

手押し台車配送による包装貨物の蓄積疲労

劉 建楠*, 齋藤 勝彦**

Evaluation of Cumulative Fatigue for Package during Distribution by Cart

Jiannan LIU* and Katsuhiko SAITO**

多くの車両を使用している物流企業は、都市部の商業・業務地区に手押し台車を用いた配送エリアを導入し、輸送トラックを集配域内の指定場所に停車させ、そこから手押し台車で配送を行っている。一般に貨物が配送用手押し台車に載せられている時間はトラック輸送の時間に比べて非常に短いものの、その衝撃・振動環境が厳しければ緩衝包装設計上無視できない。本研究では、トラックと手押し台車で実輸配送されているダミー包装物の加速度計測を行い、実輸配送時のショック・オン・ランダム応答加速度から得られる蓄積疲労損傷度を評価指標として、配送用手押し台車の衝撃・振動環境を緩衝包装設計の与条件のひとつとして考慮しておくべきことを指摘する。

The transport corporations lead distribution areas using carts at the center region of urban district, the transportation trucks would be stopped at the designated places in the collection and delivery area, and the cargo would be distributed by a cart from there. Generally, when cargos are carried on a cart for delivery, although it is much shorter than the time by trucking, we still cannot ignore it in a packaging design if the shock and vibration environment is severe.

In this study, we performed the vibration measurement of a dummy package transported by truck and cart. We define the cumulative fatigue of shock on random vibration response as an evaluation index, and point out that we should consider the vibration shock environment of the distribution by cart as one of the conditions of cushioning package design.

キーワード: 包装、輸送、台車、振動、蓄積疲労

Keywords : Package, Transportation, Cart, Vibration, Cumulative Fatigue

1. はじめに

数多くの車両を使用している物流企業にとって、地球温暖化・大気汚染防止対策が優先

課題となっている。都市商業・業務地区の配送センターから近いエリアの集配については手押し台車が用いられ、距離のあるエリアについては、集配車と台車を組み合わせる方式

* 神戸大学大学院海事科学研究科博士前期課程

**連絡者(Corresponding author) 神戸大学大学院輸送包装研究室

〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1 TEL:078-431-6341 FAX:078-431-6364 Email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp

を推進するなど、エリアに応じた集配方法の選択により車両台数の削減を図っている。

一般に貨物が配送用手押し台車に載せられている時間はトラック輸送の時間に比べて非常に短いものの、その衝撃・振動環境が厳しければ緩衝包装設計上無視できない^{1) 2)}。従って、包装貨物の安全性に対する配送用手押し台車も調査の対象にすべきと考える。

本研究では、トラックと手押し台車で実輸配送されているダミー包装物の振動計測を行い、実輸配送時のショック・オン・ランダム応答加速度から得られる蓄積疲労損傷度を評価指標として、配送用手押し台車の衝撃・振動環境を緩衝包装設計の与条件のひとつとして考慮しておくべきことを指摘する。

2. 現場調査

手押し台車を用いて配送する場合、最も振動・衝撃を受けやすい場所は、路面の段差や障害者誘導用ブロックである。バリアフリー道路整備指針によると、一般に歩車道の段差は5cmが標準とされている。また、歩道や立体横断施設の通路、バス停留所及び自動車駐車場の通路等、視覚障害者の移動等円滑化のために必要であると認められる箇所については、視覚障害者誘導用ブロックが設置され、誘導用ブロック突起部の高さは、0.5cmが標準である³⁾。

本研究で対象とした実配送エリアである大阪市内商業中心部ではアスファルト、石ブロック、磨き大理石ブロックの歩道路面があり、

石ブロックの間隙は約0.3cm、歩道交差点(Fig.1)の段差はFig.2に示すように0.5~2.5cmであった。



Fig.1 Crossroad

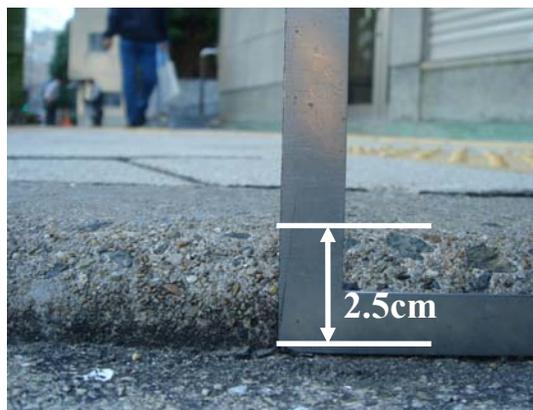


Fig.2 Bump of Road

3. 予備実験

手押し台車の性能および異なる路面での振動特性を調べるため、予備実験を行った。輸配送用手押し台車として、一般台車 (Normal Cart) と緩衝機能付き台車 (Shock-Absorbing Cart ; S-A Cart ; Fig.3) を用いて、神戸大学深江キャンパス内の石ブロック路とアスファル

