

バルクコンテナ輸送におけるウンシュウミカンの振動特性 および力学的特性

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	兼田,朋子 中村,宣貴 Thammawong,M. 曾我,綾香 吉田,誠 中野,浩平 椎名,武夫
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	45巻6号
掲載ページ	p. 251-259
発行年月	2020年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



バルクコンテナ輸送におけるウンシュウミカンの 振動特性および力学的特性

兼田 朋子*¹・中村 宣貴*^{2§}・タンマウオン マナスイカン*³
曾我 綾香*⁴・吉田 誠*⁴・中野 浩平*³・椎名 武夫*⁵

* 1 徳島県立農林水産総合技術支援センター

* 2 農研機構食品研究部門

* 3 岐阜大学大学院連合農学研究科

* 4 神奈川県農業技術センター

* 5 千葉大学大学院園芸学研究科

Evaluation of Vibration and Mechanical Characteristics of Satsuma Mandarin during Bulk Container Transportation

KANETA Tomoko*¹, NAKAMURA Nobutaka*^{2§}, THAMMAWONG Manasikan*³,
SOGA Ayaka*⁴, YOSHIDA Makoto*⁴, NAKANO Kohei*³ and SHIINA Takeo*⁵

* 1 *Tokushima Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Support Center,*
1660 Ishii, Ishii, Ishii, Myozai, Tokushima 779-3233

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

* 3 *The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu, Gifu 501-1193*

* 4 *Kanagawa Agricultural Technology Center, 1617 Kamikisawa, Hiratsuka, Kanagawa 259-1204*

* 5 *Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo, Chiba 271-8510*

The vibration characteristics, contact load, and breaking strength of Satsuma mandarin stacked in a triple-wall fiberboard box under a vibration treatment (2–30 Hz, 0.6 G) were investigated for evaluating the feasibility of using a bulk container (BC) for fresh produce transportation.

Acceleration transmissibility (AT), which is the value obtained by the acceleration of individual fruit divided by that of the vibrating table, was used as the index for vibration characteristics of BC and carton box. The maximum AT values for both BC and carton box were recorded for the top layer mandarin. This maximum value of AT of the top layer fruit, at 1,000 mm from the bottom as the maximum height for the practical use of BC, was 3.6 times of carton box.

As for vibration load, when the number of stacking increases, BC contact load would increase with lower peak frequency.

Breaking strength values, obtained by the compression test for individual fruit, were dependent on several factors such as compression direction, growth conditions, and storage period, and the addition of artificial scratches. The value of compression for ‘top and bottom direction’ was higher than that for ‘equatorial direction’. The breaking strength value of greenhouse-grown fruit with scratches was half of that without scratch. Furthermore, stored fruits with and without scratches showed significantly higher breaking strength value than that of greenhouse grown type.

Breaking strength is determined by the mechanical characteristics of fruits and compression speed. Therefore, it is crucial to prevent the inclusion of damaged fruits in the BC and to set stacking heights based on the mechanical characteristics and transport conditions to ensure safe transportation of Satsuma mandarin using BC.

(Received Sep. 4, 2019 ; Accepted Dec. 24, 2019)

* 1 〒779-3233 徳島県名西郡石井町石井字石井1660

* 2 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

§ Corresponding author, E-mail : noby@affrc.go.jp

* 3 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1

* 4 〒259-1204 神奈川県平塚市上吉沢1617

* 5 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648

Key words: bulk container transportation for fresh produce, satsuma mandarin, vibration characteristics, contact load, breaking strength

青果物バルクコンテナ輸送, ウンシュウミカン, 振動特性, 振動時荷重, 破断強度

ウンシュウミカン (以下, ミカン) は日本の代表的果樹の一つである。その出荷量は, 1975年をピーク (3,270千t) として年々減少しているが, 1960年以降, 同じく代表的果樹であるリンゴ, ブドウを常に上回る作付面積を維持している¹⁾。主な産地は, 和歌山県 (出荷量130.4千t/2017年度, 以下同年), 愛媛県 (109.4千t), 熊本県 (78.6千t), 静岡県 (71.7千t), 佐賀県 (47.1千t) であり²⁾, 静岡以西で広く栽培され, 日本国中の消費地に輸送される他, 海外 (香港 (296.0t/2018年, 以下同年), 台湾 (233.6t), カナダ (142.1t) 等) にも輸出されている³⁾。輸出促進実現のためには産地の遠隔化や輸送距離の長距離化は避けられず, 輸送に伴う振動や衝撃などの物理的刺激が積載青果物に加わることで, 呼吸速度の増大や^{4)~6)}, 物理的な損傷^{6)~8)}, 有用成分の損失⁹⁾などが発生し, 品質低下や商品性の損失につながる懸念されている。その対策として, 青果物の充填方法の改善¹⁰⁾や緩衝材の活用^{11)~13)}などによる損傷低減効果に関する研究が進められている。一方で輸送の効率化による環境負荷削減が求められている。ミカンの国内流通の大部分は段ボール箱によるが⁸⁾ (78%)¹⁴⁾, 包装・流通に関わるコストや環境負荷の低減が求められる昨今, 従来の段ボール箱に代わる新たな輸送方法の開発が各所で試みられている^{15)~18)}。

