レーザーによる鋼構造物表面の素地調整技術 検討小委員会

報告書

2022年12月

土木学会鋼構造委員会

はじめに

鋼の防食はインフラ鋼構造物の長寿命化のために大変重要である。その防食対策において、現在最も多用されているのは塗装である。塗装は鋼材の表面が大気(酸素や水、塩化物イオン等)と触れないように遮蔽する防食法であるが、塗装時の鋼表面(素地)の品質が重要で、素地調整の良否がその後の防食機能に大きく影響する。そのため、素地調整では、黒皮や油分等を除去するとともに、地金表面において塗膜のアンカー効果を期待するための適度な表面粗さを確保することが求められており、通常、第1種ケレンであるブラスト処理が施される。

また、再塗装においても、塩や残存錆、残留塗膜を完全に除去できるブラスト処理が要求されることが多い.しかし、ブラスト処理では、現場施工時には劣悪な施工条件になるだけでなく粉塵飛散防止対策や騒音対策が必要となり、さらに大量に発生する研削材や旧塗膜の回収と処理に多大な費用と労力がかかる等の問題がある。

筆者は、広島大学の「高機能難加工材の製造・先端加工システム開発による革新的ものづくり研究拠点」プロジェクトの一つとして、レーザーの応用・適用技術に誘われ、長期間飛来塩を受けて腐食した鋼板のレーザークリーニングの試験施行を行った。その結果、錆は昇華・飛散し、残存塩分も検出されなかった。残留塩分が消失するというのは、極めて興味深くかつ非常に魅力的に感じ、レーザーケレンについて検討したい旨を土木学会鋼構造委員会へ提言、了承を得て本小委員会をスタートさせた。しかしながら、安全性はもちろん適するレーザー照射条件や施工後の素地の品質等々、未解明かつ未検討な課題が山積している現状を改めて認識することとなった。

そこで、本小委員会では、1)レーザー照射形式と照射条件をパラメータとして、除錆度や酸化皮膜などの表面の状態、表面粗さを調査すること、次に、2)レーザーケレン後の試験片に塗装し、腐食促進試験および曝露試験による腐食進展状況を観察すること、の2課題に絞り込むこととした。結果として、レーザーケレンの施工条件や効果については、十分とはいえないものの、とくにパルスレーザーによるケレンについては将来につながる有用なデータを提供できたと考えている。今後の実用化に向けて活用していただければ幸甚である。

本委員会活動にあたり、供試体の製作については川田工業(株)および日本ペイント(株)、関西ペイント(株)、レーザーケレンについては(株)IHI 検査計測およびフルサト工業(株)、また、塗装および耐久性試験については日本ペイント(株)、関西ペイント(株) および大日本塗料(株)、さらに、曝露試験場を提供戴いた(一財)土木研究センターの多大なご支援、ご協力を賜りました。ここに、深く感謝致します。また、北根幹事長をはじめ委員の方々および関係各位のご協力に深く感謝致します。最後に、委員長の不手際から委員会活動期間終了後も、報告書のまとめ作業や報告会の開催が大変遅くなってしまい、小委員会のみならず鋼構造委員会の関係諸氏に大変なご迷惑をおかけしてしまいました。ここに、記して深くお詫び致します。

土木学会鋼構造委員会

鋼構造委員会 レーザーによる鋼構造物表面の素地調整技術検討小委員会 委員長 藤井 堅

委員構成

 委員長:
 藤井 堅
 (広島大学大学院)

 幹事長:
 北根 安雄
 (京都大学大学院)

 連絡幹事:
 服部 雅史
 (中日本高速道路(株))

委員: 乾 伸輔 ((一社)日本パルスレーザー振興協会)

大塚 洋 (防食溶射協同組合)

大脇 桂* ((一社)とやま接合技術推進協会)

片脇 清士 ((一社)日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会)

川見 周平 (中電技術コンサルタント(株))

北村 隆 ((一社)日本パルスレーザー振興協会)

笹嶋 純司 ((株)横河ブリッジ)都築 幹生** (日本ペイント(株))冨山 禎仁 ((国研)土木研究所)中井 一寿 (関西ペイント(株))

中野 正 ((一社)日本橋梁·鋼構造物塗装技術協会)

枦木 正喜 (西日本高速道路(株))

馬場 靖人 (パシフィックコンサルタンツ(株))

原 考志 (川田工業(株))

福田 雅人 (西日本高速道路(株)) 松本 剛司 (大日本途料(株))

宮田 一成 (IPG フォトニクスジャパン(株))

安波 博道 ((一財)土木研究センター)

山根 彰 ((株)ブリッジ・エンジニアリング)

山本 武司 (フルサト工業(株))

*: WG1 主查, **WG2 主查

旧連絡幹事: 芦塚 憲一郎 (西日本高速道路(株))

黒田 智也 (東日本旅客鉄道(株))

後藤 俊吾 ((株)高速道路総合技術研究所)

旧委員: 久米 昌夫 (本州四国連絡高速道路(株))

佐藤 容正 (サマック(株))

百武 壮 ((国研)土木研究所)

真鍋 幸男 (広島大学)

本村 孔作

柳口 剛男 (関西ペイント(株))

(サマック(株))

目 次

第1章 レー	-ザークリーニングの現状	1
1.1 レー	-ザーの種類と特徴	1
1.1.1	レーザーとは	1
1.1.2	誘導放出による光の増幅	1
1.1.3	レーザーの発振方法と特徴	1
1.1.4	レーザーの種類と特徴	1
1.1.5	発振方式によるレーザータイプの違いと素材の反応	2
1.2 レー	-ザークリーニングの現状	4
第2章 土木	· :鋼構造物塗替え塗装における素地調整へのレーザークリーニングの適用	6
	孝之塗装における素地調整	
2.1.1	大工 大工 大工 大工 大工 大工 大工 大工	
2.1.1	金替え塗装における素地調整の代表的な工法と作業内容	
2.1.2	素地調整の品質と評価	
2.1.4	素地調整にまつわる現状の課題	
	-ザークリーニング適用のメリット	
	- ザークリーニング適用の課題	
2.3.1	装置の選択指針	
2.3.1	安全性の向上	
2.3.2	塗替塗装の耐久性	
	-ザークリーニング処理を施した鋼板の表面評価試験	
	こめに	
3.2 試懸	食方法	
3.2.1	試験体の概要	
3.2.2	試験方法	
3.3 評価	5方法	
3.3.1	表面観察	18
3.3.2	表面粗さ計測	18
3.3.3	SEM 観察	18
3.4 試懸	注結果	18
3.4.1	外観	18
3.4.2	表面粗さ	19
3.4.3	表面層の成分分析	
3.4.4	表面状態がクリーニング条件に与える影響	21
第4章 レー	ザークリーニング処理を施した塗装鋼板の耐久性評価試験	22
	こめに	
4.2 試懸		22

