

輸送条件および振動試験環境に応じた 3軸加速度パワースペクトル密度の設定方法

川口和晃*

Method for Creating 3-axis PSDs for Random Vibration Test Considering Transport Condition and Test Environment

Kazuaki KAWAGUCHI*

包装貨物振動試験は、包装設計の防振機能を評価するための試験であり、ランダム振動試験方法が主流である。試験条件となる加速度パワースペクトル密度 (PSD) は、JIS Z 0200:2023 に垂直方向の一定条件のみが規定されているが、一方で JIS Z 0232:2020 によると、使用する輸送車両や路面状況によって PSD は大きく変化するため、実測データにもとづく PSD を用いた試験が推奨されているものの、実測データの取得は容易でない。

本報告では、実測データ取得が困難な場合でも、より現実の輸送振動に近い振動試験を行うための PSD を簡易に設定できる方法の提案を目的とし、日本国内のトラック輸送と鉄道輸送で計測された 3 軸振動データをもとにして、任意の輸送条件および試験環境に即した方向別のランダム振動試験用 PSD プロファイルの設定方法を示した。

Vibration tests have been conducted for a package using a random vibration method to evaluate the anti-vibration function of the package. The acceleration power spectral density (PSD) as a random vibration test condition is regulated using JIS Z0200:2023, which only demonstrates the vertical condition. However, JIS Z0232:2020 proposes the use of PSD developed using actual transport vibration data obtained through field-data recording owing to significant changes in the shape of PSD curves based on various transport conditions. However, the recording of actual transport data is often difficult.

This study proposes a method to determine PSD for conducting a more realistic random vibration test than the use of JIS-based PSD, even with the difficulties involved in individually collecting field data. I propose a simple calculation method for PSD test profile based on random transport conditions and test environment using actual transport PSD curves obtained through truck and rail vibrations with three-axis.

キーワード：包装設計、振動試験、パワースペクトル密度、実輸送調査

Keywords : Package Design, Vibration Test, Power Spectrum Density, Field Data Measurement

* 神楽テクノロジー株式会社, SHINYEI TECHNOLOGY CO.LTD. 〒650-0047 神戸市中央区港島 6-5-2
6-5-2, Minatojima-Minamimachi, Chuo-ku, Kobe, 650-0047, JAPAN
TEL:078-304-6795, FAX:078-302-1225, Email:k-kawaguchi@stc.shinyei.co.jp

1. 緒言

包装貨物振動試験は、貨物輸送中に発生する振動に対し、包装貨物の防振性能評価や品質管理が主な目的である。その加振方法はランダム振動が主流であり、振動試験条件である加速度パワースペクトル密度（以降、PSD）は、JIS Z 0200:2023 包装貨物-性能試験方法一般通則（以降、JIS）に垂直方向の一定条件のみ設定されている。一方で、JIS Z 0232:2020 包装貨物-振動試験方法によると、PSD は輸送車両や路面状況などによって大きく変化するため、実輸送振動データにもとづく PSD と試験時間があれば、それを用いた振動試験を行うことが望ましい、との記載がある。このことは、JISに定められた一定条件のPSDだけを用いた振動試験では、十分な振動評価ができていない可能性を示唆している。そこで実際の輸送環境に沿った振動試験条件を開発するための取り組み¹⁾が行われているものの、試験条件の基礎となる実輸送振動データの取得は、物流関係者との調整や測定環境の整備などが必要となるため、容易とはいえない。

本報告では、実輸送振動データ取得が困難な場合でも、使用者がそれぞれの状況に応じ、高い自由度でランダム振動試験条件を簡易に設定できる方法を提案する。これにより、JISに掲載されているPSDと比較して、実輸送に近い振動条件が再現でき、包装設計の適正評価に寄与することが期待される。

2. 輸送条件および試験環境に応じたパワースペクトル密度の算出方法

2.1 提案法の概要

本提案では、これまでに取得された実輸送データ²⁾³⁾を用いて、様々な輸送条件と試験環境を加味したランダム振動試験用のPSDを任意に算出する。これは輸送振動データを保有していない場合でも、JISと比較して、より実輸送に近い振動試験を実施したいときに利用することを想定した提案である。また、ここでは既出データの活用を前提としているため、使用者に同様のデータ取得を要求するものではない。以降に本提案における基本的考え方を示す。

