

路面の段差を乗り越える際の包装貨物の跳ね上がりがある¹⁾。

これまでに行われてきた輸送環境調査では、国内外での輸送中に、路面の段差又は溝によって包装貨物に強い衝撃が発生することが報告されている^{2)~5)}。また、宅配業者による輸送の場合に、10cm 以下の落下に相当する衝撃の発生頻度が高いことが分かっている⁶⁾⁷⁾。

路面の段差を通過する際の包装貨物に発生する衝撃は JIS Z0200「包装貨物－性能試験方法一般通則」における、跳ね上がり振動試験と落下試験の中間程度の強さの衝撃であり⁸⁾、これまでも、振動と落下の中間程度の衝撃を対象とした様々な研究が行われている^{9)~13)}。

筆者はこれまでに、輸送用車両が段差を通過する際の衝撃を対象に研究を行ってきた。本研究では、梱包箱(個箱)での段差通過実験(段差 1 個、2 個)¹⁴⁾及び自由落下⁸⁾、パレタイズ貨物での段差通過実験(段差 2 個)¹⁵⁾¹⁶⁾の実験結果に、パレタイズ貨物での段差通過実験(段差 1 個)及び自由落下の実験結果を新たに加え、梱包箱(個箱)とパレタイズ貨物の跳ね上がりの挙動及び段差通過実験と自由落下で発生する衝撃加速度を比較したので報告する。

2. 実験方法

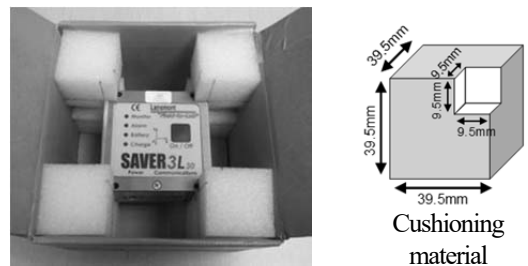
2.1 実験用貨物

実験用の包装貨物として、梱包箱(個

箱) 及びパレタイズ貨物の 2 種類を作製した。

2.1.1 梱包箱(個箱)

梱包箱(個箱)は衝撃記録計 A(Lansmont 社製、SAVER 3L-30)を緩衝材(材質：発泡 PE、発泡倍率：25 倍)及び段ボール箱で梱包して作製した。梱包箱(個箱)の外観を Fig. 1 に示す。段ボール箱の外形寸法は 148×146×113mm とした。衝撃記録計 A の測定条件は、サンプリング周期：0.5ms、応答周波数：200Hz とした。



weight : 0.5kg

Fig. 1 Appearance of the packaging box

2.1.2 パレタイズ貨物

パレタイズ貨物は樹脂製パレットの上に 75 箱の梱包箱(パレタイズ貨物)を積み重ねて作製した。シュリンクフィルムを巻き、荷崩れが起こらない状態とした。

a) 梱包箱(パレタイズ貨物)

梱包箱(パレタイズ貨物)は段ボール製のダミー貨物を緩衝材及び段ボール箱で梱包して作製した。段ボール製のダミー貨物の一部には衝撃記録計 B(株式会社スリック製、G-MEN DR100)を埋め込んだ。梱包箱(パレタイズ貨物)の外観を

Fig. 2 に示す。段ボール箱の外形寸法は $340 \times 210 \times 200\text{mm}$ とした。衝撃記録計 B の測定条件は、サンプリング周期：1ms (トレースモード)、応答周波数：100Hz とした。

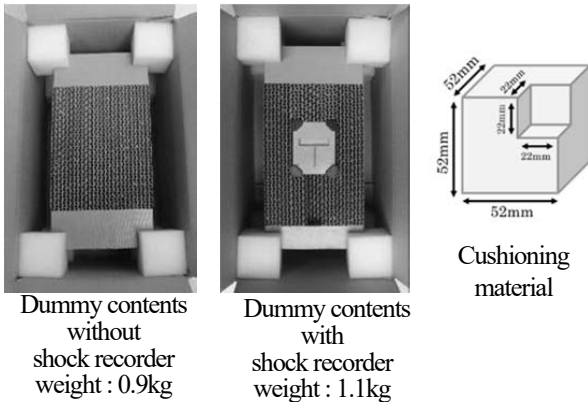


Fig. 2 Appearance of the packaging box (pallet)