4.2.1 試験体	ぶの概要	22
4.2.2 レーザ	一処理方法	23
4.2.3 試験用]塗料	24
4.3 評価方法		25
4.3.1 レーサ	[:] 一処理表面評価方法	25
4.3.2 耐久性	試験方法および評価方法	27
4.4 鋼板およひ	「CT 鋼のレーザー処理結果	32
4.4.1 施工討	、験結果	32
4.4.2 表面評	7価結果	34
4.5 耐久性試験	說某	37
4.5.1 初期付	· 着強度	37
4.5.2 塩水噴	[霧試験	38
4.5.3 複合サ	-イクル試験	40
4.5.4 温度勾]配試験(20℃−40℃)	41
4.5.5 屋外暴	·露試験	41
4.6 まとめ		55
第5章 まとめと今	後の課題	56
	- クリーニング処理を施した鋼板の表面評価結果	
	-クリーニング処理を施した鋼板の塗装耐久性試験結果	
	<u> </u>	
秦孝 士静		50
少与 又\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\		
付録:		
	'リーニング処理を施した鋼板の表面評価試験	
	[察]	
	·測結果	
•	現察結果	
	· 析結果	
	* CT 鋼のレーザー処理後の試験体写真	
	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・	
	・一出力 500W の場合	
A.2.3 レーサ	「一出力 1000W の場合	138
B. 塩水噴霧試	験および複合サイクル試験 試験体外観	174
	、 	
B.1.1 有機ジ	ジンクリッチペイント	174
B.1.2 エポキ	・シ樹脂塗料下塗	190

B.2	複合サイクル試験	206
C.	用語集	222
C.1	レーザー出力に関する定義	222
C.2	レーザークリーニング施工に関する定義	222

第1章 レーザークリーニングの現状

1.1 レーザーの種類と特徴

1.1.1 レーザーとは

レーザー(Laser)とは Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation の頭字語で、すなわち誘導放出による光の増幅放射を現したいわゆる造語であり、アルベルト・アインシュタインの論文「放射の量子論について」を基礎原理とし、1960 年代から急速に開発され進歩し、CD プレイヤー、DVD プレイヤーを代表として、広く適用されるようになった。

また、レーザーは、コヒーレンス性(可干渉性)、単色性、指向性、集光性・高輝度(高エネルギ密度)の特徴を持つ.

1.1.2 誘導放出による光の増幅

レーザーとして光を放出するためには媒質が重要である。産業界での代表例としては、炭酸ガス、Nd-YAG(ネオジムをドーピングしたイットリウム、アルミニウム、ガーネット)、半導体にドーピングされたガリウム・ヒ素などがある。誘導放出の原理としては、媒質が外部からエネルギーを与えられると電子が励起(エネルギ順位が上がる=ポンピング)し、元の状態に戻るときにエネルギーを放出、さらに波長の揃ったエネルギーを放出するのであるが、さらに誘導放出を加速させるには反射鏡などを利用したいわゆる共振器(Cavity)構造が必要である。

1.1.3 レーザーの発振方法と特徴

レーザー発振方法には大きく分けて、連続発振(CW とも表記する)とパルス発振の 2 つの種類に分けられる。連続発振はレーザー光線を連続的に出力するため、レーザー発振に伴う発熱量を抜熱する必要があり、装置そのものが大きくなる、大きな熱交換機器が必要となるといった特徴があるが、パルス発振の場合、ON/OFF 周期をもって発振するため装置そのものが小さく、熱交換機能も小さくて済む場合が多い。したがって、連続発振機器は大出力レーザーが存在するが、パルス発振機器の場合、低出力レーザーが多く、大出力レーザーはあまり存在しない。

1.1.4 レーザーの種類と特徴

レーザー発振器は媒質によって多種存在するが、産業界で主に使用されているレーザーの媒質を大分類すると、気体、固体、半導体、に分けられる。気体の場合、炭酸ガスレーザー、エキシマレーザー、ヘリウムネオンレーザーなどが代表例、固体の場合、Nd-YAG レーザー、ディスクレーザー、ファイバーレーザーなどが代表例となる。

炭酸ガスレーザーはいち早く産業界に導入され製造現場で広く使用されるようになり、なおかつ高輝度な機器も開発されている。一方、Nd-YAG レーザーは機器の特徴から高輝度化しにくいものの、パルス発振を利用して精密な溶接などができることから、炭酸ガスレーザーに遅れながらも製造現場へ導入されるようになった。

早期から産業界へ多く導入された代表的な 2 つのレーザー (炭酸ガスレーザー/Nd-YAG レーザー) には "発振波長", "光の伝送方法", "発振方法"などにおいて大きな特徴差がある.

レーザー種類	代表的な発振波長	光の伝送方法	代表的な発振方法
炭酸ガスレーザー	10600nm	ミラー伝送	連続発振(CW)
Nd-YAG レーザー	1064nm	光ファイバー伝送	パルス発振

表 1.1.1 炭酸ガスレーザーと Nd-YAG レーザーの特徴差

また、レーザーを製造現場で使用する場合、対象素材の持つ吸収特性があり、素材によってレーザーを使い分ける必要がある。また、連続発振のレーザー光を素材に当てた場合、熱影響などの副作用も発生するため、パルスで照射し副作用を抑えるなどの検討も実施する必要がある。製造現場への装置導入においては、光の伝送方法によっては設置が容易、困難な差も発生することがあり、特徴によって使い分けも必要となる。

レーザー開発の後期になると、半導体レーザーやディスクレーザー、ファイバーレーザーなどが革新的な進化を遂げ、現在では前述する炭酸ガスレーザーや Nd-YAG レーザーから置き換えられる状況となっている。それぞれ、半導体レーザーは光を作り出すための電気から光へ変換する、いわゆる変換効率が高く、Nd-YAG レーザーでは加工しにくかった樹脂などでも適用、また、ビーム品質は悪いものの、それを利用して、部分焼き入れ、焼き戻し、樹脂接合、シンタリングなどへの応用もなされている。一方、ディスクレーザーは Nd-YAG レーザーが正常進化したレーザーで非常に高ビーム品質、容易なビームスイッチング、高効率なレーザーとして製造現場で広く利用されている。ファイバーレーザーは高輝度レーザーの部類では最も新しい技術を利用したレーザーで、高ビーム品質、高輝度化(国内で採用されている最大出力:100kW)などのこれまでのレーザーにない特徴を兼ね備えている。また、ここまで述べたレーザーの中でも、多様化するアプリケーションに対応できる広い応用力を持っており、連続発振タイプから超短パルス発振タイプまで応用できる。

1.1.5 発振方式によるレーザータイプの違いと素材の反応

前述したように、レーザーにおける発振方式は様々なように感じられるが、実際には大きくわけて 2 種存在する. 連続発振とパルス発振である. ただし、パルス発振には発振時間 (Pulse On time) が存在し、この発振時間が物質への影響も変化してくる.

連続発振機器の場合,ほとんどが,最大出力を刻んで発振するいわゆるチョッピングでパルス 化できるが,最大出力は連続発振時の最大平均出力と同じであるため,大出力でパルス化したい 場合,非常に大きなレーザーとなってしまう.

対して、パルス発振をベースとしたレーザーは、平均出力、およびエネルギー量こそ低いものの、最大出力は平均出力の 10 倍、100 倍、10000 倍もの高い出力を極短パルスで出力することができる機器も存在する.

連続発振とパルス発振の大まかな分類を図1.1.1に示す.

