# Up and down試験計画データの極限値と新しい解析方法の提案

竹山象三*

試験回数無限大のUp and down試験計画で得られるであろうデータの極限値を計算により求め，試験区間，レベル間隔の影響を検討した。その結果，臨界ストレスの分布が正規分布にしたがう場合，「実施」「爆」「不爆」のレベルの分布の正規確率プロットは直線となることがわかった。また，レベル間隔が一定で，試験区間を狭くした場合においても，各レベルの分布の正規確率プロットは同様の直線となり，最小，最大レベルで切断されているものの，傾きと切片は，変化しない。各レベルに便宜的に付加した「レベル番号」の分布の正規確率プロットも直線となる。また，臨界ストレスの母標準偏差に対するレベル間隔の比を変化させると，その直線は同一点を通過しながら，傾きが変化する。以上の知見をもとに新たな解析方法を提案する。この方法により，臨界ストレスの分布の正規分布からの逸脱のチェックを視覚的にすることが可能となった。

## 1. はじめに

事前の試験結果を「爆」と判定するか，「不爆」と判定するかに基づいて，つぎの試験で負荷するストレス（たとえば，落ついの高さ，静電気エネルギーなど）の量を調整する試験計画がいくつか提案されている[1,2,3]。これらの試験計画を用いると，ストレスへの耐性に関する評価値（たとえば，50%爆点）を探索しつつ，その近傍へ試験を集中させることができるので，評価値の推定精度の向上が期待できる。なかでも，Up and down試験計画[1]においては，事前にストレスの負荷量を等間隔に設定するので，試験計画の遂行が比較的容易であり，また，試料が「爆」となるのに必要なストレス量（以下，臨界ストレス）の分布の母平均および母標準偏差を推定する簡単な式がDixonにより提案されている[1]（以下，Up and down試験計画とDixon式の組み合わせをUp and down法とする）。

Up and down法は，実施の容易性，計算の簡単さにより，国内でも多用されているが[4,5]，実施においては，いくつかの事前に検討しておくべき重要な点がある。ひとつは，試験の開始レベル（等間隔に設定されたストレス負荷量を以下，レベルと呼ぶ），試験区間（最小レベル～最大レベルの範囲），レベル間隔，試験全体を終了とする総試験回数など，事前に決定しなければならない試験条件の試験結果への影響についてである。これらの試験条件の試験結果への影響は，レベルを上昇させる試験から下降させる試験への転換を1回に限った試験計画については論じられているものの[6,7]，上昇，下降，上昇，…の転換を多数回繰り返す試験計画について論じたものは見あたらない。

もうひとつは，試料が「爆」となるのに必要な最小ストレス（以下，臨界ストレスと呼ぶ）の分布の正規性についてである。Dixonは，臨界ストレスが正規分布をすることを仮定し，最尤法により，推定式を導出しようとした。しかし，導出した尤度方程式を解くことができないので，分布のモーメントを求めることに置き換えて推定式を導出している。したがって，臨界ストレスが正規分布に従っているか否かは，母平均と母標準偏差で分布を把握することの妥当性を支持するかどうかだけでなく，推定式の導出過程の妥当性を保持するためにも，重要な検討項目である。しかし，現在，Up and down試験計画で得られた結果に基づいて，臨界ストレスの分布の正規性を確認する方法は見あたらない。したがって，正規性の確認には，別途，確認のための試験を実施しなければならない。そのためか，Up and down法の推定式の適用に際して，臨界ストレスの分布の正規性を表だって検討した例は少ない[4]。

以上のことに対応して，本研究では，Up and down法[1]に対して，

①事前に設定する試験条件の結果への影響の把握

1995年7月7日受理
*岡山商科大学商学部産業経営学科
〒700 岡山市津島京町2—10—1
TEL 086-252-0642
FAX 086-255-6947

| Level | Profile of test | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Test number | | | | | | | | | | |
| S7 | | | | | | | | | o | | |
| S6 | | | | o | | o | | | x | o | o |
| S5 | | o | | x | o | x | o | o | x | o | x |
| S4 | o | x | o | x | o | x | o | x | x | x | |
| S3 | x | x | o | x | x | | x | | | | |
| S2 | x | | x | | | | | | | | |
| S1 | x | | | | | | | | | | |

o : Explosion　　x : No explosion

Fig. 1　Example of the progress of Up and down method

②臨界ストレスの分布の正規分布からの逸脱のチェック方法の模索

を目的として，無限回の試験を実施した場合に得られるであろう試験結果の極限値を確率計算により求め，種々の条件に基づいた計算結果を比較，検討した。その結果，いくつかの知見を得，さらに，新たな解析法を開発したので，報告を行う。