まず、輸送モード（トラック輸送および鉄道輸送）ごとに測定された実輸送振動データをもとに、振動レベルに応じた3条件のPSD（以降、 PSD_{raw} ）を求める。ここで、振動試験機の制御装置への入力を簡便化するために、PSD形状を単純化⁴⁾した PSD_{raw} を、基本PSD（以降、 PSD_{std} ）と定義する。なお、ここで定義した3条件の PSD_{std} の試験条件への適用は、使用者が自由に設定できる。たとえば3条件のうち1条件のみを試験条件に適用する、または2条件以上を組み合わせた試験条件を採用してもよい。さらに PSD_{std} は上下、前後、左右の3軸情報を持つため、水平軸の振動試験や、3軸同時加振を行う場合に適用できる。

次に、使用者が自社の輸送環境に応じて、輸送モードの選定、振動レベル区分、実輸送時間、振動試験時間、製品の疲労特性である加速係数を設定したのち、 PSD_{std} に対して時間短縮に伴い加速度実効値（以降、実効値）を補正した試験PSD（振動試験機の制御装置に入力するためのPSD、以降 PSD_{test} ）を算出する。なお、2つ以上の振動区分による PSD_{std} を利用する場合の標準、強振、悪路の発生割合

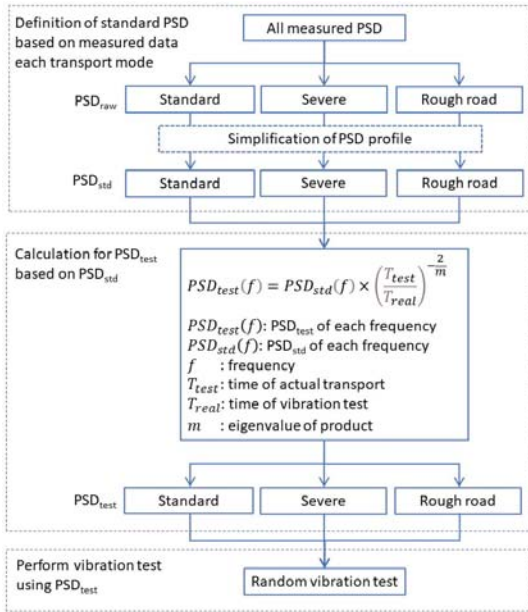


Fig.1 Outline of proposal method

は、自社の輸送環境によって自由に設定できる。これらが不明な場合は、たとえば仮の割合で試験条件を開発し、それを用いた振動試験の結果と実輸送における貨物の損傷程度を比較しながら、適切な値を決定するなどが考えられる。

振動試験では、上記で計算された PSD_{test} と設定した試験時間を用いる。

以上の内容を整理した本提案のコンセプトイメージを Fig.1 に示す。

2.2 基本 PSD と試験 PSD の考え方と計算方法

ここでは PSD_{std} の設定方法および PSD_{test} の算出方法について述べる。

はじめに、全輸送の中で生じる振動の中で、平均的な振動レベル（以降、標準 PSD）、比較的大きい振動レベル（以降、強振 PSD）、厳しい振動レベル（以降、悪路 PSD）に区分する。

