

ランダム振動試験のための日本国内実測データに基づく PSD の導出

公益社団法人 日本包装技術協会
ISO/TC 122国内対策委員会第一分科委員会
責任著者 椎名 武夫
T. Shiina

Derivation of PSD Profiles for Random Vibration Test Based on the Field Data Obtained in Japan

A procedure to derive the acceleration power spectral density (PSD) profiles for the random vibration test based on the transport scenario and classification method of vibration severity was proposed. By using the proposed method, a PSD profile for the random vibration test which simulates the transport conditions was also derived using the field data obtained in Japan. Furthermore, a PSD profile which enables to shorten the testing time (one tenth of the original one) was developed by employing two types of time compression methods. In addition, the time for random vibration test should be selected in accordance with the transport distance considering.

(http://www.jpi.or.jp/english/pdf/report2014_en.pdf)

はじめに

近年、輸送包装を適正化するための振動試験においては、輸送環境記録計、振動試験機とその計測制御システム、計測制御用コンピューター、ソフトウェア技術の進歩等により、従来の正弦波による一定周波数あるいは周波数掃引による試験に代わり、より実振動の再現に近いランダム振動¹⁾を用いる試験が優先的に実施されるようになってきた。

ランダム振動試験においては、目標とする加速度パワースペクトル密度 (Acceleration Power Spectral Density, 以下 PSD と略記) プロファイルを逆フーリエ変換することにより加振機上で実現すべき振動加速度時間波形が得られるが、その他の試験法を含む振動試験の振動条件 (振動波形、加振時間、積載方法等) では、実輸送により生じる被試験物の疲労損傷を再現できるこ

とが求められる。その実現のためには、想定する物流条件での実際の輸送環境を計測し、その計測結果に基づいて時刻歴波形 (あるいは PSD プロファイル) 等を設定することが求められる²⁾。

しかし、保有する設備等による制限のため、それを実行できる試験者は、極めて稀である。

一方、ISO (International Organization for Standardization) の ISO 13355³⁾、ASTM (American Society for Testing and Materials) の ASTM D 4169⁴⁾、あるいは、JIS (Japanese Industrial Standard) の JIS Z 0232⁵⁾ などの振動試験規格には、推奨条件あるいは参考として試験に用いる PSD プロファイルが提示されているが、その PSD プロファイルが試験実施者にとって適切なものかどうかを判断することも困難な状況にある。

そこで、本研究では、実測データから試験用 PSD プロファイルを導出する方法を提案すると

表1 設定した輸送シナリオ

輸送ルート	工場	⇒	配送センター	⇒	販売会社	⇒	小売店
輸送モード	大型トラック		大型トラック		大型および中型トラック		
道路の種別 (走行速度)	高速道路 (80km/h)		高速道路 (80km/h)		一般道路(悪路を含む) (40km/hまたはそれ以下)		

* 1 : 輸送シナリオの平均走行速度≒80km/h.
1 km 当たりの平均走行時間=0.75min/km=45sec/km.

同時に、日本国内の実測データに基づき、一般的な輸送振動条件を再現できるPSDプロファイルを試験条件として提案する。

併せて、得られたPSDプロファイルのレベルを変更することにより、試験時間を短縮する方法および、それにより導出したPSDプロファイルを報告する。

1. 理論および実験方法

1) 輸送環境の平均化の考え方

最近の輸送環境計測においては、データフレーム(データポイント数)が1,024ポイント程度の比較的小さなデータフレームをもつ多くの加速度時刻歴データ(以下、時刻歴データと略す)が収集され、収集された時刻歴データから、フーリエ変換によって多数のPSDプロファイルが得られる。輸送環境計測で得られるこれら多数のPSDプロファイルを、統合化して、単一の試験用PSDプロファイルを導き出す方法が種々提案されている^{6)~15)}が、ここでは、シナリオに基づく平均化手法を採用することとした。すなわち、輸送条件を振動強度からクラス分けし、各クラスの出現比率を考慮して、PSDの平均化を行う。

具体的には、輸送条件のクラスごとにPSDのレベルの上限と下限を設定し、それぞれのPSD範囲に入る波形を、当該のPSDプロファイルとして取り扱う。各クラスに含まれるPSDを平均化することで、クラスごとのPSDを確定する。

