

一般論文 .....

## パレタイズ貨物の荷崩れ振動回数について

斎藤勝彦\* 久保雅義\*

### On Number of Vibrations at Pull-down of Palletized Cargo

Katsuhiko SAITO\* and Masayoshi KUBO\*

Some basic physical model tests with palletized corrugated containers were carried out using a vibration simulator. The effects of vibration frequency, palletizing pattern and box weight on the Container Slip Vibration Number (CSVN) when the first container slips off a pallet were investigated along with countermeasures.

The results can be summarized as follows :

- (1) CSVN was observed to increase with vibration frequency at the same acceleration.
- (2) Weight and palletizing pattern did not have a large effect on CSVN.
- (3) Horizontal bands were found to be an effective countermeasure while the use of separating sheets did not have a large effect.
- (4) The use of formed corrugated sheets, U-MAT, H-MAT, and P-MAT, as a container slipping countermeasure is proposed. Tests of the these new countermeasures showed high effectiveness in preventing container slipping.
- (5) A new parameter, slip ratio Q, is proposed to estimate the slipping of palletized cargo. Slip ratio Q takes into account the force and oscillation anticipated during transportation and was shown to predict the amount of shifting of palletized cargo.

Keywords : Vibration tests, Pull-down, U-MAT, H-MAT, P-MAT, Slip ratio

振動試験装置を用いて、段ボール箱より構成されるパレタイズ貨物の荷崩れに関する基本的な実験を行った。振動周波数、パレタイズパターン、個装重量が荷崩れ振動回数へ及ぼす影響を調べるとともに、従来の荷崩れ防止対策の評価を試みた。その結果、同一振動加速度でも高周波数の振動ほど荷崩れには多くの振動回数を必要とすること、個装重量や積み方は荷崩れ振動回数に大きく影響しないこと、水平バンドを施した場合には明瞭な荷崩れ防止効果があるが、シートにはその効果がみられないことなどを明らかにした。また新しい荷崩れ防止対策として、中敷きシートの四辺に上下の段差を有する、U-MAT、H-MAT、P-MATを提案し、その効果が明瞭にあらわれることを確認した。さらに、荷崩れ易さを示す新しいパラメータとしてすべり率Q ( $Q = \Delta S / a$ 、 $\Delta S$ : 振動一回当たりの平均すべり量、 $a$ : 振動振幅)を提案し、現場で想定される衝撃、振動に対してすべり率を考慮することにより、輸送過程でのパレタイズ貨物の荷割れ量がある程度予測できることを明らかにした。

キーワード : 振動試験、荷崩れ、荷崩れ防止対策、すべり率

\*神戸商船大学 (〒658 兵庫県神戸市東灘区深江南町5丁目1-1): Kobe University of Mercantile Marine, 5-1-1, Fukae-minami, Higashinada, Kobe, Hyogo, 658

## 1. はじめに

段積みされたパレタイズ貨物は、輸送中の衝撃・振動や保管中の地震動により荷崩れを起こすことがある<sup>1)</sup>。

輸送中の荷崩れ防止対策<sup>2)</sup>としては、パレタイズ貨物全体にストレッチフィルムを巻いたり、バンド掛けが施されるが、これらは再利用ができず、その使用後にはゴミ問題が生じる。ゴミ問題に対する解決策として段ボールどうしを接着する方法もとられるが、この方法は一旦はずされるとその効果が無くなるという基本的な欠陥を有している。またゴミ問題がなく再利用可能な荷崩れ防止対策としては滑り止めシートを上下の貨物の間に挿入させることで摩擦を大きくする方法が用いられるが、振動外力が加わるときの効果が明確ではない。

このように、再利用可能で効果的な荷崩れ防止対策が求められている中で、パレタイズ貨物の荷崩れ防止対策の評価は、現場に即応した社内扱いのデータ以外は、一般に公開され、系統的に検討を行った論文もないのが現

状である。

著者らは前報<sup>3)</sup>において、パレタイズ貨物の荷崩れ防止対策の検討およびその効果を定量的に評価するための基礎的な研究の一部として、振動試験機によるパレタイズ貨物の荷崩れ実験を行い、以下のような結論を得ている。