## 2.　試験結果の極限値の計算方法と計算条件

### 2.1　Up and down試験計画により得られる試験結果と計算方法

Up and down試験計画の概要をFig. 1に示す。まず，適当な試験開始レベルで試験が行われ，「爆」，「不爆」が判定される。その結果が「爆」であれば一段下のレベルで，「不爆」でであれば一段上のレベルで2回目の試験が実施される。同様に，3回目以降の試験が行われるレベルはその直前の試験結果によって決定される。これらのことが適当な総試験回数になるまで繰り返されて，試験全体が終了する。

この過程で観測されるものは，k回目の試験がどのレベルで行われたかであり，最終的には，試験を実施したレベル（以下，「実施」レベルと呼ぶ。）の列が観測値として得られることになる。このような，「実施」レベルの列データの集計値として，列中での各レベルの出現度数や出現確率，すなわち，「実施」レベルの分布が考えられる。同様に，「爆」または「不爆」となったレベル（以下，「爆」レベル，「不爆」レベルと呼ぶ）のみから構成されるレベルの列データに着目した場合には，「爆」レベルの分布，または「不爆」レベルの分布が，集計値として考えられる。総試験回数が無限回の分布のUp and down試験計画を行った場合の，「実施」レベルの分布，「爆」レベルの分布，「不爆」レベルの分布の計算方法を以下に示す。

試験に用いるレベルには，最小レベルより最大レベルにむかって1から順に番号を付与し，最大レベルの番号は$m$としておく。

試験をレベル$S_i$で行った後，つぎの試験をレベル$S_j$で行う確率（推移確率）$t_{ij}$を要素とした推移確率行列Tは，レベル$S_i$での試験が「爆」となる確率を$p_i$として式(1)のように求められる。

$$T=\left|\begin{array}{cccccccc} p_1 & 1-p_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & 1-p_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_3 & 0 & 1-p_3 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1-p_{m-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & p_{m-1} & 0 & 1-p_{m-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & p_m & 1-p_m \end{array}\right| \tag{1}$$

なお，最小のレベルで「爆」，または，最大のレベルで「不爆」が発生した場合には，同一レベルを選択することにして，式(2)に示す推移確率を設定した。

$$t_{1,1}=p_1 \ , \ t_{m,m}=1-p_m \tag{2}$$

k回目の試験がレベル$S_i$で行われる確率$x_{k,i}$を要素とした行ベクトル$X_k$を式(3)，$k+1$回目の試験をレベル$S_i$で行う確率$x_{k+1,i}$を要素とした行ベクトル$X_{k+1}$を式(4)で定義すると，$X_{k+1}$は式(5)で求められる。

$$X_k=(x_{1,k}, x_{2,k}, \cdots, x_{i,k}, \cdots, x_{m,k}) \tag{3}$$

$$X_{k+1}=(x_{1,k+1}, x_{2,k+1}, \cdots, x_{i,k+1}, \cdots, x_{m,k+1}) \tag{4}$$

$$X_{k+1}=X_k \cdot T \tag{5}$$

このような場合，$k$を無限大としたときの$X_k$の極限ベクトル$\lim_{k\to\infty} X_k$の要素$x_i$は式(6)で示した連立方程式を解くことにより求められる[6]。

$$\left.\begin{array}{l} X=(x_1, x_2, \cdots, x_1, \cdots, x_m) \\ X \cdot T=X \\ \Sigma x_i=1 \end{array}\right\} \tag{6}$$

すなわち，無限回目の試験がレベル$S_i$で行われる確率が式(6)の連立方程式の解$x_i$として求められる。また，この値は，無限回目の確率であることから，「実施」レベルの出現確率に等しい。したがって，「実施」レベルの分布$e_i$は式(7)となる。

$$e_i=x_i \tag{7}$$

一方，「爆」レベルの出現確率は「実施」レベルの出現確率$x_i$にそのレベルで「爆」が発生する確率$p_i$を乗じることにより求められ，「不爆」レベルの出現確率は「実施」レベルの出現確率$x_i$に「不爆」の発生する確率$1-p_i$を乗じることにより，求められる。した

