

経常研究

三次元座標測定機を用いた曲面形状測定に関する研究

片岡 智史* 渡部 篤彦* 石川 信幸*

Research on Measurement of Curved Surface using Coordinate Measuring Machine
KATAOKA Satoshi, WATANABE Atsuhiko and ISHIKAWA Nobuyuki

三次元座標測定機の測定子の接触方向による滑りの影響を調査するため、ブロックゲージや曲面形状を有するワークで検証を行った。100mmのブロックゲージを点測定し、接触角度を変化させたときの2点間の距離を求めた。接触角度が大きくなると、2点間の空間距離は測定子の滑りの影響を受けるが、ブロックゲージの長さ方向の距離は滑りの影響を受けないことがわかった。曲面形状を有するワークを作製し、測定子を法線方向から接触させた場合と、垂直方向から接触させた場合の点の座標値を比較し、垂直方向接触の場合の滑り量を求めた。結果として、斜面の角度が大きくなるほど測定子の滑り量は大きくなり、斜面角度70°では、約250 μ mの滑りが発生することが明らかになった。

Key words: 精密測定, 三次元座標測定機, タッチ測定, 曲面形状, 誤差

1 はじめに

近年、航空機部品や金型部品において曲面形状を有する部品が増加し、部品製造を行う加工メーカーにおいても曲面形状の精度検証の要求が増加している¹⁾。

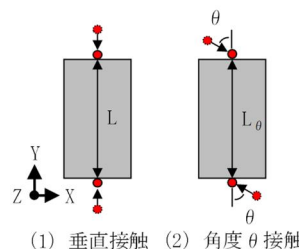
当センターでは、このような要求を受けた企業に対して、非接触三次元デジタイザやX線CTなど非接触の装置で測定支援を行っている。曲面形状を非接触で測定するメリットとしては、曲面形状全体の点群データが得られることがあげられる²⁾。一方で、非接触の装置の測定精度は最小で約10 μ mと高精度な測定はできないことがデメリットであった。非接触の測定機よりも高い精度で測定したいという要求から、三次元座標測定機を用いて曲面形状を測定するケースが増加している。三次元座標測定機は測定点が離散点となるので、非接触の測定機のように曲面形状全体の点群データを取得することは難しいが、非接触の測定機よりも高い精度で測定が可能である。三次元座標測定機で曲面形状を測定する場合の課題として、測定子が測定面に対して法線方向以外から接触した場合に、測定子の滑りが測定結果に影響を及ぼすことが考えられる³⁾。

そこで本研究ではブロックゲージや曲面形状を有するワークを測定し、測定子の接触方向による滑りの影響について調査を行った。

2 研究の方法

2.1 ブロックゲージを用いた滑り検証

ブロックゲージの測定において、測定子の接触角度 θ が、測定値にどのような影響を及ぼすか検証した。測定の模式図を図1に、測定セットアップを図2に示す。三次元座標測定機はミットヨ製 LEGEX9106 を使用した。ブロックゲージを三次元座標測定機の Y スケールに沿って配置し、ブロックゲージの2面を点測定した。測定した2点間の距離からブロックゲージの長さを求めた。接触角度0°は、測定子は図1(1)のように測定面に対して垂直に接触する。接触角度 θ は、図1(2)に示す角度 θ 方向から接触する。ブロックゲージはミットヨ製の長さ100mmのものを使用した。使用したブロックゲージの仕様を表1に示す。測定条件を表2に示す。測定子は直径2mmのものを使用した。接触角度 θ は0, 15, 30, 45, 60, 75°の6条件で測定を行った。ブロックゲージの長さを算出する際は、測定面と接触子の接触位置による誤差を取り除くために、半径補正なしでデータを出力した。



(1) 垂直接触 (2) 角度 θ 接触

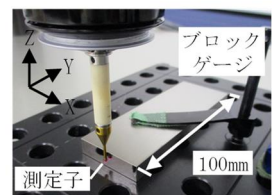


図2 測定セットアップ

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

表1 ブロックゲージ仕様

メーカー	株式会社ミツトヨ
製造番号	No. 184655
ブロックゲージ等級	K 級
呼び寸法	100mm
中央寸法の寸法差	+0.097 μ m
校正年月日	2022年10月

