

研究ノート

モモ果実の繰り返し衝撃に対する易損性の部位別評価

北澤 裕明\*<sup>§</sup>, 清水 栄治\*\*, 長谷川 奈緒子\*, 五十部 誠一郎\*\*

\* (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

\*\* 日本大学 生産工学部 マネジメント工学科

〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1

Evaluation of fragility due to repetitive shock in different parts of peach fruit

Hiroaki Kitazawa\*<sup>§</sup>, Eiji Shimizu\*\*, Naoko Hasegawa\* and Seiichiro Isobe\*\*

\* National Food Research Institute, NARO, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

\*\* Department of Industrial Engineering and Management, College of Industrial Technology, Nihon University,  
1-2-1 Izumi-cho, Narashino, Chiba 275-8575

Abstract

In this study, we evaluated fragility due to repetitive shock at the calyx end, equatorial surface, and apex end of peach fruit. Our results suggested that fragility due to repetitive shock was larger at the calyx end than at the other two parts. This difference might be caused by reduced firmness of flesh at the calyx end. Currently, peach fruit are packaged with the calyx end at the bottom and the apex end at the top. However, our results suggested that this packaging style does not prevent the fruit from being damaged by repetitive shock during distribution.

Keywords: flesh firmness(果肉硬度), fragility(易損性), peach fruit(モモ), peak acceleration(ピーク加速度), repetitive shock(繰り返し衝撃)

緒言

昨今の青果物を取り巻く輸送環境の改善にもかかわらず、青果物の輸送工程における減耗は依然として大

きい<sup>1,2)</sup>。特にモモ、イチゴおよびオウトウなどの軟弱果実類の輸送中の損傷発生は、大きな問題となっている。

輸送中の青果物に損傷を与える要因には、継続的な加速度である「振動」と振動よりも大きなレベル

<sup>§</sup> 連絡先 (Corresponding author), ktz@affrc.go.jp

で、かつ瞬間的な加速度が輸送中の路面の段差や積み替え時の荷扱い時などにおいて発生する「衝撃」がある。損傷防止のためには、輸送中の振動および衝撃環境を考慮した緩衝包装設計が必要である。青果物の損傷に及ぼす振動の影響を評価した研究事例は幾つかあり<sup>2,3)</sup>、S-N曲線理論を用いて損傷発生を評価あるいは予測する手法も提案されている<sup>4)</sup>。

工業分野においては、損傷限界曲線 (Damage Boundary Curve, DBC) 理論<sup>5)</sup>のような物品の衝撃に対する易損性を評価する有用な理論が構築され、緩衝包装設計に利用されている。一方、青果物においては、このような緩衝包装設計のための理論は構築されておらず、輸送中の衝撃による損傷に関する防止対策は進んでいない。工業製品では、1回の衝撃に対する物品の易損性が重視されるのに対し、青果物では繰り返し衝撃により疲労破壊的に生ずる損傷が問題となることが多い<sup>6)</sup>。このことは、1回の衝撃に対する易損性を評価する手法であるDBC理論が青果物の繰り返し衝撃に対する易損性の評価に応用し難いことを示唆している。

池田ら<sup>7)</sup>は、レモン果実貯蔵中における腐敗の発生と物理的損傷との関係に着目し、腐敗の発生割合を採果工程における衝撃発生回数およびピーク加速度の積算から推定する手法を提案した。著者らは、イチゴ輸送中の衝撃発生状況を解析したとともに、振動による損傷評価に用いられてきたS-N曲線理論を応用し、輸送中に商品性が消失する地点を予測する手法を提案した<sup>8,9)</sup>。一方、モモに関しては、1回の衝撃による損傷について議論した研究は散見されるものの<sup>10~12)</sup>、繰り返し衝撃と損傷との関係について検討した事例は見当たらない。また、モモ果実は通常、蒂窪部(以降、ていあ部と表記)を下に、果頂部を上にして立てた状態で包装されているが、この包装方法が妥当であるかどうかは不明である。この点を検証するためには、果実の繰り返し衝撃に対する部位ごとの易損性を解明する必要がある。

