一般論文〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜

製品衝撃強さ評価のための統計解析手法
第一報：打切りデータ活用法

中 嶋　隆 勝*

Statistical Method for Mechanical Shock Fragility of Products — Application of Incomplete Data —

Takamasa NAKAJIMA*

製品衝撃試験の実施前には試料の強度は不明であり、一回目に加える最小の衝撃での破損(初期打切りデータ)、あるいは、最後に加える最大の衝撃での非破損(中途打切りデータ)に遭遇する場合がある。これらのデータを統計解析に活用することは難しく、製品衝撃強さ試験規格にもその方法は記されていない。そこで、Johnson により提案され、寿命試験で用いられている打切りデータを活用して統計解析する方法に注目し、Johnson の方法を改良し、製品衝撃試験での打切りデータにも応用可能な方法を考案した。そして、実際の DVD プレーヤーの衝撃試験結果について、打切りデータを考慮しない方法と考案法を適用し両者を比較検討した。その結果、打切りデータを考慮しないために標準偏差を過小評価する危険性が見出された。

As for a test specimen, its shock fragility is unknown before testing. So, we often meet incomplete data, such as damage by the first minimum shock and no damage by the last maximum shock. The former is called “Initial incomplete data”, and the latter is called “Final incomplete data” here. The standard of shock fragility test method is not concerned with any statistical method of these incomplete data. Then, we improved Johnson’s method that is used to analyze final incomplete data in the field of lifetime test, and built a statistical method for the mechanical shock fragility test, which is able to analyze initial and final incomplete data. Moreover, we conducted mechanical shock fragility test for DVD players, and compared the ordinary method and the proposed method. As a result, a risk that standard variation is underestimated by the ordinary method was found.

キーワード：包装、衝撃、統計、打切りデータ

Keywords： Packaging, Shock, Statistics, Incomplete Data

1．はじめに

包装される物品の価値、あるいは、その損傷が社会に及ぼす影響などにより、その物品の許容される破損率は異なる。たとえば人命事故につながる物品を包装する際、その設計基準は通常よりも厳しく設定されなければならない。そのためには、輸送中の許容破損率を考慮した緩衝設計の実践が必要であり、製

＊（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

品衝撃強さのバラツキなど各種データを統計的に把握する必要がある。製品の衝撃強さ評価のための統計解析手法に関する研究は見当たらず、関連試験規格にもその具体的方法は明記されていない。本研究では、衝撃強さ試験結果のバラツキを把握する際に取り扱いが困難となる打切りデータの処理方法について検討する。

寿命試験における試験の中途打切りデータと同様、計画した最大の衝撃を加えても試料が破損せず、試験を途中で終了せざるを得ない状況が想定される。このデータを寿命試験と同様、中途打切りデータと称すことにする。また、中途打切りの逆で、最初の衝撃で破損してしまい、衝撃強さが「ある値未満である」という情報しか得られない状況も想定される。ここでは、このデータを初期打切りデータと称することにする。これらのデータに遭遇すると、通常の算術平均や標準偏差の算出方法は適用困難となる。寿命試験では、中途打切りデータの統計解析には、データの平均順位数を算出する Johnson の方法[1)2)]、Nelson の方法[1)3)]がある。また、中途打切りレベルと衝撃強さの関係が独立である場合、競合リスクモデルを作成し尤度関数を用いてバラツキを評価する方法[4)]もある。本研究では、Johnson の方法を活用するとともに、それを改良して初期打切りデータにも応用できる方法を考案することにより、実際の製品衝撃強さ試験結果に活用できる統計解析手法の構築をめざす。

