

## 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

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者	兼田, 朋子 中村, 宣貴 Thammawong, M. 北澤, 裕明 曾我, 綾香 吉田, 誠 福島, 崇志 中野, 浩平 椎名, 武夫
巻/号	39巻5号
掲載ページ	p. 255-261
発行年月	2013年9月

## 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

兼田 朋子<sup>\*1†</sup>・中村 宣貴<sup>\*1§</sup>・タンマウオン マナスイカン<sup>\*1</sup>・北澤 裕明<sup>\*1</sup>  
曾我 綾香<sup>\*2</sup>・吉田 誠<sup>\*2</sup>・福島 崇志<sup>\*3</sup>・中野 浩平<sup>\*4</sup>・椎名 武夫<sup>\*1</sup>

\*1 農研機構食品総合研究所

\*2 神奈川県農業技術センター

\*3 三重大学大学院生物資源学研究所

\*4 岐阜大学応用生物科学部

Effects of Vibration Frequency and Inner Packaging Material  
on the Acceleration, Rotation, and Damage of Japanese Radishes Stacked  
in the Newly Developed Bulk Container under Sinusoidal Vibration

KANETA Tomoko<sup>\*1†</sup>, NAKAMURA Nobutaka<sup>\*1§</sup>, THAMMAWONG Manasikan<sup>\*1</sup>,  
KITAZAWA Hiroaki<sup>\*1</sup>, SOGA Ayaka<sup>\*2</sup>, YOSHIDA Makoto<sup>\*2</sup>,  
FUKUSHIMA Takashi<sup>\*3</sup>, NAKANO Kohei<sup>\*4</sup> and SHIINA Takeo<sup>\*1</sup>

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

\*2 Kanagawa Agricultural Technology Center, 1617, Kamikisawa, Hiratsuka, Kanagawa 259-1204

\*3 Mie University, 1577, Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie 514-8507

\*4 Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, Gifu 104-0061

**Key words**: newly developed bulk container, multi layer stacking, inner packaging material, acceleration transmissibility, damage characteristics

新規バルクコンテナ, 多段積載, 包装資材, 振動伝達特性, 損傷特性

The damage (abrasion) and vibration characteristics of 5-layer stacked Japanese radishes in a triple-wall fiberboard box under sinusoidal vibration (2, 10, 15, 20, and 30Hz, 0.6G) were investigated here. The influence of packaging conditions on the vibration characteristics was also examined. A larger damage area ratio and positional changes were found at a vibration frequency of 10-20Hz. The peak frequencies of the acceleration transmissibility and the rotation angle were close to 10 and 15Hz, respectively. A positive correlation between the damage area ratio of the upper layer of Japanese radish and acceleration transmissibility ( $r^2=0.92$ ), as well as between the rotation angle and the fifth layer ( $r^2=0.66$ ), was observed. Tight wrapping, using an inner bag, lowered the acceleration transmissibility and rotation angle at the peak frequency. The peak frequency of the acceleration transmissibility and the rotation angle differed depending on the floor materials used (corrugated fiberboard, polypropylene [PP] sheet, polyethylene foam sheet). Because the rotation angle tended to increase when 2-mm thick PP sheet was used, as compared to that when other floor materials were used, use of the former material should be avoided. Overall, it is important to choose the appropriate packaging material (inner bag and floor material) depending on the purpose for use and the transport conditions. In addition, an index that combines the acceleration transmissibility and the rotation angle may be useful to estimate the damage to Japanese radish during bulk container distribution.

