

振動試験によるパレットロード スタビライザの機能評価

斎藤勝彦*、久保雅義*、切通祐介**、平野 誠***

Evaluation of Efficiency of Pallet Load Stabilizer by Vibration Test

Katsuhiko SAITO*, Masayoshi KUBO*, Yusuke KIRITOSHI** and Makoto HIRANO***

パレットロードの荷崩れを防ぐために、いくつかの方法が用いられている。荷崩れ防止対策としてストレッチフィルムやシュリンクフィルムを用いることが多いが、環境問題への対応の必要性から、再利用可能な緊縮ベルトがしばしば用いられる。しかしながら、これらの荷崩れ防止対策の効果を評価する方法は確立されていない。そこで本研究では、再利用可能な荷崩れ防止用水平ベルトを例にとり、その機能を定量的に評価する方法論を提案する。本研究により得た結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 荷崩れ振動試験においては、同一条件であっても荷崩れまでに要する振動回数に再現性はないものの、それはワイブル分布型の確率密度関数で統計的に整理可能である。
- (2) 荷崩れ防止対策の機能は、本研究で提案された方法を用いれば、定量的に評価可能である。

キーワード：パレットロード、荷崩れ、振動、緊縮ベルト

A variety of pallet load stabilizers can be available. The stretch and shrink wrapping are the most commonly used, but the reusable strapping stabilizers should be often used gradually by an ecological demand. However no confirming test protocols of the load stabilizing efficiency have been existed. In this paper, the indoor falling down vibration tests of the pallet load strapped by the reusable belts are carried out and the new evaluation method is proposed. The obtained results are summarized as follows.

- (1) The vibration numbers when the first box falls down from a pallet load are not constant even in the same condition's vibrating trials, but they can be expressed by a probability density function of the Weibull distribution.
- (2) The reliability ratio of the pallet stabilizer can be expressed by the evaluation technique.

Keywords : Pallet Load, Cargo falling down, Vibration, Strapping belt

*神戸商船大学 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1) :

Kobe University of Mercantile Marine, 5-1-1, Fukae-minami Higashinada-ku, Kobe, 658-0022, JAPAN

**㈱日立物流 (〒135-8372 東京都江東区東陽7-2-18) :

Hitachi Transport System, Ltd., 7-2-18, Toyo Koto-ku, Tokyo, 135-8372, JAPAN

(研究当時：神戸商船大学大学院商船学研究科輸送情報システム工学専攻)

***日本通運㈱ (〒101-8617 東京都千代田区外神田3-12-9) :

NIPPON EXPRESS, 3-12-9, Sotokanda Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8617, JAPAN

(研究当時：神戸商船大学商船学部輸送情報システム工学課程)

1. はじめに

段ボール箱等で構成されたパレットロードは、輸送による荷崩れを防止するために、さまざまな対策が施される¹⁾。現在の荷崩れ防止策としては、ストレッチフィルムを使用するのが一般的であるが、使い捨てフィルム使用量削減の必要性から、繰り返し使用可能な荷崩れ防止対策が講じられることが多くなりつつある。しかしながら、その効果については定量的な評価指標のないまま、実際の輸送試験を繰り返して行う以外にないようである。そこで本研究では、繰り返し使用可能な水平バンドを用いた振動実験を行い、荷崩れ防止対策の効果を定量的に評価する方法について提案する。そして、最終的には、現在規格化されていないパレットロードの荷崩れに対する安定性の確認試験方法が一般化されることを目的としている。

2. 振動実験概要

2.1 実験装置

Fig. 1のように、振動試験装置の上にパレットを固定し、その上に12個の段ボール箱を3段にピンホイール積みする。そのパレットロードの鉛直振動による荷動きを、真上に設置した2台のCCDカメラで撮影した。2台のカメラは、段ボール箱の上面の中心に描かれた白地に黒い円を、2Dトラッカーにより自動追尾しながら時々刻々と箱の位置を計測した。

2.2 実験方法

振動条件は、「JIS Z 0232の方法B」を基に、鉛直一方向の固有周波数での正弦波振動とした。そこで、パレットロードの荷崩れ固有周波数を決定するために、振動加速度を 4.9 m/sec^2 、 6.9 m/sec^2 、 8.8 m/sec^2 とした予備実験を行った結果、Fig. 2で示されるような