次に、クラスごとの出現比率を乗じて、各クラスのPSDを加算することで、統合化されたPSDプロファイルを得る。

表2 PSDレベルによるクラス分け

振動強度の区分		PSD (g^2/Hz)
A	良	0.005以下
B	普通	0.005~0.03
C	悪	0.03以上

2) 設定した輸送シナリオ

輸送経路は、製品工場から配送センター、配送センターから販売物流センター、販売物流センターから小売店、の3段階とした。

表1に、想定した輸送車両および、走行する道路の種類、走行速度等の詳細を示す。

3) 振動レベル区分の設定

表1のシナリオで実際に発生する振動は、路面、サスペンション、運転状況などにより異なるため、より直接的に振動パワー値で区分する方法として、International Roughness Index (Sayers, 1986)^{16) 17)}を利用した5段階の路面粗さ指標(極良~極悪の5段階)^{18) 19)}を参考に、PSDレベルに基づいて、一般的な走行環境を想定した、良(A)、普通(B)、悪(C)の3段階に区分した(表2)。

4) 時刻歴データ・PSDの収集

PSDレベル区分A、B、Cに相当する振動計測のために、表3に示す条件で、実輸送経路におけるトラック荷台振動の時刻歴データおよび、そのPSDを収集した。

5) PSDの平均化と統合化単一PSDの導出

PSDレベル区分ごとのPSDプロファイルを平均化し、PSD区分ごとの平均化PSDプロファイルを取得した。得られた平均化PSDプロファイル

表3 実走行振動データの収集条件

振動強度区分	車両の種類および振動計測位置	積載率	道路の種類地域	データ採取方法
A	種類：13トン積大型トラック 懸架装置：板ばね形 測定位置：荷台後部	満載	高速道路 西日本	記録方式：連続計測記録 測定機器：独自構成装置 (三菱電機ロジスティクス(株))
B	種類：13トン積大型トラック 懸架装置：板ばね形 測定位置：荷台後部	満載	高速道路 西日本	記録方式：連続計測記録 測定機器：独自構成装置 (三菱電機ロジスティクス(株))
C	種類：11トン積大型トラック 懸架装置：板ばね形 測定位置：荷台後部	満載	一般国道 積雪あり 北海道	記録方式：間欠計測記録 加速度トリガー (0.087g) 測定機器：EDR-3 (Instrumented Sensor Technology, Inc.)

表4 PSD レベル区分ごとの出現比率

振動強度の区分		出現比率 (%)
A	良	30
B	普通	69
C	悪	1
合計		100

ルを、表4の出現比率に基づいて重み付け平均を行い、疲労等価PSDプロファイルを導出した。

6) 試験時間の短縮手法

(1) 微小振動の除去を利用した時間短縮 (時間短縮-1)

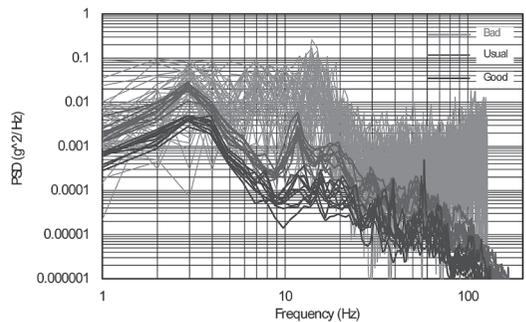
実輸送において低レベル加速度の振動 (微小振動) は、疲労破壊に対する寄与が小さいと考えられる。そこで、加速度時刻歴データからゼロクロスピークカウント法により微小振動 ($10^5 \sim 10^6$ 個以上が観測される加速度レベル) を抽出し、抽出されたデータを時刻歴データから削除することで、振動処理時間を短縮する方法を適用した。さらに、ブレイクポイントを少なくするために、単純化した疲労等価PSDプロファイルを導出した。

(2) S-N曲線を利用した時間短縮 (時間短縮-2)

疲労破壊の原理に基づいて、S-N 曲線 ($N \cdot G^a = \beta$) の a の値を仮定し、加速度 PSD に1.0以上の係数を乗ずることで、時間短縮を図る方法を適用した。

