} V^2 \right)^{3/5} \left[\frac{4\sqrt{R_1}}{3 Am_1} \right]^{2/5} \quad (2-14)$$

$$S_{\max} = 0.6284 \left[\frac{V^2 m_1}{A^4 R_1^3} \right]^{1/5} \quad (2-15)$$

本実験のように自由落下による衝撃では衝撃速度は $V = \sqrt{2gh}$ と見なし得るから、上記の各式はむしろ落下高さ h との関係で表わした方が使い易く、2球体の衝撃時の最大変形深さ、接触時間、最大加速度及び最大接触応力はそれぞれ次式で表される。

$$D_{\max} = 20.221 \left[\frac{Am_1 m_2}{m_1 + m_2} \right]^{2/5} \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right]^{1/5} h^{2/5} \quad (2-16)$$

$$t = 1.3424 \left[\frac{Am_1 m_2}{m_1 + m_2} \right]^{2/5} \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right]^{1/5} h^{-1/10} \quad (2-17)$$

$$\ddot{\alpha}_{\max} = -1.2124 \times 10^2 \left[\frac{m_1 + m_2}{Am_1 m_2} \right]^{2/5} \left[\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right]^{1/5} h^{3/5} \quad (2-18)$$

$$S_{\max} = 2.8625 \left[\frac{m_1 m_2}{A^4 (m_1 + m_2)} \right]^{1/5} \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right]^{3/5} h^{1/5} \quad (2-19)$$

又球体と平板の衝撃の場合も上式と同様にして次式で示される。

$$D_{\max} = 20.221 \left(\frac{Am_1}{\sqrt{R_1}} \right)^{2/5} h^{2/5} \quad (2-20)$$

$$t = 1.3424 \left(\frac{Am_1}{\sqrt{R_1}} \right)^{2/5} h^{-1/10} \quad (2-21)$$

$$\ddot{a}_{\max} = -1.2124 \times 10^2 \left(\frac{\sqrt{R_1}}{Am_1} \right)^{2/5} h^{3/5} \quad (2-22)$$

$$S_{\max} = 2.8625 \left(\frac{m_1}{A^4 R_1^3} \right)^{1/5} h^{1/5} \quad (2-23)$$

以上の球体の衝撃理論を用いて計算値を算出するに当ってはタマネギ或はバレイショのヤング率(E)及びポアソン比(ν)^{9), 15)}を知る必要があるが、E、 ν が $E/(1-\nu^2)$ の形で出ているので、中馬等⁹⁾が明らかにしたようにバネ式硬度計を用いることによって容易に $E/(1-\nu^2)$ が求められる。

即ちHERZの接触理論から一方を平面とした時に、プランジャに対する反力は(2-24)式で表される。

$$P = \frac{2}{3} \frac{E}{1-\nu} \sqrt{2a} w \quad (2-24)$$

- P プランジャに対する反力(kg)
 E ヤング率(kg/mm²)
 ν ポアソン比
 a プランジャ尖端球の直径(mm)
 w 変位(mm)

ここでプランジャの突出長さをx、タマネギやバレイショを押した時に押込まれた長さをXとすると、変位wは(2-25)式で表される。

$$w = x - X \quad (2-25)$$

又XはPに比例するので、Pは次式で示される。

$$P = kX \quad (2-26)$$

k バネ定数

式(2-24)、(2-25)、(2-26)から $E/(1-\nu^2)$ は(2-27)式となる。

$$\frac{E}{1-\nu^2} = \frac{1.5}{\sqrt{2a}} P \left(x - \frac{P}{k} \right)^{-3/2} \quad (2-27)$$

今回の測定に用いた硬度計の定数は次の通りである。

$$\begin{aligned} x &= 10\text{mm} \\ k &= 0.5\text{kg/mm} \\ a &= 12.0\text{mm} \end{aligned}$$

上の定数を用いると(2-27)式は(2-28)式となり、この式を適用することによってPの測定値から $E/(1-\nu^2)$ を算出することが出来る。

$$\frac{E}{1-\nu^2} = 0.306 P (10 - 2P)^{-3/2} \quad (2-28)$$

表2-1に示した $\frac{E}{1-\nu^2}$ の値は式(2-28)より求めたものである。

第3節 実験結果及び考察

1. 衝撃時の最大加速度

1) タマネギと鉄板の衝撃

タマネギが鉄板の上に落下衝突する場合、鉄板に歪が生じないとすると

$$\frac{1-\nu_1^2}{E_2} \approx 0$$

であるから、Aの値は下記のようになる。

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} = 7.978 \times 10^{-3} (\text{cm}^2/\text{kg})$$

このAの値を使うと(2-22)式から、タマネギのそれぞれの大きさについて、落下高さ⁹⁾と最大加速度との関係は(2-29)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max(L-L-p)th} &= 28.079h^{3/5} \\ \ddot{\alpha}_{\max(L-p)th} &= 30.471h^{3/5} \\ \ddot{\alpha}_{\max(M-p)th} &= 33.848h^{3/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-29)$$

th 計算式
ex 実験式

$\ddot{\alpha}_{\max}$ 衝撃時の最大加速度,
G (980.665cm/s²)
サフィックス LL, L, M タマネギの大きさ
P 鉄板
LL-p, L-p, M-p
タマネギと鉄板との衝撃関係を示す

(2-29)式から明らかのように、同一落下高さにおいてタマネギの大きさ別に比較すると、軽いタマネギ程最大加速度は大きな値を示す。上式の間係を高さ別に $\ddot{\alpha}_{\max}$ の計算値を示したのが表2-3である。

一方衝撃時最大加速度の実測値は表2-4に示す通りであり、タマネギのそれぞれの大きさ別の最大加速度と落下高さとの関係は(2-30)式で表される。

Table 2-3. Calculated value of maximum acceleration in impact with steel plate, G

Drop height cm	Onion ↓ Steel plate			Wooden ball ↓ Steel plate			Wooden ball ↓ Steel plate covered with rubber		
	LL	L	M	LL	L	M	LL	L	M
	1	28.08	30.47	33.85	77.36	83.83	93.93	93.60	42.91
3	54.28	58.91	65.44	149.55	162.06	181.59	76.56	82.96	92.96
5	73.75	80.03	88.90	203.19	220.19	246.72	104.01	112.72	126.30
7	90.25	97.94	108.79	248.64	269.45	301.91	127.28	137.93	154.55
10	111.78	121.31	134.75	307.98	333.74	373.95	157.66	170.85	191.43
15	142.57	154.72	171.87	392.80	425.67	476.95	201.08	217.90	244.15
20	169.43	183.87	204.25	466.81	505.86	566.80	238.96	258.96	290.15

Table 2-4. Measured value of maximum acceleration in impact with steel plate, G

Drop height cm	Onion ↓ Steel plate			Wooden ball ↓ Steel plate			Wooden ball ↓ Steel plate covered with rubber		
	LL	L	M	LL	L	M	LL	L	M
	1	20.0	22.0	30.5	39.2	62.0	73.6	32.7	46.0
3	35.0	45.0	57.0	88.3	113.0	137.3	71.9	90.0	109.1
5	47.7	60.0	79.0	130.8	150.0	170.1	104.6	124.3	152.7
7	—	—	—	152.7	180.0	212.7	134.1	147.2	174.6
10	72.0	95.0	118.0	174.6	219.0	255.0	163.5	185.5	218.2
15	99.5	124.0	152.0	229.1	272.8	316.4	212.7	234.6	283.7
20	118.0	142.0	182.5	278.3	316.4	370.9	261.8	272.8	332.8

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max:LL-p:ex} &= 18.988h^{0.603} \\ \ddot{\alpha}_{\max:L-p:ex} &= 22.712h^{0.619} \\ \ddot{\alpha}_{\max:M-p:ex} &= 31.378h^{0.584} \end{aligned} \right\} \quad (2-30)$$

実測値と計算値を比較すると、図2-4、図2-5、図2-6に示すように、実測値は計算値より小さく現れている。これは衝撃時にタマネギが変形すると同時に鉄板に垂を生じたためであり、その垂分だけ衝撃エネルギーが吸収されて最大加速度が弱められる。従ってタマネギの大きさが大きくなるに伴い、実測値と計算値との差が広がり、M玉においてはその差が21Gであるが、L玉、LL玉ではそれぞれ46G、50Gとなっている。

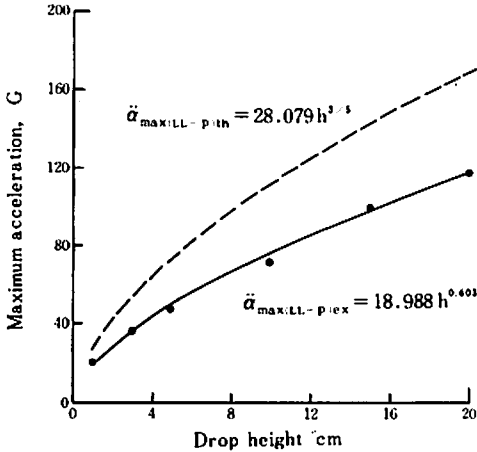


Fig 2-4. Maximum acceleration in impact of LL size onion and steel plate

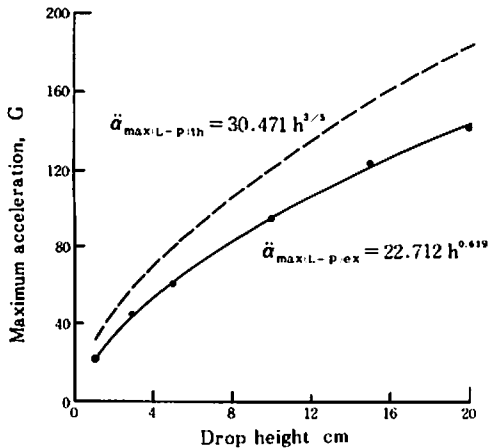


Fig 2-5. Maximum acceleration in impact of L size onion and steel plate

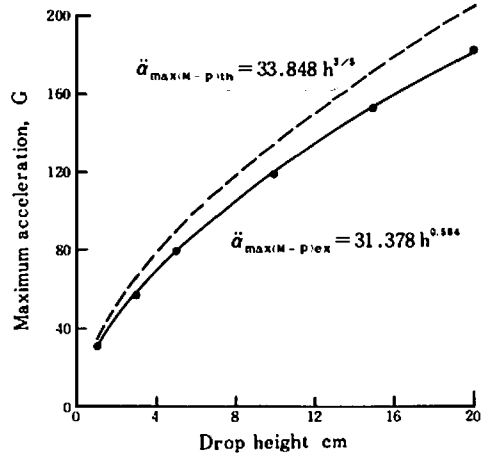


Fig 2-6. Maximum acceleration in impact of M size onion and steel plate

2) 木製球の衝撃

木製球と鉄板の衝撃については、鉄板の $E/(1-\nu^2)$ の値を $E_2/(1-\nu_2^2) = \infty$ として A の値は次のようになる。

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} = 5.965 \times 10^{-4} \text{ (cm}^2/\text{kg)}$$

この A の値を用いて (2-22) 式から最大加速度と落下高さとの関係は (2-31) 式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max:(LL-w-p):th} &= 77.361h^{3/5} \\ \ddot{\alpha}_{\max:(L-w-p):th} &= 83.833h^{3/5} \\ \ddot{\alpha}_{\max:(M-w-p):th} &= 93.932h^{3/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-31)$$

LLw, Lw, Mw 木製球の大きさ LL, L, M

一方実測値は図2-7に示すような値が得られた。この実測結果から木製球の大きさ別に最大加速度と落下高さとの関係式を求めると (2-32) 式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max:LL-w-p:ex} &= 48.036h^{0.584} \\ \ddot{\alpha}_{\max:L-w-p:ex} &= 62.346h^{0.542} \\ \ddot{\alpha}_{\max:M-w-p:ex} &= 73.548h^{0.540} \end{aligned} \right\} \quad (2-32)$$

式 (2-31) と (2-32) とを比較すると明らかのように実測値は計算値よりかなり低い値を示している。例えば落下高さ 20cm についてみると、LL 球、L 球、M 球のそれぞれの計算値との差は 189G (=467G - 278G)、190G (=506G - 316G)、

196G (=567G-371G)であり、いずれの場合も実測値が200G程度低く現れている。木製球はタマネギに比較すると硬いために衝撃によって生ずる鉄板の歪が大きくなり、落下装置の振動等によ

球を落下し衝撃を与えた場合にはAは次の値をとる。

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} = 5.965 \times 10^{-4} + 2.585 \times 10^{-3} = 3.1815 \times 10^{-3}$$

このAの値を用いて(2-22)式から木製球がゴム被覆鉄板に衝突した場合の最大加速度と落下高さとの関係式は(2-33)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{a}_{\max(L-L-w-PR)th} &= 39.602h^{3/5} \\ \ddot{a}_{\max(L-w-PR)th} &= 42.915h^{3/5} \\ \ddot{a}_{\max(M-w-PR)th} &= 48.085h^{3/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-33)$$

PR ゴム被覆鉄板

木製球とゴム被覆鉄板の衝撃時最大加速度の実測値は図2-8に示す通りであり、最大加速度と落下高さとの関係式は(2-34)式で表される。

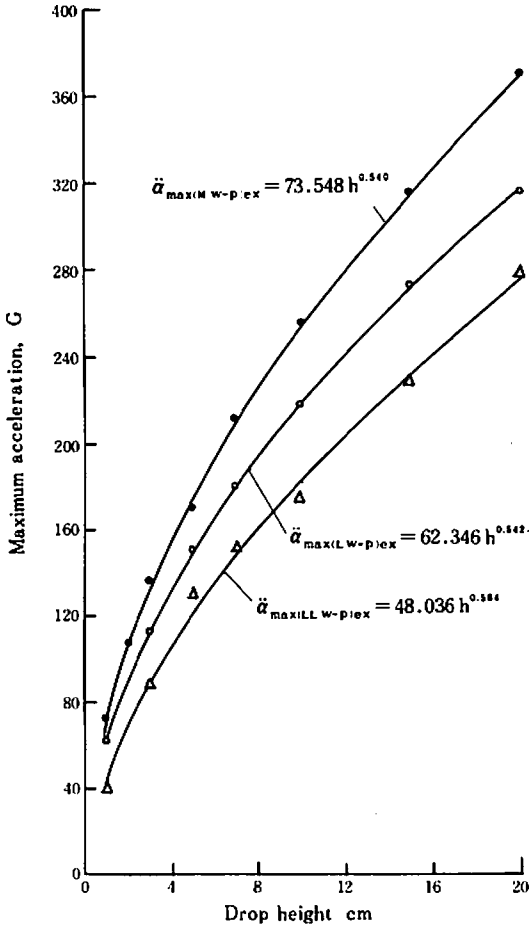


Fig 2-7. Maximum acceleration in impact of wooden balls and steel plate

り最大加速度が吸収されたものと考えらる。実際の収穫作業においては木製コンテナ或は鉄製コンテナの場合でも衝撃時に歪を伴うのが普通であるから、本実験の如く鉄板の歪発生はむしろ現実に近い状態である。

鉄板に厚さ3mmのゴムを被覆し、その上に木製

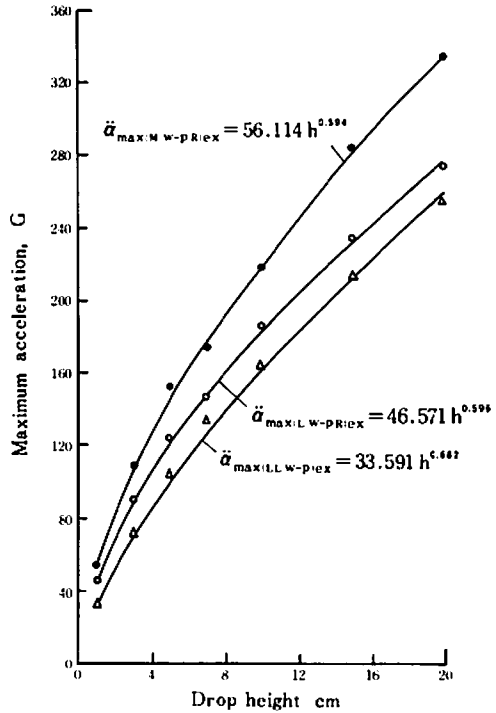


Fig 2-8. Maximum acceleration in impact of wooden balls and steel plate covered with rubber

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\alpha}_{\max LL-w-PRex} &= 33.591h^{0.682} \\ \ddot{\alpha}_{\max L-w-PRex} &= 46.571h^{0.596} \\ \ddot{\alpha}_{\max M-w-PRex} &= 56.114h^{0.594} \end{aligned} \right\} \quad (2-34)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{o,LL} &= 0.395h^{0.018} \\ C_{o,L} &= 0.364h^{0.076} \\ C_{o,M} &= 0.427h^{0.044} \end{aligned} \right\} \quad (2-37)$$

式(2-33)、(2-34)から明らかになるように計算値が実測値より小さく現れる。このように計算値が実測値を下回った原因は鉄板にゴムを張った場合、落下衝撃による高い圧力を受けるとゴムの変化が大きくなり、鉄板の影響を受けることになるが、計算値の場合は静的な硬度をもつゴム層として扱い、鉄板の影響を無視する結果になるからである。

