

## 論文

## 船舶で輸送される貨物のランダム振動試験の実現

小西 毅\*<sup>1)</sup> 阿保 友二郎\*<sup>1)</sup>

## Development of a random vibration test method able to simulate sea freight vibrations

Takeshi Konishi\*<sup>1)</sup>, Yujiro Abo\*<sup>1)</sup>

Many consumers who live in Tokyo receive their daily commodities via physical distribution. Many truck lines are used in the metropolitan area. However, in order to assess the status of the packaging of packed goods in the case of freight cars, there is a method, the random vibration test, which accurately reproduces vibrations during transportation, yet this is unavailable for shipping. In this research, vibration data was obtained from containers being transported on the Ogasawamaru, a passenger ferry between Tokyo and the Bonin Islands, and then random vibration test conditions were created. Peak accelerations of 8.5 Hz and 13 Hz were obtained from the vibration test conditions derived from these results. Furthermore, the reappearance of vibrations created under random vibration test conditions were verified to be possible with the vibration tester.

キーワード：振動, 船舶, 高速フーリエ変換, 小笠原

Keywords : Vibration, Vessel, Fast Fourier Transform, Ogasawara

## 1. はじめに

都民の生活物資の多くは物流システムを通じ生産者から消費者へと運ばれる。物流の輸送機関は貨物用自動車・船舶・鉄道等がある。都内では、主に貨物用自動車が利用されている。これらの包装貨物の梱包状態を評価するために、貨物用自動車の場合、実際の輸送振動環境を最も適確に再現するランダム振動試験方法<sup>(1)</sup>(JIS-Z-0232やMIL\_STD\_810など)がある。しかし、船舶用貨物はそれらが存在せず、貨物用自動車のランダム振動試験条件で代用している。例えば、東京都の島しょへの輸送は、長時間の船舶輸送である。しかし、船舶のランダム振動試験の規格等が存在しないため、緩衝包装設計を評価することが困難である。そこで本研究では、島しょを往復する船舶の振動を記録し、実際の船舶輸送振動環境を最も適確に再現するランダム振動試験方法を提案する。

## 2. 輸送振動記録計の検討

2.1 システム構成 船舶用貨物のランダム試験を実現するためには、最初に航行する際の船舶の振動及びうねりを測定する必要がある。

そこで 1Hz~100Hz の測定を可能とする加速度センサ及び角速度センサを搭載した測定器を開発した。この測定器は、船舶の貨物コンテナに搭載するため、外部から物が衝突する可能性があることから、アルミ製靴の内部にセンサ

やデータロガーを配置し、測定時間を最大 50 時間計測できる仕様とした。なお、システムを構成しているセンサやデータロガーはマイクロストーン製 SD モーションレコーダ MVP-SD (2 台)、加速度センサはマイクロストーン製 MA3-50AD (2 台)、角速度センサはマイクロストーン製 MP-M6-02/400B (2 台)、同期用データロガーは日置製 HIOKI8430 (2 台) である。

加速度センサのデータ収録は、データロガー 1 台を用いる。同じく、角速度センサは残りのデータロガー 1 台を使用した。したがって、加速度・角速度それぞれ独立に測定をする。さらに、加速度・角速度の両センサの同期を取るため、加速度センサ・角速度センサ (各 1 台) を同期用データロガーで同時に測定を実施する。同期用データロガーは 1Hz~25Hz の測定が可能であるので、その間の波は取得することができる。

特徴として、加速度センサ及び角速度センサは、アルミ製の靴の共振の影響を受けないようにするために、IMV製振動試験装置 (EM2301) 付属の立方体ジグの側面板金である TCJ-B150-P-A をアルミケースに締結して振動や衝撃の取得を実施した。

また、測定器は電力を必要とするため車用バッテリー (LONG 製 WP12-12) と USB バッテリーを搭載して、同期用データロガーに対して、電力を供給する。これらを踏まえ振動測定器の振動加速度・角速度記録回路図を示すと図 1 になる。