- 1) 水平振動のみが加わっていても、段ボール箱は一方向の滑りだけでなく3次元的な運動を起こす。
- 2) 荷崩れへ至るまで上段になるほど荷動き量が大きく、荷姿と個装寸法の関係から荷崩れを起こす荷動きパラメータが推定できる。
- 3) パレタイズ貨物全体の荷動きパラメータを用い、任意の振動加速度での荷崩れに要する振動回数（荷崩れ振動回数）が明らかになれば、その振動加速度で荷崩れへ至る荷動きの特性はほぼ説明できる。

そこで本研究においては、荷崩れ振動回数の大小を荷崩れしやすさの指標として、荷崩れ特性に及ぼすいくつかの影響項目を列挙しながら荷崩れ防止対策の効果に関する評価を試みる。さらに、効果的な新しい荷崩れ防止対策を提案する。

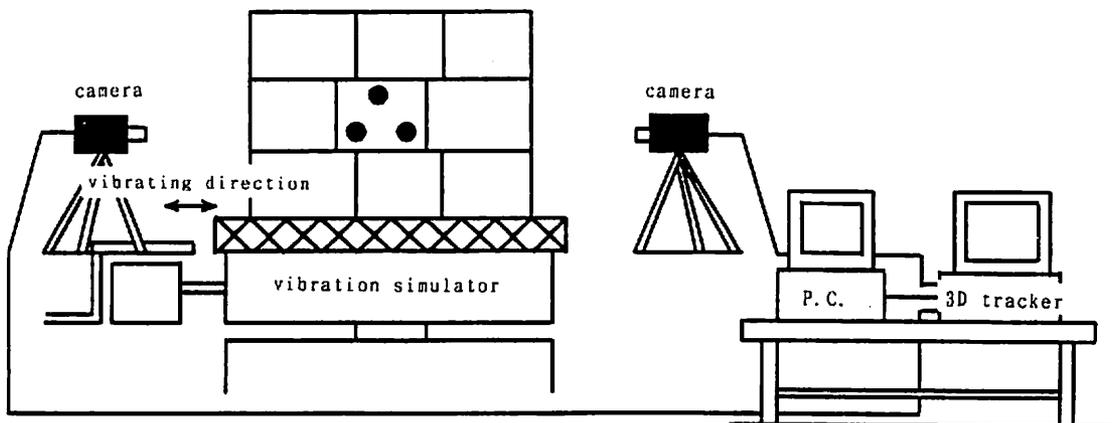


Fig. 1 Palletized cargo horizontal vibration test equipment

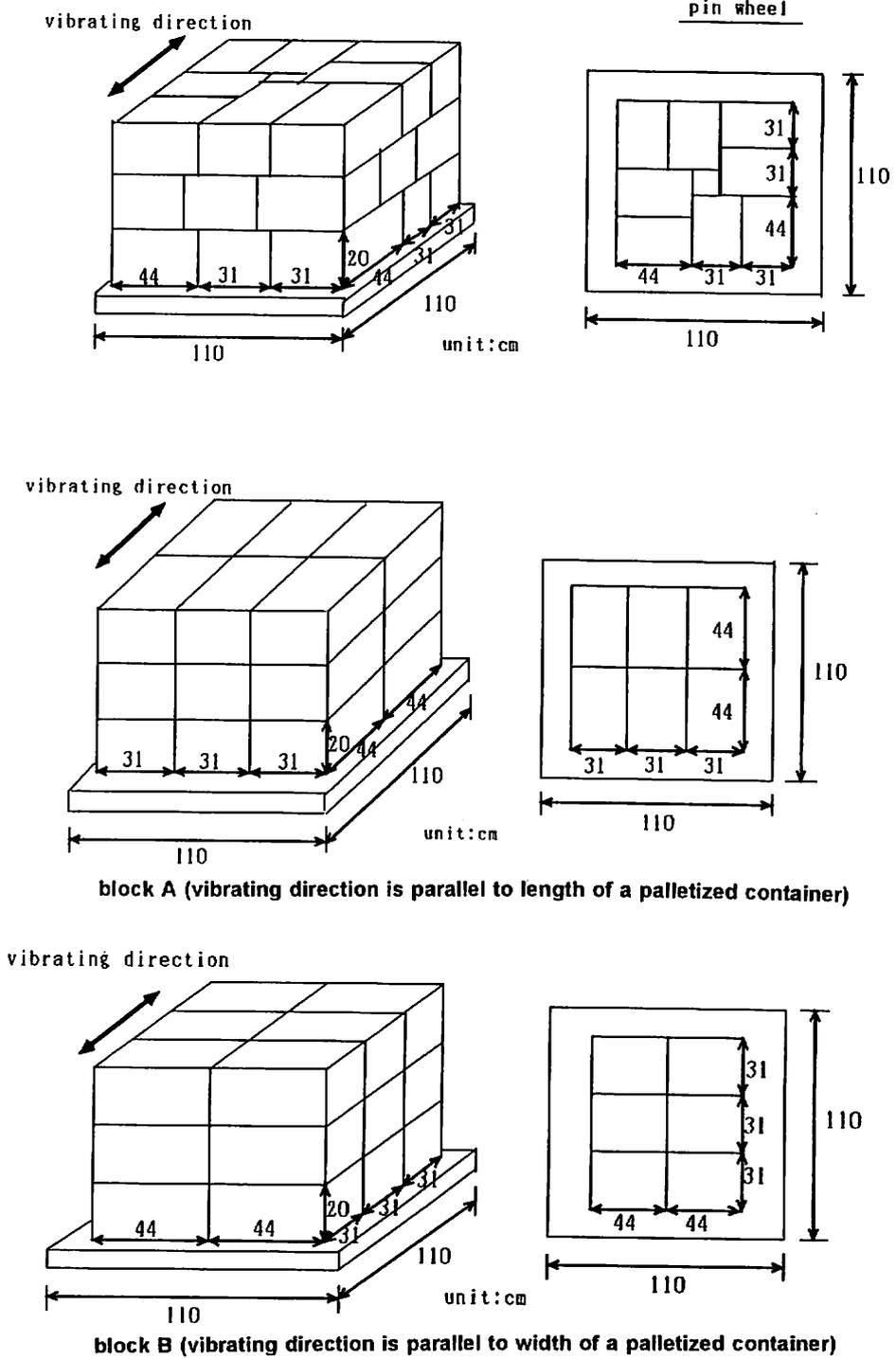


Fig. 2 Palletized pattern

## 2. 実験方法

Fig. 1は、振動試験機によるパレタイズ貨物の荷崩れ実験の様子を示している。実験は、前報<sup>3)</sup>と同じ要領で行っている。