b) パレタイズ貨物の積み方

樹脂製パレットの上に、**Fig. 3** に示すように 3×5 箱の梱包箱(パレタイズ貨物)を 5 段積み重ねたパレタイズ貨物を作製した。衝撃記録計 B は車両の進行方向に対して、前後方向の最前部、中央部、最後部、上下方向では最下段、中央段、最上段、左右方向に対しては中央列のみの合計 9 ヶ所の梱包箱(パレタイズ貨物)に

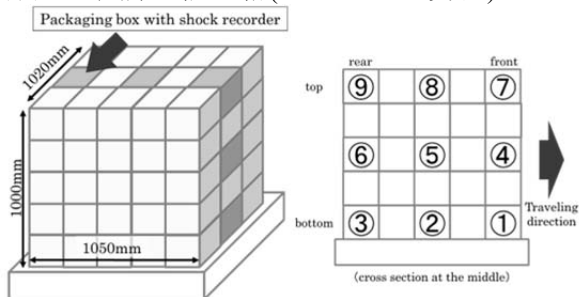


Fig. 3 How to stack and numbering of shock recorder

搭載した。輸送環境レコーダにはそれぞれ番号を付けた(**Fig. 3**)。

2.2 段差通過実験方法

実験用貨物を搭載した車両 (トヨタ自動車株式会社製、タウンエーストラック) でアスファルト上に設置した段差を通過した。車両の段差通過時に衝撃記録計 A, B に発生する加速度を測定し、3 軸方向の合成値を衝撃加速度とした。実験用貨物を搭載した車両の外観を **Fig. 4** に示す。実験用貨物は車両後輪の鉛直線上に固定せずに搭載した。段差は一つだけ設置した場合と、成石らの実験結果¹⁾を参考に、2 連続で段差を設置した場合で実施した。本研究では設置間隔 1000mm とした。段差の断面寸法を **Fig. 5** に示す。実験は車両速度を変えながら、各条件で 20 回行った。段差通過時の車両速度は高速度カメラ (株式会社フोटロン製、HV-W modelA) で撮影した画像から測定した。高速度カメラのフレームレートは 500fps とした。



Fig. 4 Appearance of the truck

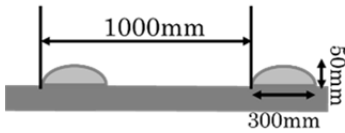


Fig. 5 Dimensions of the bump

3 実験結果及び考察

3.1 段差通過実験 梱包箱(個箱)

これまでに得られた¹⁴⁾、段差通過実験(段差 2 個)の結果を Fig. 6 に示す。段差 2 個の場合では、特定の車両速度で大きな衝撃加速度が発生し、更に車両速度を上げると、衝撃加速度が徐々に小さくなるのが分かっている。その要因を Fig. 6 の Point1(12.5km/h)及び Point2(22.5km/h)の実験条件に注目し、梱包箱(個箱)が荷台に着地する直前の様子(Fig. 7 及び Fig. 8)から推測した。梱包箱(個箱)の着地直後に車両後輪が 2 つ目の段差を通過する場合に衝撃加速度が大きくなり、着地が車両後輪の 2 つ目の段差通過直後になる場合に、高い位置で着地をするため、衝撃加速度が小さくなると考えた。

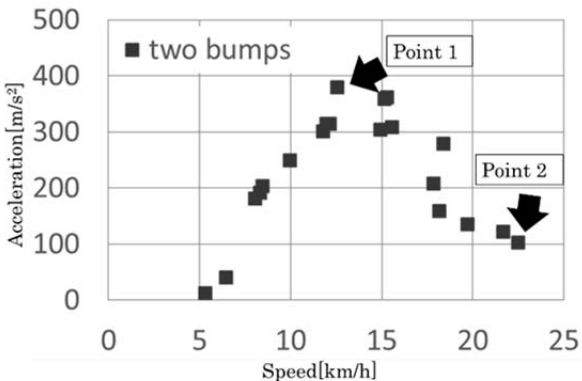


Fig. 6 Vehicle speed and acceleration in the box (two bumps)