がって，「爆」レベルの分布$d_i$および「不爆」レベルの分布$u_i$は式(8)，(9)で求められる。

$$d_i = x_i \cdot p_i \tag{8}$$

$$u_i = x_i \cdot (1 - p_i) \tag{9}$$

### 2.2 基本とした計算条件

Up and down法においては，臨界ストレスcのばらつきが正規分布$N(\mu, \sigma^2)$に従う（または，正規分布に従うようにストレス値が既に数値変換されている）ことが仮定されている。そこで，この仮定が満足されている場合のUp and down試験計画から得られるレベルの分布の性質を知ることを目的として，本計算においても同様の仮定を設定する。実際のストレス値によるレベル$S_i(i=1,\cdots,m)$としたとき，レベル$S_i$で「爆」が得られる確率$p_i$は式(10)により求られる。

$$\begin{aligned} p_i &= Pr\ \{c \leqq S_i\} \\ &= Pr\ \left\{\frac{c-\mu}{\sigma} \leqq \frac{S_i-\mu}{\sigma}\right\} \\ &= Pr\ \{u \leqq L_i\},\ u \sim N(0, 1^2) \end{aligned} \tag{10}$$

ただし，

$$L_i = \frac{S_i - \mu}{\sigma} \tag{11}$$

そこで，一般性を保つために，臨界ストレスの分布は標準正規分布に従うと仮定し，レベルには$S_i$ではなく，式（11）で基準化された$L_i$を，また，レベル間隔には式（12）で定義されるレベルの差$dL$を用いて，以降の論議を行うことにする。

$$dL = L_{i+1} - L_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{\sigma} = \frac{dS}{\sigma} \tag{12}$$

ただし，

$$dS = S_{i+1} - S_i$$

## 3. 計算結果および考察

### 3.1 Up and down試験データの極限値の計算例

最小レベルを－4，最大レベルを4，基準化されたレベル間隔dLを1.0と設定した場合の「実施」「爆」「不爆」の各レベルの分布の計算結果をFig. 2に示す。なお，「実施」レベルについての確率の総和は1であり，「爆」，「不爆」の各レベルについての確率の総和はそれぞれ0.5である。

「実施」レベルの分布は，臨界ストレスの分布の母平均に設定したレベル0を中心として左右対称であり，中心から離れるにしたがって確率は小さくなっている。また，臨界ストレスの分布の母標準偏差に1を仮定したのに対応して，「実施」レベルの分布は，－3および3のレベルで確率はほとんど0となる。一方，「爆」のレベルの分布は，「実施」レベルの分布の中心よりレベル間隔の1/2高くシフトしたレベル0.5付近を中心とし，「不爆」レベルの分布では低くシフトしたレベル－0.5付近を中心として，いずれも左右対称の分布となっている。

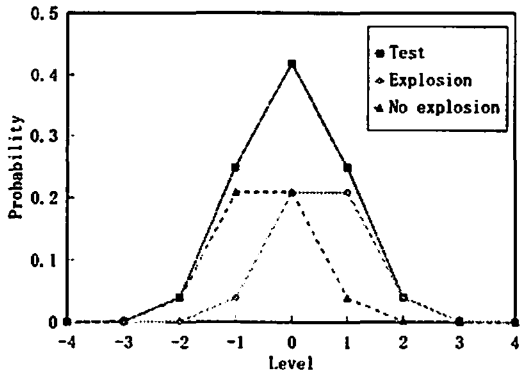


Fig. 2 The limiting distribution of levels obtained by Up and down method (level interval 1.0, lowest level −4.0, highest level 4.0)

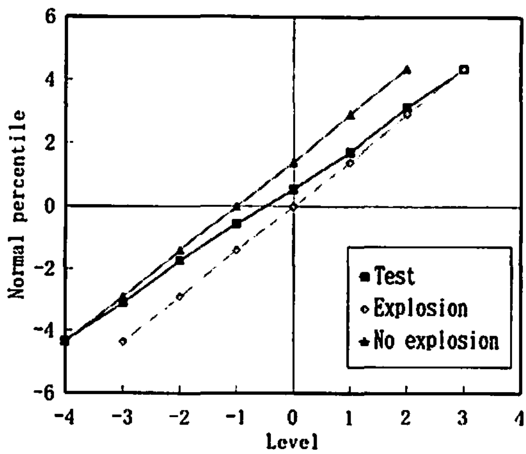


Fig. 3 Normal Probability Plot of levels corresponding to Fig. 2

それぞれのレベルの分布の正規確率プロットをFig. 3に示す。なお，「爆」「不爆」の各レベルの分布については，確率の総和が1になるよう累積確率を換算してプロットした。各レベルの分布についてのプロットはいずれも良い直線性を示す。これにより，臨界ストレスの分布が正規分布に従う場合，Up and down試験計画で得られるレベルを確率変数とする多項分布は，「実施」「爆」「不爆」のいずれについても，正

