

## 第3章 レーザークリーニング処理を施した鋼板の表面評価試験

### 3.1 はじめに

次章以降で行う塗装鋼板の耐久性評価に先立ち、基礎試験として、橋梁用塗装を施した鋼板に対して、発振方式の異なるレーザーによるレーザークリーニングを行い、除去状況、酸化皮膜の残留や表面粗さなどの塗膜耐久性能に影響を及ぼし得るクリーニング後の鋼材表面性状が、レーザーの発振方式や処理条件によってどのように異なるのかを把握することが本章の目的である。

評価方法は、表面観察、表面粗さ計測、SEM観察、表面成分分析を用いて、塗装の除去状況と、塗装後における材料表面への酸化物の残留の有無を評価することとした。

### 3.2 試験方法

#### 3.2.1 試験体の概要

##### (1) 形状

幅 65mm×長さ 100mm×厚さ 10mm の試験体を用い、短辺方向を処理方向として、試験を実施した。

##### (2) 材質

SS400 を用いた。

##### (3) 試験体の表面状態

表面状態は、黒皮のまま、ブラスト処理及び、A系塗装、B系塗装、C系塗装の3種類を対象とした。

#### 3.2.2 試験方法

##### (1) 試験装置

###### a) パルスレーザー

使用したレーザー発振器は以下のとおりである。

###### i) 100W パルスレーザー発振器

フジクラ製 100W パルスレーザー発振器（型式：FLP-G11-100）を搭載した IHI 検査計測製レーザークリーニング装置を使用した。装置外観を図 3.2.1 に示す。

###### ii) 1000W パルスレーザー発振器

IPG レーザー製 1000W パルスレーザー発振器およびキヤノン製 2D スキャンヘッド（中出力用）を使用した。

###### b) CW レーザー

IPG レーザー製マルチモードレーザー発振器（最大レーザー出力 5kW）を用いて試験を実施した。装置外観を図 3.2.2 に示す。また、前項も含めて、各レーザー発振

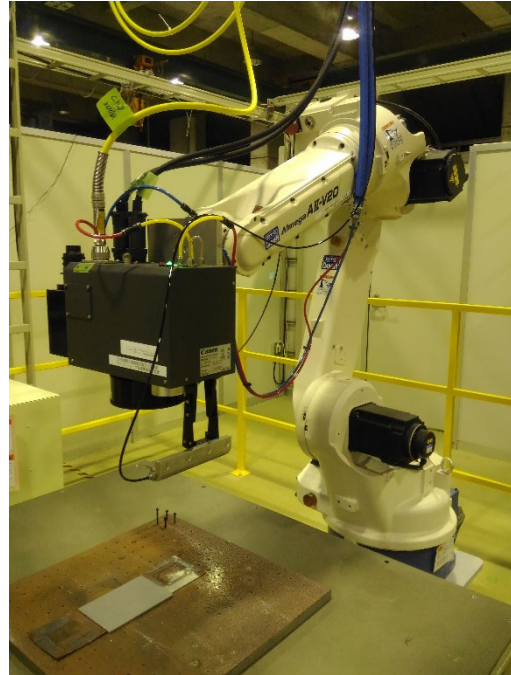


図 3.2.1 100W パルスレーザー発振器を搭載したレーザークリーニング装置外観

器の仕様を表 3.2.1 にまとめる。各パラメータの定義は、付録 C 用語集に示す。



(a) レーザー発振器



(b) レーザー照射ヘッド

図 3.2.2 CW レーザー発振器及びレーザー照射ヘッドの外観

表 3.2.1 各レーザー発振器の特徴

レーザー発振器 種類	レーザー 出力 (W)	パルス エネルギー (mJ)	1パルス エネルギー 密度 (mJ/mm <sup>2</sup> )	平均 パワー密度 (MW/cm <sup>2</sup> )	パルス 幅 (ns)	繰返し 周波数 (kHz)	焦点 距離 (mm)	スポット 径 (μm)
100Wパルスレーザー発振器	100	1	421	4.21	180	100	250	55
	300	100	74.9	0.0225	50	3.0	163	1300
	500	100	74.9	0.0374	75	4.0	163	1300
1000Wパルスレーザー発振器	1000	100	74.9	0.0749	100	5.0	163	1300
	CWレーザー発振器	1000	-	-	0.757	-	-	163

