

精密測定信頼性技術に関する研究

ものづくり開発室 新保 栄一
情報システム室 山畑 利行

Evaluation of Uncertainty on ULM Calibrated with Measurement of Gauge Blocks

Eiichi SHIMBO and Toshiyuki YAMAHATA

標準ブロックゲージを基準にULM600型万能横型測長機の校正の不確かさについて検討した結果、当研究所の精密測定室の環境において、測長機の校正の合成標準不確かさは $U_c=315\text{nm}$ 、拡張不確かさ $U=629\text{nm}$ 、測定者個人による標準不確かさは $U_c=270\sim 334\text{nm}$ で拡張不確かさ $U=570\sim 693\text{nm}$ であった。

1. はじめに

当研究所の万能横型測長機はアッペの測長原理に順守した、精密部品、ゲージ及び測定工具類等の測定・検査が可能な応用範囲の広い高精度長さ測定機である。また、万能測長機測定を使用した精密部品、ゲージ類の長さ測定の依頼試験および設備使用業務において、測定結果は数点を長さ測定し、その平均値としていた。近年、精密測定に不確かさの概念が導入されるようになり、当研究所においても測定結果に不確かさを付記する必要性が生じた。今回、万能測長機の校正の不確かさについて検討したので報告する。

2. 実験方法

実験には、12.5mm、25mm、50mm、75mm、100mmの標準ブロックゲージを基準に万能測長機を用いて測定した。使用測定機器は、万能横型測長機にカールツアイス製ULM600、標準ブロックゲージにツガミ製K級ブロックゲージを使用した。

万能測長機及びブロックゲージは温度ならし及び清掃を十分行った。測定室の室温仕様は 20 ± 1 、湿度仕様は $55\pm 5\%$ である。万能測長機は測定子；平面 2mm、測定力；2.5Nとし、ブロックゲージは測定開始の1時間前に測定テーブルに設置・固定した。測定者は3名でブロックゲージの長さ測定は午前と午後それぞれ5測定を行った。アライメントは各測定者が水平と垂直方向に対し行った。ブロックゲージの中央を測定し、その時の測長ユニットのガラススケール(熱膨張係数 $10.8\times 10^{-6}/$)および対物温度センサーの温度を記録した。

3. 実験結果及び不確かさの解析

標準ブロックゲージの20における長さ起因する不確かさ $u(L_{R20})$ は次のとおりである。標準ブロックゲージは、外部校正機関により光波干渉測定法により校正されている。この拡張不確かさ($k=2$)は $0.03\mu\text{m}$ である。標準ブロックゲージの校正の不確かさ $u(L_{R20_cal})$ は標準不確かさ

$$u(L_{R20_cal})=0.03\mu\text{m}/2=0.015\mu\text{m}$$

となる。標準ブロックゲージの経年変化による不確かさ： $u(L_{R20_year})$ は、過去の校正結果から

$$u(L_{R20_year})=0.015\mu\text{m}$$

である。したがって、 $u(L_{R20})=(0.015^2+0.015^2)=0.0212\mu\text{m}$ となる。

次に測定者による繰返し測定の不確かさを求める。標準ブロックゲージの校正値は校正証明書より100mm、75mm、50mm、25mm、12.5mmの順に真値は、 $M_1=99.99999\text{mm}$ 、 $M_2=75.00006\text{mm}$ 、 $M_3=49.99999\text{mm}$ 、 $M_4=24.99999\text{mm}$ 、 $M_5=12.50004\text{mm}$ 、データ個数 $r_0=30$ 、 $y_1\sim y_5$ は各ブロックゲージ呼び寸法の測定データの計であるから

$$r=r_0(M_1^2+M_2^2+M_3^2+M_4^2+M_5^2)$$

$$=567187.695000165$$

$$=(1/r)\cdot(M_1y_1+M_2y_2+M_3y_3+M_4y_4+M_5y_5)$$

$$=0.99999988980681$$

$$S=(1/r)\cdot(M_1y_1+M_2y_2+M_3y_3+M_4y_4+M_5y_5)^2$$

$$=567187.682500121$$

$$S_r=\text{個々のデータ}(y_i) \text{の2乗の和}$$

$$=567187.682500684$$

$$S_e=S_r-S$$

$$=0.000000562635250$$

$$V_e=1/(k r_0-1)\cdot S_e$$

$$=0.0000000632174439$$

従ってSN比 は

$$=(1/r) \cdot (S - V_e) / V_e$$

$$=158184184(\text{mm}^{-2})$$

測定者による繰返し測定の不確かさ $u(d_{\text{persons-repet}})$ は

$$(d_{\text{persons-repet}})=3/$$

$$=0.000239(\text{mm})$$

万能測長機ULM600の測定精度は $\pm 0.3 \mu\text{m}$ であるから万能測長機の測定の不確かさ $u(d_{\text{ULM600}})$ は

$$u(d_{\text{ULM600}})=0.0003/ 3$$

$$=0.000173(\text{mm})$$

である。また、その測定の再現性は $\pm 0.1 \mu\text{m}$ で

$$u(d_{\text{stabi}})=0.0001/ 3$$

$$=0.0000577(\text{mm})$$

実験で使用した標準ブロックゲージの校正証明書にある線膨張係数は $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} /$ であるが、日本のブロックゲージは $(11.0 \pm 0.5) \times 10^{-6} /$ であることが実測で明らかにされている。 の値が中心値に対して対称に矩形分布すると考えると、 $u()$ は