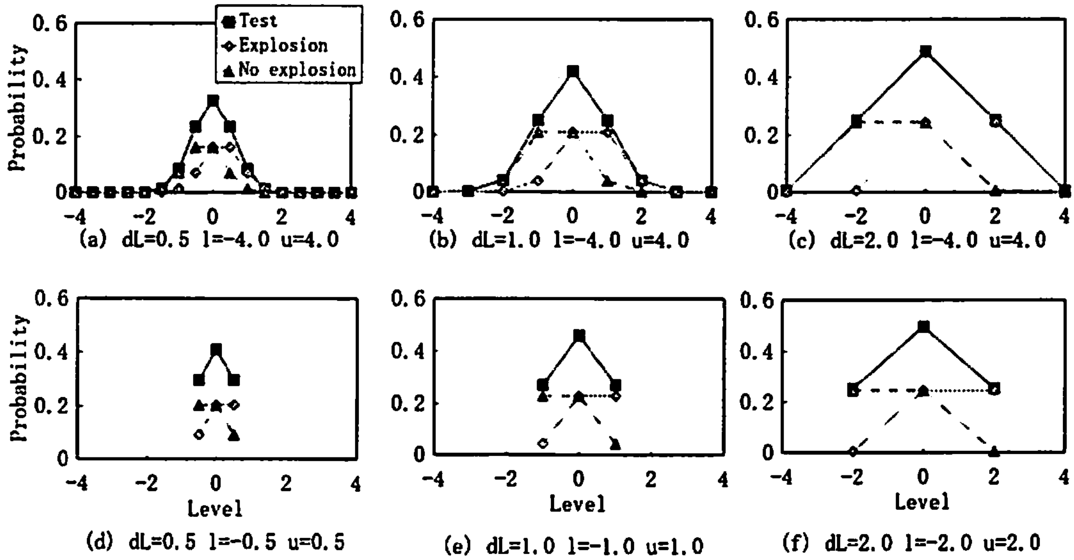


Fig. 4 Limiting distributions of levels obtained by Up and down method
dL: level interval, l: lowest level, u: highest level

規確率プロットにより直線で表されることがわかる。また，「爆」レベルのプロットと「不爆」レベルのプロットは平行であり，各分布の標準偏差の等しいことがわかる。「実施」レベルの分布の標準偏差は，分布の中心の異なった「爆」レベルの分布と「不爆」レベルの分布の和となるため，「爆」「不爆」レベルの分布の標準偏差に比べて大きい（プロットの傾きが小さい）。

### 3.2 試験区間，レベル間隔のレベル分布への影響

種々の試験区間，レベル間隔を設定した場合の「実施」，「爆」，「不爆」レベルの各分布をFig. 4に示す。

試験区間を－4から4と設定した場合，レベル間隔が0.5のとき，「実施」レベルの分布は－2から2のレベルの間に収まっている（Fig. 4(a)）。これに対し，同一試験区間でも，レベル間隔が広くなると，「実施」レベルの分布は広くなり，レベル間隔が2.0のときには「実施」レベルの分布は－4から4にまで広がる（Fig. 4(c)）。レベル間隔が広がるにつれて分布が広くなる傾向は，「爆」レベルの分布および「不爆」レベルの分布においても同様に認められる。

Fig. 4(d)(e)(f)には，試験区間を極端に狭めた場合，すなわち，レベル間隔と試験区間を0.5と－0.5～0.5，1.0と－1.0～1.0，2.0と－2.0～2.0に設定した場合の計算結果を示した。この結果，いずれの条件においても「実施」「爆」「不爆」の各レベルの分布形状は，Fig. 4(a)(b)(c)で示した分布を最小レベルおよび最大レベルの位置で切断された形状になった。ただし，切断された部分の確率が，残された分布に上乗せされるため，(a)(b)(c)に比べて各レベルでの確率は大きくなっている。

「実施」レベル，「爆」レベル，「不爆」レベル別にして，レベル間隔を0.5に固定して種々の試験区間を設定した場合の分布の正規確率プロットの比較をFig. 5に示す。「実施」レベル，「爆」レベル，「不爆」レベルのいずれにおいても，種々の試験区間に対応したプロットは同一直線上に位置しており，図上では各試験区間別のプロットを判別することはできない。すなわち，試験区間を狭く設定したことにより，各レベルの分布が最小および最大の各レベルで切断された形状となっても，正規確率プロットは直線となることがわかる。また，その直線は，レベル間隔が同じであれば，分布が切断されていない場合に得られる正規確率プロットの直線の一部分となっている。したがって，臨界ストレスの分布が正規分布であり，レベル間隔が同じであれば，各レベルの分布を正規確率プロットにより整理すると，試験区間に関係なく同一の傾きおよび切片をもった直線が得られるといえる。