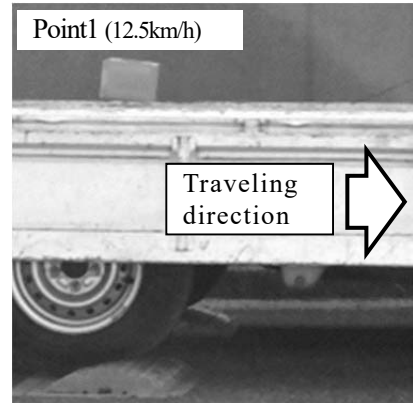


Fig. 7 The moment when the packaging box lands (Point1)

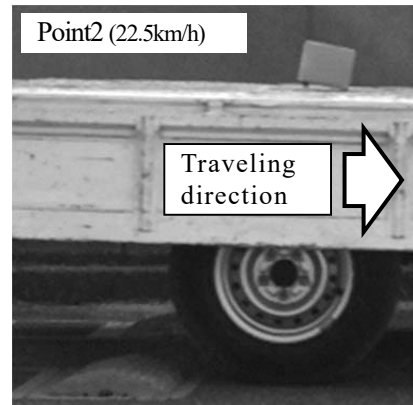


Fig. 8 The moment when the packaging box lands (Point2)

これまでに得られた¹⁴⁾、段差通過実験(段差 1 個)の結果を Fig. 9 に示す。段差が 1 個の場合では、車両速度が 10km/h 以上で、車両速度を速くしても、衝撃加速度が増加する傾向がみられなかった。

本研究では、その要因について考察したので補足をする。Fig. 9 の Point3 (10.0km/h)及び Point4 (19.8km/h)の実験条件に注目した。梱包箱(個箱)の進行方向の移動距離と跳ね上がる高さ(底面の前端と後端の中心)の関係を Fig. 10、進

行方向の移動距離と跳ね上がり中の角度の関係を Fig. 11 に示す。グラフの原点は車両後輪が段差に接触した時点とした。Fig. 11 のグラフが階段状になったのは、測定部分での画像の解像度が十分に得られなかったためである。

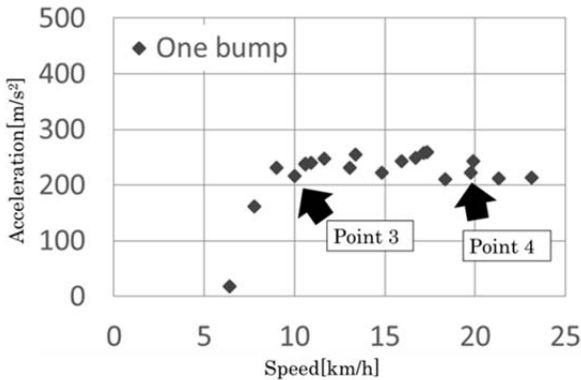


Fig. 9 Vehicle Speed and acceleration in the box (One bump)