Fig. 2は、今回のパレタイズパターンを示す。今回は前報<sup>3)</sup>において用いたピンホイール積みに加えて、ブロック積みでの実験も行った。

## 3. 荷崩れ振動回数

### 3.1 実験の再現性

Fig. 3は、荷崩れ防止対策が施されていないピンホイール積みされた個装重量0.64Kgのパレタイズ貨物に振動周波数7Hz、0.4Gの振動が加わったときの、荷崩れするのに必要な振動回数を調べる実験における結果のばらつきを示すものである。ここで荷崩れとは、パレタイズされた1個以上の段ボール箱が落下することと定義する。

図より同一条件での実験においても荷崩れ振動回数にはかなりのばらつきがあり、その

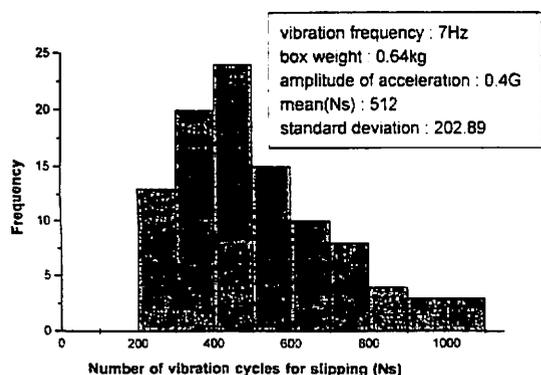


Fig. 3 Frequency distribution for number of vibration cycles for the box to slip off pallet

分布形状は平均荷崩れ振動回数である512回よりも小さいところにピークを有する形状となっていることがわかる。結果に大きなばらつきがあるのは、段ボール箱の形状が1個1個微妙に違うためであり、荷崩れ特性を定量的に評価することは非常に困難であることがわかる。

