ノート

レプリカ法による表面粗さ評価の検討

高橋　靖*

Examination of Surface Roughness Evaluation by Replica Method

TAKAHASHI Yasushi*

1. 緒　　言

大型ワークや細い溝の底面の表面粗さを測定したいというニーズがあるが，そのままでは，試験機器の耐荷重や触針サイズの制約から，測定ができない場合がある。その対策として，試料表面の凹凸をレプリカに転写し（表面の凹凸のプロファイルは反転する），採取したレプリカの表面粗さを評価する代替方法がある（以下，レプリカ法と呼ぶ）。上市されているレプリカ剤は，サブミクロンの解像度，転写性があると謳われているものがあるが，表面粗さ評価に実用上どの範囲で使えるかわかっていない。

また，既報[1)]ではレプリカ剤の違いついては，述べられていない。

そこで本研究では，2 種類のレプリカ剤を用いて，実物（以下，マスターと呼ぶ）とレプリカの表面粗さを調査し，表面粗さ評価におけるレプリカ法の適用範囲について検討した。

2. 試験品，試験方法

2.1 試験品

レプリカ剤は，解像度 1μm 以下で，かつ，色，粘度，硬化時間の異なる市販製品の 2 種類 A，B（表 1）を用いた。本品は二液混合型のシリコンゴムであり，硬化した後も比較的柔らかいため，接触式の粗さ測定には適用できないが，非接触式の粗さ測定は可能である。

なお，レーザー顕微鏡による測定には，一般的に比較的反射率の高い B が使われている。

本研究では測定対象として，表面粗さ標準片（Rubert & CO.LTD，Scale No.115（平面研削面））を使用した。表面粗さ標準片に示されている表面粗さの公称値は Ra0.025，0.05，0.1，0.2，0.4，0.8，1.6，3.2(μm)の 8 種類である。その 8 種類の表面粗さ標準片のレプリカを採取し，マスター，レプリカ A，B の 3 種類の計 24 種類を試験品とした。その外観を図 1 に示す。

2.2 試験機器

非接触式の表面粗さ測定には，非接触式表面形状測定機（アメテック製 CCI HD XL）を用いた。本装置は，白色干渉方式の一つである Coherence Correlation Interferometry（CCI）によって，0.01nm の分解能で Z 方向の凹凸を検出し，ISO 25178 に準拠した面粗さ評価が可能である。

表 1　使用したレプリカ剤

呼び	色	粘度	硬度 ShoreA	ポットライフ(min)	硬化時間(min)
A	黒	低	30	3	10
B	灰	極低	30	0.5～1	4

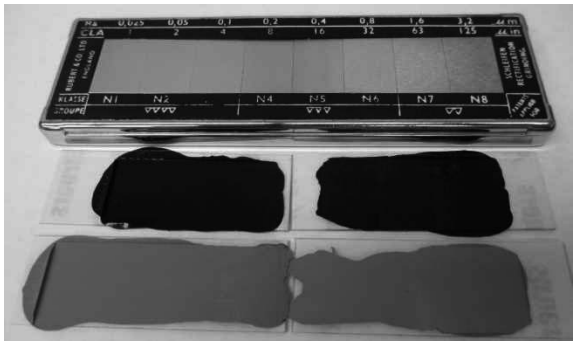


図 1　試験品の外観（上からマスター，レプリカ A，B）

*　下越技術支援センター

表 2，3 に非接触式表面形状測定機の仕様，対物レンズの仕様を示す。

2.3 試験方法

試験品の表面 3 か所について，非接触式表面形状測定機によって，三次元表面形状を取得し，高さ方向に反転した後，表面 1 か所につき，5 つの断面曲線から二次元表面粗さ（算術平均高さ Ra，最大高さ Rz（JIS Z 0601，ISO 4287））を求めた。反射率の設定は，レプリカは「低反射率 4」とし，マスターのみ金属面で光沢があり反射率が比較的高いため「一般」とした。

二次元表面粗さを求める際のカットオフの設定は，JIS B 0633（ISO 4288）に準じ，表 4 のとおりとした。用いる対物レンズによって，エリアサイズが基準長さに満たない場合は，基準長さを確保するため，表 5 に示すようにステッチング機能（オーバーラップ率 20%）によってエリアサイズを測定方向（X 軸方向）に拡張した。

2.4 評価の基準値について

あらかじめ，接触式表面粗さ測定機（東京精密製 サーフコム 5000DX）によって，マスターの表面粗さを評価したところ，Ra は粗さ標準片の公称値 Ra とほぼ一致し，Rz も公称値 Ra と非常に高い相関を示したことから，以降の検討では，マスターの接触式表面粗さ測定機による測定値 Ra，Rz をそれぞれの基準値とした。

