

ノート~~~~~

製品衝撃強さ評価のための統計解析手法 第二報: Johnson 法と改良法の鶏卵実験による検証法

中 嶋 隆 勝*

Statistical Method for Mechanical Shock Fragility of Products —Verification Experiments of Johnson Method and Proposing Method—

Takamasa NAKAJIMA*

製品衝撃試験において、一回目の衝撃での破損(初期打ち切りデータ)、あるいは、最後の衝撃での非破損(中途打ち切りデータ)に遭遇すれば、適正に統計解析を行うことが困難になる。著者はこれまでの研究で、寿命試験の分野で開発された Johnson の方法を改良し、製品衝撃試験での初期打ち切りデータにも応用可能な方法を考案した。本研究では、鶏卵実験により数多くのデータを取得し、提案法の実用性について検討した。その結果、打ち切りデータを無視して統計解析した場合と比較して、優れた精度で鶏卵の衝撃強さの平均値および標準偏差を推定できることを確認した。

Incomplete data, such as damage data by the first minimum shock and non-damage data by the last maximum shock makes it difficult to analyze the fragility of products statistically. Hereinafter, the former data is referred to as “Initial incomplete data”, and the latter data is referred to as “Final incomplete data” here. We improved Johnson’s method that can treat final incomplete data and created a new method that can treat initial incomplete data. Both methods can be utilized in analyzing the mechanical shock fragility of products statistically. In this paper, we conducted verification experiments with a lot of eggs and estimated the average and the standard deviation by Johnson’s method, the proposing method and the ordinary method. The ordinary method means the way of deleting (neglecting) all incomplete data. As a result, it was found that the accuracy of both methods is higher than the ordinary method.

キーワード: 包装、衝撃、統計、打ち切りデータ、鶏卵、実験

Keywords : Packaging, Shock, Statistics, Incomplete Data, eggs, experiment

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、これまでにその評価精度向上、蓄積疲労の影響などに関する研究^{3)~8)}がなされてきた。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。しかし、製品衝撃試験では、一回目の衝撃での破損(初期打ち切りデータ)、あるいは、最後の衝撃での非破損(中途打ち切りデータ)に遭遇すれば、適正に統計解析を行うことが困難になる。そこで、著者は、これらの打ち切りデー

* (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

タについても統計解析を可能にするための方法について調査、研究を進めた。その結果、中途打ち切りデータの統計解析には、寿命試験の分野で Johnson が開発した、順位数を算出する方法⁹⁾¹⁰⁾が適用できることがわかった。一方、初期打ち切りデータについては、Johnson の方法を改良（以下、提案法と称す）して適用可能にすることができた¹¹⁾。

そこで本研究では、これらの方法の推定精度を求め、その実用性を確認する目的で、鶏卵の衝撃強さを調べる実験を行う。まず、打ち切りデータを含まない大量の完全データを取得する。そして、仮想的に中途打ち切りデータおよび初期打ち切りデータを設定した不完全データについて、Johnson の方法、提案法、打ち切りデータを削除（無視）する方法を適用し、鶏卵の衝撃強さの平均値および標準偏差を算出する。結果およびその推定精度を比較検討することにより、Johnson の方法および提案法の、製品衝撃強さ試験における実用性について検討する。

2. 衝撃強さ実験

製品の一例として鶏卵を用いて衝撃実験を実施した。その方法及び結果は以下のとおりである。

2.1 実験試料

Fig.1 に示す鶏卵 10 個入りパックを 23 パック準備し、各鶏卵について衝撃試験を実施した。破損判定基準は、破損 A 「ひび発生」、破損 B 「卵白の漏れ」とし、それぞれのサンプルを Fig.2 および Fig.3 に示す。鶏卵の質量



Fig.1 A package of ten eggs (test specimen)

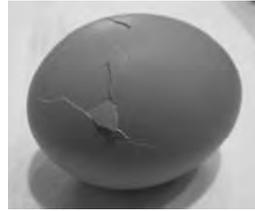


Fig.2 A cracked egg

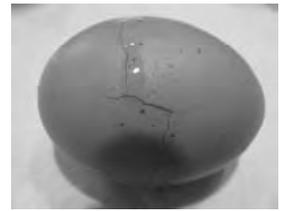


Fig.3 A broken egg

Table 1 Data of experimental specimens (eggs)

