

## 表面に凹凸のある FRP 製品の手仕上げ後の表面粗さ測定結果

### 背景

FRP（Fiber Reinforced Plastics：繊維強化プラスチック）の成形法において「ハンドレイアップ」は、その後の積層（レイアップ）を基本とした成形コンセプトの基本となった歴史ある手法である。ハンドレイアップで用いる型は、片面が解放されている解放型であるため、型によって成形される成形面の逆面には強化繊維由来の凹凸が生じる。一般的にはこの凹凸面は意匠面にはならず目に触れることは無い。しかし、中に水や薬品などの液体を貯蔵する FRP タンクにおいて液体貯蔵物を外に排出する機構を取り付けようとする場合、凹凸面があるとシーリングができず液漏れの原因となる。このようなケースにおいては凹凸面を平滑にする仕上げ加工が必須であり、大型の凹面などは機械加工も困難であるため手仕上げが必要となるが、手仕上げでどの程度の粗さとなっているのかという表面状態が不明であるため定量評価を行う必要がある。

### 目的

解放面のまま、手仕上げ、型による成形の3つの面を有する異なるサンプルをハンドレイアップで作製し、それぞれの面の表面粗さと表面プロファイルの評価を実施する。

### 結論

表面粗さは Ra、Rz、Pt について、解放面のままと比較し手仕上げでは 77 から 85%程度、数値が改善した。平面のプロファイルを確認したところ、手仕上げにより解放面で見られた凹凸が大幅に減少し、平行度も 45%改善した。

### 概要

表面粗さの違いと代表的な断面曲線を以下に示す。手仕上げにより接触面に相当する表面粗さを示しており、手仕上げによる表面粗さの大幅な改善を確認した。手仕上げ後の表面の平行度は 0.413-0.622mm を示した。

表 表面粗さ測定結果

	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Pt [ $\mu\text{m}$ ]
解放面	17.53	97.29	252.46
手仕上げ	3.48	22.78	36.69
型成形	0.33	3.14	5.83

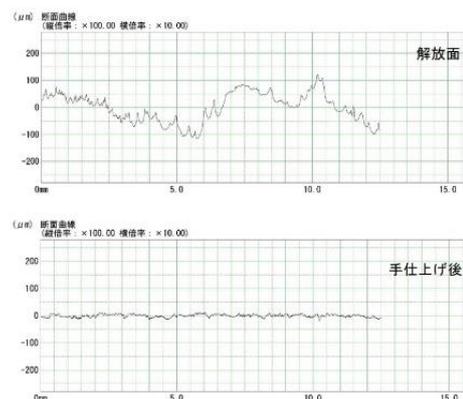
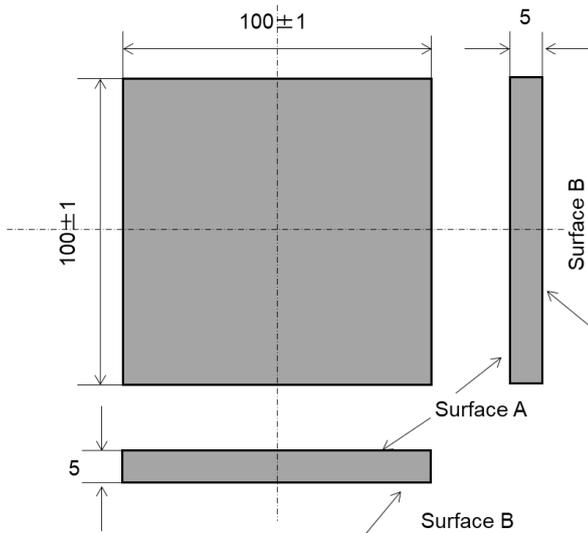


図 断面曲線（上：解放面、下：手仕上げ後）

## 評価準備と評価方法

### 評価サンプル作製

評価サンプルは以下の図面に基づき 3 種類を自社にて作製した。Surface sample A、B、C それぞれの片面 (Surface A) についてそれぞれ解放面のまま、手仕上げ、型成形とした。また基準面となる片面 (Surface B) はすべて定盤にて成形した。



**Note:**

- 輪郭はすべて端面は垂直に加工し、加工面にバリなきこと
- 厚みは狙い値であり、公差は無し
- 製品の表面仕様概要は Table による

**Table**

部品名称	Surface A	Surface B
Surface sample A	仕上げ無し	型成形
Surface sample B	手仕上げ	型成形
Surface sample C	型成形	型成形

**材料**

- ・強化繊維: GF
- ・マトリックス樹脂: 不飽和ポリエステル

**部品名称:**

Surface sample A / Surface sample B  
Surface sample C

図 表面粗さ測定用サンプル図面

表面粗さ測定

20±1°Cで管理した計測室で、SURFCOM 1400D-30F（東京精密社製）を用いた測定を行った。測定位置と方向は下図に示す6方向に対して実施した。計測項目はRa、Rz、Ptの3つであり、RaとRzはそれぞれ5か所の平均値を計測結果とした。

