

紙及び板紙の“引張強さ”における不確かさの考察

製紙スタッフ 堤 真一 河部千香 深沢博之 村松重緒 齊藤将人

Consideration of Uncertainty in Paper and board of “Tensile Strength”

Shinichi Tsutsumi, Chika Kawabe, Hiroyuki Fukasawa, Shigeo Muramatsu, and Masato Saito

1. はじめに

紙の引張強さ試験は、JIS P 8113 3.1に規定されたものであるが、①公的な標準試料がない②同じ試験片を2度測定が出来ない破壊試験である。このため本報告では、平成20年度の客員研究員招へい制度を活用して、紙質試験の引張強さにおける測定の不確かさ算出に取り組んだので報告する。

2. 実験方法

不確かさ (=バラツキ) の算出には、要因を推測して合計していく手法 (組立て量) が求められる。そこで、測定における不確かさの要因=バラツキの原因を大別し、因子を決めて実験を行い、分散分析を行った後、バラツキに大きく関わる因子を取り上げて、バジェット表を作成して不確かさの算出を行った。今回の不確かさの推定において、要因を「試料」と「測定条件」に大別し、「試料」が“試験片の幅”の1因子とし、「測定条件」が“チャック間隔”と“引張り速度”の2因子とした。

2.1 引張試験条件

試験は因子の数が3つあるため3元配置とし、各因子の水準数を3、繰り返し数を10回とした (試験片の幅; 10,15,25mm、チャック間隔; 80,150,20mm、引張り速度; 10,15,25mm/min)。試験に供した試料は、坪量69.4g/m²のPPC用紙 (縦×横; 364×257.5mm) で、MD方向の引張強さを求めた。試験機は、テンシロン万能試験機 (オリエンテック社製: UTM-500) を用いた。

2.2 分散分析及び不確かさの算出

3元配置分散分析には、(独)産業技術総合研究所 (AIST) の計量標準総合センター (NMIJ) が開発したプログラムAIST-ANOVAを使用した。水準間

の有意性と因子に対する引張強さの変化率を求めするため、因子毎に1元配置分散分析を行い、併せて、1次項に分解して、各水準の平均値の直線性を確認するため、水準の平均値から回帰分析を行った。

以上の分析結果を基に、①不確かさの因子を特定する、②特定した因子の標準不確かさ $U(x_i)$ と感度係数 C_i から不確かさ (U_c) に寄与する値 = $【|C_i| \times U(x_i)】$ を求める、③バジェット表に①と②で求めた値を記入する、④不確かさに寄与する値を合成して不確かさ (U_c ; 合成標準不確かさ) を算出した。

バジェット表の作成手法は、客員研究員の講義やAISTの講義用テキスト¹⁾を参考にした。

3. 結果と考察

解析プログラムAIST-ANOVAでは、3元配置分散分析の結果として分散値の構造式を表示してくれる。例えば、“チャック間隔”の分散値 (V_c) は75.8554となり、 V_c の構造式は、

$$V_c = \sigma_{e_1}^2 + 10\sigma_{e_2}^2 + 90\sigma_c^2$$

で表される。このため、各因子における純分散成分 σ を算出する事ができる (表1)。

表1 3元配置分散分析結果 (分散値)

因子	分散値	分散値の構造式	純分散の成分	
試験片の幅 a	141974.907	$\sigma_{e_1}^2 + 10\sigma_{e_2}^2 + 90\sigma_a^2$	σ_a^2	1576.6017
チャック間隔 b	758.554	$\sigma_{e_1}^2 + 10\sigma_{e_2}^2 + 90\sigma_b^2$	σ_b^2	7.5311
引張り速度 c	202.992	$\sigma_{e_1}^2 + 10\sigma_{e_2}^2 + 90\sigma_c^2$	σ_c^2	1.3582
3次誤差 E3	80.753	$\sigma_{e_3}^2 + 10\sigma_{e_4}^2$	$\sigma_{e_3}^2$	6.7891
4次誤差 E4	12.861	$\sigma_{e_4}^2$	$\sigma_{e_4}^2$	12.8614

表1で因子の項目にある誤差は、3次誤差 (E3) が、試験の設定変更に伴う実験誤差 (反復誤差) であり、4次誤差 (E4) が10回の繰り返し誤差を表す。

次に、a・b・cの3因子毎に1元配置分散分析を行ったところ、水準間で有意な差が見られたのがaの“試験片の幅”であった。b及びcの因子につ

いては、繰り返しの誤差が大きく、有意な差がみられなかった。次に、3因子毎に水準の平均値から回帰分析を行ったところ、因子aとbに高い直線性が認められた(図1及び図2)。