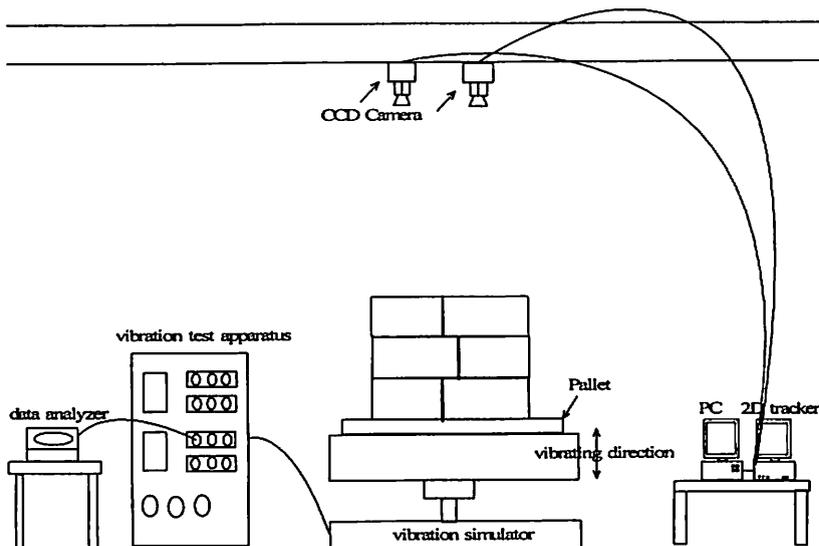


Fig. 1 Vibration Test Arrangement of Pallet Load Falling Down

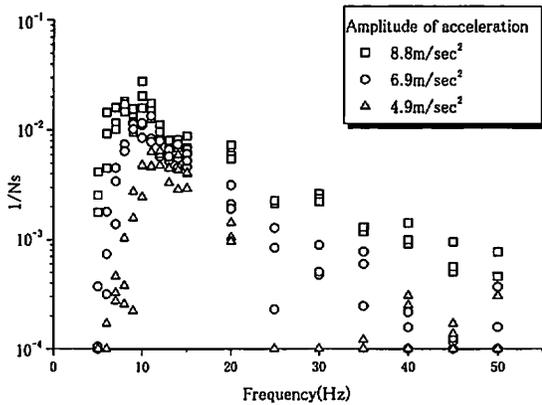


Fig. 2 Confirmation of Natural Frequency of Pallet Load Falling Down

荷崩れ振動回数 N_s に関する周波数特性を得た。ここに、 N_s は荷崩れを起こしたときの振動回数であり、「荷崩れ」の定義は、Fig. 3 のようにパレットの外側へ段ボール箱が1つでも落下したときのことをいう。Fig. 2 に示されるように、実験対象としたパレットロードは 10 Hz の振動で最も荷崩れしやすいことが明らかである。よって、この実験での振動周波数は 10 Hz と設定した。

実験は、荷崩れ対策を施していない場合、Fig. 4 で示すバンド A、及び Fig. 5 のバンド B の場合の 3 パターンで行った。バンド A は

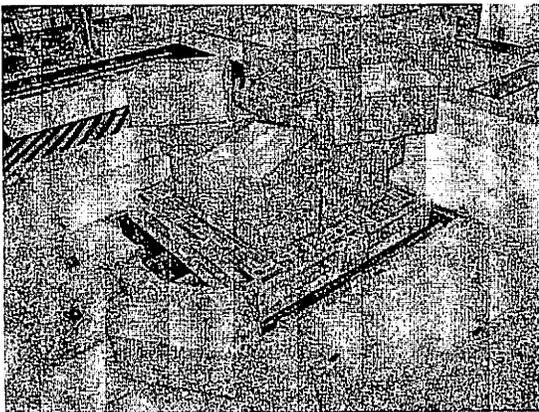


Fig. 3 Typical Situation of Pallet Load Falling Down

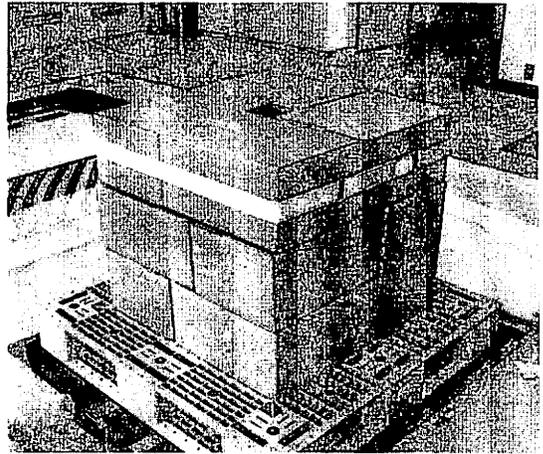


Fig. 4 Pallet Load Stabilizer (Band A)