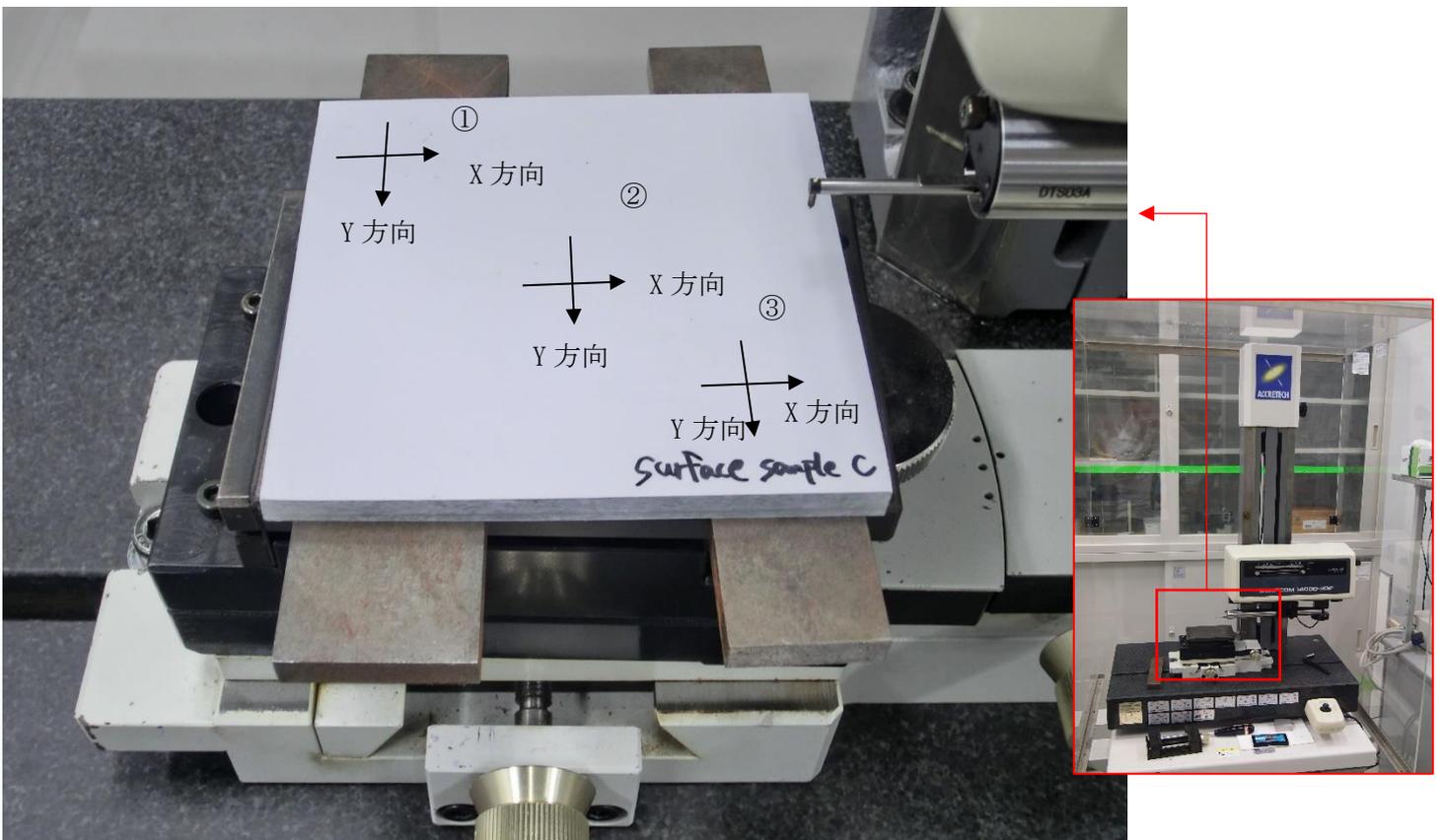


図 表面粗さ測定の様子（右は設備外観）

測定条件に関する概要を右表に示す。尚、測定長さは Surface sample B の条件に統一した。

表 表面粗さ測定条件概要

極性	正転
ピックアップ	標準ピックアップ
算出規格	JIS-'01規格
測定種別	粗さ測定
測定長さ	12.5mm
カットオフ波長	2.5mm
測定倍率	×1K
測定速度	1.50mm/s
カットオフ種別	ガウシアン
傾斜補正	最小二乗直線補正
予備駆動長さ	カットオフ波長×2
λsカットオフ比	300
λsカットオフ波	8.33μm
評価長さ	12.5mm

## 表面プロファイル測定

評価サンプルの項で示した図面中の Surface B を基準とし、Surface A のマクロのうねりを調べる事を目的に CMM によるプロファイル計測を下図黄色の矢印の X、Y 方向にスキャンすることで実施した。計測時、サンプルは下図中で示す二か所にてクランプした。また本結果を用いて平行度を算出した。測定は  $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  で管理した計測室で実施し、PMM-C700P (Leitz 社製) を計測機として用いた。