2. 製品衝撃強さ試験方法の特徴

製品衝撃強さ試験のいくつかの特徴が、製品の衝撃強さおよびそのバラツキの推定を困難にしている。それらの特徴について整理する。

2.1 範囲を持つ試験結果

JIS Z 0119 などに記載されている製品衝撃強さ試験手順の概略は次のとおりである。

最初に試験開始衝撃レベルを設定し第一回目の衝撃を試料（製品）に加える。その後、製品損傷の有無を確認する。そして、加える衝撃のレベルを徐々に上げ、同様に製品損傷の有無を確認する。ただし、衝撃レベルの上げ幅は５～６回で推定許容レベルとなるように設定し、蓄積疲労の影響を最小限に止める。製品が破損すれば、その一つ手前の衝撃レベル、すなわち、試料が破損しない最大の衝撃レベルをその製品の衝撃強さとする。真の衝撃強さはこの値よりも高いはずだが、緩衝設計を安全側で実施するためにこの方法が採用されている。したがって、得られた衝撃強さは、真の衝撃強さを推定した値ではなく、衝撃の上げ幅に依存した安全率が織り込まれた値といえる。そのため、得られた衝撃強さから、市場での破損率を推定することは困難である。規格にも、破損率やバラツキを推定する方法は詳しく記載されていない。

このように、製品衝撃強さ試験では、寿命試験や引張り試験などと異なり負荷レベルが離散的であり、それが原因となる取り扱い困難な課題が多く存在している。

2.2 中途打切りおよび初期打切り

通常、試験前に、製品に加える衝撃レベルについて計画を立てる。最初の衝撃で製品が破損すれば衝撃強さが不明となるため、最初の衝撃は製品が破損しない十分小さな衝撃とする。また、疲労蓄積の影響を極力抑えるため、できるだけ５～６回目には製品が破損するように衝撃レベルの上げ幅を設定する。しかし、実際の試験では、各試料（製品）の衝撃強さは未知であるため、計画通りに製品が破損するとは限らない。たとえば、計画した６回目の衝撃を加えても製品が破損しなければ、蓄積疲労を考慮すると７回目の衝撃を加えることができず、試験を中断しなければならない。その結果、中途打切りデータとなり、その製品の衝撃強さが「ある値より大きい」という情報しか得られない。一方、計画した最初（１回目）の衝撃で製品が破損した場合、その製品の衝撃強さが「ある値未満である」という情報しか得られない。このような場合の対処法の規定はなく、現状ではこれら中途打切りあるいは初期打切りを含んだデータ（以下、不完全データと称す）を正しく統計解析することは困難である。仮に、全データから打切りデータを削除（無視）して統計解析すれば、想定を超える大きな値のデータ、あるいは、想定を超える小さな値のデータを無視していることになり、平均値や標準偏差の推定に誤った影響を及ぼすと考えられる。

3. 衝撃強さ試験用のデータ整理法の提案

「範囲を持つ試験結果」、「中途打切り」、「初期打切り」といった課題を解決し、試験結果の平均値および標準偏差を推定する方法について検討する。ただし、試験結果には、製品の衝撃強さのバラツキだけでなく、「試験結果の範囲の大きさ」、衝撃パルスの波形のバラツキなどが含まれていると考えられる。本提案は、試験結果の統計解析方法の一提案であり、これらのバラツキの内訳に関しては考察していない。

3.1 「離散的データ」の処理方法

JIS Z 0119では製品が破損しなかった最大の衝撃値 X_0 を衝撃強さと定めるよう記載されているが、これは設計を安全側に行うための方法であって、製品の衝撃強さの確率分布を推定するのには適していない。真の衝撃強さは、破損しなかった最大の衝撃値 X_0 と、破損したときの衝撃値 X_1 の間のある値であると考えてよい。そして、$[X_0, X_1]$範囲のどの値であるかは不明であり、その確率密度は均一とみなすのが妥当と考えられる。したがって、その試料の製品衝撃強さの期待値は、X_0 と X_1 の算術平均すなわち（X_0+X_1）／2となる。よって、製品衝撃強さの確率分布を推定する際、この期待値を用いることにする。

3.2 「中途打切りデータ」の処理方法

計測データに「中途打切りデータ」が含まれると、通常の平均値や標準偏差の算出方法は適用できない。寿命試験などの分野で、中途打ち切りデータを活用するデータプロット法が開発されており、Johnsonの方法、Nelson

の方法などがある [1)]。この方法は、製品衝撃強さ試験における「中途打切りデータ」にそのまま適用することが出来る。ただし、データ数の比較的少ない場合には、Johnson の方法のほうが適している [1)]ので、一般的に多くの試料を準備することが困難である製品衝撃強さ試験では、Johnson の方法が適している。Johnson の方法の概略は次のとおりである。