ト路で同じ積載状態（積載質量 0kg、20kg、40kg、60kg、80kg、100kg それぞれについて各 5 回ずつ、計 120 回）で、荷台上に加速度計測ユニット（DER-SMART：神栄テクノロジー）を設置し、通常の歩行速度で押した。

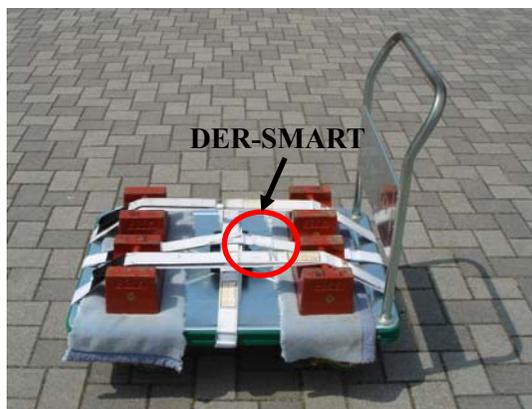


Fig.3 Shock-Absorbing Cart on Brick

Fig.4、Fig.5 はそれぞれアスファルト路と石ブロック路で積載重量別の荷台振動実効値を一般台車と緩衝機能付き台車で比較したものである。これらの図により、石ブロック路での荷台振動環境が厳しく、緩衝機能付き台車の効果は積載重量によってその効果には差があることも分かる。

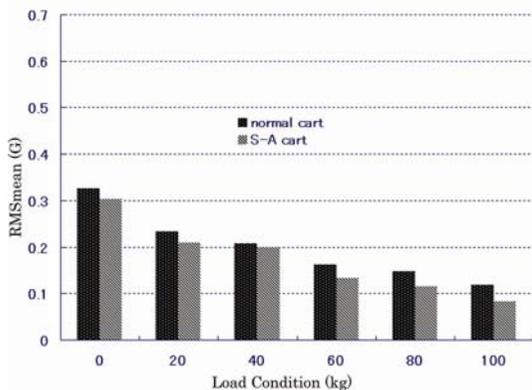


Fig.4 Comparison of Grms on Asphalt Road

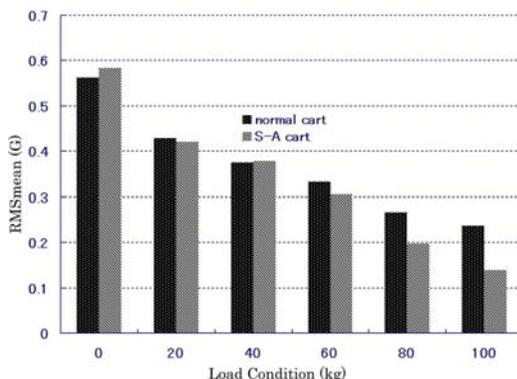


Fig.5 Comparison of Grms on Brick Road

4. ダミー包装物の実輸配送計測

4.1 ダミー包装物

実輸配送計測で用いるダミー包装物は、Fig.6 に示すような、加速度計測ユニットを仕込んだ亚克力製ボックスを、発泡ポリエチレンコーナパッドで緩衝包装した段ボール箱（465mm×280mm×265mm;4.25kg）である。ダミー包装物の振動応答特性を確認するため、振動実験装置（i210：IMV）を用いた正弦波掃引試験を行った(Fig.7)。



Fig.6 Dummy Package

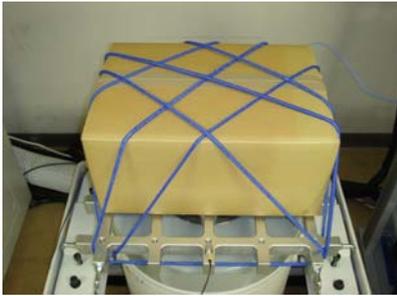


Fig.7 Vibration Test



Fig.9 Test Truck

Fig.8 は、振動伝達率の周波数特性であり、ダミー包装物が 47Hz に共振点を持っていることが分かる。

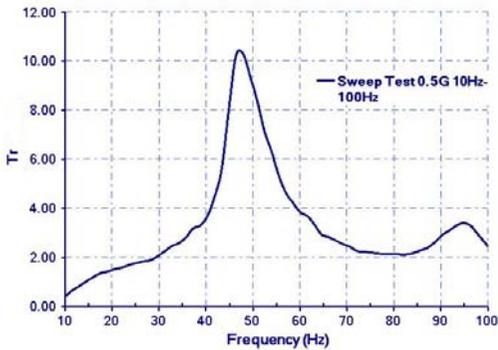


Fig.8 Frequency Response of Package



Fig.10 Test Condition on Box-pallet



Fig.11 Truck Distribution Route

4.2 トラック実輸送計測

トラック実輸送計測には、大型車(Fig.9)を用い、ダミー包装物（加速度計測条件；サンプリング間隔 1msec,フレーム長 1024 点,タイムトリガ間隔 3sec）と重錘(60kg)をロールボックスパレットに載せ(Fig.10)、それをトラック内に積み込んだ。計測は大阪中心部の集荷配送拠点から郊外物流ターミナルまでの約 40 分実施した(Fig.11)。

