

技術報告

## トラック荷台振動における閾値計測 — 間欠計測を閾値計測で代用する方法の提案 —

川口 和晃\*

### Threshold Measurement on Track Board Vibration Proposal of Substitute Method for Threshold Mode from Intermittent Mode

Kazuaki KAWAGUCHI \*

輸送環境記録計を用いた加速度計測方法は、一般的に間欠計測方法と閾値計測方法の2つがある。従来から、ランダム振動試験のためのPSDを得るトラック荷台振動計測では、間欠計測方法が利用されてきた。しかしながら、間欠計測ではデータ収集の点で非効率な部分が散見される。これについては、閾値計測方法を用いれば解消できると考えた。

本報告ではトラック荷台振動を閾値計測で代用することを目的とし、閾値計測で得られるPSDを、間欠計測で得られるPSDに補正する手法について検討した。ここではトラック荷台振動の実測データを用いて、ソフトウェア上で擬似的に閾値計測を再現させ、閾値がPSDに与える影響を確認した。その結果、実効値とフレーム数には負の相関があることが確認され、これらから得られる回帰式を用いれば、高精度に閾値PSDから間欠計測PSDへ補正できることが示唆された。さらに提案した補正方法の妥当性を別データにて検証したところ、その有効性が確認できた。

To measure the acceleration waveform in the distribution environment with distribution data recorder, there are two measurement modes, threshold mode and intermittent mode, in general. Conventionally, intermittent mode has been adopted to record the truck board vibration data which deduces PSD for random vibration test. However, it is ineffective to collect the data with intermittent mode in some respects. Then, threshold mode is supposed to resolve this problem.

In this paper, which is aimed to substitute threshold mode for the truck board, it is examined the modified technique that the way to correct PSD of threshold mode for PSD of intermittent mode. Here, reproducing quasi-threshold mode through the recorded data of truck board on the analysis software is applied to figure out the influence of threshold on PSD. As a result, there is the negative correlation between RMS value and number of frame, and the optimal regression equation was derived. Therefore, this equation provides that threshold PSD can correct to intermittent PSD with accuracy. Moreover, validity of this equation is verified by another vibration data.

キーワード : 輸送包装、振動、PSD、輸送環境調査

Keywords : Distribution Package, Vibration, PSD, Distribution measurement

---

\* 神栄テクノロジー (株), (〒650-0034 兵庫県神戸市中央区京町 77-1 神栄ビル 5F)  
Shinryei Technology Co. Ltd 77-1, Kyomachi, Chuoku, Kobe, 658-0034, Japan  
TEL:078-392-6963, FAX:078-332-1619, Email:k-kawaguchi@stc.shinryei.co.jp

## 1. 緒言

包装設計の合理化を推進する一つの方法として、実輸送環境データを計測し、それらを試験条件とする取り組みがある。特に振動試験においては、実輸送で得られた加速度波形からパワースペクトル密度 (PSD) を算出することで、実輸送に近いランダム振動試験<sup>1)</sup>が実施されている。上記のような目的で輸送データを計測する場合、輸送環境記録計と呼ばれる小型加速度データレコーダが用いられることがある。

ここで輸送環境記録計のデータ記録方法は一般的に2つのモードがある。一つは、一定の加速度閾値を設定し、その閾値以上の加速度波形を記録するモード (閾値計測) であり、もう一方は一定の時間間隔で加速度波形を記録するモード (間欠計測) である。間欠計測については、連続振動データと間欠振動データで得られる PSD が同等となるための適切な間欠時間設定について検討した報告<sup>2)</sup>がある。

さて従来から、ランダム振動試験を行うためのトラック荷台振動を計測する場合は、間欠計測が利用されてきた。これは、閾値計測では解析される PSD が本来の数値よりも高めに得られてしまうためとされている<sup>3)</sup>。一方で、間欠計測の欠点として、メモリ容量の少ない記録計で振動データを取得しなければならない場合、時間間隔を長期に設定しなければならず、解析に十分なデータ取得ができなくなることや、輸送スケジュールが急に変更になったとき、設定条件によっては輸送途中でメモリフルになり本来必要なデータが採取できなくなる可能性も考え