これまでに筆者らは, 大型でリユース可能, 青果物流通段階のCO₂排出量が大幅に削減可能^{19), 20)}なりターナブル・バルク・コンテナ (以下, BC) による青果物輸送実用化を目指している。その一環としてBC物流への適合性が高いと考えられる加工用エンジンを対象に, 導入に伴う出荷作業の省力化効果, 損傷特性および防止策について明らかにした²¹⁾。また, ダイコンを対象に, 多段積載時の振動特性と損傷発生メカニズムの解析¹³⁾および振動周波数が多段積載ダイコンの損傷や振動特性に及ぼす影響, さらには包装資材による相対運動抑制効果²²⁾について明らかにした。しかし, 損傷に由来する腐敗, かびの発生によるロスが問題となっているミカン果実へのBCの利用に関する検討は行っておらず, BC物流の汎用性を高めるためにも, その適合性の検討が必要である。

本報では, ミカンを対象にBC輸送の可能性を検討することを目的として, BCおよび従来の代表的な輸送容器である段ボール箱に多段積載されたミカンを対象とした振動試験を実施し, ミカンに加わる加速度および圧縮荷重について詳細に検討した。

実験方法

1. BCおよび段ボール箱に積載されたミカンの振動特性

BCおよび従来の一般的な輸送方法である段ボール箱にミカンが多段積載した際のミカンの振動特性を明らかにするため, 異なる積載段数, 振動周波数においてBC内ミカンおよび段ボール箱内ミカンに生じる加速度を測定した。

(1) 材料 実験には, 和歌山県有田市で露地栽培されたミカン '興津早生' (2012年11月入手; 以下, 露地ミカン) を用いた。入手したミカンは20℃の恒温室内で品温調整してから実験に供した (実験日: 2012年11月20日)。

BCを模した振動試験用容器 (以下, 容器。内寸: 200W×200D×1,000Hmm, フレーム: アルミニウム製, 床・壁面: 複々両面段ボール (以下, 複々段ボール) 製, 上ぶた: 無し) 内には1段につき3列×3列, 合計9果のミカンを設置し, 果頂部が下になるように3, 5, 10および20段積載した (Fig.1)。20段積載した際の床からBC内最上部位にあるミカンまでの高さは約1,000mmであった。また, 段ボール箱 (0201形式, 内寸: 369W×309D×200Hmm) 内には1箱あたり約10kgのミカンをランダムに充填し, 3, 5および7箱積載した。5箱積載した際の, 床から最上段箱内の最上部位にあるミカンまでの高さは, BCにおける20段積載時とほぼ同じ (約1,000mm) であった。

(2) 加振処理 ミカンを充填した容器およびミカンを充填した段ボール箱をラチェット機能付きロープ2本で振動台に固定した。加振処理には3次元サーボ振動試験機 (鷲宮製作所製, VTVH-5型, 以下, 振動試験機) を用い, 加振条件は, 加振方向: 上下, 加速度: 0.6G, 波形: 正弦波, 周波数: 2, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25および30Hzとした。

(3) 加速度の測定および加速度伝達率の算出 果実積みあげ段数の異なるBCおよび段ボール箱に対し, 各振動周波数で加振処理を行い, それぞれの最上段, 中段, 最下段のミカンに加わる加速度をそれぞれ測定した (Table 1, Fig.1)。測定には, 振動・衝撃解析システム (神栄テクノロジー製, SMH-12) および加速度センサ (昭和測器製, 2366W) を用い, 時間分解能は2ms, 測定時間は8sとした。加速度センサは, 各積載段位最上段・中央のミカンの果柄付近にビニルテープでゆるみの無いよう固定した。得られた加速度から, 加速度伝達率 (振動台の加速度に対するミカンの加速度の比) を算出し, 振動の増幅/減衰の指標とした。実験の反復数は

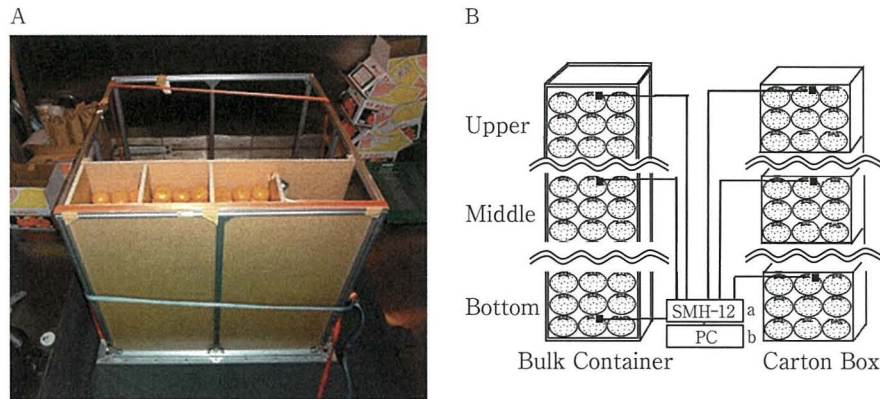


Fig. 1 A: A schematic of the vibration treatment for Satsuma mandarin in a bulk container, B: Measurement method for the effects of vibration frequency on acceleration transmissibility among the stacking layers of Satsuma mandarin in bulk container and carton boxes

a: Acceleration data logger

b: Personal computer for data collection

Table 1 Stacking arrangement of Satsuma mandarin and measurement positions

	Number of total layers	Top layer	Middle layer	Bottom layer
Bulk container	20	20th*	10th	1st
	10	10th	5th	1st
	5	5th	3rd	1st
	3	3rd	2nd	1st
Carton box	7	7th	4th	1st
	5	5th	3rd	1st
	3	3rd	2nd	1st
	1	1st	-	-