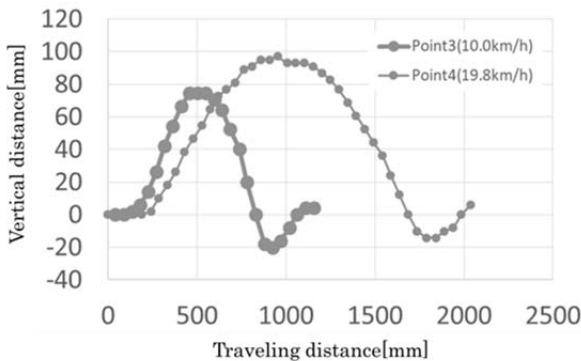


Fig. 10 Trajectory of packaging box

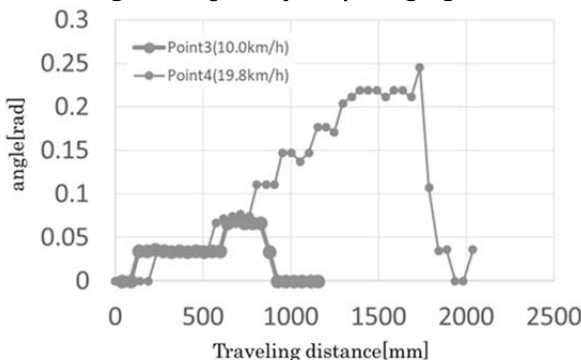


Fig. 11 Angle of packaging box

車両速度が 10.0km/h から 19.8km/h になることで、跳ね上がる高さの最大値が 74mm から 97mm、角度の最大値が 0.07rad から 0.24rad になった。一般的に、跳ね上がる高さが高くなると衝撃加速度は大きくなり、着地時の角度が大きくなると衝撃加速度は小さくなる。そのため、車両速度が速くなることで、跳ね上がる高さは高くなったが、着地時の角度が大きくなり、衝撃加速度は増加しなかったと推測される。

高速度カメラで撮影した画像から梱包箱(個箱)の鉛直方向の速度の最大値を求めると 0.7m/s(Point3) 、1.0m/s(Point4)であった。車両速度が速くなることで、鉛直方向の速度が大きくなり、跳ね上がる高さは高くなったと考えられる。この速度から鉛直方向に打ち上げた時の最大到達点を算出し、段差の高さ(50mm)を加えると 75mm(Point3)、101mm (Point4)となり、実際値に近い値となった。

車両速度が速くなることで、着地時の梱包箱(個箱)の角度が増加する要因については、本研究では明らかにすることが出来なかった。グラフの原点(車両後輪が段差に接触した時点)から梱包箱(個箱)の一部が車両の荷台に接触するまでの時間については、0.38s (10.0km/h)と 0.37s (19.8km/h)であり、大きな差はみられなかった。

3.2 段差通過実験 パレタイズ貨物

これまでに、パレタイズ貨物での段差通過実験(段差 2 個)の結果を報告している¹⁵⁾。大きな衝撃加速度が発生した最下段(①、②、③)の位置の車両速度と衝撃加速度の関係を **Fig. 12** に示す。パレタイズ貨物においても、梱包箱(個箱)の結果と同様に、特定の車両速度で大きな衝撃加速度が発生し、更に車両速度を上げると衝撃加速度が小さくなる傾向がみられた。

最も大きな衝撃加速度が発生した、**Fig. 12** の Point5(9.7km/h)の実験条件に注目をした。パレタイズ貨物の前端(①側)が着地する直前の様子を **Fig. 13** に、後端(③側)が着地する直前の様子を **Fig. 14** に示す。パレタイズ貨物の場合、前端、後端の順番で着地をしており、Point5 の実験条件では、前端の着地から後端の着地までの時間は 0.06s であった。パレタイズ貨物の前端が着地する瞬間では車両後輪と 2 つ目の段差には距離があり、後端の着地直後に車両後輪が 2 つ目の段差を通過する様子が観察された。パレタイズ貨物においても梱包箱(個箱)と同様の現象により、大きな衝撃加速度が発生したと考えられる。

本研究では新たに、段差通過実験(段差 1 個)の実験結果について報告する。段差通過時の車両速度と衝撃記録計 B に発生した衝撃加速度と梱包箱の位置の関係を **Table1** に示す。梱包箱(個箱)の実験結果

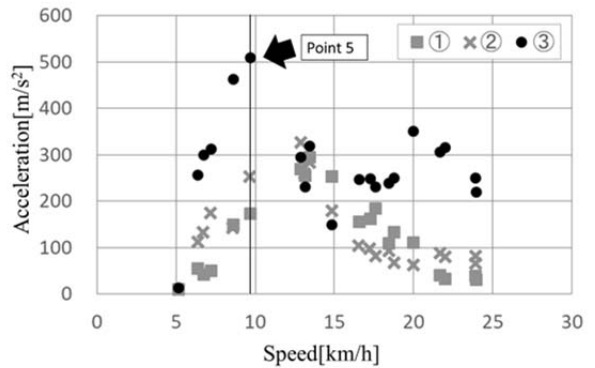


Fig. 12 Vehicle speed and acceleration in the box (①, ②, ③)



