

一般論文

製品衝撃強さ評価のための統計解析手法 第三報：階段法との比較検討

中嶋 隆勝*

Statistical Method for Mechanical Shock Fragility of Products — Comparison with Staircase Methods —

Takamasa NAKAJIMA*

製品の衝撃強さを統計的に把握する方法として、JIS Z 0119、ASTM D 3332などに準じた「各試料の衝撃強さを調べ、その結果を統計解析する」方法（以下、A法と称す）と、ISO 7765-1:1988、JIS K 7124-1:1999「プラスチックフィルム及びシート—自由落下のダート法による衝撃試験方法—第1部：ステアケース法」で活用されているステアケース法（以下、階段法と称する）に準じた「各試料の系統だった合格判定試験結果を統計解析する」方法（以下、B法と称す）がある。

本研究では、A法とB法の特徴を整理し考察するとともに、実際の衝撃実験により各特徴について検討した。その結果、得られた結論は以下のとおりである。

- ・ B法ではA法での約2倍の試料数が必要となる。
- ・ B法では蓄積疲労はなく、A法でも試験条件によっては蓄積疲労の影響は非常に小さいと考えられる。ただし、A法において、入力衝撃レベルの増加率を小さく設定すれば蓄積疲労は大きくなる。
- ・ A法、B法ともに試験前の製品衝撃強さ予測は重要であるが、B法では特に重要で必要試料数の増加、統計解析精度への悪影響が考えられる。

There are two statistical analyzing methods for mechanical shock fragility of products. The one is the method based on JIS Z 0119 or ASTM D 3332 “Standard Test Methods for Mechanical-Shock Fragility of Products, Using Shock Machines”. Specifically, each fragility will be measured and the obtained data will be analyzed statistically (hereinafter referred to as Method A). The other is the method based on ISO 7765:1988 or JIS K 7124-1:1999 “Plastics film and sheeting – Determination of impact resistance by the free-falling dart method – Part 1: Staircase methods”. Specifically, pass/fail test will conduct on each specimens systematically and the obtained results will be analyzed statistically (hereinafter referred to as Method B).

In this study, we will compare and examine the above two methods theoretically and experimentally. The main conclusions are as follows.

- ・ Method B requires twice as many specimens as method A.
- ・ Fatigue is not accumulated by method A. The effect of accumulated fatigue by method B is supposed to be limited. However, the accumulated fatigue will be large when the increasing ratio of input shock is large.
- ・ Both methods require forecast accuracy of fragility before testing. Especially in method B, the lack of forecast accuracy leads to the increasing number of specimens and the error of the statistical value of fragility.

キーワード：包装、衝撃強さ、統計解析、階段法、評価試験

Keywords : Packaging, Shock Fragility, Statistical analysis, Staircase Methods, Evaluation test

* (地独) 大阪府立産業技術総合研究所 〒594-1157 大阪府和泉市あゆみ野 2-7-1
TRI Osaka (Technology Research Institute of Osaka Prefecture) , 2-7-1, Ayumino, Izumi, Osaka 594-1157 Japan
TEL:0725-51-2711 FAX:0725-51-2639, Email:nakajima@tri-osaka.jp

1. はじめに

包装および製品設計のために製品衝撃強さ試験¹⁾²⁾が実施される。製品の衝撃強さの統計値を把握することは、市場での製品破損率を考慮した緩衝包装設計には必要不可欠である。そこで、著者らは、製品衝撃試験結果を統計解析する手法について検討を進めてきた。その手法は「一つ一つの試料について衝撃強さを調べ、その結果を統計解析する。」(以下、A法と称す)という考えに基づいている。一方、JIS K 7124-1「プラスチックフィルム及びシート—自由落下のダート法による衝撃試験方法—第1部：ステアケース法」などに記載されているステアケース法(以下、階段法あるいはB法と称す)は、「20点あるいはそれ以上の試料について系統立った合否判定試験を実施し、その結果を統計解析する。」という考え方である。本研究では、A法と同様に、B法を製品衝撃強さ試験方法に応用した場合を想定し、それぞれの長所および短所を整理するとともに、実際に二つの方法による衝撃実験および統計解析法を実施し、製品衝撃試験方法への適合性について検討する。