(Received Dec. 20, 2012 ; Accepted Apr. 24, 2013)

\*1 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

† 現所属: 徳島県立農林水産総合技術支援センター 〒779-3233 徳島県名西郡石井町石井字石井1660

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

\*2 〒259-1204 神奈川県平塚市上吉沢1617

\*3 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577

\*4 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1

新規リターナブル・バルク・コンテナ（以下、新規バルクコンテナ）は、最大で段ボール箱の50倍程度の容積をもつ大型でリユース可能な容器である。青果物の輸送方法を、シングルユースが基本である現行の段ボール箱輸送から、リユースできる新規バルクコンテナ輸送に切り替えることで、包装コストの3割、包装・物流にかかわるCO<sub>2</sub>排出量の4割が削減可能であると試算されており<sup>1)</sup>、新規バルクコンテナによる青果物輸送は、低輸送コスト、低環境負荷型の新たな輸送方法として期待されている。

青果物の物流では、輸送時の振動・衝撃や荷重などの物理的ストレスによる青果物の損傷発生を伴うことが多い<sup>2),3)</sup>。コンテナ内で青果物が多段積載される新規バルクコンテナを用いる物流においては、小型容器での物流と比べて損傷が拡大することが懸念されるため、その実用化においては損傷防止対策が必要である。

筆者らはこれまでに、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を行い、発生する損傷の種類や程度が積載段位によって大きく異なること、損傷は主として擦り傷であり、共振によりダイコンに生じた相対運動に由来することを明らかにしている<sup>4)</sup>。そして、損傷防止のためには、上段ダイコンの相対運動の抑制と下段の接触部位応力の低減が有効であることを示唆した。損傷したイチゴ果実上では、保蔵中の一般生菌および大腸菌群が増殖するとの報告もあり<sup>5)</sup>、損傷の発生を抑制することは、商品性だけでなく食品衛生の観点からも必要であると考えられる。

振動による損傷発生やその制御に関しては、イチゴでいくつかの報告がなされている。KOJIMAら<sup>6)</sup>および多々良ら<sup>7)</sup>の報告では、輸送時の加速度実測値を基にした再現振動がイチゴの外観および含有成分に与える影響について示されている。また、中村ら<sup>8)</sup>および北澤ら<sup>9)</sup>は、包装容器の選択・改良により、加速度伝達率（振動の増幅程度を表す）や損傷発生を抑制できることを示している。イチゴ以外では、レタス<sup>10)</sup>、ブロッコリー<sup>11)</sup>、モモ<sup>12)</sup>などで同様の研究が行われているが、いずれも段ボール箱など、比較的小さな単位の輸送容器を対象としており、バルクコンテナのような大型の輸送容器を対象とした検討はほとんど行われていない。また、振動周波数と損傷との関係については、レタス<sup>10)</sup>、イチゴ<sup>12)</sup>などの軟弱野菜について報告があるが、比較的振動・衝撃耐性があり、バルクコンテナ物流への適合性が高いと考えられるダイコンやキャベツなどの重量野菜に関する報告は見受けられない。

本報では、多段積載されたダイコンを対象に、新規バルクコンテナ輸送時の損傷、中でも、発生割合が大きいと考えられる擦り傷の低減手法に関する知見を得ることを目的として、振動周波数が損傷と振動特性に及ぼす影響について解析を行った。また、床材の種類や内袋の利用が振動特性に及ぼす影響についても併せて検討を行っ

た。

## 実験材料および実験方法

### 1. 実験材料

材料には、神奈川県三浦市で露地栽培されたダイコン‘青誉’を、2012年1月22日、1月29日および2月12日に収穫し、実験に用いた。ダイコンは洗浄後、一晚かけて水切りし、いずれも収穫翌日に自動車であつづば市の食品総合研究所に輸送した。ダイコン輸送時は、出荷用段ボール箱に慣行詰め（2段積載）とし、損傷防止を目的として、気泡緩衝材をダイコンと接する部分に設置した。到着後、直ちにダイコンを1段積みにし、蒸散を抑制するためにポリエチレンフィルムで覆い、20℃の恒温庫内で品温を調整し、目立った損傷がないダイコンのみを実験に供した。

### 2. 加振条件

既報<sup>4)</sup>と同様、加振処理には振動試験用容器（内寸：450×330×400mm、フレーム：アルミニウム製、床・壁面：複々両面段ボール（以下、段ボール）製、上ぶた：なし；以下、容器）を用いた。容器内にダイコンを充填し、ラチェット機能つきロープ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（鷺宮製作所製、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, 10, 15, 20および30Hzとした。