表2 測定条件

測定子	直径2mm, 鉛直方向
接触角度	0, 15, 30, 45, 60, 75°
半径補正	なし

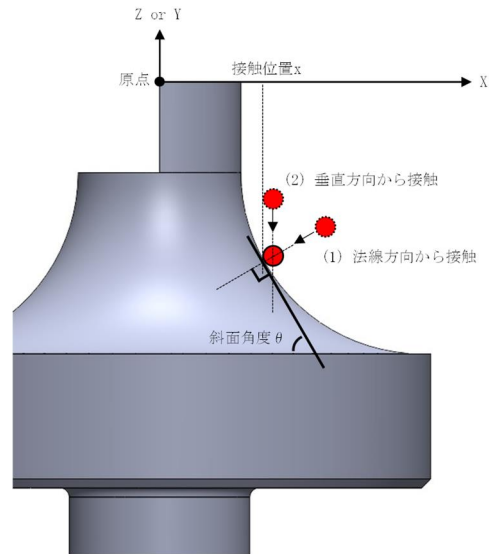


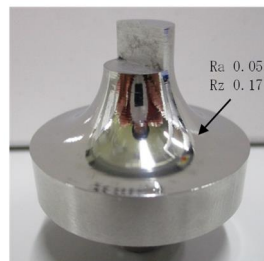
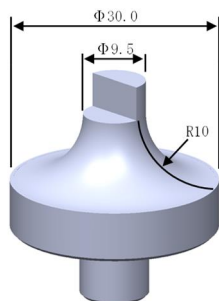
図4 ワーク測定模式図

2.2 曲面形状ワークを用いた滑り検証

曲面形状を有するワークを点測定するときの測定子の滑りの影響について検証した。まず測定に用いるワークの設計・加工を行った。製作したワークを図3に示す。 $\phi 30$ mmの丸棒を旋盤で加工し、R10の曲面形状を生成した。測定の際の表面粗さの影響を小さくするために、旋盤加工後に金属磨きで研磨を行い、表面粗さRa0.05 μ m, Rz0.17 μ mとした。測定の模式図を図4に、測定条件を表3に示す。接触位置 X に対して (1) 法線方向から接触する場合と、(2) 垂直方向から接触する場合でそれぞれ点測定を行い、法線方向接触の座標値から垂直方向接触の座標値を減算することで、垂直方向接触の場合の滑り量を求めた。接触位置 X は、X=5.5~14.5 の範囲で、1mmピッチで測定を行った。ブロックゲージの測定と同様に、測定面と接触子の接触位置による誤差を取り除くために、半径補正なしでデータを出力した。測定セットアップを図5に示す。図5 (a) は三次元座標測定機の機械座標系を示している。測定時のプローブ駆動面による影響を調査するため、測定する断面を機械座標系の ZX 平面に一致させた場合 (図5 (b)) と、XY 平面に一致させた場合 (図5 (c)) の2パターンで測定を行った。

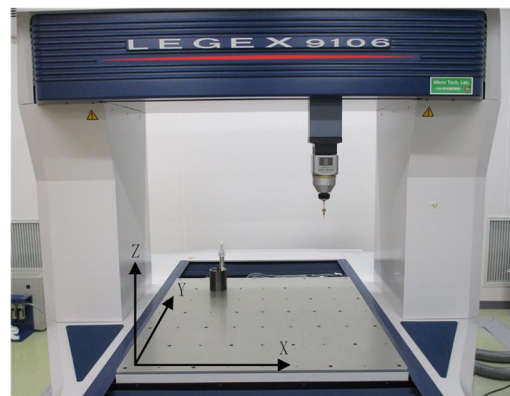
表3 測定条件

測定子	直径2mm, 鉛直方向
接触位置	X=5.5~14.5 の範囲で 1mm ピッチ
接触方向	測定面の法線方向, 垂直方向
半径補正	なし

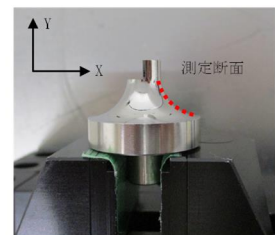
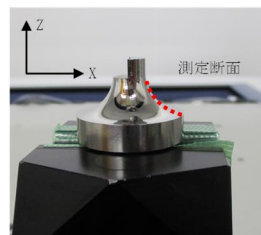


(a) ワーク 3Dモデル (b) ワーク写真

図3 曲面形状ワーク



(a) 三次元座標測定機の機械座標系



(b) ZX平面での測定 (c) XY平面での測定

図5 測定セットアップ

3 結果及び考察

3.1 ブロックゲージを用いた滑り検証の結果

図6に測定子の接触角度に対するブロックゲージの測定値をプロットしたグラフを示す。2点間の空間距離は、接触角度 30° までは、垂直に接触する場合と比較してほぼ同じ値であったが、接触角度 45° を超えると増大した。これは図7に示すように、測定面接触時に測定子が滑り、ブロックゲージの長さを斜めに測定していることが原因と考えられる。一方でY方向の2点間距離については、2点間の空間距離で確認された滑りの影響はなく、接触角度が大きくなっていても一定であった。すなわちブロックゲージのような直方体の長さを測定する場合、2点間の空間距離は滑りの影響を受けてしまうが、2点間の測定方向に対する距離（この測定ではY方向）を算出すれば、滑りの影響のない測定結果を得ることができる。