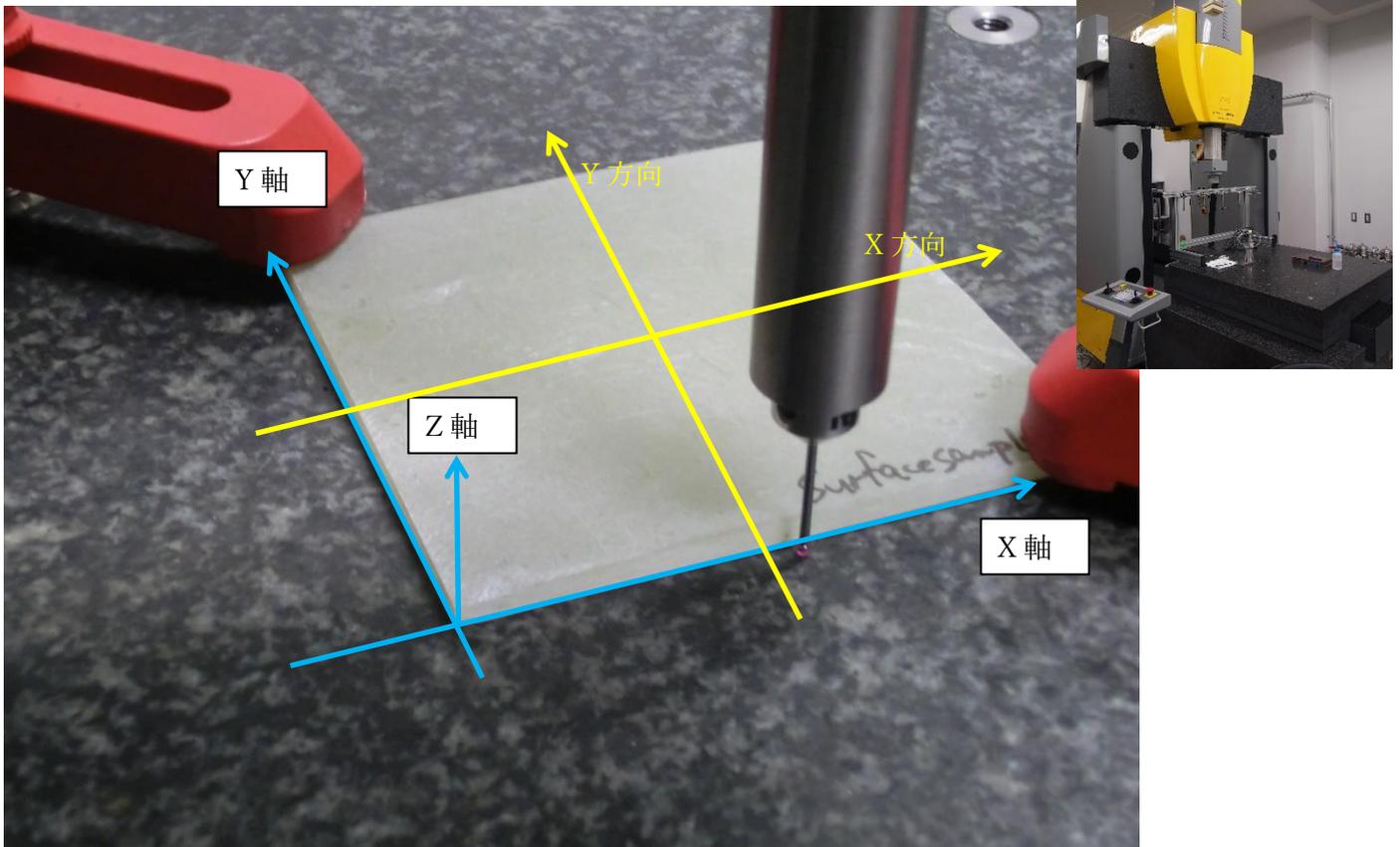


図 CMM によるプロファイル計測の様子 (右は設備外観写真)

## 結果

### 評価サンプル作製

作製したサンプルの外観写真（評価面である Surface A を表にした状態）を下図に示す。解放面のままの Surface sample A（測定面が解放面）の表面は光の反射状態からも凹凸がみえる。また、型成形の Surface sample C はゲルコート層が最外層にあるためグレーとなっている。