2. 統計解析手法

A法およびB法の手順を示し、それぞれの特徴について考察する。

2.1 A法(Johnson法とその改良法)

全試料について衝撃強さを測定し、その結果について統計解析を行う。具体的な実施手順は以下のとおりである。

(A法の手順)

- ① 試料に加える衝撃レベルを徐々に上げ、どのレベルで破損するかを確認する。
- ② 破損前に加えた最大の衝撃レベルと、破損した時に加えた衝撃レベルの平均をその試料の衝撃強さとする。ただし、打切りデータの場合はその打切り値を活用する。
- ③ 平均値、分散を統計解析により算出する。ただし、打切りデータを有する場合、Johnson法³⁾⁴⁾あるいはその改良法⁵⁾⁶⁾を用いて順位数を算出し、正規分布、ワイブル分布などの確率分布へ近似することにより、平均値、分散を推定する。

2.2 B法(階段法を用いた方法)

試料を20点、場合によってはそれ以上用意し、系統立った合否判定試験手順により試験を実施する。そして、その試験結果について統計解析を行う。具体的な実施手順を以下に例示する。ただし、本例はJIS K 7124-1を参考にしている。

(B法の手順)

- ① 最初に加える衝撃レベル X を決める。ただし、 X は予測される製品衝撃強さのレベルに設定する。
- ② 衝撃レベルの増加(減少)幅 ΔX を決める。ただし、 ΔX は大き過ぎず、かつ、小さ過ぎない適切な値に設定することが望ましい。 ΔX が大き過ぎると評価精度が落ち、小さ過ぎると必要な試料数が20を大幅に超えることになる。
- ③ 最初の試料が破損した場合、衝撃レベル

を ΔX 減じる。逆に、破損しなかった場合、 ΔX 増やす。

- ④ 20個の試料を試験した時点で、破損した試料の総数を N とし、 N が10であれば試験を終了する。 N が10でない場合は次のとおり試験を続ける。
- ⑤ $N < 10$ の場合、 N が10になるまで試料を増やして試験を繰り返す。

$N > 10$ の場合、非損傷試料の数が10になるまで試料を増やして試験を繰り返す。

- ⑥ 衝撃強さの平均値 $\mu(X)$ を次式により算出する。

$$\mu(X) = X_0 + \Delta X \cdot \left(\frac{A}{N} - 0.5 \right) \quad (1)$$

ここで、 X_0 は、全測定を通して、破損が観測された最小の衝撃レベルである。

$$A = \sum_{i=1}^k n_i \cdot z_i \quad (2)$$

ここで、 n_i は小さい順に i 番目の衝撃レベル、すなわち $X_0 + (i-1)\Delta X$ によって破損した試料の数を表し、 z_i は $(i-1)$ を表している。したがって、

$$N = \sum_{i=1}^k n_i \quad (3)$$

が成り立つ。

- ⑦ 衝撃強さの標準偏差 $\sigma(X)$ を次の方法で算出する。

衝撃レベル $X_i (= X_0 + (i-1)\Delta X)$ と、それに対応する破損試料数 n_i の関係から、正規分布（あるいはワイブル分布）近似することにより確率分布の母数を推定し標準偏差を算出する。

2.3 A法とB法の比較

A法およびB法について「必要とする試料数」、「蓄積疲労の影響」、「試験前の製品衝撃強さ予測の影響」の観点から比較検討する。

2.3.1 必要とする試料数

A法の場合、すべての試料について衝撃強さが得られるため、全試料のデータを統計解析に活用することができる。したがって、正規分布などの確率分布へ近似する際、試料数と同じ数の累積確率データが得られる。ただし、打ち切りデータを含み、Johnson法あるいはその改良法を用いる場合、その打ち切りデータは順位数の算出には活用できるが、累積確率としてプロットできるデータとはならない。したがって、プロット数は打ち切りデータの数だけ減少することになる。