られる。以上のことは、閾値計測モードにて振動データ取得することができれば解消されると考えた。

本報告ではトラック荷台振動の計測を閾値計測モードで代用することを目的とし、閾値計測で導出される PSD を、間欠計測で得られる PSD に補正するための方法について検討を行う。

## 2. 閾値計測 PSD 処理

ここでは、本報告で処理した閾値計測のデータの処理方法と、閾値が与える PSD への影響について述べる。

### 2.1 実測データ

輸送環境記録計 (型式 DER1000) を用いてトラック荷台振動を計測した。計測条件を Table1 に示す。尚、本記録計で得られる加速度波形の記録方法は、計測条件に従ったフレーム単位に切り取られ、メモリに保存される。Table1 の計測条件であれば、1 フレーム時間が 1.024 秒となる加速度波形として、時間間隔 0 秒 (全ての加速度波形を記録) で随時メモリに記録される。

Table1 Measurement condition

Measurement mode	Intermittent (Continuous)
Frame Length	1024 point
Sampling Period	1 msec.
Time Interval	0 sec.
Truck information	4ton truck leaf-suspension
Set position of recorder	Rear of track board
Tested area	Tokyo
Recorded time	5 hours

Fig.1 に記録されるフレームと計測パラメータの関係について示す。

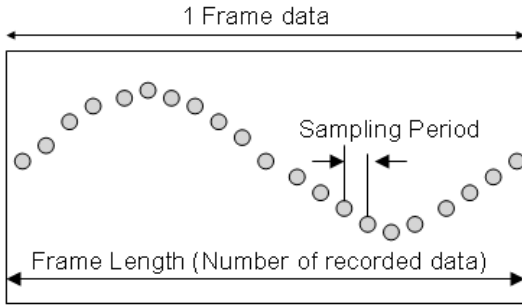


Fig.1 Outline of 1 frame data by recorder

### 2.2 閾値計測手法

ここでは、2.1 で得られた加速度波形データを用いて、解析ソフトウェア上にて任意の加速度閾値を設定し、その数値以上の加速度が含まれるフレームを選択する擬似閾値計測にて検討を行う。Fig.2 にこの概念図を示す。

PSD 解析を行う場合は、上記の方法で選択されたフレームのみを利用する。また、ここでは閾値を 0.2G から最大閾値（PSD 解析ができる閾値の最大値、2.1 では 1.4G）まで 0.2G 刻みで増加させ、その都度 PSD 解析を行い、オーバーオール RMS 値（実効値）を算出する。

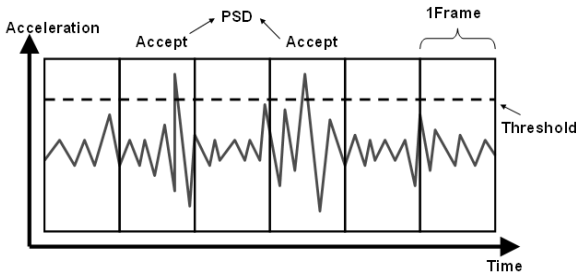


Fig.2 Outline of quasi-threshold mode on the analysis software

### 2.3 閾値が PSD に与える影響

2.2 の条件で PSD 解析を行い、各閾値に対す

るそれぞれの実効値、及び PSD 解析に利用されたフレーム総数の関係を Fig.3 に示す。これより、実効値とフレーム数には負の相関があることがわかる。これは、閾値が大きくなるほど、閾値以下の加速度データがカットされ、解析される PSD が大きくなり、それに伴って、PSD 解析に利用されるフレーム数が減少するためである。

Fig.4 は閾値が 0.2G、0.6G、1.4G のときの PSD 形状について示している。閾値が大きくなるほど全周波数帯で PSD は大きくなっているものの、全体的な形状は 0.6G 程度までであれば大きな変化はない。このことから、閾値 0.6G 以下で記録されたデータから得られる PSD 波形を補正する場合には、単純に一定の補正係数を全周波数領域に付加するだけでよいと判断できる。