即ち計算値では $E_1/(1-\nu_1^2)$ が小さくなるので

$$A = (1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2$$

の値は大きくなり、最大加速度は低下すると推測するのが至当と考える。

1)及び2)の結果から実際に鉄板と衝突する時のタマネギ自体並びに被覆ゴムによる衝撃エネルギーの吸収割合は木製球の最大加速度の比で表わすことが出来る。

タマネギが鉄板に衝突した時のタマネギ衝撃エネルギーの吸収程度は(2-35)式で表される。

$$C_o = \ddot{\alpha}_{\max(o-p)} / \ddot{\alpha}_{\max(w-p)} \quad (2-35)$$

C_o タマネギと木製球の最大加速度比
 $\ddot{\alpha}_{\max(w-p)}$ 木製球と鉄板の衝撃最大加速度
 $\ddot{\alpha}_{\max(o-p)}$ タマネギと鉄板の衝撃最大加速度

又ゴムによる衝撃エネルギーの吸収程度は、上式と同様な考え方により(2-36)式で示される。

$$C_R = \ddot{\alpha}_{\max(w-PR)} / \ddot{\alpha}_{\max(w-p)} \quad (2-36)$$

C_R ゴム被覆時と鉄板時の最大加速比
 $\ddot{\alpha}_{\max(w-PR)}$ 木製球とゴム被覆鉄板の衝撃最大加速度

(2-35)式を用いてタマネギの大きさ別の C_o を求めると、実験式(2-30)、(2-32)より(2-37)式のようになる。

この C_o の値は落下高さの違いによって異なるので、落下高さ1cmから20cmの範囲における C_o の値を算出すると次のようになる。

$$\begin{aligned} LL玉 & 0.395 \sim 0.417 \\ L玉 & 0.364 \sim 0.458 \\ M玉 & 0.427 \sim 0.488 \end{aligned}$$

タマネギが同じ大きさの場合には落下位置が高くなるにつれて吸収量が減少し、又タマネギが大きい程衝撃エネルギーの吸収量が增大する。落下高さが20cmについてみると、LL玉、L玉、M玉の C_o 値はそれぞれ0.417、0.458、0.488であり、LL玉が最も低い値を示しているが、これはタマネギの変形が最も大きく、それだけ衝撃エネルギーを吸収していることになる。従ってこの吸収率が一定以上に高まると、タマネギの弾性限界を越えて損傷が発生する。

被覆ゴムによる衝撃の吸収程度は式(2-32)、(2-34)から被覆ゴムと鉄板に対する木製球の最大加速度比(2-38)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} C_{R,LL} &= 0.699h^{0.097} \\ C_{R,L} &= 0.747h^{0.054} \\ C_{R,M} &= 0.763h^{0.055} \end{aligned} \right\} \quad (2-38)$$

タマネギの場合と同様に落下高さ1cm~20cmの範囲における C_R の値は次のようになる。

$$\begin{aligned} LL玉 & 0.699 \sim 0.937 \\ L玉 & 0.747 \sim 0.877 \\ M玉 & 0.763 \sim 0.899 \end{aligned}$$

ゴム被覆についても木製球が同じ大きさの場合には落下位置が高くなるに伴い、吸収量は減少する(C_R の値は増加する)。又大きさの違いによる吸収量については、落下位置が比較的低い時点ではゴムは弾性限界内にあるのでLL球による衝撃力の吸収量が大きい、落下位置が高くなると、ゴムの下が鉄板になっているので、ゴム弾性範囲を越

えて鉄板の影響を受け、LL球に対する衝撃吸収量が低下する。

2. 衝撃時の最大変形深さと損傷

1) タマネギと木板 (又は鉄板) の衝撃

タマネギに与える衝撃が比較的小さい範囲では、(2-20)式を用いてタマネギの最大変形深さを求めることが出来る。

タマネギと木板の衝撃の場合にはAの値は次のようになる。

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} = 7.978 \times 10^{-3} + 5.965 \times 10^{-4} = 8.5745 \times 10^{-3}$$

(2-20)式からタマネギの大きさ別について最大変形深さと落下高さとの関係式は(2-39)式で表される。

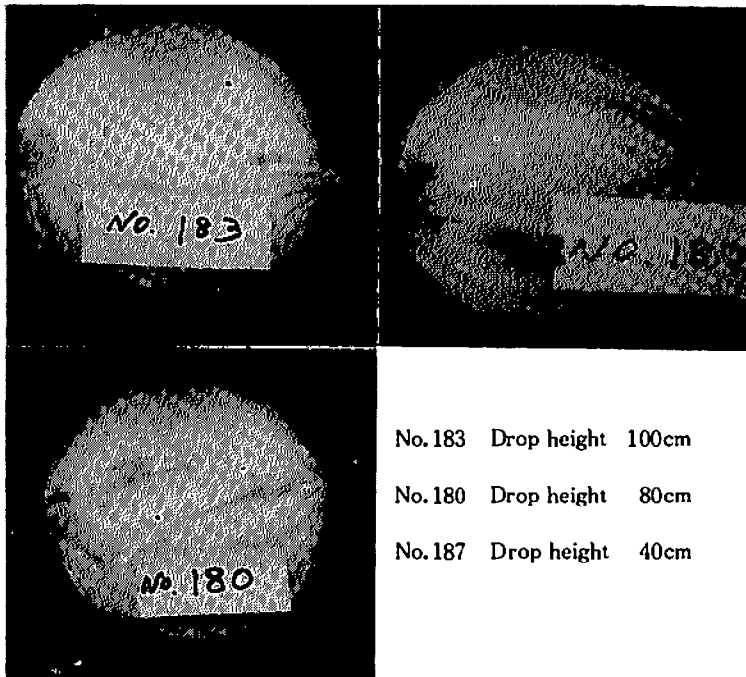
$$\left. \begin{aligned} D_{\max/L-L-wp} &= 9.164 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max/L-wp} &= 8.428 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max/M-wp} &= 7.602 \times 10^{-2} h^{2/5} \end{aligned} \right\} (2-39)$$

D_{\max} 最大変形深さ, cm
wp 木板

タマネギと鉄板の衝撃の場合にはタマネギに対して鉄板は $(1-\nu_2^2)/E_2 \approx 0$ と見なし得るので、Aの値はタマネギのものを用いる。木板との衝撃の場合と同様に(2-20)式からタマネギの大きさ別の最大変形深さは(2-40)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} D_{\max/L-L-p} &= 8.903 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max/L-p} &= 8.188 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max/M-p} &= 7.386 \times 10^{-2} h^{2/5} \end{aligned} \right\} (2-40)$$

タマネギは衝撃を受けて変形するが、その変形による圧縮力を受けて鱗葉に損傷が生じる。従って変形深さが増加すると、損傷の侵入深さも増大することになるが、変形深さと損傷深さとは一致



No. 183 Drop height 100cm
No. 180 Drop height 80cm
No. 187 Drop height 40cm

Fig 2-10. Damage of onions of LL size in colliding with wood plate

するものではない。しかし変形深さを知ることにより損傷の発生程度を推定することができる。

タマネギの損傷はバレイショのように亀裂が生じることがなく、図2-10に見る通り、損傷の発生深さは外部から内部に向かって損傷幅の減少を伴って現れるので、損傷の発生深さの判断が容易であり、最大変形深さとの関係を検討する場合には好都合である。タマネギが木板と衝突した時のタマネギの損傷発生深さの実測値は図2-11～図2-13に示す通りである。この図から明らかなように、落下高さが20cm以下と40cm以上とでは損傷発生に不連続的な面が見られ、損傷の発生深さが20cm高さ以下では4mm以下に止まるが、高さが40cm以上になるといずれの大きさの場合も損傷発生深さは14mm以上に達し、深さの増加が著しい。このような損傷深さの増大はタマネギの組織

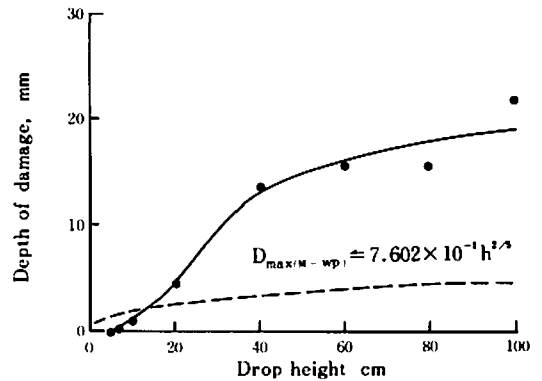


Fig 2-13. Depth of damage of M size onion in colliding with wood plate

が破壊されていることを示しているのもはやHERZの理論の適用は出来ない。

一方最大変形深さは、落下高さが20cmの時LL玉で3.04mm、L玉で2.80mm、M玉では2.52mmである。この値にはタマネギと木板の変形深さが含まれるが、タマネギに比べて木板の変形深さは僅少であるので、無視し得るものであり、従ってこの場合の変形はタマネギの最大変形深さとして差し支えがない。落下高さが20cmの時に最大変形深さと損傷の発生深さがほぼ同じか損傷が若干深い。落下高さが20cmより低くなると、最大変形深さが損傷の発生深さを上回る。例えば、落下高さが5cmの時変形深さが1.5～1.8mm生じているのに拘らず、タマネギの損傷深さは0であり、この程度の最大変形深さでは損傷を伴わないことが明らかとなる。落下高さが7cmの時ではLL玉のみが2.0mmの変形深さを示し、損傷の発生深さが2mm生じたがL玉、M玉では変形深さが1.84mm、1.66mmを示し、いずれも損傷の発生深さは0となっている。以上のことから、損傷発生の限界落下高さは7cm程度であり、又最大変形深さから見ると、最大変形深さが2mm以下であれば、損傷は発生しないものと判断される。

タマネギの大きさの違いによる最大変形深さは同一落下高さで比較すると

$$D_{\max(LL)} > D_{\max(L)} > D_{\max(M)}$$

であり、タマネギが大きい程最大変形深さは増加する。この傾向は損傷の発生深さにも現れ、LL玉が最も損傷が深く入り、M玉が最も浅い。しか

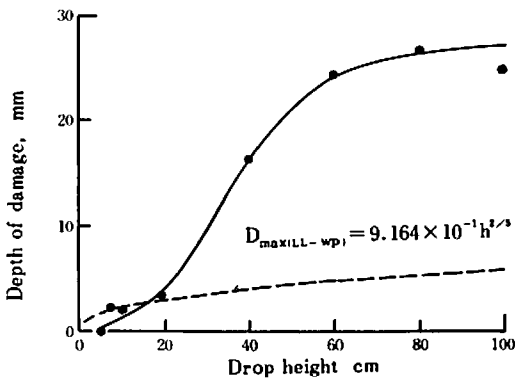


Fig 2-11. Depth of damage of LL size onion in colliding with wood plate

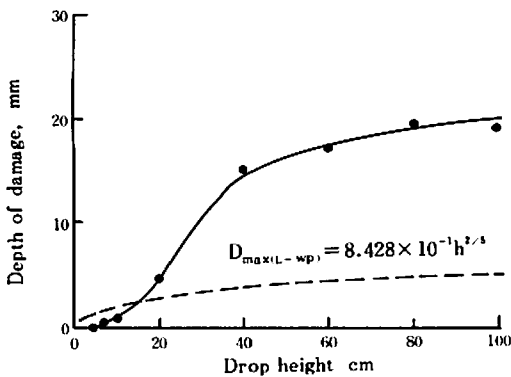


Fig 2-12. Depth of damage of L size onion in colliding with wood plate

しLL玉の場合でも、落下高さが60cmでやや横這い状態を示しており、最大変形深さも4.71mmとなって永久歪が生じるだけではなく、組織が破壊されていることが明瞭に現れる。

タマネギと鉄板の衝撃時における損傷発生深さは図2-14に示す通りである。

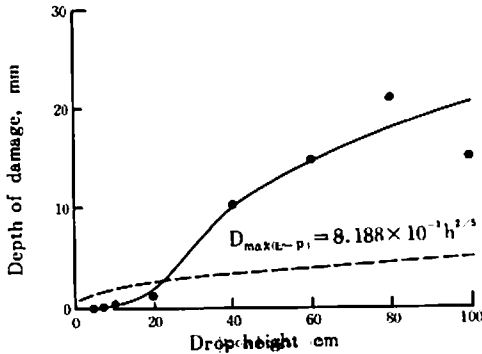


Fig 2-14. Depth of damage of L size onion in colliding with steel plate

最大変形深さは木板衝撃に比較し大きな値を示すが、供試鉄板の厚さが3mmで且つ両端自由支持であるためタマネギの衝突によって鉄板が変形するので、損傷の発生深さは木板より低く現れる結果となっている。

2) タマネギ相互の衝撃

ここではLL玉とLL玉、L玉とL玉、M玉とM玉のように同じ大きさのタマネギが相互に衝撃する場合を取扱うので、 $m_1 = \infty$ 、 $R_1 = R_2$ とくと(2-16)式は(2-41)式の形となる。

$$D_{max} = [Am_1]^{2/5} \left(\frac{2}{R_1}\right)^{1/5} h^{2/5} \quad (2-41)$$

タマネギ相互の衝突時のAの値は次のようになる。

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} \times 2 = 1.5956 \times 10^{-2}$$

このAの値と(2-41)式から、各大きさ毎の最大変形深さと落下高さとの関係式は(2-42)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} D_{max(LL-LL)} &= 0.135 h^{2/5} \\ D_{max(L-L)} &= 0.126 h^{2/5} \\ D_{max(M-M)} &= 0.112 h^{2/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-42)$$

但しタマネギ相互の衝撃では最大変形深さは両タマネギの変形深さの合計深さであるので、図2-15~図2-17に示した変形深さは理論値の1/2としている。

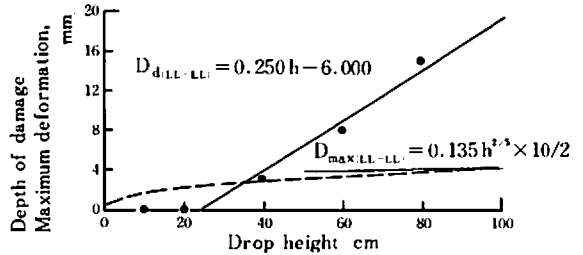


Fig 2-15. Depth of damage and maximum deformation in mutual impacting of LL size onions

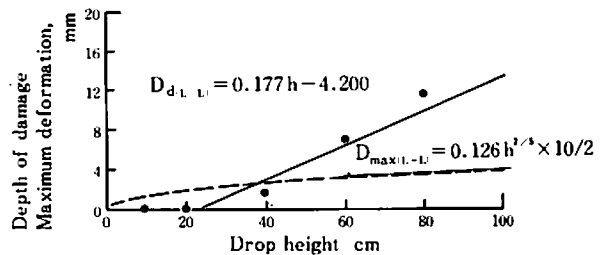


Fig 2-16. Depth of damage and maximum deformation in mutual impacting of L size onions

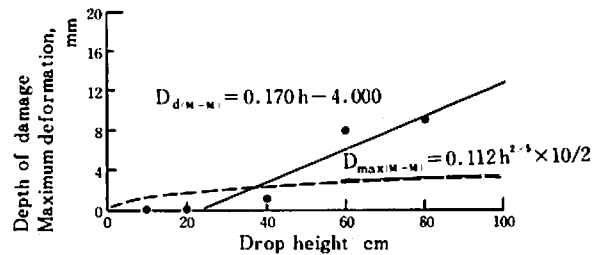


Fig 2-17. Depth of damage and maximum deformation in mutual impacting of M size onions

タマネギ相互の衝撃の場合には、図2-15~図2-17に示すように、落下高さが20cm以下ではいずれの大きさについても損傷の発生深さは0であるが、落下高さが40cmに達すると、損傷深さが3mm程度現れる。更に落下位置が高くなって60cmに及ぶと、損傷発生深さは8mm前後となっ

て損傷の侵入度が強まる。いずれの大きさのタマネギでも損傷の発生深さ (D_d) が落下高さと同比例係にあり、(2-43)式の如き一次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} D_{d(LL-L)} &= 0.250 h - 6.000 \\ D_{d(L-L)} &= 0.177 h - 4.200 \\ D_{d(M-M)} &= 0.170 h - 4.000 \end{aligned} \right\} \quad (2-43)$$

D_d タマネギの損傷の発生深さ、mm
但し $D_d < 0$ の時は $D_d = 0$ とする。

落下高さが20cmの時の最大変形深さはLL玉が1.70mm、L玉が1.56mm、M玉が1.41mmであり、いずれの大きさも変形深さは2mm未満であり、損傷が発生していない。タマネギと木板の衝撃では最大変形深さが2mm以下では損傷の発生深さは生じなかったが、タマネギ相互の衝撃においても同様な結果を示した。落下高さが40cmに達すると、最大変形深さはLL玉、L玉、M玉でそれぞれ2.24mm、2.06mm、1.86mmとなり、図2-15~図2-17に示すように損傷が発生し、変形深さと損傷の発生深さが同程度の値を示している。しかし60cmの高さ以上では最大変形深さに対するタマネギの耐圧限界を越えて損傷の発生深さが増大する。

このように落下高さの増加に伴い、損傷の発生深さが増大するが、木板との衝撃に比較すると、タマネギ相互が球体相互の衝撃であっても損傷が少ないことが明らかとなった。本実験ではタマネギを鉄板上に置いているが、実際の収穫ではタマ