### 3. 測定方法

（1）損傷評価 振動周波数が多段積載ダイコンの損傷特性に及ぼす影響を明らかにするため、加振後にダイコン個体に生じた「擦り傷」（以下、損傷）程度を調査した。

ダイコンは、容器に奇数段4列/偶数段3列×5段の条件で1段ごとに向きを交互にして充填した（交互反転最密充填、以下、最密充填）。各振動周波数でそれぞれ加振処理を行い、損傷が発生しやすい上段部分（3～5段目）のダイコン（計11本）について損傷程度を調査した。加振時間は40minとした。損傷の評価は目視で行い、ダイコンの表皮に傷がついたものから、表皮が剥離したものまでを総合して損傷として判断した。全表面積に対する損傷面積の割合（以下、損傷割合）を算出し、損傷程度の指標とした。反復数は3とした。また、各周波数における加振試験後のダイコン積載位置の変化についても、目視による観察を行った。

（2）加速度の測定 振動周波数が多段積載ダイコンの振動特性に及ぼす影響を明らかにするため、各振動周波数における加速度を測定した。ダイコンの積載方法は、損傷評価と同様とした。

加速度の測定は、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）を用いて行い、時間分解能は500μs、測定時間は8sとした。測定は、既報<sup>4)</sup>に従い、加速度センサ

をダイコンの頂部側上部に固定して、5段目のダイコンについて行った。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ダイコンの加速度の比)を算出し、加速度の指標とした。実験の反復数は3とした。

なお、加速度伝達率(Tr)の算出式は以下のとおりである。

$$Tr = \frac{A_0}{A_i} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $A_i$ は波長ごとの振動台の加速度最大値、 $A_0$ は波長ごとのダイコンの加速度最大値、をそれぞれ示す。

(3) 角速度の測定 加振時のダイコンの相対運動について観察したところ、上下運動だけでなく、回転運動が確認された。そこで、振動周波数が多段積載ダイコンの回転運動に及ぼす影響について検討するため、角速度を測定した。測定には、3軸ジャイロセンサ(InvenSense社製、ITG-3200)を用い、時間分解能は20ms、測定時間は10sとした。ダイコンの積載方法およびジャイロセンサの固定方法は、加速度センサと同様とした。最も相対運動の激しい5段目のダイコンについて、ダイコンの円周方向の角速度を測定し、角速度(deg・s<sup>-1</sup>)を積分して、10sあたりのダイコンの回転角(deg・(10s)<sup>-1</sup>)を求め、回転の指標とした。なお、実験の反復数は3とした。

4. 検討内容

実験1：振動周波数が損傷と振動特性に及ぼす影響

加速度伝達率および回転角が損傷割合に及ぼす影響を検討するために、加速度伝達率および回転角と、損傷割合との間の決定係数(r<sup>2</sup>)を算出した。その際、加速度伝達率および回転角は、前述のとおり5段目のデータ、損傷割合は上段(3~5段目)のデータを用いた。

実験2：床材および内袋が振動特性に及ぼす影響

包装条件が多段積載時のダイコンの振動特性に及ぼす影響について調査する目的で、異なる材質の床材および内袋の有無の条件で、各振動周波数における振動特性について検討を行った

床材は、バルクコンテナの胴枠と同じ素材の「段ボール(以下、段ボール区)」、パレット・上ぶたの素材に近い「ポリプロピレン製の板(以下、PPシート区)」、一般的な緩衝材の一つである「発泡ポリエチレンシート(以下、PE発泡シート区)」の3種類とした(Table 1)。床材の厚さは、それぞれ、段ボール区：15mm、PPシート区：2mm、およびPE発泡シート区：5mm(1mm×5枚)で、これらの床材を容器の底に設置した。さらにポリエチレン袋(以下、PE袋)でダイコン全体を覆い、ゆるみが生じないようにPE袋の開口部を粘着テープでとめた試験区(以下、有袋区)と、対照として無包装の試験区(以下、無袋区)を設けた(Table 1)。そして、5段目のダイコンにおける加速度伝達率および回転角を求めた。実験の反復数は3とした。