周波数が一定の場合、時間短縮前の試験時間

図1 レベル区分ごとの PSD プロファイル



を T_1 、加速度を G_1 、時間短縮後の時間を T_2 、加速度を G_2 とすると、下記の(1)式が成り立つ。

$$T_2/T_1 = (G_1/G_2)^a \quad (1)$$

(1)式を T_2 について解くと、(2)式が得られる。

$$T_2 = T_1 \cdot (G_1/G_2)^a \quad (2)$$

2. 結果および考察

1) レベル区分ごとの PSD プロファイル

得られた全PSDプロファイルについて、レベル区分ごとに分類したPSDプロファイルを、図1に示す。

2) レベル区分ごとの平均 PSD プロファイル

図1に含まれるレベル区分ごとのPSDプロファイルをそれぞれ平均化し、PSD区分ごとの平均化PSDプロファイルを取得し、図2に示した。

3) 疲労等価 PSD プロファイルの導出

表3の重み付け平均を行い、疲労等価PSDプロファイルを導出した (図2)。

図2 レベル区分ごとの平均および疲労等価PSDプロファイル

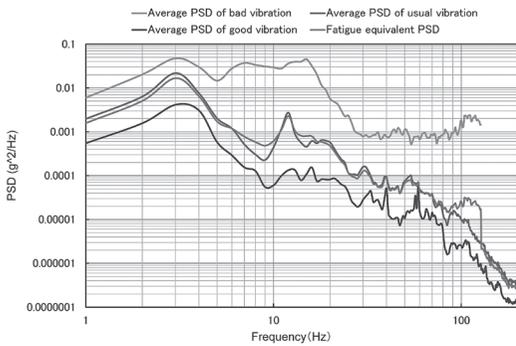
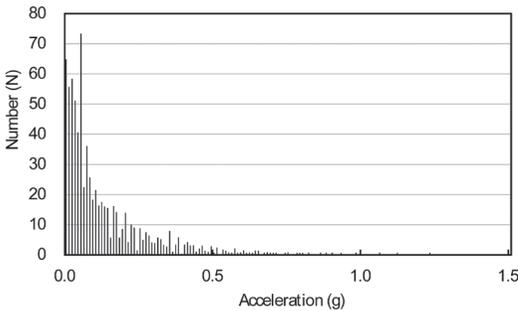


図3 ヒストグラム A (加速度範囲は約3g)



4) 時間短縮-1

ゼロクロスピークカウント法で得られた、1 km 走行に相当するピーク加速度の頻度分布を図3に示す。この中から、実輸送時間に相当する時間長で $10^5 \sim 10^6$ 個以上の出現頻度となる低加速度レベルの振動を除去した後の頻度分布を図4に示す。図3における総振動回数は756、図4の総振動回数は373であった。したがって、微小振動を除去した後の時間波形長は、元の時間波形長に比べて、 $373/756 = 0.493$ に短縮されることが考えられる。すなわち、微小振動を除去した時刻歴データからPSDプロファイルを導出し、そのPSDプロファイルを振動試験に用いることで、試験時間を0.5倍に短縮できる。

図5に、得られたPSDプロファイル (PSD_A) を示す。

また、振動試験機の駆動可能な範囲を考慮するとともに、PSDプロファイルの単純化を図る

図4 ヒストグラム B (微小振動除去後)

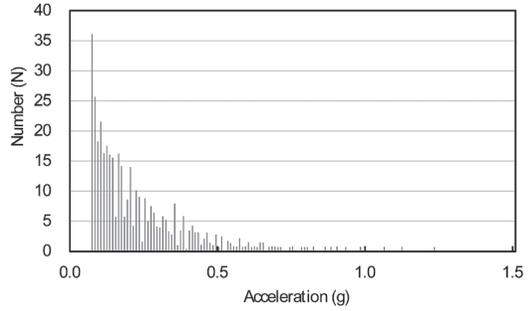
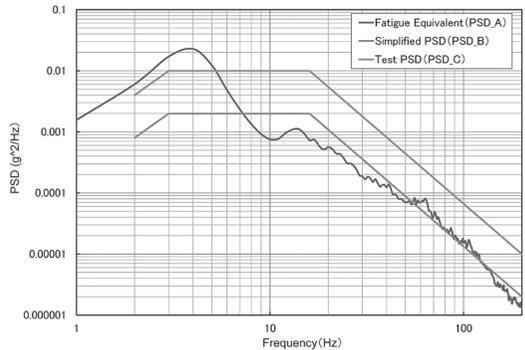


図5 ヒストグラム B に基づく PSD (PSD_A), PSD_A の疲労等価 PSD (PSD_B), PSD_B による振動に比べて振動時間を1/5にする試験用 PSD (PSD_C)



ために、単純化した疲労等価PSDプロファイル (PSD_B) を導出し、図5に併せて示した。

5) 時間短縮-2

実用的な試験時間とするため、S-N曲線 ($N \cdot G^a = \beta$) の a の値として2.0を仮定し試験時間を1/5に短縮するための処理を行った。なお、 $a = 2.0$ は、対象材料が多種または不明な場合を考慮し、加速度レベル差により理論上の疲労が大きく変動することを避けるためである。