Fig. 13 The moment when the pallet front lands



Fig. 14 The moment when the pallet rear lands

と同様、車両速度を速くしても、衝撃加速度が増加する傾向がみられなかった。

10.4km/h 及び 19.5km/h の実験条件に注目した。梱包箱(パレタイズ貨物)①、③、⑤、⑦、⑨(ただし、高速度カメラ側の梱包箱の中心で測定)の進行方向の移動距離と跳ね上がる高さの関係を Fig. 15 及び Fig. 16 に示す。パレタイズ貨物の最下段(①-③)及び最上段(⑦-⑨)の進行方向の移動距離(最前部と最後部の中心で測定)と跳ね上がり中の角度の関係を Fig. 17 及び Fig. 18 に示す。グラフの原点は車両後輪が段差に接触した時点とした。測定には画像解析ソフト(TEMA)を用いた。Fig. 15～Fig. 18 から、車両速度が速くなることで、測定したすべての位置で跳ね上がる高さが高くなり、角度の最大値が最下段及び最上段で大きくなることが分かった。梱包箱(個箱)と同様の傾向がみられた。

Table1 Vehicle speed and acceleration in the box

Speed [km/h]	Acceleration[m/s ²]								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
6.5	60	130	280	30	50	190	80	70	170
7.9	40	130	290	40	40	180	80	70	220
8.2	40	190	290	40	50	170	70	70	230
8.3	60	130	340	30	70	210	70	90	250
9.1	70	140	320	40	100	240	70	110	280
10.4	50	150	300	60	50	200	70	70	250
12.2	120	160	370	80	120	210	120	90	260
13.9	230	220	190	130	80	90	170	120	130
15.5	240	110	300	140	90	210	170	100	240
15.9	210	180	200	130	90	130	170	120	170
16.3	190	170	250	120	80	150	160	80	190
17.4	210	220	160	120	90	80	180	140	110
19.0	260	200	150	150	100	100	190	130	140
19.0	250	100	260	160	90	180	180	80	220
19.5	170	180	160	100	80	90	160	110	110
20.8	220	180	200	140	100	130	190	120	150
23.0	80	140	160	80	50	80	100	70	100
23.2	130	220	130	90	70	70	130	90	90
23.3	70	90	170	40	50	130	60	50	150
24.6	170	140	240	100	80	140	150	110	160

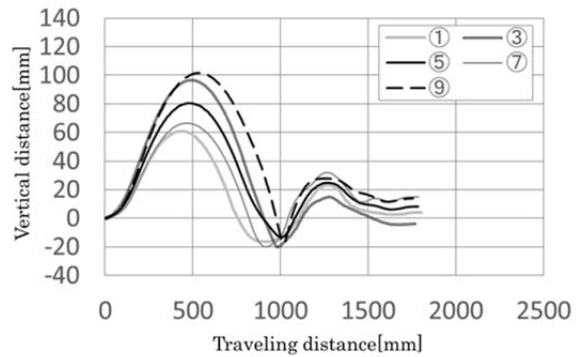


Fig. 15 Trajectory of packaging box (pallet) (10.4km/h)

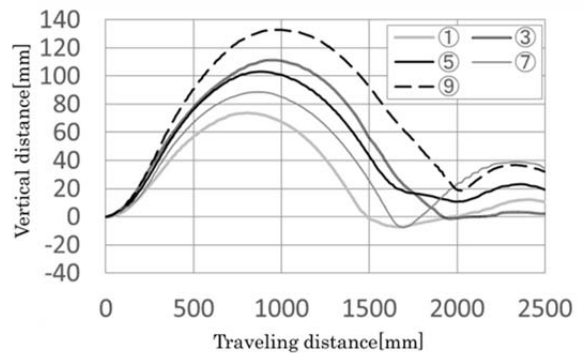


Fig. 16 Trajectory of packaging box (pallet) (19.5km/h)

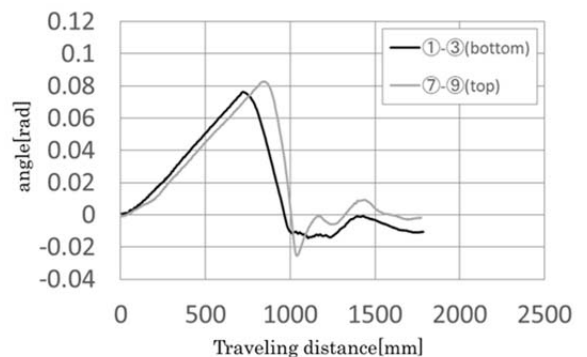


Fig. 17 Angle of palletized packaging boxes (10.4km/h)