(2) 試験条件

表 3.2.2 に試験条件をまとめる．5 種類の表面状態に対して，パルスレーザーによるレーザー出力 100W，300W，500W，1000W，CW レーザーによる 1000W の計 5 条件，合計 25 条件の試験を実施した．短辺方向をレーザーの処理方向とした．

表 3.2.2 試験条件のまとめ

試験体番号	表面状態	レーザー種類	出力 (W)	パルスエネルギー (mJ)	1 パルスエネルギー密度 (mJ/mm <sup>2</sup> )	照射回数 (回)
K100P	黒皮	パルス	100	1	420	/
K300P		パルス	300	100	74.9	/
K500P		パルス	500	100	74.9	/
K1000P		パルス	1000	100	74.9	/
K1000C		CW	1000	-	-	2
BL100P	ブラスト (アルミナ ISO Sa2.5)	パルス	100	1	420	/
BL300P		パルス	300	100	74.9	/
BL500P		パルス	500	100	74.9	/
BL1000P		パルス	1000	100	74.9	/
BL1000C		CW	1000	-	-	2
A100P	A系塗装 膜厚125μm	パルス	100	1	420	/
A300P		パルス	300	100	74.9	/
A500P		パルス	500	100	74.9	/
A1000P		パルス	1000	100	74.9	/
A1000C		CW	1000	-	-	2
B100P	B系塗装 膜厚195μm	パルス	100	1	420	/
B300P		パルス	300	100	74.9	/
B500P		パルス	500	100	74.9	/
B1000P		パルス	1000	100	74.9	/
B1000C		CW	1000	-	-	2
C100P	C系塗装 膜厚370μm	パルス	100	1	420	/
C300P		パルス	300	100	74.9	/
C500P		パルス	500	100	74.9	/
C1000P		パルス	1000	100	74.9	/
C1000C		CW	1000	-	-	2

### 3.3 評価方法

#### 3.3.1 表面観察

実体顕微鏡（キーエンス製 VHX-6000(コントローラ部), VHX-S660(ステージ部)) を用いて、全体および拡大（中央付近）を撮影した。

#### 3.3.2 表面粗さ計測

図 3.3.1 に示すように、レーザー照射位置の中央付近の表面粗さをテラーホブソン製表面形状計測装置（型式 PGI1200）により計測した。計測長さ 20mm とし、計測結果は Ra および Rz にて評価した。

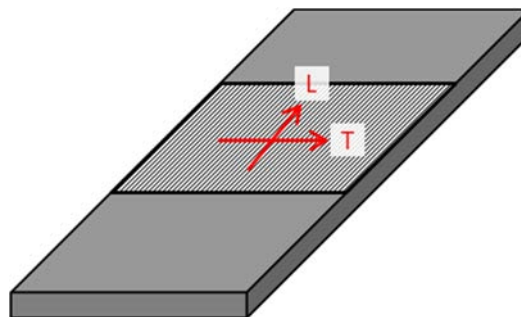


図 3.3.1 表面粗さ計測の位置

#### 3.3.3 SEM 観察

酸化皮膜の形成状態を評価するため、SEM（日本電子製 JSM-7001FTTLS）を用いた表面層の観察、酸素量・Fe 量の計測および各条件の比較を行った。パルス 100W，パルス 1000W，CW1000W の計 12 条件において実施した。材料の採取位置を図 3.3.2 に示す。表面層の観察は図 3.3.2 に示す観察方向からとした。