本研究では、モモ果実の繰り返し衝撃による損傷防止のための緩衝包装設計に資する知見を得ることを目的とし、衝撃加速度および繰り返し回数の違いがモモ果実の損傷発生に及ぼす影響を部位別に評価した。また、部位ごとの易損性の差異を果肉硬度の観点から検証するとともに、実輸送を想定した包装形態を用いて、落下高とピーク加速度の関係について検討した。

## 実験材料および方法

### 1. 部位別の易損性評価 (試験1)

2013年8月に福島県内で収穫されたモモ‘あかつき’を試料とした。果実のていあ部、赤道部および果頂部に衝撃試験機 (SDST-300, 神栄テクノロジー(株))を用いて正弦半波衝撃パルスを繰り返し印加し、損傷発生に要する繰り返し回数を調査した。果実は衝撃試験機の落下テーブル上部に治具で固定した。その際、実輸送においてソフトトレー内に果実が配置される状況を勘案し、果実の衝撃印加部と落下テーブルとの間に10 mm厚の発泡ポリエチレン (PE) シートを配置した (図1)。衝撃試験機における設定落下高は、120, 240および360 mmとした。これらの高さから果実を落下させた際に発泡PEシート上に発生するピーク加速度は、3次元加速度計 (2366 W, 昭和測器(株)、寸法8.0×7.0×5.5 mm, 重量1.2 g)を用いて計測された。各々の設定落下高で計測されたピーク加速度は、1236~2464  $\text{m s}^{-2}$ であった (表1) (計測条件は後述する)。これらの条件による衝撃を繰り返し、衝撃印加部に変形を伴う軟化が生じた時点を損傷発生とした。なお、このような状態となった果肉は水浸状となり、数時間経過すると内部の変色が進行し (図2)、商品価値は著しく低下する。試験は6果について行い、部位ごとに最大値を除外した5データについて解析した。

### 2. 果実の部位別の硬度測定 (試験2)

試験1と同一の試料を用いた。直径5 mmの円筒形プランジャーを装着した果実硬度計 (KM-5, (株)藤原製作所)を用いて、試験1で評価対象とした各部位におけるプランジャー貫入時の最大抵抗値を測定した。測定は各部位の2箇所について行い、その平均値を部位ごとの果肉硬度とした。調査個体数は24とした。

### 3. 実輸送包装形態 (ダミーサンプル) を用いた落下試験 (試験3)

Aフルートの段ボール箱 (内寸: 460×305×105 mm) に、発泡PE製の緩衝用ソフトトレーを収納した国内における一般的なモモ輸送用包装容器を模倣したダミーサンプルを作製し、このサンプルを落下試験機 (DTS-50, 神栄テクノロジー(株))により落下させた。落下面の材質は鋼鉄である。ソフトトレーは16玉用とし、その果実収納部に果実重量を想定し