中途打切りデータを含む全データを昇順に並べたものを x_i (i=1,2,・・・, n)とする。ただし、中途打切りデータは打切ったときの値を用いる。x_1 が中途打切りデータの場合はこれを除外する。任意のデータ x_k が完全データ（「中途打切り」、「初期打切り」でないデータ、すなわち、具体的に数値が与えられたデータ）であるとき、x_k に対する順位数 i を次式から計算できる。

$$i = i_0 + \frac{n+1-i_0}{n+2-k} \tag{1}$$

ここで、n は全データ数（不完全データを含めた）、i_0 は x_k の一つ手前の完全データに対する順位数である。ただし、k=1 のとき i_0=0 とする。

以上により、「中途打切りデータ」を含む不完全データの順位数が推定できる。この順位数に基づき、ミーンランク法 [1)]、メジアンランク法 [1)]などを用いて累積確率を算出すれば、製品衝撃強さの確率分布を推定することができる。

3.3 「初期打切りデータ」の処理方法

最初の衝撃（最小の衝撃）で製品が破損した場合、「初期打切りデータ」となるため、通常の方法でも、上記の Johnson の方法でも統計解析に活用できない。そこで、Johnson の方法を改良して、初期打切りデータにも活用できるようにする。その方法は次のとおりである。

「中途打切りデータ」では、データの並びを昇順としていたが、これを降順に変更すると、式(1)を用いて算出した順位数は「破損する順位数」ではなく「破損しない順位数」となる。「初期打切りデータ」を含む不完全データを降順に並び替え、式(1)を同様に適用して順位数を算出する。そして、その順位数に基づきミーンランク法やメジアンランク法を用いて累積確率 F_1 を算出する。算出された F_1 は破損しない累積確率である。したがって、求める（破損する）累積破損確率 F は、1- F_1 となる。以上により、「初期打切りデータ」を含む不完全データについても統計解析が可能となる。

3.4 「初期打切りデータ」処理方法の意味

まず、データを左から右に昇順に並べたときに「中途打切りデータ」が持つ意味と、降順に並べたときに「初期打切りデータ」が持つ意味について考える。

前者の場合、あるデータ x_k が中途打切りデータだとすると、そのデータの持つ意味は、そのデータ x_k の順位数は、そのデータの左側にある完全データの順位数よりも大きく、そして、そのデータの右側にある完全データとの大小関係は不明である。しかし、そのデー

タの真の値が、右側の完全データの数列のどの位置に配置されるかについては、すべて同じ確率だと考えるのが妥当である。Johnson が導いた式(1)はこの情報に基づいている。

後者の場合も、あるデータ x_k が初期打切りデータだとすると、そのデータの持つ意味は、そのデータ x_k の順位数は、そのデータの左側にある完全データの順位数よりも大きく、そして、その右側にある完全データとの大小関係は不明である。しかし、そのデータの真の値が、右側の完全データの数列のどの位置に配置されるかについては、すべて同じ確率だと考えるのが妥当である。これは、前者の場合とまったく同様であり、Johnson の導いた式(1)を適用できることがわかる。ただし、前者は、破損しやすさを表した順位数であり、後者は、破損しにくさを表した順位数である。

したがって、ミーンランク法などを用いて累積確率を算出すれば、前者については累積破損確率が得られるのに対して、後者については累積非破損確率が得られることになる。よって、後者の場合、得られた累積非破損確率から、累積破損確率を算出しなければならない。

さらに、ここで提案する「初期打切りデータ」の処理方法が妥当であることを確認するために、サンプルデータを用いた確認（付録参照）も行っている。

このような手続きにより、「中途打切り」または「初期打切り」が含まれる不完全データの統計解析が可能となる。そのアルゴリズムを Fig.2 に示す。

4. 実製品の衝撃強さ試験結果への適用事例

4.1 実験試料

市販されている DVD プレーヤー（Fig.1 参照）を実験試料（供試品）とし、その天面落下に対する衝撃強さ（DBC）を調べるため、JIS Z 0119-2002 に従って許容速度変化（⊿V）試験と許容加速度（A）試験を実施した。試料の外寸法は 225×235×52mm、質量は 1.2kg である。

Fig.1 Test specimen (DVD player)

