

研究論文

振動試験機による包装貨物の跳ね上がり再現

飯田恭平*¹、阿部祥忠*¹、林直宏*¹、佐藤幹彦*¹

The Bounce Reproduction of Packaging by Vibration Testing Machine

Kyohei IIDA*¹, Yoshitada ABE*¹, Naohiro HAYASHI*¹ and Mikihiko SATO*¹Industrial Research Center*¹

本研究は輸送中に発生する包装貨物の大きな跳ね上がりを室内試験で再現することを目的として行った。そのために、台車を用いて跳ね上がりの発生試験を行い、その際に包装貨物に発生した加速度波形を振動試験機で再現する方法の検討を行った。そして、台車の物性、障害物の形状、衝突時の速度を想定して提案した跳ね上がりの再現試験方法が包装貨物の跳ね上がりを再現することを示した。

1. はじめに

平成 25 年 3 月に ISO 規格との整合化を目的として「JIS Z 0200 包装貨物—性能試験方法一般通則」の改正が行われ、新たに跳ね上がり振動試験が追加された。しかし、国内では跳ね上がり振動試験に関する十分な研究がされていないことが包装業界の課題となっており、適正な試験方法及びレベルの検討が求められている¹⁾。これまではトラックを用いて輸送中の包装貨物の跳ね上がりを再現し、包装貨物を評価した報告²⁾は行われているが、これには多くの時間及びコストが発生することが問題となっている。そこで、本研究は輸送中に発生する包装貨物の大きな跳ね上がりを室内試験で再現することを目的とし、台車を用いた跳ね上がりの発生試験を行い、その際に包装貨物に発生した加速度波形を振動試験機で再現する方法を検討した。また、台車を用いた跳ね上がりの発生試験と JIS 規格に追加された跳ね上がり振動試験の比較を行った。



図 1 実験用梱包箱の外観

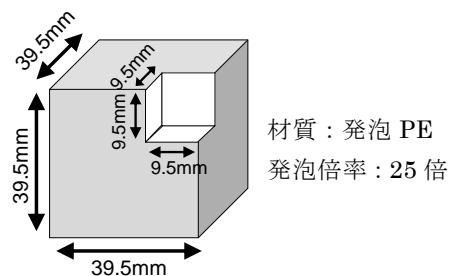


図 2 緩衝材の外観

2. 実験方法

2.1 実験用梱包箱の作製

輸送環境レコーダ(Lansmont 社製 SAVER3L-30)を緩衝材と外装用段ボール箱を用いて梱包した実験用梱包箱を作製した。実験用梱包箱の外観は図 1 に示す。緩衝材は図 2 の形状及び材質とした。外装用段ボール箱は原紙構成が LB170/ MC120/LB170 の A 段両面段ボール、箱の内側寸法は 140×138×105mm とした。

2.2 輸送環境レコーダの測定条件

輸送環境レコーダに 20m/s² を超える加速度が発生した時の前後 128ms の加速度波形を記録した。サンプリング数は 512、サンプリング周期は 0.5ms とした。

2.3 台車を用いた跳ね上がりの発生試験

跳ね上がりの発生試験は図 3 に示す台車(質量 12.5 kg、台車前輪半径 50mm)を用いて行った。図 4 に示すように実験用梱包箱を搭載した台車を斜面で力を加えずに動かし、台車前輪を斜面下の障害物に衝突させて実験用梱包箱を跳ね上がらせた。台車前輪が障害物に衝突する時の速度は 1.1m/s とした。障害物の形状及び寸法は図 5 に示す。実験用梱包箱の搭載位置は台車の左右前輪の中央とし、梱包箱は台車に固定していない。障害物の寸法は 3 種類とし、各 5 回の測定を行った。