	Mass, m (g)	Compressive strength (N)	Spring constant, k (N/mm)
μ	64.0	34.0	194
σ	4.95	6.17	28.4
η	7.73%	18.2%	14.6%
N	230	100	25

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 1 に示す。ただし、圧縮試験の圧縮速度は 1mm/min とし、鶏卵の姿勢は横向き（姿勢保持のための支えが無い状態）としている。また、ばね定数は、ほぼ全試料の荷重-変位曲線が直線となる、荷重 1N の点と荷重 20N の点を結ぶ直線としている。

2.2 許容速度変化試験

2.2.1 衝撃パルスの作用時間

Table 1 に記した鶏卵の質量 m およびばね定数 K より、式(1)を用いて、鶏卵の固有振動数 f_c が推定できる。

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

許容速度変化試験を実施する際、加える衝撃パルスの有効作用時間 D_e は次式¹⁾を満足する必要がある。

$$D_e \leq \frac{1}{2\pi f_c} \quad (2)$$

Table 1 の m およびばね定数 K の平均値を式(1)に代入し得られた f_c を式(2)に代入すれば式(3)が得られる。したがって、鶏卵の許容速度変化試験では次式を満足しなければならない。

$$D_e \leq 0.598 \quad (\text{ms}) \quad (3)$$

2.2.2 許容速度変化試験の方法

式(3)など非常に作用時間の短い衝撃パルスは製品衝撃試験装置では発生困難な場合が多い。そこで、鶏卵と比較し剛体壁とみなせる基礎の上に設置した鉄板の上に、鶏卵を自由落下し、それを許容速度変化試験に置き換えた。ただし、落下高さ H を速度変化 ΔV に換算する際、反発係数は 0 と仮定している。

許容速度変化試験の試料数は 50、落下高さは、初期値を 3mm とし、順に 5mm, 8mm, 12mm, 20mm, 31mm と上げていった。そして、最初に破損する落下高さを調べた。JIS では、「損傷までの試験回数は、繰り返し衝撃による蓄積疲労の影響を避けるため多くとも 5~6 回が望ましい」と記載されているが、ここでは、完全データと不完全データの比較検討

を目的としているため、規定の 5~6 回を超えても試験を続行した。ただし、試料（鶏卵）に衝撃を加える衝撃作用点（場所）は、毎回変えて、蓄積疲労の影響を極力抑えるようにした。

鶏卵の落下は手作業で実施したが、その落下高さについては、Fig. 4 のように、二つの定規がともに設定の高さとなるように、試料および目の高さを調整し、両方の高さが一致した時点で手を放し落下することにした。

2.2.3 許容速度変化試験の結果

試験の結果、すなわち各落下の後、破損 A あるいは破損 B の状態となった試料の数を Table 2 に示す。Table 2 に基づき算出した許容速度変化を Table 3 および Table 4 に示す。ただし、許容速度変化は、JIS 法に準じた「破損しなかった最大の速度変化」とするのではなく、前報¹¹⁾にしたがって「破損しなかった最大の速度変化と、最初に破損したときの速度変化との平均値」として算出している。各許容速度変化を、 ΔV_A 、 ΔV_B と標記する。添え字は破損判定基準を意味する。

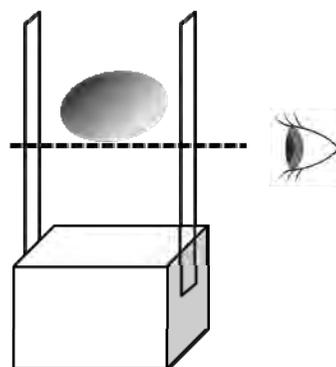


Fig.4 A method of critical velocity change test (Drop test)

Table 2 Results of critical velocity change test of eggs

H (mm)	ΔV (m/s)	Damage A Crack	Damage B Breakage
3	0.243	0	0
5	0.313	4	0
8	0.396	26	0
12	0.485	45	6
20	0.626	49	19
31	0.780	50	32
50	0.990	50	41
81	1.26	50	47
129	1.59	50	50
Amount		50	50

Table 3 Critical velocity change for damage A

ΔV_A	
(m/s)	Number
0.278	4
0.355	22
0.441	19
0.556	4
0.703	1
Amount	50

Table 4 Critical velocity change for damage B

ΔV_B	
(m/s)	Number
0.441	6
0.556	13
0.703	13
0.885	9
1.125	6
1.426	3
Amount	50

2.3 許容加速度試験

2.3.1 衝撃パルスの速度変化

JIS Z 0119 によると、加える衝撃パルスの ΔV は、許容速度変化 ΔV_c の 1.6 倍 ($\pi/2$ 倍) 以上の値に設定することになっている。ここでは、 ΔV を 5m/s に設定し、許容加速度試験を実施した。

