

# 表面粗さの測定方法による比較評価

小松利安・八代浩二・有泉直子・深津拓也

## Comparative Evaluation by the Method for Measuring Surface Roughness

Toshiyasu KOMATSU, Koji YATSUSHIRO, Naoko ARIIZUMI and Hiroya FUKATSU

### 要 約

表面粗さの測定は、従来から接触（触針）式表面粗さ測定機での測定が主流となっているが、近年では、接触式では表面に傷が付いてしまうため、非接触式の測定方法を用いる場合も多くなっている。しかし、接触式と比較して、非接触式では異常値が測定結果に生じる場合があり、その関連性については明確になっていない。

そこで、本研究では、山梨県工業技術センター所有の測定装置を用いて比較評価を行い、測定試料の表面粗さや形状によって、接触式と非接触式の測定結果にどのような関連性があるか実験を行った。その結果、共焦点顕微鏡では、対物レンズの開口数（NA 値）が小さい場合、測定結果における異常値が多発し、接触式とは大きく異なった。一方、垂直走査型低コヒーレンス干渉計の場合、ロックウェル硬さ試験の圧痕形状を測定すると、形状データが乱れる傾向が見られた。この場合、NA 値が大きい対物レンズを用いた共焦点顕微鏡で測定すると、比較的良好な結果が得られることも分かった。

### 1. 緒 言

表面粗さの測定は、従来からダイヤモンド触針を接触させて測定する接触（触針）式表面粗さ測定機が主流となっている。しかし、本方法には、鏡面加工された表面や軟質材料の表面、皮膜表面等を測定する場合、ダイヤモンド触針で表面に傷を付けてしまう欠点がある。また、近年では、Oリングの溝底等、ダイヤモンド触針では接触できない部分の測定も求められている。そのため、非接触式の測定方法を用いる場合が増加している。しかし、接触式と比較して、非接触式では明らかな異常値が測定結果に生じる場合がある。その関連性について、いくつか研究はなされているが<sup>1),2)</sup>、不明確な部分も多いのが現状である。

そこで、本研究では、山梨県工業技術センター所有の測定装置を用いて比較評価を行い、切削加工面や研削加工面等、測定試料の表面粗さや形状によって、接触式と非接触式の測定結果にどのような関連性があるか実験を行った。

## 2. 実験方法

### 2-1 測定装置

本研究で触針式表面粗さ測定機と比較した測定装置は次のとおりである。

- ・共焦点顕微鏡
- ・垂直走査型低コヒーレンス干渉計（白色干渉計）

### 2-1-1 共焦点顕微鏡の測定原理

図1に示すように、検出器の前にピンホールを設け、測定表面に焦点が合った場合にのみ光がピンホールを通過し、焦点位置以外からの不要な反射光はカットするように設計した測定装置が、共焦点顕微鏡である。本装置は、測定面に対して垂直方向に走査して、段差のある測定面のすべての高さ位置に焦点のあった画像を取り込むことで、高精度な三次元測定を行うことが可能である。

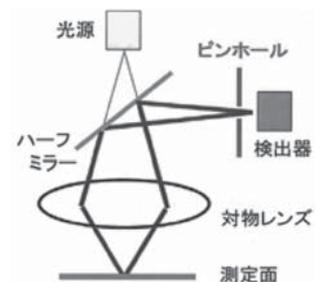


図1 共焦点顕微鏡の原理図

### 2-1-2 垂直走査型低コヒーレンス干渉計

#### （白色干渉計）の測定原理

本装置は、干渉計の1種であるが、光源に白色光を用いて、測定面に対して垂直方向に走査して干渉縞の変化を合成し、三次元形状を測定する装置である。測定面と参照面との光路差が零となる箇所を、図2(a)に示すような干渉波形が得られる。このピーク位置が測定面の高さに対応するため、図2(b)に示すように垂直方向

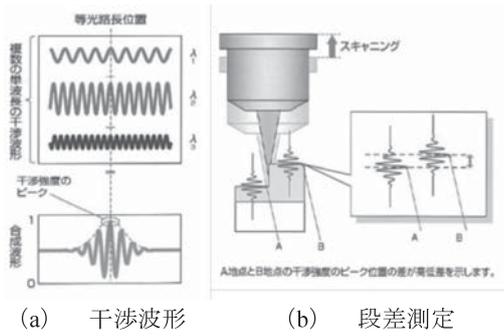


図2 垂直走査型低コヒーレンス干渉計の原理図  
(zygo 社パンフレットより抜粋)