これらのセンサで構成した測定器外観及び内部は図 2, 図 3 に示す通りである。

事業名 平成 23 年度 基盤研究  
\*<sup>1)</sup> 電子・機械グループ

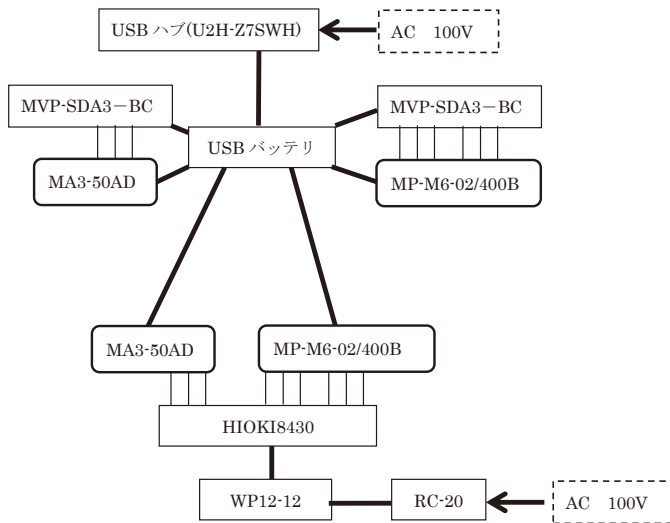


図 1. 振動加速度・角速度記録回路図

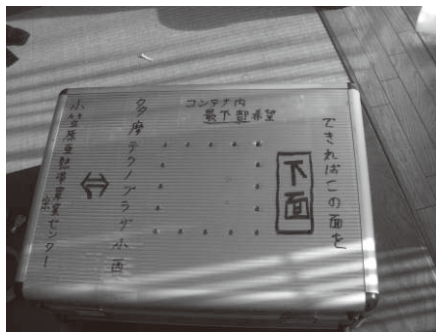
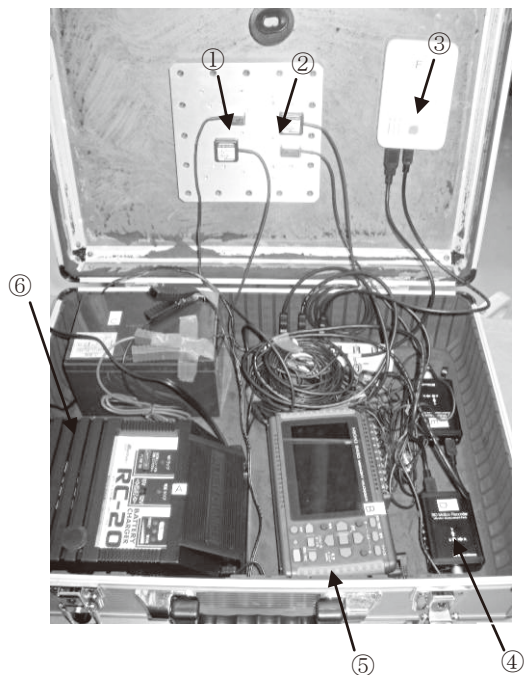


図 2. 測定器の外観



①: USB バッテリー ②: MA3-50AD ③: HIOKI8430  
④: MVP-SDA3-BC ⑤: MP-M6-02/400B ⑥: WP12-12

図 3. 測定器の内部

2. 2 振動特性 測定器の振動特性を得るため、振動試験装置 (EM2301) に測定器を搭載し、測定器に正弦波を入力し、ワックスで接着した加速度ピックアップから振動数特性図を得た。振動試験条件を表 1 に示す。さらに、図 4 は振動方向の基準となる絶対座標系と測定用加速度ピックアップである。

表 1. 振動試験条件

振動数	5~40Hz
加速度	1G
掃引速度	0.5oct/min
掃引回数	1回
加振方向	Z方向

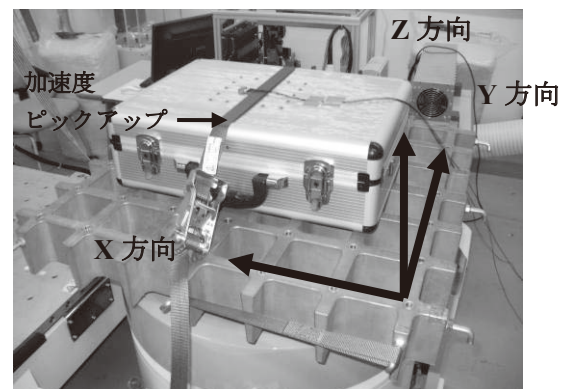


図 4. 振動特性を測定する絶対座標系

得られた振動特性図を図 5 に示す。これにより 5~40Hzの間では測定器の共振の影響を受けないことがわかった。以上のことから測定器を海上輸送しても測定器の影響を受けないことがわかった。