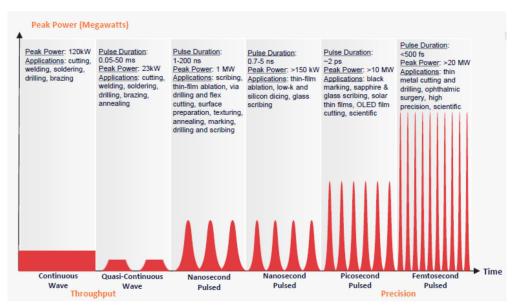


図 1.1.1 パルス幅と最大出力の分布図

(引用先: IPG Photonics Corporation Investor Guidebook 著者: James Hillier, Vice President of Investor Relations)

前述したとおり、連続発振タイプのレーザーでは発熱量も大きくなるため、水で冷やす構造となることが多く、大きな機器になってしまいがちだが、パルス幅が ns (ナノ秒) レベルの短パルスレーザーでは、平均出力 100W でも空冷のタイプのレーザー発振器も存在し、非常にコンパクト設計となっている。ただし、ps (ピコ秒) レベルを下回る超短パルスレーザーでは、水冷却を必要とするレーザー装置が主である。

パルス発振レーザーは主にms, μs , ns, ps と様々なパルス幅を出力するタイプが存在するが、加工結果についてもそれぞれに特徴があり、どのように加工するかによって選定が必要となる.加工におけるパルス幅(図中では照射時間)とパワー密度の分布図を**図 1.1.2** に示す.

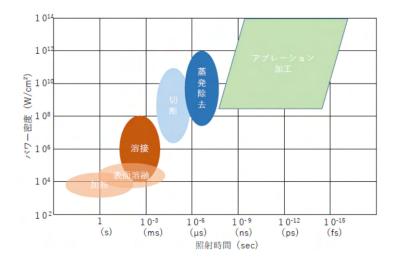


図 1.1.2 パルス幅とパワー密度における加工減少の分布図

レーザー装置の発振方法及びパルス条件を基に機器選定する場合は、加工対象物をどのように、どのレベルで加工したいかを前提条件とし、それに合わせたレーザー発振器のタイプを選ぶ必要がある。熱を加え溶接する場合にはパルス幅を長く照射することにより溶融凝固を起こし接合することができるが、例えば表面に付着した汚れや塗膜などに集中して除去し、母材への過度な入熱量も抑えるためには、ns レベルのパルス幅のレーザーを照射できる機器を選定することが考えられる。このような選定によって、母材への副作用もコントロールすることが可能となる。

1.2 レーザークリーニングの現状

これまで、自動車や航空機をはじめとする工業製品の洗浄技術として、有機溶剤や酸などの薬品による洗浄,水などを用いた高圧洗浄,サンドブラストによる洗浄方法などが広く用いられてきた。しかしながら、近年、環境規制が厳しくなったことから、これらの洗浄方法で排出される二次廃棄物処理の課題を解決するため、廃材がほとんど出ないレーザークリーニング技術に注目が集まっている。

レーザークリーニングは、高いエネルギー密度のレーザー照射により固体あるいは液体の表面から構成物質が爆発的に昇華、蒸散されるレーザーアブレーションと呼ばれる現象を利用しており、主にパルスレーザーをスキャナでスキャニングし、材料の最表面層に照射することで、表面のコーティング層、あるいはコンタミネーション層 (何らかの汚染物質を含む層)を蒸発させる。同時に材料の表面にはマイクロプラズマが生成し、その衝撃波、熱膨張圧で目標物が破壊される。適正なレーザーパラメータを選択することで母材に損傷を与えることなく安全にコンタミ層のみを除去することができる。生成した飛散物はバキューム装置で吸引し、フィルターに吸着させることにより回収が可能である。母材に損傷を与えないためのレーザークリーニングの要件として、図1.2.1 に示すように表面層がレーザーアブレーションを起こすために必要なエネルギー密度をEc、母材そのもののアブレーションが起きるエネルギー密度をEs とした場合、Ec<Es の関係が成り立つ条件を選定する。

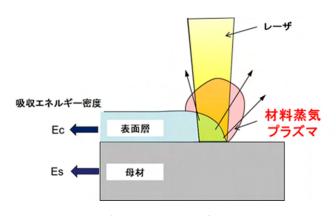


図 1.2.1 レーザークリーニング技術の基本原理

パルスレーザーによるレーザークリーニングは、**図 1.2.2** に示すようなレーザー照射ヘッドを 用い、試験片へレーザー照射を行い、この照射位置を線状にスキャニングし、レーザー照射ヘッドを動かすことにより表面層の除去を行う.

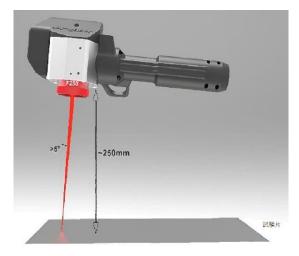


図 1.2.2 パルスレーザーによるレーザー照射の概念

近年, 1.1.5 項に説明した通り, 数多くのタイプのパルスレーザー発振器の開発が進んでおり, 瞬間的に高いエネルギーを連続的に投入することが可能になっている. レーザークリーニングは主にこの技術を応用して, 開発が進められている. これらのレーザー発振器を用いたレーザークリーニングの現在の適用例は, 図 1.2.3 に示すように, 多岐に渡っており, 除去対象の表面材と母材の種類や, その接合状況などにより, 適正な施工条件は異なる. そのため, 正確に除去状況を把握するためには, それぞれの材料に対し, 表面層残留の評価が必要である. 評価には, 表面の状態を目視で観察することや, 粗さによる評価, SEM 観察および表面成分分析が用いられており, 後述する試験においてもこれを応用して評価を行う.

1. 自動車

溶接前後処理、金型クリーニング、酸化膜除去、塗装剥離

- 2. 航空機部品 塗装剥離
- 3. 電力

火力発電ボイラ等の検査・計測の前処理

4. 原子力

原子カプラントの低レベル除染

5. 半導体製造

ICパッケージ金型のクリーニング

6. インフラ関連

塗装剥離, 錆取り

図 1.2.3 レーザークリーニングの適用例

第2章 土木鋼構造物塗替え塗装における素地調整へのレーザークリーニングの適用

2.1 塗替え塗装における素地調整

2.1.1 土木鋼構造物の塗替え塗装と素地調整の重要性

橋梁や水門・ダムゲート等の土木鋼構造物においては、鋼材を腐食から守ること(防食)を主目的として塗装されることが多い。土木鋼構造物は一般に、供用中に種々の環境因子(紫外線、水、酸素、熱など)に曝されるため、その塗膜はこれらの環境因子の影響を受けて時間の経過とともに劣化し、光沢の減少や色彩の変化といった景観・美粧性能の低下のみならず、防食性能も低下していく。塗膜の防食性能が低下すると、塗膜内部に拡散・浸透した水、酸素、塩分などの鋼材を腐食(促進)させる因子の蓄積によって塗膜下で鋼材の腐食が生じ、やがて板厚の減少とともに部材の力学性能の低下が引き起こされる。したがって、土木鋼構造物において腐食による力学性能の低下を未然に防ぐためには、適切な時機に塗替え塗装を行って塗膜の防食性能を一定以上に保つ必要がある。

塗替え塗装とは、劣化して性能が低下した塗膜やさび等を除去し、新たな塗膜層を形成するまでの一連の作業の総称である。ここで、土木鋼構造物の塗替え塗装における一般的な作業工程の例を図 2.1.1 に示す。