4.2 試験結果

JIS Z 0119-2002 に基づいて実施した DVD プレーヤーの衝撃強さ試験（許容速度変化試験および許容加速度試験）の結果を Table 1 と Table 2 に示す。許容速度変化試験の試料 No.5 では、最初に加えた衝撃で試料の破損（ﾌﾟﾚｰせず）が認められた。

Table 1 Results of critical velocity change test for DVD players

No.	⊿V (m/s)	Observations
1	3.16	OK
	3.61	DISC TRAY does not open.
2	2.95	OK
	3.81	PLAY function does not work.
	4.53	DISC TRAY does not open.
3	3.18	OK
	3.85	OK
	4.68	PLAY function does not work.
	4.67	DISC TRAY does not open.
4	3.04	OK
	3.97	OK
	4.52	DISC TRAY does not open.
5	3.19	PLAY function does not work.
	3.78	DISC TRAY does not open.

4.3 許容衝撃強さの算出

4.3.1 従来法

JIS Z 0119-2002 では、試料が破損した衝撃の 1 回前の衝撃のレベルを、その試料の許容衝撃強さとすると定義されている。しかし、そのバラツキに関しては次の記載のみであり、許容値を決定するための具体的な方法は記載されていない。

「4.供試品 ･･･強度のばらつきが問題となる製品では統計処理を行うのに必要な数を、ISO 2859-0 及び JIS Z 9015-0 の規定に従って用意する。ただし、供試品数が十分に確保できない場合で、試験による損傷部が一部だけの場合は、その部分を交換して試験をしてもよい。」

JIS Z 0119-2002 に従いデータを整理した結果、すなわち、破損しなかった最後の衝撃の

Table 2 Results of critical acceleration test for DVD players

No.	A (m/s2)	Observations
6	497	OK
	633	OK
	798	OK
	1059	OK
	1190	OK
	1510	Play function does not work.
7	491	OK
	633	OK
	813	Play function does not work.
	1070	OK except for the above results
	1250	A disc tray does not open.
8	493	OK
	638	OK
	806	OK
	1070	OK
	1240	Play function does not work.
	1520	A disc tray does not open.
9	504	OK
	628	OK
	816	OK
	1070	A disc tray does not open.
10	493	OK
	634	OK
	815	OK
	1070	A disc tray does not open.