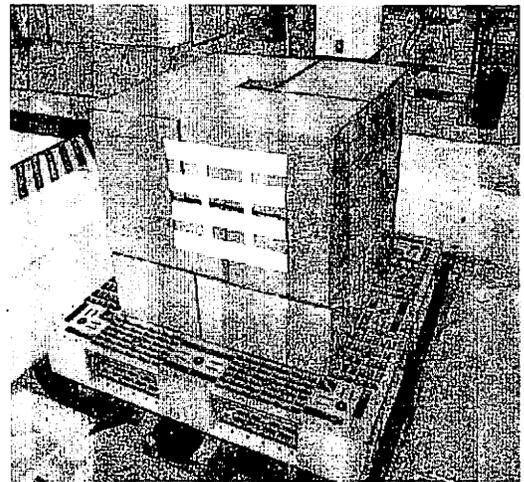


Fig. 5 Pallet Load Stabilizer (Band B)

上段を一巻き、バンド B は上 2 段を一巻きすることができ、それぞれマジックテープで止めることで繰り返し使用が可能なものとして、近年注目されている荷崩れ防止用水平バンドである。これら 3 パターンについて、それぞれ 3 つの振動強度 (4.9 m/sec^2 、 6.9 m/sec^2 、 8.8 m/sec^2) で実験を行ったので、計 9 つの条件で結果を得た。

3. 荷崩れ防止対策の効果

3.1 荷崩れ振動回数 N_s よりみたパレットロード安定性能の評価

荷崩れ振動回数は、ある振動周波数のもとでは振動加速度が大きいほど定性的に小さくなり、振動実験を行ってもその結果はばらつく²⁾。そこで、まず荷崩れ振動回数の50%期待値で無次元化された値 ($N_s/N_{s0.5}$) に関するワイブル分布型の確率密度関数 Pr を求めた (Fig. 6 参照)。さらに、Fig. 7 は、水平バンド A、B を付けた場合と付けない場合で荷崩れ振動回数の確率密度関数を比較したものであり、横軸を荷崩れ振動回数 N_s で表している。

さて、 N 回の振動におけるパレットロードが荷崩れを起こすかどうかの確率を耐振信頼度 $R(N)$ として次式で定義する。

$$R(N) = \int_N^{\infty} Pr(x) dx \quad (1)$$

すでに求めているパレットロード荷崩れ振動回数の確率密度関数と式(1)により、それぞれの耐振信頼度を求めることができる。

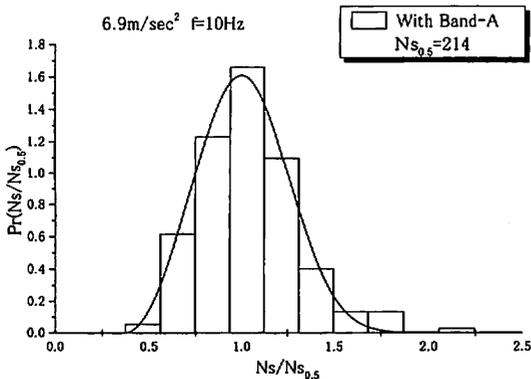


Fig. 6 Probability Density Function of Non Dimensional N_s (With Band-A 6.9 m/sec^2)

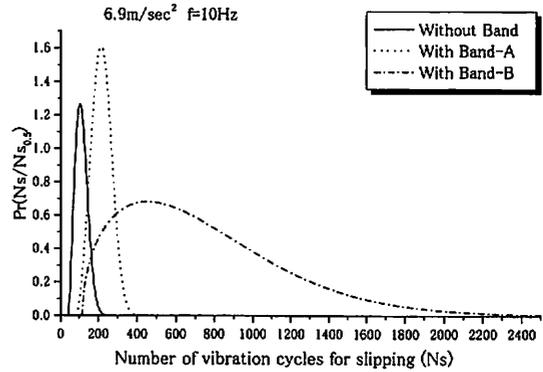


Fig. 7 Probability Density Function of N_s (Without and With Bands)