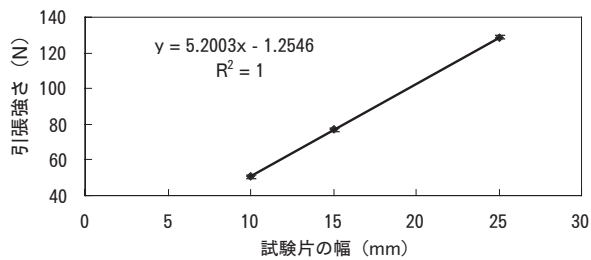


図1 試験片の幅 (a) と引張強さの関係

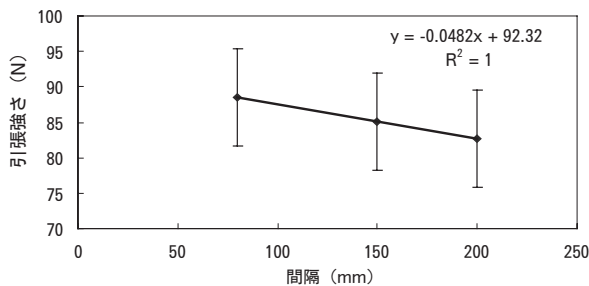


図2 チャック間隔 (b) と引張強さの関係

以上の分散分析並びに回帰分析から、不確かさを構成する因子をaとbに決定した。

因子aの標準不確かさ $U(x_i)$ は、15mm幅に裁断した試験片を実測して求めるAタイプ¹⁾となり、その値は0.0168467 (mm)となった(標準偏差の値)。因子bの $U(x_i)$ は、JISの試験規格を根拠としたためBタイプ¹⁾となり、その値は、Bタイプの算出式 $U(x_i) = 1 / \sqrt{3}$ 【チャック間隔の規格が±1 (mm)のため】より、0.57735 (mm)とした。因子aとbの感度係数 C_i は、それぞれの因子(x_i)に関する引張強さ(y)の傾きとした。因子aでは5.2003 (N/mm)、bでは-0.0482 (N/mm)となり、これらの値は、回帰分析における x_i の係数である。試験に供する試料が標準物質であれば、感度係数は、因子(x_i)の微量変化に伴う(y)の変化量(偏微分係数)で求められるが、不均一な試料である“紙料”を扱う場合には、今回の様に x_i の水準間を大きく振って、その直線の係数を代用する事で求められる。

また、合成標準不確かさ(U_c)の算出にあたり、因子aとb以外に表1で求めた3次誤差の純分散 σ_{e_3} と4次誤差の σ_{e_4} が、引張り試験におけるバラツキ(=不確かさ)そのものの値となるため、バジェット表の因子に盛り込んで合成標準不確かさを算出し

た(表2)。

表2 バジェット表

因子	標準不確かさ $U(x_i)$	評価方法 根拠/タイプ	感度係数 C_i	U_c への寄与 (N) $ C_i \times U(x_i)$
a	0.016846647	15回の反復測定(15mm幅)/A	5.20025	0.0876
b	0.577350269	JIS規格/B	-0.04816	0.0278
σ_{e_3}				2.6056
σ_{e_4}				3.5863
合成標準不確かさ U_c				4.4338

結果として、 U_c の値は4.4338 (N)となったが、因子aとbを除いた場合の U_c' の値が4.4329 (N)であるため、現行のJISの標準偏差を表す有効数字が3桁であることを考えると、aとbの不確かさが影響しない事になる。つまり、因子aと因子bの U_c に関する寄与は、3次誤差および4次誤差の寄与に比べはるかに小さい事が判った。

4. まとめ

紙の引張り試験の不確かさは、因子として考えた試験片の幅とチャック間隔より、反復と繰り返しの誤差の方が大きかった。このように、測定条件を因子に取った実験を行うことによって、測定条件の不確かさへの寄与の大きさを知ることができる。今回のように設定した因子の寄与が小さいことが分かった場合には、その条件を含めた枝分かれ実験の解析によって不確かさを評価してもいいことの裏付けとすることができる。

今回は、標準試料が無い場合の不確かさの算出方法を学ぶために、試みとして行ったものである。バラツキの因子と考えられる温度・湿度条件や、試験員の違いなどは考慮していない。このため、真の不確かさを求めるには、因子の洗い出しや、因子の絞り込みのための実験が必要となる。

謝辞

今回の報告にあたりご指導頂いた(独)産業技術総合研究所 計量標準総合センターの小池昌義氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 榎原研正, (独)産業技術総合研究所 : 不確かさ評価入門, 15P, Version2007-03-03.