*The number of layer that started counting from the bottom layer

3とした。

なお、加速度伝達率の算出式は以下の通りである。

$$T_r = \frac{A_o}{A_i}$$

ここで、 T_r は加速度伝達率(-)、 A_i は振動台の、 A_o はミカンの8秒間の測定中における1周期ごとの最大加速度の平均値(G)をそれぞれ示す。

2. ミカンの損傷に係わる振動時荷重と果実の破断強度

(1) 果実に加わる振動時荷重の測定

1) 材 料: 振動時荷重の測定には、前項1.で供試したのと同じ‘興津早生’を用いた。入手したミカンは、20℃の恒温室内で品温調整後に実験に供した(実験日: 2012年11月20日)。

2) 加振処理: 前項1.で使用したものと同様の容器に、ミカンを充填した。振動台への固定方法および加振条件についても、前項1.と同じとした。

3) 振動時荷重の測定: ミカンを多段積載したBCに

対し加振処理を行い、最下段ミカンと床面との接触部位に生じる振動時荷重を、積載段数を変えて振動周波数ごとに測定した。

振動時荷重の測定は、多点圧力センサ(Pressure Profile Systems製、触覚センサT-2000)を用いて行い、サンプリング周期は22ms、測定時間は10sとした。センサは、素子数256個(16×16)、サイズ10cm×10cmのものを使用した。センサ出力は圧力測定システム(Pressure Profile Systems製、PPS Real-Time Acquisition and Visualization Software)により行い、接触部位にかかる圧力(kPa)を測定した。多点圧力センサの設置位置は最下段ミカンと床面との間とし、加振前の圧力値が高い部分がセンサの中心になるようセンサ位置を調整し、床面に粘着テープでセンサを固定した(Fig. 2)。多段積載されたミカンと複数段ボール床面との接触部位に生じる加振中の圧力変動を測定し、接触部位の平均圧力に接触部位面積を乗じることで荷重(N)を算出した(Fig. 3)。振動1周期ごとの荷重のピーク値を全測定時間にわたって抽出・平均した値を最大荷重とした。

(2) 果皮の破断強度の測定

1) 材 料: 果皮の破断強度の測定には、和歌山県有田市で施設栽培された‘興津早生’(2012年7月入手; 以下、ハウスミカン)、および神奈川県小田原市で露地栽培され、約2か月貯蔵された‘青島温州’(2013年2月入手; 以下、貯蔵ミカン)の特性の異なる2種類のミカンを用いた。それぞれの果実の特徴として、ハウスミカンは果皮が薄く、張りがあること、貯蔵ミカンは果皮が厚く、浮き皮が発生していることがあげられる。それぞれ、事前に目視で判断できる明確な傷が無いミカン(以下、健全果)を選抜し、20℃の恒温室内で品温調整後に実験に供した(実験日: ハウスミカン2012年7月11日、貯蔵ミカン2013年2月28日)。

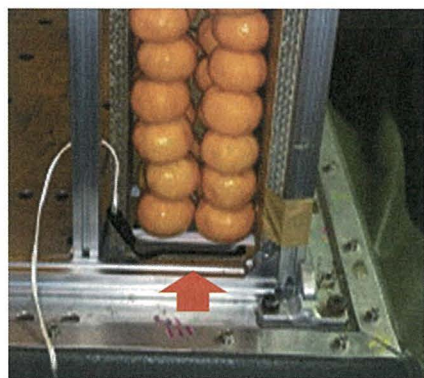


Fig. 2 Measurement of maximum stress in the contact points between Satsuma mandarin fruit at the bottom and the floor. Arrows indicate the position of pressure sensor

a : Pressure data logger
b : Personal computer for data collection

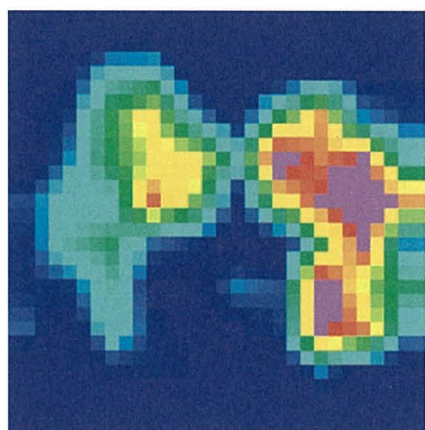
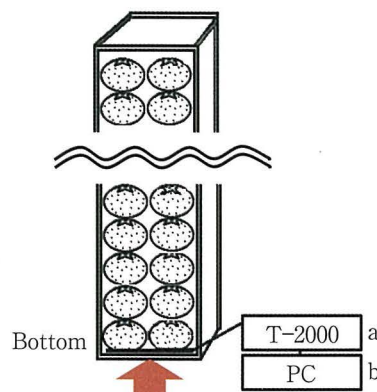


Fig. 3 An example of a measurement reading for contact load on Satsuma mandarin at the bottom