### 3.3 「レベル番号」による整理

3.1および3.2において，種々の試験区間，レベル間隔dLに対して計算を行い，論議を行った。しかし，これらの計算においては，臨界ストレスの分布に標準正規分布を仮定しているので，レベル$L_i$の値は標準偏差$\sigma$を単位とした母平均$\mu$からの距離に対応している。したがって，3.1および3.2での論議は，臨界ストレ

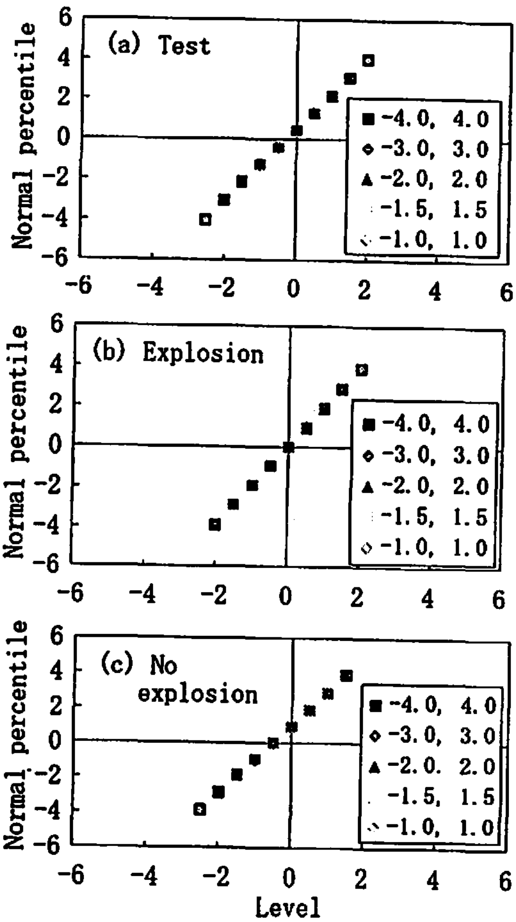


Fig. 5 Normal Probability Plot of levels
(symbol lowest level, highest level)

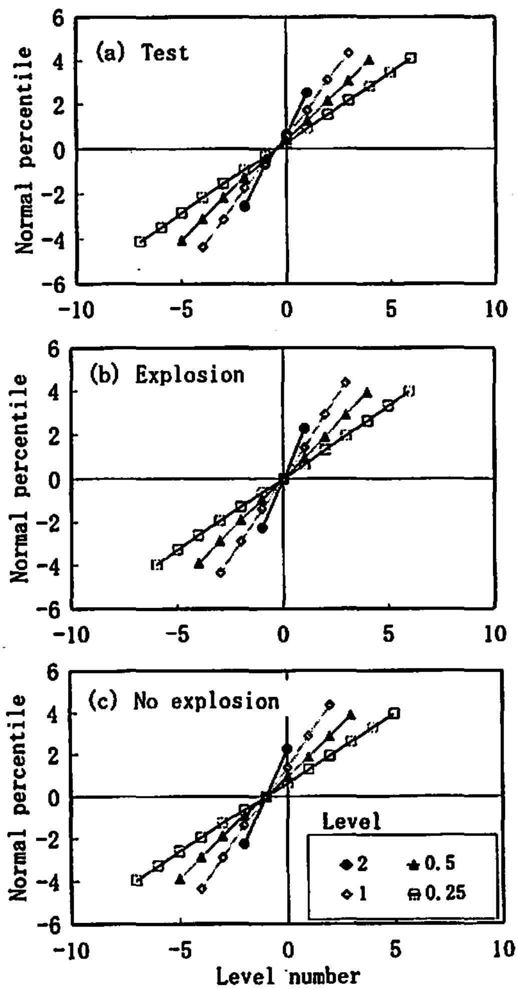


Fig. 6 Normal Probability Plot of temporary level numbers

スの分布の母平均と母標準偏差が既知の場合にのみ有効である。しかし，実際には，臨界ストレスの分布の母平均および母標準偏差を推定することが目的であり，これらの値は未知である。

そこで，実際のレベル間隔dSや基準化されたレベル間隔dLに関係なく，試験区間の中心レベルを0とし，上側へ1，2，…，下側へ－1，－2，…，と便宜的に付与した場合の「レベル番号」の分布についての検討を行う。