### 3.2 振動周波数の影響

Fig. 4は、荷崩れ防止対策が施されていないピンホイール積みされたパレタイズ貨物の振動周波数別の荷崩れ特性を示している。図中の■印は振動周波数が5Hz、○印は7Hz、▲印は10Hzの場合で、図の縦軸は振動加速度、横軸は荷崩れを起こすまでの振動回数を示す。荷崩れ実験は、同一条件でのひとつの設定加速度について3回づつ行っており、以下同様である。また、振動回数10000回で矢印を付けたものは、その加速度での10000回の振動では、パレタイズ貨物に若干のずれはみられるものの、荷崩れには至らないことを示している。

これより同じ振動加速度であっても、高周

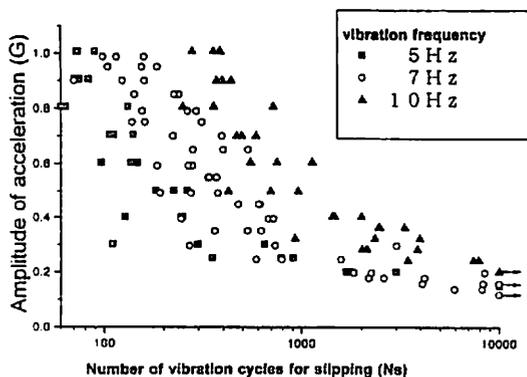


Fig. 4 The effect of vibration frequency on the number vibration cycles for slipping off pallet

波数の振動ほど荷崩れには多くの振動回数を必要とすることがわかる。これは加速度が同じでも、高周波数の振動ほど振動変位が小さく、振動1回あたりの滑り量が小さいためであろう。また段ボールどうしの最大静止摩擦係数は、実験によれば0.4程度である。物体が滑るかどうかの限界は、単純には慣性力  $m\alpha$  と摩擦力  $\mu mg$  により、 $\mu = \alpha/g = G$  で与えられる。しかしながら図をみるかぎりでは最大静止摩擦係数  $\mu = 0.4$  以下の振動加速度  $G$  であっても段ボール箱が滑り、荷崩れにまで至っていることがわかる。これは、前報<sup>3)</sup>で述べたように、段ボール箱は一方向の滑りだけでなく3次元的な6自由度運動を起こしているためである。また、摩擦係数を測定するための傾斜実験では物体表面に静的な摩擦力を加えるのに対して、振動実験では物体表面に振動的な摩擦力が繰り返して作用し、微視的に見た場合に表面どうしがより早く離れやすくなることも一因であると考えられる<sup>4)</sup>。

### 3.3 パレタイズパターンの影響

Fig. 5は、7Hzの水平振動が加わったときの荷崩れ防止対策が施されていない2種類のパレタイズ貨物の荷崩れ特性を示している。図中の○印はピンホイール積み、▲印はブロック積みされたパレタイズ貨物に段ボール箱の長軸方向の振動が加わった場合、■印はブロック積みされたパレタイズ貨物に段ボール箱の短軸方向の振動が加わった場合を示している。

これより、振動加速度が大きい場合では、一般によく言われるように、ピンホイール積みで荷崩れ防止効果がみられるものの、振動

加速度が小さい場合にはその効果が無く、逆にブロック積みされたパレタイズ貨物に段ボール箱の短軸方向の振動が加わった場合には荷崩れにくい結果となっている。これは、パレタイズされた個々の段ボール箱が滑りよりもロッキングを起こしているためである。

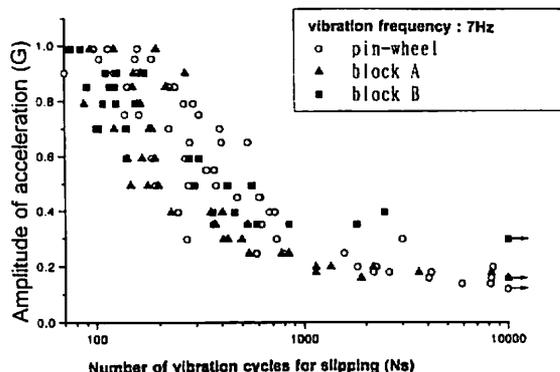


Fig. 5 The effect of palletizing pattern on the number vibration cycles for slipping