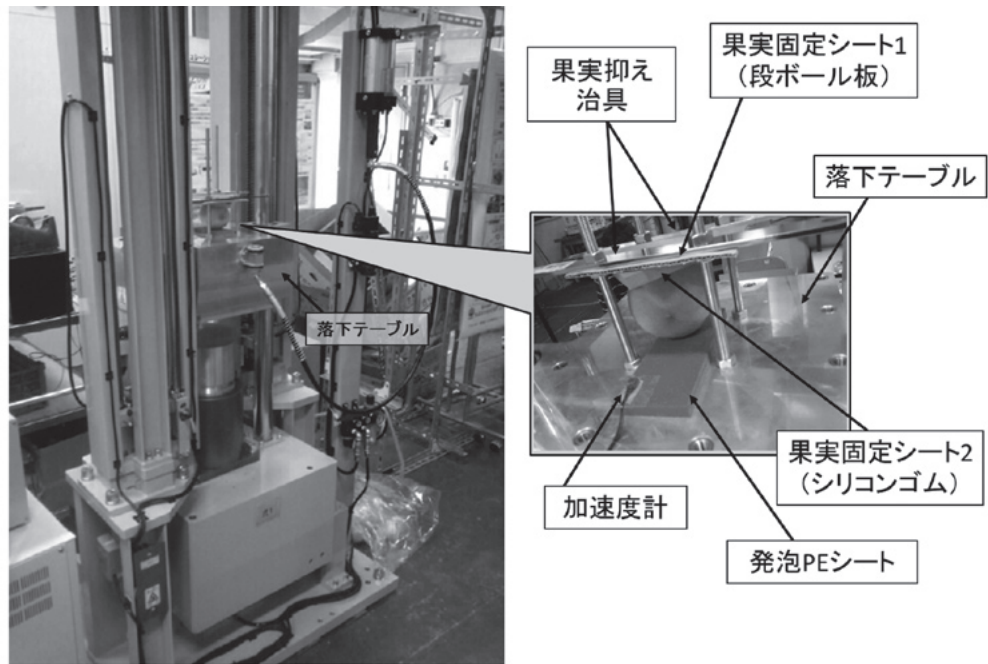


図1. 衝撃試験機による果実への衝撃印加

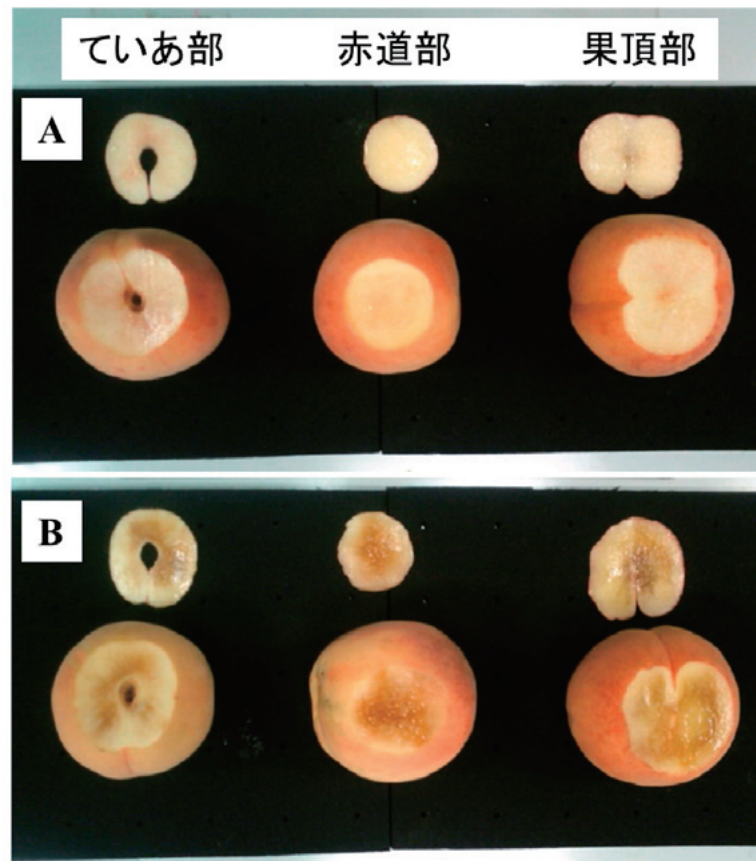


図2. 繰り返し衝撃によるモモ果実の品質劣化

A : 果実の切断面 (衝撃印加前)

B : 繰り返し衝撃により軟化した果実の切断面 (24時間後)

た300 gの粘土を詰め、ダミーサンプルの総重量を約4.9 kgとした。落下高は、200, 250, 300, 400, 500 および600 mmとした。

緩衝用ソフトレー中央付近の果実収納部の底面に衝撃計測・解析システム (SMH-12, 神栄テクノロジー(株)) に接続された、試験1で用いたものと同じの3次元加速度計を両面テープで貼り付け、各落下高から落下させた際のピーク加速度を計測した。その際、果実の重量を想定した粘土と加速度計との間にドーム状の隙間を設け、両者が接触しないようにした。計測条件は、サンプリングレート: 200  $\mu\text{s}$ 、データ点数: 2000、トリガレベル: 196  $\text{m s}^{-2}$  およびプレトリガ: 25%とした。これらの条件は、衝撃・振動解析ソフトウェア (SMS-500, 神栄テクノロジー(株)) により設定した。なお、これらの条件は試験1におけるピーク加速度の計測条件と同一である。