一方、B法の場合、一回の衝撃による合否判定のみで、各試料の衝撃強さを把握しない。そのため、数多くの試料について系統立った試験を実施し統計解析が行われる。具体的には、衝撃レベルの増減の幅を一定にして、試料が破損した時の衝撃レベルのみをデータとして活用する。したがって、正規分布などの確率分布へ近似する際、累積確率データとして活用できるデータの数は試料数の半分以下となる。ここで、半分ではなく半分以下としている理由は、20個目の試料を試験した際、 $N=10$ とならない場合、試験を継続する必要があるためである。

したがって、B法では、A法の約2倍の試料数が必要となる。

2.3.2 衝撃による蓄積疲労

A 法では、試料に複数回の衝撃を加えるため、試験結果に衝撃による蓄積疲労^{7)~10)}が加わり、評価精度に影響を及ぼすものと考えられる。

一方、B 法では、試料に加える衝撃は一回限りであり、蓄積疲労はない。

そこで、A 法における蓄積疲労の影響について、以下の仮説の下、許容加速度試験を想定した定量的検討を行う。

(1) 仮説

ある製品に加速度 A の衝撃を N 回加えると破損するとき、A と N の間に次の関係 (S-N 曲線) が成り立つと仮定する。

$$N \cdot A^\alpha = \text{const.} \quad (4)$$

ここで、 α は加速係数である。

また、製品の破損はマイナー則、すなわち、次式で示す損傷度 D が 1 未満の場合、破損せず、1 以上になると破損すると仮定する。

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad (5)$$

ここで、 n_i は製品に加えられる加速度 A_i の衝撃の回数を示し、 N_i は A_i が繰り返し加えられた際に、その製品が破損に至る衝撃回数を示している。

(2) 蓄積疲労評価指標の構築

蓄積疲労 β を次式で定義する¹⁰⁾。

$$\beta = \sum_i n_i \cdot A_i^\alpha \quad (6)$$

また、限界蓄積疲労 β_0 を次式で定義する。

$$\beta_0 = N_i \cdot A_i^\alpha \quad (7)$$

式(5)~式(7)を整理すると、損傷度 D は次式となる。

$$D = \beta / \beta_0 \quad (8)$$

さらに、蓄積疲労 β と等価な負荷を一回の衝撃で加えられる衝撃レベル (ここでは、疲労等価加速度と称す) を導出する。この場合、式(6)における A_i は 1 種類 A_{eq} のみであり、その衝撃回数 n_i も 1 である。これらを式(6)に代入すると次式が得られる。

$$\beta = 1 \cdot A_{eq}^\alpha \quad (9)$$

式(6)と式(9)より、蓄積疲労 β と等価な衝撃レベルを表す次式が得られる。

$$A_{eq} = \beta^{1/\alpha} = \left(\sum_i n_i \cdot A_i^\alpha \right)^{1/\alpha} \quad (10)$$

以上により、異なるレベルの複数回の衝撃による蓄積疲労を、一回の衝撃 A_{eq} に置換する等価式、式(10)が導出される。

(3) 疲労等価加速度による検討

上記の導出からわかるように、疲労等価加速度は、蓄積疲労がなかったときに製品がもつ衝撃強さを表している。ここでは、この疲労等価加速度を用いて、実際の製品衝撃強さ試験における蓄積疲労の影響を定量的に把握する。ここで想定した製品衝撃強さ試験 (許容加速度試験) の手順は次のとおりである。

「初めに、加速度 A_1 の衝撃を加える。その後、加える衝撃加速度のレベルを毎回一定の倍率 r で増加して試験を継続し、6 回目の衝撃までに試料が破損する。」

上記の試験手順では、 i 番目に加える衝撃の加速度 A_i は次式で表せる。

$$A_i = r^{(i-1)} A_1 \quad (11)$$

ここで、 r は衝撃加速度を増加する倍率を表しており、上記の設定では50%増加なので、 $r=1.5$ である。

式(10)に、式(11)と $n_i=1$ を代入して整理すると、 k 回目に加えた衝撃の疲労等価加速度は次式となる。

$$A_{eq} = \left(\sum_{i=1}^k 1 \cdot (r^{i-1} \cdot A_1)^\alpha \right)^{1/\alpha}$$

$$= \left(\frac{r^{k\alpha} - 1}{r^\alpha - 1} \right)^{1/\alpha} \cdot A_1 \quad (12)$$