### 3.4 個装重量の影響

Fig. 6は、7Hzの水平振動が加わったときの荷崩れ防止対策が施されていない場合の荷崩れ回数を個々の貨物の重量別に示したものである。図中の○印は個装重量0.64kg、▲印は2.0kg、■印は4.0kg、□印は10.0kgの場合

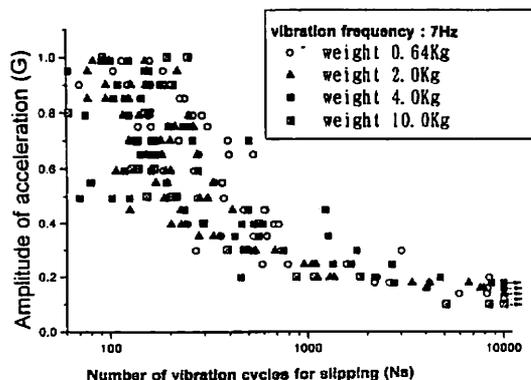


Fig. 6 The effect of box weight on the number vibration cycles for slipping

合を示している。ただしいずれの重量の段ボール箱の重心位置も箱の体積中心になるように工夫<sup>3)</sup>している。重量が大きくなっても、強制的な加速度が加わればそれだけ慣性力も大きくなるので、物体の滑り特性には重量の影響は無いと考えられる。ただし、重量の変化によって段ボール表面の状態が微妙に変化し摩擦係数が変化すること、及び段ボールの弾性特性が変化し貨物の動的挙動特性が変わることは考えられる。しかしながら図を見る限りでは、各重量で荷崩れ振動回数に明確な違いは認められない。

### 3.5 荷崩れ防止対策の評価

Fig. 7は、7Hzの水平振動が加わったときのピンホイール積みされたパレタイズ貨物の荷崩れ特性に及ぼす荷崩れ防止対策の効果を示している。図中の○印は荷崩れ防止なし、■印は荷崩れ防止対策としてパレットと下段の段ボール箱および下段と中段、中段と上段の段ボール箱の間にポリエステルフィラメントに塩化ビニール発泡を加えた網目状の荷崩れ防止シートを施した場合、▲印は荷崩れ防

止対策として上段の段ボール箱に再利用可能なタイプの水平バンドを掛けて一体化させた場合を示している。

Fig. 7より、バンド掛けした場合で他のものと比べて同一振動加速度で荷崩れ振動回数が多くなる傾向がすべての振動加速度でみとめられ、バンド掛けすることにより荷崩れ防止効果があることがわかる。また荷崩れ防止シートは、本実験の範囲では振動外力を受ける場合には明瞭な荷崩れ防止効果が無く、逆に振動加速度が大きい場合には荷崩れを起こしやすい結果となっている。また加速度0.4Gについてのみであるが、図中の□印に示すようにこの傾向は個装重量が変化しても同様である。ただし荷崩れ防止シートは水平バンドとの併用で用いられることが多く、紙、ポリエチレン等の袋物貨物でより効果があるとされており、他の試験条件での実験を行うことも含めて今後ともその荷崩れ防止効果について検討を加えていく必要がある。

## 4. 新しい荷崩れ防止対策の提案

### 4.1 U-MAT、H-MAT、P-MAT

従来のシート挿入方式に代わって、振動外力が加わっても各段の段ボール箱がパレタイズされた状態から外へ移動しないように、シートの四辺に上下に段差を設けることで強制的にユニットロードサイズを維持する方策を提案する。

今回は、Fig. 8に示すような段ボール製シートの四辺に小さな段差をもった、H-MAT（箱同士の間には挿入）、P-MAT（箱とパレットの間に挿入）、U-MAT（段積み貨物の最上段にかぶせる）の3種類を試作した。