Fig. 8 は、水平バンド A、B を付けた場合と付けない場合の耐振信頼度の結果を比較しており、同一振動条件の下でのバンド掛けの有無による荷崩れ防止効果を定量的に示すことができる。以上のようにしてまとめられた実験結果は、Fig. 9 に示すように、パレットロードの荷崩れ防止対策の有無に対応した信頼度毎の振動強度と荷崩れ振動回数の関係として整理できる。これは電子機器の耐久性を評価する際、さまざまな電気的負荷について数多くの耐久性実験をもとに機器の破損に至る時間のばらつきを確率的に示した考え方³⁾に対応している。

さて、振動回数は輸送距離と関係が強いと考えられるため、以下荷崩れ振動回数を荷崩れするまでの輸送距離と解釈して、パレットロードに関する水平バンドの荷崩れ防止性能の評価を行う。

まず、振動回数における荷崩れ防止性能の評価として、振動強度 6.9 m/sec^2 の結果を例にとって説明する。Fig. 8 に示すように、振動強度 6.9 m/sec^2 の下で 200 回の振動に相当する距離を輸送する際、荷崩れ防止対策が何も施されていない状態では耐振信頼度が 0.01

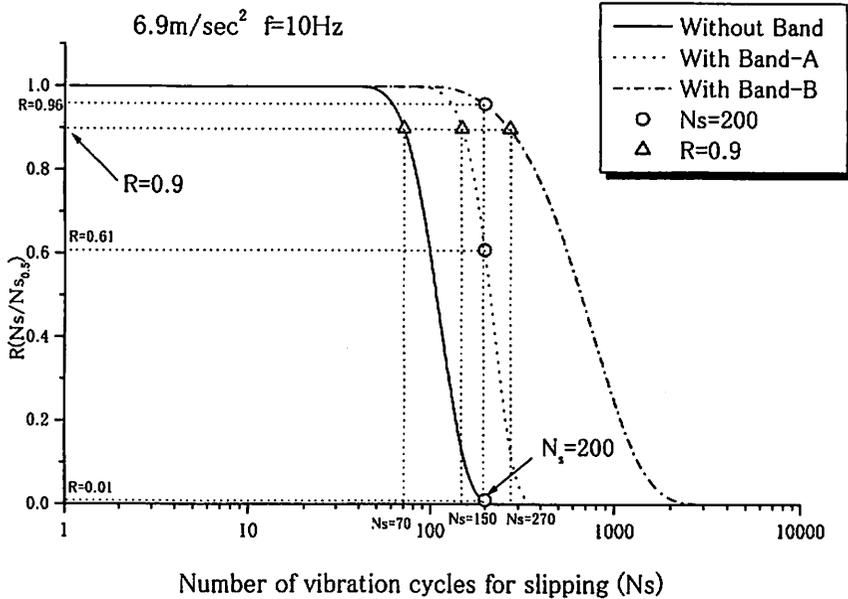


Fig. 8 Reliance Rate for Vibration of N_s

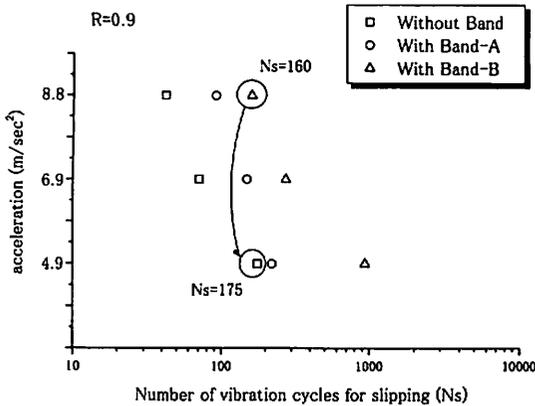


Fig. 9 On Reliance Rate 0.9 for Vibration or Acceleration to N_s

なのに対して、バンドAを使用することで、0.61の耐振信頼度で輸送する事が可能となる。さらに、バンドBを使用すれば、耐振信頼度は0.96まで向上し、ほぼ100%荷崩れにまで至らない。また、耐振信頼度0.9の輸送を行おうとするとき、振動強度6.9 m/sec²の下では、荷崩れ防止対策を施していない場合、輸送距離は $N_s = 70$ が限界であるが、荷崩

れ防止対策として、バンドAを施すことによって、耐振信頼度を0.9に保ったまま、 $N_s = 150$ まで輸送距離が向上でき、同じくバンドBを使用すれば、 $N_s = 270$ まで輸送距離を伸ばすことが可能となる。