2) 圧縮処理および破断強度の測定：ハウスおよび貯蔵ミカンに平板圧縮荷重を加え、果皮が破断する破断強度（限界荷重）の測定を行った。ハウスミカンと貯蔵ミカンの各健全果について、健全果の赤道部に果軸に対し平行になるよう、人為的に鋭利な刃物で長さ2 cm、深さ1 mmの傷を付けた「傷果」を作成した。破断強度の測定は、圧縮試験機（Instron社製、5564）および厚さ1 cm、直径5 cmの円形プランジャを用い、破断が観察されるまで圧縮速度10mm/minで試料に負荷をかけた。荷重方向は、果軸に対し平行（以下、上下方向）および果軸に対し直角（以下、赤道方向）とし、果皮に破断が生じる破壊点の強度を限界荷重とした（Fig. 4）。反復数は3～5とした。

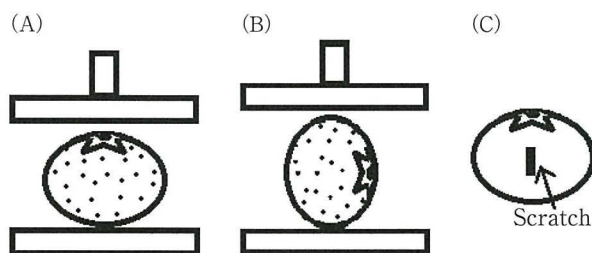


Fig. 4 Measurement method for the breaking strength of Satsuma mandarin skin

A : Top and bottom direction
B : Equatorial direction
C : Top and bottom direction with scratch

実験結果

1. BC充填および段ボール箱に多段積載されたミカンの振動特性

(1) B C BC内に多段積載されたミカン（露地ミカン）の加速度伝達率の計算結果をTable 2およびFig. 5に示した。20段積載の最上段（20段目/20段積載、以下20/20段目のように表記）、中段（10/20段目）、下段（1/20段目）の加速度伝達率の最大値は、4.60、1.72および1.95であった（Table 2）。加速度伝達率の最大値は10段、5段、3段積載のいずれにおいても20段積載と同様の傾向を示し、最上段において最も大きかった。最大加速度伝達率を示した最上段におけるピーク周波数は、20段積載では7.5Hz、10段積載では7.5Hz、5段積載では10Hz、3段積載では15Hzで、積載段数の大きい試験区のピーク周波数は低い傾向がみられた（Fig. 5）。また、中段および下段の加速度伝達率のピーク周波数も最上段と同様の傾向を示した。

(2) 段ボール箱 多段積載された段ボール箱内のミカン（露地ミカン）に加わる加速度伝達率の計算結果を

Table 2 Maximum values of acceleration transmissibility for Satsuma mandarin among loading layers and boxes in a bulk container and carton box

	Top layer		Middle layer		Bottom layer				
	Frequency	Accereration transmissibility	Frequency	Accereration transmissibility	Frequency	Accereration transmissibility			
Bulk container	20th/20-layer	7.5	4.60	10th/20-layer	7.5	1.72	1st/20-layer	2	1.95
	10th/10-layer	7.5	6.26	5th/10-layer	7.5	1.74	1st/10-layer	7.5	2.83
	5th/5-layer	10	5.91	3th/5-layer	10	2.27	1st/5-layer	10	2.35
	3th/3-layer	15	4.75	2nd/3-layer	15	2.88	1st/3-layer	15	2.19
Carton box	7th/7-boxes	5	20.2	4th/7-boxes	5	4.37	1st/7-boxes	30	1.76
	5th/5-boxes	5	16.4	3rd/5-boxes	5	7.44	1st/5-boxes	30	2.17
	3rd/3-boxes	7.5	11.0	2nd/3-boxes	7.5	5.35	1st/3-boxes	5	3.08
	1st/1-boxes	12.5	5.00	-	-	-	-	-	-

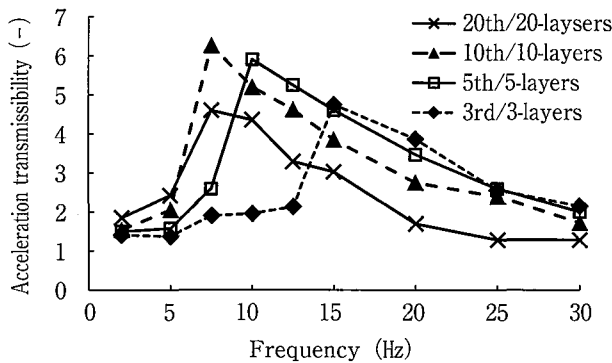


Fig. 5 Effect of number of stacking layers on acceleration transmissibility of Satsuma mandarin in a bulk container

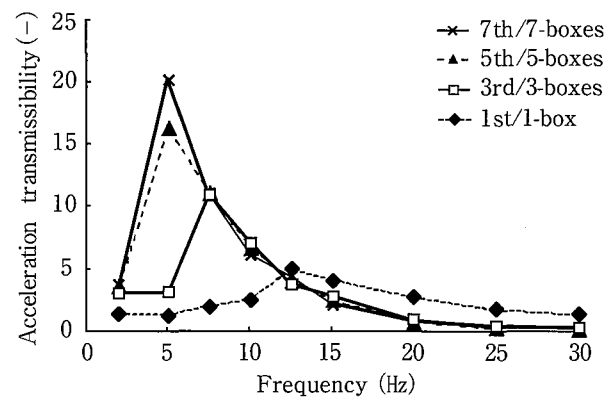


Fig. 6 Effects of number of stacking boxes on acceleration transmissibility of Satsuma mandarin in carton boxes