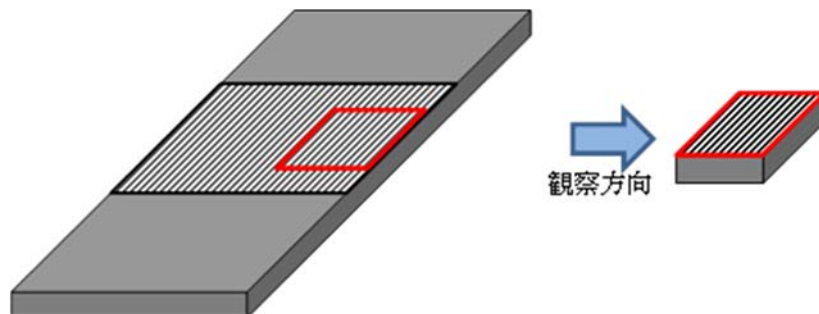


図 3.3.2 SEM 観察の位置

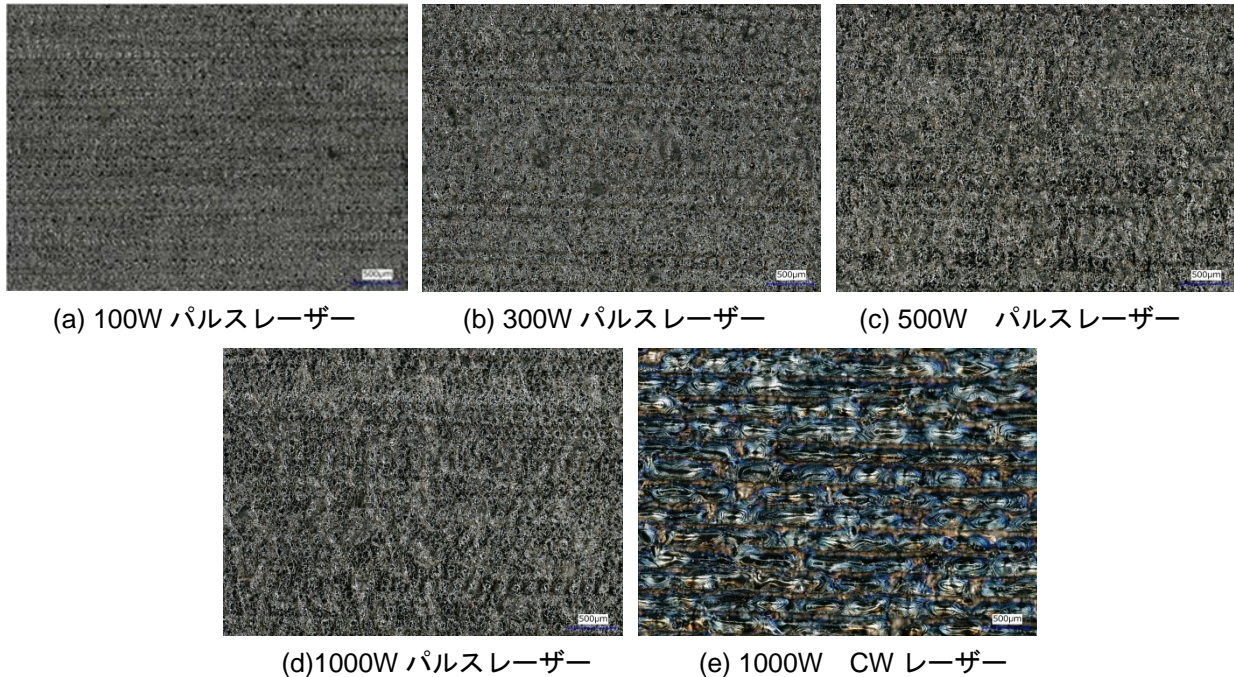
### 3.4 試験結果

#### 3.4.1 外観

レーザー照射後の表面状態の一例として、C 系塗装の結果を図 3.4.1 に示す。図 3.4.1(a)～図 3.4.1(d)のパルスレーザー照射の結果は、いずれもレーザー照射痕が規則的にドット状であるのに対して、図 3.4.1(e)の 1000W CW レーザーの場合は、レーザー照射が部分的に溝状であり、表面が青色に酸化している状態が観察された。この傾向はレーザー照射前の状態に関わらず、共通であった。