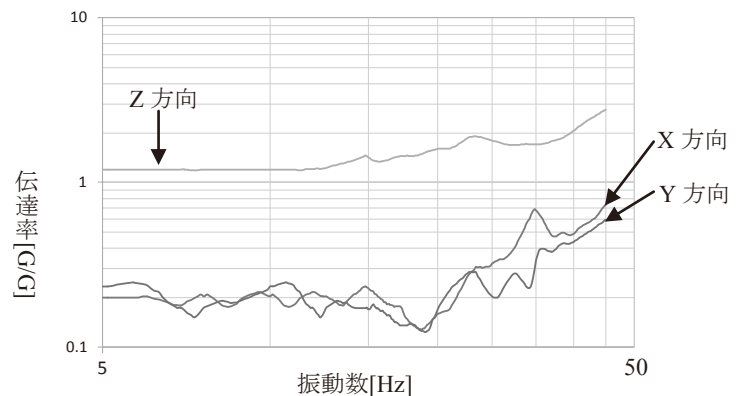


図 5. 振動特性図

### 3. 船舶の振動測定

3. 1 輸送経路及び測定方法の検討 都内を航行する船舶は竹芝~父島間を航行する小笠原丸が都内の最長航路で 1000Km 以上かつ所要時間は 25 時間以上の航海をする。さらに揺れが大きい太平洋を航海するため図 6 のように保冷容器が破壊にいたることもある。これらのことから振動

を取得するのにふさわしいフィールドであると判断した。さらに、トラック輸送の振動加速度・角速度も取得するため、郵便を利用した測定も検討した。

測定回数については、5航海の測定を検討した。

測定の場所は、船舶の前方及び後方の貨物甲板のコンテナ内の最下部である。コンテナ内の測定状況は図7に示す通りである。

測定日と測定箇所については、表2に示す振動箇所と日程の通りである。



図6. 船舶輸送による破損容器



図7. コンテナ内の測定状況

表2. 小笠原丸の測定日と船内測定箇所

日付		測定箇所	日付		測定箇所
11月	1日	後方	11月	5日	後方
	16日		20日		
	28日		2日		
12月	10日	前方	12月	14日	前方
	23日		27日		

その他にも父島⇄母島への航海で測定も実施した。

3.2 データ処理方法 データ処理はフーリエ変換を用いて実施した。フーリエ変換で用いる式は以下の通りである<sup>(2)(3)</sup>。

海路のデータを  $x_n$  ( $n=1, 2, 3, \dots, s$ ) としたとき  $n=1024$  で計算した。

$$f_j = \sum_{i=0}^{(s-1)/N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{ki} \exp(-2\pi i / N) jk \quad (j=0, \dots, N-1), (i=0, \dots, s/N)$$

ただし、 $c_{ki} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{21} \\ x_{31} \\ \vdots \\ x_{n1} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_{12} \\ x_{22} \\ x_{32} \\ \vdots \\ x_{n2} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_{13} \\ x_{23} \\ x_{33} \\ \vdots \\ x_{n3} \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} x_{1s/n} \\ x_{2s/n} \\ x_{3s/n} \\ \vdots \\ x_{ns/n} \end{pmatrix}$

$f_i$  は船舶の測定データを 1024 データ数<sup>(4)(5)</sup>でのフーリエ変換の値である。これらの中で最大の加速度 P.S.D を前方と後方の貨物甲板のデータとして出力した。

#### 4. 加速度及び角速度の検証

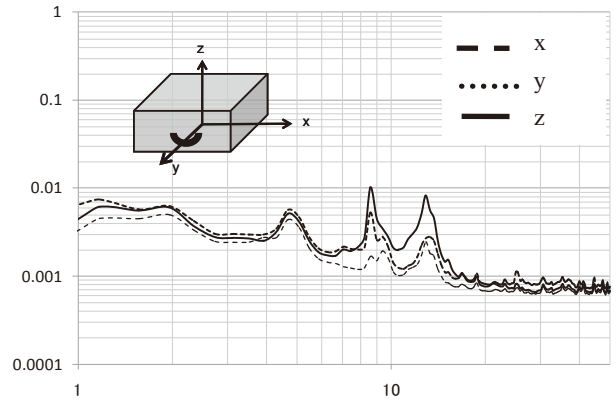


図8. 前方の加速度特性

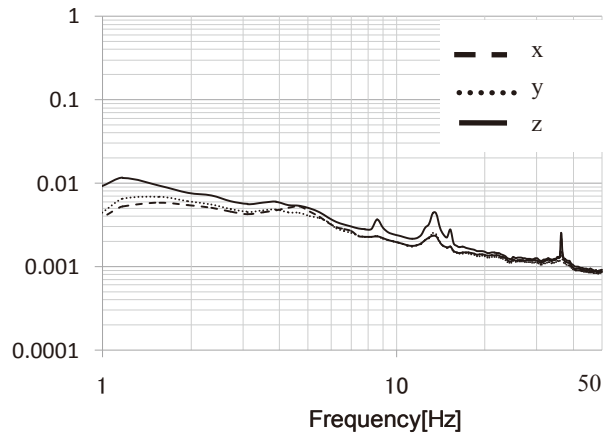


図9. 後方の加速度特性

図8は貨物甲板前方の加速度特性である。図9はその後方の加速度特性である。両図ともに特徴として 8.5Hz と 13Hz 付近で振動加速度がピークに達している。また、この加速度特性を振動試験機に入力し、ランダム振動試験が可能であることを確認した。