調査した落下高の範囲において、供試したダミーサンプルが線形バネ特性を有すると仮定すると、落下高 ( $h$ ) とピーク加速度 ( $PAcc$ ) の関係は以下の式で表す事ができ、これらは互いに変換可能となる。

$$PAcc = ah^b \dots \dots (1)$$

ここで、 $a$  および  $b$  は定数である。計測は各落下高について4回実施した。計測結果と式 (1) との整合性について検証し、ダミーサンプルが線形バネ特性を有するものとみなせた場合、得られた数式を用いて、試験1において果実に印加した衝撃と同等のピーク加速度が生じるダミーサンプルの落下高を推定すること

とした。

#### 4. 統計処理

試験1 および2のデータについて、Steel-Dwass法による多重比較を行った。統計解析ソフトウェアは、エクセル統計2012 ((株)社会情報サービス) を用いた。危険率は0.05とした。

### 実験結果

#### 1. 部位別の易損性評価 (試験1)

1236  $\text{m s}^{-2}$  のピーク加速度を伴う衝撃を印加した際に、損傷発生に要した繰り返し回数は果頂部で最も多く、赤道部、ていあ部の順に少なくなった (表1)。果頂部とていあ部の間には有意な差がみられ、ていあ部の値は、果頂部のそれより5割程度小さかった。ピーク加速度が1908  $\text{m s}^{-2}$  の場合、損傷発生に要する繰り返し回数は赤道部で最も多く、果頂部、ていあ部の順に少なくなった。赤道部とていあ部の間には有意な差がみられ、ていあ部の値は、赤道部のそれより5割程度小さかった。ピーク加速度が2464  $\text{m s}^{-2}$  の場合、部位間に有意な差はみられなかった。

#### 2. 果実の部位別の硬度測定 (試験2)

果実硬度計による測定値は、果頂部および赤道部では13.9Nであったのに対し、ていあ部では12.3Nであった (図3)。ていあ部における果肉硬度は、果頂部および赤道部のそれと比較し有意に小さかった。

表1. ピーク加速度と部位の違いがモモ果実の繰り返し衝撃による損傷発生に及ぼす影響

落下高 <sup>z</sup> (mm)	ピーク加速度 ( $\text{m s}^{-2}$ )	衝撃印加部位	損傷発生に要する衝撃繰り返し回数
120	1236	ていあ部	$1.8 \pm 0.3^y b^x$
		赤道部	$3.0 \pm 0.5 ab$
		果頂部	$3.4 \pm 0.2 a$
240	1908	ていあ部	$1.2 \pm 0.2 b$
		赤道部	$2.4 \pm 0.4 a$
		果頂部	$2.0 \pm 0.3 ab$
360	2464	ていあ部	$1.0 \pm 0.0 a$
		赤道部	$1.4 \pm 0.2 a$
		果頂部	$1.6 \pm 0.2 a$

<sup>z</sup> 衝撃試験機における落下テーブルの落下高。

<sup>y</sup> 平均値  $\pm$  標準誤差 ( $n = 5$ )。

<sup>x</sup> 同一落下高における異なるアルファベット間には、Steel-Dwass法により5%水準で有意差有り。

### 3. 実輸送包装形態（ダミーサンプル）を用いた落下試験（試験3）

ダミーサンプルを200, 250, 300, 400, 500および600 mmの高さから落下させた際に生じた衝撃のピーク加速度は、それぞれ670, 814, 1282, 2300, 2909および3696  $\text{m s}^{-2}$ となった（図4）。落下高（ $h$ ）と得られたピーク加速度（ $PAcc$ ）との関係は以下の式で表すことができた。

$$PAcc = 0.1022h^{1.6507} \dots\dots (2)$$

式(2)の決定係数（ $R^2$ ）は、0.9833であり、調査した落下高の範囲において、式(1)で示した仮定が成立し、供試したダミーサンプルが線形バネ特性を有していることが確認できた。この式を用いて、試験1において果実の損傷評価に用いた各ピーク加速度が生ずるダミーサンプルの落下高を算出すると、それぞれ298 mm（1236  $\text{m s}^{-2}$ ）、386 mm（1908  $\text{m s}^{-2}$ ）および450 mm（2464  $\text{m s}^{-2}$ ）となった。