ネギの堆積層の上にあるタマネギとの衝撃であるので、この種の損傷は更に軽減される。

3) タマネギと丸鋼の衝撃

タマネギと丸鋼の衝撃の場合には、丸鋼は球体に比較して接触面積が大きくなるので、HERZの2球体の理論の適用については補正する必要がある。

球がタマネギに衝突してDmm沈下した場合の接触面積は、タマネギの R_1 に対して球の R_2 はかなり小さいので、平面に対する沈下と見ると図2-18(a)から半径 R_2 の球がDだけ沈下した時の接触面積は(2-44)式で表される。

$$A_s = \pi(a^2 + D^2) \quad (2-44)$$

- A_s 球の接触面積
- D 球の沈下深さ
- a 球の沈下長さの1/2

ここで a と D は次式で示される。

$$a = R_2 \sin \frac{\phi}{2}$$

$$D = R_2 (1 - \cos \frac{\phi}{2})$$

$$\cos^2 \frac{\phi}{2} = \left(\frac{D}{R_2} \right)^2$$

よって、 a は R_2 と D で表される。

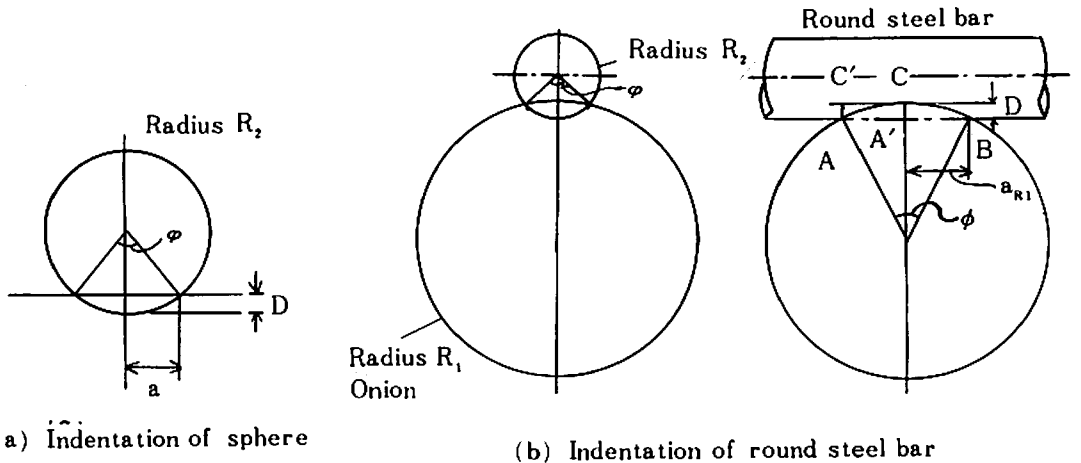


Fig 2-18. Comparison of contact area in indentation of sphere and round steel bar

$$\begin{aligned}
 a^2 &= R_2^2 \sin^2 \frac{\phi}{2} \\
 &= R_2^2 \left[1 - \left(1 - \frac{D}{R_2} \right)^2 \right] \\
 &= 2 R_2 D - D^2
 \end{aligned}$$

上式の a を (2-44) 式に代入して、 A_s は (2-45) 式となる。

$$A_s = 2 \pi R_2 D \quad (2-45)$$

一方丸鋼がタマネギに衝突した場合には、最大沈下深さを D とすると、丸鋼の D 沈下時の接触弧長 (L) は図 12-18(b) から (2-46) 式で示される。

$$\begin{aligned}
 L &= \pi R_2 \frac{\phi}{180} \\
 &\doteq \left[(2a)^2 + \frac{16}{3} D^2 \right]^{1/2} \\
 &= \left[\frac{4}{3} D (6R_2 + D) \right]^{1/2} \quad (2-46)
 \end{aligned}$$

又丸鋼の長軸がタマネギに沈下する長さは (2-47) 式のようになる。

$$\begin{aligned}
 a_{R_1} &= R_1 \sin \frac{\phi}{2} \\
 &= R_1 \left[1 - \left(1 - \frac{D}{R_1} \right)^2 \right]^{1/2} \\
 &= [2 R_1 D - D^2]^{1/2} \quad (2-47)
 \end{aligned}$$

弧長 ABC と接触する丸鋼の面積は近似値として円筒側面 AA'CC' を用いると、丸鋼の接触面積は (2-48) 式となる。

$$\begin{aligned}
 A_b &= L a_{R_1} \\
 &= \left[\frac{4}{3} D (6R_2 + D) \right]^{1/2} (2 R_1 D - D^2)^{1/2} \\
 &= \left[\frac{4}{3} D^2 (6R_2 + D) (2 R_1 - D) \right]^{1/2} \quad (2-48)
 \end{aligned}$$

球と丸鋼との接触面積の比率は、式 (2-45) と (2-48) から (2-49) 式で表される。

$$\frac{A_b}{A_s} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{3} \left(6 + \frac{D}{R_1} \right) \left(\frac{2R_1}{R_2} - \frac{D}{R_2} \right) \right]^{1/2} \quad (2-49)$$

D があまり大きくない範囲においては

$$\frac{D}{R_1} \rightarrow 0$$

とおくと、(2-49) 式は (2-50) 式の如く R_1 と R_2 の関係で表される。

$$\frac{A_b}{A_s} = \frac{2}{\pi} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{1/2} \quad (2-50)$$

従って同じ半径を持つ丸鋼と球体の接触面積の比は (2-50) 式で与えられるので、 R_2 の丸鋼と同一の接触面積を有する球体の半径 (R'_2) は近似値として (2-51) 式から求めることが出来る。

$$\begin{aligned}
 R'_2 &= R_2 A_b / A_s \\
 &= \frac{2}{\pi} \sqrt{R_1 R_2} \quad (2-51)
 \end{aligned}$$

丸鋼の半径 ($R_2 = 0.5 \text{ cm}$) 並びにこの丸鋼にゴム 1 mm, 2 mm, 3 mm を被覆した場合の R'_2 は (2-51) 式より求めると表 2-5 のようになる。

タマネギと丸鋼の衝撃時最大変形深さは (2-16) 式において $m_2 = \infty$, $R_2 = R'_2$ とおくと、球体に補正した最大変形深さは (2-52) 式で表される。

Table 2-5. Value of R'_2 in impact of onions and round steel bar of 10mm diameter, mm

Radius of Round onions	Round steel bar	Round steel bar covered with rubber		
		1mm	2mm	3mm
4.60	0.965	1.058	1.142	1.221
4.17	0.920	1.007	1.088	1.163
3.75	0.872	0.955	1.031	1.103

$$D_{\max} = 20.221 (Am_1)^{2/3} \left(\frac{R_1 + R'_2}{R_1 R_2} \right)^{1/3} h^{2/3} \quad (2-52)$$

(2-52)式を用いてタマネギの大きさ別に最大変形深さと落下高さとの関係式は(2-53)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(LL-b)} &= 0.126 h^{2/3} \\ D_{\max(L-b)} &= 0.115 h^{2/3} \\ D_{\max(M-b)} &= 0.103 h^{2/3} \end{aligned} \right\} \quad (2-53)$$

LL, L, M タマネギの大きさ
b 丸鋼

(2-53)式の計算値は図2-19に実測値と共に示してある。これから明らかなように、タマネギと丸鋼の衝撃時の最大変形深さは大きなタマネギ程大きい。この傾向は実測時の損傷の発生深さにも

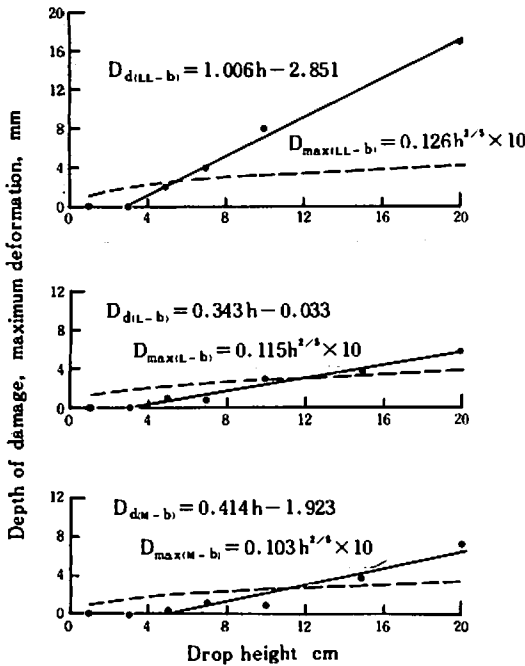


Fig 2-19. Depth of damage and maximum deformation in impact with steel bar

認められ、又落下高さが増すに伴い、発生深さは比例的に内部に侵入する。落下高さとの関係は(2-54)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} D_{d(LL-b)} &= 1.006 h - 2.825 \\ D_{d(L-b)} &= 0.343 h - 0.033 \\ D_{d(M-b)} &= 0.414 h - 1.923 \end{aligned} \right\} \quad (2-54)$$

但し $D_d < 0$ の時は $D_d = 0$ とする。

タマネギのいずれの大きさも図2-19に示すように落下高さ3cm以下では損傷の深さは0となっており、一方最大変形深さはLL玉、L玉、M玉がそれぞれ1.95mm、1.76mm、1.55mmと2mm以下を示している。これはタマネギと木板の衝撃及びタマネギ相互の衝撃で示された最大変形深さと損傷の発生深さの関係が、丸鋼との衝撃においても適用することを示すものである。

落下高さが5cmになると、M玉のみが1.91mmと2.0mm以下の変形深さを示すが、LL玉、L玉は2.39mm、2.16mmであり、損傷発生限界変形深さ2.0mmを越えている。実測においても図2-19に見られるように、損傷が発生し、その発生深さはLL玉で2mm、L玉では1mmとなっている。

丸鋼の衝撃の場合には木板等の平板と異なり、損傷の発生程度が大きく、最大変形深さについてみると、丸鋼の場合で5cm高さの時2.39mm(LL玉)であるが、この変形深さは木板の衝撃に当てはめると落下高さ10cmまで引上げられることになる。更にタマネギ相互の衝撃に当てはめると、40cm高さに相当し、タマネギの損傷が発生する落下高さが緩和される。このように直径の小さい丸鋼の衝撃による損傷発生は著しいことが明らかであり、図2-19に見るように、落下高さが20cmの時に生ずる損傷は発生深さは浅いが、鱗葉の破壊が著しい。

丸鋼の衝撃による損傷は図2-20~図2-22に示すようにゴムを被覆することによってその発生程度がかなり緩和される。

丸鋼にゴムを被覆した場合の $E_2/(1-\nu_2^2)$ は次のようになる。

ゴム厚さ 1 mm	437.99kg/cm ²
" 2 mm	279.70kg/cm ²
" 3 mm	196.72kg/cm ²

被覆丸鋼の半径 R_2 は表2-5に示す通りであり、(2-52)式を用いると各被覆厚さ別の関係式は次のようになる。

ゴム被覆厚さ1mmの場合

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(LL-bR1)} &= 0.138 h^{2/3} \\ D_{\max(L-bR1)} &= 0.126 h^{2/3} \\ D_{\max(M-bR1)} &= 0.112 h^{2/3} \end{aligned} \right\} \quad (2-55)$$

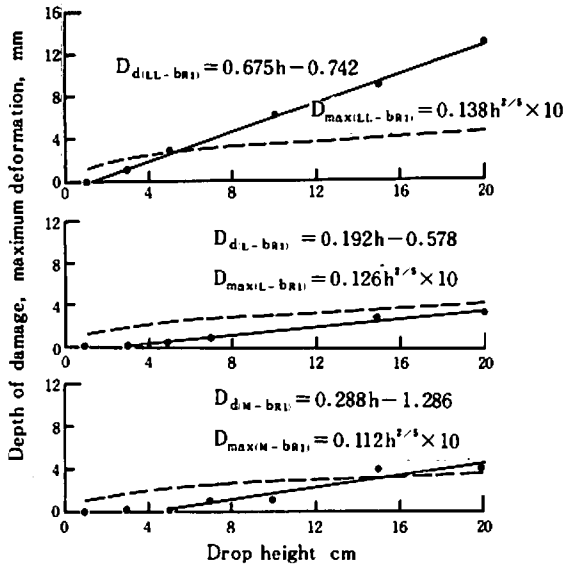


Fig 2-20. Damage depth and maximum deformation in impact with round steel bar covered with rubber of 1 mm thickness

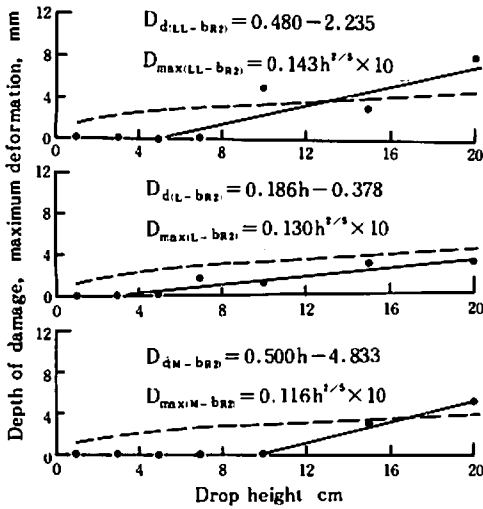


Fig 2-21. Damage depth and maximum deformation in impact with round steel bar covered with rubber of 2 mm thickness

ゴム被覆厚さ 2 mm の場合

$$\left. \begin{aligned} D_{max(LL-bR2)} &= 0.143 h^{2/5} \\ D_{max(L-bR2)} &= 0.130 h^{2/5} \\ D_{max(M-bR2)} &= 0.116 h^{2/5} \end{aligned} \right\} (2-56)$$

ゴム被覆厚さ 3 mm の場合

$$\left. \begin{aligned} D_{max(LL-bR3)} &= 0.148 h^{2/5} \\ D_{max(L-bR3)} &= 0.135 h^{2/5} \\ D_{max(M-bR3)} &= 0.121 h^{2/5} \end{aligned} \right\} (2-57)$$

$bR1, bR2, bR3$ 厚さ 1 mm, 2 mm, 3 mm のゴムを被覆した丸鋼

式 (2-55), (2-56), (2-57) から落下高さ 20cm 以下についての計算値は図 2-20~図 2-22 に示した。この最大変形深さはタマネギの変形深さを含めたものであるため、両者を分離して考える必要がある。

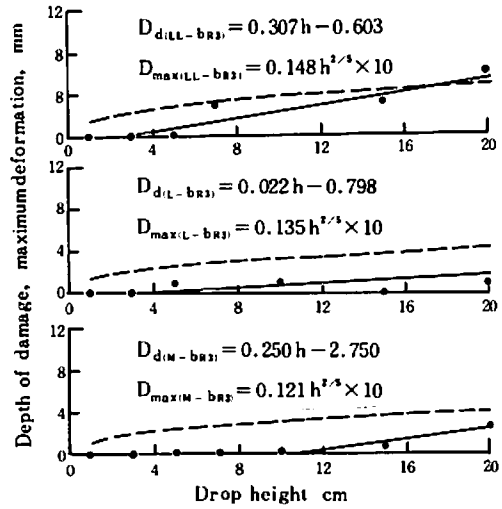


Fig 2-22. Damage depth and maximum deformation when covered with rubber of 3 mm thickness

丸鋼の衝撃によるタマネギの変形深さを D 、被覆丸鋼の衝撃によるタマネギとゴムの変形深さの合計を D_1 としてタマネギの変形深さが被覆の有無に拘らず同じ値をとると仮定すると、ゴム被覆をした時でもタマネギの変形深さが D である時のゴム変形深さ (λ) は

$$\lambda = D_1 - D$$

であり、最大変形深さの合計 D_1 ($D_1 = D_0 + D_R$) を代入すると、 λ は次式となる。

$$\lambda = D_0 - D + D_R$$

D_0 被覆丸鋼衝撃のタマネギの最大変形深さ
 D_R 被覆丸鋼衝撃のゴムの最大変形深さ

ここで仮定した $D_0 = D$ により $\lambda = D_R$ となるが、しかし実際にはゴム緩衝作用により、 $D_0 < D$ であるから λ は次の如く表される。

$$\lambda = D_0 - D + D_R < D_R$$

従ってゴムが厚くなるに伴い、タマネギの最大変形深さが減少して、ゴムの変形深さは増加する。よってタマネギ衝撃によるゴムの変形深さは

$$\lambda - D_0 = 2 D_0 - D + D_R$$

であり、ゴムが厚くなるにつれて、次のような順序になり、 λ の値を表 2-6 に示してある。

$$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$$

サフィックス 1, 2, 3 はゴム厚さを示す。

一方ゴム被覆の硬度はゴム厚さの増加に伴い低下するので、タマネギ変形量は減少することになり、表 2-6 の λ の値より小さくなるが次式の関係が成り立つことから、ゴムが厚くなる程ゴムの最大変形深さが増加するので、明らかに衝撃の緩衝効

Table 2-6. λ value in impact of onions and round steel bars covered with rubber, mm