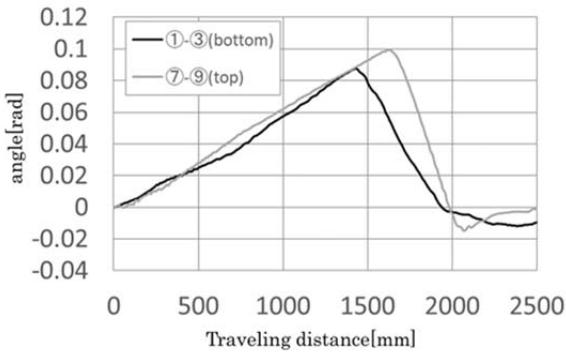


Fig. 18 Angle of palletized packaging boxes (19.5km/h)

パレタイズ貨物の場合、梱包箱(パレタイズ貨物)の位置によって、跳ね上がる高さが異なる特徴がみられた。着地時の角度の最大値については梱包箱(個箱)の場合よりも小さくなった。グラフの原点からパレタイズ貨物の一部が車両の荷台に接触するまでの時間は、0.28s(10.4km/h)、0.29s(19.5km/h)であり、梱包箱(個箱)と同様に、車両速度による差はみられず、梱包箱(個箱)よりも短くなる傾向がみられた。

3.3 自由落下との比較

これまでに、落下高さ 100、200mm からの梱包箱(個箱)の自由落下で、衝撃加速度 290、380m/s²が発生することが分かっている⁸⁾。本研究では、パレタイズ貨物を落下高さ 100、200mm から自由落下させて衝撃加速度を測定した。測定結果を Table2 に示す。

Table2 Acceleration in the box (pallet) (drop test)

Drop height [mm]	Acceleration [m/s ²]								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
100	270	270	270	200	240	200	250	230	250
200	410	400	410	330	360	320	420	360	380

段差通過実験及び自由落下で発生した衝撃加速度の最大値を Table3 にまとめ、比較をする。梱包箱(個箱)では、段差 1 個と落下高さ 100mm、段差 2 個と落下高さ 200mm で近い値となった。パレタイズ貨物では、落下高さ 200mm と近い値となったが、段差 2 個の場合の一部の条件(特定の車両速度での最後部、最下段の③の位置)では落下高さ 200mm からの衝撃加速度を超える加速度が発生した。

また、筆者はこれまでに、梱包箱(パレタイズ貨物)を 5 箱積み重ねた状態で等価落下試験を行い、パレタイズ貨物に発生する衝撃加速度が再現できる可能性についても報告をしている¹⁶⁾。

Table3 Maximum acceleration

	Maximum acceleration [m/s ²]			
	bump test		drop test	
	one bump	two bumps	100mm	200mm
packaging box	260	380	290	380
palletized boxes	370	510	270	420

4. 結論

段差通過実験での梱包箱及びパレタイズ貨物の跳ね上がりの挙動に類似点がみられた。段差通過実験と自由落下試験で発生する衝撃加速度を比較した。

【梱包箱(個箱)】

段差通過実験(段差 2 個)：特定の車両

速度で大きな衝撃加速度が発生した。本研究では最大で衝撃加速度 380m/s^2 が発生し、落下高さ 200mm の自由落下で発生する衝撃加速度 380m/s^2 と近い値であった。

段差通過実験(段差 1 個): 特定の車両速度以上で、車両速度を速くしても衝撃加速度が増加せず、線形性がみられなくなった。その要因は、車両速度が速くなると、跳ね上がる高さは高くなるが、着地時の角度が大きくなり、衝撃加速度が増加しなかったと考えた。本研究では最大で衝撃加速度 260m/s^2 が発生し、落下高さ 100mm の自由落下で発生する衝撃加速度 290m/s^2 と近い値であった。