## 考 察

試験1の結果より、供試したモモ果実では、果頂部および赤道部と比較し、ていあ部で繰り返し衝撃に対する易損性が大きいことが明らかとなった。試験2に

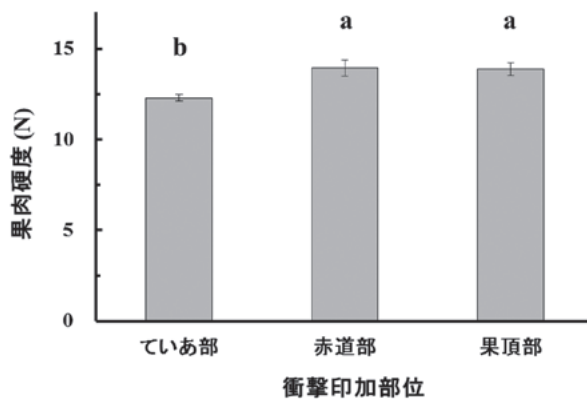


図3. 部位別の果肉硬度

異なるアルファベット間には、Steel-Dwass法により5%水準で有意差有り。

図中のエラーバーは標準誤差を示す（ $n=24$ ）。

において、ていあ部の果肉硬度が果頂部および赤道部に比べて有意に低かったことから、各部位における易損性の大きさは果肉硬度に依存するものと考えられる。

試験3では、実輸送を想定した包装形態を用いてピーク加速度と落下高の関係を明らかにするとともに、試験1で検討したピーク加速度をともなう衝撃が、どの程度の落下高に相当するのかを検証した。青果物の輸送中に想定される最大落下高は、イチゴおよびアウトウ輸送中の衝撃発生状況を解析した先行調査<sup>8,13,14</sup>の結果を総合する限り200 mm程度であった。試験3で想定された落下高（298, 386および450 mm）は、先行調査の結果をもとに推算した値よりも大きかったといえる。一方、輸送手段によっては、200 mm以上の高さからの落下に相当する衝撃が被包装物に発生する事例も報告されている<sup>15</sup>。近年の青果物輸送における手段や経路の多様化を考慮すると、本研究において想定した範囲の落下高への対策が必要となる状況が、流通の条件次第では生ずるものと考えられる。

モモ果実は現在、ていあ部が下、果頂部が上となるように立てた状態で包装されて流通している。一方、輸送中に発生する衝撃の大半は落下に起因するものであり、通常、被包装物に生ずる衝撃の程度は水平方向よりも垂直方向の方が大きい<sup>16</sup>。この点を踏まえた上で、本研究により得られた結果は、モモ果実の輸送中における繰り返し衝撃による損傷の回避という観点か

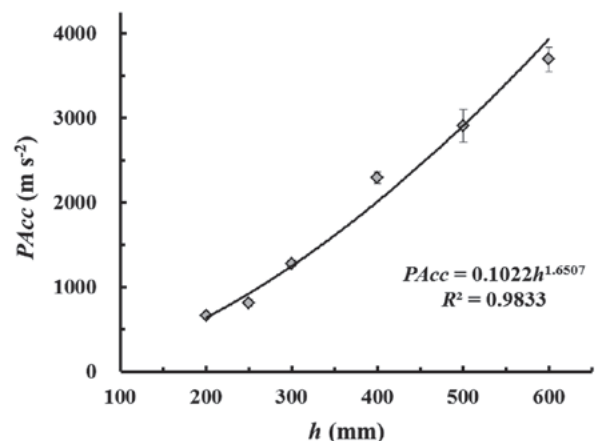


図4. 実輸送を想定したダミーサンプルを落下させた際における落下高（ $h$ ）とピーク加速度（ $PAcc$ ）との関係

図中のエラーバーは標準誤差を示す（ $n=4$ ）。

らは現在の包装方法が必ずしも最善とは限らない可能性を示唆した。なお、モモ果実を梱包した包装容器が約450 mmの高さから落下された場合では、各部位における易損性に差は生じないものと本研究の結果より考えられる。この理由としては、ピーク加速度と損傷発生に要する衝撃繰り返し回数との関係において、いずれかの部位がイチゴで報告されているような線形特性<sup>6,8,9)</sup>を有していないこと、ピーク加速度に伴う速度変化に対する応答が部位によって異なることなどが推察される。これらの点に関する検討を含めた上で、今後はモモ果実輸送中の繰り返し衝撃による損傷を防止するための新たな緩衝包装形態を提案する。