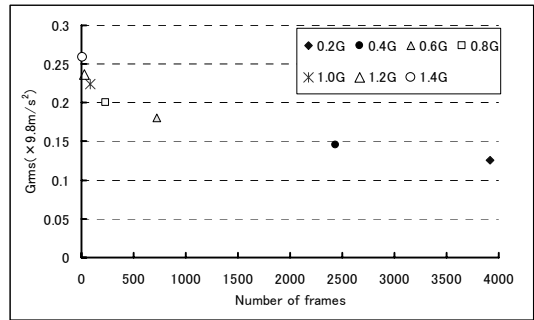


Fig.3 Relationship between number of frames and RMS

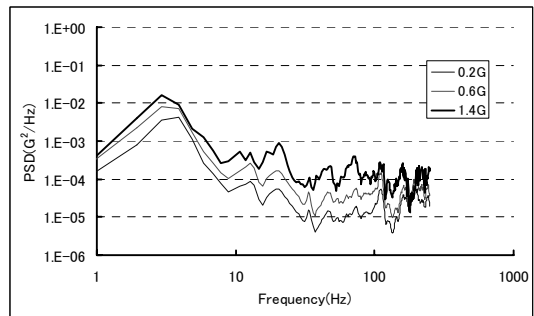


Fig.4 Influence of threshold value to PSD profile

### 3. PSD 補正方法の検討

2.3 において、フレーム数と実効値には負の相関があることが確認できた。ここで、閾値計測 PSD の補正目標である間欠計測 PSD の実効値は、これらの回帰式の延長線上のいずれかに存在すると考えられる (Fig.5)。

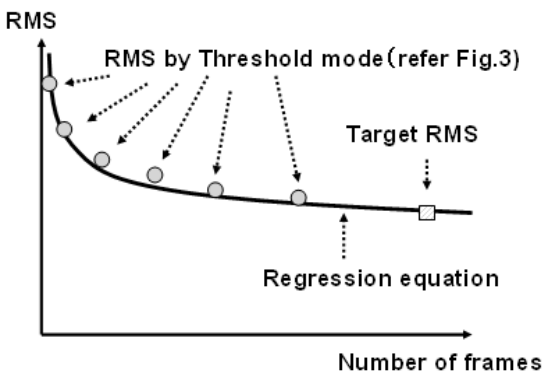


Fig.5 Relationship between target RMS and regression equation by threshold RMS

#### 3.1 回帰式の検討

ここでは、Fig.5 に例示されるような実効値とフレーム数の回帰式について検討する。

まず目標数値として、間欠計測で得られる実効値を 2.1 から算出する。このときトラック停止状態のデータを予めカットする加速度抽出法<sup>4)</sup>を用いた。その結果、閾値は 0.04G、目標実効値は 0.105G、目標フレーム数は 5621 となった。また回帰式のモデルについては、簡易性を重視し、以下の 5 つの式で検討した。

$$RMS_1(x) = a_1 \cdot \text{Log}_e x + b_1 \quad (1)$$

$$RMS_2(x) = a_2 \cdot \exp(b_2 \cdot x) \quad (2)$$

$$RMS_3(x) = a_3 \cdot x^{b_3} \quad (3)$$

$$RMS_4(x) = \frac{1}{2}(RMS_1(x) + RMS_2(x)) \quad (4)$$

$$RMS_5(x) = \frac{1}{2}(RMS_2(x) + RMS_3(x)) \quad (5)$$

ここで、 $RMS$  は実効値、 $a$ 、 $b$  はそれぞれの回帰式の係数、 $x$  は PSD 解析に利用したフレーム数である。

次に 2.2 で得られた実効値とフレーム数を用いて、閾値毎に回帰式の各係数を最小二乗法で求めた後、変数  $x$  に目標フレーム数を代入することで、補正された実効値 (補正実効値) が得られる。例として、式 (1) に関して、閾値 0.2G 以上の各実効値とフレーム数から得られる回帰式と、閾値毎の実効値及び目標実効値を Fig.6 に図示する。これより、目標実効値と修正実効値にはズレが生じていることがわかる。このズレを評価する指標として、実効値誤差 (補正実効値と目標実効値の比) を求める。

