

## 資 料

# 板金材料の接着強度に及ぼすショットブラスト加工の効果

廣江 拓也\*・井上 英二\*・若槻 博美\*・植田 優\*

## 1. 目 的

金属の板材を用いて外装部品などへ形状加工を行う板金加工は機械金属製品製造の基盤技術の一つであり、島根県内にも板金加工品を取り扱う企業が数多く存在する。

板金加工では切断や曲げ加工とともに部品類を接合する工程もあり溶接や機械的締結が主として用いられている。溶接は材料を熔融状態まで加熱することによる熱的影響が不可避な方法であるため、熱変形による歪みや溶接焼けなどが生じる<sup>1)</sup>。これらは製品の曲がりや割れ、腐食といった不具合を引き起こす原因となり、回避するために歪み取りや洗浄、焼け取りなどの工程が必要となる。近年、板金材料の接合方法として接着剤による接合が注目されている。接着は接合強度では溶接に劣るものの、高温を与えることなく接合できることから熱的影響による製品不具合も低減できる。また、異種材料同士の接合も比較的容易で、マルチマテリアル化のための製造技術の一つにもなり得るものとして期待されている<sup>2)</sup>。しかしながら接合強度が溶接に劣ることが板金加工製品での適用が進まない理由の一つと言える。

一方、ショットブラストやショットピーニングに代表される噴射加工も工業的に広く利用されている。噴射加工は数 $\mu\text{m}$ ～数 $\text{mm}$ の粒子を圧縮空気などで噴射し、加工表面に衝突するときのエネルギーによって除去加工や塑性加工を行う加工法であり、ショットブラストは板金加工や鍛造加工のバリ取り、スケール落とし、鋳物の砂落とし、粗面化に利用されている。ショットピーニングは粒子により加工表面を加工硬化させ、同時に圧縮残留応力の付与により歯車やシャフト類の疲労強度向上を目的とした表面改質技術として知られている<sup>3)</sup>。どちらも素材組成を変えなく目的の表面状態を得ることができる。

そこで本研究では、接着前処理として板金材料に行う表面改質としてショットブラスト加工に注目し、接着強度に及ぼす効果の検証を行った。

## 2. 方 法

### 2.1 実験材料

#### 2.1.1 試験片

板金材料として汎用的に用いられる板厚 $1\text{mm}$ の冷間圧延鋼板(SPCC)を供試材とした。試験片形状の成形はファイバーレーザー加工機(LaserLife社製CSB-450F型)を用いた<sup>4)</sup>。

#### 2.1.2 接着剤

金属材料向けの接着剤として市販される第二世代アクリル系(SGA)接着剤である、メタルロック®(セメダイン製Y612BLACK)を用いた。SGAは主剤と硬化剤の二液を混ぜて用いる接着剤で高い接着強度を有する<sup>5)</sup>。

### 2.2 実験装置

試験片へのショットブラスト加工には小型のショットブラスト装置(大栄歯科産業製CYCLE JUNIOR II)を用いた。図1に装置外観を示す。本装置は予め投射材を充填させたボトル内に圧縮空気を送りこむことで常に新しい投射材を噴射する加圧式ノズルと、使用した投射材を本体下部に設置したノズルから圧縮空気により吸引し、繰り返し噴射する循環式ノズルの2つの噴射方式を有する装置である。噴射された投射材が有する運動エネルギーが被加工材と衝突することで、被加工材の表面を削り落とすだけでなく表面を変形させる塑性加工効果もある。そのためショットブラスト加工にはショットピーニングと同様に圧縮残留応力を付与する表面改質効果も生じる<sup>6)</sup>。



図1 ショットブラスト装置

### 2.3 投射材

ショットブラスト加工の投射材は粒径範囲が比較的近いガラス、ジルコンおよびステンレス鋼(SUS304)の3種類の材料を用いた。その仕様を表1に、外観を図2に示す。

\* 金属技術科

表1 投射材種類および仕様

投射材種	中心粒径 (μm)	硬さ (HV)	真比重
ガラス	63-53	550	2.5
ジルコン	90-45	650-800	3.8
SUS304	<75	240-350	7.6