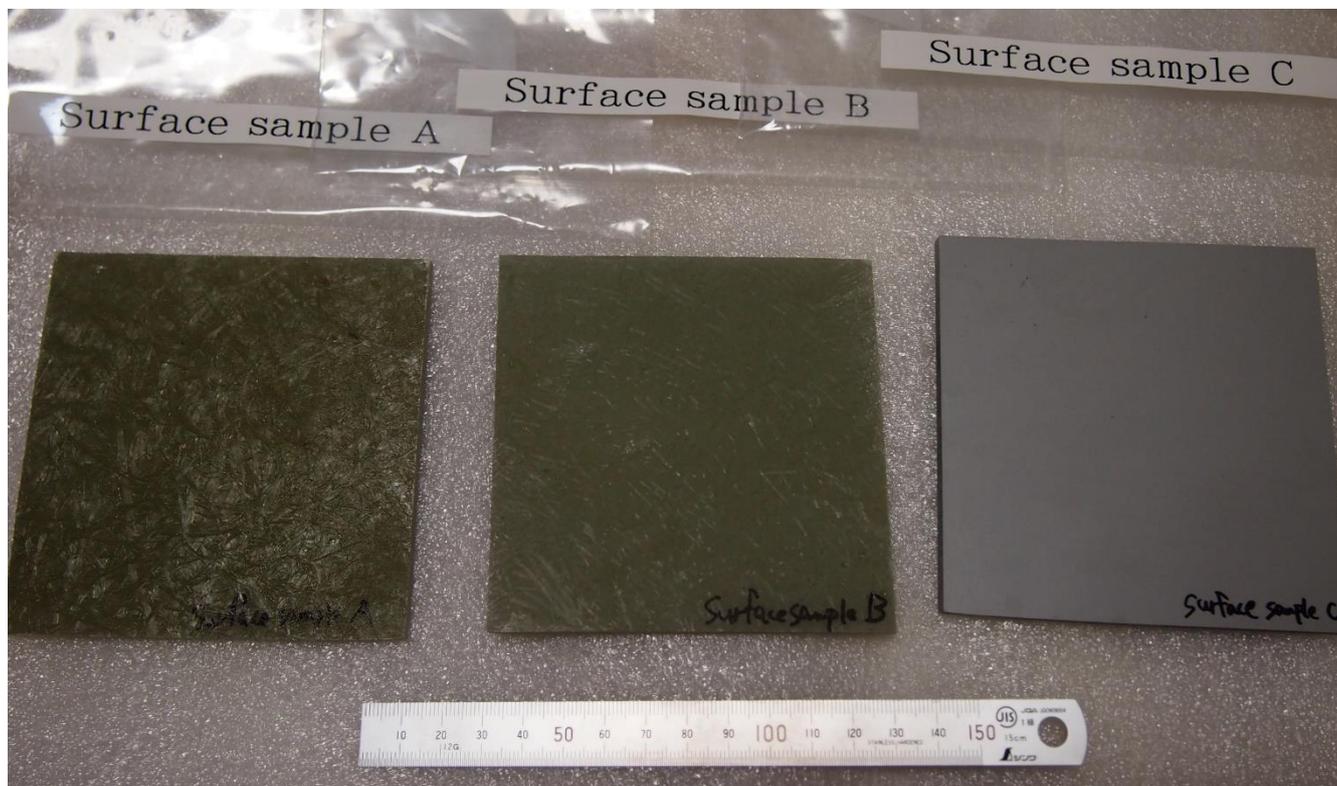


図 評価サンプル外観写真（左から Surface sample A、B、C）

表面粗さ測定

表面粗さ測定結果の数値詳細を右表に示す。Surface sample A と比較し、手仕上げの Surface sample B では Ra、Rz、Pt が大幅に改善していることがわかる。その一方で型成形のものと比較すると値は 10 倍程度であることも判明した。

また Ra、Rz 個別の粗さ測定結果を見ると Surface sample A で特にばらつきが大きく、マイクロ視点でも広範囲に凹凸が発生していることがわかる。Surface sample B ではこのばらつきが大幅に抑えられているものの、最大で平均値の 30% 程度のばらつきは生じていた。さらに型成形のサンプルでは同様にみるとばらつきは 100%を超えており、手仕上げの方がマイクロでのばらつきが抑えられていることがわかった。

表 表面粗さ測定結果詳細

sample A 解放面									
①			②			③			
Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Ra [ $\mu\text{m}$ ]			
	X	Y		X	Y		X	Y	
1	14.96	14.71	1	9.85	9.85	1	10.25	31.03	
2	25.15	17.4	2	13.45	13.45	2	9.29	20.07	
3	13.22	45.02	3	20.47	20.47	3	4.71	22.21	
4	27.23	19.84	4	12.03	12.03	4	10.01	12.3	
5	17.34	23.47	5	18.06	18.06	5	24.26	15.85	Ra total average
Ra average	19.58	24.088	Ra average	14.772	14.772	Ra average	11.704	20.292	17.53
Rz [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]			
	X	Y		X	Y		X	Y	
1	70.16	87.16	1	61.48	61.48	1	70.15	180.08	
2	127.84	110.62	2	72.58	72.58	2	61.27	119.2	
3	97.48	269.33	3	93.55	93.55	3	34.48	118.26	
4	131.44	141.87	4	59.74	59.74	4	55.56	70.67	
5	83.88	127.95	5	94.82	94.82	5	113.88	83.07	Rz total average
Rz average	102.16	147.386	Rz average	76.434	76.434	Rz average	67.068	114.256	97.29
Pt [ $\mu\text{m}$ ]	207.48	279.46	Pt [ $\mu\text{m}$ ]	238.34	238.34	Pt [ $\mu\text{m}$ ]	248.74	302.41	Pt total average
									252.46
sample B 手仕上げ									
①			②			③			
Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Ra [ $\mu\text{m}$ ]			
	X	Y		X	Y		X	Y	
1	4.19	2.84	1	2.4	3.78	1	4.14	4.14	
2	3.71	3	2	3.39	2.99	2	4.29	4.29	
3	3.33	4.05	3	2.79	2.16	3	3.38	3.38	
4	3.73	3.64	4	3.21	2.21	4	3.95	3.95	
5	3.46	2.94	5	3.31	2.81	5	4.59	4.59	Ra total average
Ra average	3.684	3.294	Ra average	3.02	2.79	Ra average	4.07	4.07	3.49
Rz [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]			
	X	Y		X	Y		X	Y	
1	20.33	18.95	1	19.93	22.33	1	24.71	24.71	
2	23.64	25.41	2	20.79	22.12	2	25.51	25.51	
3	21.36	30.17	3	21.37	16.49	3	20.31	20.31	
4	21.43	26.19	4	20.87	13.89	4	21.38	21.38	
5	28.62	18.51	5	33.45	17.49	5	28.21	28.21	Rz total average
Rz average	23.076	23.846	Rz average	23.282	18.464	Rz average	24.024	24.024	22.79
Pt [ $\mu\text{m}$ ]	31.72	42.73	Pt [ $\mu\text{m}$ ]	37.45	35.05	Pt [ $\mu\text{m}$ ]	36.59	36.59	Pt total average
									36.69
sample C 型成形									
①			②			③			
Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Ra [ $\mu\text{m}$ ]			
	X	Y		X	Y		X	Y	
1	0.21	0.31	1	0.26	0.5	1	0.28	0.42	
2	0.26	0.21	2	0.23	0.65	2	0.27	0.33	
3	0.3	0.44	3	0.25	0.24	3	0.35	0.35	
4	0.31	0.22	4	0.25	0.26	4	0.35	0.34	
5	0.25	0.38	5	0.41	0.43	5	0.49	0.34	Ra total average
Ra average	0.266	0.312	Ra average	0.28	0.416	Ra average	0.348	0.356	0.33
Rz [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]			
	X	Y		X	Y		X	Y	
1	2.11	2.71	1	2.02	3.21	1	2.21	4.09	
2	2.54	1.62	2	5.56	6.08	2	2.43	2.66	
3	2.93	3.4	3	2.72	1.97	3	2.33	3.75	
4	2.21	1.68	4	1.58	1.94	4	2.11	2.8	
5	3.02	5.52	5	3.95	6.76	5	5.05	3.18	Rz total average
Rz average	2.562	2.986	Rz average	3.166	3.992	Rz average	2.826	3.296	3.14
Pt [ $\mu\text{m}$ ]	4.38	5.52	Pt [ $\mu\text{m}$ ]	6.42	8.62	Pt [ $\mu\text{m}$ ]	4.95	5.11	Pt total average
									5.83