Table 1 Packaging conditions in this study

Floor material	Wrapping	Abbreviation
Triple-wall fiberboard (15mm)	PE wrapped Non-wrapped	WRP-Fiber Fiber
Polypropylene sheet (2mm)	PE wrapped Non-wrapped	WRP-PP PP
Polyethylene foam sheet (1mm×5)	PE wrapped Non-wrapped	WRP-PE PE

\*Inner bag made of polyethylene

実験結果

実験1：振動周波数が損傷と振動特性に及ぼす影響

(1) 損傷割合 各振動周波数における損傷割合について、Fig.1に示した。損傷は、2、10、15、20、30Hzの中では10Hzで最大値(2.0%)を示し、次いで15および20Hzにおける1.6%であった。一方2Hzでは0.3%であり、他の周波数と比較して損傷割合は有意に小さかった(p<0.01)。

(2) 振動特性 各振動周波数における加速度伝達率および回転角について、Table 2に示した。加速度伝達率、回転角ともに、10~20Hzの周波数帯で大きな値を示した。

加速度伝達率は、10Hzで最大値(5.2)を示し、次いで15Hz≒20Hz≧30Hz>2Hzの順であった。

10秒あたりの回転角は、15Hzで最大値(98deg・(10s)<sup>-1</sup>)を示し、次いで、10Hz>20Hz≧2Hz≒30Hzであった。

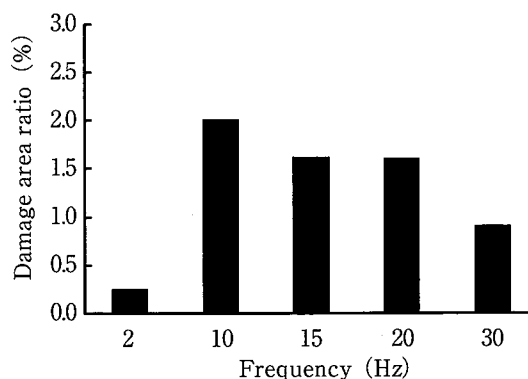


Fig. 1 Influence of vibration frequency on the damage area ratio (abrasion symptom, %) on the surface of Japanese radish

Table 2 Influence of vibration frequency on the vibration characteristics of Japanese radish

	Frequency (Hz)				
	2	10	15	20	30
Acceleration transmissibility	1.1	5.2	3.6	3.4	1.6
Rotation angle (deg・(10s) <sup>-1</sup> )	24	73	98	60	26

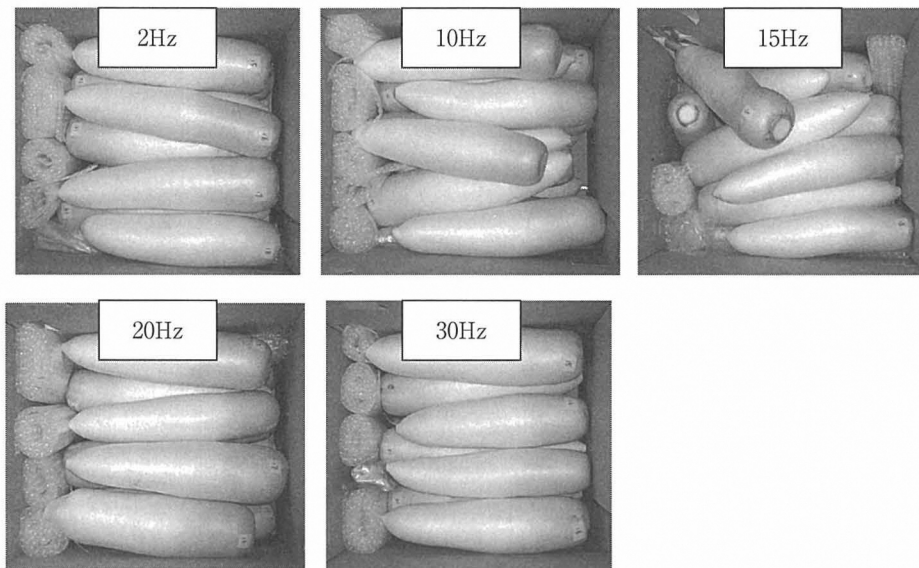


Fig. 2 Change in the position of Japanese radish in the experimental box caused under sinusoidal vibration