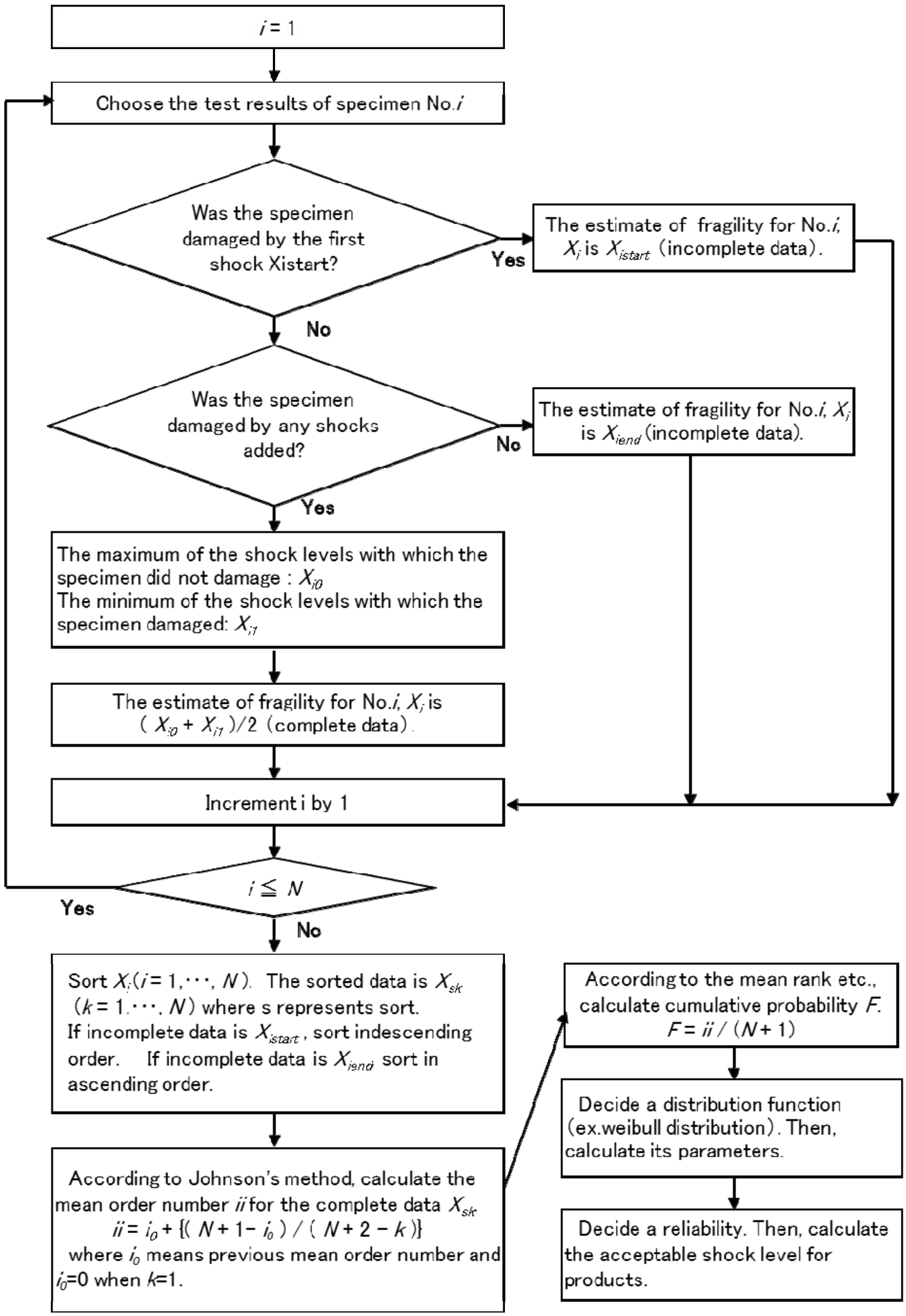

Fig.2 The algorithm to calculate the allowable shock level for products

Table 3 Critical velocity change and critical acceleration of DVD players (JIS Z 0119-2002)

	Critical velocity change(m/s)		Critical acceleration (m/s2)
1	3.16	6	1190
2	2.95	7	633
3	3.85	8	1070
4	3.97	9	816
5	－	10	815
μ	**3.48**	μ	**905**
σ	**0.501**	σ	**223**
μ - σ	**2.98**	μ - σ	**682**

値（⊿V あるいは A）を Table3 に示す。さらに、試料数が複数ある場合のデータ整理法が具体的に示されていないので、平均値および標準偏差の定義式を用いて、平均値 μ と標準偏差 σ を算出している。

そして、現実の緩衝設計で用いる製品の衝撃強さは､破損確率が 50%となる値ではなく、もっと小さな確率とすべきであることから、μ - σ の値も記載している。これは、衝撃強さの分布が正規分布であると仮定すると破損確率が約 15.9%となる値である。ただし、これらの結果には、加える衝撃の増加幅が原因となる誤差が含まれているため、破損確率はさらに小さな値となると推測される。

4.3.2 新データ整理法

Table 1 および Table 2 の試験結果に基づき、各試料の破損時の衝撃レベルと破損前の衝撃レベルの平均値を算出し、その値を各試料の許容衝撃レベルとする。ただし、打切りデータについては打切り時の衝撃レベルをその試料の値とする。得られたデータ、および、そのデータを Fig.2 のアルゴリズムにしたがって統計解析した結果を Table 4 に示す。ただし、データの確率分布は正規分布と仮定している。

Table 4 Critical velocity change and critical acceleration of DVD players (A new algorithm proposed in this paper)

	Critical velocity change(m/s)		Critical acceleration (m/s^2)
1	3.39	6	1350
2	3.38	7	723
3	4.26	8	1160
4	4.24	9	943
5	Less than 3.19	10	944
μ	**3.59**	μ	**1020**
σ	**0.943**	σ	**326**
μ - σ	**2.65**	μ - σ	**694**