表 2　非接触式表面形状測定機の仕様

垂直測定範囲（Z）	2.2 mm
垂直分解能（Z）（max）	0.01 nm
フロアノイズ（Z）	<0.02 nm
表面の繰返し精度	<0.01 nm
測定点数	2,048 × 2,048
段差繰返し精度	<0.02%
対物レンズ	10 倍，50 倍，100 倍
光源	Green LED（ピーク波長 520nm）

表 3　非接触式表面形状測定機の対物レンズの仕様

対物レンズ	FOV（視野）	水平分解能（μm）	最大傾斜角度（deg）	NA（開口数）
10 倍	1.65mm×1.65mm	0.83	14	0.3
50 倍	0.33mm×0.33mm	0.16	27.5	0.55
100 倍	0.165mm×0.165mm	0.08	38	0.7

表 4　カットオフの設定

	表面粗さ標準片の公称値 Ra（μm）							
	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2
Ra のカットオフ（mm）	0.25	0.25	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	2.5
Rz のカットオフ（mm）	0.25	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	2.5

表 5　基準長さを満たすステッチング数とエリアサイズの関係

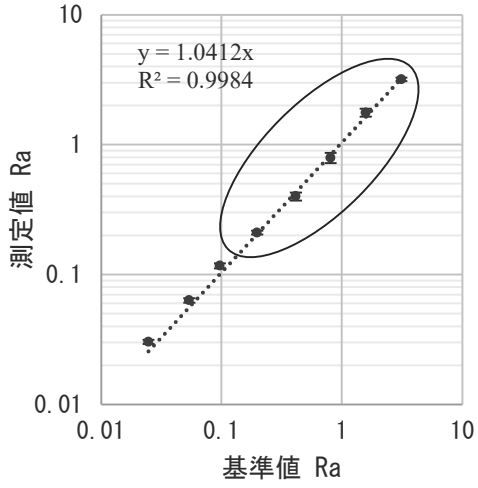
対物レンズ	基準長さ（mm）		
	0.25	0.8	2.5
10 倍	1×1，1.66mm×1.66mm	1×1，1.66mm×1.66mm	2×1，2.98mm×1.66mm
50 倍	1×1，0.33mm×0.33mm	3×1，0.86mm×0.33mm	10×1，2.72mm×0.33mm
100 倍	2×1，0.30mm×0.17mm	6×1，0.83mm×0.17mm	19×1，2.55mm×0.17mm

3.1　レプリカ A の測定結果

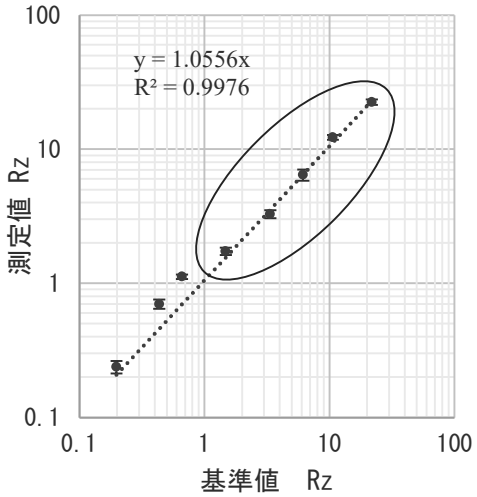
レプリカ A の粗さを非接触式表面形状測定機（対物レンズ 10 倍）によって測定し，基準値と比較した結果を，図 2 に示す。

ここでグラフのマーカーは測定値の平均値，エラーバーは t 分布による平均値の 95%信頼区間を示す。近似直線式 y と決定係数 R^2 も示す。

その結果，図 2(a)および(b)の囲枠に示すように Ra は Ra0.2 以上の領域で， Rz は Rz1.5 以上の領域で，基準値とほぼ一致したが，それより小さい領域では，基準値から外れ，やや大きくなる傾向がみられた。