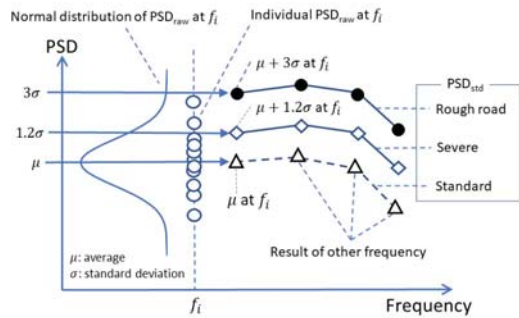


Fig.2 Classification image for standard PSD based on measured PSD

標準 PSD は、トラック輸送、鉄道輸送別に計測されたすべてのデータから得られる周波数毎の PSD の平均値とする。強振 PSD は、周波数毎の PSD のばらつきを正規分布と仮定し、PSD の累積分布がおよそ 90% となる地点と定義した⁵⁾。すなわち、標準 PSD に対して周波数毎に算出された PSD の標準偏差の 1.2 倍を加算すれば強振 PSD が算出できる。同様に悪路 PSD は標準偏差の 3 倍となる値とした。Fig.2 に標準 PSD と強振 PSD、悪路 PSD の概念図を示す。これを 3 方向それぞれで計算する。さらにここでは、前後、左右方向を統一した水平方向 PSD も設定する。これは、前後、左右方向の試験を行う際に、包装貨物に対し振動印加方向が事前には不明である場合が想定されるため、より安全な条件で試験を実施したい場合に利用できる PSD として、前後方向と左右方向の PSD における各周波数の最大値から設定した。最後に、上記の PSD を単純化した結果を PSD_{std} とする。単純化作業は PSD_{raw} のプロファイルの特徴を維持しつつ、単純化後の PSD の実効値が PSD_{raw} の実効値の ±5% 以内となるようにブレイクポイントを設定した。ここで、標準 PSD と強振 PSD、悪路

PSD を、それぞれ $PSD_{std,a}$ 、 $PSD_{std,b}$ 、 $PSD_{std,c}$ とする。

次に、振動試験を行うための PSD 補正方法について述べる。ここでは PSD_{std} に対して、時間短縮に伴う実効値の補正を行うことで PSD_{test} を設定する。このとき包装振動試験で一般的に用いられている疲労損傷の考え方⁴⁾ にもとづき、式(1)によって、 PSD_{std} を補正する。

$$PSD_{test}(f) = PSD_{std}(f) \times \left(\frac{T_{test}}{T_{real}} \right)^{\frac{2}{m}} \dots (1)$$

ここで、 $PSD_{test}(f)$ は周波数 f 毎の PSD_{test} 、 $PSD_{std}(f)$ は周波数 f 毎の PSD_{std} 、 T_{test} は振動試験時間、 T_{real} は実輸送時間、 m は製品の疲労損傷特性を示す加速係数である。なお、ここでの PSD の単位は $(m/s^2)^2/Hz$ とした。また振動試験時間および実輸送時間の単位は h または min. のいずれでもよいが、式(1)に代入する場合は時間単位を統一しておく必要がある。

以上から算出される標準 PSD、強振 PSD、悪路 PSD における PSD_{test} をそれぞれ $PSD_{test,a}$ 、 $PSD_{test,b}$ 、 $PSD_{test,c}$ とする。このとき、 T_{test} 、 T_{real} 、 m および実輸送と振動試験におけるそれぞれの時間配分は、使用者が任意の条件を設定することで、様々な輸送条件および製品の疲労特性を含めた試験環境に応じた試験条件が得られる。

3. トラック輸送振動における基本 PSD

ここでは、実際のトラック輸送で得た振動データ²⁾の諸元と、得られた PSD_{std} について述べる。

3.1 トラック輸送振動計測条件

実測振動データは、輸送環境記録計（型式 DER-1000、神栄テクノロジー製）を用い、条件設定を時間トリガモード、サンプリングレート 1ms、フレーム長 1024 に統一し、いずれもトラック荷台上に記録計 1 台を固定して実輸送で生じる 3 軸振動データを測定した。

Table 1 は計測されたトラック輸送振動の計測条件である。

Table 1 Sampling data of Truck vibration

No.	Tonnage	Suspension	Road type / Driving area
1	2	Leaf	Local road / Kansai
2	2	Leaf	Highway / Kansai
3	3	Leaf	Highway / Kanto to Tokai
4	3	Leaf	Highway / Kanto to Tokai
5	4	Air	Local road / Kanto
6	4	Air	Highway / Kanto
7	4	Air	Local road / Kanto
8	4	Air	Highway / Kanto
9	4	Air	Local road / Kansai
10	4	Leaf	Local road / Kansai
11	4	Air	Highway / Kansai
12	4	Leaf	Highway / Kansai
13	7	Air	Local road / Kansai
14	7	Air	Highway / Kansai
15	10	Air	Local road / Kanto
16	10	Air	Local road / Hokuriku
17	10	Air	Local road+Highway / Kanto to Kyushu
18	10	Air	Highway / Kanto
19	10	Air	Highway / Hokuriku
20	10	Air	Local road+Highway / Hokuriku
21	13	Air	Highway / Kanto
22	13	Air	Local road / Tokai
23	13	Air	Local road / Tokai
24	13	Air	Highway / Tokai
25	15	Air	Local road / Kansai
26	15	Air	Highway / Kansai