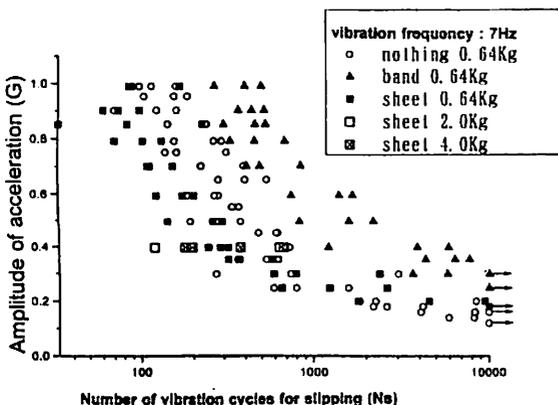


Fig. 7 The effect of countermeasures on the number vibration cycles for slipping

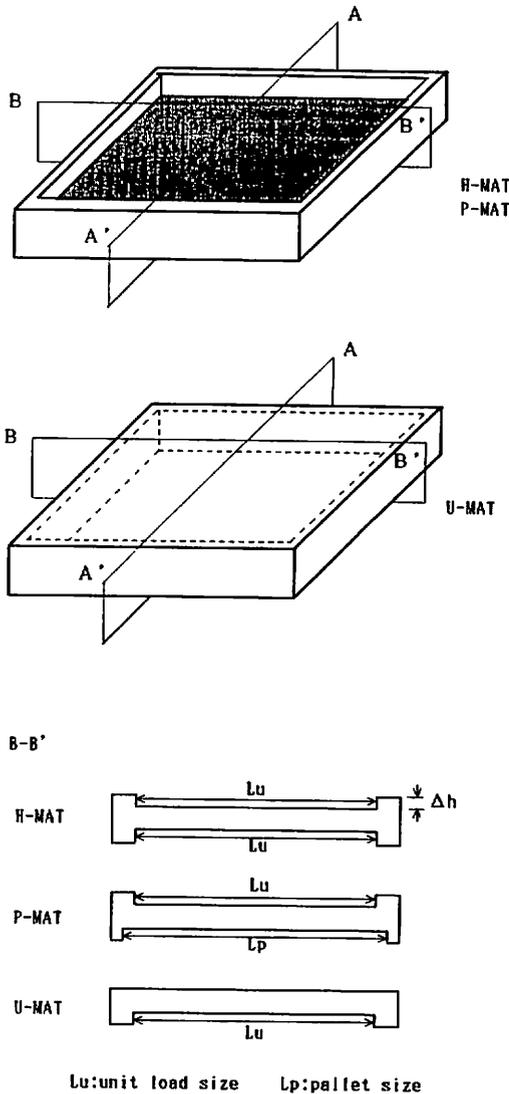


Fig. 8 New countermeasures for slipping, "MATs"

段積みされる段ボール箱からなるパレタイズ貨物への使用状況の例を Fig. 9 に示す。

#### 4.2 U-MATのみの利用による効果

Fig. 10 は、7Hzの水平振動が加わったときのピンホイール積みされたパレタイズ貨物の荷崩れ特性に及ぼす今回提案する新しい荷崩れ防止対策の効果を示している。図中の○

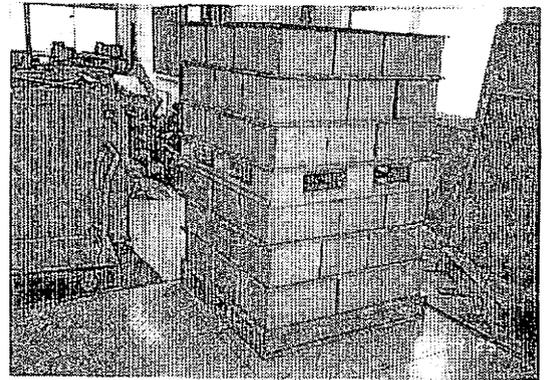


Fig. 9 Palletized cargo using "MATs"

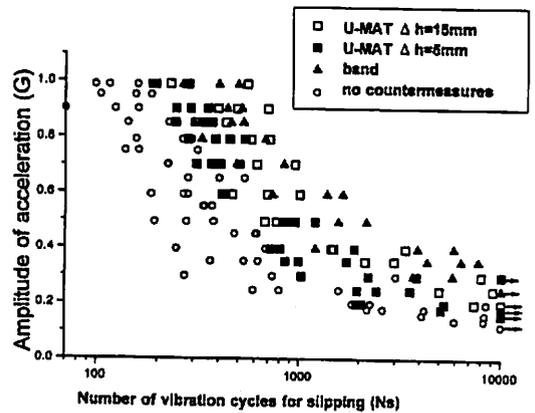


Fig. 10 The effect of U-MAT on the number of vibration cycles for slipping

印は荷崩れ防止なし、□■印は荷崩れ防止対策としてU-MATを施した場合、▲印は荷崩れ防止対策として上段の段ボール箱に再利用可能なタイプの水平バンドを掛けて一体化させた場合を示している。