(a) Ra



(b) Rz

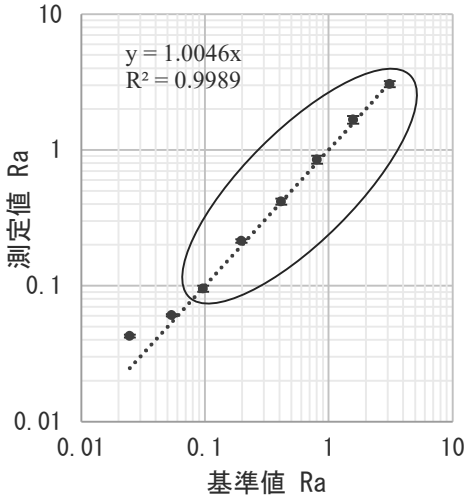
図 2　レプリカ A の測定結果

3.2　レプリカ B の測定結果

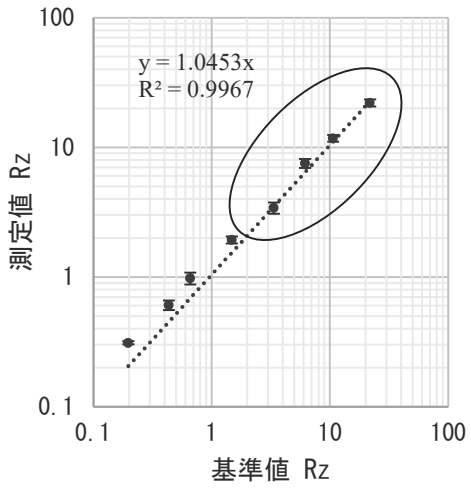
レプリカ B の粗さを非接触式表面形状測定機（対物レンズ 10 倍）によって測定し，基準値と比較した結果を，図 3 に示す。

ここでグラフのマーカーは測定値の平均値，エラーバーは t 分布による平均値の 95%信頼区間を示す。近似直線式 y と決定係数 R^2 も示す。

その結果，図 3(a)および(b)の囲枠に示すように Ra は Ra 0.1 以上の領域で，Rz は Rz3.4 以上の領域で，基準値とほぼ一致したが，それより小さい領域では，基準値から外れ，やや大きくなる傾向がみられた。

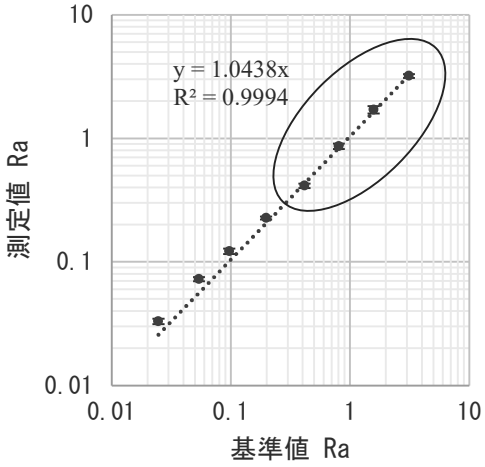


(a) Ra

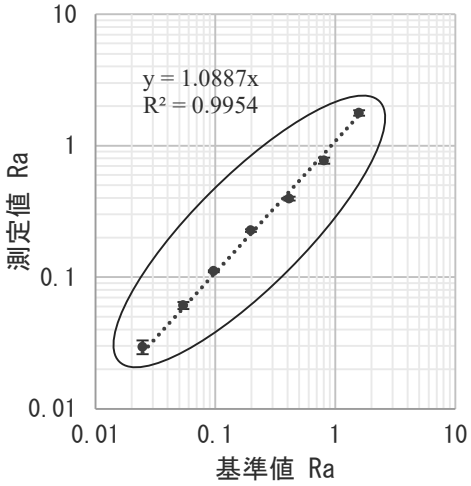


(b) Rz

図 3　レプリカ B の測定結果



(a) 10 倍



(b) 100 倍

図 4　対物レンズによる違い

3.3　対物レンズによる違い

非接触式表面形状測定機の対物レンズを変えた場合の違いを調べるため，マスターを 10 倍と 100 倍の対物レンズで測定し，Ra の測定値と基準値を比較した結果を図 4 に示す。

ここでグラフのマーカーは測定値の平均値，エラーバーは t 分布による平均値の 95%信頼区間を示す。近似直線式 y と決定係数 R^2 も示す。

その結果，図 4 の囲枠に示すように，(a) 10 倍のレンズは Ra 0.4 以上の領域で，基準値とほぼ一致したが，それより小さい領域で，基準値から外れ，やや誤差が大きくなる傾向がみられた。一方で (b) 100 倍のレンズは Ra 3.2 から Ra 0.025 の領域まで基準値とよく一致した。

対物レンズ 100 倍の結果が，対物レンズ 10 倍の結果より，Ra のより細かい領域まで基準値とよく一致した理由について，対物レンズの倍率が高いほど，断面曲線の X 軸サンプリングが細かくなるためと考えられた。しかし，同時に FOV（視野）も小さくなるため，粗さ評価に必要な基準長さを確保するために，ステッチングによるエリアサイズの拡張が必要であり，より多くの測定時間を要することがデメリットである。

4.　結　　言

(1) レプリカ法はサブミクロンまでの領域においても粗さ評価に適用でき，Ra のより小さな領域を評価する場合には，より粘度が低いレプリカ剤の方が適するものと思われた。

(2) 非接触式表面形状測定機による表面粗さの測定範囲は，対物レンズ 10 倍では，Ra0.4 以上の領域までが妥当であり，それより小さい領域を測定する場合は，対物レンズ 100 倍を使用するべきである。

参考文献

1) 斎藤雄治，レプリカ法による非接触表面粗さ測定，工業技術研究報告書，No.47，2017，p.84-85.