*¹ 産業技術センター 環境材料室



図3 台車

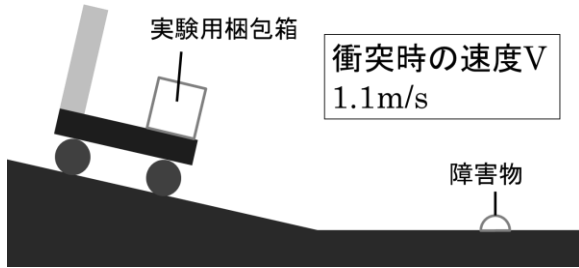


図4 台車を用いた跳ね上がり発生試験方法

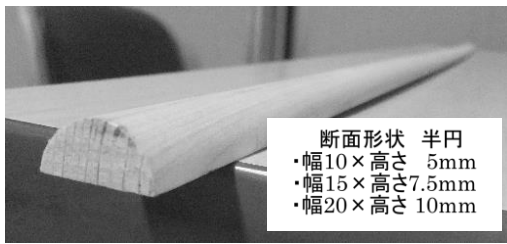


図5 障害物の形状及び大きさ

2.4 跳ね上がりの再現試験で用いる加速度波形

振動試験機を用いて跳ね上がりを再現するために、振動台に発生させる加速度波形 $a(t)$ をピーク加速度 b 、衝撃作用時間 T の正弦半波とした。

$$a(t) = b \sin \frac{\pi}{T} t \quad (0 \leq t \leq T) \quad \dots \text{式①}$$

衝撃作用時間 T は図6の1自由度減衰振動モデルを考え、モデルに衝撃が発生した時の振動周期 P の半分とした。
 m 、 c 、 k は図3の台車から測定する。 $t=0$ で力積 I の衝撃が発生したときの運動方程式は

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = y$$

$$y = I\delta(t) \quad \delta(t) = \begin{cases} \infty & (t=0) \\ 0 & (t \neq 0) \end{cases}$$

であり、この式を x について解くと、

$$x = \frac{PI}{2\pi m} e^{-\frac{c}{2m}t} \sin \frac{2\pi}{P} t$$

$$P = \frac{4\pi m}{4mk - c^2} \sqrt{4mk - c^2}$$

となる。衝撃作用時間 T を振動周期 P から求めると、

$$T = \frac{2\pi m}{4mk - c^2} \sqrt{4mk - c^2}$$

となる。次に、ピーク加速度 b を求める。図7に台車前輪が障害物に衝突した時の台車の上方向の速度成分を示す。初速度 0 の場合、加速度を積分すると速度が得られることからピーク加速度 b を求めた。

$$\int_0^T a(t) dt = V \sin \theta$$

$$b = \frac{\pi}{2T} V \sin \theta$$

b 、 T を式①に代入した正弦半波の加速度波形を用いて跳ね上がりの再現試験を行った。

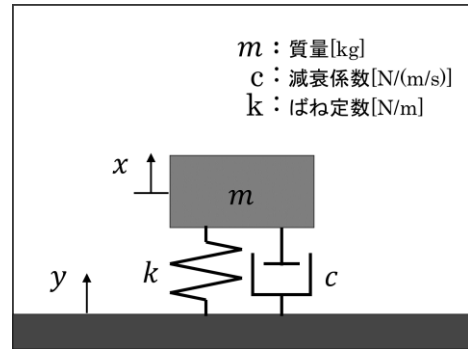


図6 1自由度減衰振動モデル

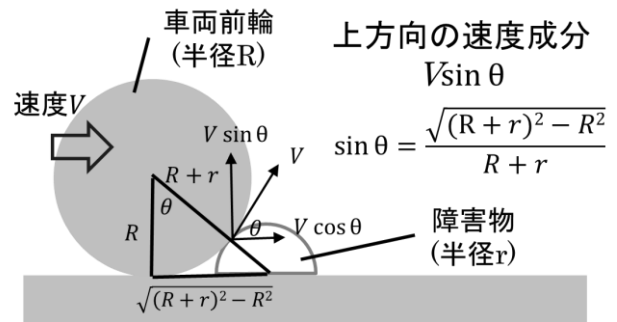


図7 台車前輪の衝突時の速度成分

2.5 振動試験機による跳ね上がりの再現試験

跳ね上がりの再現試験は振動試験機 A (IMV 株式会社製 i230/SA2M) を用いて行った。試験は実験用梱包箱を振動台に固定せずに搭載し、振動台に式①の正弦半波の加速度波形を発生させて、実験用梱包箱を跳ね上がらせ、その時に発生した加速度波形の測定を行った。試験は5回ずつ行った。

2.6 JIS Z 0200 に準じた跳ね上がり振動試験方法

JIS Z0200 包装貨物—性能試験方法一般通則 8.4.4 跳ね上がり振動試験により試験を行った。実験用梱包箱を振動試験機 A に搭載し、加速度波形を 100 回測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 台車のばね定数及び減衰係数の測定