Fig.12 は、都市高速走行中の計測加速度時系列の一部である。

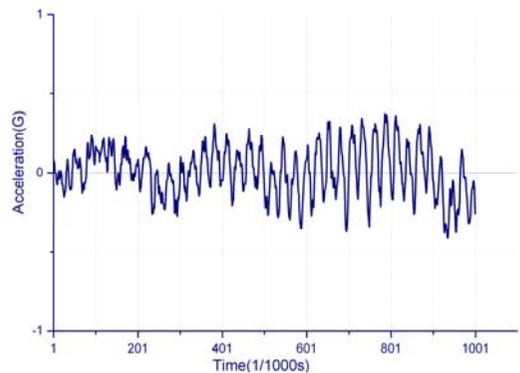


Fig.12 Time-series of Acceleration

4.3 手押し台車の実配送計測

実配送計測では、大阪市内の商業地区 (Fig.13) で、ダミー包装物を入れた業務配送用手押し台車 (Fig.14) を用いた。



Fig.13 Cart Distribution Route

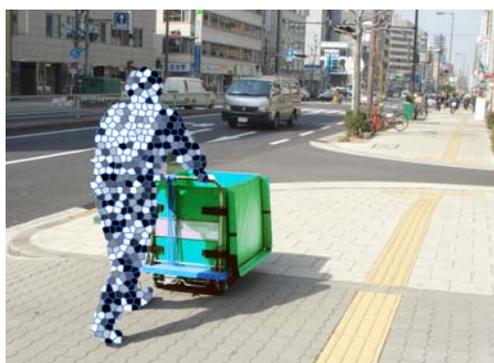


Fig.14 Test Cart

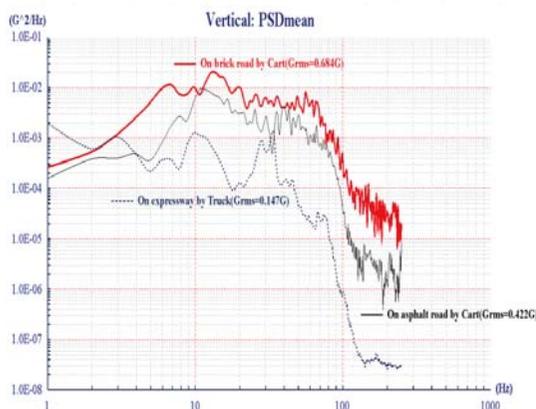


Fig.15 PSD of Dummy Package on Cart & Truck

Fig.15 は、手押し台車計測での路側帯 (アスファルト路) と歩道 (石ブロック路)、およびトラック計測での都市高速道定速走行中の PSD と加速度実効値を比較している。なお、台車は輸送業者配送担当者が実務上の通常の歩行速度で押している。これより、都市景観上の観点より整備された歩道上を手押し台車により配送しているときの振動環境が最も厳しいことが分かる。また、歩道上に整備された視覚障害者のための歩行援助ブロックを通過するときの最大加速度は 10G 以上となり、包装物が台車内で跳ねていることも観察された。

5. ゼロクロスピークカウンタ法

実輸配送時にダミー包装物に生じる加速度はショック・オン・ランダムであり、包装物に蓄積される疲労を積算するため、加速度レベルをカウントする必要がある。本研究ではゼロクロスピークカウンタ法を用いる⁴⁾。

Fig.16 と Fig.17 では、ゼロクロスピークカウンタ法を用いて振動波形から加速度レベルをカウントする方法を示している。振動が加速度ゼロレベルを通過する区間を包装物に作用する応力での 1 回とカウントし、その加速度レベルを区間内山頂値または谷底値とする。