Thickness of rubber mm	Size of onions	Drop height cm						
		1	3	5	7	10	15	20
1	LL	0.10	0.16	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34
	L	0.09	0.15	0.19	0.21	0.25	0.29	0.32
	M	0.09	0.15	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30
2	LL	0.13	0.21	0.26	0.29	0.34	0.39	0.44
	L	0.12	0.20	0.24	0.28	0.32	0.38	0.42
	M	0.12	0.19	0.22	0.26	0.29	0.35	0.39
3	LL	0.17	0.27	0.34	0.38	0.44	0.51	0.58
	L	0.16	0.26	0.31	0.36	0.41	0.49	0.55
	M	0.15	0.24	0.29	0.33	0.38	0.45	0.50

果とみなし得る。

$$(\lambda_1 - D_{01}) > (\lambda_2 - D_{02}) < (\lambda_3 - D_{03})$$

この緩衝効果は、図 2-20, 2-21, 2-22 に示す通り、実測においても明らかに認められ、例えば LL 玉についてみると落下高さ 20cm においてゴム 1mm 厚さの損傷深さが 13mm であるのに対して 2mm, 3mm 厚さでは損傷深さはそれぞれ 8mm, 6mm と減少している。

3. 接触時間及び最大圧縮時間

タマネギと鉄板の衝撃時加速度の変化を落下高さ 1 cm, 5 cm, 15cm の場合については図 2-23 に示してある。

この図ではいずれの落下高さの場合も立上りの最初の部分が切れている。これは測定時点でトリガレベルを最小振幅に同期させるようにしているが、シンクロスコープ内蔵の信号遅延回路の遅延

時間が $m\mu$ sec 単位で小さいため本実験のような機械的衝撃で立上りの遅い現象の場合には最初の部分がとんでしまう。従って時間軸の読取りについては曲線を延長、時間軸 ($\ddot{x} = 0$) との交点を $t = 0$ としている。

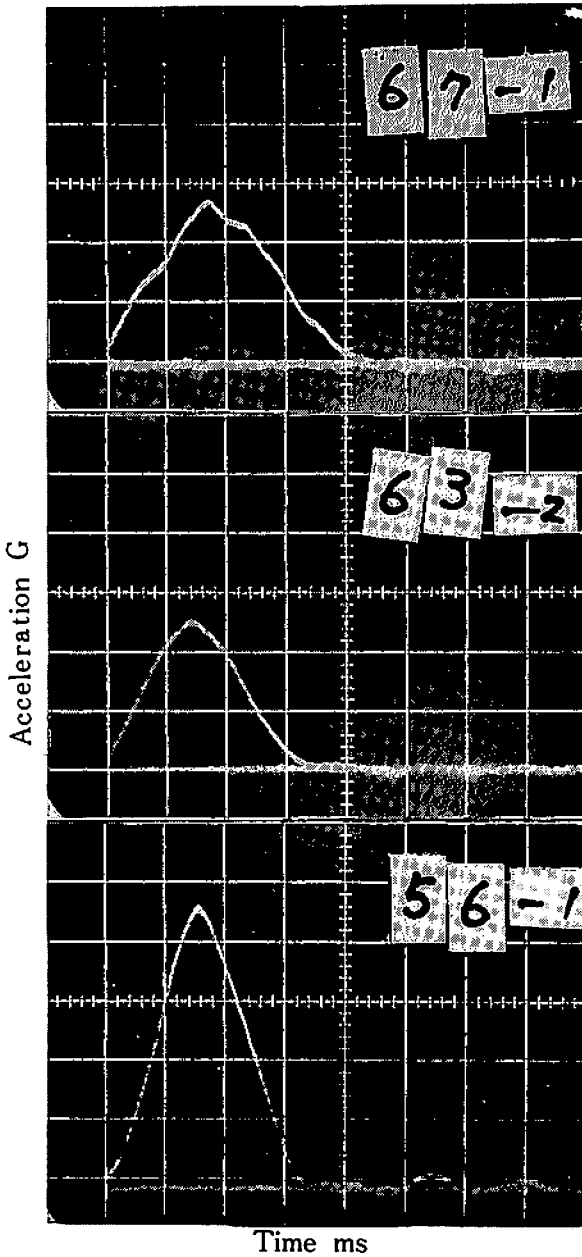
タマネギは完全弾性体ではないので、図に見るように最大加速度を中心に左右対象にはならず、右側が長い時間を要する。従っていずれの衝撃体の場合でも $t_m \times 2 \leq t$ となる。

t_m 最大圧縮時間, t 接触時間

タマネギと鉄板の衝撃については、(2-21)式を用いて落下高さ h と接触時間 t との関係は(2-58)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} t_{LL-p,th} &= 5.910 \times 10^{-3} h^{-1/10} \\ t_{L-p,th} &= 5.436 \times 10^{-3} h^{-1/10} \\ t_{M-p,th} &= 4.903 \times 10^{-3} h^{-1/10} \end{aligned} \right\} \quad (2-58)$$

実測結果は図 2-24~図 2-26 に示す通りであ



(a)
 Drop height 1 cm
 Maximum acceleration 31G
 Acceleration axis 10.9G/div
 Time axis 1.0ms/div

(b)
 Drop height 5 cm
 Maximum acceleration 81G
 Acceleration axis 32.7G/div
 Time axis 1.0ms/div

(c)
 Drop height 15cm
 Maximum acceleration 157G
 Acceleration axis 32.7G/div
 Time axis 1.0ms/div

Fig 2-23. Acceleration curve during impact of M size onion and steel plate

り、接触時間(t)と落下高さとの関係式は(2-59)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} t_{(LL-P)ex} &= 6.028 \times 10^{-3} h^{-0.108} \\ t_{(L-P)ex} &= 5.829 \times 10^{-3} h^{-0.156} \\ t_{(M-P)ex} &= 4.969 \times 10^{-3} h^{-0.107} \end{aligned} \right\} (2-59)$$

又最大圧縮時間(t_m)については(2-60)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} t_{m(LL-P)} &= 2.265 \times 10^{-3} h^{-0.171} \\ t_{m(L-P)} &= 2.498 \times 10^{-3} h^{-0.184} \\ t_{m(M-P)} &= 2.195 \times 10^{-3} h^{-0.157} \end{aligned} \right\} (2-60)$$

図2-24~図2-26に見るように実測値と計算値はよく一致する。

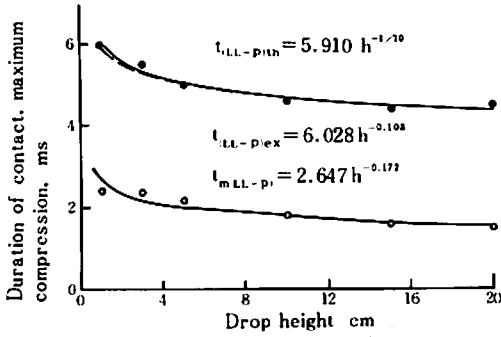


Fig 2-24. Duration of contact and maximum compression in impact of LL size onion and steel plate

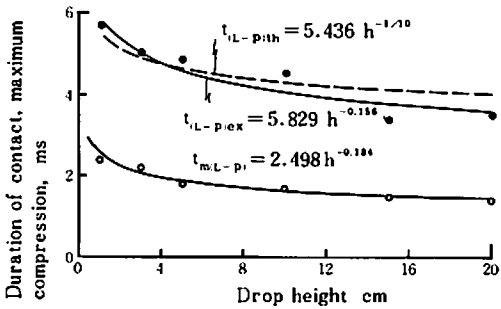


Fig 2-25. Duration of contact and maximum compression in impact of L size and steel plate

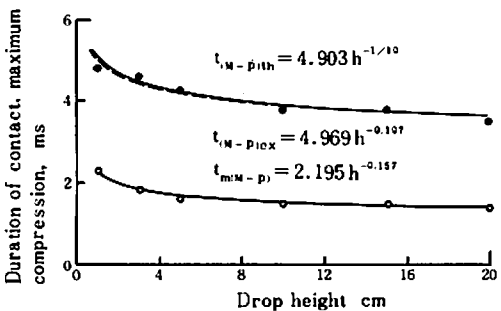


Fig 2-26. Duration of contact and maximum compression in impact of M size and steel plate

一部L玉については落下高さ15cm, 20cmで実測値が低い値を示しているため計算値より低く現れているが, LL玉, M玉については計算値にほぼ一致しており, 接触時間から判断する限り, 落

下高さ20cm以下ではHERZの理論が適用できる。木製球と鉄板の衝撃時の接触時間は(2-21)式から(2-61)式で示される。

$$\left. \begin{aligned} t_{(LL-w-p):th} &= 2.145 \times 10^{-3} h^{-1/10} \\ t_{(L-w-p):th} &= 1.980 \times 10^{-3} h^{-1/10} \\ t_{(M-w-p):th} &= 1.767 \times 10^{-3} h^{-1/10} \end{aligned} \right\} (2-61)$$

木製球を用いた実測値はLL球とL球について行っており, 図2-27~図2-28に示した。接触時間及び最大圧縮時間の実験式は式(2-62), (2-63)で表される。

$$\left. \begin{aligned} t_{(LL-w-p):ex} &= 2.924 \times 10^{-3} h^{-0.214} \\ t_{(L-w-p):ex} &= 2.476 \times 10^{-3} h^{-0.173} \end{aligned} \right\} (2-62)$$

$$\left. \begin{aligned} t_{m(LL-w-p)} &= 0.869 \times 10^{-3} h^{-0.089} \\ t_{m(L-w-p)} &= 0.783 \times 10^{-3} h^{-0.083} \end{aligned} \right\} (2-63)$$

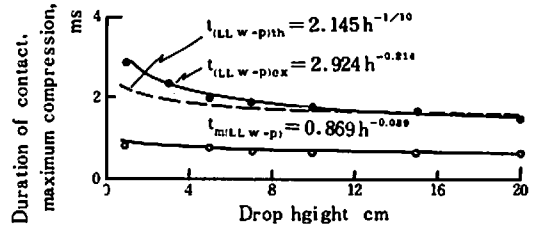


Fig 2-27. Duration of contact and maximum compression in impact of LL wooden ball and steel plate

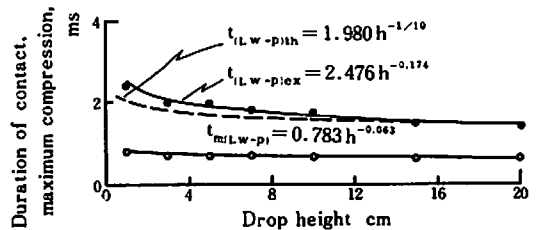


Fig 2-28. Duration of contact and maximum compression in impact of L wooden ball and steel plate

実測値と計算値を比較すると, LL球及びL球共に落下高さが低いところで, 実測値が計算値を上回っている。これは鉄板が両端で自由支持方法をとっているため, 硬い木製球については鉄板の歪が生じ, それだけ接触時間が長く要したものと考える。しかし落下高さ7~10cm以上においては

計算値とよく一致している。

最大圧縮時間については接触時間の1/2以下で接触時間と同じように、落下位置が高くなると小さくなるが、圧縮時間が0.9ms以下で微小な値であるので、その差は僅少である。

次に木製球と3mm厚さのゴムを被覆した鉄板との衝撃における接触時間は(2-21)式から(2-64)式となる。

$$\left. \begin{aligned} t_{(LL-w-pR)th} &= 4.191 \times 10^{-3} h^{-1/10} \\ t_{(L-w-pR)th} &= 3.867 \times 10^{-3} h^{-1/10} \\ t_{(M-w-pR)th} &= 3.451 \times 10^{-3} h^{-1/10} \end{aligned} \right\} \quad (2-64)$$

実測はL球のみについて行い、結果は図2-29に示す通りである。接触時間と落下高さとの関係式は(2-65)式で表される。

$$t_{(L-pR)ex} = 2.916 \times 10^{-3} h^{-0.153} \quad (2-65)$$

又最大圧縮時間は(2-66)式で示される。

$$t_{m(L-pR)} = 0.889 \times 10^{-3} h^{-0.092} \quad (2-66)$$

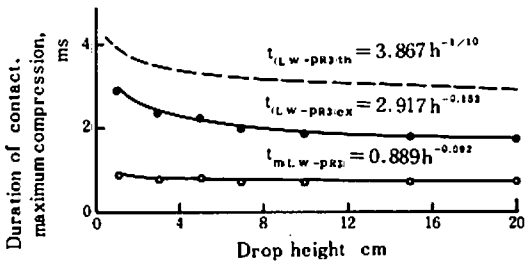


Fig 2-29. Duration of contact and maximum compression in impact of L wooden ball and steel plate covered with rubber of 3mm thickness

接触時間の実測値は計算値より低い値を示し、その差が大きい。この違いについては最大加速度でも見られた点であり、その理由は既に前の項で述べたところである。

以上の接触時間及び最大圧縮時間の測定結果より、タマネギ自体の変形深さによってもたらされる接触時間の増加は(2-67)式の如くタマネギと木製球のそれぞれの接触時間の比で表される。

$$t_p = \frac{t_{(o-p)}}{t_{(w-p)}} \quad (2-67)$$

- t_p タマネギと木製球が鉄板に衝突した時のそれぞれの接触時間の比
- $t_{(o-p)}$ タマネギと鉄板の衝撃時接触時間
- $t_{(w-p)}$ 木製球と鉄板の衝撃時接触時間

又ゴム被覆による接触時間の増加程度は上と同様な考え方にに基づき(2-68)式で表される。

$$t_{p(R)} = \frac{t_{(w-pR)}}{t_{(w-p)}} \quad (2-68)$$

- $t_{p(R)}$ 木製球が鉄板とゴム被覆鉄板に衝突した時のそれぞれの接触時間比
- $t_{(w-pR)}$ 木製球とゴム被覆鉄板の衝撃時の接触時間

接触時間におけるタマネギの変形による接触時間の増加比は次の如くである。計算値の比については式(2-58)、(2-61)からLL玉、L玉は下記の比をとり、落下高さ及び大きさに拘らず一定値を示す。

$$t_{p(LL)th} = \frac{t_{(o-p)}}{t_{(w-p)}} = \frac{5.910 \times 10^{-3} h^{-1/10}}{2.145 \times 10^{-3} h^{-1/10}} = 2.755$$

$$t_{p(L)th} = 2.745$$

実験値の比については式(2-59)、(2-62)からLL玉及びL玉は下記の比をとり、落下高さの違いによって接触時間比が異なる。

$$t_{p(LL)ex} = \frac{t_{(o-p)}}{t_{(w-p)}} = 2.062 h^{0.106}$$

$$t_{p(L)ex} = 2.354 h^{0.015}$$

落下高さが1cm~20cmの範囲にある時の t_p の値は次のようになる。

LL玉 2.062~2.830(106.2~183.0%増加)

L玉 2.354~2.482(135.4~148.2%増加)

以上により計算値の比に比較して実験値の比はかなり増加が低い。又タマネギのLL玉は落下高さの違いによる差が106.2%~183.0%であり、L玉の135.4~148.2%に比べるとその差が大きい。更にこの t_p はLL玉の方がL玉より大きく、LL

玉の変形深さの大きいことが示される。

最大圧縮時間については式(2-60), (2-63)から次の式を得る。

$$t_{m p(LL)} = \frac{t_{m(o-p)}}{t_{m(w-p)}} \\ = 3.045h^{-0.082}$$

$$t_{m p(L)} = 3.192h^{-0.121}$$

上式で $h = 1 \sim 20\text{cm}$ の範囲における増加比(t_{mp})は次の如くなる。

$$\text{LL玉} \quad 3.045 \sim 2.378$$

$$\text{L玉} \quad 3.192 \sim 2.222$$

即ち最大増加比は接触時間に比較するとLL玉とL玉の間の差は少ない。従ってタマネギの大きさの違いによる接触時間の差違は圧縮過程より復元過程で生じることが明らかとなる。

ゴム被覆による接触時間の増加程度は(2-68)式を用いて式(2-64), (2-61)から次の値を得、落下高さに関係なく一定値である。

$$t_{p(L)th} = \frac{3.867 \times 10^{-3} h^{-1/10}}{1.980 \times 10^{-3} h^{-1/10}} \\ = 1.953$$

実験値比については、式(2-65), (2-62)から次の値を得る。

$$t_{p(L)ex} = \frac{2.917 \times 10^{-3} h^{-0.183}}{2.476 \times 10^{-3} h^{-0.173}} \\ = 1.178h^{-0.009}$$

t_p の値は落下高さによって異なり落下高さが1~20cmの範囲の増加比は次のようになる。

$$\text{L玉} \quad 1.178 \sim 1.145$$

ゴム被覆によって17.8~14.5%の時間増加があり、緩衝作用が明らかに認められる。又最大圧縮時間の増加比は式(2-66), (2-63)から次の値を得る。

$$t_{m(L)} = \frac{0.889 \times 10^{-3} h^{-0.092}}{0.783 \times 10^{-3} h^{-0.063}} \\ = 1.136h^{-0.029}$$

落下高さが1~20cmの範囲の増加比は下の値を示す。

$$\text{L玉} \quad 1.136 \sim 1.043$$

以上の結果からゴム被覆による最大圧縮時間の増加比は接触時間に比較すると小さく、タマネギの場合と同様に圧縮に要する時間は圧縮後の復元時間より短いことが明らかとなる。