2.3.2 許容加速度試験の方法

試料 (鶏卵) を Fig.5 のように衝撃台上に固定し、跳ね上がりによる影響が出ないようにして試験を行った。跳ね上がり防止部材には、試験に影響しないよう十分に柔軟かつ軽量の部材を使用している。

衝撃パルスの加速度は、初期値を 300m/s^2 前後、増加率を 25%前後に設定し、徐々に大きな加速度の衝撃を加えた。衝撃の繰り返し回数については、完全データと不完全データの比較検討を目的としているため、規定の 5~6 回を超えても試験を続行した。ただし、試料 (鶏卵) の衝撃を加える点 (場所) は、毎回変えて、蓄積疲労の影響を極力抑えるようにした。

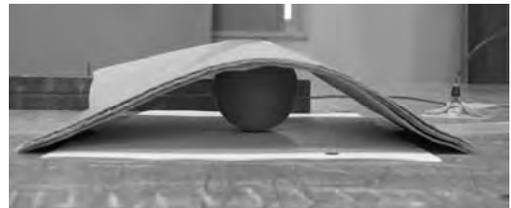


Fig.5 A method to set a specimen (an egg) on a shock table

2.3.2 許容加速度試験の結果

許容加速度試験結果を Table 5 に示す。試料数は 30 である。

許容速度変化試験の結果と異なり、許容加速度試験では、すべての結果において、非破損か、破損 B (卵白漏れ) であり破損 A (ひび) レベルの結果は現れなかった。したがって、許容加速度試験結果は、破損判定基準別にはまとめていない。

また、許容速度変化と同様、JIS 法に準じた「破損しなかった最大の加速度」ではなく、「破損しなかった最大の加速度と、最初に破損したときの加速度との平均値」を許容加速度としている。得られた許容加速度を、 A_{AB} と標記する。添え字は破損 A と破損 B を意味している。

Table 5 Results of critical acceleration test of eggs

No.	A_{AB} (m/s^2)	No.	A_{AB} (m/s^2)
1	465	16	472
2	585	17	387
3	313	18	589
4	385	19	312
5	587	20	470
6	471	21	615
7	523	22	509
8	470	23	514
9	586	24	614
10	692	25	514
11	469	26	509
12	585	27	743
13	475	28	511
14	527	29	512
15	587	30	612

3. Johnson 法およびその改良法の推定精度

衝撃強さ実験で得られた結果には、打ち切りデータは一つも含まれてない完全データである。本データを用いて、鶏卵の統計値（平均値、標準偏差、変動係数）を算出する。次に、仮想的に打ち切りデータを設定して作成した不完全データについて統計解析を行う。このとき、統計解析の手法として、打ち切りデータを無視（削除）して行う方法、Johnson の方法、提案法を用いる。得られた統計値を、完全デ

ータによる統計値と比較することにより、それぞれの推定精度を比較検討する。

3.1 不完全データの設定

3.1.1 許容速度変化試験結果(破損 A)

以下の 2 つの方法（仮説）で、中途打ち切りデータおよび初期を意図的に作成する。

（中途打ち切りデータの作成）Johnson 法の推定精度を確認するため、6 回目（31mm 落下）以降の衝撃試験を実施しなかったと仮定すると、Table 3 は Table 6 となり、中途打ち切りデータが 1 個現れることになる。

（初期打ち切りデータの作成）提案法の推定精度を確認するため、1 回目（3mm 落下）の衝撃試験を実施しなかったと仮定すると、Table 3 は Table 7 となり、初期打ち切りデータが 4 個現れることになる。

Table 6 Incomplete data of ΔV_A to check Johnson method

ΔV_A	
(m/s)	Number
0.278	4
0.355	22
0.441	19
0.556	4
Greater than 0.626	1
Amount	50

Table 7 Incomplete data of ΔV_A to check the proposing method

ΔV_A	
(m/s)	Number
Less than 0.313	4
0.355	22
0.441	19
0.556	4
0.703	1
Amount	50

3.1.2 許容速度変化試験結果(破損 B)