図5のPSD_Bに対して時間短縮-2を施したPSDプロファイル (PSD_C) を図5に示す。

6) 輸送距離と試験時間

試験実施時間は、想定する輸送距離に応じて、表5から選択するものとする。

3. おわりに

今回導出したPSDプロファイルをランダム振動

表5 輸送距離と振動試験時間の関係

輸送距離 l (km)	試験時間 T_{test} (min)
$l \leq 200$	15
$200 < l \leq 500$	30
$500 < l \leq 1,000$	60
$1,000 < l \leq 1,500$	90
$1,500 < l \leq 2,000$	120
$2,000 < l \leq 2,500$	150
$2,500 < l$	180

に利用することで、日本国内の一般的な輸送条件(国際的にみて比較的良好な輸送条件)での物流における包装が適正化され、疲労による輸送事故の防止、過剰包装による資源利用の無駄の排除と環境負荷の低減が図られるものと期待される。

大いなる活用が望まれる。

謝辞

本報告内容は、ISO/TC 122国内対策委員会第一分科委員会において、2006年度から継続的に検討が行われた成果をとりまとめたものである。関係機関および関係各位(文末の参考資料に第一分科委員会委員名を記載)に深謝する。

この調査研究は、株式会社三菱総合研究所からの委託で、経済産業省の個別産業技術分野に関する標準化：テーマ名「包装貨物性能評価に関する国際標準開発に関する調査研究」の一部として実施したものの成果である。

引用文献

- 1) Peter J. Caldicott (1991), Distribution Testing – Sine or Random, Packaging Technology and Science, 4, 287–291
- 2) Michael A. Sek (1992), A Modern Technique of Transportation Simulation for Package Performance Testing, Packaging Technology and Science, 9, 327–343
- 3) ISO 13355, Packaging – Complete, filled transport packages and unit loads – Vertical random vibration test
- 4) ASTM D 4169, Standard Practice for Perfor-

mance Testing of Shipping Containers and Systems

- 5) JIS Z 0232, 包装貨物 – 振動試験方法(英語名称: Packaged freights – Method of vibration test)
- 6) 臼田浩幸・椎名武夫・石川豊・佐竹隆顕 (2006), 青果物の損傷性を考慮したランダム振動試験法の開発, 農業施設, 37(1), 3–9
- 7) Jagjit Singh, S. Paul Singh and Eric Joneson (2006), Measurement and Analysis of US Truck Vibration for Leaf Spring and Air Ride Suspensions, and Development of Tests to Simulate these Conditions, Packag. Technol. Sci., 19, 309–323
- 8) Garcia-Romeu-Martinez MA, Singh SP, Cloquell-Ballester VA (2008), Measurement and analysis of vibration levels for truck transport in Spain as a function of payload, suspension and speed. Packaging Technology and Science 21(8), 439–451
- 9) Singh SP, Joneson E, Singh J, Grewal G. (2008), Dynamic analysis of less-than-truckload shipments and test method to simulate this environment. Packaging Technology and Science, 21(8), 453–466
- 10) Vane Chonhenchob, Sher Paul Singh, Jay Jagjit Singh, Sukasem Sittipod, Dathpan Swasdee and Supoj Pratheepthinthong (2010), Measurement and Analysis of Truck and Rail Vibration Levels in Thailand, Packag. Technol. Sci., 23, 91–100
- 11) Kyle Dunno (2014), Experimental Evaluation of Techniques Designed to Reduce Vibration Simulation Test Time, Journal of Applied Packaging Research, 6(2), Article 1, 1–10
- 12) Eric Joneson (2007), Developing a Random Vibration Profile Standard, 23rd IAPRI Symposium, Beaumont House, Windsor
- 13) Rouillard V. (2008), Generating road vibration test schedules from pavement profiles for packaging optimization, Packaging Technology and Science, 21(8), 501–514
- 14) ISTA (2014), Guidelines for Selecting and Using Ista® Test Procedures & Projects (<http://www.ista.org/forms/ISTAGuidelines.pdf>)
- 15) SRETS, Final Report, Contact N° SMT4-CT95-2005 (DG12-RSMT)
- 16) Michael W Sayers, Thomas D. Gillespie, and William D. O. Paterson (1986), Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, WORLD BANK TECHNICAL PAPER NUMBER 46
- 17) Sayers, M.W and Karamihas, S.M. (1998). The

- Little Book of Profiling : Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. University of Michigan, Ann Arbor
- 18) ISO (1982), Reporting vehicle road surface irregularities, TC 108/SC 2/WG 4, N57
- 19) Sayers, M.W. (1989), Two Quarter-Car Models for Defining Road Roughness : IRI and HRI, Transportation Research Board, Washington, D.C. (Transportation Research Record 1215)

参考資料 (平成18年度からの第一分科委員会)

1. 主査・副主査

平成18 (2006) 年度

(主) 前澤英一 (三菱電機株)