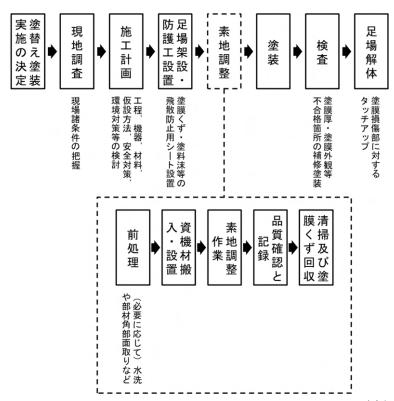


図 2.1.1 土木鋼構造物における塗替え塗装の作業工程の例 1)をもとに作成

塗装の防食性能は、塗膜が鋼材面に確実に付着していることが大前提となる。塗膜と鋼材との間にさびやミルスケール(黒皮)、劣化した塗膜、空気、水、塩分等の異物が介在していたり、鋼材表面の粗さが小さかったりすると、付着性に優れた塗料であっても鋼材への付着が不十分とな

り、塗膜を透過してくる大気中の水分や酸素が塗膜/鋼材界面に容易に蓄積し、塗膜の膨れ、われ、剥がれ、鋼材腐食の早期発生につながってしまう。したがって、鋼材表面に塗膜が良好に付着するよう、塗装に先立って塗料を塗付する面(被塗装面)のミルスケール、さびなどの付着に有害な物質を除去して清浄にし、なおかつ、鋼材表面に適切な粗さを与えるための前処理工程が塗膜性能を確保する上で非常に重要となる。この工程が「素地調整」である。

既往の研究などから、塗膜の寿命を左右する要因には環境や被塗物の材質、素地調整品質、塗料品種、塗装方法、塗膜厚など様々あるが、中でも素地調整の品質による影響が5割程度を占めるとも言われている²⁾.

2.1.2 塗替え塗装における素地調整の代表的な工法と作業内容

素地調整の工法には、ブラストや動力工具、手工具等による物理的工法と、酸洗いやりん酸塩皮膜処理等の化学的工法があり、対象部位や規模、表面状態、目標とする仕上がり状態、作業条件、現場条件等の要因を考慮して選定されている。

土木鋼構造物の塗替え塗装は、小型の水門扉等の例外を除き、通常は構造物が設置された現場での作業となるため、現場条件によって適用できる素地調整工法に制約が生じる場合がある。また、塗替え塗装では様々な表面状態(たとえば、既存塗膜の劣化程度や鋼材の腐食程度、飛来塩分による汚染程度など)が混在した対象物を処理しなければならず、これらに応じて素地調整工法や処理する程度を変えていく必要がある。

土木鋼構造物の塗替え塗装では物理的素地調整工法が広く適用されており、代表的なものには それぞれ表 2.1.1 に示す特徴がある. 通常は、既存塗膜の劣化状態や鋼材の腐食状態、構造物が設置された環境条件、構造物の期待耐用年数等をもとに塗替え塗装系が選定され、塗替え塗装系の要求を満足する仕上がり程度が得られるよう、表 2.1.2 に例示する作業が行われている.

表 2.1.1 物理的素地調整工法の比較 リをもとに下版			
項目	ブラスト処理	動力工具処理	手工具処理
概要	研削材を高速で処理面に投射 し、その衝撃力でさびや塗膜な どを除去するとともに、鋼材表 面に粗さを形成させる	電気あるいは圧縮空気により駆動する動力工具を用いて鋼材面 を研磨し、さびや塗膜などを除 去する	力棒,ハンマー,ワイヤーブラ シ等を用いて手作業により,脆 弱なさび等を除去する
代表的な工法・工具	乾式ブラスト (エアーブラスト, バキュームブラスト, 遠心式ブラスト等) 湿式ブラスト (モイスチュアブラスト, 湿式エアーブラスト, スラリーブラスト等)	ディスクサンダー (ペーパー, 研削砥石) , カップワイヤホイル, ダイヤモンド付ステンレス製工具, 縦回転式動力工具, エアーハンマー, スケーリングマシン等	力棒, 細のみ, 鋲かき, ケレン ハンマー, ワイヤーブラシ等
仕上がり	鋼材の露出と共に適度な粗度の 付与が可能	鋼材の露出は可能であるが、緻密なミルスケールやジンクリッチペイントの完全除去、粗度の付与は困難	鋼材の露出や粗度の付与は困難
施工効率	施工効率に優れ、大面積の処理 に適している. 平面への施工性 は良好だが、複雑な形状の部位 では施工効率が劣る	ブラスト処理よりも施工効率に 劣り、大面積に対する施工には 適さない	単独では多大な労力が必要になるため、ごく小面積の場合や他の素地調整工法の補助工法として用いられる
必要となる 資機材等	大型の装置や多量の研削材を必要とし、運搬車や装置の配置、 ホースの長さ等を考慮する必要 がある	小型の工具と動力源となる電気 コードやエアホースが必要	工具のみで大型の装置等は必要 としない

表 2 1 1 物理的素地調整工法の比較 1)をもとに作成

表 2.1.2 鋼道路橋の塗替え塗装における素地調整程度と作業内容の例 3)

さび面積* ¹	塗膜異常 面積*2	作業内容	作業方法
_	_	さび、旧塗膜を全て除去し鋼材面を露出させる.	ブラスト法
30%以上	1	旧塗膜, さびを除去し鋼材面を露出させる. ただし, さび面積 30%以下で旧塗膜が B, b 塗装系の場合はジンクリッチプライマー やジンクリッチペイントを残し, ほかの旧 塗膜を全面除去する.	ディスクサンダー, ワイヤホイルなど の動力工具と手工 具との併用
15~30%	30%以上	活膜は残すが、それ以外の不良部(さび、 割れ、膨れ)は除去する.	同上
5~15%	15~30%	同上	同上
5%以下	5~15%	同上	同上
_	5%以下	粉化物,汚れなどを除去する.	同上
		きび由積*1 面積*2 	さび面積*1面積*2作業内容-さび、旧塗膜を全て除去し鋼材面を露出させる. せる。旧塗膜,さびを除去し鋼材面を露出させる。 ただし、さび面積 30%以下で旧塗膜が B, b 塗装系の場合はジンクリッチプライマー やジンクリッチペイントを残し、ほかの旧 塗膜を全面除去する。15~30%活膜は残すが、それ以外の不良部(さび、割れ、膨れ)は除去する。5~15%15~30%5~15%同上-5%以下粉化物、汚れなどを除去する。

^{*1:} さびが発生している場合

従来,土木鋼構造物の塗替え塗装では手工具と動力工具との併用による素地調整が主流であったが,近年では構造物の長寿命化のため,塗替え塗装においてもジンクリッチペイント層を有する重防食塗装系が採用されるケースが増えつつあり,これに伴ってブラスト処理による素地調整の適用事例も増加してきている.

ブラスト処理は他の工法と比べて施工効率に優れ、大面積の処理に適しているとともに、得られる処理面は清浄度および表面粗さ共に、塗装の下地として現状では最も優れている.一方、手工具あるいは動力工具による素地調整は施工効率が悪いため、構造物全体にわたってさびや旧塗膜を除去し鋼材面を露出させる作業には適さない.そのため、手工具や動力工具による素地調整では、さび、われ、膨れ等が発生した塗膜不良部のみ除去して鋼材面を露出させ、それ以外の健全な塗膜(活膜)部分については、塗膜表面の粉化物や付着物を除去し、軽く面を粗す程度にとどまる.