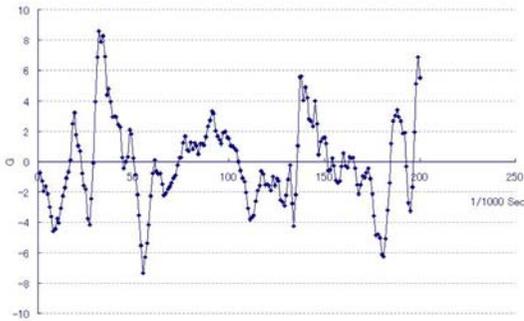


Fig.16 Example of Original Data

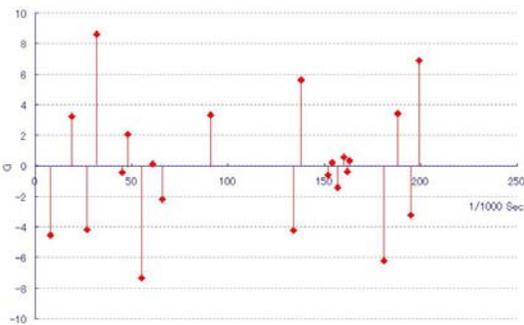


Fig.17 Example of Processed Data

6. 振動の非ガウス性を考慮した蓄積疲労評価

蓄積疲労の推定では、振動応力に対する寿命推定方法として、Palmgren-Miner 則がよく使われる。これは各応力レベルについて、それぞれ損傷度を加算し、その和が1になった時に破壊すると考えるものである。すなわち、応力 S_i に対する寿命が N_i 回である時、 S_i が n_i 回繰り返された時の蓄積疲労は n_i/N_i で与えられ、式 (1) が成立すれば破壊するという考え方である。また、包装物の振動易損性を示す特性は式 (2) で示される。

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1 \dots\dots(1)$$

$$N \times S^\alpha = \beta \dots\dots(2)$$

ここに、 α, β は包装物固有の値であり、加速係数 α を電気部品として一般的に使用される値4と設定し、蓄積疲労を算出する。従って、仮に同じPSDを示す振動であっても加速度瞬時値の出現頻度分布が異なれば蓄積疲労も異なってくる。

Fig.18 は、手押し台車計測での路側帯（アスファルト路）と歩道（石ブロック路）、およびトラック計測での都市高速道定速走行中の加速度波形からダミー包装物に蓄積されていく疲労損傷値を比較したものである。ただしそれぞれの計測では、アスファルト路配送：112秒、ブロック路配送：510秒、トラック高速走行：826秒しか記録されていないので、計測された加速度時系列が、それぞれ9回、2回、40回繰り返されるときの、手押し台車配送16分、トラック高速走行9時間での蓄積疲労損傷値を積算している。

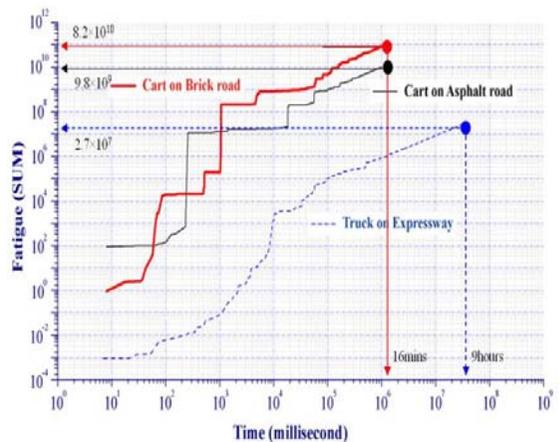


Fig.18 Cumulative Fatigue of Package on by Cart & Truck Distribution

Fig.18 より、16 分の台車配送について石ブロック路とアスファルト路では、9 時間の高速走行トラック輸送の蓄積疲労のそれぞれ 3000 倍と 360 倍であり、輸送モードによって包装物が同じ蓄積疲労損傷値まで達するのに要する時間は非常に大きな差があることが分かる。

7. おわりに

近年、我が国を含め世界各国で輸送環境調査が実施され、包装設計の基礎資料とされてきているが、手押し台車の衝撃・振動環境が調査された事例は皆無である。

本研究では、配送用手押し台車及びトラックの実輸配送時の振動・衝撃環境調査を行い、ダミー包装物が受けた蓄積疲労レベルを定量化した。これにより、包装物に対して、トラック輸送より手押し台車を用いた配送の方が厳しい環境である可能性を示唆した。このことは緩衝包装設計上無視できないことは明らかである。

<引用文献>

- 1) 劉建楠、斎藤勝彦、日本包装学会第 17 回年次大会研究発表会予稿集、16-17 (2008)
- 2) 劉建楠、斎藤勝彦、日本包装学会第 18 回年次大会研究発表会予稿集、32-33, (2009)
- 3) 神戸市建設局、神戸市バリアフリー道路整備マニュアル (2009)、
<http://www.city.kobe.lg.jp/information/project/universal/road/bf.html> (2009 年 4 月 1 日)

- 4) 細山亮、中嶋隆勝、日本包装学会誌、113-121 (2010)

(原稿受付 2010 年 5 月 18 日)

(審査受理 2010 年 6 月 22 日)