に走査することで、三次元形状を一括測定できる方法である。

### 2-2 実験方法

測定試料は、鉄鋼材料の様々な加工面を考慮し、次の4種類を準備した。

- ①切削加工面、②研削加工面、③放電加工面、④ブラスト加工面

また、試料表面の反射率が異なる測定試料として、

- ⑤樹脂材料（ナイロン66）の切削加工面

表面粗さより大きな形状を測定した場合を想定し、

- ⑥ロックウェル硬さ試験の圧痕形状

の測定試料を準備した。

各測定装置で同じ場所を測定し、触針式表面粗さ測定機を用いた測定結果と比較することで、異常値の評価を行った。また、測定試料の微細形状確認のため、電子顕微鏡で測定試料の表面を観察した。

光学系顕微鏡を使用する際、対物レンズの選択は重要である。対物レンズの測定精度を検討する場合、図3に示す開口数（NA 値）が重要な項目である。一般的に、NA 値が大きい対物レンズほど感度は高い。使用した対物レンズの倍率と NA 値の関連を表1に示す。本研究で

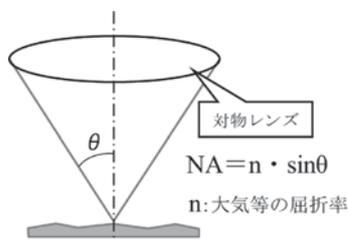


図3 開口率（NA 値）について

表1 使用した共焦点顕微鏡の対物レンズ

倍率	NA 値	測定範囲 (mm)
10	0.3	1.8×1.8
20	0.46	0.9×0.9
50	0.8	0.36×0.36

は、共焦点顕微鏡の場合、3種類の対物レンズを使用した。また、垂直走査型低コヒーレンス干渉計の場合には、対物レンズの感度が低い条件で比較するために、NA 値:0.3の対物レンズを使用した。

## 3. 結果

### 3-1 切削加工面（鉄鋼、樹脂材料）の測定結果

鉄鋼材料と樹脂材料の切削加工面を各測定装置で測定した結果を図4および5に示す。鉄鋼材料および樹脂材料ともに、共焦点顕微鏡では、対物レンズの NA 値が小さい場合（NA 値:0.46 以下）、測定結果における異常値が多発し、触針式表面粗さ測定機での測定結果とは大きく異なった。本研究では、NA 値:0.8の場合に触針式表面粗さ測定機と同様な結果が得られた。一方、垂直走査型低コヒーレンス干渉計の場合には、NA 値に関係なく触針式表面粗さ測定機と同等な測定結果が得られた。

各測定装置で測定した表面粗さパラメータ（ $R_a$ 、 $R_z$ ）について表2に示す。共焦点顕微鏡では NA 値が小さい場合ほど、触針式表面粗さ測定機での測定結果より大きな値を示した。また、試料表面の反射率と表面粗さが異なる、鉄鋼材料と樹脂材料で、異常値の発生状況に大きな差は見られなかった。

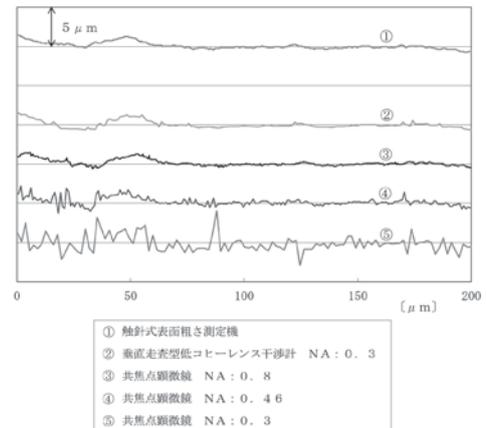


図4 切削加工面（鉄鋼材料）の測定結果

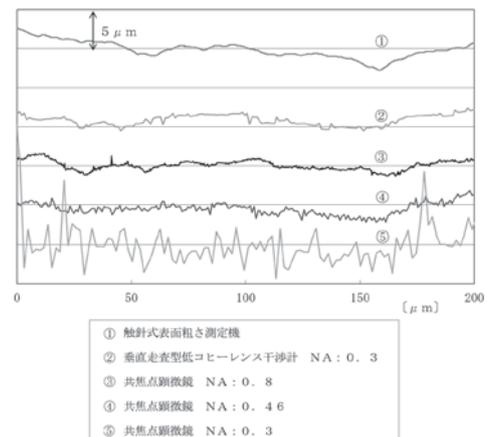


図5 切削加工面（樹脂材料）の測定結果

表 2 切削加工面の表面粗さ

(a) 鉄鋼材料

表面粗さ (μm)		Ra	Rz
共焦点顕微鏡	NA:0.3	0.977	17.664
	NA:0.46	0.442	6.461
	NA:0.8	0.349	2.564
垂直走査型低コヒーレンス干渉計 (NA:0.3)		0.404	3.372
触針式表面粗さ測定機		0.31	2.44