台車を振動試験機 B(エミック株式会社製 F-22000BD/LA26AP)の振動台に固定せずに搭載して正弦波一様掃引振動試験を行った。振動試験の条件は振動数範囲 5~100Hz、ピーク加速度 2m/s²、掃引速度 0.212Hz/s、振動時間 7.5 分、振動方向は垂直とした。振動解析装置(光東電子株式会社製 KA-4108)を用いて振動台と台車の左右前輪の中央の位置の加速度を測定し、ピーク加速度の加速度比を求めた。図 8 に振動数と加速度比の関係を示す。図 8 から台車のばね定数及び減衰係数を求めるために、台車を図 6 のモデルと考える。台車が振動台から強制振動を受ける時の運動方程式は

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky$$

$$y = Y \sin 2\pi ft$$

Y : ピーク加速度[m/s²]、f : 振動数[Hz]

となり、この式を x、y のピーク加速度の加速度比について解くと、

$$M = \frac{1 + \left(2\pi \frac{c}{k} f\right)^2}{\sqrt{\left\{1 - \left(2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} f\right)^2\right\}^2 + \left(2\pi \frac{c}{k} f\right)^2}}$$

M : 加速度比

となる。最小 2 乗法を用いて上式と測定した加速度比が近似するときのばね定数及び減衰係数を求め、ばね定数 7.05×10⁵N/m、減衰係数 653N/(m/s)を得た。

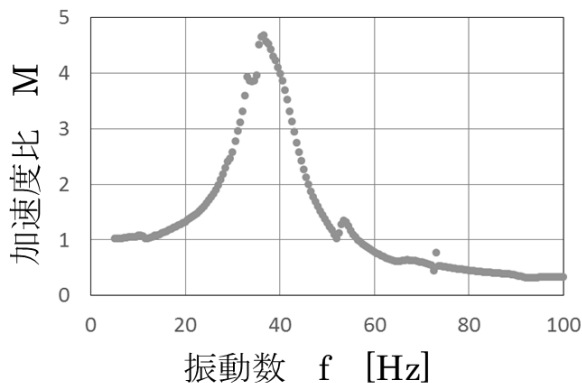


図 8 振動数—加速度比の関係

3.2 跳ね上がりの発生試験と再現試験の比較

障害物の寸法が幅 20×高さ 10mm の時の台車を用いた

跳ね上がりの発生試験で実験用梱包箱に発生した加速度波形を図 9 に示す。128ms 付近のピーク加速度に注目すると、数値にばらつきがみられた。これは試験の観察から、跳ね上がり後に実験用梱包箱が台車に衝突する時の傾きに差があるためだと考えられる。包装貨物は衝突面に対して 2°傾いて落下をすると発生するピーク加速度が 10%低くなるのが分かっている³⁾。すなわち、包装貨物への負荷が最も大きくなるのは跳ね上がり後の包装貨物の傾きが小さい時だと考えられる。跳ね上がりの再現試験ではピーク加速度のばらつきが小さく、跳ね上がり後の実験用梱包箱の傾きも目視で確認ができなかった。

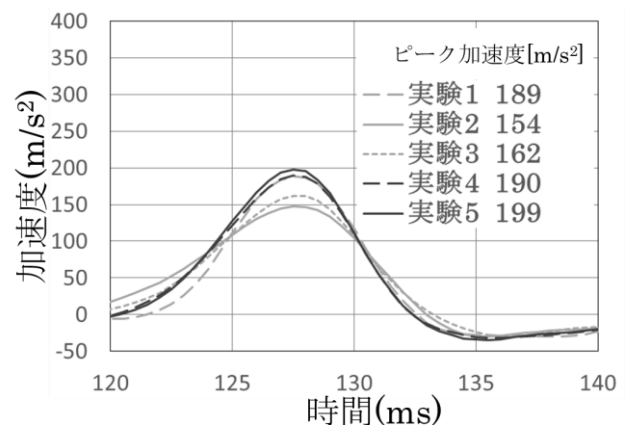


図 9 跳ね上がり発生試験の加速度波形

ピーク加速度が最も大きい実験 5 が傾きが小さいと考えて跳ね上がりの発生試験と再現試験を比較した。その結果を図 10 に示す。跳ね上がりの発生試験よりも式①を用いた再現試験の方がピーク加速度が 33%低い値となっており、跳ね上がりの再現が不十分であった。