$$u()=0.5 \times 10^{-6} / 3(/)$$

$$=0.29 \times 10^{-6} /$$

万能測長機ULM600はガラススケールと外部の温度センサーによる温度計測によって、スケール及びブロックゲージ部材の熱膨張による長さ測定の誤

差を補正している。ただし、この温度補正は、基準点0mm設定時の温度が用いられる。この実験中の温度の推移は $0 \sim +0.1$ であったことから

$$= (0.05^2 + 0.05^2 / 3) = 0.0577$$

の値を適用する。次に、測定子とブロックゲージの接触圧による長さ測定の不確かさ $U(d_{\text{hertz}})$ について考える。摩擦力を無視した場合、次の式が成り立つ。

$$2 = 2[P(1 -) / (2aE)]$$

$$= 2 \times 2.5 \times (1 - 0.3^2) / (2 \times 206 \times 10^3)$$

$$= 11 \times 10^{-6} \text{mm}$$

ただし 押し込み深さ(両側) : 2

測定力 : $P=2.5\text{N}$

ポアソン比 : $=0.3$

縦弾性係数 : 206GPa

測定子の直径 : $2a=2\text{mm}$

したがって

$$U(d_{\text{hertz}}) = (5.5^2 + 5.5^2 / 3) \times 10^{-6}$$

$$= 6 \times 10^{-6} \text{mm}$$

万能測長機の長さ測定結果の表示は 0.00001mm の分解能であり、表示装置の分解能による不確かさ $u(R)$ は

$$u(R) = 0.000005 / 3 = 3 \times 10^{-6}(\text{mm})$$

測長機校正の不確かさの評価を表1に示す。測定者による合成標準不確かさ $U_c(L_N)$ は、次のようになる。

表1 測長機校正の不確かさの評価

標準不確かさの成分 $u(x_i)$	不確かさの個別要因	標準不確かさの値	感度係数 f / x_i	$u_i(l)$ nm	type
$u(L_{R20})$ $u(L_{R20_cal})$ $u(L_{R20_year})$	標準ブロックゲージの20における長さ 標準ブロックゲージの校正 標準ブロックゲージの経年変化	21nm 15nm 15nm	1	21	B A A
$u(d_{\text{persons}})$ $u(d_{\text{persons-repet}})$ $u(d_{\text{ULM600}})$ $u(d_{\text{stabi}})$	万能測長機による標準ブロックゲージの測定誤差(測定者3名) 測定者による繰返し測定の不確かさ 万能測長機の測定の不確かさ 万能測長機の測定の再現性	301nm 239nm 173nm 58nm	1	301	A B B
$U()_{\text{block}}$	ブロックゲージの長さ測定中における温度変化	0.0577 ----- 64nm	L_N $L_N=100 \times 10^6$	$6.35 \times 10^{-7} \cdot L_N$ ----- 64	B
$U()_{\text{block}}$	ブロックゲージの線膨張係数の不確かさ	1.67×10^{-8} ----- 2nm	L_N $L_N=100 \times 10^6$	$1.67 \times 10^{-8} \cdot L_N$ ----- 2	B
$U()_{\text{glass}}$	ガラススケールの長さ測定中における温度変化	0.0577 ----- 62nm	L_N $L_N=100 \times 10^6$	$6.23 \times 10^{-7} \cdot L_N$ ----- 62	B
$U(d_{\text{hertz}})$	測定子とブロックゲージの接触力による長さ測定の不確かさ	6nm	1	6	B
$u(R)$	表示装置の分解能	3nm	1	3	B
合成標準不確かさ $U_c(L_N=100\text{mm})$		315nm			
拡張不確かさ $U=kU_c(k=2, L_N=100\text{mm})$		629nm			

$$U_c(L_N) = [(21.2\text{nm})^2 + (301\text{nm})^2 + (6.35 \times 10^{-7} \cdot L_N)^2 + (1.67 \times 10^{-8} \cdot L_N)^2 + (6.23 \times 10^{-7} \cdot L_N)^2 + (5.8\text{nm})^2 + (2.9\text{nm})^2]^{1/2}$$

$$= [79.16 \times 10^{-14} \cdot L_N^2 + 91084\text{nm}^2]^{1/2}$$

ただし、ブロックゲージの呼び寸法 L_N の単位はnmである。 $L_N=100\text{mm}$ のとき、測定者による合成標準不確かさ $U_c=315\text{nm}$ 、拡張不確かさ $U=629\text{nm}$ である。測定者個人による拡張不確かさ U は、570nmから693nmであった。

3.まとめ

万能測長機の校正の不確かさの評価をした。その結果次のことが明らかになった。

研究所の精密測定室の環境において、測長機の校正の不確かさは合成標準不確かさは $U_c=315\text{nm}$ 、拡張不確かさ $U=629\text{nm}$ 、測定者個人による標準不確かさは $U_c=270 \sim 334\text{nm}$ で、拡張不確かさ $U=570 \sim 693\text{nm}$ である。