前述の表面粗さの値について表にまとめ直したものを数に示す。Ra、Rz、Pt それぞれの値が手仕上げによって大幅に改善している一方、型仕上げと比較すると値が大きくなっていることがわかった。

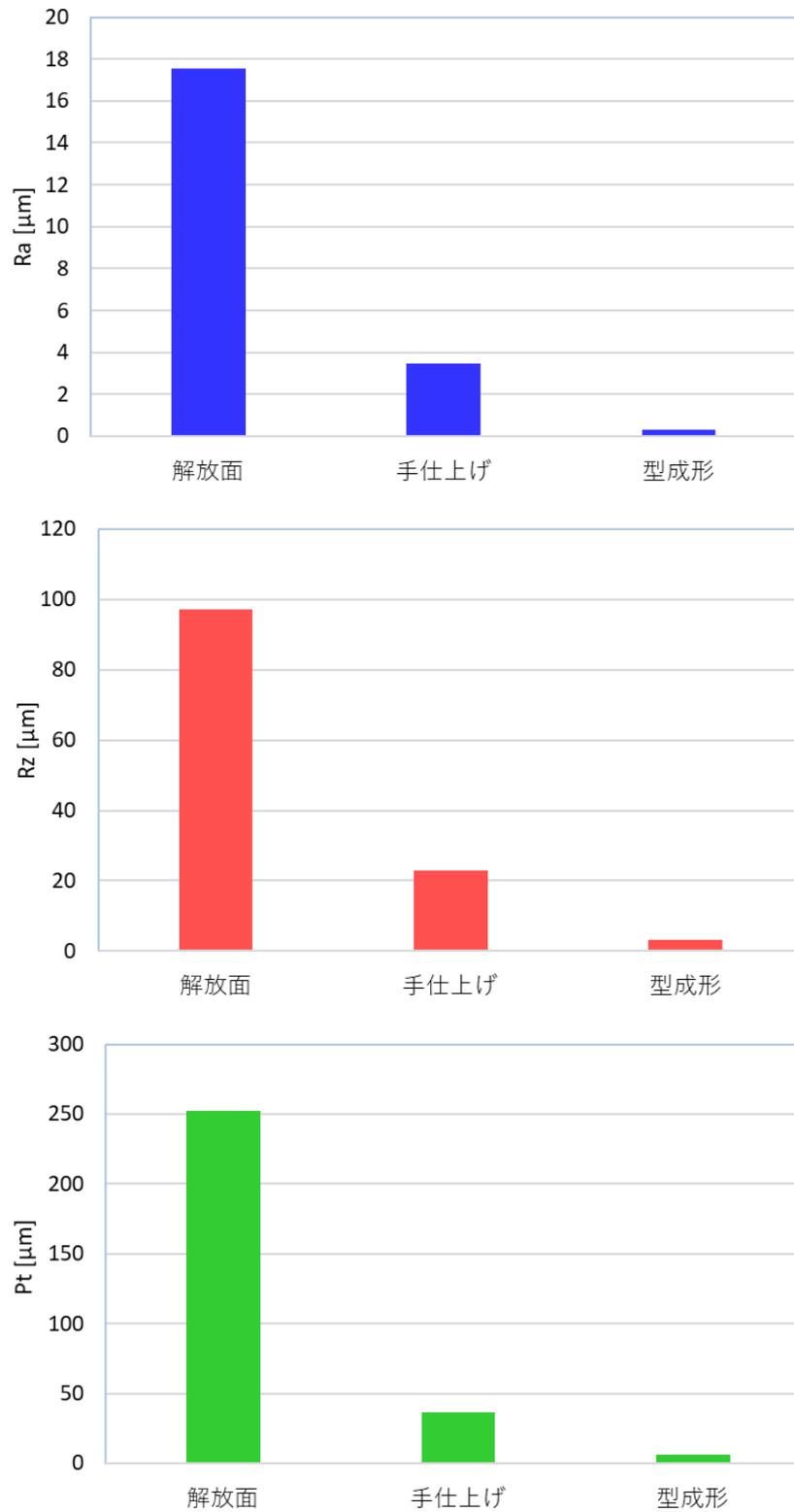


図 表面粗さの比較表 (上：Ra、中：Rz、下：Pt)