式(12)を用いて、実際に加えた衝撃加速度に対する疲労等価加速度の増加率を算出する。 $k=5$ (5回目の衝撃)、 $r=1.5$ (衝撃加速度の増加率 50%)、 $\alpha=4$ (加速係数 4) を基本データとし、各パラメータが疲労等価加速度の増加率 $(A_{eq}-A_k)/A_k$ に及ぼす影響を調べた。得られた結果を Table 1～Table 3 に示す。

Table 1 より、一定の倍率($r=1.5$)で加える衝撃のレベルを増加した場合、衝撃回数 k の影響は比較的小さく、 k に対して $(A_{eq}-A_k)/A_k$ はある上限値に漸近する傾向が認められた。

一方、Table 2 より、 r は $(A_{eq}-A_k)/A_k$ に大きく影響し、 r を小さくすると、 $(A_{eq}-A_k)/A_k$ は大きくなり、蓄積される疲労が増大することがわかる。一般に、 r を小さな値に設定するのは、製品衝撃強さを精度よく計測しようとした場合であり、この時、逆に、蓄積疲労の影響で評価精度を低下させる可能性があることを示唆している。

最後に、Table 3 より、 α が小さいほど $(A_{eq}-A_k)/A_k$ が大きくなる傾向がわかる。

Table 1 The relationship between k and $(A_{eq}-A_k)/A_k$

k	2	3	4	5	10
$\frac{A_{eq} - A_k}{A_k}$	4.6%	5.5%	5.6%	5.6%	5.7%

Table 2 The relationship between r and $(A_{eq}-A_k)/A_k$

r	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$\frac{A_{eq} - A_k}{A_k}$	28%	17%	11%	7.8%	5.6%

r	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$\frac{A_{eq} - A_k}{A_k}$	4.2%	3.2%	2.5%	2.0%	1.6%

Table 3 The relationship between α and $(A_{eq}-A_k)/A_k$

α	2	3	4	5	6
$\frac{A_{eq} - A_k}{A_k}$	32%	12%	5.6%	2.9%	1.5%

MIL-STD-810G (p.514.6A-4) によると、「 m (本本文でいう加速係数 α) は歴史的に見て5～8の範囲で用いられおり、通常、ランダム振動試験では $m=7.5$ 、正弦波振動試験では $m=6$ と設定される。」と記載されている。 $\alpha=5$ と仮定しても $(A_{eq}-A_k)/A_k$ は 2.9% である。振動と繰り返し衝撃との違いはあるが、蓄積疲労の影響は十分に小さいのではないかと考えられる。

以上のマイナー則に基づいた考察より、A法において、製品に加える衝撃加速度の増加率を50%程度に設定すれば、加速係数 α が特

に小さな製品でない限り、衝撃による蓄積疲労の影響は限定的であると考えられる。

2.3.3 試験前の製品衝撃強さ予測の影響

A 法、B 法ともに、試験前に製品衝撃強さを正しく予測しておかなければ、試験をうまく進められない可能性がある。

まず、A 法について考える。現実の製品衝撃強さよりも予測値が大きい場合、最初に加える衝撃で製品が破損してしまい、初期打ち切りデータとなる。逆に、現実よりも予測値が小さい場合、中途打ち切りデータとなるか、JIS Z 0119 で規定される 5~6 回の衝撃回数限界を超える回数の衝撃を加えた後、ようやく製品が破損することになる。どちらの場合も、Johnson 法あるいはその改良法が適用でき大きな問題にならないと考えられる。

次に、B 法について考える。現実よりも予測値が大きい場合、最初の試料が破損するのは言うまでもないが、続く試料も破損し、加えるレベルが製品衝撃強さに近づくまで破損し続け、必要な試料数が 20 を超え増加してしまう。さらに、B 法における N の値は破損した試料数と定義されているため、衝撃強さレベルに到達するまでの試料数がカウントされ統計解析に悪影響を及ぼす。逆に、現実よりも予測値が小さい場合、試料が破損しない試験が続き、必要な試料数が増えることになる。