Table 2 および Fig. 6 に示した。7 箱積載における加速度伝達率の最大値は、最上段箱（7 箱目/7 箱積載、以下、箱 7/7 段のように表記）、中段箱（箱 4/7 段）、下段箱（箱 1/7 段）でそれぞれ 20.2、4.37、および 1.76 であり、上段でより大きかった。5 箱および 3 箱積載においても、段ボール箱 7 箱積載や BC と同様に、いずれの積載段数でも最上段箱の加速度伝達率が最も高い値を示した。最上段箱におけるピーク周波数は、7 箱積載で

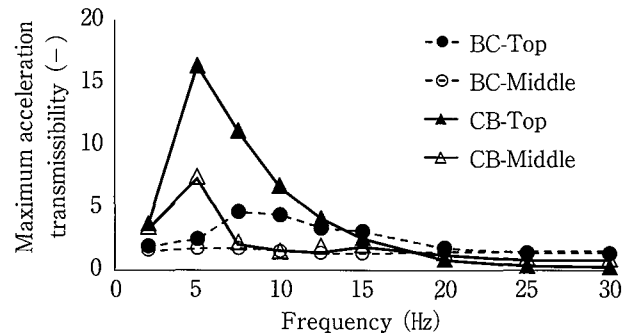


Fig. 7 Maximum acceleration transmissibility readings in Satsuma mandarin among loading layers

BC-Top : 20th/20-layers
 BC-Middle : 10th/10-layers
 CB-Top : 5th/5-boxes
 CB-Middle : 3rd/5-boxes

は 5 Hz、5 箱積載では 5 Hz、3 箱積載では 7.5 Hz、1 箱積載では 12.5 Hz であり、ピーク周波数は BC と同様に積載箱数の大きい試験区で低い傾向がみられた (Fig. 6)。また、中段箱も最上段箱と同様の傾向を示した (Table 2)。一方、最下段箱では傾向が上段箱、中段箱とは異なり、7 箱積載では 30 Hz、5 箱積載で 30 Hz、3 箱積載で 5 Hz であり、積載段数の少ない試験区のピーク周波数が小さい傾向を示した。

(3) BC および段ボール箱の比較 加速度伝達率のピーク周波数は、BC では 20/20 段・10/20 段ともに 7.5 Hz、段ボール箱積載では箱 5/5 段・箱 3/5 段ともに 5 Hz で、BC、段ボール箱ともに 5 ~ 7.5 Hz の周波数域にピーク周波数が認められた (Fig. 7 および Table 3)。BC の最大加速度伝達率は、段ボール箱と比較して小さく、20/20 段では段ボール箱の 0.28 倍、10/20 段では 0.23 倍であった。

2. ミカンが損傷に至る振動時荷重の検討

(1) 果実に加わる振動時荷重 各振動周波数で加振処理を行い、BC に多段積載されたミカン（露地ミカン）のうち、最下段ミカンに加わる振動時荷重について Fig. 8 に示した。振動時荷重の最大値とその時の振動周

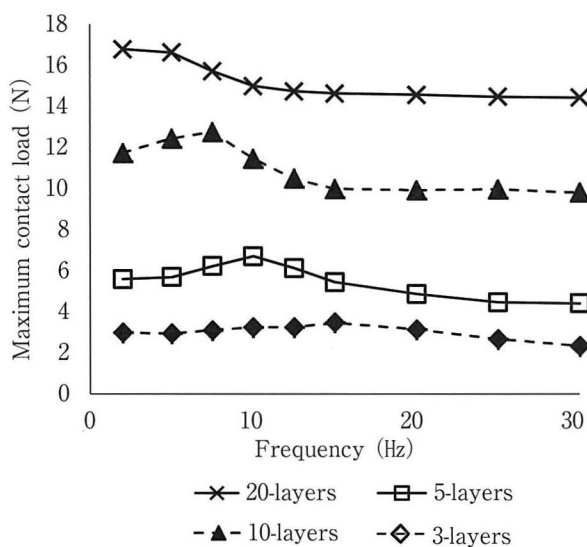
Table 3 Maximum acceleration transmissibility for Satsuma mandarin among loading layers

	Bulk container		Carton box	
	Frequency	Accereration transmissibility	Frequency	Accereration transmissibility
Top layer	7.5	4.60	5	16.4
Middle layer	7.5	1.72	5	7.44
Bottom layer	2	1.95	30	2.17

Top layer : Bulk Container is 20th/20-layers, Carton box is 5th/5-boxes

Middle layer : Bulk container is 10th/20-layers, Carton box is 3th/5-boxes.

Bottom layer : Bulk container is 1st/20-layers, Carton box is 1st/5-boxes.