4. 最大接触応力と損傷

タマネギと木板又は鉄板の衝撃時における最大接触応力は(2-23)式からそれぞれ式(2-69), (2-70)で表される。

木板との衝撃

$$\left. \begin{aligned} S_{\max(L-L-wp)} &= 10.478 h^{1/5} \\ S_{\max(L-L-p)} &= 10.554 h^{1/5} \\ S_{\max(M-wp)} &= 10.570 h^{1/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-69)$$

鉄板との衝撃

$$\left. \begin{aligned} S_{\max(LL-p)} &= 11.100 h^{1/5} \\ S_{\max(L-p)} &= 11.181 h^{1/5} \\ S_{\max(M-p)} &= 11.198 h^{1/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-70)$$

タマネギ相互の衝撃の場合には(2-19)式に $m_2 = \infty$, $R_1 = R_2$ とおくことによって(2-71)式を得る。

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2.8625 \left[\frac{m_1}{A^4} \right]^{1/5} \left[\left(\frac{2}{R_1} \right)^3 \right]^{1/5} h^{1/5} \\ &= 4.3387 \left[\frac{m_1}{A^4 R_1^3} \right]^{1/5} h^{1/5} \end{aligned} \quad (2-71)$$

(2-71)式からタマネギの大きさ別の接触応力は(2-72)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} S_{\max(LL-LL)} &= 9.663 h^{1/5} \\ S_{\max(L-L)} &= 9.734 h^{1/5} \\ S_{\max(M-M)} &= 9.748 h^{1/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-72)$$

タマネギが木板、鉄板及びタマネギに衝突する時の最大接触応力は、式(2-69), (2-70), (2-72)より明らかなように鉄板が最も大きく、次いで木板であり、タマネギ相互衝撃の場合が最も

低い値を示している。又同一衝撃体に対してはタマネギのサイズが小さい方が応力が高く、損傷が生じ難いことが分る。

最大接触応力と損傷の発生深さの関係は、タマネギと木板の衝撃については表2-7に示し、タマネギ相互衝撃については表2-8に示した。損傷が全く生じない落下高さはいずれの大きさについても5cmであり、この時の最大接触応力は14.46~14.58kg/cm²の範囲である。しかしL玉、M玉の場合は落下高さが7cm、10cmの時でも損傷の発生深さが0となるタマネギが2個あるので、この

損傷発生深さが0の個数と平均深さに基づいて損傷発生の限界高さを整理すると、LL玉が5cm、L玉が7cm、M玉が7cmとなる。この時の最大接触応力は下の値を示す。

LL玉 14.46 kg/cm²

L玉 15.57 kg/cm²

M玉 15.60 kg/cm²

更に損傷発生の落下高さを緩和してLL玉、L玉及びM玉の落下高さをそれぞれ7cm、10cm、10cmとすると、この時の最大接触応力は下記の値となる。

Table 2-7. Relation between maximum contact stress and damage depth in impact of onions and wood plate

Drop height cm	LL		L		M	
	S _{max} kg/cm ²	D _d mm	S _{max} kg/cm ²	D _d mm	S _{max} kg/cm ²	D _d mm
5	14.46	0	14.56	0	14.58	0
7	15.46	2.3①	15.57	-0.3②	15.60	0.3②
10	16.61	2.0①	16.73	0.6②	16.75	1.0②
20	19.08	3.0	19.14	4.7	19.24	4.7
40	21.91	16.3	22.07	15.0	22.10	13.7
60	23.76	24.3	23.93	17.0	23.97	15.7
80	25.17	26.7	25.35	19.5	25.39	15.3
100	26.32	24.7	26.51	19.3	26.55	22.0

①, ② show the number of onions without damage

Table 2-8. Relation between maximum contact stress and damage depth in impact of mutual onions

Drop height cm	LL		L		M	
	S _{max} kg/cm ²	D _d mm	S _{max} kg/cm ²	D _d mm	S _{max} kg/cm ²	D _d mm
10	15.32	0	15.43	0	15.45	0
20	17.59	0	17.72	0	17.75	0
40	20.21	3.0	20.36	1.0	20.39	1.6
60	21.92	8.0	22.07	8.0	22.11	7.0
80	23.21	15.0	23.38	9.0	23.42	10.0

LL玉 15.46kg/cm²

L玉 16.73kg/cm²

M玉 16.75kg/cm²

限界応力はM玉が大きい値を示しており、タマネギサイズが小さい程損傷が発生し難い。

次にタマネギ相互衝撃については、表2-8に

以上のようにいずれの場合でも損傷の発生深さの

示すように損傷の深さが0である落下高さはいずれの大きさも20cmであり、この落下高さに対応する最大接触応力は下記の値をとる。

- LL玉 17.59kg/cm²
- L玉 17.72kg/cm²
- M玉 17.75kg/cm²

タマネギ相互衝撃の損傷発生限界応力は17.59～17.75kg/cm²の範囲を示し、木板との衝撃時の限界応力と比較すると高い値となっている。従って衝撃体の種類に無関係に一定の応力を以て損傷発生限界値とすることには無理があると考えるので、それぞれの衝撃体の種類を考慮しながらこの限界応力を扱う必要がある。以上のことから損傷発生の限界応力は、木板との衝撃の場合では16～17kg/cm²であり、タマネギ相互衝撃の場合には17～18kg/cm²であると判断される。

木製球と鉄板又はゴム被覆鉄板の衝撃における最大接触応力は、(2-23)式からそれぞれ式(2-73)、(2-74)で表される。

$$\left. \begin{aligned} S_{\max(\text{LL w-p})} &= 89.446 h^{1/5} \\ S_{\max(\text{L w-p})} &= 91.012 h^{1/5} \\ S_{\max(\text{M w-p})} &= 91.757 h^{1/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-73)$$

$$\left. \begin{aligned} S_{\max(\text{LL w-pR})} &= 23.439 h^{1/5} \\ S_{\max(\text{L w-pR})} &= 23.850 h^{1/5} \\ S_{\max(\text{M w-pR})} &= 24.045 h^{1/5} \end{aligned} \right\} \quad (2-74)$$

この両式から落下高さ別における最大接触応力の計算値を表2-9に示す。木製球においてもタマネギと同様に球が小さくなる程最大応力は増大し、衝撃に対する抗力の大きいことが示される。

鉄板にゴムを被覆した場合には木製球の最大

Table 2-9. Maximum contact stress of wooden balls, kg/cm²

Drop height cm	Wooden ball ↓ Steel plate			Wooden ball ↓ Steel plate covered with rubber		
	LL	L	M	LL	L	M
	1	89.45	91.01	91.76	23.44	23.85
3	111.43	113.38	114.30	29.20	29.71	29.95
5	123.41	125.57	126.60	32.34	32.91	33.18
7	132.00	134.31	135.41	34.59	35.20	35.48
10	141.76	144.24	145.43	37.15	37.80	38.11
15	153.74	156.43	157.71	40.29	40.99	41.33
20	162.84	165.69	167.05	42.67	43.42	43.78
40	187.06	190.33	191.89	49.02	49.88	50.28
60	202.86	206.41	208.10	53.16	54.09	54.53
80	214.87	218.63	220.42	56.31	57.29	57.76
100	224.68	228.61	230.48	58.88	59.91	60.40

接触応力は著しく低下し、ゴム被覆による効果が示されている。ゴム被覆の効果は(2-75)式で表され、式(2-73)、(2-74)からS_pの値は下記のようになる。

$$S_p = \frac{S_{\max(\text{R})}}{S_{\max(\text{p})}} = 0.262 \quad (2-75)$$

S_p ゴム被覆時と鉄板時の最大接触応力比

S_{max(R)} 3mm厚さのゴム被覆時の最大応力
S_{max(p)} 鉄板時の最大応力

理論上は木製球の大きさに関係なく、3mm厚さのゴムについては応力比(S_p)は0.262となる。しかしゴム被覆鉄板の硬度測定が静的であるために計算値のS_{max(R)}が小さい値を示しているが、実際にはこのS_pの値は更に大きくなるので、被覆効果はこの場合より低下することになる。

第4節 摘 要

タマネギ及び木製球を用いて自由落下によって衝撃を与え、この時の最大加速度、接触時間、最大圧縮時間を測定し、これにHERZの球体の衝撃理論を適用して、最大変形深さ、最大接触応力と結び付けることによって損傷の発生機構を究明した。

衝撃時の最大加速度は小さいタマネギ程大きな値を示す。これは計算値から裏付けられたが、タマネギと鉄板の衝突時に鉄板に歪が生じたために実測値が計算値より低く現れた。タマネギ自体の衝撃吸収は $C_0 = \ddot{\alpha}_{\max}(0-p) / \ddot{\alpha}_{\max}(w-p)$ で現されるが、 C_0 の値はLL玉、L玉、M玉でそれぞれ0.414, 0.458, 0.488を示し、タマネギが大きい程衝撃の吸収は大きい。又被覆ゴムによる衝撃吸収は木製球がゴム被覆鉄板及び鉄板のみに衝突した時の最大加速比 $C_R = \ddot{\alpha}_{\max}(w-pR) / \ddot{\alpha}_{\max}(w-p)$ で表され、同じ大きさの場合には落下位置が高くなると吸収量は減少する。大きさの違いによる吸収量の変化は、落下位置が低い時にはLL球の吸収量が高いが、ゴムの下が鉄板になっているのでゴムの弾性範囲を越える落下高さではむしろ小さい球の方が吸収量は大きい。

タマネギは衝撃を受けて変形するが、損傷の発生深さとこの最大変形深さは一致するものではない。しかし変形深さの増加は損傷の発生をもたらすので、変形深さによって損傷の発生を推定することが出来る。落下高さが20cm以下の場合には損傷深さは4mm以下に止まったが、40cmの高さを越えると損傷の発生深さは急激に増大する。これはタマネギの組織が破壊されたことを示し、HERZの理論の適用は出来ない。落下高さが20cmの時の最大変形深さはLL玉、L玉、M玉がそれぞれ3.04, 2.80, 2.52mmであり、タマネギが大きい程最大変形は大きい。落下高さが20cmより低くなると、変形深さが損傷の発生深さを上回ることになり、最大変形深さが生じてもある一定範囲以下であれば損傷が発生しない。タマネギの損傷発生限界を示す最大変形は2mm程度であり、これ以下の変形では損傷は発生しない。

タマネギ相互の衝撃については落下高さが20cm以下ではいずれの大きさについても損傷は発生しないが、落下高さが40cmを越えると損傷が生じ始め、落下高さが60cmの時には損傷の発生深さは8mm程度に増大する。落下高さが20cmの時のLL玉、L玉、M玉の最大変形深さはそれぞれ1.70, 1.56, 1.41mmであり、この程度の変形深さでは損傷は発生しない。タマネギ相互の衝撃による損傷発生度合は、木板の衝撃に比較すると著しく低く、タマネギ相互の衝撃では損傷が生じ難いことが明らかとなった。

タマネギと丸鋼の衝撃については、丸鋼を $R'_2 = \frac{2}{\pi} \sqrt{R_1 R_2}$ により球の半径に補正することによってHERZの理論を適用した。丸鋼衝撃の場合についても鉄板の場合と同様に、タマネギが大きい程最大変形深さは大きくなる。この傾向は損傷の発生深さにも現れており、落下高さが増すに伴い、損傷の発生深さは比例的に内部に侵入する。損傷が発生しない安全限界最大変形深さはLL玉、L玉、M玉がそれぞれ1.95mm, 1.76mm, 1.55mmとなっており、いずれも2mm以下を示し、木板やタマネギ衝撃で示された限界値が丸鋼に対しても適用されることが明らかになった。

丸鋼との衝突ではゴムを被覆することによって損傷は緩和された。この緩和の理論上の根拠は最大変形、接触時間及び最大接触応力の面から証明された。LL玉についてゴム被覆の効果を最大変形深さの関連からみると、次式のようになる。

$$D_{\max(R1)} = 0.138 h^{2/5}$$

$$D_{\max(R2)} = 0.143 h^{2/5}$$

$$D_{\max(R3)} = 0.148 h^{2/5}$$

サフィクス R1, R2, R3 ゴム厚さ1,2,3mm

上式から明らかなように、ゴム被覆が厚くなる程最大変形深さは大きくなり、その量だけ緩衝効果があったことになる。

更に接触時間から損傷の発生機構をみると、接触時間が長く要した場合程損傷の発生程度は大きくなり、又落下高さ20cm以下についてはHERZの理論が適用できることが明らかになった。タマ

ネギが変形することによってもたらされる接触時間及び最大圧縮時間の増加は次式で示される。 $t_p = t_{(o-p)} / t_{(w-p)}$ 又ゴム被覆による接触時間の増加は次式から求められる。 $t_{p(R)} = t_{(w-pR)} / t_{(w-p)}$ t_p はLL玉、L玉についてはそれぞれ 2.062~2.830, 2.354~2.482であり、大きなタマネギの方が大きな値をとり、損傷発生の危険性が高いことを示している。最大圧縮時間についても接触時間の場合と同様な傾向を有している。

最大接触応力 (S_{max}) の面から損傷発生機構をみると、タマネギ相互衝撃の場合は次式で示される。

$$\begin{aligned} S_{max(LL-LL)} &= 9.663 h^{1/3} \\ S_{max(L-L)} &= 9.734 h^{1/3} \\ S_{max(M-M)} &= 9.748 h^{1/3} \\ S_{max} &\text{ 最大接触応力} \quad h \text{ 落下高さ} \\ &\text{LL, L, M タマネギの大きさ} \end{aligned}$$

上式から明らかなようにタマネギが小さくなるに伴って最大接触応力は大きくなり、それだけ損傷

が生じ難いことを示すものである。損傷発生の限界を示す最大接触応力はLL玉、L玉、M玉でそれぞれ17.59, 17.72, 17.75kg/cm²であり、タマネギが小さい程応力は高く、損傷が生じ難いことを示した。

鉄板の衝撃の場合の損傷発生限界応力はLL玉、L玉、M玉がそれぞれ14.46, 15.57, 15.60kg/cm²であり、タマネギ相互衝撃の場合と同様に、タマネギが小さい程応力は高くなり損傷が生じ難いことを示した。この傾向は木製球についても認められた。

ゴム被覆の効果については木製球が衝突するゴム被覆鉄板と鉄板のみの場合の最大応力の比 (S_p) で表わされる。理論上は木製球の大きさに関係なく S_p は0.262を示すが、実測では鉄板に歪が生じることと、ゴム被覆鉄板の硬度測定が静的であるためにこの S_p の値は大きくなり、被覆効果は理論上の S_p より低くなる。

第3章 バレイショの落下衝撃による損傷発生機構

第1節 実験目的

塊茎を種々の高さから自由落下させて鉄板、丸鋼及び塊茎に衝突させ、その衝撃により発生する損傷の状態を分析して損傷の発生機構を究明する。ここでは塊茎の衝撃部を球面とみなしてHERZの理論を適用し、損傷の発生深さについて衝撃により塊茎が受ける最大変形深さ、接触時間、最大接触応力及び最大加速度の面から検討を加える。塊茎相互の衝撃はハーベスタ上で移動する時に起きる衝突又はタンクに投入される際のバレイショ堆積層との衝撃による損傷発生がある。鉄板との衝撃はタンク底部との衝突又は移動中のコンベヤ類の側壁板との衝突を考慮したものである。又丸鋼との衝撃はハーベスタに数多く使用しているコンベヤロッドによる損傷発生の防止を目的としたものであり、よって丸鋼との衝撃の解明が収穫時の損傷の解決に不可欠であると考え。従って丸鋼の直径を数種類用意し、直径の違いによる損傷の発生機構を明らかにすると同時に、更に予備的な実験として各種の丸鋼に2mm厚さのゴムを被覆し、その効果の検討を試みる。

第2節 実験方法

1. 供試材料

バレイショの品種には代表的な食用バレイショとして男爵薯をとりあげた。塊茎の大きさの区別は食用バレイショの流通規格に合わせて、次の3階級としている。

- L玉 190~120g
- M玉 120~70g
- S玉 70~30g

上記の3階級に分けた場合の塊茎の重量、曲率半径及び $E/(1-\nu^2)$ は表3-1に示す通りである。

塊茎の硬度はタマネギの硬度測定と同様にパネ式硬度計を使用し、加圧部には半球型(径12mm,

Table 3-1. Conditions of potatoes

Tuber size	Weight	Radius of curvature cm	$E/(1-\nu^2)$
	g		kg/cm ²
L	164.9	4.81	
M	86.5	3.36	189.15
S	58.6	2.83	(4.59kg)

高さ10mm)を用いている。塊茎の硬度は個体間の差が比較的少なく、平均4.59kgであった。

曲率半径についてはタマネギのような球形と異なり、図3-1に示すように形が不定形をなしている。

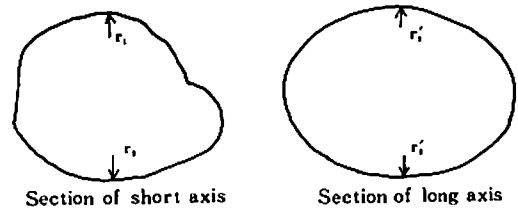


Fig 3-1. Radius of curvature of potato

短軸径 r_1 (or r_2)、と長軸径 r'_1 (or r'_2)の差はタマネギに比較すると大きい、ここではタマネギと同様に

$$R_1 = \frac{r_1 + r'_1}{2} \text{ or } \frac{r_2 + r'_2}{2}$$

から曲率半径が大きく、且つ円滑な曲面をもつ部分を使用した。

なおこの男爵薯は長沼町の1975年産であり、洪積土で栽培され、8月下旬に収穫されたものである。

2. 衝撃体

塊茎が衝突する対象衝撃体は鉄板及び丸鋼である。鉄板の厚さは3mmであり、タマネギに供した鉄板は自由両端支持としたが、本試験において

は鉄板の裏面に直接固定用ボルトを取付け、落下衝撃装置にセットした。丸鋼の直径は7mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mmであり、その外観は図3-2に示す通りである。