「レベル番号」の分布の正規確率プロットをFig. 6に示す。「実施」「爆」「不爆」のいずれの場合も，プロットは良い直線性を示している。臨界ストレスの分布に正規分布を仮定した結果，このような結果が得られたことを考慮すると，「レベル番号」の分布の正規確率プロットの直線性を確認することによって，臨界ストレスの分布の正規分布からの極端な逸脱をチェックできると考えられる。

「実施」「爆」「不爆」のそれぞれの場合において，個々の基準化したレベル間隔dLに対応したプロットは1点で交わっており，その点の縦軸の値は0であり，この点は累積確率50%に対応している点である。また，この交点の横軸の値は，「実施」レベルの場合には－0.5，「爆」レベルの場合には0，「不爆」レベルの場合には－1.0である。計算の仮定として，臨界ストレスの母平均に相当する「レベル番号」を0に設定したことを考慮すると，「レベル番号」の分布の正規確率プロットにより得られる直線上の縦軸の値0に対応した点の横軸の値は，レベル間隔に関わらず，

- 「実施」レベルの場合，臨界ストレスの分布の母平均に相当する「レベル番号」より0.5小さい番号
- 「爆」レベルの場合，臨界ストレスの分布の母平均

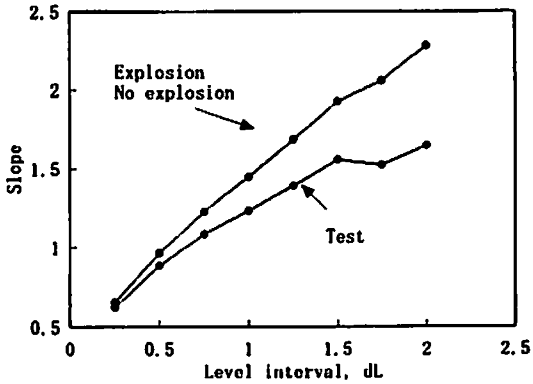


Fig. 7　Relation between level interval, dL and slope of Normal Probability Plot

に相当する「レベル番号」と同じ番号

・「不爆」レベルの場合，臨界ストレスの分布の母平均に相当するレベル番号より1.0小さい番号

になるといえる。これを換言すると，臨界ストレスの分布の母平均は，「レベル番号」の分布の正規確率プロットで得られる直線を用いて，

・「実施」レベルの場合，縦軸の値0に対応する点の横軸の値より，0.5大きい「レベル番号」に相当するストレス値

・「爆」レベルの場合，縦軸の値0に対応する点の横軸の値の「レベル番号」に相当するストレス値

・「不爆」レベルの場合，縦軸の値0に対応する点の横軸の値より，1.0大きい「レベル番号」に相当するストレス値

として，推定することができる。

一方，「実施」「爆」「不爆」のそれぞれの場合において，「レベル番号」の分布の正規確率プロットの傾きは，基準化されたレベル間隔dLが小さいほど小さく，レベル間隔が大きくなるにつれて傾きも大きくなっている。基準化されたレベル間隔dLと「レベル番号」分布の正規確率プロットから得られる直線の傾きとの関係をFig. 7に示す。

レベル間隔dLが1.5以下では，「実施」「爆」「不爆」のそれぞれの場合において，レベル間隔が大きくなるとともに傾きも直線的に大きくなっている。したがって，「レベル番号」の分布の正規確率プロットにより得られた直線の傾きとFig. 7を用いて，試験に用いたレベル間隔dLを推定することができる。また，ここで得られるレベル間隔dLは，式（12）で定義されている基準化したレベルの差であるので，実際のストレス値における間隔dSを用いると，式（13）により，臨界ストレスの分布の標準偏差σを推定できる。

$$\hat{\sigma}=\frac{dS}{dL} \tag{13}$$

なお，Fig. 7において，レベル間隔dLが1.5を超えると「実施」レベルの場合は傾きの単調な増加は停止し，ある値を中心に振動するようである。また，「爆」，「不爆」レベルの場合には，傾きの増加傾向は停止しないものの，増加の傾向はレベル間隔が1.5以下での増加傾向に比べてやや不安定である。そのため，Fig. 7により1.5以上のレベル間隔dLが得られるような場合は，前述の母標準偏差の推定を避けたほうが良いと考える。