表より、許容速度変化の平均値 μ が、Table 3 の μ よりも大きな値となっていて、一見、想定外に弱かった試料の値を初期打切りデータとして活用した効果が現れてないように読み取れるが、実際にはそうではない。その理由は次のとおりである。新データ整理法では、各試料の衝撃強さを「破損ひとつ前の衝撃レベル」ではなく､「破損時の衝撃レベルとひとつ前の衝撃レベルの平均値」として扱っており、その効果は＋0.34（Table 4 と Table 3 の各試料 No.1~No.4 の算術平均の差）である。

一方、この効果と、打切りデータを正当に評価した効果の合計は+0.11（Table 4 と Table 3 の各 μ の差）である。したがって、初期打切りデータを正当に評価することにより、平均値 μ を 0.23 押し下げる効果（-0.23=(+0.11)-(+0.34)）が発揮できたと考えられる。

また、許容速度変化の σ については 2 倍近く大きくなっている。これは、同様に、想定外に弱かった試料の値を初期打切りデータとして考慮した上で統計解析できたためだと考えられる。したがって、σ についても推定精度が向上していると考えられる。

最後に、μ-σ の値は小さくなっている。従来法では試料の衝撃強さを安全側（破損の一つ手前の衝撃値とする）で評価するため、厳しめ（小さ目）の推定値が予想されるが、実際には、このように、提案法の方が小さな値となっている。このことは、一見、従来法では安全側に評価しているが、実は、初期打切りデータが現れると、σ を誤って小さく評価してしまうため、μ-σ について危険側に評価してしまう危険性があることを意味している。すなわち、市場での破損に重要な指標となる μ-σ、μ-2σ などを評価する上で、打切りデータを正しく評価することの重要性を示唆している。

4．まとめ

製品衝撃強さ試験結果の統計解析手法について検討し、中途打ち切りデータあるいは初期打切りデータを含む不完全データを統計解析できる手法を考案した。また、DVD プレーヤーについての衝撃試験結果について、打切りデータを考慮しない方法と提案法を適用し両者を比較検討した結果、打切りデータを考慮しないために標準偏差を過小評価する危険性が見出された。

付録 「初期打切りデータ」の処理方法の妥当性についての検討

Johnson の方法による「中途打ち切りデータ」を含む不完全データの統計解析方法について、その基盤となる考え方について確認した後、本論文で提案する「初期打切りデータ」を含む不完全データの統計解析方法についての考え方の妥当性について確認する。具体的な確認方法としては、データ数３のサンプルデータを作成し、理論的にその順位数および累積破損確率を算出した後、それが Johnson の方法あるいは提案法の結果と一致することを確認する。

付録１　Johnson の方法の考え方

次の、寿命試験を想定した中途打切りデータを含む事例について順位数を算出する考え方[2)]について確認する。

データ１：100 時間で破損

データ２：150 時間で試験中止

データ３：200 時間で破損

この場合、データ２は中途打ち切りデータである。データ１およびデータ３の順位数は次のように考えて算出することができる。100

時間で破損したデータ１について、順位数 1 を割り付けることができる。しかし、200 時間で破損したデータ３については疑問が残る。データ３に順位数 2 を割り付けるのは正しくない。なぜならば、データ２は 150 時間で試験中止されており、200 時間未満で破損したかもしれず、この場合、データ２には順位数 2 を、データ３には順位数 3 を割り付けるべきだからである。一方、データ３に順位数 3 を割り付けることもできない。なぜならば、データ２は 200 時間より長い時間、破損しなかったかもしれないためである。この場合、データ２に順位数 3 を割り付け、データ３には順位数 2 を割り付けるべきだからである。このように、データ３の順位数は不確かであることがわかる。

ここで、データ２がデータ３よりも大きい確率と、データ３よりも小さい確率が同等であると仮定すれば、データ３の順位数は平均順位数 2.5(=(2+3)/2)を割り付けることができる。