また Surface sample A、B、C の断面曲線についてそれぞれ代表的なものを示す。すべての曲線の縦軸、横軸のスケールは合わせてある。結果、ミクロで現れていた FRP 解放面固有の凹凸が手仕上げ工程により大きく改善していることがわかった。型成形と手仕上げを比較すると、手仕上げ固有の微小な凹凸が残っていることも下図から明らかとなった。

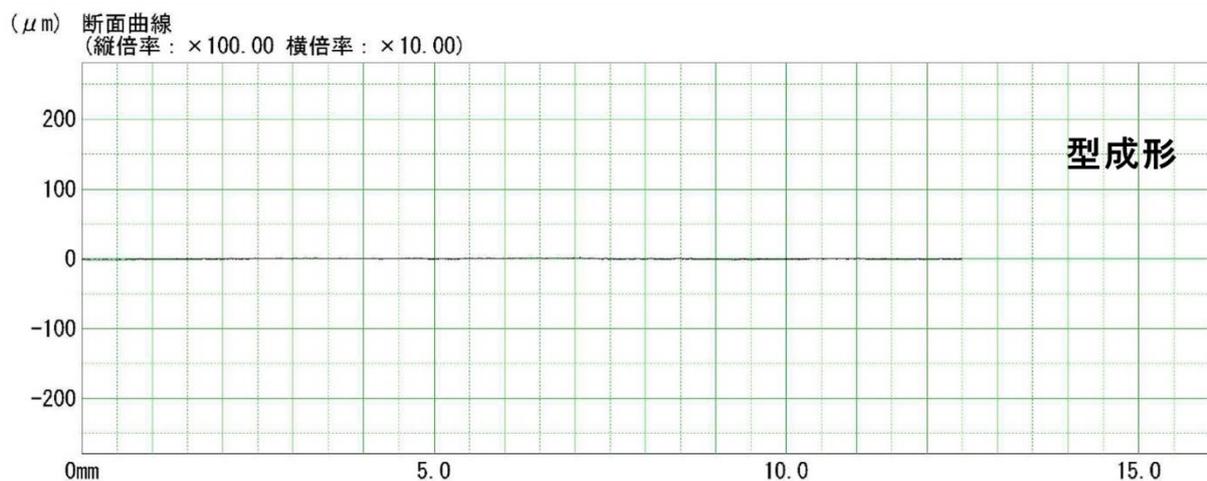
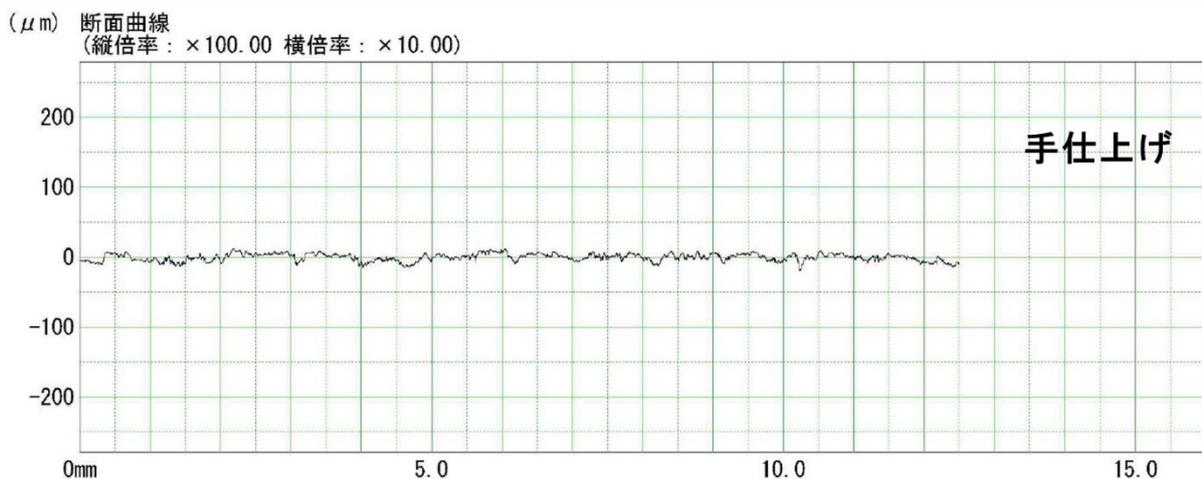
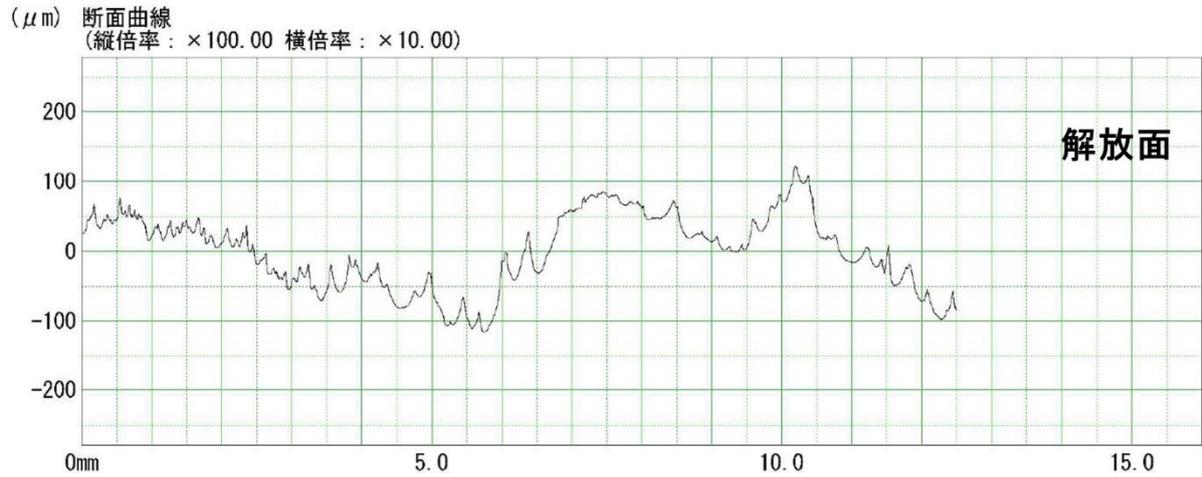