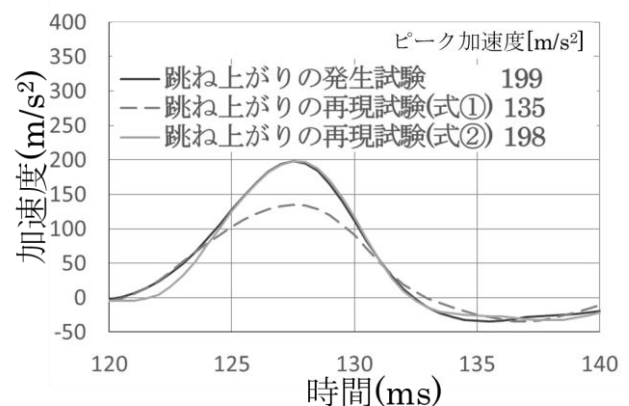


図 10 跳ね上がりの発生試験と再現試験の加速度波形

試験の観察から、実験用梱包箱の跳ね上がりの始まりは台車前輪が障害物に乗りあがった瞬間であり、跳ね上がりの終わりは台車前輪が障害物乗り越えた後であることがわかった。そこで式①を障害物が持つ位置エネルギー

ギーを加えた形に変形すると

$$a(t)=b' \sin \frac{\pi}{T} t \quad (0 \leq t \leq T) \quad \dots \text{式②}$$

$$b' = \frac{\pi}{2T} \sqrt{(V \sin \theta)^2 + 2gr} \quad T = \frac{2\pi m}{4mk - c^2} \sqrt{4mk - c^2}$$

となる。式②を用いた再現試験の結果も図10に合わせ
て示す。実験用梱包箱に発生するピーク加速度の差が
1%以下となっており、跳ね上がりを再現することがで
きた。図5に記載した3種類の大きさの障害物での結果
を表に示す。全ての測定結果での差が10%以下となっ
ており、振動試験機で包装貨物の跳ね上がりが再現で
きることがわかった。

表 障害物の寸法毎の測定結果

障害物の寸法 [mm]	ピーク加速度[m/s ²]					
	幅10×高さ5		幅15×高さ7.5		幅20×高さ10	
	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値
跳ね上がりの 発生試験	128	120	168	155	199	179
跳ね上がりの 再現試験	139	138	167	166	198	194

3.3 跳ね上がりの発生試験と JIS 規格の比較

JIS 規格の跳ね上がり振動試験を行い、実験用梱包箱
に発生したピーク加速度を100回測定したところ、最大
値 86m/s²、平均値 34m/s²であった。JIS 規格の跳ね上
がり振動試験は跳ね上がりの発生回数が非常に多く、発

生するピーク加速度が低い特徴を持つことが分かった。
これは輸送中の路面の小さな凹凸での包装貨物の跳ね上
がりを想定しているのだと考えられる。今回提案した振
動試験機による跳ね上がり再現試験方法は輸送中の大き
な段差を乗り越えた時の包装貨物の跳ね上がりを再現す
る方法であり、現状の JIS 規格の試験とは異なることが
分かった。

4. 結び

台車の物性、障害物の形状、衝突時の速度を想定して
提案した振動試験機による跳ね上がりの再現試験方法が
台車を用いた跳ね上がり発生試験を再現することが分か
った。振動試験機により、輸送用車両が大きな段差を乗
り越える時の包装貨物の跳ね上がりを再現できることが
わかった。また、JIS 規格に定める跳ね上がり振動試験
は比較的に小さな凹凸での跳ね上がりを想定していると
推察された。今度は実際の輸送用車両で同様の結果が得
られるかどうかの検証、包装貨物の傾きの影響も考慮に
入れるために、多自由度系振動モデルでの計算を行うこ
とにより現実に近い跳ね上がりの再現が可能になると考
えられる。

文献

- 1) JIS Z 0200 (2013)包装貨物試験方法一般通則,解説
- 2) 成石木, 高木雅広: 第51回全日本包装技術研究大会
予稿集, 140 (2013)
- 3) 川口和晃, 斎藤勝彦: 日本包装学会誌, 18 (3), 203
(2009)