ここでは詳細な考察は行わないが、B 法を少し改良し、最初の試料が破損した場合は、 N 値を非破損の試料数と定義し、式(1)~式(3)を非破損に注目した式に変更すれば、誤った予測の悪影響は大幅に改善できるものと考え

られ、規格を再検討すべきかもしれない。

2.3.4 比較検討のまとめ

A 法および B 法について「必要とする試料数」、「蓄積疲労の影響」、「試験前の製品衝撃強さ予測の影響」の観点から比較検討した結果をまとめると次のとおりである。

- ・B 法では A 法での約 2 倍の試料数が必要となる。
- ・B 法では蓄積疲労はなく、高い評価精度が期待できる。一方、A 法では約 6% ($k=5, r=1.5, \alpha=4$ と設定) の蓄積疲労の影響が算出された。ただし、 r を 1 に近づけるとその影響は増加するので注意が必要である。
- ・試験前の製品衝撃強さの誤った予測は、A 法では Johnson 法あるいはその改良法によりある程度適切に処理できる。一方、B 法では必要試料数の増加、統計解析精度へ悪影響を及ぼす可能性がある。換言すると、B 法は改良の余地が残されていると考えられる。

3. 衝撃強さ実験による検証

製品の一例として鶏卵を用い、A 法、B 法にて衝撃強さ実験を行い、それぞれの統計解析結果を比較検討することにより、前章で述べた特徴について確認する。ここで、A 法による衝撃強さ実験は、前報⁶⁾で実施した許容速度変化試験結果をそのまま活用した。

3.1 実験試料

前報と同じ鶏卵（名称：国内産鶏卵、一個当たり：MS52g 以上~LL76g 未満）を用いて衝撃試験を実施した。破損判定基準は、「ひび

発生」とし、少しでもひびが認められると破損と判定することにした。ひびのサンプルを Fig.1 に示す。鶏卵の質量計測および圧縮試験の結果の統計値（平均 μ 、標準偏差 σ 、変動係数 η 、試料数 N ）を Table 4 に示す。



Fig.1 A cracked Egg (Test Specimen)

Table 4 Data of Experimental Specimens (Eggs)

	Mass (g)	Compressive strength (N)	Spring constant (N/mm)
μ	64.0	34.0	194
σ	4.95	6.17	28.4
η	11.8%	18.2%	20.8%
N	230	100	25

Table 5 Results of Critical Velocity Change Test by Method-A

H (mm)	ΔV (m/s)	Number of damaged specimen
3	0.243	0
5	0.313	4
8	0.396	26
12	0.485	45
20	0.626	49
31	0.780	50
50	0.990	50
81	1.26	50
129	1.59	50
Amount		50

3.2 A 法による実験および統計解析

許容速度変化試験結果（破損 A） およびそ

の統計解析結果をそれぞれ Table 5、Table 6 に示す。具体的な試験方法は前報⁶⁾に示すとおりである。

Table 6 Results of Statistical analysis by Method-A

	μ	σ	η
Direct Method	0.404m/s	0.0813m/s	20.1%
Normal Distribution	0.397m/s	0.0816m/s	20.6%
Weibull Distribution	0.393m/s	0.0807m/s	20.5%

3.3 B 法による実験および統計解析

B 法に従い、衝撃レベル X を落下高さ 7.5mm とし、 ΔX を 2.5mm として衝撃実験を実施した。得られた結果を Fig.2 に示す。そして、許容落下高さについての統計解析を実施した。得られた結果を Table 7 に示す。ここで、A 法の結果は許容速度変化であるため、B 法の結果を許容速度変化に換算する必要がある。その方法は次のとおりである。