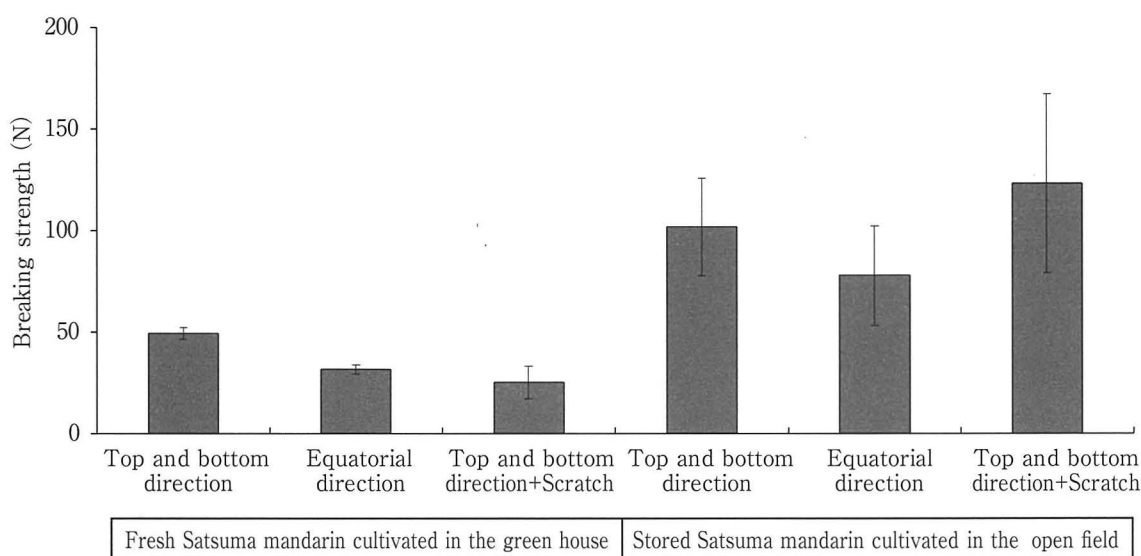
**Fig. 8** Effects of number of stacking layers on maximum contact load of Satsuma mandarin in the lowest layer

波数は、20段積載では16.8N・2Hz, 10段積載では12.8N・7.5Hz, 5段積載では6.70N・10Hz, 3段積載では3.47N・15Hzで、積載段数が多いほど最大荷重が増大し、低い周波数域にシフトした。

(2) 果皮の破断強度 ミカン(ハウスおよび貯蔵ミカン)に圧縮変位を加え、果皮が破断する際の荷重(破断強度)をFig.9に示した。

健全果における破断強度は、上下方向からの圧縮で、ハウスミカン49.2N, 貯蔵ミカン101.6N, 赤道方向からの圧縮で、ハウスミカン31.4N, 貯蔵ミカン77.6Nで、貯蔵ミカンの上下方向の破断強度は、ハウスミカンを有意に上回った ($p < 0.05$)。また、ハウスミカンでは上下方向の破断強度が赤道方向を有意に上回った ($p < 0.05$)。貯蔵ミカンでは、上下方向と赤道方向の破断強度には有意な差が認められなかった。

一方、傷果における上下方向からの圧縮に対する破断強度は、ハウスミカン25.1N, 貯蔵ミカン123.0Nであり、貯蔵ミカン傷果の破断強度はハウスミカン傷果を有意に上回った ($p < 0.05$)。また、ハウスミカン傷果の破断強度はハウスミカン健全果を有意に下回り ($p < 0.05$)、破断強度は健全果の約5割に低下した。一方、貯蔵ミカ

**Fig. 9** Breaking strength of Satsuma mandarin for two types of fruits, and the maximum load of Satsuma mandarin stacked in twenty layers under sinusoidal vibration

ンにおいては、健全果と傷果の間に有意な差は認められなかった。

考 察

BCによる青果物輸送において、実用が想定される積載高さ（約1,000mm）の最上段（BC：20/20段、段ボール箱の箱5/5段）に積載されたミカン（露地ミカン）に生じる加速度伝達率の最大値は、段ボール箱でBCを有意に上回った（ $p < 0.01$ ；Fig.7）。岩元²³⁾は、7段の段ボール箱に充填したレタスに加わる加速度を積載位置別、結束の有無別に測定し、無結束時には上部の段ボール箱の運動が拘束されないこと、結束した段ボール箱では、連続体の上段、下段は共に固定され積載部位毎の粘性抵抗の影響が少ないことを報告している。本研究では、同じ高さのBCと段ボール箱内ミカンの加速度伝達率を比較した結果では、段ボール箱の値がBCを大きく上回った。つまり、加速度伝達率の観点からはBCは結束した段ボール箱と同様の連続体として扱うことが可能であると考えられた。また、段ボール箱中段（箱3/5段）の加速度伝達率は、BCの同等位置（10/20段）の約4倍の値を示した（Table 2）。一方、下段（BC：1/20段、段ボール箱：箱1/5段）では、上段・中段ほどの明確な差は認められなかった。すなわち、BCの実用想定高さに相当する多段で段ボール箱を積載すると、中段（箱3/5段；約400mm）以上の高さの段ボール箱内ミカンで振動損傷を受けやすいと考えられた。なお今回の試験では、安定的な加速度測定を行うために、BCの積載方法としてランダム積載を選定した。ただし実際には、積み方の違いが加速度伝達率に与える影響もあると考えられることから、今後、積載方法の違いについても検討する必要がある。ただし、段ボール1段と、それとほぼ同じ高さにあたるBC3段における加速度伝達率は、それぞれ5.00および4.75でほぼ同様の値を示したことから（Table 2）、1箱分程度の高さでは詰め方の影響は小さいものと推察された。