以下の2つの方法(仮説)で、中途打ち切りデータおよび初期打ち切りデータを意図的に作成する。

(中途打ち切りデータの作成) Johnson 法の推定精度を確認するため、9回目(129mm落下)以降の衝撃試験を実施しなかったと仮定すると、Table 4はTable 8となり、中途打ち切りデータが3個現れることになる。

Table 8 Incomplete data of ΔV_B to check Johnson method

ΔV_B	
(m/s)	Number
0.441	6
0.556	13
0.703	13
0.885	9
1.125	6
Greater than 1.260	3
Amount	50

Table 9 Incomplete data of ΔV_B to check the proposing method

ΔV_B	
(m/s)	Number
Less than 0.485	6
0.556	13
0.703	13
0.885	9
1.125	6
1.426	3
Amount	50

(初期打ち切りデータの作成) 提案法の推定精度を確認するため、2回目(3mm落下)以前の衝撃試験を実施しなかったと仮定すると、Table 4はTable 9となり、初期打ち切りデータが6個現れることになる。

3.1.3 許容加速度試験結果

以下の2つの方法(仮説)で、中途打ち切りデータおよび初期打ち切りデータを意図的に作成する。

(中途打ち切りデータの作成) Johnson 法の推定精度を確認するため、6回目以降の衝撃試験を実施しなかったと仮定すると、Table 5はTable 10となり、中途打ち切りデータが8個現れることになる。

(初期打ち切りデータの作成) 提案法の推定精度を確認するため、2回目以前の衝撃試験を実施しなかったと仮定すると、Table 5はTable 11となり、初期打ち切りデータが4個現れることになる。

Table 10 Incomplete data of A_{AB} to check Johnson method

	A_{AB} (m/s ²)		A_{AB} (m/s ²)
1	465	16	472
2	Greater than 537	17	387
3	313	18	Greater than 538
4	385	19	312
5	Greater than 537	20	470
6	471	21	615
7	523	22	509
8	470	23	514
9	Greater than 538	24	614
10	Greater than 536	25	514
11	469	26	509
12	Greater than 537	27	Greater than 672
13	475	28	511
14	527	29	512
15	Greater than 538	30	612

Table 11 Incomplete data of A_{AB} to check the proposing method

	A_{AB} (m/s ²)		A_{AB} (m/s ²)
1	465	16	472
2	585	17	Less than 424
3	Less than 422	18	589
4	Less than 425	19	Less than 422
5	587	20	470
6	471	21	615
7	523	22	509
8	470	23	514
9	586	24	614
10	692	25	514
11	469	26	509
12	585	27	743
13	475	28	511
14	527	29	512
15	587	30	612

3.2 統計解析の方法

統計解析に用いた解析方法および順位数の算出方法は次のとおりである。

3.2.1 直接法

平均値 μ および標準偏差 σ の定義式、式(4)および式(5)を用いて各統計値を算出する。この方法を直接法と呼ぶ。

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \quad (5)$$

ここで、 N はデータの大きさ (数) を表し、 x_i はデータを表している。

この直接法では、打切りデータを含む不完全データには適用できない。

3.2.2 確率分布へ近似する方法

データが正規分布あるいはワイブル分布に

したがっていると仮定し、平均値および標準偏差を推定する方法である。方法の概略は次のとおりである。

完全データの場合、データを昇順に並べ替え、不完全データの場合、Johnson 法あるいは提案法を用いて、各データの順位数を算出する。次に、ランク法 (ミーソール法、メジアンランク法など) を用いて、各順位数に相当する累積破損確率を算出する。そして、各データの値とその累積確率が、正規分布あるいはワイブル分布に最も近づくように各分布の母数を決定すれば、平均値および標準偏差が推定できる。ここではランク法はミーソール法を用いた。

ミーソール法による累積破損確率の算出式を式(6)に示す。正規分布の確率分布関数を式(7)に示し、ワイブル分布の確率分布関数を式(8)に示す。そして、ワイブル母数から平均値および標準偏差を推定する式を式(9)および式(10)に示す。

$$F = \frac{i}{N+1} \quad (6)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dx \quad (7)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (8)$$

$$\mu = \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (9)$$

$$\sigma^2 = \beta^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right\}^2 \right] \quad (10)$$