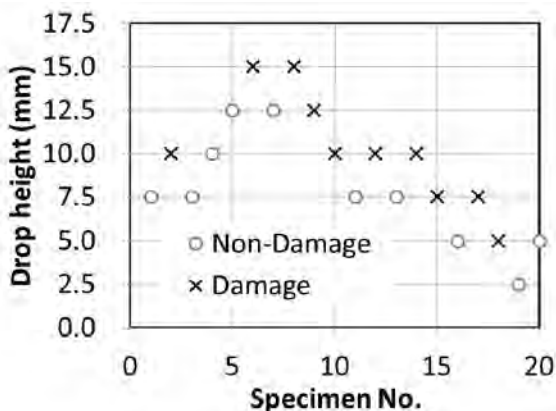


Fig.2 Results of Critical Velocity Change Test by Method-B

Table 7 Results of Statistical analysis by Method-B

H	μ	σ	η
Direct Method	9.00mm	3.22mm	35.7%
Normal Distribution	8.90mm	3.97mm	44.6%
Weibull Distribution	9.08mm	3.86mm	42.5%

試料の反発係数を e と仮定すると、落下高さ H と衝撃パルスの速度変化には次の関係が成立する。

$$\Delta V = (1+e)\sqrt{2gH} \quad (13)$$

したがって、各平均値 μ について次式が成立する。

$$\mu_{\Delta V} = (1+e)\sqrt{2g\mu_H} \quad (14)$$

さらに、式(15)で示す関数 $y(x_1, x_2, \dots)$ について、それらの平均値および標準偏差に関する式(16)で示す公式¹⁾がある。

$$y(x_1, x_2, \dots) = x_1^{p_1} \cdot x_2^{p_2} \cdot \dots \quad (15)$$

$$\left(\frac{\sigma_y}{\mu_y}\right)^2 = \left(p_1 \frac{\sigma_{x_1}}{\mu_{x_1}}\right)^2 + \left(p_2 \frac{\sigma_{x_2}}{\mu_{x_2}}\right)^2 + \dots \quad (16)$$

上記の公式を式(13)に適用し整理すれば次式が得られる。

$$\sigma_{\Delta V} = \frac{\sigma_H \cdot \mu_{\Delta V}}{2\mu_H} \quad (17)$$

式(14)、式(17)を用いて、許容落下高さの統

計値(Table 7)を、速度変化の統計値に換算する。得られた結果を Table 8 に示す。ただし、本衝撃実験は衝撃台を介さず試料単体で静止した衝撃台に落下しているため、 e には 0 を代入している。

Table 8 Results of Statistical analysis by Method-B

ΔV	μ	σ	η
Direct Method	0.420m/s	0.0751m/s	17.9%
Normal Distribution	0.418m/s	0.0931m/s	22.3%
Weibull Distribution	0.422m/s	0.0897m/s	21.3%

3.4 A 法と B 法の比較

A 法および B 法により得られた鶏卵の許容速度変化に関する統計値はそれぞれ Table 6、Table 8 である。これらを比較するとほぼ等価な結果であることがわかる。ここでは、「必要とする試料数」、「衝撃による蓄積疲労」について検討する。

3.4.1 必要とする試料数

試料数は、B 法(JIS K 7124-1)では 20 個(状況によっては 20 個以上)と規定されているが、A 法(JIS Z 0119)では特に記載はない。2.3.1 の考察では、B 法では A 法で用いる約 2 倍の試料数が統計解析に必要であるという結論となった。ここでは、各方法で算出した平均値について、 t 分布による 95%信頼区間(以下、CI と称す)を算出し比較検討することにより、B 法では約 2 倍の試料数で同等の推定精度が得られることを実験的に検証する。

A 法($N=50$)、A 法($N=10$)、B 法($N=20$)に

ついて CI を算出した結果を Table 9~11 に示す。ただし、A 法(N=10)は、全 50 データの内から最初の 10 データを統計解析の対象としている。

A 法(N=50) (Table 9 参照) と A 法(N=10) (Table 10 参照) の CI を比較すると、A 法(N=50)の方が小さく推定精度が高い結果となっている。これは試料数が大きいほど高精度で母平均を推定できていることを意味しており感覚的な傾向と一致している。

Table 9 Results of Statistical analysis by Method-A (N=50)

	CI	μ (m/s)		
Direct Method	0.0225	0.382	$<\mu<$	0.427
Normal Dist.	0.0226	0.374	$<\mu<$	0.420
Weibull Dist.	0.0224	0.370	$<\mu<$	0.416