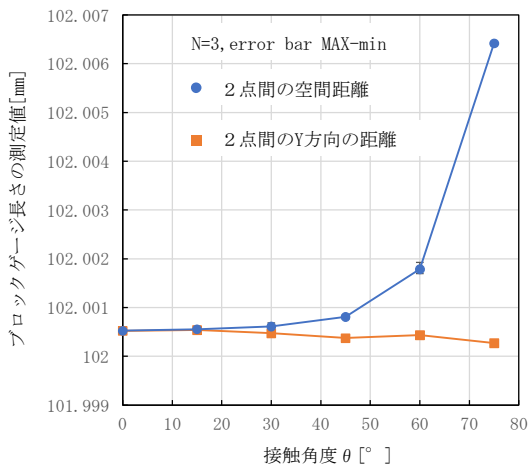


図6 ブロックゲージ測定結果

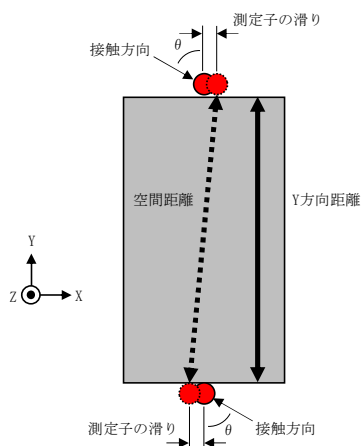
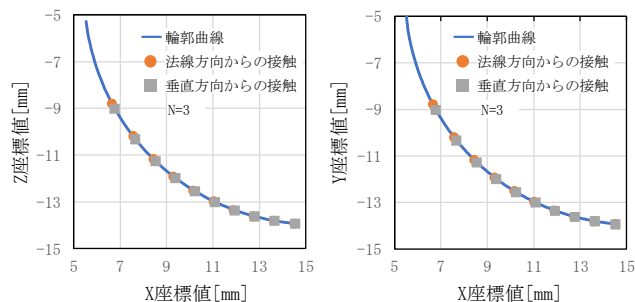


図7 測定結果の考察

3.2 曲面形状ワークを用いた滑り検証の結果

点測定した座標値をプロットしたグラフを図8に示す。図8の曲線は微い測定で取得した測定断面の輪郭曲線を示している。図8(a), (b)のいずれの場合においても、測定点の座標値は輪郭曲線上に存在するが、接触する面が急角度であるほど、法線方向接触の場合と垂直方向接触の差が大きくなり、垂直方向から接触した点は法線方向から接触した点と比較して測定子が接触方向に進みすぎていることが読み取れる。これは垂直接触において測定子の滑りが発生したことが原因と考えられ、接触する面が急角度であるほど滑り量は大きくなる。図9に横軸に測定面の斜面角度を、縦軸に滑り量をプロットしたグラフを示す。図9から斜面角度約 70° の斜面では滑り量が約 $250\mu\text{m}$ になることが明らかになった。また、斜面角度が 3° の面に接触した場合でも $10\sim 20\mu\text{m}$ ほどの滑りが発生していることがわかった。以上から、三次元座標測定機を用いて曲面形状の点測定を行う場合、測定子の接触方向が測定面の法線方向からわずかでもずれると、誤差の要因になると考えられる。



(a) ZX平面測定結果 (b) XY平面測定結果

図8 曲面形状ワーク測定結果

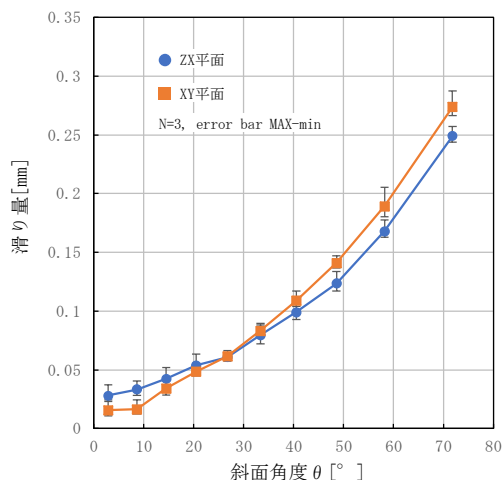


図9 斜面角度に対する滑り量の変化

4 おわりに

ブロックゲージや曲面形状を有するワークを測定し、測定子の接触方向による滑りの影響について以下の知見を得た。

- (1) ブロックゲージの長さ測定において、接触角度が大きくなると、2点間の空間距離は測定子の滑りの影響を受ける。一方で、ブロックゲージの長さ方向の2点間距離は滑りの影響を受けない。
- (2) 曲面形状を点測定する場合、測定面に対して測定子を垂直方向から接触させた場合では、法線方向から接触させた場合と比較して、測定子の滑りによって座標値に誤差が生じる。約 70° の斜面では約 $250\mu\text{m}$ の誤差が生じ、 3° の斜面でも $10\sim 20\mu\text{m}$ の誤差が生じる。

- (3) 三次元座標測定機を用いて曲面形状の点測定を行う場合、測定子の接触方向が測定面の法線方向に対してわずかでもずれると、測定誤差の要因になる。

参考文献

- 1) 渡邊真莉：“計測と制御”，61巻，10号，762-769，(2022)
- 2) 赤羽孝彦：“精密工学会”，85巻，5号，396-400，(2019)
- 3) 岸浪建史，中村久，斎藤勝政，亀井明敏：“精密工学会誌”，52巻，8号，1420-1425，(1986)