Table 2 PSD_{std} of Truck for vertical

<i>f</i> (Hz)	PSD _{std,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.12	0.22	0.37
2	0.25	0.48	0.7
3	0.25	0.48	0.7
6	0.028	0.067	0.12
8	0.048	0.14	0.4
20	0.048	0.1	0.2
40	0.0025	0.007	0.015
70	0.0025	0.007	0.015
80	0.005	0.02	0.04
100	0.001	0.002	0.004
120	0.005	0.02	0.04
200	0.005	0.02	0.04
RMS (m/s ²)	1.49	2.42	3.42

Table 3 PSD_{std} of Truck for lateral

<i>f</i> (Hz)	PSD _{std,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.013	0.03	0.045
2	0.013	0.03	0.045
5	0.004	0.007	0.012
18	0.07	0.14	0.235
40	0.001	0.003	0.005
200	0.0003	0.001	0.002
RMS (m/s ²)	0.88	1.30	1.70

Table 4 PSD_{std} of Truck for longitudinal

<i>f</i> (Hz)	PSD _{std,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.02	0.06	0.12
2	0.03	0.1	0.2
5	0.01	0.024	0.05
9	0.01	0.024	0.05
10	0.005	0.014	0.025
13	0.005	0.014	0.025
18	0.014	0.05	0.1
40	0.0014	0.004	0.007
70	0.0014	0.004	0.007
200	0.0002	0.0005	0.001
RMS (m/s ²)	0.63	1.08	1.50

Table 5 PSD_{std} of Truck for overall horizontal

<i>f</i> (Hz)	PSD _{std,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{std,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.02	0.06	0.12
2	0.03	0.1	0.19
5	0.01	0.025	0.048
7	0.01	0.025	0.048
18	0.07	0.14	0.235
40	0.0015	0.004	0.007
70	0.0015	0.004	0.007
200	0.0003	0.001	0.002
RMS (m/s ²)	0.96	1.47	1.96

3.2 トラック輸送における基本 PSD

前項で得られたトラック輸送振動データから定義された各方向の PSD_{raw} と PSD_{std} をそれぞれ Fig.3 と Fig.4 に示す。Table 2~5 は、方向別の PSD_{std} の詳細と実効値である。これらに対し、任意の T_{test}、T_{real} および m を式(1)に代入することで、トラック輸送における PSD_{test} が得られる。なお、前後方向がトラック進行方向軸を意味する。

4. 鉄道輸送振動における基本 PSD

ここでは、実際の鉄道輸送で得た振動データ³⁾にもとづく基本 PSD について述べる。

4.1 鉄道輸送振動計測条件

鉄道振動計測に用いた輸送環境記録計および計測条件は、3.1 と同一とした。鉄道輸送の振動計測は同一コンテナ内の前方、中央、後方に配置されるプラスチックパレットのフォーク差込口に輸送環境記録計を設置し、3 台同時に振動を計測した。各条件を Table 6 に示す。

4.2 鉄道輸送における基本 PSD

前項で得られた鉄道輸送振動データから定義された方向別の PSD_{raw} と PSD_{std} を Fig.5~6 に示す。また Table 7~10 は方向別の PSD_{std} の詳

Table 6 Sampling data of Rail vibration

No.	Container type	Route	Measurement Point
1	12 feet	Saitama to Iwate	Front of container
2	12 feet	Saitama to Iwate	Center of container
3	12 feet	Saitama to Iwate	Rear of container
4	12 feet	Hyogo to Saitama	Front of container
5	12 feet	Hyogo to Saitama	Center of container
6	12 feet	Hyogo to Saitama	Rear of container

細である。トラック輸送と同様、これらに対し任意の T_{test} 、 T_{real} および m を式(1)に代入することで、鉄道輸送における PSD_{test} が得られる。