次に Fig. 9 によれば、耐振信頼度0.9として荷崩れ防止対策を考える時、 $N_s = 160$ の距離を輸送し、輸送環境が厳しい(振動強度8.8 m/sec²)ことが想定される場合は、バンドBを採用すべきであることが分かる。さらに、それよりも輸送距離が長くなる場合($N_s = 175$)であっても、振動強度レベルが低くなれば(振動強度4.9 m/sec²)、荷崩れ防止対策が必要ないことが分かる。以上のような方法で評価対象の荷崩れ防止対策がどの程度有効であるかを定量的に確認できるだけでなく、輸送環境に応じた最小限の荷崩れ防止対策を決定するための基礎的な資料として有効である。

3.2 パレットロード荷割れダメージの再評価

実際の輸送時を考えてみると、1つのパレットロードのみが単体で輸送されることは考えにくく、普通は幾つかのパレットロードが前後左右に隣り合わせで位置している状態で輸送されることが一般的である。その状態を考えた場合、貨物が完全に落下していなくても、1つのパレットロードの荷割れ具合によって、他の隣接するパレットロードに影響があれば、その時点でパレットロードのダメージと判断するべきであるとも考えられる。しかし、パレットロードの荷割れの許容量をどの程度でとられるべきかについての明確な基準はない。そこで今回、段ボール箱が完全に落下していなくても、落下するまでに至る段ボール箱の挙動により荷割れ具合を表し、耐振性能の評価を行う。Fig. 10のように、振動前の4つの箱の重心点を外接する正方形を S_o とし、 S_o の4辺をすべて同じ距離 d だけ

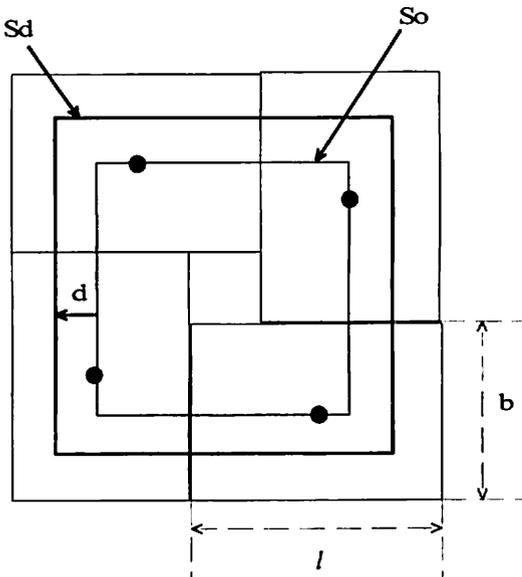


Fig. 10 Top-View of Pallet Load

外側に広げた仮想正方領域を S_d と考える。このとき、振動実験を行ったときに、4つの段ボール箱の重心点のいずれか1つが正方領域 S_d の外側に出たときを“荷割れダメージ”と判断し、その時の振動回数を N_d とする。ただし、いずれの箱の重心点も S_d の領域の外に出ずに荷崩れした場合は、荷崩れしたときの振動回数 N_s を N_d とみなす。実輸送を考えた場合、パレットロードの荷割れの許容量をどの程度とられるべきかは明確な基準はないが、ここでは、荷割れ率 $(2d/b)$ が0.25、0.5に達した時点でパレットロードのダメージと判断し、その時の振動回数 $N_{d(0.25)}$ 、 $N_{d(0.5)}$ の大小をもってパレットロードの安定性能を再評価すると以下ようになる。

Fig. 11~13は、それぞれダメージを荷割れ率 $2d/b = 0.25$ で評価した場合のバンド掛けの効果を耐振信頼度によって確認したものである。これらの図から、振動強度が小さい場合 (4.9 m/sec^2) にはバンド掛けの効果はみられず、逆にバンド掛けをすることでより早く“荷割れダメージ”となるのに対して、振動強度が大きい場合 (6.9 m/sec^2 、 8.8 m/sec^2)