Fig. 2に、40min加振後のダイコンの積載位置の変化について写真で示した。特に10~20Hzで著しい移動が確認された。10および15Hzでは、4段目および5段目のダイコンに水平方向の移動が生じ、水平移動により生じた隙間に最上段のダイコンが落ち込む「段位の変化」が生じたほか、15Hzでは、垂直方向の隙間にダイコンが完全に落ち込む「立ち上がり」が確認された。20Hzでも移動が生じたが、10および15Hzと比較して、その移動量は小さかった。2および30Hzでは、移動はほとんど確認されなかった。

(3) 振動特性と損傷割合との関係 多段積載したダイコンに生じる加速度伝達率および回転角と損傷割合との関係について検討した結果、5段目のダイコンの加速度伝達率と上段で生じる損傷との間に $r^2=0.92$ の、5段目のダイコンの回転角と上段で生じる損傷の間に $r^2=0.66$ の、それぞれ強い正の相関が認められた。

#### 実験2：床材および内袋が振動特性に及ぼす影響

(1) 加速度伝達率に及ぼす影響 床材および内袋の有無が5段目のダイコンの加速度伝達率に及ぼす影響についてFig. 3に示した。いずれの試験区も、加速度伝達率は10~20Hzの周波数域で大きかった。ピーク周波数は、無袋区では、段ボール区およびPE発泡シート区は10Hz、PPシート区では15Hz、有袋区では段ボール区およびPPシート区は15Hz、PE発泡シート区は10Hzであり、内袋の有無および床材によって加速度伝達率のピーク周波数が異なった。

無袋区の加速度伝達率の最大値は、段ボール区では5.2、PPシート区は6.1、PE発泡シート区は6.4であった。

一方、有袋区の加速度伝達率の最大値は、段ボール区では3.6、PPシート区は4.2、PE発泡シート区は5.5で、内袋を用いることで加速度伝達率は有意に低減した ( $p$

$<0.05$ )。有袋区における10~20Hzの平均加速度伝達率は、無袋区のそれに対して、段ボール区では76%、PPシート区は86%、PE発泡シート区は81%に低減した。

(2) 回転角に及ぼす影響 5段目のダイコンの回転角についてFig. 4に示した。いずれの試験区でも、回転角は加速度伝達率と同様に10~20Hzで大きい傾向を示した。段ボール区およびPPシート区のピーク周波数は、それぞれ15Hzおよび10Hzであり、内袋の有無による違いは認められなかった。一方、PE発泡シート区では、ピーク周波数が無袋区は15Hz、有袋区は20Hzで、内袋の有無により異なった。

段ボール、PPシート、PE発泡シートを床材に使用した際の、ピーク周波数における回転角は、無袋区では、それぞれ98、197および84 $\text{deg} \cdot (10\text{s})^{-1}$ 、有袋区では、69、126および95 $\text{deg} \cdot (10\text{s})^{-1}$ であり、PPシート区の回転角が大きい傾向を示した。内袋を使用した際の回転角は無袋区の数値に対して、段ボール区では70%、PPシート区では38%に低減した。

## 考 察

多段積載ダイコンにおける損傷は、振動周波数10~20Hzにおいて多く発生した (Fig. 1)。そして、ダイコンの加速度伝達率および回転角も同様に10~20Hzの振動周波数域で大きかったことから (Table 2)、共振周波数近傍では飛びはねとともに回転が生じていることが示された。すなわち、ダイコン同士あるいはダイコンと包装材料との間で発生する損傷は、加速度と回転の2つの要因により発生すると考えられる。加速度が大きい場合にはダイコンの飛び跳ねによる接触部の損傷を、回転運動が大きい場合には摩擦など回転そのものに由来する損傷を、それぞれ発生させるとともに、損傷部位の拡大を引き起こすと考えられた。加速度伝達率または回転角と、