また、トラックと同様に前後方向が鉄道車両の進行方向軸である。

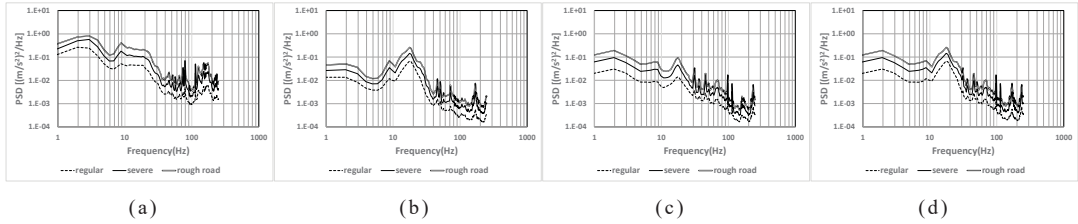


Fig.3 PSD_{raw} by Truck (a) vertical (b)lateral (c)longitudinal (d) overall horizontal

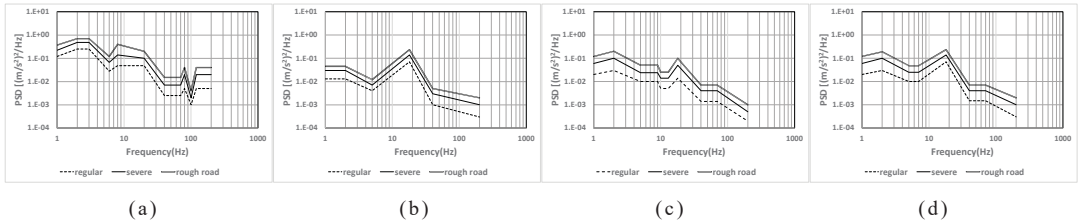


Fig.4 PSD_{std} by Truck (a) vertical (b)lateral (c)longitudinal (d) overall horizontal

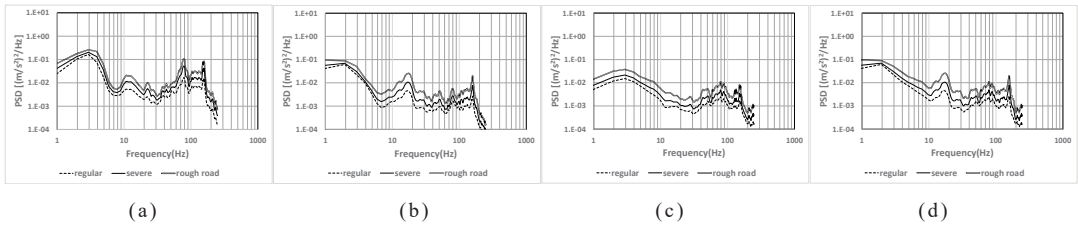


Fig.5 PSD_{raw} by Rail (a) vertical (b)lateral (c)longitudinal (d) overall horizontal

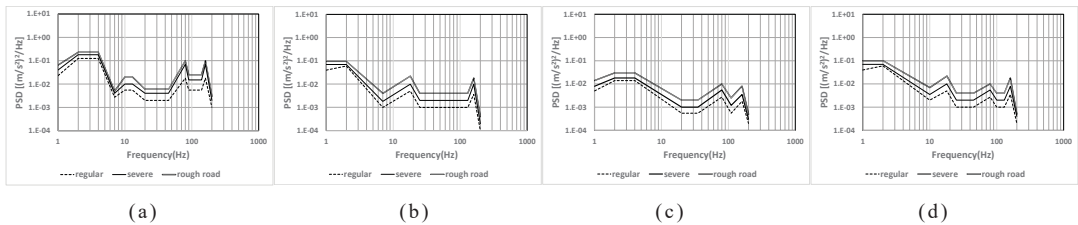


Fig.6 PSD_{std} by Rail (a) vertical (b)lateral (c)longitudinal (d) overall horizontal