(b) 樹脂材料

表面粗さ (μm)		Ra	Rz
共焦点顕微鏡	NA:0.3	1.962	26.382
	NA:0.46	1.372	10.318
	NA:0.8	1.160	5.579
垂直走査型低コヒーレンス干渉計 (NA:0.3)		1.399	10.390
触針式表面粗さ測定機		1.01	6.09

### 3-2 研削加工面の測定結果

鉄鋼材料の研削加工面を各測定装置で測定した結果を図 6 に示す。加工方法は異なっているが、共焦点顕微鏡における異常値の発生傾向は、切削加工面とほとんど差がないことが分かった。

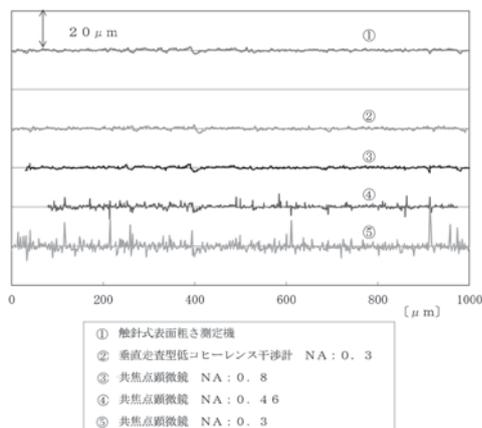


図 6 研削加工面の測定結果

### 3-3 放電加工面の測定結果

放電加工面を測定した結果を図 7 に示す。共焦点顕微鏡では、NA 値が大きいほど異常値が減少する傾向ではあるが、切削・研削加工面の場合と比較すると、異常値が残ることが分かった。垂直走査型低コヒーレンス干渉計の場合、一見すると触針式表面粗さ測定機と同等な結果が得られているように見える。しかし、図中矢印で示す部分の測定結果が大きく異なっている。調査したところ、この部分の測定結果が欠落しており、直線補間され

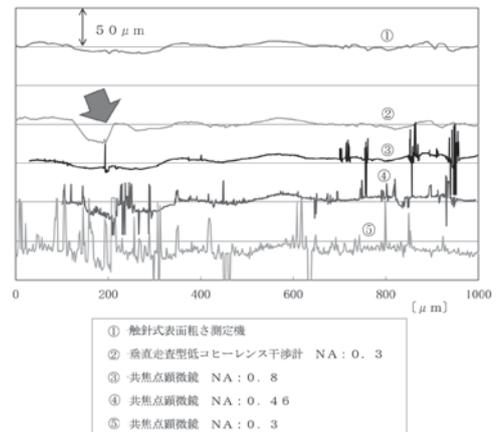


図 7 放電加工面の測定結果

ていたことが分かった。

### 3-4 プラスト加工面の測定結果

プラスト加工面を測定した結果を図 8 に示す。触針式表面粗さ測定機と比較すると、共焦点顕微鏡と垂直走査型低コヒーレンス干渉計で測定した測定結果は大きく異なっていた。

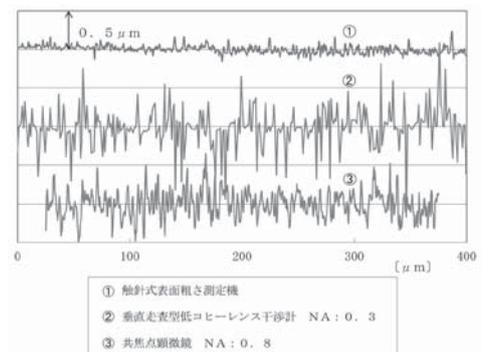


図 8 プラスト加工面の測定結果

### 3-5 ロックウェル硬さ試験の圧痕形状の測定結果

ロックウェル硬さ試験の圧痕形状を測定した結果を図 9 に示す。なお、圧痕形状が微細であったので、触針式表面粗さ測定機で測定することはできなかった。垂直走査型低コヒーレンス干渉計を用いると、図中矢印で示す部分の形状が多少乱れる傾向が見られた。この場合、NA 値が大きい対物レンズ (NA 値:0.8) を用いた共焦点顕微鏡で測定すると、比較的良好な結果が得られた。

## 4. 考 察

共焦点顕微鏡で測定する場合、NA 値が小さい場合ほど、測定結果における異常値が多発する傾向があった。反射光の波形を調査したところ、図 10 に示すように、異常値を含む反射光は波形が乱れていることが分かった。特に、反射光のピーク波形が変形しているた