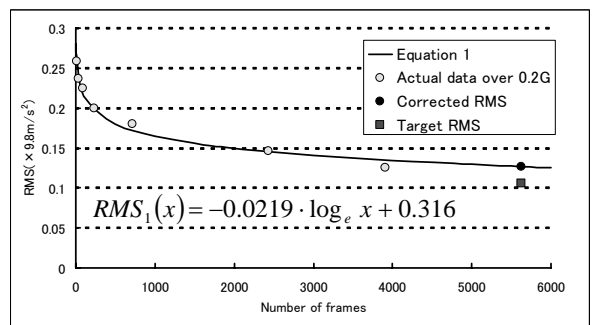


Fig.6 Example of regression analysis

Fig.7 は、横軸に閾値、縦軸に上記で得られた実効値誤差を示している。縦軸は 1 に近いほど

回帰式による PSD 補正精度が高く、1 からのずれが大きいくほど、その精度は低いことを意味している。ここで、閾値が大きくなるほど、全ての回帰式において補正精度が悪化する傾向にあることがわかる。また 5 つの回帰式で得た実効値誤差を見ると、式(4)において特に閾値が 0.4G 以下の範囲で、精度が高いことがわかる。

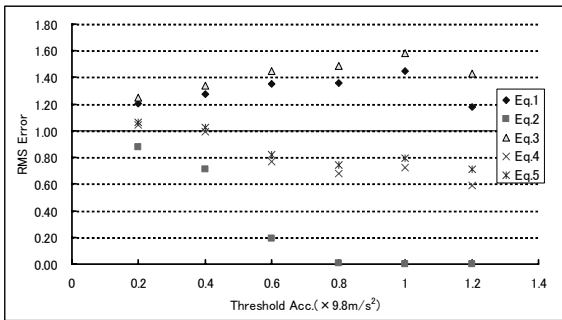


Fig.7 RMS error of each regression equation

以上より、回帰式は式 (4) を採用することとした。Fig.8 に閾値 0.4G 以上で得られる式(4)と、閾値 0.2G 間隔で得られた各実効値及び目標実効値の関係を図示している。これより、目標実効値は回帰式の延長線上にあり、回帰式の精度は高いことがわかる。また式(4)の各係数を Table2 に示す。

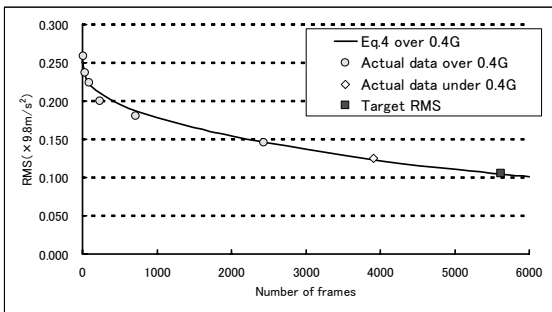


Fig.8 Optimal regression equation

Table2 Each optimal coefficient value on equation 4

Coefficient	Value
a <sub>1</sub>	0.02034
b <sub>1</sub>	0.30979
a <sub>2</sub>	0.22975
b <sub>2</sub>	-0.0002

### 3.2 PSD 波形の補正

3.1 では補正実効値が得られた。次に PSD 波形を補正する必要がある。ここではその方法について述べる。

まず、式(6)より PSD 補正係数  $\alpha$  を計算する。

$$\alpha = \frac{RMS_g}{RMS_{correct}} \quad (6)$$

ここで  $RMS_g$  は閾値計測で得た全データから解

析された実効値、 $RMS_{correct}$  は 3.1 で得られる補正実効値である。

次に  $\alpha$  の二乗を周波数毎の PSD に乗算すると、PSD 波形の補正となる。Fig.9 に、3.1 の目標 PSD と補正された PSD を示す。これより、両者は同等であることがわかる。