Table 7 PSD_{std} of Rail for vertical

f (Hz)	$PSD_{std,a}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,b}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,c}$ [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.023	0.040	0.065
2	0.125	0.180	0.230
4	0.125	0.180	0.230
7	0.003	0.004	0.005
10	0.006	0.010	0.020
13	0.006	0.010	0.020
20	0.002	0.004	0.006
45	0.002	0.004	0.006
80	0.018	0.070	0.100
90	0.006	0.015	0.025
140	0.006	0.015	0.025
160	0.018	0.070	0.100
200	0.001	0.002	0.003
RMS (m/s ²)	1.28	2.06	2.51

Table 8 PSD_{std} of Rail for lateral

f (Hz)	$PSD_{std,a}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,b}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,c}$ [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.04	0.07	0.095
2	0.06	0.07	0.095
7	0.001	0.0018	0.004
18	0.005	0.01	0.022
25	0.001	0.002	0.004
130	0.001	0.002	0.004
160	0.0036	0.01	0.018
200	0.0001	0.0002	0.0004
RMS (m/s ²)	0.59	0.83	1.13

Table 9 PSD_{std} of Rail for longitudinal

f (Hz)	$PSD_{std,a}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,b}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,c}$ [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.005	0.008	0.014
2	0.014	0.018	0.03
4	0.014	0.018	0.03
20	0.00055	0.001	0.002
35	0.00055	0.001	0.002
80	0.0027	0.0055	0.01
110	0.00055	0.0012	0.0025
150	0.0018	0.0035	0.008
200	0.0002	0.0003	0.0005
RMS (m/s ²)	0.53	0.71	0.99

Table 10 PSD_{std} of Rail for overall horizontal

f (Hz)	$PSD_{std,a}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,b}$ [(m/s ²) ² /Hz]	$PSD_{std,c}$ [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.04	0.07	0.1
2	0.06	0.07	0.1
10	0.002	0.0035	0.007
18	0.005	0.01	0.022
25	0.001	0.002	0.004
45	0.001	0.002	0.004
80	0.0027	0.0055	0.01
100	0.001	0.002	0.004
130	0.001	0.002	0.004
160	0.0035	0.008	0.018
200	0.0002	0.0004	0.0005
RMS (m/s ²)	0.66	0.89	1.23

5. 試験 PSD 計算事例

ここでは、 PSD_{std} から PSD_{test} を算出するまでの事例を示す。

いま、輸送モードをトラック輸送とし、輸送距離 2000 km、 T_{test} は合計 1 時間、 m を 4 とし、3 条件の PSD をすべて利用した 3 軸振動試験条件の設定を考える。ここでは全輸送区間における $PSD_{test,a}$ 、 $PSD_{test,b}$ 、 $PSD_{test,c}$ の時間割合を 10:4:1 とする。

まず輸送距離 2000 km にかかる T_{real} は、トラックの平均走行速度を 70 km/時⁶⁾と仮定すると 28.6 時間となる。このとき指定された時間割合から $PSD_{std,a}$ 、 $PSD_{std,b}$ 、 $PSD_{std,c}$ における T_{real} は、それぞれ 19.1 時間 (1144 分)、7.6 時間 (457.6 分)、1.9 時間 (114.4 分) となる。同様に、 $PSD_{test,a}$ 、 $PSD_{test,b}$ 、 $PSD_{test,c}$ の T_{test} はそれぞれ 40 分、16 分、4 分となる。これらの数値を式(1)に代入することで得られた試験レベル毎の方向別 PSD_{test} および実効値を Table 11~14 に示す。

このように、輸送モード毎に T_{test} 、 T_{real} および m を入力することで、輸送条件および試験環境に応じた PSD_{test} が容易に得られる。今回の与条件では、これらを利用した 3 軸ランダム振動試験を、それぞれの設定時間で実施することとなる。

ただし、このとき計算された PSD_{test} そのままの数値では保有する振動試験機の仕様範囲を超えることも考えられる。このような場合には、たとえば周波数範囲を変更する (例: 1~200 Hz を 2~200 Hz とする)、PSD の値を一部変更する、希望する振動試験時間の設定を変更し PSD_{test} を再計算するなど、現場での調整が必要と考えられる。このことも踏