## 2.4 実験方法

### 2.4.1 表面改質効果に及ぼすショットブラスト加工の影響

試料とノズルの位置を固定し、試料の一点に対してショットブラスト加工を行ったときの表面に及ぼす影響について調べた。投射材、投射距離、投射時間を加工パラメータとしてショットブラスト加工を行った。実験条件を表2に示す。なお、投射材は試料に対して垂直に投射される角度で固定し、試料は圧延方向に対して常に同じ向きとなるように設置した。

投射に用いる圧縮空気圧力は0.3MPa一定とし、ガラスおよびジルコン投射材は加圧式ノズルにて投射した。SUS304 投射材は装置仕様の関係で循環式ノズルにて投射した。

得られた試料は加工部の面粗さおよび残留応力の測定により評価した。面粗さの測定はレーザー顕微鏡（Evident製 OLS5100-HSU）を用い、二乗平均平方根高さを用いて評価した。ブラスト加工条件によって加工範囲は異なるため、加工中心部の768μm × 768μmの範囲を評価した。残留応力の測定はポータブル型X線残留応力測定装置（バルステック工業製 μ-X360S）を用いた。本装置ではX線回折を用いたcos α法により表面近傍の深さ数μmの残留応力を測定する<sup>7)</sup>。

### 2.4.2 接着強度に及ぼすショットブラスト加工の影響

ショットブラスト加工による表面改質が接着強度に及ぼす影響について調べた。試験片は図3に示すように2枚のSPCC板の一部を重ね合わせて作製した。接着範囲は幅21mm、長さ10mmとし、接着前処理として前項で示したショットブラスト加工による表面改質処理を施した。ショットブラスト加工はガラスおよびSUS304 投射材を用い、投射距離30mm一定でノズルを走査させて2枚の板の接着範囲全体を表面改質した。比較用として未処理材および工業用ショットブラスト装置（新東工業製 MY-30A-170）を用いて粒径約100μmのガラス投射材でブラスト加工した試験片を作製した。これら4種類の板材を前述の接着剤を用いて接合した。

接着強度は万能試験機（島津製作所製 AG-250kG）を用いて上下一軸方向に荷重を付与し、接着部分の引張せん断強度試験によって接着面が完全に破断したときの荷重を破断力として評価した。