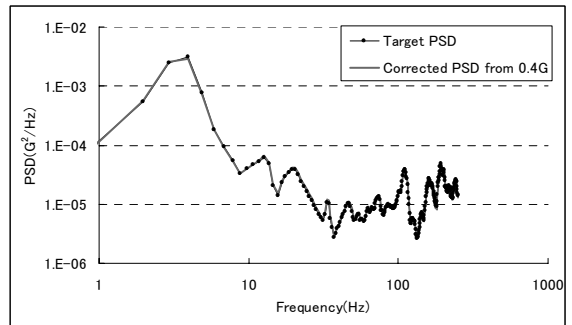


Fig.9 Comparison of target PSD and corrected PSD

### 3.3 記録フレーム数

ここでは記録計内部メモリに保存されるフレーム数について、閾値計測と間欠計測を比較する。

間欠計測の場合、Table1 の条件でデータ取得すると、記録フレーム数は 17578 フレームとなる。一方で 3.1 の条件での閾値計測では、記録フレーム数は 2431 フレームとなった。これより、閾値計測では間欠計測の 1/7 程度のフレーム数のみを計測すれば良く、効率的なデータ取得ができています。

### 3.4 閾値計測における PSD 補正方法

本報告内で得られた閾値計測 PSD 補正方法のステップを下記に記す。

- ① 閾値計測モードで閾値 0.4G 以下に設定し、振動データ取得する。
- ② 解析ソフトウェア上で、閾値を 0.2G 刻みで最大閾値まで PSD 解析を行う。このとき、閾値毎の実効値とフレーム数を記録する。
- ③ ②で得た実効値とフレーム数を用いて、回帰式 (4) を導出する。
- ④ ③で得た回帰式に目標フレーム数を代入し、補正実効値を算出する。
- ⑤ ④で得た補正実効値と式 (6) より、PSD 補正係数を導出し、その二乗を PSD 波形に乗算する。

### 3.5 妥当性検証

ここでは 3.3 の閾値計測 PSD 補正方法の妥当性を確認するために、2.1 とは別のトラック荷台

振動データを用いて検証する。Table3 に別データ取得時の計測条件を示す。

検証方法は、3.1 と同様に、実効値誤差によって評価した。具体的な流れを以下に示す。

- ① 目標実効値、目標フレーム数を算出
- ② 閾値を 0.4G から最大閾値 (1.6G) まで 0.2G 刻みで PSD 解析を実施し、閾値毎に実効値とフレーム数を記録
- ③ ②で得られた各数値から回帰式(4)の各係数を導出
- ④ 回帰式(4)に①で得た目標フレーム数を代入し、補正実効値を導出
- ⑤ 補正実効値と①で得た目標実効値より、実効値誤差を算出

上記のステップで得られた実効値誤差は 1.02 となった。この値は 3.1 で得た数値と同等であり、今回選択された回帰式の妥当性が確認できた。さらに記録フレーム数においても、閾値計測は間欠計測の約 1/3 の記録数であった。

Table3 Measurement condition of another vibration data

Measurement mode	Intermittent (Continuous)
Frame Length	1024 point
Sampling Period	1 msec.
Time Interval	0 sec.
Truck information	4ton truck Leaf-suspension
Set position of recorder	Center of track board
Tested area	Tokyo to Osaka
Recorded time	19 hours

#### 4. 結論

本報告では、トラック荷台振動計測を行う場合、閾値計測で代用することを目的に、閾値計測 PSD を間欠計測 PSD に補正する方法について検討した。

その結果、閾値計測を行う場合の条件として、閾値を 0.4G 以下として振動データ取得を行い、今回得られた回帰式を用いれば PSD を精度よく補正できることを見出した。さらに別のトラック荷台振動データを用いて回帰式の妥当性を検証したところ、その有効性が確認できた。

今後の課題として、閾値計測を用いてデータ取得したとき、回帰式に入力するフレーム数をどのように設定するかを検討しなければならない。また別モードのトラック輸送環境（サスペンション、車種など）においても、今回提案した方法が適応できるかどうかについても、実証調査により確認していく必要がある。

#### <参考文献>

- 1) 岡本朗、日本包装学会誌 20(2)、85 (2011)
- 2) 斎藤勝彦、森田勉、日本包装学会誌 15(2)、89 (2006)
- 3) 斎藤勝彦、長谷川淳英、‘輸送包装の基礎と実務’、幸書房、p.87 (2008)
- 4) 川口和晃、日本包装学会、第 20 回年次大会研究発表会予稿集、p.162(2011)

(原稿受付 2013 年 3 月 11 日)

(審査受理 2013 年 4 月 4 日)

トラック荷台振動における閾値計測—間欠計測を閾値計測で代用する方法の提案—