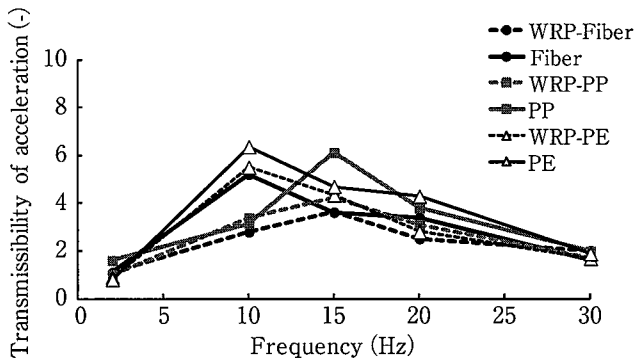


Fig. 3 Effects of vibration frequency and packaging conditions on the acceleration transmissibility of Japanese radish

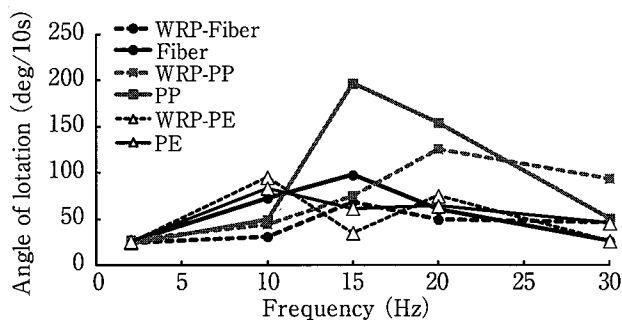


Fig. 4 Effects of vibration frequency and packaging conditions on the rotation angle (degrees per 10s) of Japanese radish

上段の損傷割合との間には、いずれも強い正の相関が得られていることから、損傷の発生予測には、加速度伝達率と回転角の両方を合わせたものを指標として用いることが適切と考えられる。

床材および内袋が多段積載ダイコンの振動特性に及ぼす影響については、床材が段ボールおよびPPシートの場合に内袋の使用による加速度伝達率の低減効果が認められた。特に大きな加速度伝達率を示した10~20Hzの振動周波数域において、その低減効果が大きかった。一方、床材による振動特性の変化は有意には認められなかった。しかし、PPシート区では、回転角が他の床材と比較して増大する傾向を示した。加振により物体に生じる加速度の大きさは、物体および包装材の動的バネ定数と損失係数に影響されると考えられる。今回、床材ごとの動的バネ定数と損失係数は明らかにしていないが、床材ごとの動的バネ定数および損失係数の違いによって、ダイコンに生じる加速度および回転に差が生じたと考えられた。回転角の増大は損傷を発生・拡大させる要因の1つであることから、ダイコンの多段積載において、PPシート床材の利用は適切ではないと考えられた。バルクコンテナを構成するパレット部分(底部)は、高密度ポリエチレンとPPの混合材料で作成され、フォークリフト荷役への対応および使用時の積み重ねや非使用時の減容化の

ために大きな凹凸がある。したがって、青果物をバルクコンテナパレットに直接積載した場合、パレット凸部との接触による青果物の損傷発生が懸念されるため、床材の利用は必須と考えられる。なお、今回実施した振動試験においては、プラスチックパレットのサイズが振動テーブルより大きいため使用できず、ステンレス製振動テーブルをパレット上面と見做して、その上に床材を敷く方法を採用した。ステンレスとPPという材質の違いに加えて、表面の凹凸の有無の違いがあるため、床材の下にパレットがある場合、ステンレス製の振動テーブルに比べて振動が増幅されダイコンの損傷が増大する可能性がある。以上のことから回転運動が増大する可能性のあるPPシート以外、例えば、他の床材と比べ加速度伝達率が小さい傾向を示した段ボールを床材として設置することが望ましいことが示唆された。