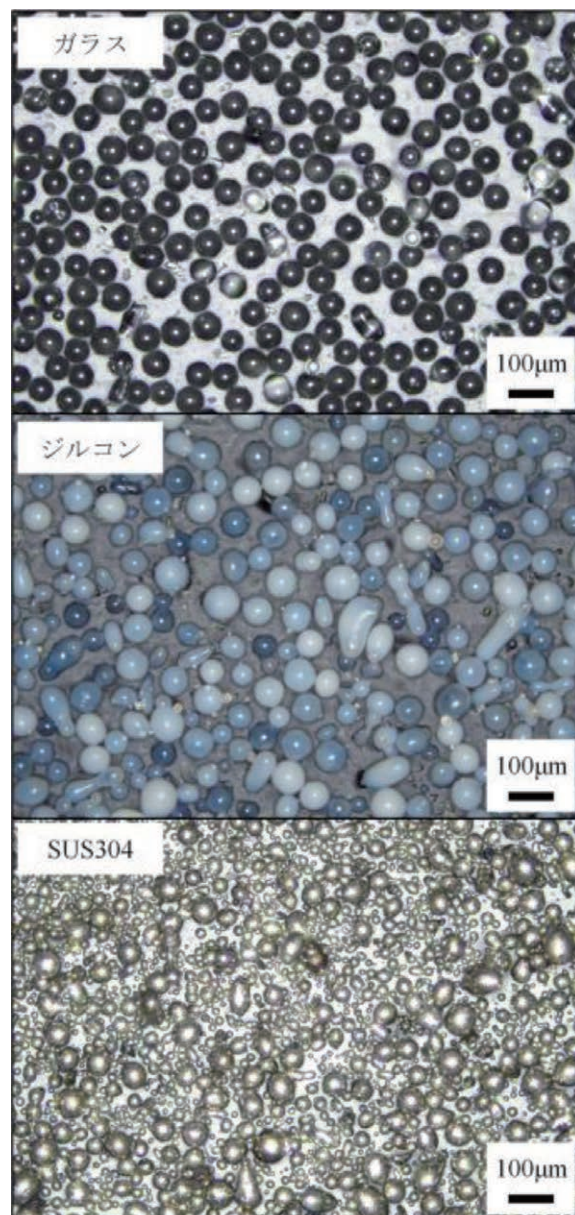


図2 投射材外観

表2 実験条件

投射材	ガラス, ジルコン, SUS304
投射距離 (mm)	10, 20, 30
投射時間 (s)	1, 5, 10, 30

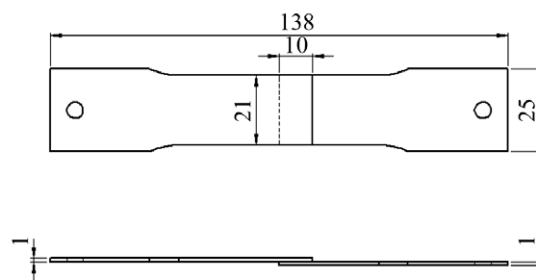


図3 試験片形状

### 3. 結果

#### 3.1 表面改質効果に及ぼすショットブラスト加工の影響

ショットブラスト加工による被加工面の面粗さへの影響を図4に示す。ガラスおよびジルコン投射材では投射時間の増加に伴い二乗平均平方根高さが増大し、投射距離が長いほど減少する傾向を示した。SUS304 投射材では投射時間、投射距離を変化させてもほぼ一定の値を示した。このことは硬さが高く比重が小さいガラスおよびジルコンでは表面を削り取る除去加工によって面粗さは増加し、投射距離が短いほど運動エネルギーが大きくなることから面粗さが増加したのと考えられる。一方硬さが低く比重が大きいSUS304では除去加工よりも塑性加工が優位に働き、面粗さに影響を及ぼさなかったと考えられる。

ショットブラスト加工による被加工面の残留応力への影響を図5に示す。未処理材の被加工面は-10MPa程度でほぼ応力を受けていないが、投射時間1sのブラスト加工によって-380MPa～-280MPa程度の圧縮残留応力を示した。投射時間を30sまで増加しても残留応力はほぼ一定もしくはわずかに減少するのみであった。このことからいずれの投射材においても、投射時間が1s程度でピーニング効果による圧縮残留応力が得られることがわかる。それ以降の加

工ではより表面を削り取るショットブラスト加工本来の除去加工としての働きが行われることにより表面の拘束状態が緩和されて残留応力の除荷が生じていると考えられる。

また投射距離による影響は投射時間10s以下の短時間側で投射距離が短いほど圧縮残留応力は小さくなる傾向を示し、投射時間30sでは投射距離による影響は見られなかった。投射距離が長いほど噴射の広がりにより投射面積が増加し、単位面積当たりの投射材の接触機会が減少すること、またノズル先端から被加工面到達までに一つの投射材が有する運動エネルギーが減少することによって、残留応力層が除去されずに残ったものと考えられる。このことは二乗平均平方根高さや投射距離の関係とも一致する。SUS304 投射材は他の投射材と比して柔らかく、表面を削るショットブラスト加工としての働きよりも、ピーニング効果をもたらす塑性変形的な加工としての働きがより優位であったと推察する。