包装容器内で青果物に相対運動が生じるには、輸送容器と内容物との間に間隙が必要である。筆者らは既報¹³⁾において、上ぶたの無い包装容器内にダイコンを多段積載し、加振処理を行うと、加振に伴いダイコンに生じる加速度伝達率は積載段位が上位ほど大きな値を示し、また、最上段のダイコンに積載位置の変化を伴う運動が生じることを明らかにしている。本研究においても既報と同様に、ミカンとBCもしくは段ボール箱との間には間隙があったことから、間隙に接している上段のミカンほど相対運動の機会が多いものと考えられる。以上のことから、ミカンを同程度の高さに積載した場合、上段における共振由来の相対運動およびそれに由来する損傷は、BCにおいて段ボール箱より抑制されると推察された。

BC多段積載時の下段における果実損傷が生じる可能性について検証するため、振動時の最下段ミカン（露地

ミカン）に生じる荷重を測定した結果、積載段数が大きいほど大きく、1/20段において最大値を示した（Fig.8）。また、果皮の破断強度は、ハウスミカン傷果が最小値を示し、健全果、傷果に関わらず、貯蔵ミカンの値はハウスミカンと比較して有意に大きかった（Fig.9）。中馬²⁴⁾および山下²⁵⁾は、ミカン果実の落下処理による果皮の損傷程度が予措乾燥により軽減することを明らかにしている。本研究で供試したハウスミカンは予措が行われていない。一方、貯蔵ミカンは貯蔵によりハウスミカンと比較して乾燥がより進んでいたと推察され、そのことが貯蔵ミカンの破断強度を大きくしたものと考えられた。破壊に至る圧縮条件はミカンの力学的特性により異なること、圧縮強度は荷重速度に影響を受けることから²⁶⁾、より安全なBC輸送を実現するためには、ミカンの状態や輸送環境に応じた積載段数を設定するとともに、スクリーニングにより傷果の混入を防止するなどの対策が必要であろう。また、果皮の破壊に至らなくとも、油胞の破裂やじょうのうの分離、内部組織の破壊²⁵⁾、果形の永久的な変形^{26), 27)}により、商品性低下につながる可能性もあるため、利用目的に応じた個別の積載段数設計を行う必要があると考えられた。

本研究では、青果物のBCによる流通の実現可能性を調査するため、BCおよび段ボール箱に多段積載されたミカンの振動特性、ミカンの力学的特性を明らかにした。積載されたミカンの加速度伝達率は、BC、段ボール箱共に、多段積載された最上段で最大であった。実用が想定される積載高さにおいては、BCの活用により、段ボール箱多段積載に比べて加速度伝達率の最大値が1/4程度に抑制されることが明らかとなった。また、BC最下段のミカンに生じる振動時荷重は、積載段数が多いほどその値が大きくなり、そのピーク周波数は低くなることを明らかにした。加えて、ハウスおよび貯蔵ミカンの果皮が破断する破断強度について、人為的に付けた傷の有無の影響を検討した結果、その破断強度はハウスミカンの傷果で最小値を示し、また、貯蔵ミカンでは傷の有無に関わらずハウスミカンの破断強度を大きく上回ることを明らかにした。ミカンのBC輸送では、輸送しようとするミカンの力学的特性や輸送環境に合わせた積載高さの上限設定や、傷果の混入防止などの対策を講じる必要があると考えられた。さらに、実用性を高めるための課題として実証試験による適応性の検討があげられることから、今後、ミカンのBC輸送における実走時の振動特性や輸送後の果実品質についても明らかにしていく予定である。

要 約

大型でリユース可能であり、青果物流通段階のCO₂排出量の大幅削減が可能な、リターナブル・バルク・コンテナ（BC）による青果物輸送の実用化可能性を探るため、ミカン果実を対象として、BC内のミカンの振動特

性、振動時荷重、適正積載段数の指標としての果実の破断強度等について検討を行い、以下の結果を得た。

- ① 多段積載されたミカンに生じる加速度伝達率は、BC、段ボール箱共に最上段が最大で、実用が想定される積載高さ（約1,000mm）の最上段ミカンに生じる加速度伝達率の最大値は、段ボール箱でBCの3.6倍を示し、有意に上回った。
- ② BCに多段積載されたミカンのうち、最下段ミカンに生じる振動時荷重の最大値とその時の振動周波数は、積載段数が多いほど最大荷重は増大し、低い周波数域にシフトした。
- ③ ミカンを平板圧縮した際に果皮が破断する破断荷重（破断強度）は、上下方向が赤道方向を、貯蔵ミカンがハウスミカンを上回った。ハウスミカン傷果の破断強度は、健全果と比較して破断強度が約5割に低下した。
- ④ ミカンをBC輸送するためには、輸送しようとするミカンの力学的特性や輸送環境に合わせた積載高さの設定や傷果の混入防止などの対策を講じる必要があると考えられた。

謝辞 本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「コスト・環境負荷同時低減のためのバルクコンテナ物流技術の開発」（2014）によって実施した。

文 献

- 1) 農林水産省：作物統計調査/面積調査 確報 平成30年度耕地及び作付面積統計（2018）（<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html#r>）
- 2) 農林水産省：作物統計調査/作況調査（果樹）確報 平成29年度果樹生産出荷統計（2017）（http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/index.html）
- 3) 農林水産省：農林水産物輸出入統計貿易統計（輸出）農産物（農産品）うんしゅうみかん等（2018）（http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kokusai/houkoku_yusyutu.html#r29）
- 4) 池田浩暢・石井利直・茨木俊行・小島孝行・太田英明：輸送振動がブロッコリー（*Brassica oleracea var. italica*）の呼吸速度および内容成分に及ぼす影響，日食保蔵誌，27，263～268（2001）
- 5) 中村怜之輔・伊藤卓爾：振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響 I．振動中及び振動直後のトマト果実の呼吸強度の変化，園学雑，45，313～319（1976）
- 6) 多々良泉・辻 聡宏・御厨初子・田中政信・劉 蛟艶・小島孝之・太田英明：輸送過程で発生する振動がイチゴの呼吸速度および品質に及ぼす影響，日食保蔵誌，25，15～20（1999）