ここで、 F は累積破損確率を表し、 $\Gamma(\cdot)$ はガンマ関数を表す。

3.3 統計解析の結果

衝撃強さ実験により得られた 3 つの衝撃強さ、すなわち、破損 A (ひび) となる許容速度変化、破損 B (卵白漏れ) となる許容速度変化、ならびに、破損 A および破損 B となる許容加速度について、各種統計解析を行った結果を以下に示す。Table 12 および Table 13 は破損 A (ひび) となる許容速度変化についての統計解析結果、Table 14、Table 15 は破損 B (卵白漏れ) となる許容速度変化についての統計解析結果、Table 16、Table 17 は破損 A および破損 B となる許容加速度についての統計解析結果を示す。そして、Table 12、14、16 では、中途打ち切りデータ含む不完全データの Johnson 法による推定精度と、中途打ち切りデータを無視 (削除) する統計解析による推定精度を比較している。また、Table 13、15、17 では、初期打ち切りデータ含む不完全データの提案法による推定精度と、初期打ち切りデータを無視 (削除) する統計解析による推定精度を比較している。表中の D は直接法、 N は正規分布へ近似する方法、 W はワイブル分布へ近似する方法を意味する。また、Final incomplete data の各推定値の下段括弧 () 内の数値は、Complete data の各推定値に対する誤差を示している。

Table 12 Statistical analysis of ΔV_A
Estimation accuracy of Johnson's

Data		Complete data	Final incomplete data	
Method		Ordinary method	Johnson's	Neglection
μ	D	0.404		0.398 (-2%)
	N	0.397	0.397 (0%)	0.394 (-1%)
	W	0.393	0.393 (0%)	0.391 (-1%)
σ	D	0.0813		0.0697 (-14%)
	N	0.0816	0.0817 (0%)	0.0795 (-3%)
	W	0.0807	0.0833 (3%)	0.0780 (-3%)
η	D	20.1%		17.5% (-13%)
	N	20.6%	20.6% (0%)	20.2% (-2%)
	W	20.5%	21.2% (3%)	20.0% (-3%)

Table 13 Statistical analysis of ΔV_A
Estimation accuracy of the proposing method

Data		Complete data	Initial incomplete data	
Method		Ordinary method	Proposing method	Neglection
μ	D	0.404		0.413 (2%)
	N	0.397	0.395 (0%)	0.405 (2%)
	W	0.393	0.392 (0%)	0.401 (2%)
σ	D	0.0813		0.0723 (-11%)
	N	0.0816	0.0800 (-2%)	0.0728 (-11%)
	W	0.0807	0.0798 (-1%)	0.0715 (-11%)
η	D	20.1%		17.5% (-13%)
	N	20.6%	20.2% (-2%)	18.0% (-13%)
	W	20.5%	20.4% (-1%)	17.8% (-13%)

Table 14 Statistical analysis of ΔV_B
Estimation accuracy of Johnson's

Data		Complete data	Final incomplete data	
Method		Ordinary method	Johnson's	Neglection
μ	D	0.760		0.718 (-6%)
	N	0.721	0.721 (0%)	0.696 (-4%)
	W	0.727	0.726 (0%)	0.697 (-4%)
σ	D	0.266		0.211 (-21%)
	N	0.258	0.257 (0%)	0.228 (-11%)
	W	0.258	0.257 (0%)	0.225 (-12%)
η	D	35.0%		29.4% (-16%)
	N	35.7%	35.7% (0%)	32.8% (-8%)
	W	35.5%	35.4% (0%)	32.3% (-9%)

Table 16 Statistical analysis of A_{AB}
Estimation accuracy of Johnson's

Data		Complete data	Final incomplete data	
Method		Ordinary method	Johnson's	Neglection
μ	D	520		484 (-7%)
	N	525	524 (0%)	490 (-7%)
	W	519	519 (0%)	485 (-7%)
σ	D	96.9		81.1 (-16%)
	N	101	101 (0%)	59.6 (-41%)
	W	101	103 (2%)	57.7 (-43%)
η	D	18.6%		16.7% (-10%)
	N	19.3%	19.3% (0%)	12.1% (-37%)
	W	19.5%	19.9% (2%)	11.9% (-39%)

Table 15 Statistical analysis of ΔV_B
Estimation accuracy of the proposing method