U-MATの段差の高さ $\Delta h$ は、振動中にU-MATがはずれないような高さの設定するとともに、未使用時の収納の点から考えれば、なるべくその高さは小さくする必要がある。 $\Delta h$ が5mmの場合は、振動開始後すぐに段ボール箱がU-MATの外側にずれるものの、段ボールどうしの摩擦の効果により若干の荷崩れ防止効果がみられる。また $\Delta h$ を15mm

にすればすべての加速度でU-MATがはずれることなく、U-MATのみの利用によっても従来のバンド掛けした場合と同等の荷崩れ防止効果が認められる。

再利用可能な水平バンドの場合、今のところその装脱着は人手に頼っており、機械化されていない。これに対して、U-MATの装脱着は従来のパレタイザによる自動化がすぐに対応できるものと考えられる。

#### 4.3 U-MAT、H-MAT、P-MAT併用による効果

荷崩れ防止対策として、U-MAT、H-MAT、P-MATのすべてを用いた実験を行った。ただし振動加速度は7Hzとし、パレット上の段ボール箱のパターンはこれまでの実験と同様である。

その結果、加速度2Gの非常に大きな水平加速度が作用しても段差Δhを8mm以上にしておけば荷崩れは全く起きないことがわかった。

### 5. 荷崩れ振動回数と荷崩れ易さの関係

以上の実験は、正弦的な水平振動が加わった場合に、パレタイズ貨物が荷崩れするのに要する振動回数をまとめたものであり、これらの結果をすぐに現場へ定量的な判断材料とすることは不可能である。しかしながら、これらの結果はパレタイズ貨物の荷崩れ特性に関する定性的傾向を知るという点では価値のあるものである。そこでいま一度荷崩れ振動回数と荷崩れ易さの関係について考察してみる。

著者らが行った研究<sup>3)</sup>では、パレタイズ貨物の荷動き量を示すパラメータが提案されており、それによれば荷崩れを起こすまでほぼ

一定の割合で個々の貨物がばらけていき、段ボール箱の縦の長さLの半分だけ各段ボール箱が移動したときに荷崩れを起こすと判断して差し支えないことが示されている。よって水平振動の1サイクルあたりの移動量ΔSと、荷崩れ振動回数Nsにはほぼ以下の関係が成り立つ。

$$Ns \cdot \Delta S = L/2 \quad (1)$$

そこで、荷崩れ易さのパラメータとして新たに振幅aの1回の振動でのすべり率Qを提案する。

$$Q = \Delta S/a = L / (2a \cdot Ns) \quad (2)$$

式(2)よりすべり率とは、振動振幅と振動一回当たりの平均すべり量の比であり、Qが小さいほど振動1回あたりのすべり量が振動振幅に対して小さく、つまりすべりにくいことを示す。

Fig. 11は、Fig. 4について、縦軸にすべり率Qを、横軸に加速度振幅Gをとり、各振動周波数別にとったものである。

Fig. 11より、振動加速度、周波数に関係なく、最大静止摩擦係数(約0.4)以上の加速度

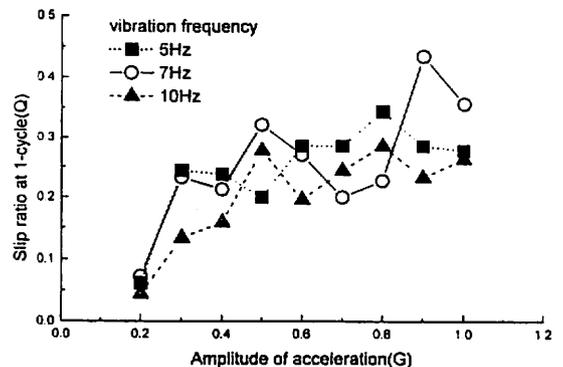


Fig. 11 The effect of vibration frequency on slip ratio Q

では、すべり率はほぼ一定であることがわかる。従って、ピンホイール積みで荷崩れ防止対策が施されていない場合には、1回の振動あたりに振動振幅の約1/4づつ外側へ荷割れしていき、やがて荷崩れを起こすことになる。また最大静止摩擦係数以下では、荷崩れに至るものの、すべり率は小さくなる。この理由ははっきりしないが、荷動きのメカニズムが摩擦係数以上の加速度では荷動きとしてすべり運動が卓越するのに対して、摩擦係数以下の加速度では、すべり運動だけでなく箱の形状の不均一性や弾性特性からくる上下運動やロッキング運動により、非常に複雑な荷動き挙動を示すためであると考えられる。