図 代表的な断面曲線 (上から解放面、手仕上げ、型成形)

表面プロファイル測定

プロファイルの測定結果を数に示す。解放面がそのままである Surface sample A では強化繊維に由来する凹凸が前面に生じていることがわかる。手仕上げ後（Surface sample B）はこの凹凸がなくなりなだらかな面となり、面全体で若干のうねりがあることを示している。型成形の場合は Surface sample B で見られたようなうねりは無く、ほぼ直線を示している。

平行度は Surface sample A、B、C でそれぞれ 0.738-0.867mm、0.413-0.622mm、0.122-0.865mm であり、いずれの場合も平行度は 0.9mm 以下を示した。

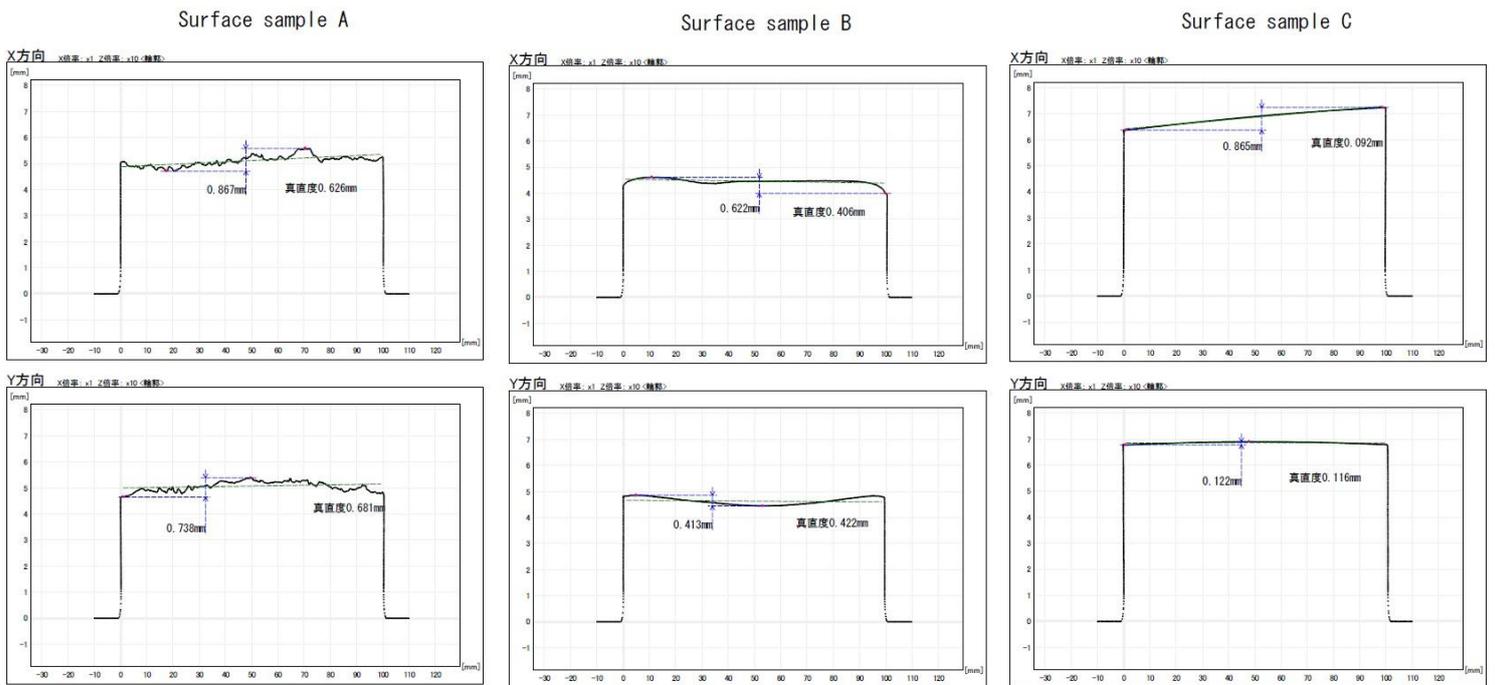


図 表面プロファイル測定結果（左から Surface sample A、B、C 上段：X方向、下段：Y方向）

## 考察

### 手仕上げによる表面粗さについて

下表に表面粗さの測定結果の一覧を示す。まず表面粗さ測定結果で現在最も主流である Ra を主軸に得られた値について考察を行う。Ra は算術平均表面粗さであり、基準長さ内における凹凸の平均値を示している。Ra が 3.48 $\mu\text{m}$  という値は切削加工の接触面にも使える Ra 3.2 $\mu\text{m}$  にも近い辺りであり、FRP 製のタンクの水漏れを防止するシーリングに十分対応できる値といえる。カットオフ波長（基準長さ：2.5mm）の区間における山頂線と谷底線の和である最大高さである Rz についても手仕上げによる数値の大幅な改善がみられている。これは手仕上げによってできた面に局所的な凹部、凸部が無いことを意味しており、測定範囲ではむらなく仕上がっていることが示されている。同様の傾向は最大断面高さ Pt でも示されており、評価長さ（12.5mm）の範囲内での山と谷の誤差が少なく、手仕上げで形成される仕上げ面はある程度の範囲にわたって仕上がりが平滑であることが分かった。

表 表面粗さ測定結果

	Sample sample	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Pt [ $\mu\text{m}$ ]