パルスレーザーの種類および試験条件によって、図 3.4.1 に示したとおり、(a)100W パルスレ

ーザーと(b)~(d)の300~1000Wのパルスレーザーとで表面の状態に大きな差があった。これは、それぞれの使用したレーザーの平均レーザー出力，平均パワー密度やパルス周波数などのパルス条件の差である。また，100Wパルスレーザーの方が表面の金属光沢が顕著であった。



(d)1000Wパルスレーザー (e)1000W CWレーザー

図 3.4.1 C系塗装の表面状態の比較

### 3.4.2 表面粗さ

本試験における表面粗さの結果を図 3.4.2 にまとめた。その結果， $R_a$ ， $R_z$ ，および計測方向に関わらず，CWレーザーの方がパルスレーザーと比較して表面粗さが粗く，場合によっては $R_z$ が $100\mu\text{m}$ 以上に達することがわかった。

パルスレーザーの条件の違いでは，図 3.4.2 に示した通り，100Wパルスレーザーの方が300~1000Wのパルスレーザーよりも粗いことがわかる。これは，表 3.2.2 に示した通り，100Wパルスレーザーの平均パワー密度が1000Wのパルスレーザーと比較して高いことが原因と推測される。ただし，表面粗さは，平均パワー密度だけではなく，ピークパワーや1パルスのエネルギーが複合的な影響を及ぼすと考えられる。また，300~1000Wの範囲でも，レーザー出力が高くなるにしたがって，粗くなる傾向にあった。

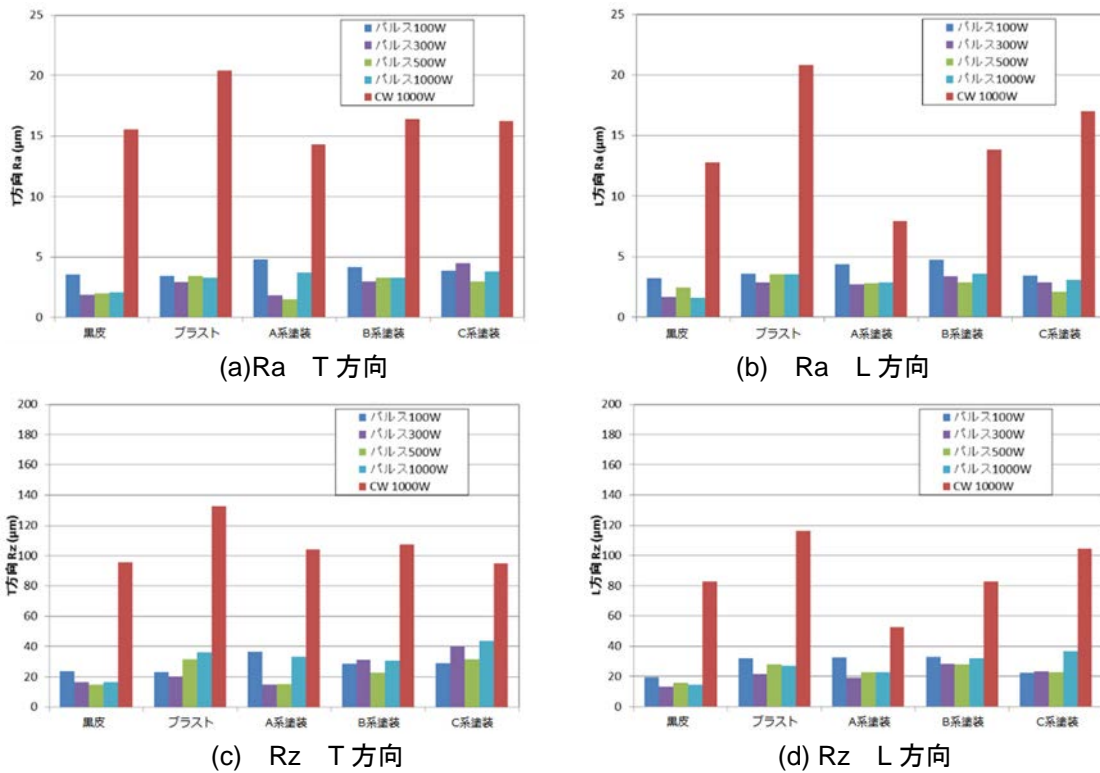


図 3.4.2 表面粗さ試験結果

### 3.4.3 表面層の成分分析

材料の深さ方向への酸素量および Fe 量の計測結果の一例を図 3.4.3 に示す。Fe 量が上昇した部分を母材と推定し、その周辺に位置する酸素量のカウン数を表層部の酸素量として比較した。その結果、図 3.4.4 に示すように、パルスレーザーと比較して CW レーザーの表面層の酸素量は多くなる傾向があった。