これが Johnson の方法の考え方であり、上記の結果は、式(1)を用いて算出した結果と一致している。

付録 2 「初期打切りデータ」を含む不完全データの順位数および累積破損確率の理論的算出

付録 1 にならって、次の許容加速度試験を想定した初期打切りデータを含む事例について、平均順位数の理論的算出を試みる。

＜初期打切りデータの事例（昇順）＞

データ１: $100 m/s^2$（離散的データの期待値）

データ２: $150 m/s^2$ 未満（初期打切りデータ）

データ３: $200 m/s^2$（離散的データの期待値）

データ２が初期打切りデータであり、データ１とデータ３の順位数を理論的に算出する。データ１の順位数は、データ２が $100\ m/s^2$ より小さい衝撃で破損するのか否かで順位数が異なる。$100\ m/s^2$ より小さい衝撃で破損するのであればデータ１の順位数は 2 となり、$100\ m/s^2$ を越える衝撃で破損するのであれば 1 となる。したがって、データ１の平均順位数は 1.5 となる。一方、データ３については、データ１とデータ２の大小関係に係わらず、順位数は 3 である。よって、データ１の順位数は 1.5、データ３の順位数は 3 となる。

次に、これらの順位数に基づき、ミーンランク法およびメジアンランク法の近似式を用いて累積確率 F を算出する。

ミーンランク法： $F = i / (n+1)$ (2)

式(2)より、各データの累積確率は

$100\ m/s^2$： $F = 1.5/(3+1) = 3/8 = 0.375$

$200\ m/s^2$： $F = 3/(3+1) = 3/4 = 0.75$

となる。

メジアンランク法：$F \fallingdotseq (i-0.3) / (n+0.4)$ (3)

式(3)より、各データの累積確率は

$100 m/s^2$：$F = (1.5-0.3) / (3+0.4) = 1.2/3.4$

$\fallingdotseq$ 0.353

$200 m/s^2$：$F = (3-0.3) / (3+0.4) = 2.7/3.4$

$\fallingdotseq$ 0.794

となる。

付録 3 提案法による「初期打切りデータ」を含む不完全データの順位数および累積破損確率の算出

付録2と同じデータについて、提案法により順位数および累積破損確率を算出し、理論的に算出した結果と同じ値となることを確認する。

データの並びを、昇順から降順に変更すると次のようになる。

＜初期打切りデータの事例（降順）＞

データ３：200m/s^2（離散的データの期待値）

データ２：150m/s^{2}未満（初期打切りデータ）

データ１：100m/s^2（離散的データの期待値）

まず、データ３の順位数を算出する。式(1)に k=1、n=3、i_0=0 を代入すると、

i = 0 + (3+1-0)／(3+2-1) = 4／4 = 1

となり、データ３の順位数は 1 となる。

次に、データ１の順位数を算出する。同様に式(1)に k=3、n=3、i_0=1 を代入すると、

i = 1 + (3+1-1)／(3+2-3) = 1 + 3／2 = 2.5

となり、データ１の順位数は 2.5 となる。

よって、データ１の順位数は 2.5、データ３の順位数は 1 となる。

これらの順位数を用いて、ミーンランク法およびメジアンランク法により破損しない累積確率 F_1 を算出した後、通常の累積破損確率 F（=1-F_1）を求める。

ミーンランク法（F_1=i/(n+1) ）の場合、各データの累積確率は

200 m/s^2：F =1 - 1/(3+1) = 3/4 = 0.75

100 m/s^2：F =1 – 2.5/(3+1) = 3/8 = 0.375

となり、理論的算出法による結果と一致する。

メジアンランク法(F_1≒(i-0.3) / (n+0.4))の場合、各データの累積確率は

200 m/s^2：　F = 1 - (1-0.3)/(3+0.4) = 2.7/3.4 ≒ 0.794

100 m/s^2：　F= 1 - (2.5-0.3)/(3+0.4)= 1.2/3.4 ≒ 0.353

となり、理論的算出法による結果と一致する

以上により、理論的算出法による結果と提案法による結果の一致が確認できた。

〈参考文献〉

1) 市川昌弘、”構造信頼性工学”、 海文堂、p.30 (1988)

2) L.G.Johnson, “The Statistical Treatment of Fatigue Experiments”, Elsevier, p.37(1964)

3) W.B.Nelson, Journal of Quality Technology, 1(1), 27(1969)

4) 岩崎学、”不完全データの統計解析”、エコノミスト社、p.142(2002)

（原稿受付　2013 年 5 月 22 日）

（審査受理　2013 年 10 月 2 日）