#### 3.2 接着強度に及ぼすショットブラスト加工の影響

各接着面における面粗さおよび残留応力を表3に示す。未処理の条件に対し、面粗さはガラス、SUS304では減少し、工業用ショットブラストでは増加した。また残留応力は未処理の条件に対し、全ての条件で-350MPa程度の圧縮残留応力が付与された。これらの試料を接着した後に引張せん

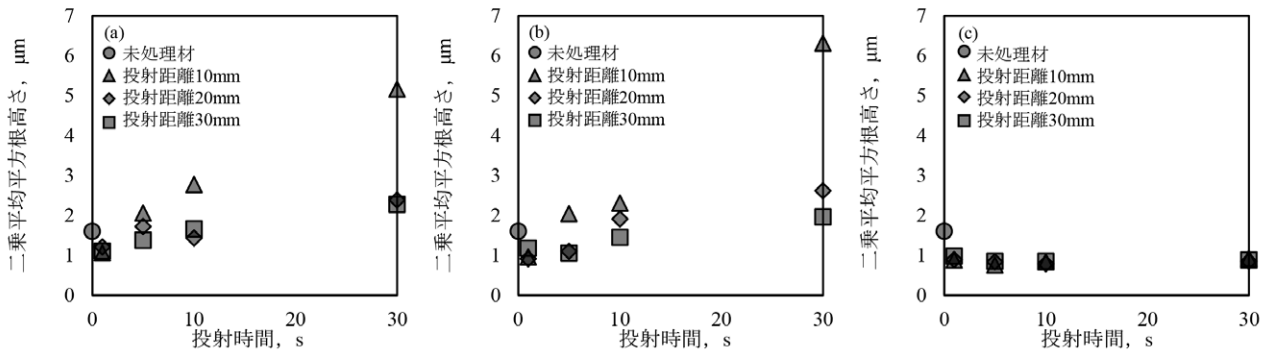


図4 面粗さに及ぼす投射条件の影響  
(a) ガラス (b) ジルコン (c) SUS304

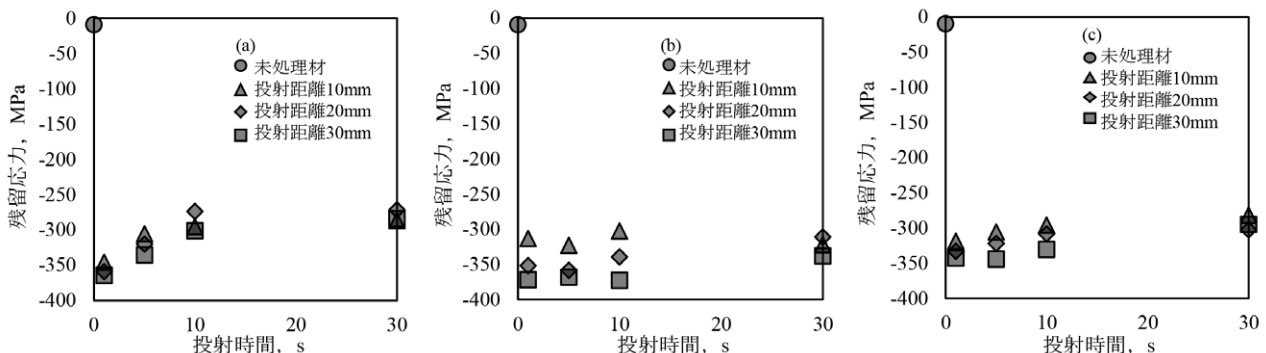


図5 残留応力に及ぼす投射条件の影響  
(a) ガラス (b) ジルコン (c) SUS304

表3 接合面の二乗平均平方根高さと残留応力

	二乗平均平方根高さ ( $\mu\text{m}$ )	残留応力 (MPa)
未処理	1.59	-37
ガラス	1.24	-351
SUS304	0.93	-341
工業用	2.54	-367