さらに Fig. 12 は、荷崩れ防止対策を施した場合の荷崩れ防止効果をすべり率として評価したものである。

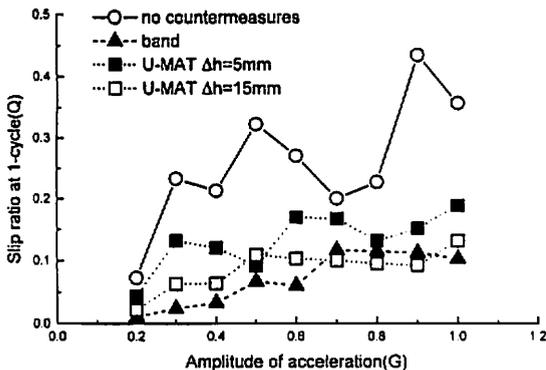


Fig. 12 Effect of countermeasures on slip ratio Q

Fig. 12より、荷崩れ防止対策により、すべり率が約半分になり、防止対策により振動1回あたりのすべり量が約半分になることが明確となっている。

ところで、現場では様々な周波数、加速度の振動が加わるが、加速度が摩擦係数以下の場合を除けば、振動1回あたりのすべり率は

周波数、加速度に関係なくほぼ一定であり、荷崩れ防止対策をすることにより、すべり率は約半分になることが明らかになった。従って、現場で想定される衝撃、振動に対して、個々で示されたすべり率を考慮することにより、輸送過程での荷動き量のある程度予測することが可能であると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、荷崩れ振動回数に及ぼすいくつかの影響項目を列挙しながら荷崩れ防止対策の効果に関する評価を試みた。さらに、効果的な新しい荷崩れ防止対策を提案した。得られた結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 同じ振動加速度であっても、高周波数の振動ほど荷崩れには多くの振動回数を必要とする。
- 2) 振動加速度が大きい場合には、ピンホイール積みで荷崩れ防止効果がみられるものの、振動加速度が小さい場合にはその効果が無く、逆にブロック積みされたパレタイズ貨物に段ボール箱の短軸方向の振動が加わった場合には荷崩れしやすい。
- 3) 荷崩れ振動回数に個装重量の影響はない。
- 4) バンド掛けした場合に荷崩れ防止効果があるが、荷崩れ防止シートは、振動外力を受ける場合には明瞭な荷崩れ防止効果が無く、逆に振動加速度が大きい場合には荷崩れを起こしやすい。
- 5) 今回新たに提案した、荷崩れ防止対策は非常に効果的である。
- 6) 現場で想定される衝撃、振動に対して、個々で示されたすべり率を考慮することにより、輸送過程での荷動き量のある程度予

測することが可能である。

今後は今回扱った条件での追加実験データを蓄積していくとともに、振動外力が作用した場合のパレタイズ貨物の荷崩れ挙動に関するコンピュータシミュレーションなどの数値的検討および現場での輸送テスト等を含め、総合的な見地から環境に優しく効果的な荷崩れ防止対策について検討を加えていく予定である。

最後に本研究を行うにあたり、神戸商船大学の森ななえ学生には実験等においてご協力いただき謝意を表す。また本研究は、神戸商船大学震災研究会（文部省特定研究）の活動の一部であることを附記する。

<引用文献>

- 1) 斎藤勝彦、久保雅義、石田廣史、日本航海学会誌NAVIGATION、(128), 9 (1996)
- 2) (社) 全国通運連盟、荷くずれ防止マニュアル、(1996)
- 3) 斎藤勝彦、久保雅義、日本包装学会誌、6 (4), 201 (1997)
- 4) 斎藤勝彦、久保雅義、日本航海学会論文集、(95), 325 (1996)

(原稿受付1997年 8月25日)

(審査受理1997年12月17日)