Fig 3-2. Concept of round steel bars

又被覆に用いたゴムは加硫ゴムで硬度が40°であり、厚さが2mmのものを用いた。

衝撃体の $E_2/(1-\nu_2^2)$ の値は鉄板、丸鋼については $E_2=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $\nu_2=0.3$ として 2.31×10^6 であるので、

$$A = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}$$

においては $(1-\nu_2^2)/E_2 \approx 0$ として扱っている。

又ゴム被覆丸鋼は静的な硬度測定により

$(1-\nu_2^2)/E_2 = 9.9628 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{kg}$ を用いている。

3. 測定方法

塊茎の落下衝撃の測定はタマネギに用いた自由落下衝撃装置を使用し、塊茎を吊した細糸を火で焼切って落下させ、鉄板或は丸鋼等に衝突させた。同一種の測定に対して塊茎は3個体使用し、落下衝撃直後の損傷を記録すると同時に低温室(1℃~3℃)に2週間貯蔵し、塊茎断面の変色により損傷を測定した。

損傷測定は、塊茎表面については傷の幅と長さとし、断面については深さと幅としている。特に断面測定では直接的な損傷部と損傷部から派生した亀裂とを区別している。

第3節 実験結果及び考察

バレイシヨの損傷はタマネギの損傷と異なり、衝撃が大きい場合には亀裂を伴う場合が多い。図3-3にその一例を示しているように、斜線部分

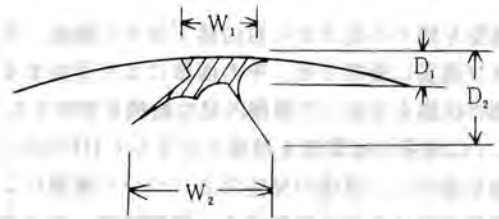


Fig 3-3. Damage of potato tuber

が丸鋼の衝撃によって直接受けた損傷部分であり、同時にこの時の衝撃で塊茎の中心或は周辺に向けて放射状に亀裂が走る。このような損傷発生の方はタマネギのような鱗葉が重なった構造では見られない現象であり、バレイシヨ特有の物理的性質であると考えられる。

図3-3に示す損傷は重損傷に該当し、丸鋼との衝撃で落下位置が高い場合に発生する。各塊茎の大きさ別に丸鋼の直径と落下高さを変えた場合の損傷の発生深さを表3-2~表3-5に示したが、亀裂を含めた深さ(D_2)と亀裂を含めない深さ(D_1)の両方を併記してある。

損傷の発生深さは塊茎が大きくなる程増大する傾向が認められ¹⁾、又直接損傷部が深い場合には衝撃の著しいことを示すものであり、従って直接損傷部から発生する亀裂も深く侵入する。

表3-4~表3-6から明らかなように丸鋼の衝撃の場合は直径が大きくなるに伴い損傷の発生深さは減少し、鉄板との衝撃に至っては圧碎損傷は見られず、落下高さが高くなると打撲が発生する。落下高さが100cmに及ぶと亀裂が生じ、場合によっては塊茎が割れることがある。

ここでは比較的低い落下高さにおける球体の衝撃理論に基づき、損傷の発生深さと最大変形深さの関係を検討した。

Table 3-2. Depth of damage of L size tuber, mm

Drop height cm	Diameter of round steel bars, mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5	1.0	1.3					
	1.0	1.3					
7	1.5	1.0	2.0				
	1.5	1.0	0				
10	6.8	0	0				
	5.8	0	0				
15	3.0	1.8	1.3	1.3	2.0	3.6	
	2.5	1.8	1.3	0	2.0	3.6	
20		7.0	1.3	0	2.8	7.3	0
	3.3	2.0	1.3	0	1.8	7.3	0
25	9.7	4.7	8.7	5.0	2.5	8.7	0
	3.7	2.3	3.0	3.3	2.5	7.3	0
30	8.7	8.3	8.7	7.6	2.0	2.3	0
	3.3	5.0	5.3	2.0	0.8	2.3	0
40							
50	15.7	11.7	13.7	9.8	6.0	2.3	6.3
	6.3	6.3	6.0	5.5	5.3	2.3	6.3
60							
70	15.3	18.3	18.3	17.0	10.3	15.3	2.0
	5.7	7.3	6.3	6.3	3.3	9.0	2.0
80							
90							
100	21.0	22.7	19.0	21.0	10.0	14.0	5.0
	9.7	6.0	8.5	5.7	6.0	6.7	5.0

Above Damage depth including crack
 Below Depth damaged directly by impact without cracking
 Crushed damage occurred at the underside of line

Table 3—3. Depth of damage of M size tuber, mm

Drop height cm	Diameter of round steel bars, mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5	0	0					
	0	0					
7	1.7	0					
	0.7	0					
10	0.7	1.3	0				
	0.3	1.3	0				
15	0	1.8	0	0			
	0	0.8	0	0			
20	0.7	2.8	1.3	0			
	0.7	1.7	1.3	0			
25	6.0	3.8	2.0	1.3	2.3	0	
	2.5	2.0	2.0	1.3	2.3	0	
30	8.3	5.5	3.3	4.7	7.3	2.3	0
	2.8	2.3	3.3	4.7	4.0	2.3	0
40			2.3	0			
			2.0	0			
50	11.3	11.7	9.3	11.0	6.3	4.3	0
	3.3	4.0	2.7	4.0	6.3	3.0	0
60				13.0	9.8	2.7	
				5.3	6.8	2.7	
70	15.0	12.3	13.0	12.0	14.3	8.2	7.7
	3.5	3.7	3.7	5.3	7.3	7.0	7.7
80							
90							0
							0
100	12.3	7.7	12.7	16.3	15.3	12.3	4.3 Crack
	4.0	5.0	3.7	5.0	7.3	4.8	4.3 Crack

Above Damage depth including crack
Below Depth damaged directly by impact without cracking
Crushed damage occurred at the underside of line

Table 3-4. Depth of damage of S size tuber, mm

Drop height cm	Diameter of round steel bars, mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5							
7	0 0						
10	1.3 1.3						
15	3.7 3.7						
20	3.7 2.7	4.0 4.0	0 0	0 0			
25	6.3 2.0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
30	7.3 2.7	1.7 0.7	1.3 0	2.0 2.0	3.0 3.0	0 0	
40							
50	10.3 2.7	2.0 2.0	4.3 3.7	5.0 5.0	2.3 2.3	10.0 10.0	0 0
60			4.7 2.7	2.0 2.0		5.0 5.0	
70	10.5 3.5	5.3 2.0	10.0 4.7	8.0 8.0	8.0 5.3	10.3 9.3	0 0
80				10.0 8.3			
90							0 0
100	14.3 4.7	11.0 3.0	10.7 5.0	9.0 6.0	13.3 7.0	15.0 7.5	5.5 5.5

Above Damage depth including crack

Below Depth damaged directly by impact without cracking

Crushed damage occurred at the underside of line

Table 3-5. Depth of damage of M size tuber (covered with rubber of 2 mm thickness), mm

Drop height cm	Diameter of round steel bars, mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
15							
20	0						
25	0	0	0				
30	0	0	0	0	0		
40	9.0 5.3	1.7 0	1.8 1.0			3.0 3.0	
50	5.0 3.3	3.3 1.0	0	2.7 2.7	5.3 2.5	3.7 3.7	0
60							
70	7.3 3.0	6.3 1.8	6.7 3.3	2.0 2.0	3.3 3.3	10.0 7.7	0
80							
90						10.3 6.0	6.0 6.0
100	13.3 5.0	8.0 3.3	8.8 2.8	14.7 5.7	9.0 6.0	12.6 6.8	1.5 1.5

1. 塊茎と鉄板との衝撃

塊茎と鉄板との衝撃時の最大変形深さは(2-20)式を用いて

$A = (1 - \nu_1^2) / E_1 = 5.2867 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$ から(3-1)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(L-P)} &= 5.609 \times 10^{-2} h^{2/3} \\ D_{\max(M-P)} &= 4.656 \times 10^{-2} h^{2/3} \\ D_{\max(S-P)} &= 4.123 \times 10^{-2} h^{2/3} \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

式(3-1)から塊茎の大きさ別に落下高さとの計算値を表(3-6)に示す。塊茎と鉄板の衝撃において損傷の発生深さと最大変形深さとの関係を見ると、塊茎の発生深さが0の時(損傷が無い場合)の最大変形深さは次の如くである。

L玉 2.19mm (落下高さ30cm)

M玉 2.23mm (落下高さ50cm)

S玉 2.26mm (落下高さ70cm)

最大変形深さが2.19~2.26mmの範囲以下であれ

ば、塊茎に変形が生じても損傷をもたらすには至らない。即ち塊茎の損傷発生限界変形深さは2.2mm前後であると言い得る。

落下位置が高くなり塊茎の厚皮或は髓部を破壊する損傷の場合では永久変形となるので、HERZの衝撃理論の適用は困難であり、実測値が計算値を上回る。例えば落下高さが100cmの時には、L玉、M玉及びS玉の変形深さがそれぞれ5.0mm、4.3mm、3.3mmであり、いずれも計算値を越えており、実測値と計算値の差はそれぞれ1.46mm、1.36mm、0.7mmとなっている。

2. 塊茎相互の衝撃

塊茎相互の衝撃については $m_2 = \infty$ とし、下記に示すAの値を用いて(2-16)式からL玉、M玉及びS玉が落下した時の最大変形深さを求めるとそれぞれ式(3-2)、(3-3)、(3-4)となる。

$$A = \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right) \times 2 = 1.0573 \times 10^{-2}$$

Table 3-6. Maximum deformation of tubers in impact with steel plate, mm

Tuber size	Drop height cm											
	1	5	7	10	15	20	25	30	40	50	70	100
L	0.56	1.07	1.22	1.41	1.66	1.86	2.03	2.19	2.45	2.68	3.07	3.54
M	0.47	0.89	1.01	1.17	1.38	1.54	1.69	1.81	2.04	2.23	2.55	2.94
S	0.41	0.78	0.90	1.04	1.22	1.37	1.49	1.61	1.80	1.97	2.26	2.60

L玉が落下し, L玉, M玉, S玉が下にある場合

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(L-L)} &= 8.502 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(L-M)} &= 8.841 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(L-S)} &= 9.028 \times 10^{-2} h^{2/5} \end{aligned} \right\} (3-2)$$

S玉が落下し, L玉, M玉, S玉が下にある場合

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(S-L)} &= 5.609 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(S-M)} &= 4.656 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(S-S)} &= 4.123 \times 10^{-2} h^{2/5} \end{aligned} \right\} (3-4)$$

M玉が落下し, L玉, M玉, S玉が下にある場合

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(M-L)} &= 6.830 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(M-M)} &= 7.057 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(M-S)} &= 7.184 \times 10^{-2} h^{2/5} \end{aligned} \right\} (3-3)$$

式(3-2), (3-3), (3-4)により落下高さ別の計算値を表3-7に示す。

Table 3-7. Maximum deformation in impact of mutual tubers, mm

Tuber size of dropping	Tuber size of placed on steel plate	Drop height cm									
		1	5	10	15	20	30	50	70	100	
L	L	0.80	1.62	2.14	2.51	2.82	3.31	4.07	4.65	5.36	
		0.43	0.81	1.07	1.26	1.41	1.66	2.04	2.33	2.68	
	M	0.88	1.68	2.22	2.61	2.93	3.45	4.23	4.84	5.58	
		0.44	0.84	1.11	1.31	1.47	1.73	2.12	2.42	2.79	
	S	0.90	1.72	2.27	2.67	2.99	3.52	4.32	4.94	5.70	
		0.45	0.86	1.14	1.34	1.50	1.76	2.16	2.47	2.85	
M	L	0.68	1.30	1.72	2.02	2.26	2.66	3.27	3.74	4.31	
		0.34	0.65	0.86	1.01	1.13	1.33	1.64	1.87	2.16	
	M	0.71	1.34	1.77	2.08	2.34	2.75	3.37	3.86	4.45	
		0.36	0.67	0.89	1.04	1.17	1.38	1.69	1.93	2.23	
	S	0.72	1.37	1.80	2.12	2.38	2.80	3.44	3.93	4.53	
		0.36	0.69	0.90	1.06	1.19	1.40	1.72	1.97	2.27	
S	L	0.60	1.14	1.50	1.76	1.98	2.33	2.85	3.27	3.77	
		0.30	0.57	0.75	0.88	0.99	1.17	1.43	1.64	1.89	
	M	0.61	1.17	1.54	1.82	2.04	2.40	2.94	3.36	3.88	
		0.31	0.59	0.77	0.91	1.20	1.20	1.47	1.68	1.94	
	S	0.63	1.19	1.57	1.85	2.07	2.44	2.99	3.42	3.94	
		3.02	0.60	0.79	0.93	1.04	1.22	1.50	1.71	1.97	

above Sum of deformation of two tubers
below Half deformation of two tubers

塊茎相互の衝撃については落下塊茎と被衝撃塊茎(下に置いた塊茎)の大きさが異なる場合には

それぞれの塊茎の最大変形深さは不明であるが、ここでは参考数値として同一大きさの塊茎の場合

と同様に計算値の1/2を一個の変形深さとし併記してある。

同じ大きさの塊茎衝突について表3—7, 表3—8から損傷発生と最大変形深さの関係をみると、次のようになる。

L玉とL玉	100cm高さ、損傷有り
	最大変形深さ 2.68mm
M玉とM玉	100cm高さ、損傷無し
	最大変形深さ 2.23mm
S玉とS玉	100cm高さ、損傷無し
	最大変形深さ 1.97mm

L玉相互では最大変形深さが2.68mmを示し、損傷発生限界値と考えられる2.19~2.26を越え損傷を生じている。落下高さが70cmの場合は実測では損傷発生深さは0であるが、計算値は2.33mmを示し損傷発生の可能性を含んでいる。他の大きさのM玉とM玉, S玉とS玉の衝撃時最大変形深さは、それぞれ2.23mm, 1.97mmを示して安全であることが明らかとなる。

Table 3—8. Depth of damage in impact of mutual tubers, mm

Drop height cm	Position of tubers before impact															
	A		B		A		B		A		B		A		B	
	L	L	L	M	L	S	M	L	M	M	S	L	S	S	S	
30	—	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	0	0	—	—	0	crack	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
70	0	0	—	—	2.7	crack	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
100	0	crack	1.3	0	4.3	crack	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ⓐ Dropping tubers (Above)

Ⓑ Tubers placed on steel plate (Below)

塊茎の大きさが異なる場合の衝撃は、落下塊茎がL玉と大きく、被衝撃塊茎がS玉と小さい場合にはS玉は著しい損傷を受ける。

これはL玉がS玉に衝突した時は接触面積が小さくなるので、表3—9に示すように最大接触応

力が最も大きな値となり、S玉の最大変形深さが増加し、変形の許容限界を越えたためである。更に落下位置が高くなると最大圧力が増大し、塊茎が割れる。

Table 3—9. Maximum contact stress in impact of mutual tubers, kg/cm²

Tuber size of dropping	Tuber size placed on steel plate	Drop height cm								
		1	5	10	15	20	30	50	70	100
L	L	11.32	15.62	17.94	19.46	20.61	22.35	24.75	26.48	28.44
	M	12.73	17.56	20.17	21.88	23.17	25.13	27.83	29.77	31.97
	S	13.55	18.70	21.48	23.29	24.67	26.76	29.64	31.70	34.04
M	L	11.19	15.44	17.73	19.23	20.37	22.09	24.46	26.17	28.10
	M	12.34	17.03	19.56	21.21	22.46	24.36	26.98	28.86	31.00
	S	13.02	17.96	20.64	22.38	23.70	25.71	28.47	30.45	32.71
S	L	11.02	15.20	17.46	18.94	20.06	21.76	24.10	25.77	27.68
	M	12.04	16.62	19.09	20.70	21.93	23.78	26.34	28.17	30.25
	S	12.65	17.46	20.05	21.75	23.04	24.98	27.67	29.60	31.78

Table 3—10. Maximum contact stress during impact of tubers and steel plate, kg/cm²

Tuber size	Drop height cm								
	1	5	10	15	20	30	50	70	100
L	13.00	17.94	20.61	22.35	23.67	25.67	28.43	30.41	32.66
M	14.17	19.56	22.46	24.36	25.80	27.98	30.99	33.15	35.60
S	14.53	20.05	23.04	24.98	26.46	28.70	31.78	34.00	36.51

又接触時間の面から塊茎損傷の発生機構を考察すると、表3—11、表3—12に塊茎と鉄板及び塊茎相互の衝撃時の接触時間をそれぞれ示すように、同一の落下高さにおいては接触の長い程損傷の発生度が大きい。例えば落下高さ50cmでS玉に損傷を生じるが、この時の接触時間は4.05ms