め、反射面の正確な位置が求められない状態であった。この原因として、測定時に照射するスポット光の範囲内（直径約 1  $\mu\text{m}$ ）に存在する測定試料表面の微細形状によって、反射光が乱される<sup>3)</sup>ことが考えられる。図 11 に示す電子顕微鏡写真より、本研究で使用した測定試料にも原因となる微細形状が確認できた。

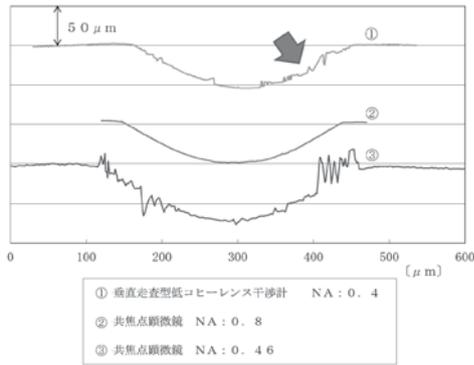


図 9 ロックウェル硬さ試験の圧痕形状の測定結果

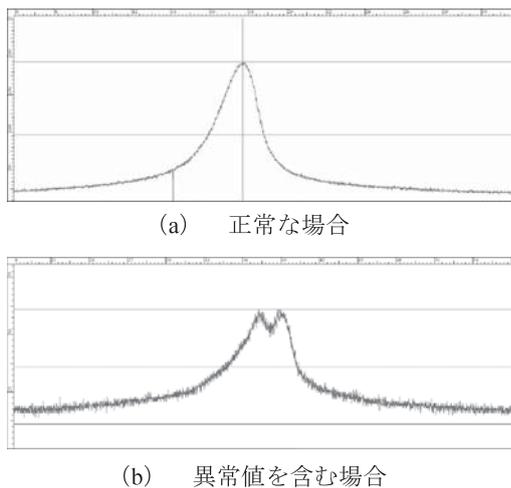
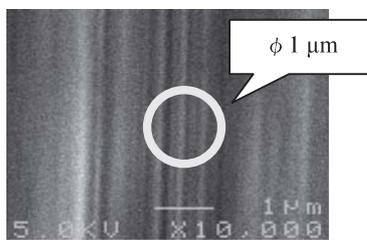
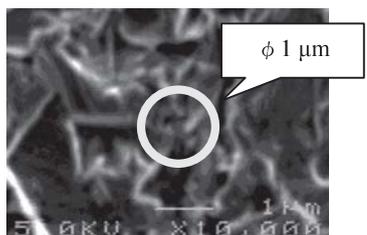


図 10 反射光波形



(a) 切削加工面



(b) ブラスト加工面

図 11 電子顕微鏡写真

共焦点顕微鏡で測定する場合、NA 値が大きい対物レンズ（本研究では NA 値:0.8）を用いた方が、比較的良好な結果が得られた。しかし、表 1 に示すように、測定範囲が狭くなる欠点もあるため注意が必要である。

垂直走査型低コヒーレンス干渉計の場合、切削・研削加工面の測定では、NA 値が小さくても良好な測定結果が得られた。測定原理としてスポット光を使用せず、干渉波形の連続変化を全体的に測定するため、NA 値の影響は少ないと考えられる。しかし、ブラスト加工面や圧痕形状等、表面形状変化が大きい場合は、干渉波形の変化が非連続になる（途中で途切れる）ため、測定結果が乱れると考えられる。

非接触式で測定する場合、測定試料の表面性状（微細形状）が大きく影響することが分かった。特に、ブラスト加工面のような、凹凸形状が大きい測定試料の場合、事前に表面性状を観察した上で、測定結果を評価する必要がある。

## 5. 結 言

測定試料の表面粗さや形状によって、接触式と非接触式の測定結果にどのような関連性があるか実験を行った結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 共焦点顕微鏡では、対物レンズの開口数（NA 値）が小さい場合、測定結果における異常値が多発し、触針式表面粗さ測定機との測定結果とは大きく異なった。
- (2) 垂直走査型低コヒーレンス干渉計の場合、ロックウェル硬さ試験の圧痕形状等、測定試料の表面性状の変化が大きい場合、測定結果が乱れる傾向が見られた。

## 参考文献

- 1) 関根俊彰, 宇野彰一, 島崎景正, 信本康男: 接触式・非接触式粗さ測定結果の相関性について, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 6, pp.158-161 (2008)
- 2) 緑川祐二, 菅原康則: 表面粗さ測定における非接触式と接触式の相関について, 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 1996, pp.223-228 (1997)
- 3) 深津拓也: 光学式輪郭測定技術を用いた工業表面のトポグラフィ測定, 精密工学会誌, Vol.76, No.9, pp.995-998 (2010)