解放面	A	17.53	97.29	252.46
手仕上げ	B	3.48	22.78	36.69
型成形	C	0.33	3.14	5.83

表面プロファイルにおける Surface sample C の傾斜について

型成形で作製したサンプルは際立って良好な表面粗さを示した一方、右図に示す通り X 方向の表面プロファイルについては右肩上がりの傾斜を示した。

本傾斜の原因として考えられるのが「マトリックス樹脂の硬化収縮による変形」である。本評価で用いたサンプルのマトリックス樹脂はすべて不飽和ポリエステルであり、一般的には 7-8% 程度の硬化収縮が起こる。この収縮のため今回測定に用いた平板サンプルの場合、硬化収縮によるひずみで平板がたわんでしまっている可能性が考えられる。実際、CMM 測定時に定盤にクランプしようとするがタガが発生した。どの方向に歪むかは強化繊維の配向や樹脂の混練具合によって変化するため一概には言えないが、いずれかの方向にたわみが生じ、基準面自体が変形していると今回のような型成形物でも表面プロファイルが傾斜するという事象が発現するものと考えられる。

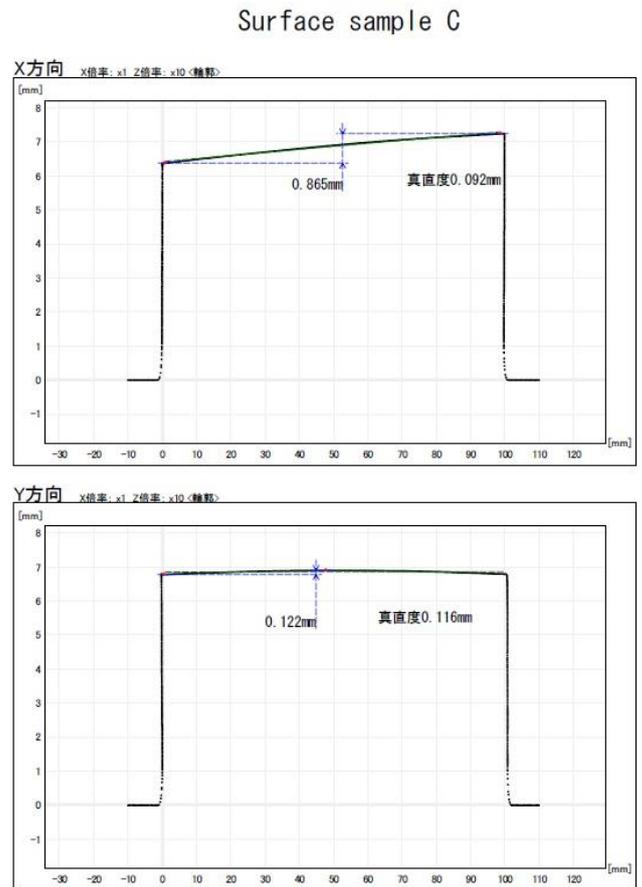


図 型成形である Surface sample C の表面プロファイル

## まとめ

株式会社 FRP カジにおける表面手仕上げによって形成される面について、マイクロ評価である表面粗さとマクロ評価である表面プロファイルの2つの観点から評価を行った。結果、ハンドレイアウトでは一般的な解放面に対し、手仕上げにより表面粗さも表面プロファイルも大幅に改善することが明らかとなり、下面を基準としたときの平行度も 0.9mm を下回る値を得ることができた。

手仕上げによって作製されたサンプル表面について、表面粗さ、表面プロファイル共に型成形のものには及ばないが、型成形、つまり機械加工ができる成形体ばかりではない。刃物が入らない狭い隙間、凹部の端部等、手仕上げでしか表面を加工できない部分を有する成形体も多くある。このような成形体に対しては手仕上げでの表面仕上げが必須であり、該作業によって得られる表面粗さ Ra が  $3.5\mu\text{m}$  を下回るなど、接触部位にも適用できる表面粗さとなっていることは注目に値すると考える。

以上