パルスレーザーの条件の違いでは、表面状態がブラストの場合を除き、100W と 1000W パルスレーザーに、表面層の酸素量に大きな差はなかった。

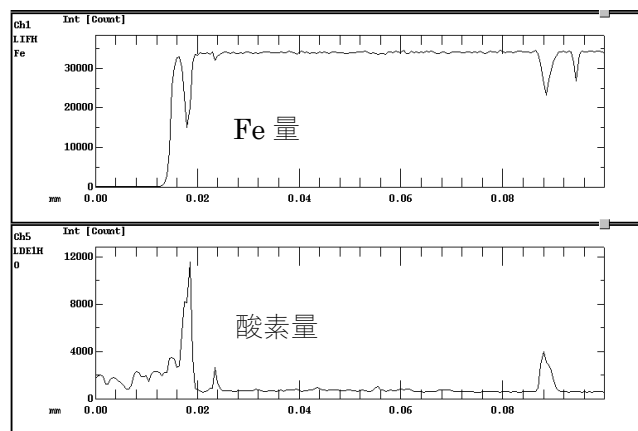


図 3.4.3 成分分析結果の一例 (C系塗装 CW レーザー)

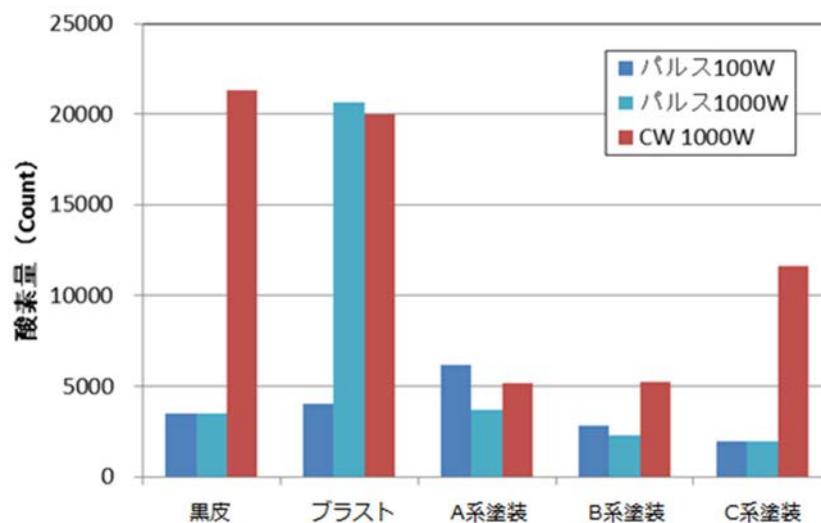


図 3.4.4 レーザー照射後の表層部の酸素量の比較

### 3.4.4 表面状態がクリーニング条件に与える影響

#### (1) 外観および表面粗さ

レーザークリーニング前の表面状態（黒皮，ブラスト，塗装の種類）による，レーザークリーニング後の状況を比較した結果，表面状態，表面粗さに関して顕著な傾向の差はなかった．旧塗膜の種類にかかわらず，レーザークリーニングにより除去できることは，一つの特長である．

#### (2) 表面層の成分分析

表面層の酸素量に関しては，前項でもふれたように，ブラストの場合の 1000W パルスレーザーの場合の酸素量が多くなったが，ブラストに使用したアルミナ研磨材の影響が顕著に表れたものと推測される．

また，塗装に関しては，パルスレーザーに関しては大きな差は見られなかったが，CW レーザーを用いた場合は，塗装膜が厚いC系において，表面の酸素量が多くなる傾向にあった．