で、他の相互衝撃に比較して最も長い時間を示している。

この接触時間の損傷発生との関係を、接触時間と最大変形深さとの関係に置換えると、式(2—16)、(2—17)から

$$D_{\max} = 15.06h^{1/2}t$$

Table 3—11. Duration of contact in impact of tubers and steel plate, ms

Tuber size	Drop height cm										
	1	5	7	10	15	20	25	30	50	70	100
L	3.72	3.17	3.07	2.96	2.84	2.76	2.70	3.65	2.52	2.43	2.35
M	3.09	2.63	2.54	2.46	2.36	2.29	2.24	2.20	2.09	2.02	1.95
S	2.74	2.33	2.25	2.17	2.09	2.03	1.98	1.95	1.85	1.79	1.73

Table 3—12. Duration of contact in impact of mutual tubers, ms

Tubers of dropping	Tubers placed on a steel plate	Drop height cm										
		1	5	7	10	15	20	25	30	50	70	100
L	L	5.64	4.81	4.65	4.48	4.31	4.18	4.09	4.02	3.82	3.69	3.56
	M	5.87	5.00	4.83	4.66	4.48	4.35	4.25	4.18	3.97	3.84	3.70
	S	5.99	5.10	4.93	4.76	4.57	4.44	4.34	4.27	4.05	3.92	3.78
M	L	4.53	3.86	3.73	3.60	3.46	3.36	3.29	3.23	3.07	2.96	2.86
	M	4.68	3.99	3.86	3.72	3.56	3.47	3.40	3.33	3.17	3.06	2.96
	S	4.77	4.06	3.93	3.79	3.64	3.53	3.46	3.39	3.23	3.12	3.01
S	L	3.96	3.37	3.26	3.15	3.02	2.94	2.87	2.82	2.68	2.59	2.50
	M	4.08	3.47	3.36	3.24	3.11	3.02	2.96	2.90	2.76	2.76	2.58
	S	4.77	4.06	3.92	3.79	3.64	3.53	3.46	3.39	3.22	3.12	3.01

であり、落下高さが一定である場合には最大変形深さは接触時間に比例することが示される。

3. 塊茎と丸鋼との衝撃

塊茎と丸鋼の衝撃についてはタマネギの場合と

同様に R_2 を補正する必要があるので、(2—51)式を用いて求めた R_2' の値を表3—13に示した。この R_2' を用いて塊茎と丸鋼の衝撃時最大変形深さは、(2—16)式において $m_2 = \infty$ とおくと、次式が得られる。

$$D_{\max} = 20.221 [Am_1]^{2/5} \left(\frac{R_1 + R'_2}{R_1 R'_2} \right)^{1/5} h^{2/5}$$

被覆無しの丸鋼の場合の計算値を表3—14に示し、又2mm厚さのゴムを被覆した場合については表3—15に示した。

Table 3—13. Value of R'_1 , cm

Radius of curvature of tuber cm	Radius of round steel bar cm						Radius of round steel bar covered with rubber of 2 mm thickness, cm					
	0.35	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.55	0.70	0.95	1.20	1.45	1.70
4.81	0.826	0.987	1.209	1.396	1.561	1.710	1.035	1.168	1.361	1.529	1.681	1.820
3.36	0.690	0.825	1.011	1.167	1.305	1.429	0.865	0.976	1.137	1.278	1.405	1.522
2.83	0.634	0.757	0.927	1.071	1.197	1.312	0.794	0.896	1.044	1.173	1.290	1.396

無被覆丸鋼(以下単に丸鋼とする)の衝撃では、丸鋼径の小さな7mmの最大変形深さが1.79mm~1.92mmであり、少ない変形で損傷が生じる。特

にL玉が落下高さ5cmの最大変形が1.79mmで打撲となっている。10mm径丸鋼との衝撃は7mm径と類似しており、最大変形深さ1.87~2.01mmで

Table 3—14. Maximum deformation of tubers in impact with round steel bars, mm

Diameter of steel bars mm	Tuber size	Drop height cm											
		1	5	7	10	15	20	25	30	40	50	70	100
7	L	0.82	1.57	1.79	2.07	2.43	2.73	2.98	3.21	3.60	3.94	4.51	5.20
	M	0.66	1.16	1.33	1.53	1.80	2.02	2.21	2.38	2.67	2.92	3.34	3.85
	S	0.58	1.10	1.26	1.45	1.71	1.92	2.10	2.26	2.53	2.77	3.17	3.65
10	L	0.80	1.52	1.74	2.01	2.36	2.65	2.90	3.12	3.50	3.82	4.31	5.04
	M	0.64	1.23	1.40	1.62	1.90	2.14	2.33	2.51	2.82	3.08	3.52	4.07
	S	0.56	1.07	1.23	1.41	1.66	1.87	2.04	2.19	2.46	2.69	3.08	3.55
15	L	0.77	1.47	1.68	1.94	2.28	2.56	2.80	3.01	3.38	3.70	4.23	4.88
	M	0.66	1.26	1.44	1.67	1.96	2.20	2.40	2.58	2.90	3.17	3.63	4.18
	S	0.55	1.04	1.19	1.37	1.61	1.81	1.98	2.13	2.39	2.61	2.98	3.44
20	L	0.76	1.44	1.65	1.90	2.23	2.51	2.74	2.95	3.31	3.61	4.14	4.77
	M	0.61	1.16	1.33	1.53	1.80	2.02	2.21	2.38	2.67	2.92	3.34	3.85
	S	0.53	1.02	1.16	1.34	1.58	1.77	1.94	2.08	2.34	2.55	2.92	3.37
25	L	0.74	1.41	1.62	1.87	2.20	2.46	2.69	2.90	3.25	3.55	4.07	4.69
	M	0.60	1.14	1.31	1.51	1.77	1.99	2.18	2.34	2.63	2.87	3.29	3.79
	S	0.53	1.00	1.14	1.32	1.55	1.74	1.90	2.05	2.30	2.51	2.88	3.32
30	L	0.73	1.40	1.60	1.84	2.17	2.43	2.66	2.86	3.21	3.51	4.01	4.63
	M	0.59	1.13	1.29	1.49	1.75	1.97	2.15	2.31	2.59	2.84	3.24	3.74
	S	0.52	0.99	1.13	1.30	1.53	1.72	1.88	2.02	2.27	2.48	2.84	3.27

Damage occurred at the right side of broken lines

損傷が発生するが、15mm径以上の丸鋼においては最大変形深さ2.05~2.40mmの時に損傷の発生深さが現れており、10mm径以下の丸鋼に比較して損傷の発生深さが緩和されている。最大変形深

さと損傷の発生深さは一致するものではないが、比較的落下位置が低く、打撲傷である場合には最大変形の範囲内で損傷の発生深さが現れる。しかし、落下位置が高まり、著しい破壊を伴う損傷に

Table 3—15. Maximum deformation of tubers in impact with round steel bars covered with rubber mm

Diameter of steel bars mm	Tuber size	Drop height cm											
		1	5	7	10	15	20	25	30	40	50	70	100
7	L	0.98	1.86	2.12	2.45	2.88	3.23	3.53	3.80	4.26	4.66	5.33	6.15
	M	0.79	1.50	1.71	1.97	2.32	2.61	2.85	3.06	3.44	3.76	4.30	4.96
	S	0.69	1.31	1.50	1.73	2.03	2.28	2.49	2.68	3.00	3.28	3.76	4.33
10	L	0.96	1.82	2.08	2.40	2.82	3.17	3.46	3.73	4.18	4.57	5.23	6.03
	M	0.77	1.47	1.68	1.94	2.28	2.56	2.80	3.01	3.37	3.69	4.22	4.87
	S	0.67	1.28	1.47	1.69	1.99	2.23	2.44	2.63	2.95	3.22	3.69	4.25
15	L	0.93	1.78	2.03	2.34	2.76	3.09	3.38	3.64	4.08	4.46	5.11	5.89
	M	0.75	1.43	1.64	1.89	2.23	2.50	2.73	2.94	3.30	3.60	4.12	4.76
	S	0.66	1.25	1.44	1.66	1.95	2.18	2.39	2.57	2.88	3.15	3.61	4.16
20	L	0.92	1.74	2.00	2.30	2.71	3.04	3.32	3.57	4.76	4.38	5.01	5.78
	M	0.74	1.41	1.61	1.86	2.19	2.46	2.68	2.89	3.24	3.54	4.05	4.67
	S	0.65	1.23	1.41	1.63	1.91	2.15	2.35	2.53	2.83	3.10	3.55	4.09
25	L	0.90	1.72	1.97	2.27	2.67	3.00	3.27	3.52	3.95	5.60	4.94	5.70
	M	0.70	1.39	1.59	1.84	2.16	2.42	2.65	2.85	3.20	3.49	4.00	4.61
	S	0.64	1.22	1.39	1.61	1.89	2.12	2.32	2.49	2.80	3.06	3.50	4.04
30	L	0.89	1.70	1.95	2.24	2.64	2.96	3.24	3.48	3.91	4.27	4.89	5.64
	M	0.72	1.38	1.57	1.82	2.14	2.40	2.62	2.82	3.16	3.46	3.95	4.56
	S	0.63	1.20	1.38	1.59	1.87	2.10	2.29	2.47	2.77	3.03	3.46	3.99

ついては、もはやこの最大変形深さを越えて損傷深さが生じ、球体の衝撃理論は適用出来ない。表3—2~表3—5において横線より下にある損傷は明らかな破壊損傷を示すものであり、落下高さが高くなるに伴い、亀裂が塊莖内部に深く入り、 D_1 と D_2 (図3—3) の差が大きくなる。

丸鋼に2mm厚さのゴムを被覆した場合には損傷の発生深さは減少し、表3—5に示すように落下高さ30cmまでは損傷深さは0である。落下高さ50cmにおいては損傷の亀裂を含めた発生深さ(D_2)でみると、7~20mm径丸鋼では11mm程度で

あるが、ゴム被覆については5mm以下と減少する。この傾向は直接的損傷部の深さ(D_1)についても見られ、ゴム被覆による損傷発生が緩和されることが認められる。

ゴム被覆丸鋼の最大合計変形深さはゴムの変形が含まれるので、表3—15に示すように表3—14の丸鋼より大きく現れる。ゴム被覆により損傷発生高さは40cmに緩和され、この時の最大合計変形深さは3.2~3.4mmであり、この変形範囲にゴム被覆時の損傷発生深さの限界があると判断される。

以上損傷の発生深さに亀裂を除いた D_1 について

考察してきたが、実際にはバレイシヨの物理性から亀裂を伴うのが一般であり、丸鋼の場合の損傷の生じ方が複雑であるために、NELSON等¹⁹⁾が行った体積表示では却って困難を来たすので、ここでは損傷を次のように分類し、亀裂を含めたD₂損傷について考察する。

圧砕、亀裂損傷：明らかに厚皮、髓部を破壊した傷。

打撲損傷：厚皮、髓部に変色を来たすが衝撃時点では破壊を伴わない。

丸鋼との衝撃時における損傷発生を図3-4に示す。圧砕亀裂損傷は丸鋼径が小さくなる程損傷発生位置が低くなり、又塊茎が大きい程低い位置で発生し易い。7mm径との衝撃についてはM玉、S玉が25cm高さで圧砕が生じるが、L玉では20cm高さで生じる。S玉のような小さな塊茎は10mm径以上の丸鋼に対しては差が現れず、70cm高さから圧砕が生じる。しかし丸鋼

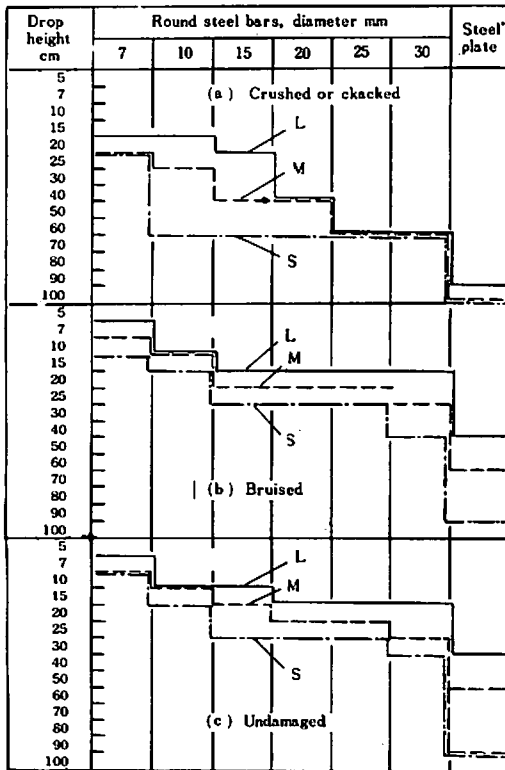


Fig 3-4. Influence of kind of impacters and tuber size on damage

の場合でも25~30mm径以上になると、塊茎の大きさの違いによる差が少なくなり、S玉と同様に70cm高さで発生する。鉄板については塊茎の大きさに拘らず圧砕は発生せず、一部に亀裂が生じる。

打撲損傷については圧砕損傷と類似した傾向を有するが、発生する落下位置が更に低くなる。即ちL玉の打撲は7mm径丸鋼の衝撃では7cmの高さで発生し、平鋼に対しても50cmの高さで生じる。このように打撲の発生位置が低いので、その防止対策はより困難を伴う。

逆に損傷が発生しない安全な落下位置を図3-4(C)に示している。L玉について見ると、7mm径丸鋼に対しては5cm以下で安全であり、10mm、15mm径に対しては10cm高さで、又20mm径、30mm径に対しては15cm高さ以下で安全であり、鉄板に対しては30cm以下で安全である。塊茎が小さくなると、安全落下位置が高くなり、鉄板との

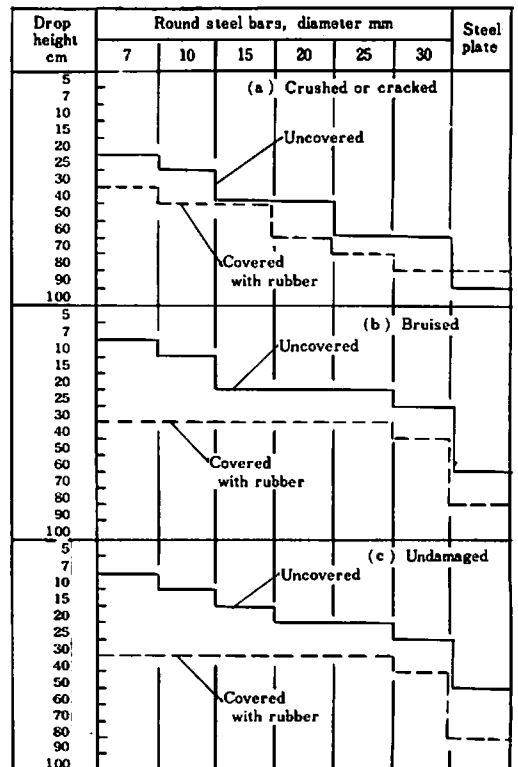


Fig 3-5. Efficacy of preventing tuber from damage when impacters were covered with rubber of 2 mm thickness (M size)

衝撃ではM玉が50cm, S玉が90cm以下で安全であり, L玉に比較して安全位置が高まる。

ゴムを被覆した場合の効果をM玉について行っており(図3-5), 被覆効果は丸鋼の直径により異なるが, 圧砕損傷については落下高さが10~20cm緩和される。打撲損傷については7mm径の丸鋼に対して特に大きな効果があり, 損傷の発生高さが10cmから40cmへと高くなり, 30cmの緩和が見られる。又10mm径では25cm, 15mm径以上の丸鋼と鉄板に対しては15~20cmの緩和が認められる。

以上の結果からゴム被覆による落下高さの安全限界は, 7~25mm径に対しては30cm以下で, 30mm径に対しては40cm高さ以下で安全であり, 又鉄板に対しては80cm高さで安全である。

第4節 摘 要

塊茎の大きさはL玉, M玉, S玉の3階級を用い, この大きさの違いによって鉄板, 丸鋼及び塊茎の衝撃により発生する損傷の差違を明らかにした。

球体の衝撃理論を適用して損傷の発生深さと最大変形深さの関係, 更に最大接触応力及び接触時間の面から塊茎の大きさと損傷発生機構との関係を分析した。

塊茎と鉄板の衝撃の場合に, 損傷が生じない安全限界最大変形深さはL玉, M玉, S玉がそれぞれ2.12mm, 2.23mm, 2.26mmであり, この時の落下高さがそれぞれ30, 50, 70cmとなっており, 塊茎が小さい程落下位置が高い時でも損傷が発生し難い。

塊茎相互の衝撃については最大合計変形深さの1/2を塊茎一個体の最大変形深さと仮定した。落下高さが100cmの場合L玉, M玉, S玉の同径の

ものの相互衝撃における最大変形深さはそれぞれ2.68mm, 2.23mm, 1.97mmであり, L玉相互の場合が最も大きな変形を示し, 損傷発生限界値2.19~2.26mmを越えて損傷が生じたが, 他のサイズの場合には損傷は見られなかった。