- 7) 中馬 豊・村田 敏・岩元陸夫・西原明彦・堀 義昭：冷蔵トラックによるイチゴの長距離輸送試験—とくに振動衝撃と品質劣化について—，農業機械学会誌，31，292～297（1970）
- 8) 中村宣貴・梅原仁美・岡留博司・中野浩平・前沢重禮・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）
- 9) KOJIMA, T., LIU, J. Y., FUJITA, S., INABA S., TANAKA, M. and TATARA, I.: Analysis of Vibration and its Effects on Strawberries during Highway Transport, 農業施設, 29, 197～203(1999)
- 10) 北澤裕明・石川 豊・中村宣貴・椎名武夫：イチゴ輸送中の損傷を防止する新たな包装形態，日食保蔵誌，34，19～23（2008）
- 11) KITAZAWA, H., ISHIKAWA, Y., NAKAMURA, N., LU, F. and SHINA T.: Improvement of packaging to Reduce Deterioration of Peach Fruit Caused by Vibration, Food Preservation Science, 34, 331～336（2008）
- 12) 中村宣貴・梅原仁美・根井大介・岡留博司・石川 豊・中野浩平・前沢重禮・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）
- 13) 兼田朋子・中村宣貴・タンマウオン マナスイカン，北澤裕明・曾我綾香・吉田 誠・福島崇志・中野浩平・椎名武夫：加振周波数と包装資材が多段積載されたダイコンの加速度，回転，損傷特性に及ぼす影響，日食保蔵誌，39，255～261（2013）
- 14) 農林水産省：平成18年青果物・花き集出荷機構調査報告（2008）（http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/seika_syuka/）
- 15) 徳田博美：青果物におけるコンテナ流通の現段階と課題，2005年度日本農業経済学会論文集，243～248（2005）
- 16) 水上文岡：青果物の包装一段ボール箱の低コスト化と省力化—，包装技術，46，1007～1010（2008）
- 17) 津村光三：—大型コンテナを用いた効率的な輸送形態の確立— 流通コスト削減に大きく貢献する：機械化農業，2，22～25
- 18) 椎名武夫・中村宣貴・兼田朋子・Manasikan THAMMAWONG：青果物のバルクコンテナ物流技術の開発～コスト・環境負荷の同時低減を目指して～，農流技研会報，294，18～20（2013）
- 19) 折笠貴寛・中村宣貴・ロイ ポリトシュ・タンマウオン マナスイカン・兼田朋子・吉田 誠・曾我綾香・大野誠治・新實誉也・横山幸一・西尾 恵・小出章二・椎名武夫：新規バルクコンテナを利用したダイコン流通プロセスにおけるCO₂排出量削減の可能性，日本包装学会誌，23，293～304（2014）

- 20) SHIINA, T. THAMMAWONG, M., NAKAMURA, N. KANETA, T., and ORIKASA, T.: A technical and environmental evaluation of implementation of the bulk container to the distribution of fresh Japanese radish and cabbage in Japan, *Acta Hort.*, **1120**, 285~292 (2016)
- 21) 兼田朋子・佐野健志・豊成 傑・佐野俊治・椎名武夫・中村宣貴: バルクコンテナによる加工業務用ニンジンの出荷作業性向上と品質への影響に関する検討, *新近畿中国四国農業研究*, **2**, 55~66 (2019)
- 22) 兼田朋子・中村宣貴・タンマウォン マナスイカン・曾我綾香・吉田 誠・新實誉也・横山幸一・椎名武夫: 新規バルクコンテナ輸送に伴うダイコンの加速度および接触部位応力が損傷特性に及ぼす影響の解明, *日食保蔵誌*, **39**, 67~74 (2013)
- 23) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭: 青果物輸送の等価再現化に関する研究 (第1報) —多段積載時の段ボール箱および内容レタスの振動特性ならびに損傷性—, *農業機械学会誌*, **39**, 343~349 (1977)
- 24) 中馬 豊・泉 裕巳・松岡孝尚: 温州みかんの油槽損傷に関する研究—外力による表皮損傷と呼吸変化—, *農業機械学会誌*, **29**, 104~108 (1967)
- 25) 山下重良・北野欣信・八田茂嘉・和田年裕・宇田 祐: 温州ミカンの選果荷造過程における損傷要因と損傷防止に関する研究 (第1報) 外力による果実組織の破壊様相と選果荷造過程における果皮の損傷, *園学雑*, **48**, 231~241 (1979)
- 26) 中馬 豊・岩元睦夫・志賀 徹: 温州みかんの流通技術改善に関する研究 (第3報) —早生温州の力学的性質とバラ輸送問題への適応—, *農業機械学会誌*, **33**, 304~311 (1971)
- 27) 伊藤憲弘・寺田俊郎: 加工用トマト果実の静荷重抵抗性と堆積厚さの許容限界について, *園学雑*, **50**, 521~531 (1982)
- (令和元年9月4日受付, 令和元年12月24日受理)