2.1.3 素地調整の品質と評価

前述のとおり、塗替え塗膜の防食性能は素地調整の品質に大きく左右されるため、適切に管理する必要がある。素地調整、特にブラスト処理面の品質は、清浄度や表面粗さなどの指標に基づいて管理される。これらの試験・評価方法はISO 8501、8502、8503 シリーズや、JIS Z 0313: 2004「素地調整用ブラスト処理面の試験および評価方法」等で規定されている。

(1) 清浄度

素地調整における処理面の清浄度とは、JIS Z 0310: 2016「素地調整用ブラスト処理方法通則」において「鋼材表面を処理した後の、被覆の付着を阻害するミルスケール及びさび、並びに塩類、油分などの汚れの除去程度」と定義されている。その評価方法には目視による方法と、測定器具による方法がある。

目視による方法について JIS Z 0313 では、処理前の鋼材表面におけるミルスケールの付着やさ

^{*2:} さびがなく、割れ、はがれ、膨れ等の塗膜異常がある場合

びの発生程度「さび度」と、ブラスト処理による仕上げ程度「除せい度」を、ISO 8501-1 および ISO 8501-1 Supplement (追補) の代表写真と比較し、それぞれ表 2.1.3、表 2.1.4 に示す 4 段階で評価することとしている。なお、ISO 8501-1 では、手工具・動力工具による処理面の目視評価基準も(表 2.1.4)示されている。鋼道路橋の塗替え塗装における素地調整程度 1 種(表 2.1.2)の仕上がり状態は、除せい度 Sa 2 1/2 を標準として管理されている。

表 2.1.3 JIS Z 0313 (ISO 8501-1) に規定されるさび度

さび度	鋼材表面の状態
A	大部分が固いミルスケールで覆われ、さびは、あってもごくわずかである.
В	さびが発生し始めており、ミルスケールは、はく離し始めている.
С	全面がさびに覆われ、ミルスケールは、あっても容易にかき落とせる.
D	全面がさびに覆われるとともに、鋼材素地面にかなりの孔食が認められる.

表 2.1.4 JIS Z 0313 (ISO 8501-1) に規定される除せい度

分類	除せい度		鋼材表面の状態	
	Sa 3	目視上清浄な鋼材を得 るためのブラスト処理	拡大鏡なしで、表面には、目に見えるミルスケール、さび、塗膜、異物、油、グリース及び泥土がなく、均一な金属色を呈している。	
ブラスト処理面	Sa 2 1/2	拡大鏡なしで、表面には、目に見えるミルスケール、さび、 さらに十分なブラスト 膜、異物、油、グリース及び泥土がない。残存するすべての れは、そのこん跡がはん(斑)点又はすじ状のわずかな染み けとなって認められる程度である。		
面	Sa 2	十分なブラスト処理	拡大鏡なしで、表面には、ほとんどのミルスケール、さび、塗膜、異物、目に見える油、グリース及び泥土がない。残存する 汚れのすべては、固着している。	
	Sa 1	軽いブラスト処理	拡大鏡なしで、表面には、弱く付着したミルスケール、さび、 塗膜、異物、目に見える油、グリース及び泥土がない。	
手工具・動力工具処理面	St 3*	さらに十分な手工具・ 動力工具処理	・ St2 と同様であるが、素地から発せられる金属光沢を呈するで、さらに十分に処理する.	
具処理面	St 2*	十分な手工具・動力工具処理	広 拡大鏡なしで、表面には、弱く付着したミルスケール、さび、 塗膜、異物、目に見える油、グリース及び泥土がない。	

^{*}手工具・動力工具処理面の除せい度は ISO 8501-1 による.

一方、測定器具を用いた清浄度の評価としては、「表面付着塩類」や「表面付着粉じん」などが行われている.

海浜地域や凍結防止剤散布地域に架設された塗装鋼構造物では、部材に付着した塩分により、 下地の鋼材が著しく腐食している場合がある.このようにして生成されたさびには、塩分が高濃 度で含まれていることが多い.素地調整の際に、塩分を含むさびを十分に除去しないまま塗装を 行うと、早期に膨れ等の塗膜異状が発生し、期待する寿命を満足できないことが知られている.

このため、素地調整後の処理面に塩分の残存が懸念される場合には、付着塩分量を測定し、十分に低い水準まで除去できたことを確認した上で塗装する必要がある。表面付着塩類の測定にはガーゼ拭き取り法、電導度法、ブレッセル法などが利用されている(表 2.1.5 参照).

素地調整処理面に付着した粉じんも、付着塩類と同様に塗替え塗膜の付着力を低下させる要因となる。表面付着粉じんの評価は、素地調整後の処理面にセロハン粘着テープを貼り付けた後、テープを剥がし、テープへの粉じんの付着量を標準図と比較する方法で行うことができる。

表 2.1.5 表面付着塩類の代表的な測定方法

測定方法	概要	特徵
ガーゼ拭き取り法	表面の塩分をガーゼで拭き取り、純水に溶解させ、塩化物イオン検知管によって測定する方法. 検知管内のクロム酸銀が塩分と 反応して白色化することを利用している.	・測定面積が広く、採取試料量も多いため検知管で塩化物イオン量を測定しても誤差が少ない. ・濡らしたガーゼで測定面から塩分を拭い取るため、 測定面の状態によっては十分に試料採取ができず、測定値が不正確となりやすい.
電導度法	表面に付着している塩分を純水に溶出させ、この塩分溶出液の電気伝導度を測定し、塩分濃度に換算して塩分量を求める方法.この方法では、水に可溶な電解質(塩化物、硫酸塩、硝酸塩等)の総量を定量している.	 ・測定面から塩分を溶出させ測定するため,測定値が素材の状態に左右されにくい。 ・純水の補充のみで継続して繰り返し測定が可能。 ・測定面積が小さく局部的な測定となるため,測定箇所数を多くする必要がある。 ・測定器を磁力で測定面に密着させる必要があるため,腐食により表面の起伏が大きくなった部位などでは,測定が困難。
ブレッセル法	測定部位に測定セルを貼り付け,純水を注射器によって注入し塩分を溶出させる.注射器で試料液を抜き取り,塩化物イオン検知管等によって測定する方法.	・測定面から塩分を溶出させ測定するため,測定値が素材の状態に左右されにくい. ・測定面積が小さく局部的な測定となるため,測定箇所数を多くする必要がある. ・測定終了後に測定セルを除去する際に粘着剤が測定面に残りやすい. ・測定セルが消耗品であるため,コストがかかる.

(2) 結露の可能性

ブラスト処理された鋼材面はさびの発生が早いため、ブラスト後はできるだけ速やかに塗装することが推奨されている。ブラスト施工後から第1層の塗付作業までを、4時間以内として管理する場合が多い。相対湿度が高く、鋼材表面温度と気温の差が大きい場合は結露が生じやすく、ブラスト処理した鋼材表面に赤さびが浮き出る「ターニング現象」が短時間でも容易に起きる。さらに、結露が生じやすい状態で塗装すると、塗膜剥離や「はじき」などの塗膜欠陥の原因となる。したがって、素地調整作業時に相対湿度の測定や、露点温度及び鋼材表面温度の測定を行うことで、結露の可能性が十分に低いことを確認することも、素地調整の品質を確保する上で重要であると言える。

(3) 表面粗さ

塗替え塗装時の素地調整の目的の一つは、塗替え後の塗膜付着力を確保するために、被塗装面

に適度な表面粗さを付与することである.被塗装面に適度な表面粗さが形成されることにより、鋼材の表面積が大きくなり、塗膜の投びょう効果(塗膜が鋼材の粗面に機械的にかみ合うことによって、塗膜と鋼材との密着度を向上させる働き)も得られるため塗膜性能は向上する.一方、表面粗さが大きすぎると塗膜の被覆が不十分となり、防食性の低下が懸念されるため、適切に管理する必要がある.表面粗さの評価には、「比較板との比較方法」や「触針式測定方法」などが利用されている.