塊茎の大きさが異なる場合の衝撃については落下塊茎がL玉であり, 被衝撃塊茎がS玉の場合には, S玉は著しい損傷を受ける。これはL玉がS玉に衝突した時は接触面積が小さくなるので, 最大接触応力が最も大きな値となり, S玉の最大変形深さが増加し, 変形の許容限界を越えたためである。

塊茎と丸鋼の衝撃については7, 10, 15, 20, 25, 30mmφの丸鋼を用いて塊茎に衝撃を与えた。丸鋼の損傷発生限界最大変形は7mmφの場合で1.79~1.92mmを示し, 少ない変形で損傷が生じる。10mmφの場合が1.87~2.01mmと7mmφと類似した値をとるが, 15mmφ以上の丸鋼の最大変形は2.05~2.40mmであり, 直径が大きくなると損傷が緩和される。又同一衝撃体に対しては塊茎が大きい程発生限界変形深さは大きく, 損傷が生じやすい。

更に直接的な損傷から派生する亀裂を含めた損傷の場合には, 塊茎が大きく且つ丸鋼の直径が小さい程, 損傷の発生高さが低くなり損傷が生じ易い。7mmφ丸鋼の衝撃では圧砕が発生する高さは, M玉, S玉が25cmであるのに対して, L玉は20cmであり低くなっている。しかし丸鋼径が25mm以上になると, 塊茎の大きさの違いによる差が少なくなる。打撲損傷は圧砕の場合と同様な傾向を有するが, 損傷が発生する落下位置が更に低くなり, L玉の打撲は7mmφ丸鋼衝撃により7cmの高さで発生する。従って打撲損傷の防止対策はより困難になる。

第4章 バレイショの収穫時期別損傷

第1節 実験目的並びに実験方法

1. 実験目的

収穫時期の違いにより塊茎の物理的性質が変化する⁶⁾、時期別に塊茎に落下衝撃を与えて損傷を発生させ、損傷発生の差異を明らかにする。特に本実験においては早期出荷を前提としているために収穫時期が早まり、7月20日～8月17日の間に4回の収穫を行い、塊茎の硬度を測定すると同時に自由落下衝撃を行い、球体の衝撃理論を適用して損傷の時期別における発生機構を究明する。

2. 実験方法

1) 供試材料

品種には男爵薯を供し、1976年長沼町産バレイ

ショを用いた。塊茎の大きさについてはM玉(120～70g)に限定しているため各収穫時により塊茎の一個重に差が少ないので、塊茎重量については各時期共通に93.15gとしている。塊茎の硬度についてはパネ式硬度計で測定し、7月20日が4.50kg、7月27日が4.56kg、8月3日以降では4.60kgを示し、時期が経過するに伴い、硬度は高く推移している。各時期の $E_1/(1-\nu_1^2)$ は表4-1に示す通りである。塊茎の曲率半径については第3章第2節と同様な方法で測定し、 $R_1=3.50\text{cm}$ となっている。

2) 衝撃体

塊茎が落下衝突する衝撃体には、第3章第2節と同一の丸鋼及び鉄板を用いており、丸鋼の直径を7、10、15、20、25、30mmとする。

3) 測定方法

自由落下衝撃装置を用い、第3章と同様な方法

Table 4-1. Conditions of potatoes

Harvesting date		weight	Hardness	$E_1/(1-\nu_1^2)$	Radius of curvature
		g	kg	kg/cm ²	cm
July	20	92.2	4.50	137.70	3.50
July	27	93.8	4.56	169.03	
August	3	93.6	4.60	196.72	
August	17	93.0	4.60	196.72	

により損傷を発生させる。衝撃を受けた塊茎は各時期共低温室(1℃～3℃)に17日間貯蔵された後、表面並びに断面について損傷の深さ及び幅を測定した。

第2節 実験結果及び考察

塊茎の落下衝撃による損傷の発生深さは各収穫時期別に表4-2～表4-5に示す通りである。これらの表から明らかなように早い時期に当る7

月20日の塊茎が、それ以降の収穫時期に比較すると、損傷の発生する落下位置が最も低く、損傷が生じ易い。各時期におけるAの値は次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} A_{7/20} &= 7.2622 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg} \\ A_{7/27} &= 5.9161 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg} \\ A_{8/31} &= 5.0834 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg} \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

Table 4-2. Damage depth of tubers harvested at July 20, mm

Drop height cm	Round steel bars, diameter mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0*	0	0	0
10	2.3***	0**	0	0*	0	0*	0
15	2.3	0**	0	0*	0***	0	0
20	3.7*	0	1.3**	0***	0*	0**	0
25	4.3	2.3**	1.7**	0**	1.7	2.7	0
30	4.0	3.0***	4.3	0	1.3*	0	0
50	5.7	4.7	2.7	4.3	7.0	1.3***	0***
70	8.0	5.7	7.7*	9.0	2.0*	0***	0***
100	14.3	17.7	9.3	12.0	12.3	4.7crack	0***

Crushed damage occurred at the underside of line

* slight damage like nail-mark

** Softening

*** Browning

Table 4-3. Damage depth of tubers harvested at July 27, mm

Drop height cm	Round steel bars, diameter mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5	0***	0	0	0			
7	0**	0***	0	0	0**		
10	0**	0*	0	0	0	0	
15	0.3***	0**	0**	0	0	0	
20	0.7***	0**	0	0**	0	0**	
25			0**	0**	0	0	
30	4.7	3.0**	0*	0**	0**	0	0
50	5.0	2.3	0*	1.7***	2.7	0**	0
70	6.7	6.7	3.3	3.7**	0**	0**	0***
100	14.3	10.3	3.0	7.0	1.3	3.3**	0 crack

Table 4-4. Damage depth of tubers harvested at August 3, mm

Drop height cm	Round steel bars, diameter mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5	0	0	0		0		
7	0**	0	0	0	0	0	
10	1.3**	0	0.3	0	0	0	0
15	1.7	0	0	0	0	0**	0
20	4.0*	0**	0**	0	0	1.3	0
25	6.3	3.3*	4.7	2.0	0	0***	0
30	8.0	5.0*	3.7	2.0	0**	0**	0
50	8.7	4.7*	7.3	2.3	7.3	1.3**	0
70	11.7	10.7	3.7**	2.0	0**	3.7	0
100	12.0	12.7	11.3	11.5	6.0**	6.0***	0 crack

Table 4-5. Damage depth of tubers harvested at August 17, mm

Drop height cm	Round steel bars, diameter mm						Steel plate
	7	10	15	20	25	30	
5	0	0					
7	2.0	0					
10	1.7	1.3	1.3***				
15	1.0*	0	0				
20	3.7*	3.7	1.0				0
25	5.0*	5.0	1.3				0
30	6.0***	4.7	1.7				0
50	9.0	5.3	5.3				0
70	10.7	7.0*	11.3				0
100	13.7	8.7	14.7				2.3 crack

このAの値から塊茎と鉄板の衝撃時の最大変形深さは(2-20)式を用いて(4-2)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} D_{\max(7/20)} &= 5.401 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(7/27)} &= 4.991 \times 10^{-2} h^{2/5} \\ D_{\max(8/3)} &= 4.683 \times 10^{-2} h^{2/5} \end{aligned} \right\} \quad (4-2)$$

h = 5 ~ 100 cmにおける計算値は表4-6に示す通りである。鉄板の衝撃は丸鋼の衝撃と異なり圧碎損傷は発生せず、表4-2~表4-5に示すように周皮の外面で変色を来たすが、厚皮部には達しない場合か、又は亀裂を生ずる。収穫時期が早期である時には亀裂を生ずるより、むしろ衝撃

Table 4-6. Maximum deformation of tubers in impact with steel plate, mm

Date of harvesting	Drop height cm	Drop height cm									
		5	7	10	15	20	25	30	50	70	100
July 20	1.03	1.18	1.36	1.60	1.79	1.96	2.11	2.58	2.95	3.41	
July 27	0.95	1.09	1.25	1.47	1.65	1.81	1.95	2.39	2.73	3.15	
August 3	0.89	1.02	1.18	1.38	1.55	1.70	1.83	2.24	2.56	2.95	

面の周皮が変色する。しかし時期が遅い場合には亀裂を生じ、8月2日のように塊茎が割れることがある。表4-6の最大変形深さから考察すると、時期が経過するに伴い、塊茎の硬度が増加するので、最大変形深さは減少する。7月20日では50cm高さで厚皮部に変色を生じ、最大変形深さは2.58mmを示すが、7月27日では落下高さ100cmで割れを発生しており、この時の変形深さは7月27日で3.15mmであり、又8月3日では2.95mmとなっている。他方損傷が発生しない安全限界を示す最大変形深さは、7月20日が2.11mm、7月27日が2.39mm、8月3日が2.56mmであり、収穫時期が

早い程少ない変形深さで損傷が生ずることが認められる。

更に鉄板衝撃による時期別の損傷発生の差異は最大接触応力の面からも確認される。即ち(2-23)式から(4-1)式のAの値を用いて、各時期における最大接触応力を(4-3)式に示す。

$$\left. \begin{aligned} S_{\max(7/20)} &= 10.889 h^{1/3} \\ S_{\max(7/27)} &= 12.830 h^{1/3} \\ S_{\max(8/3)} &= 14.485 h^{1/3} \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$

サフィックスは収穫時期の月/日上式より時期が経過するにつれて最大応力は増加する。(4-3)式による落下高さ別の計算値を

Table 4-7. Maximum contact stress in impact with steel plate, kg/cm²

Drop height cm	Date of harvesting		
	July 20	July 27	Aug. 3
5	15.02	17.70	19.99
7	16.07	18.93	21.38
10	17.26	20.33	22.96
15	18.72	22.05	24.90
20	19.82	23.36	26.37
25	20.73	24.42	27.57
30	21.50	25.33	28.60
50	23.81	28.06	31.67
70	25.47	30.01	33.88
100	27.35	32.23	36.38

表4-7に示す。この表からも明らかなように各時期における安全限界応力は次のようになる。

7/20 21.50kg/cm²(落下高さ30cm)
7/27 30.01kg/cm²(落下高さ70cm)

Table 4-8. Value of R₂' , cm

Radius of tuber cm	Radius of round steel bars, cm					
	0.35	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
3.50	0.705	0.842	1.031	1.191	1.332	1.459

Table 4-9. Value of β of steel bars

Date of harvesting	Diameter of round steel bars, mm					
	7	10	15	20	25	30
July 20	0.772	0.750	0.726	0.711	0.699	0.690
July 27	0.711	0.691	0.669	0.655	0.644	0.636
August 3	0.669	0.650	0.630	0.616	0.606	0.598
August 17						

8/3 } 33.88kg/cm²(落下高さ70cm)
8/17 }

時期が経過するに伴い、損傷が発生し難いことを示している。

丸鋼の衝撃については圧砕又は亀裂の重傷は7月20日が低い落下高さで生じ易く、7月27日になると損傷発生時の落下位置が高くなり、損傷が生じ難くなっている。鉄板に比較すると丸鋼の場合には著しい損傷が生じる。各時期における最大変形深さは(2-16)式から m₂=∞, R₂=R₂' とし

$$D_{max} = 20.221 (Am_1)^{2/5} \left[\frac{R_1 + R_2'}{R_1 R_2'} \right]^{1/5} h^{2/5}$$

ここに 20.221 (Am₁)^{2/5} [(R₁+R₂') / (R₁R₂')]^{1/5} = β とおいて、最大変形深さは次のようになる。

$$D_{max} = \beta h^{2/5}$$

各時期における丸鋼の直径別の β は表4-8に示す R₂' の補正值 R₂' を用いて表4-9のようになる。

更に表4-9の β に基づき、落下高さ別の最大変形深さは表4-10に示す通りである。

Table 4-10. Maximum deformation of tubers harvested at different period in impact with round steel bars, mm

Date of harvest	Diameter of bars mm	Drop height cm									
		5	7	10	15	20	25	30	50	70	100
July 20	7	1.47	1.68	1.94	2.28	2.56	2.80	3.01	3.69	4.22	4.87
	10	1.43	1.63	1.88	2.22	2.49	2.72	2.92	3.59	4.10	4.73
	15	1.38	1.58	1.82	2.15	2.41	2.63	2.83	3.47	3.97	4.58
	20	1.35	1.55	1.78	2.10	2.35	2.57	2.77	3.40	3.89	4.48
	25	1.33	1.52	1.76	2.06	2.32	2.53	2.72	3.34	3.82	4.41
	30	1.31	1.50	1.73	2.04	2.29	2.50	2.69	3.30	3.77	4.35
July 27	7	1.35	1.55	1.79	2.10	2.36	2.58	2.77	3.40	3.89	4.49
	10	1.32	1.50	1.74	2.04	2.29	2.50	2.69	3.30	3.78	4.36
	15	1.27	1.46	1.68	1.98	2.22	2.42	2.61	3.20	3.66	4.22
	20	1.25	1.43	1.64	1.93	2.17	2.37	2.55	3.13	3.58	4.13
	25	1.23	1.40	1.62	1.90	2.13	2.33	2.51	3.08	3.52	4.06
	30	1.21	1.38	1.60	1.88	2.11	2.30	2.48	3.04	3.48	4.01
August 3	7	1.27	1.46	1.68	1.98	2.22	2.43	2.61	3.20	3.66	4.22
	10	1.24	1.42	1.63	1.92	2.15	2.36	2.53	3.11	3.56	4.10
	15	1.20	1.37	1.58	1.86	2.09	2.28	2.45	3.01	3.44	3.97
	20	1.17	1.34	1.55	1.82	2.04	2.23	2.40	2.95	3.37	3.89
	25	1.15	1.32	1.52	1.79	2.01	2.20	2.36	2.90	3.31	3.82
	30	1.14	1.30	1.50	1.77	1.98	2.17	2.33	2.86	3.27	3.77

周皮を貫通し、厚皮又は髓部に達する打撲及び圧碎損傷の発生について実測値と最大変形深さを対比してみると、表4-10に示した縦線を境界にして、この縦線より右側において損傷が発生する。いずれの時期においても7mm径の丸鋼に対しては最大変形深さ1.8mm以下では損傷が発生しないが、10mm径以上の丸鋼に対しては損傷が発生しない限界値は2.0~2.4mmの範囲にあり、7mm径丸鋼が他より損傷が生じ易いことを示している。

衝撃を受けた塊茎の部分が丸鋼の曲面に似た凹状を呈する場合や軟化している場合があるが、いずれの場合も断面に変色が無く、特にここでは微軽傷として取扱うこととする。この微軽傷は7月27日以前に比較的多く見られ、8月3日以降では少ない(図4-1)。又爪痕状の微軽傷については7月20日の早い時期に現れているが、7月27日以降では見られない。

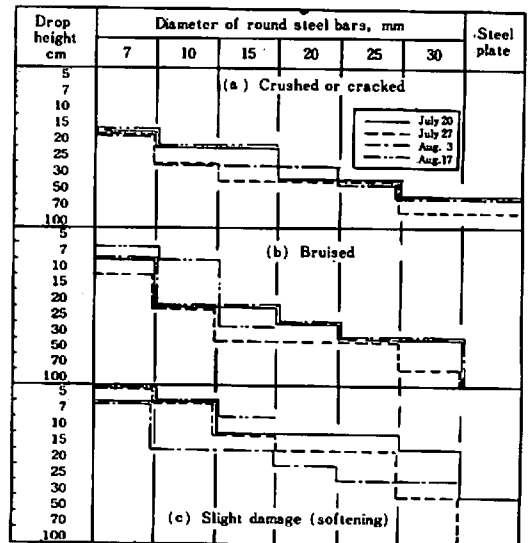


Fig 4-1. Occurrence of damage at different harvesting period

第3節 摘 要

男爵薯を供試して、収穫時期を7月30日、7月27日、8月3日、8月17日の4回に変えた場合の時期別損傷の発生状況を比較した。塊茎の大きさはM玉とし、自由落下によって鉄板及び丸鋼（7、10、15、20、25、30mm φ）に衝突させ、その時の衝撃により生じた塊茎の損傷程度を検討した。

収穫時期が早い7月20日の塊茎がそれ以降の時期に比較して特に損傷が発生し易い。鉄板への衝撃の場合には圧碎損傷がなく、落下位置が高くなると周皮の軟化或は変色を呈するか、場合によっては裂傷が生じる。時期の早い塊茎は周皮が変色するケースが多く、時期が遅い時の塊茎は裂傷となることが多い。

丸鋼を対象とした場合には圧碎又は裂傷の重傷

は、7月20日の早い時期において低い落下高さで生じ、7月27日以降に比較して損傷が発生し易い。

塊茎の最大変形深さ（ D_{max} ）と損傷の発生深さの関係については、損傷が発生しない安全限界を示す最大変形深さは7月20日が2.11mm、7月27日が2.39mm、8月3日が2.56mmであり、時期が早い程少ない変形深さで損傷が生じた。又丸鋼衝撃の場合の安全限界を示す最大変形深さは7mm φで1.8mm以下であるが、10mm φ以上では2.0～2.4mmであり、7mm φの場合に損傷が生じ易い。

塊茎につく凹状、軟化の微軽傷は7月2日以前に比較的多く、8月2日以降で少ない。

鉄板衝撃時の安全限界を示す最大接触応力は7月20日、7月27日、8月3日でそれぞれ21.50、30.01、33.88kg/cm²であり、時期が経過する程損傷が生じ難くなる。