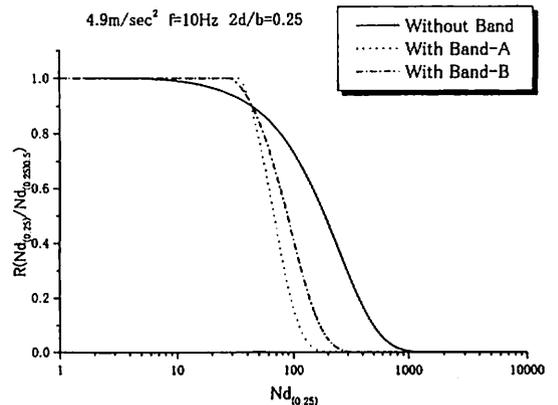


Fig. 11 Reliance Rate for Vibration of $N_{d(0.25)}$ (4.9 m/sec^2)

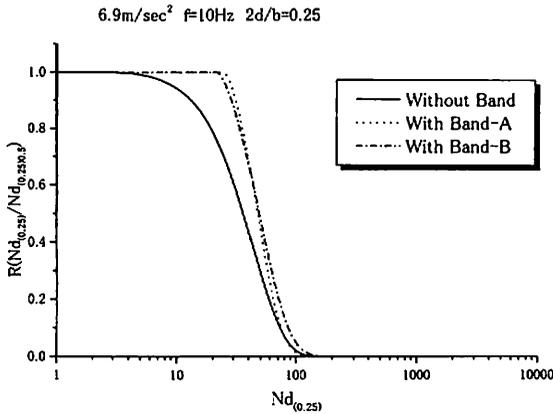


Fig. 12 Reliance Rate for Vibration of $Nd_{(0.25)}$ (6.9 m/sec^2)

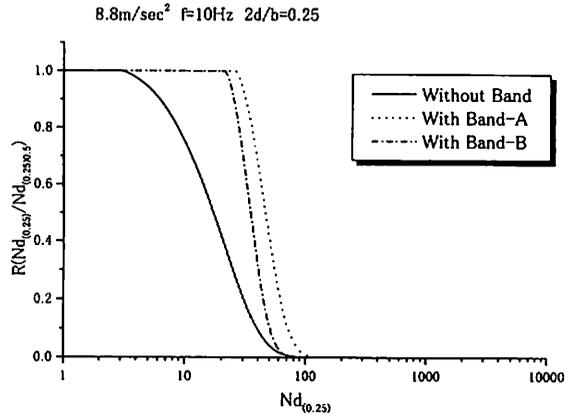


Fig. 13 Reliance Rate for Vibration of $Nd_{(0.25)}$ (8.8 m/sec^2)

sec^2) では、バンド掛けをすることで“荷割れダメージ”となることを遅らせる効果があることが分かる。またすべての場合で、荷崩れ振動回数で評価したときのバンドBのバンドAに対する有効性は明確ではない。

3.3 水平バンドのパレットロード安定 性能向上への評価

段ボール箱により構成されたパレットロードに水平バンドを掛けることの効果、これまでの実験結果から総括すれば以下のように考察できる。すなわち、水平バンドを掛けることで、振動によるパレットロードの荷割れを抑止する効果を期待することはできないものの、水平バンドを掛けることにより、パレットロードの荷割れから完全な荷崩れへ至るまでの時間的余裕を生み出すことは期待でき、段積みされた箱の上段のみをバンド掛けする(バンドA)よりも、上2段を一体化してバンド掛けする(バンドB)方がその効果がより大きくなる。

4. おわりに

本研究では、輸送中のパレットロード荷崩れ問題解決を目的とする研究プロジェクトの一部として、段ボール箱で構成されたパレットロードの荷崩れ振動実験を行い、荷崩れ防止対策の効果を定量的に表現するための方法について検討した。今回提案した評価法を用いることによって、評価対象とする荷崩れ防止対策がどの程度有効であるかを定量的に確認できるだけでなく、輸送環境に応じた最小限の荷崩れ防止対策を決定するための基礎的な資料として有効なものになると考えられる。

また、繰り返し使用可能な水平バンドの効果について、完全な荷崩れの定義と、実輸送を考慮した荷割れによるダメージの定義の両面より評価した。本研究で提案した評価方法は、これまでに提案されている荷崩れ防止策の改善、又は今後提案される新しい防止策の効果確認のために有効なものになると考えられる。

<引用文献>

- 1) (社) 全国通運連盟、荷くずれ防止マニュアル、(1996)
- 2) 斎藤勝彦・久保雅義、日本包装学会誌、
7 (1)、13 (1998)
- 3) D. Kececioglu and D. Li, Proc. of Aerospace Tech. Conf. and Exp., 861667 (1986)
(原稿受付 2002 年 3 月 8 日)
(審査受理 2002 年 9 月 5 日)