2.1.4 素地調整にまつわる現状の課題

(1) 既存塗膜に含まれる有害物質

従来は手工具と動力工具との併用による素地調整が主流であり、不良部(さび、割れ、膨れ等)のみ除去し活膜(健全な塗膜)を残す方法が長年にわたって行われてきた。そのため、構造物の中でも腐食しにくい部位や、塗膜劣化しにくい部位などでは、塗替え塗装のたびに既存塗膜の上に新しい塗膜が塗り重ねられてきた。このような塗替えが繰り返されてきた構造物では、現存の塗膜構成の中に、古い時代に塗装され既に廃止されている塗膜が残っている場合が多い。

かつて鋼構造物塗装に用いられていた塗膜には、鉛化合物やクロム化合物、ポリ塩化ビフェニル (Polychlorinated biphenyl, PCB)、コールタールなど、人体に有害な物質が含まれている場合があり、これらが廃止され、使われなくなった現在でもなお、塗替えの際に特別な配慮が必要となる場合がほとんどである。表 2.1.6 に、塗替え塗装の際に既存塗膜に含まれている可能性のある、

表 2.1.6 既存塗膜に含まれている可能性のある有害物質

有害物質	毒性	塗料製品における利用形態	適用法規
鉛化合物	畜毒性があり、血中濃度が一定以上になると、慢性中毒による貧血、腹部症状、神経症状等を引き起こす.		鉛の質量分率が 0.06%を超える塗膜の素地調整作業は「鉛中毒予防規則」の適用を受ける.
クロム化合物	クロムの単体および三価クロムは無害であるが、六価クロムの化合物は極めて毒性が高い、発がん性があり、鼻腔から長期間吸引することで鼻中隔穿孔と言われる症状を引き起こす。	鉛と同様に、従来の塗料原料中に多く含まれていた.	クロム酸又はクロム酸塩の質量分率が 1%を超える塗膜は「特定化学物質(第二類物質)」となり、その素地調整作業は「特定化学物質障害予防規則」の適用を受ける.
ポリ塩化 ビフェニル (PCB)	徐々に蓄積される.皮膚や爪	昭和41年から昭和47年まで 製造された塩化ゴム系塗料の 一部に可塑剤として使用され ていた.	PCB の質量分率が 1%を超える塗膜は「特定化学物質(第一類物質)」となり、その素地調整作業は「特定化学物質障害予防規則」の適用を受ける.
コールタール	コールタールに含まれるベン ゾ[a]ピレン等の化学物質は、 ヒトに対する発がん性が指摘 されている.	エポキシ樹脂塗料に使用され	コールタールの質量分率が 5%を超える塗膜は「特定化学 物質(第二類物質)」となり, その素地調整作業は「特定化 学物質障害予防規則」の適用 を受ける.

主な有害物質についてまとめた.

従来の素地調整工法は塗膜を粉砕して除去することから、粉砕され微細化した塗膜くずやブラスト研削材が粉じんとなり飛散するため、作業者の暴露防止や周辺環境の汚染防止のための対策が必須となる。特に、既存塗膜に有害な物質が含まれている場合には厳重な対策が求められると共に、作業に伴い排出される有害物質を含んだ廃棄物の適切な処分も必要となる。これらの塗料が使用された鋼構造物の塗替え塗装では有害物質を定量的に把握し、塗装作業者の安全と周辺環境の保全、並びに塗膜くずの保管や廃棄に適切な処置を講じなければならない。

最近では、有害物質を含む塗膜粉じんの飛散防止のため、各種の湿式ブラスト処理工法の他、 塗膜剥離剤工法や電磁誘導加熱式被膜剥離工法などの新しい塗膜除去工法の現場実装が検討され、 普及しつつある.

(2) 素地調整困難部位

一般に、既設鋼構造物の塗替え塗装は構造物が設置された現場での作業となるため、工場塗装時よりも作業条件(施工時の気温・湿度、作業空間、工期等)が悪くなりやすい。中でも、構造物の部位による影響は大きく、素地調整作業や塗装作業が困難(不可能)となる場合がある。代表的な素地調整困難箇所には、部材が輻輳している箇所や、狭あいで手の届きにくい箇所、高力ボルトやリベットが多用された現場接合部などが知られており、このような箇所では塗替え塗装後の早期に再劣化することが多い。特に、海浜地域や凍結防止剤散布地域に架設された鋼構造物では、塩分が蓄積された錆が形成されていることが多く、素地調整工程においてこれらを十分に除去できないと、残存塩分の影響によって塗替え塗膜の寿命は飛躍的に短くなる。

素地調整の品質確保が困難な場合の対策技術として、塩化物イオンを固定化する機能を持つ新たな鋼材補修用塗料や、レーザー照射によるクリーニング技術等の開発が進んでいる。レーザー照射によるクリーニングでは、塗膜や錆の除去と同時に塩分の除去ができるばかりでなく、機器も比較的軽量で粉じんの飛散が少ないなど、作業員の身体への負荷も小さいとされている。また光が当たれば処理できるため、狭あい部などへの適用性も従来工法に比べて高いものと考えられる。すでに、レーザーを用いた除せい度の測定法が JIS Z 2358 として発行されるなど、周辺環境の整備も進みつつある。技術の特性を把握したうえで、適切に活用されていくことが期待されている。

2.2 レーザークリーニング適用のメリット

洗浄工程に用いられる従来技術と比較したレーザークリーニング技術の特徴は、**図 2.2.1** に示すように、溶剤、水などを用いないドライ環境でのクリーニングであり、二次廃棄物の処理を必要とせず、機械的な切削とは異なり、非接触加工であるため、処理条件を適正に選定することにより、母材への影響を最小限にすることができる。橋梁における錆や汚染物の除去に関しても、これらの特徴は有用である。

また、化学洗浄などでマスキングにより対応が必要な非施工部の処理も、レーザーを任意範囲でスキャニングすることにより、前処理なしにクリーニングを行える利点があり、このような工程では、大幅な生産性向上、コストダウンが可能である。これらのメリットを活かし、溶接前の脱脂や塗装、酸化膜の除去処理、溶接後の溶接焼けのクリーニング、管型や部品表面の錆取り、塗装膜やメッキ層の除去、および原子力プラントの除染など幅広く適用され始めている。このよ

うな適用例の拡大は、装置の開発に対して、有用である.