## 要 約

モモ果実の繰り返し衝撃に対する易損性を、ていあ部、赤道部および果頂部に区分して検討した。その結果、ていあ部の繰り返し衝撃に対する易損性は果頂部および赤道部と比較大きく、その理由として、この部位における果肉硬度が他2部位に比べて低いことが考えられた。モモ果実は通常、ていあ部が下、果頂部が上となるように立てた状態で包装されて流通している。しかしながら、本研究の結果より、輸送中の繰り返し衝撃による損傷回避の観点からは、このような包装方法が必ずしも最善とは限らない可能性が示唆された。

## 謝 辞

試験1および2は、(独)農業・食品産業技術総合研究機構平成25年度インターンシップ講習プログラムにより実施した。

## 参考文献

- 1) Kitazawa, H., Ishikawa, Y., Lu, F., Hu, Y., Nakamura, N. and Shiina, T., Alleviation of strawberry bruising due to vibration using 1-layer packaging with cushioning, *J. Packag. Sci. Technol.*, **19**, 33-42 (2010).
- 2) 中村宣貴, 梅原仁美, 岡留博司, 中野浩平, 前澤重禮, 椎名武夫, 振動周波数及び振動方向がイチゴ果実の損傷に及ぼす影響, *農業施設*, **38**, 101-108 (2007).
- 3) Kitazawa, H., Ishikawa, Y., Nakamura, N., Lu, F. and Shiina, T. Improvement of packaging to reduce deterioration of peach fruit caused by vibration, *Food Preserv. Sci.*, **34**, 331-336 (2008).
- 4) 中村宣貴, 梅原仁美, 根井大介, 岡留博司, 石川豊, 中野浩平, 前澤重禮, 椎名武夫, 包装条件の違いがイチゴ果実の損傷に及ぼす影響, *農業施設*, **39**, 1-8 (2008).
- 5) Newton, R.E., *Fragility assessment theory and test procedure*, Monterey Research Laboratory, Inc. (1968).
- 6) Kitazawa, H., Saito, K. and Ishikawa, Y., Effect of difference in acceleration and velocity change on product damage due to repetitive shock, *Packag. Technol. Sci.*, **27**, 221-230 (2014).
- 7) 池田裕朗, 石川豊, 赤阪信二, 塩田俊, 北澤裕明, 路飛, 収穫後の衝撃がレモン果実貯蔵中の腐敗の発生に及ぼす影響, *園学研*, **10**, 93-100 (2011).
- 8) 北澤裕明, 石川豊, 路飛, 胡耀華, 中村宣貴, 椎名武夫, イチゴ輸送中の衝撃解析と損傷発生, *園学研*, **9**, 221-227 (2010).
- 9) 北澤裕明, 佐藤達雄, 石川豊, 中村宣貴, 椎名武夫, ソフトパックにより包装されたイチゴの損傷発生に及ぼす衝撃の影響, *日食保蔵誌*, **36**, 265-269 (2010).
- 10) Maness, N.O., Brusewitz, G.H. and McCollum, T.G., Impact bruise resistance comparison among peach cultivars, *HortScience*, **27**, 1008-1011 (1992).
- 11) Schulte, N.L., Timm, E.J. and Brown, G.K., 'Redheaven' peach impact damage thresholds, *HortScience*, **29**, 1052-1055 (1994).
- 12) Vergano, P.J., Testin, R.F., Newall, Jr., W.C. and Trezza, T., Damage loss cost curve for peach impact bruising, *J. Food Qual.*, **18**, 265-278 (1995).
- 13) Ishikawa Y., Kitazawa, H. and Shiina, T., Vibration and shock analysis of fruit and vegetables transport -Cherry transport from Yamagata to Taipei-, *JARQ*, **43**, 129-135 (2009).
- 14) 石川豊, 北澤裕明, 高橋和博, オウトウ輸出時に荷物が受ける衝撃力と緩衝効果, *日食保蔵誌*, **38**, 135-140 (2012).
- 15) 斎藤勝彦, 久保雅義, 劉剛, 宅配便で輸送される荷物が受ける衝撃力の実態, *日本包装学会誌*, **7**, 23-33 (1998).
- 16) 石川豊, 北澤裕明, 今野勉, 航空便と船便による果実輸出中に発生する衝撃比較, *日食保蔵誌*, **39**, 25-30 (2013).