KOJIMAら<sup>9)</sup>は、高速道路上で発生する振動加速度について検討し、平滑な高速道路におけるPower Spectrum Density (PSD)の最大ピークは3.35Hz付近にあり、7Hzおよび12Hzにもピークが現れることを明らかにしている。また白田ら<sup>13)</sup>は、サスペンションの種類が振動加速度のPSDに及ぼす影響について検討し、エアサスペンション装備トラック(以下、エアストラック)の荷台では、リーフサスペンション装備トラック(以下、リーフストラック)と比較して、上下方向の3Hz付近のピークが約6割に抑制されること、リーフストラックでは確認されない13Hz付近に特徴的なピークが生じることを報告している。今回の検討において、上段における損傷(Fig. 1)および5段目のダイコンに生じる加速度伝達率および回転角は、10~20Hzにおいて大きかった。すなわち、エアストラックの荷台で発生する13Hz付近の振動ピークは、多段積載ダイコンに損傷を生じさせ、外観品質に悪影響を及ぼす可能性がある。そのため、特に10~20Hzにおける加速度伝達率および回転角の低減効果が認められた内袋の利用は、損傷低減に有効であると考えられた。

西尾ら<sup>14)</sup>は、片栗粉を充填した段ボール箱の積載方法が段ボールの外装損傷に及ぼす影響について検討し、「棒積み」(ブロック積み<sup>15)</sup>)と比較して「ハイ積み」(レンガ積み<sup>15)</sup>)した場合の箱の損傷程度が1/4程度に減少することを明らかにしている。筆者らは、既報<sup>4)</sup>において、「交互反転ブロック積み(以下、ブロック積み)」したダイコンに加振処理を行い、5段目のダイコン表面積の約2割に擦り傷が発生することを明らかにしている。今回の検討では、積載方法をダイコン形状を紡錘形(軸方向に直径の異なる回転体)と見做して「最密充填」にしたことで、5段目ダイコンの損傷発生割合は最大で2.0%と、「ブロック積み」の損傷発生割合と比較して大幅に低減し、西尾らの結果と一致した。「最密充填」は、「ブロック積み」と比較して、1本のダイコンが上下各2本のダイコンとそれぞれ接触するため接触面

積が大きく、ダイコン同士の接触面に生じる摩擦力が大きいと考えられる。その結果、回転運動が抑制されることが、「最密充填」において損傷が低減した要因の1つであったと考えられた。

本研究では、多段積載ダイコンにおける包装条件と損傷特性との関係解明をテーマに検討を行い、いくつかの知見を得た。特に内袋の利用による多段積載ダイコンの加速度伝達率の抑制が、新規バルクコンテナを用いた青果物の実輸送時における損傷低減対策の1つとして有効である可能性を示した。併せて既報<sup>9)</sup>で得られた結果と比較検討することで、ダイコンの積載方法に伴う損傷発生割合の違いについてもその一端を明らかにすることができた。今後、振動試験機を用いた実測に加えて、バルクコンテナ内に積載された青果物の運動および応力解析を目的とした三次元個別要素法<sup>10)</sup> (Discrete Element Method, DEM) による解析手法なども併用することで、ダイコンの損傷原因となる相対運動を抑制する積載方法を明らかにするとともに、実輸送により実証をする予定である。

## 要 約

青果物の新規バルクコンテナによる輸送時の損傷低減を目的として、振動周波数が多段積載ダイコンの損傷および振動特性に及ぼす影響について検討した。また、床材の違いや内袋の利用の影響についても検討した。その結果、以下の知見を得た。

- ① 10~20Hzの周波数域で損傷割合、積載位置の移動量が大きい。
- ② 加速度伝達率および回転角は、10~20Hzの周波数域でその値が大きく、加速度伝達率では10Hz、回転角では15Hz近傍にピークを有する。上段(3~5段目)の損傷割合と、5段目の加速度伝達率または回転角との間には、それぞれ $r^2=0.92$ 、 $r^2=0.66$ の強い正の相関が認められる。
- ③ 加速度伝達率および回転角のピーク周波数におけるそれぞれの値は、内袋を用いることで低減された。加速度伝達率、回転角ともに、床材(段ボール、PPシート、PE発泡シート)によってピーク周波数が異なる。PPシートを床材に用いると、回転角が他の床材に対して増大する傾向があることから、実輸送時にはPPのような床材を利用することは回避すべきと考えられる。