- (1)水・薬剤・ブラスト材を使用しない
- 光エネルギーのみを((2)ドライプロセス のみを使用するため二次的廃棄物が出ない
- 衛生的な環境の保持
- (3) 母材にダメージを与えない 母材の損傷なしに表面層の除去が可能(最適条件)
- 光エネルギーであるため非接触での除去が可能
- (5)騒音が少ない
- 作業環境及び周辺環境への騒音低減
- (6)高精度コントロール・表面層の一部の除去が可能 マノロオロスー・ア・・ハー・ス・スロ / ロソーニ ロリア ホエハ・リ 肥 対象物の形状に合わせた光学設計が可能 従来のマスキング方式から、塗装後のクリーニングとすることで生産性が向上 (7)低ランニングコスト
- 家庭用100V電源で稼働、二次的廃棄物なし
- (8)自動化への対応
- ロボットによる一括処理が容易で、前処理工程の削減可能

(a) レーザークリーニングのメリット

洗浄方法	メリット	デメリット
薬液超音波 洗浄	汚れが隅々まで落ちる	・廃液処理が必要・表面を傷つける
サンド プラスト	•扱いやすい	表面を傷つける粉塵
ドライアイス ブラスト	・製造現場での洗浄 が可能	洗浄能力が低い騒音ランニングコスト
洗浄 ゴムシート	・製造現場での洗浄 が可能	・洗浄能力が低い
レーザ	(a)参照	初期コスト光が当たらない場所は除去できない

(b) 従来技術のメリットとデメリット

図 2.2.1 各洗浄技術のメリット・デメリット

2.3 レーザークリーニング適用の課題

レーザークリーニング技術を適用した装置開発において、橋梁分野への適用上の課題の概要を 以下にまとめる.

2.3.1 装置の選択指針

(1) レーザー発振器及びレーザー出力の選定

除去対象(塗装, 錆など), 除去面積, 目標除去速度, 仕上がりの除去表面の状態(表面粗さ, 酸化の状況)に応じて、レーザー発振方式や最大レーザー出力などの発振器の仕様を決定するこ とが必要である.

(2) 環境に応じた装置寸法・重量, 冷却方式の選定

(1)にて決定した仕様により、寸法や重量、冷却方式に制限がある場合がある。レーザー出力が 大きくなると水冷が必ず必要となり、装置寸法や重量が大きくなることが多い、特に可搬性が求 められる場所では、施工場所の環境に応じた装置の選定およびそれに伴う装置設置場所の検討を 行う必要がある.

2.3.2 安全性の向上

今後の橋梁分野への適用拡大に関しては現場施工が中心となることから、工場で施工する場合とは異なるレーザー管理区域の設置方針や安全管理体制を明確にしておく必要がある.

これらは、各レーザーメーカーが、統一したレーザー取扱操作基準、及び安全ライセンスに認証を与える基準を作成していく必要がある。また、これらの基準だけではなく、より施工現場に適用できる安全装置の開発が急務である。一例としては、人感センサによる補助機能の付与などの安全装置を積極的に搭載することにより、より安全性を担保していくことが課題である。

2.3.3 塗替塗装の耐久性

2.1.4 で述べたように、素地調整の品質確保が困難な場合の対策技術として、レーザークリーニング技術が注目されている。レーザークリーニングは、塗膜や錆の除去と同時に塩分の除去ができ、粉じんの飛散が少ないなどの利点があり、また、狭あい部などへの適用性も従来工法に比べて高い。しかし、レーザークリーニングを素地調整として適用し、塗替塗装を実施した場合、現状で素地調整方法として用いられているブラストや動力工具と比較して、防食塗装の耐久性がどの程度であるのかについては、把握できていない。レーザーを用いた除せい度の測定法が JIS Z 2358 として発行されており、除せい度の評価はできるが、レーザークリーニング技術で塗膜および錆を除去する場合は、鋼材表面に酸化皮膜が形成されるという報告がもあり、また、レーザークリーニング後の鋼材表面粗さは従来工法と異なるため、レーザークリーニングを塗替塗装の素地調整として利用する場合は、これらが塗膜の耐久性にどのような影響を与えるのかについて、明らかにしていく必要がある。

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

レーザ発振器 種類	レーザ 出力	パルス エネルギー	1パルス エネルギー 密度	平均 パワー密度	パルス 幅	繰返し 周波数	焦点距離	スポット 径
	(W)	(mJ)	(mJ/mm ²)	(MW/cm ²)	(ns)	(kHz)	(mm)	(µm)
100Wパルスレーザ発振器	100	1	421	4.21	180	100	250	55
	300	100	74.9	0.0225	50	3.0	163	1300
1000Wパルスレーザ発振器	500	100	74.9	0.0374	75	4.0	163	1300
	1000	100	74.9	0.0749	100	5.0	163	1300
CWレーザ発振器	1000	-	-	0.757	-	-	163	410

(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 種類	出力	パルス エネルギー	1 パルス エネルギー 密度	照射回数
	2 3		(W)	(mJ)	(mJ/mm ²)	(0)
K100P		パルス	100	1	420	
K300P		パルス	300	100	74.9	
K500P	黒皮	パルス	500	100	74.9	
K1000P		パルス	1000	100	74.9	
K1000C		CW	1000	-	-	2
BL100P		パルス	100	1	420	
BL300P	プラスト	パルス	300	100	74.9	
BL500P	(アルミナ	パルス	500	100	74.9	
BL1000P	ISO Sa2.5)	パルス	1000	100	74.9	
BL1000C		CW	1000	2	-	2
A100P		パルス	100	1	420	
A300P	A -E 3/L V+	パルス	300	100	74.9	
A500P	A系塗装 - 膜厚125μm	パルス	500	100	74.9	
A1000P	125μm	パルス	1000	100	74.9	
A1000C		CW	1000	-	-	2
B100P		パルス	100	1	420	
B300P	D=2 30-3#	パルス	300	100	74.9	
B500P	B系验装 暗原105um	パルス	500	100	74.9	
B1000P	- 膜厚195μm	パルス	1000	100	74.9	
B1000C		CW	1000	-	-	2
C100P		パルス	100	1	420	
C300P	C系验装 膜厚370µm	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	-	- 1	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ー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.

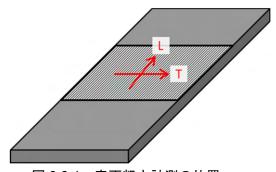


図 3.3.1 表面粗さ計測の位置

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.

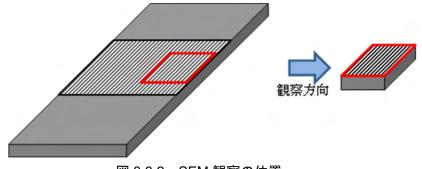


図 3.3.2 SEM 観察の位置

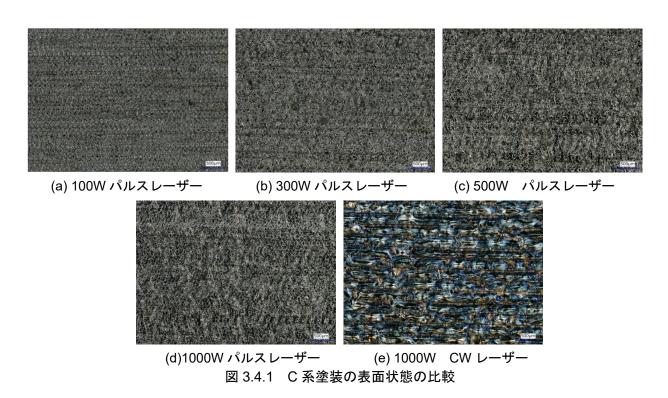
3.4 試験結果

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連続的に溝状であり、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