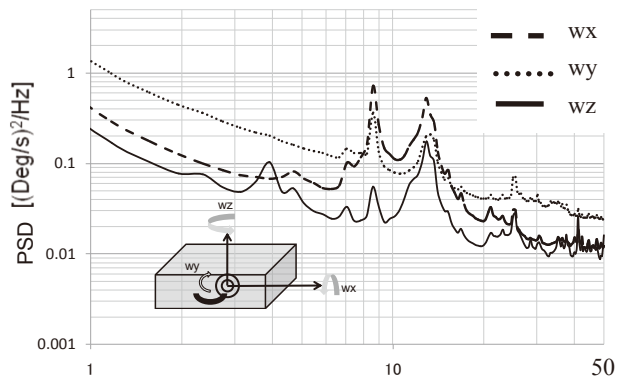


図10. 前方の角速度特性

## 文 献

- (1) 坂倉省吾：「包装貨物-振動試験方法 JIS Z 0232:2004」，財団法人 日本規格協会
- (2) 長松昭男：「モード解析入門」，株式会社 コロナ社，pp.149-200
- (3) 高田一：「振動学」，日本機械学会，pp.115-130
- (4) 喜多村直：「制御工学」，日本機械学会，pp.25-50
- (5) 津田和城，中嶋隆勝，齊藤勝彦，「包装品の非線形ガタ振動に関する実験的検証」，日本包装学会誌，Vol.16 No.1 pp.53-61，(2007)

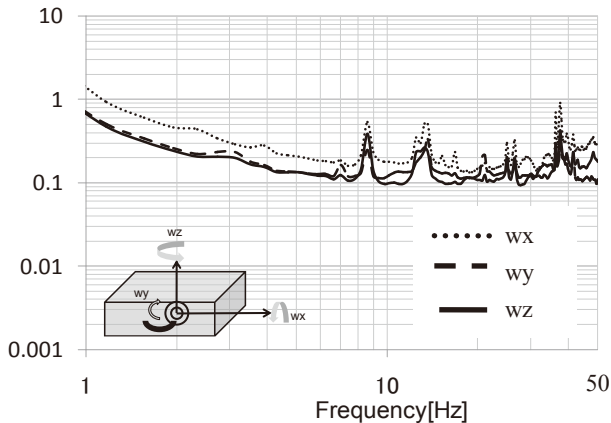


図 11. 後方の角速度特性

次に図 10 は前方，図 11 は後方の角速度特性である。加速度特性と同様 8.5Hz 及び 13Hz に角速度がピークとなっている。

図 12 にトラック輸送と測定した船舶輸送の振動の比較を示す。船舶の振動で特徴的であった 8.5Hz と 13Hz がトラックの振動より大きいことがわかった。

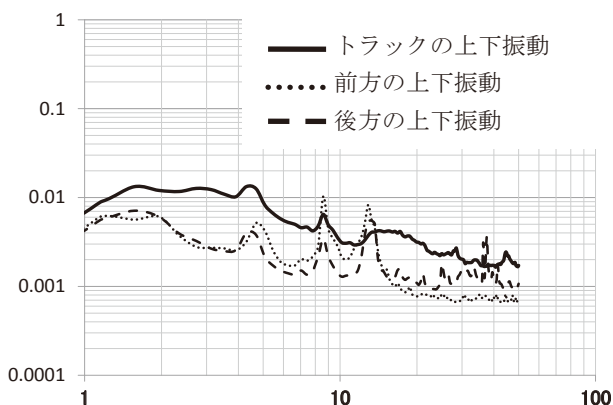


図 12. トラックとの振動の比較

## 5. まとめ

貨物輸送を模擬したランダム振動試験規格として JIS-Z0232 がある。これは路面上を走行するトラック輸送を模擬したもので，船舶輸送を想定したものではない。したがって，本研究では，都内の島しょへの輸送を行う小笠原丸のコンテナ内の振動を取得し，ランダム振動試験条件を導いた。測定の結果を振動数特性図に描くと，8.5Hz と 13Hz にピークが得られた。さらに，作成したランダム振動試験条件が振動試験機で振動の再現が可能であることも確認した。

## 謝辞

船舶輸送にご協力頂いた東京都総務局小笠原亜熱帯農業センター 宗芳光氏，小笠原海運株式会社 小川英司氏，父島営業所 宮崎昭彦氏ならびに有限会社フローラ 西本誉氏に感謝する。

(平成 24 年 5 月 18 日受付，平成 24 年 7 月 31 日再受付)