Table 10 Results of Statistical analysis by Method-A (N=10)

	CI	μ (m/s)		
Direct Method	0.0455	0.356	$<\mu<$	0.447
Normal Dist.	0.0578	0.340	$<\mu<$	0.456
Weibull Dist.	0.0570	0.338	$<\mu<$	0.452

Table 11 Results of Statistical analysis by Method-B (N=20)

	CI	μ (m/s)		
Direct Method	0.0465	0.374	$<\mu<$	0.467
Normal Dist.	0.0577	0.360	$<\mu<$	0.476
Weibull Dist.	0.0556	0.366	$<\mu<$	0.478

A 法(N=10) (Table 10 参照) と B 法(N=20) (Table 11 参照) の CI を比較すると、ほぼ等価な値となっており、B 法では A 法の約 2 倍の試料数が必要であることを裏付ける結果となっている。

3.4.2 衝撃による蓄積疲労

A 法(N=50) (Table 6 参照) と B 法(N=20) (Table 8 参照) で得られた製品衝撃強さの平均値、 μ_A 、 μ_B を比較した結果を Table 12 に示す。表より、蓄積疲労のある μ_A の方が、蓄積疲労のない μ_B より低めの値となっており、本データからは数%蓄積疲労の影響を受けたと考えることができる。しかし、平均値の 95%信頼区間から判断すると μ_A (Table 9 参照)、 μ_B (Table 11 参照) は大きな範囲で重複しており、95%の信頼度では蓄積疲労の影響を断定できないことがわかる。

以上をまとめると、A 法による蓄積疲労の影響は数%認められたものの、データのばらつきに埋もれる可能性が高いと考えられる。

Table 12 Results of Statistical analysis by Method-B

	μ_A	μ_B	$\frac{\mu_B - \mu_A}{\mu_A}$
Direct Method	0.404m/s	0.420m/s	3.9%
Normal Dist.	0.394m/s	0.418m/s	5.3%
Weibull Dist.	0.393m/s	0.422m/s	7.3%

4. 結論

製品の衝撃強さを統計解析する二つの方法、A 法および B 法について、次の三つの点「必

要とする試料数]、「蓄積疲労の影響」、「試験前の製品衝撃強さ予測の影響」から検討した結果、得られた主な結論は以下のとおりである。

・B法ではA法での約2倍の試料数が必要となる。

・B法では蓄積疲労はなく、A法でも試験条件によっては蓄積疲労の影響は非常に小さいと考えられる。ただし、A法において、 r を小さく設定すれば蓄積疲労は増大する。高精度評価のため r を小さく設定する際、注意が必要である。

・A法、B法ともに試験前の製品衝撃強さ予測は重要であるが、B法では特に大切に必要試料数の増加、統計解析精度への悪影響が考えられる。

Difference in Acceleration and Velocity Change on Product Damage Due to Repetitive Shock“, now printing

- 9) 北澤裕明、佐藤達雄、長谷川奈緒子、李艶傑、石川豊、日本包装学会誌、21(2)、125(2012)
- 10) 中嶋隆勝、津田和城、川田浩二、山内佳門、日本包装学会誌、16(1)、41(2007)
- 11) たとえば、福井清輔、”基礎からの環境計量士 騒音・振動関係 合格問題集”、弘文社、p.273(2013)

(原稿受付 2013年11月26日)

(審査受理 2014年2月7日)

<参考文献>

- 1) JIS Z 0119 2002
- 2) ASTM D 3332
- 3) L.G.Johnson, “The Statistical Treatment of Fatigue Experiments”, Elsevier, p.37 (1964)
- 4) たとえば、市川昌弘、”構想信頼性工学”、海文堂出版、p.31(1988)
- 5) 中嶋隆勝、日本包装学会誌、22(6)、269(2013)
- 6) 中嶋隆勝、日本包装学会誌、23(1)、41(2014)
- 7) G.J.Burgess, Packaging Technology and Science, (1), 5(1988)
- 8) H.Kitazawa, K.Saito, Y.Ishikawa, Packaging Technology and Science, “Effect of