以上の結果より、利用目的および輸送環境に合わせた包装条件-適切な床材の選定と内袋による固定-を個別に検討し、損傷発生の主要因である加速度そのものを抑制するとともに、共振周波数を輸送時の振動の卓越周波数からずらすことが可能な包装条件を設定することで、新規バルクコンテナを利用した多段積載ダイコンの輸送中に発生する損傷を低減できることが示唆された。また、損傷の発生予測には、加速度伝達率、回転角の両方を合

わせた指標を開発することが有効であると考えられた。

**謝 辞** 本研究を遂行するにあたり、実験材料の手配をしていただいた神奈川県農業技術センターの室井義広副技幹、鈴木美穂子主任研究員、また、包装資材を提供していただいたキョーラク株式会社の新實誉也氏、王子インターパック株式会社の横山幸一氏に、心からお礼を申し上げる。

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) 折笠貴寛・ロイ ポリトシュ・吉田 誠・曾我綾香・大野誠治・新實誉也・横山幸一・芳賀 浩・中村宣貴・椎名武夫：新規バルクコンテナを利用した青果物流通による温室効果ガス排出量削減の可能性、第5回日本LCA学会研究発表会講演要旨集、pp.20~21 (2010)
- 2) 池田浩暢・石井利直・茨木俊行・小島孝之・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)
- 3) THAMMAWONG, M., KANETA, T., NAKAMURA, N., YOSHIDA, M., SOGA, A. and SHINA, T.: Influence of Impact Stress on the Postharvest Physiological and Chemical Properties of Cabbage Heads, *Food Preser. Sci.*, 37, 273~282 (2011)
- 4) 兼田朋子・中村宣貴・タンマウオン 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)
- 5) NAKAMURA, N., INATSU, Y., KAWAMOTO, S., OKADOME, H., NAKANO, K., MAEZAWA, S. and SHINA, T.: Effect of vibration on the bacterial growth on strawberry fruits, *J. Food Agric. Environ.*, 5, 44~48 (2007)
- 6) 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, *J. Soc. Agric. Struct. Jpn.*, 29, 197~203 (1999)
- 7) 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)
- 8) 中村宣貴・梅原仁美・根井大介・岡留博司・石川豊・中野浩平・前澤重艶・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、2

- ～ 8 (2008)
- 9) 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*，**31**，19～23 (2008)
- 10) 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)，*農業機械*，**39**，333～349 (1977)
- 11) KITAZAWA, H., ISHIKAWA, Y., NAKAMURA, N., LU, F. and SHIINA, T.: Improvement of Packaging to Reduce Deterioration of Peach Fruit Caused by Vibration, *Food Preser. Sci.*, **34**, 331～336 (2008)
- 12) 中村宣貴・梅原仁美・岡留博司・中野浩平・前澤重禮・椎名武夫：振動周波数およ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)
- 13) 白田浩幸・椎名武夫・石川 豊・佐竹隆顕：青果物の3次元輸送振動シミュレーションのための基礎研究，*農業施設*，**36**，215～222 (2006)
- 14) 西尾 恵・西野将嗣・中村宣貴・椎名武夫：輸送振動による段ボール箱表面損傷防止に関する研究－積載方法の違いによる損傷軽減効果の検討－，第70回農業機械学会年次大会講演要旨，pp.164～165 (2011)
- 15) 日本規格協会：物流用語Z0111，JISハンドブック62物流，pp.23～24 (2005)
- 16) 岡安崇史・椎名武夫・中野浩平・中村宣貴・井上英二：三次元個別要素法によるバルク輸送コンテナ内積荷の動的挙動解析，第70回農業機械学会年次大会講演要旨，pp.222～223 (2011)  
(平成24年12月20日受付，平成25年4月24日受理)