【パレタイズ貨物】

段差通過実験(段差 2 個): 梱包箱(個箱)と同様に、特定の車両速度で大きな衝撃加速度が発生した。本研究では最大で衝撃加速度 510m/s^2 が発生し、落下高さ 200mm の自由落下で発生する衝撃加速度 420m/s^2 よりも大きな衝撃であった。

段差通過実験(段差 1 個): 梱包箱(個箱)と同様に、特定の車両速度を速くしても衝撃加速度が増加せず、線形性がみられなかった。その要因についても、梱包箱(個箱)と同様であると考えた。パレタイズ貨物の場合、梱包箱(パレタイズ貨物)の位置によって、跳ね上がる高さが異なる特徴がみられた。着地時の角度の最大値は梱包箱(個箱)よりも小さくなった。本研究では最大で 370m/s^2 の衝撃加速度

が発生し、落下高さ 200mm の自由落下で発生する衝撃加速度 420m/s^2 と近い値であった。

5. 謝辞

本研究の一部は公益社団法人 SBS 鎌田財団の研究助成により実施しました。ここに謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 成石木, 高木雅広, 40ft コンテナ最後尾貨物の受ける衝撃について, 日本包装技術協会, 第 51 回全日本包装技術研究大会予稿集, p.140(2013)
- 2) 渡部大輔, 松井一, 中国上海市内における宅配便の輸送環境の簡易計測, 日本包装学会誌, **24**(5), P.279(2015)
- 3) 渡部大輔, 松井一, 百田大輔, 生貝友哉, 地理情報システムを用いた輸送環境調査～インド国内物流を事例として～, 日本包装学会誌, **24**(6), p.369(2015)
- 4) 高木雅広, 遠山一隆, 森松長照, 空港内オペレーションで発生する振動・衝撃の計測と解析, 日本包装学会, 第 24 回年次大会予稿集, p.70(2015)
- 5) F.Lu, Y.Ishikawa, T.Shiina and T.Satake, Analysis of Shock and Vibration in Truck Transport in Japan, Packaging Technology and Science, 21(8), p.479 (2008)

- 6) 斎藤勝彦，久保雅義，劉剛，宅配便における荷扱いの現状分析，日本航海学会論文集，**99**，p.117(1998)
- 7) 李江，川口和晃，中国における輸送環境調査，公益社団法人日本包装技術協会，第 54 回全日本包装技術研究大会予稿集，p.110(2016)
- 8) 飯田恭平，跳ね上げ試験に関する研究，日本包装学会誌，**27**(5)，p.307(2018)
- 9) 高田利夫，津田和城，衝撃を受けた段積み貨物について－固定方法の違い－，公益社団法人日本包装技術協会，第 50 回全日本包装技術研究大会予稿集，p.156(2012)
- 10) 細山亮，斎藤勝彦，振動試験における供試品の固定の有無が包装内容品に与える影響，公益社団法人日本包装技術協会，第 52 回全日本包装技術研究大会予稿集，p.21(2014)
- 11) 千田詠介，斎藤勝彦，段ボール箱の擦れキズ再現試験の新たな試み，包装技術，**52**(3)，p.4(2014)
- 12) 千田詠介，実輸送下における「加速 & ブレーキ」時の製品への影響力と試験の必要性について，公益社団法人日本包装技術協会，第 54 回全日本包装技術研究大会予稿集，p.38(2016)
- 13) 飯田恭平，阿部祥忠，林直宏，佐藤幹彦，振動試験機による包装貨物の跳ね上がり再現，あいち産業科学技術総合センター研究報告，**4**，p.26(2015)
- 14) 飯田恭平，連続した 2 つの段差を通過する時の包装貨物の跳ね上がり解析，公益社団法人日本包装技術協会，第 56 回全日本包装技術研究大会予稿集，p.235(2018)
- 15) 飯田恭平，減速帯からの衝撃が増大する車両速度と積載位置，公益社団法人日本包装技術協会，第 57 回全日本包装技術研究大会予稿集，p.9(2019)
- 16) 飯田恭平，パレタイズ包装貨物の跳ね上がり再現，公益財団法人 SBS 鎌田財団，2017 年度物流研究助成成果報告書，p.17(2020)