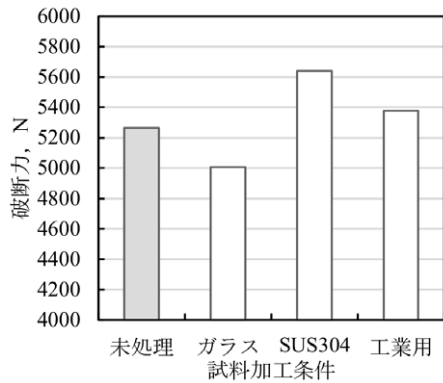


図6 各加工条件による破断力

断強度試験を行った際の破断力を図6に示す。未処理材に比べてガラス投射条件では接着強度が低下した。SUS304では破断力が370N高くなり、接着強度が増加した。工業用においても110N高くなり、接着強度が増加した。

面粗さはSUS304投射材では未処理よりも平滑化し、工業用ショットブラストでは粗面化しているが、ともに強度向上が認められており、二乗平均平方根高さと接合強度に相関性は見られなかった。

一方、ショットブラスト加工によって板材表層は圧縮残留応力が付与され、加工硬化される。これにより板材の接着剤界面での変形が抑制され、接着剤の破壊における初期き裂を生じさせるのに要する荷重が増加することで破断力を増加させる方向に作用したと推察する。この作用はショットブラスト加工を行った全ての条件で働いた可能性がある。試料に付与された残留応力の値は同程度であるが、この応力は板材の最表面での測定値であり、実際には板材

の厚み方向に対して残留応力が分布している。この深さ方向での圧縮応力の分布状態が面粗さよりも接着強度に影響を及ぼした可能性がある。

また、工業用は使用している砥粒の粒径、投射面積、投射時間などショットブラスト加工の条件が他の2条件とは大きく異なっており、ショットブラスト加工による試料板厚の減少量も異なっていると思われる。接着強度はこれら因子が複合的に作用して今回の破断力に現れたと推察する。

### 3.3 まとめ

板金材料に対する接着強度の向上を目的に、ショットブラスト加工による接着面の表面改質処理の適用を試みた。その結果、接着前のショットブラスト加工により接着強度が向上する可能性を見出した。

また除去加工を目的としたショットブラスト装置は板金加工をはじめ様々な製造現場で既に稼働しており、投射材や処理条件の最適化は必要であるが、新たな設備導入を伴うことなく本研究成果の活用が可能になる点も特徴と言える。

### 謝 辞

本研究において工業用ショットブラスト装置による試料の加工は株式会社ゼンキンメタルによって実施いただきました。ご協力賜りました同社取締役技術・品質管理部長 新田敏也様ならびに技術・品質管理部技術改善担当 喜田浩昭様に厚く感謝申し上げます。

### 文 献

- 1) 須藤一. 残留応力とゆがみ. 第3版, 内田老鶴圃, 2003, 214p.
- 2) 佐藤千明. 自動車用接着接合と材料の表面処理の動向. 表面技術. 2016, vol.67, no.12, p.644-648.
- 3) 日本機械学会. 機械工学辞典. 初版, 丸善, 1997, p.1183.
- 4) 植田優, 廣江拓也, 小松原聡. 板金材料へのレーザー除去加工に及ぼす加工パラメータの影響. 島根県産業技術センター研究報告, 2023, no.59, p.23-27.
- 5) 若林一民. 構造接着総論. 溶接学会誌. 2004, vol.27, no.4, p.206-210.
- 6) 窪堀俊文. プラスト加工が基材に及ぼす衝突圧力, ビーニング効果および除去加工. 高温学会誌. 2007, vol.33, no.6, p.306-312.
- 7) 名原啓博, 廣江拓也, 若槻博美, 植田優. cos  $\alpha$  法による残留応力の測定方法と測定事例. 島根県産業技術センター研究報告, 2024, no.60, p.20-27.