Table 11 PSD_{test} of Truck for vertical

<i>f</i> (Hz)	PSD _{test,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.641	1.176	1.978
2	1.336	2.566	3.742
3	1.336	2.566	3.742
6	0.150	0.358	0.641
8	0.257	0.748	2.138
20	0.257	0.535	1.069
40	0.013	0.037	0.080
70	0.013	0.037	0.080
80	0.027	0.107	0.214
100	0.005	0.011	0.021
120	0.027	0.107	0.214
200	0.027	0.107	0.214
RMS (m/s ²)	3.45	5.59	7.89

Table 12 PSD_{test} of Truck for lateral

<i>f</i> (Hz)	PSD _{test,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.069	0.160	0.241
2	0.069	0.160	0.241
7	0.021	0.037	0.064
18	0.374	0.748	1.256
25	0.005	0.016	0.027
120	0.002	0.005	0.011
160	0.069	0.160	0.241
200	0.069	0.160	0.241
RMS (m/s ²)	2.04	3.01	3.93

Table 13 PSD_{test} of Truck for longitudinal

<i>f</i> (Hz)	PSD _{test,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.107	0.321	0.641
2	0.160	0.535	1.069
5	0.053	0.128	0.267
9	0.053	0.128	0.267
10	0.027	0.075	0.134
13	0.027	0.075	0.134
18	0.075	0.267	0.535
40	0.007	0.021	0.037
70	0.007	0.021	0.037
200	0.001	0.003	0.005
RMS (m/s ²)	1.46	2.50	3.47

Table 14 PSD_{test} of Truck for overall horizontal

<i>f</i> (Hz)	PSD _{test,a} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,b} [(m/s ²) ² /Hz]	PSD _{test,c} [(m/s ²) ² /Hz]
1	0.107	0.321	0.641
2	0.160	0.535	1.016
5	0.053	0.134	0.257
7	0.053	0.134	0.257
18	0.374	0.748	1.256
40	0.008	0.021	0.037
70	0.008	0.021	0.037
200	0.002	0.005	0.011
RMS (m/s ²)	2.23	3.40	4.52

まえ、最終的に開発された PSD_{test} の妥当性は、実製品による検証試験により判断することが望ましい。

5. 結論

本報告では、実輸送データ取得が困難である場合でも、実輸送振動に近い振動試験の実施を目的として、既出の実輸送振動データを活用し、包装貨物ランダム振動試験のための試験 PSD を開発する方法を提案した。具体的には過去に日本国内で実測されたトラック輸送および鉄道輸送の 3 軸振動データから、振動レベル毎に 3 条件の基本 PSD を設定したうえで、使用者の輸送条件および製品の疲労特性を含めた試験環境に応じて実効値を補正するだけで、試験 PSD が容易に算出できることを、計算事例も含めて示した。

PSD は輸送車両や走行ルートなどによって変化することは前提としながらも、本提案に基づく試験 PSD を用いれば、JIS と比較して、より現実の輸送に近い振動再現が期待される。今後の課題として、トラック輸送と鉄道輸送が複合される輸送条件の PSD や、水平試験を軸毎に実施する場合の適切な条件設定方法について検討の余地がある。

<参考文献>

- 1) 津田和城、輸送振動に基づいた振動試験の試験条件作成方法に関する研究動向、日本包装学会誌 27(5),p.291 (2018)
- 2) 川口和晃、輸送環境調査における振動衝撃データの蓄積、日本包装学会誌 28(4)、p.239(2019)

- 3) 川口和晃、友藤 喜章、宮下 潤、鉄道輸送振動とトラック輸送振動の比較、日本包装学会、第 32 回年次大会研究発表会予稿集 p.86 (2023)
- 4) 斎藤勝彦監修、実務者のための力学的輸送包装設計ハンドブック、(株)テクノシステム、p.165 (2018)
- 5) 川口和晃、井上良隆、包装貨物ランダム振動試験条件の設計検討、日本包装技術協会、第 56 回全日本包装技術研究大会予稿集、p.158 (2018)
- 6) 長野潤一、トラック運転手の長時間労働：現状と対策、物流問題研究 64、p.8,(2015)

(原稿受付 2023 年 9 月 12 日)

(採録受理 2023 年 12 月 11 日)