(副) 高橋二郎 (日立電子サービス株)

平成19 (2007) 年度

(主) 君塚郁夫 (日本アイ・ビー・エム株)

(副) 高橋二郎 (日立電子サービス株)

(副) 椎名武夫 (食品総合研究所)

平成20 (2008) 年度

(主) 君塚郁夫 (日本アイ・ビー・エム株)

(副) 高橋二郎 (日立電子サービス株)

(副) 椎名武夫 (食品総合研究所)

平成21 (2009) 年度

(主) 君塚郁夫 (日本アイ・ビー・エム株)

(副) 高橋二郎 (日立電子サービス株)

(副) 椎名武夫 (食品総合研究所)

平成22 (2010) 年度

(主) 君塚郁夫 (日本アイ・ビー・エム株)

(副) 高橋二郎 (日立電子サービス株)

(副) 椎名武夫 (食品総合研究所)

平成23 (2011) 年度

(主) 君塚郁夫 (日本アイ・ビー・エム株)

(副) 高橋二郎 (日立電子サービス株)

(副) 椎名武夫 (食品総合研究所)

平成24 (2012) 年度

(主) 椎名武夫 (食品総合研究所)

(副) 高橋二郎 (株)日立システムズ)

(副) 中嶋隆勝 (大阪府立産業技術総合研究所)

平成25 (2013) 年度

(主) 椎名武夫 (食品総合研究所)

(副) 高橋二郎 (株)日立システムズ)

(副) 中嶋隆勝 (大阪府立産業技術総合研究所)

平成26 (2014) 年度

(主) 椎名武夫 (千葉大学大学院)

(副) 高橋二郎 (株)日立システムズ)

(副) 中嶋隆勝 (大阪府立産業技術総合研究所)

2. 委員 (ランダム振動対応サブワーキンググループ, オブザーバーを含む)

金子武弘 (ソニー株) (H18~)

中嶋隆勝 (大阪府立産業技術総合研究所) (H18~)

小島瞬治 (東洋製罐株) (H18~)

米井正夫 (株)MTI) (H18)

三浦一憲 (レンゴー株) (H18~)

小勝則次 (富士ゼロックスアドバンステクノロジー株) (H18~)

君塚郁夫 (日本アイ・ビー・エム株) (H18~)

松田孝司 (株)日立物流) (H18~)

高森秀夫 (ユニットロード研究所) (H18~)

田中勇 (株)リコー) (H18~)

小林武 (三菱電機ロジスティクス株) (H18~)

豊田實 (吉田精機株) (H18~)

酒井善治 (IMV株) (H18~)

椎名武夫 (食品総合研究所) (H18~)

澤村邦夫 (社)日本包装技術協会) (H19~)

田中省三 (松下電器産業株) (H19~)

横山浩二 (株)MTI) (H19~)

川口和晃 (神栄テクノロジー株) (H20~)

和田哲男 (パナソニック MCE株) (H20~)

長田進 (アイビーテック株) (H21~)

打田宏 (全国農業協同組合連合会) (H21~)

山原栄司 (レンゴー株) (H22~)

中嶋理志 (株)日通総合研究所) (H22~)

中川幸臣 (愛知県産業技術研究所) (H22~)

平川憲一郎 (日野自動車株) (H22~)

山内佳門 (IMV株) (H22~)

武田正臣 (三菱電機株) (H22~)

斎藤勝彦 (神戸大学大学院) (H22~)

高木雅広 (エクサーチ LLC 合同会社) (H22~)

米原康志 (三井住友海上火災保険株) (H22~)

山崎正博 (三菱電機株) (H22~)

関根信宏 (日本梱包工業組合連合会) (H23~)

越野滋夫 (社)日本包装技術協会) (H23~)

狩野成昭 (経済産業省) (H23~)

釜土裕一 (経済産業省) (H23~)

石塚義夫 (石塚包装設計・開発事務所) (H23~)

徳永嘉則 (パナソニック株) (H23~)

山野慎司 (経済産業省) (H24~)

野村秀徳 (経済産業省) (H25~)

井上良隆 (IMV株) (H25~)

荒川浩司 (三菱電機ロジスティクス株) (H25~)

宮正徳 (株)MTI) (H26~)

福本博二 ((一社)日本パレット協会) (H26~)

3. 事務局

古屋一 ((公社)日本包装技術協会)

高山臣旦 ((公社)日本包装技術協会)

酒井和家 ((公社)日本包装技術協会)

平井純一 ((公社)日本包装技術協会)

伊名田利秀 ((公社)日本包装技術協会)

石崎奈保子 ((公社)日本包装技術協会)