## 4. 「レベル番号」の分布の正規確率プロットに基づいた解析法の提案

step1　step2　step3, 4

| No. | Level | Profile of test (step2) | Frequency: Explosion | Frequency: No explosion | Frequency: Test | Explosion: CF | Explosion: CP | Explosion: NP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 3 | | | | 0 | 30 | 1.000 | |
| 12 | 2.5 | | | | 0 | 30 | 1.000 | |
| 11 | 2 | | | | 0 | 30 | 1.000 | |
| 10 | 1.5 | | | | 0 | 30 | 1.000 | |
| 9 | 1 | o o o | 3 | | 3 | 30 | 1.000 | |
| 8 | 0.5 | o o x o o o o o o o x o o x | 11 | 3 | 14 | 27 | 0.900 | 1.282 |
| 7 | 0 | o x o x o o x o x o o o x o x o x x x x o x x | 11 | 12 | 23 | 16 | 0.533 | 0.082 |
| 6 | -0.5 | o x o x o x o x x x x x x x x x | 4 | 12 | 16 | 5 | 0.167 | -0.966 |
| 5 | -1 | x x o x x x | 1 | 5 | 6 | 1 | 0.033 | -1.838 |
| 4 | -1.5 | x x | | 2 | 2 | 0 | 0.000 | |
| 3 | -2 | x | | 1 | 1 | 0 | 0.000 | |
| 2 | -2.5 | x | | 1 | 1 | 0 | 0.000 | |
| 1 | -3 | x | | 1 | 1 | 0 | 0.000 | |
| | | Total | 30 | 37 | 67 | | | |

CF : Cumulative frequency
CP : Cumulative probability
NP : Normal percentile

Fig. 8　The example profile of Up and down method based on $N(0, 1^2)$ random numbers

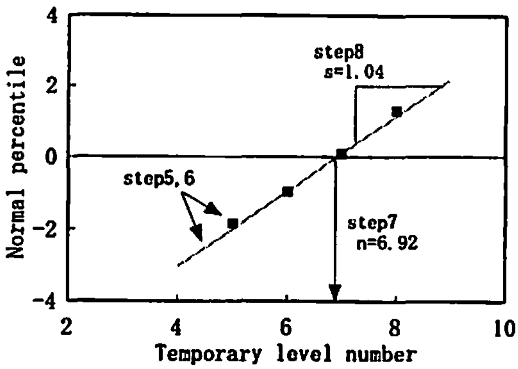


Fig. 9 The Normal Probability Plot of example data

3.3の知見を基にして，定性的ではあるが，

・臨界ストレスの分布の正規分布からの極端な逸脱のチェック

・臨界ストレスの母平均，母標準偏差の推定

を行う方法を手順にまとめて以下に示す。また，この手順に従った解析例をFig. 8，Fig. 9に示す。

なお，この例で用いた試験結果は，Fig. 8に示した実際のストレスレベル$S_i$，レベル間隔dS=0.5を設定し，標準正規分布乱数の値を試料の臨界ストレス$c$とし，

$c<S_i$のとき○（「爆」）

$c>S_i$のとき×（「不爆」）

の条件により，「爆」，「不爆」の試験結果を模擬的に発生させたものである。よって，臨界ストレス分布の母平均$\mu$および母標準偏差$\sigma$の真値は0および1である。

手順1　等間隔に設定したレベルに番号を小さい方から順に付与しておく。

手順2　Up and down試験計画によりデータを採取し，「レベル番号」ごとに「爆」，「不爆」の頻度を整理する。

手順3　「実施」「爆」「不爆」のいずれを解析対象とするかを決定する。

試験の開始レベルが，試験終了後に得られた「実施」レベルの分布において，十分な出現確率を持ったレベルであれば，「実施」「爆」「不爆」のいずれのレベルの分布も解析対象となる。しかし，非常に低い出現確率のレベルから試験を開始したのであれば，そのレベルから「実施」レベルの分布へ到達するまでの試験は，いわば，試験を行うのに適当なレベルの探索のための試験であり，臨界ストレスの分布を十分に反映した試験とはいえない。したがって，このような場合には，探索のための試験数の影響を排除するために，Dixonの解析[1]と同様に，「爆」の総数と「不爆」の総数を比較し，総数の少ない方を解析対象データとする。

例では，レベル－3から試験が開始されており，そのレベルで試験が「実施」される確率は1/67であり，非常に小さい。そして，試験の総数は「爆」が30，「不爆」が37なので，「爆」を解析対象とする。