Data		Complete data	Initial incomplete data	
Method		Ordinary method	Proposing method	Neglection
μ	D	0.760		0.804 (6%)
	N	0.721	0.718 (0%)	0.765 (6%)
	W	0.727	0.727 (0%)	0.767 (6%)
σ	D	0.266		0.254 (-5%)
	N	0.258	0.283 (10%)	0.249 (-4%)
	W	0.258	0.277 (8%)	0.250 (-3%)
η	D	35.0%		31.6% (-10%)
	N	35.7%	39.4% (10%)	32.5% (-9%)
	W	35.5%	38.1% (8%)	32.6% (-8%)

Table 17 Statistical analysis of A_{AB}
Estimation accuracy of the proposing method

Data		Complete data	Initial incomplete data	
Method		Ordinary method	Proposing method	Neglection
μ	D	520		546 (5%)
	N	525	517 (-1%)	535 (2%)
	W	519	511 (-1%)	530 (2%)
σ	D	96.9		72.7 (-25%)
	N	101	101 (0%)	89.6 (-11%)
	W	101	105 (3%)	92.5 (-9%)
η	D	18.6%		13.3% (-29%)
	N	19.3%	19.5% (1%)	16.7% (-13%)
	W	19.5%	20.5% (5%)	17.5% (-11%)

3.4 推定精度についての考察

Table 12～Table 17 より、Johnson 法および提案法ともに打ち切りデータを無視（削除）した場合と比較して高い精度で平均値および標準偏差、変動係数を推定できることがわかる。ただし、 ΔV_B の初期打ち切りデータを含む不完全データを用いて、標準偏差を推定した場合、提案法では約 10%の推定誤差が生じており、推定精度が常に低い値になるとは限らないことがわかる。本データは、試料数 50 に対して初期打ち切りデータが 6 含まれており、当然ではあるが、全データに対する打ち切りデータの占める割合が影響したのではないかと考えられる。したがって、あまり多くの打ち切りデータが現れると、たとえ Johnson 法や提案法を駆使しても、十分な推定精度が得られないことに注意しなければならない。

また、平均値 μ と標準偏差 σ の推定精度を比較すると μ はほぼ $\pm 1\%$ 以内で推定できているのに対して、 σ は ΔV_B の初期打ち切りデータについて約 10%の推定誤差が現れた。ただし、その他のデータについては $\pm 3\%$ 程度の範囲で推定精度が揺らいでいる。以上のことから、 σ は μ と比較して推定が困難となる傾向がうかがえる。

また、変動係数 η の推定精度について検討すると、 σ の推定精度に大きく依存していることがわかる。 η は σ と μ の比 (σ/μ) と定義されていることから考えて、 σ の推定精度が悪ければ η の推定精度も悪化し、その結果として σ の推定精度に依存するのだと考えられる。

4. 結論

鶏卵の衝撃実験による完全データと、仮想的に設定した不完全データを用いて、Johnson 法および提案法の統計値の推定精度を確認した。その結果、これらの手法の製品衝撃強さ試験における実用性が確認できた。得られた結果は次のとおりである。

鶏卵の衝撃強さの統計値を、 μ は $\pm 1\%$ 程度、 σ は $\pm 10\%$ 程度で推定でき、打ち切りデータを無視して統計解析した場合 (μ は $\pm 7\%$ 、 σ は $-43\% \sim -3\%$) と比較して、優れた精度で推定できた。

ただし、推定精度は常に高精度とは限らず、打ち切りデータの数（あるいは、試料数に対するその割合）などが影響する可能性がある。

<参考文献>

- 1) JIS Z 0119 2002
- 2) ASTM D 3332
- 3) 中嶋隆勝、日本航海学会、(105)、63(2001)
- 4) 中嶋隆勝、日本包装学会誌、13(4)、253(2004)
- 5) 中嶋隆勝、大阪府立産業技術総合研究所報告、(24)、31(2010)
- 6) G.J.Burgess, Packaging Technology and Science, (1), 5(1988)
- 7) H.Kitazawa, K.Saito, Y.Ishikawa, Packaging Technology and Science, “Effect of Difference in Acceleration and Velocity Change on Product Damage Due to Repetitive Shock”, now printing
- 8) 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)

- 9) L.G.Johnson, “The Statistical Treatment of
Fatigue Experiments”, Elsevier, p.37 (1964)
- 10) たとえば、市川昌弘、“構想信頼性工学”、
海文堂出版、p.31(1988)
- 11) 中嶋隆勝、日本包装学会誌、22(6)、
269(2013)

(原稿受付 2013年7月19日)

(審査受理 2013年12月19日)