手順4　累積個数，累積確率および正規パーセンタイル値を求める。

手順5　「レベル番号」を横軸，縦軸に正規パーセンタイル値をとり，データをプロットする。

手順6　プロットされた点の直線性により，臨界ストレスの分布が正規分布から極端に逸脱していないことを確認し，最も適合する直線を引く。

手順7　縦軸の値0に対応した直線上の点の横軸の目盛を読み，その値を$n$として，式（14）により，母平均$\mu$を推定する。

$$\hat{\mu}=S^*+dS\times\{(n+\alpha)-[n+\alpha]\} \qquad (14)$$

$\alpha$　:「実施」のとき0.5，「爆」のとき0，「不爆」のとき1

$S^*$　:$[n+\alpha]$番に相当するストレス値

$dS$　:ストレス値における間隔

[ ]:小数部切り捨て記号

例では，

$$\hat{\mu}=-0.5+0.5\times\{(6.92+0)-[6.92+0]\}$$
$$=-0.08$$

手順8　直線の傾き$a$を求め，これに相当する基準化されたレベル間隔dLをFig. 7により推定する（dLの値が1.5以下であることを確認しておく）。

例では，

$a=1.04$であり，Fig. 7よりdL=0.6

手順9　式（13）により，母標準偏差$\sigma$を推定する。

例では，

$$\hat{\sigma}=dS/dL=0.5/0.6=0.83$$

## 5. おわりに

試験回数無限大の場合のUp and down試験計画で得られるであろうレベルの分布を計算により求め，試

験区間，レベル間隔の影響を検討した。臨界ストレスの分布が正規分布に従うと仮定した場合の結果をまとめると，つぎのようである。

1）「実施」「爆」「不爆」レベルを確率変数とした多項分布は，正規確率プロットにより直線で表すことができる。

2）レベル間隔を広くすると「実施」「爆」「不爆」レベルの分布は広くなる。このとき，試験区間が狭くとられていると，試験区間の最小，最大レベルでレベルの分布は切断される。しかし，いずれのレベルの分布においても，正規確率プロットで得られる直線の傾きと切片は，分布が切断されていない場合（試験区間が十分広くとられている場合）に得られる直線と同じ値である。

3）便宜的に付与した「レベル番号」の分布も，正規確率プロットにより直線となる。「実施」「爆」「不爆」のいずれのレベルの場合においても，臨界ストレスの母標準偏差$\sigma$に対するレベル間隔$dS$の比$dL$を変化させると，正規確率プロットで得られる直線は，同一の点を通過しながら，傾きが変化する。

また，これらの知見に基づいて，正規確率プロットにより母平均および母標準偏差の推定を行う方法を新たに提案した。従来，臨界ストレスの分布が正規分布であったときの「実施」「爆」「不爆」のレベルの分布が明確でなかった。そのため，Up and down法の基本仮定である臨界ストレス分布の正規性，さらには，試験結果中の異常値の有無をチェックすることができなかった。しかし，今回提案した方法では，レベルの分布を正規確率プロットにより視覚的に把握できるので，定性的ではあるがそれらのことをチェックすることが可能となった。

## 文　献


1) Dixon, W. J., Mood, A. M., JASA, 43, 109 (1948)
2) Schilperood, A. A., Biijlsma, H. D., Bruckman, H. W. L., Propellants, Explosive, Pyrotechnics, 7, 46 (1982)
3) Janswoude, J. J., Propellants and Explosives, 5, 99 (1980)
4) 井上吉勝，吉沢二千六，金子良昭，田村昌三，安部隆幸，平山逸，吉田忠雄，安全工学，26，205 (1987)
5) 黒田英司，永石俊幸，火薬学会誌，55，214 (1994)
6) 田中一三，中山良男，生沼仙三，工業火薬，48，35 (1987)
7) 竹山象三，工業火薬，49，40 (1988)
8) 塩見弘，「信頼性工学入門」p.94，丸善 (1981)

## Limiting values on Up and down test data and a proposal of a new method for the analysis

by Shozo TAKEYAMA*

The effects of "range of stress level"and "level interval"on the Up and down test data are studied based on a calculation of limiting values of data where will be obtained at the infinite number of test.

The results of the study are summarized as follows:Normal Probability Plots of "stress level" give a straight line, if "critical stress" of samples follows a normal distribution. Normal Probability Plots of "stress level" distribution for extremely narrow range of "stress level" under the fixed level intervals, give a straight line, although the distribution is truncated at both sides. The values of their slope and intercept are the same as those obtained from the complete distribution. Normal Probability Plots of "level number" distribution also give a straight line. Their slopes depend on the ratio of "level interval" to the population standard deviation of "critical stress". These line pass through the same one point.

Based on those results, a new method of analysis for Up and down test data has been proposed. This analysis makes it possible to test the normality of "critical stress" distribution graphically.

(*Faculty of Commerce, Okayama Shoka University 2—10—1 Tsushimakyo-machi, Okayama)