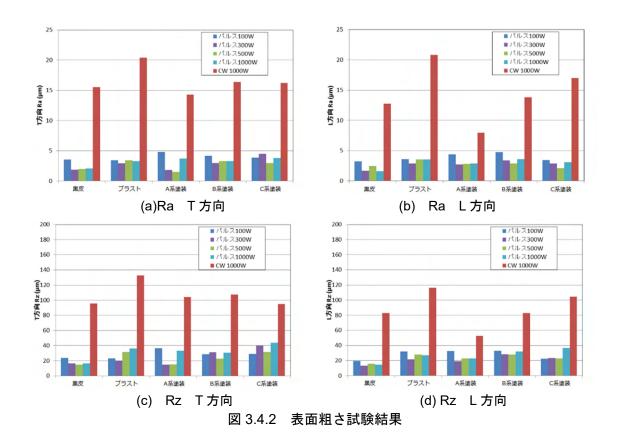
ーザーと(b)~(d)の300~1000Wのパルスレーザーとで表面の状態に大きな差があった.これは、それぞれの使用したレーザーの平均レーザー出力、平均パワー密度やパルス周波数などのパルス条件の差である.また、100Wパルスレーザーの方が表面の金属光沢が顕著であった.



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,Ra,Rz,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Rz が $100 \mu m$ 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.



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ト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.

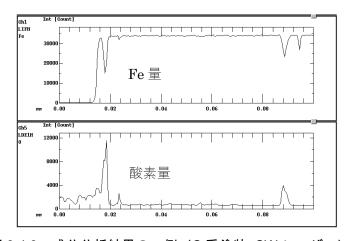


図 3.4.3 成分分析結果の一例(C 系塗装 CW レーザー)

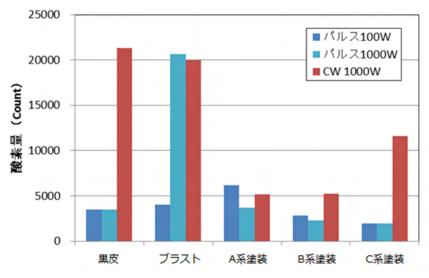


図 3.4.4 レーザー照射後の表層部の酸素量の比較

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.

第4章 レーザークリーニング処理を施した塗装鋼板の耐久性評価試験

4.1 はじめに

前章での検討において、レーザークリーニングの適用により、鋼材表面のミルスケール(黒皮)や塗膜を効率的に除去できることを把握した。その一方で、レーザークリーニング処理後の鋼材表面には、酸化皮膜や特徴的なアンカープロフィール(鋼材表面の粗さとその形状)が形成され、従来の物理的素地調整工法によって形成される鋼材表面とは異なった性状を有することが明らかとなった。

そこで本章では、レーザークリーニング処理面に対する塗装の適否を検証するため、塗装による腐食鋼材の補修を模擬して作製した試験体を用い、塗膜耐久性評価試験として耐中性塩水噴霧試験、複合サイクル試験、温度差耐水性試験、屋外暴露試験を行った.

4.2 試験方法

4.2.1 試験体の概要

試験体一覧を表 4.2.1 に示す. また各種試験体の仕様を(1)~(3)に示す.

処	武験項目 理水準	耐中性塩水 噴霧試験	複合サイクル 試験	温度差 耐水性試験	屋外暴	露試験
試験片(体)の基材			橋梁撤去部材 (塗装 CT 形鋼)			
比較	無処理(黒皮材) 注1)	12	1	3	④ 注 2)	_
較	グリットブラスト処理	1)2)	1	3	④ 注 2)	⑤注 2)
	動力工具(ディスクサンダー)処理	12	1	3	④ 注 2)	⑤注 2)
レ	R1:パルスレーザー100W	12	1	3	④ 注 2)	⑤注 2)
ザ	R2:パルスレーザー500W	12	1	3	④ 注 2)	⑤注 2)
- 処 理	R3: パルスレーザー1000+50W	12	1)	3	④ 注 2)	⑤注 2)
	R4: CW レーザー1000+50W	12	1	3	④ 注 2)	⑤注 2)
	R5: CW レーザー2000W	12	1	3	_	_

表 4.2.1 試験体一覧 (表中の番号は塗装系を示す)

(供試塗装系)

- ①有機ジンクリッチペイント(75 µ m)
- ②エポキシ樹脂塗料下塗(60 μ m)×2
- ③水中部用エポキシ樹脂塗料下塗(60 μm)×2
- ④有機ジンクリッチペイント $(75 \mu m)$ /エポキシ樹脂塗料下塗 $(60 \mu m)$ ×2
- ⑤有機ジンクリッチペイント (75 μ m) / エポキシ樹脂塗料下塗 (60 μ m) ×2/ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (30 μ m) /ポリウレタン樹脂塗料上塗 (25 μ m)
- 注1):未腐食の黒皮材に塗装し試験体を作製した
- 注2): 試験体は長辺の半分で二分割して塗り分け、一方には有機ジンクリッチペイント(第1層)から、もう一方にはエポキシ樹脂塗料下塗(第2層)から塗装した.

(1) 小型試験体

小型試験体は、SS400鋼板で、150×70×6mmのサイズであり、耐中性塩水噴霧試験、複合サイクル試験、温度差耐水性試験に使用した. 表 4.2.1 に示す「無処理(黒皮材)」以外は、健全なSS400鋼板を、塩分影響をほとんど受けない環境で1年間屋外暴露し、定期的に散水することで、比較的均質なさび鋼板を作成した。作成されたさび鋼板に対し、グリットブラスト、動力工具、

レーザーの各種表面処理を実施したのち、表 4.2.1 に示す塗装を施した.

(2) 中型試験体

中型試験体は、SS400 鋼板で、 $300 \times 100 \times 6mm$ のサイズであり、屋外暴露試験に使用した. 小型試験体と同様、 $\mathbf{表}4.2.1$ に示す「無処理 (黒皮材)」以外は、屋外暴露によりさび鋼板を作成し、各種表面処理を実施したのち、塗装を施した.

(3) CT 試験体

実橋で発生している顕著な腐食(孔食やこぶ状、層状のさびなど)を再現することは困難であるため、実橋で使用されていた部材を用いて屋外暴露試験を行うこととした。使用した鋼材は高知県の海岸沿いに架かる橋梁において、腐食により部材の交換工事を行った際に撤去した下横構であり、図 4.2.1 に示すような形状に切断したものである $^{4)}$. 施工当時の塗装仕様は不明であるが、下塗りに鉛系さび止め塗料、上塗りに長油性アルキド樹脂塗料を塗装した外面用塗装系 A で施工されたものと推測する 6 .

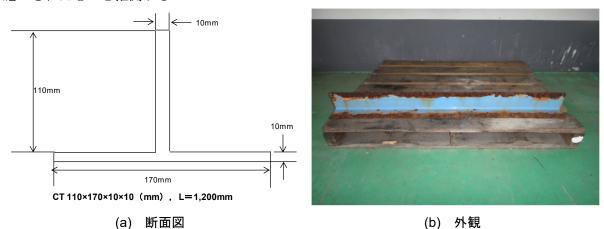


図 4.2.1 屋外暴露試験用 CT 鋼

4.2.2 レーザー処理方法

(1) レーザー発振器

本試験で使用した装置が搭載するレーザー発振器の仕様を表 4.2.2 に示す.

Service III IV					
項目	パルスレーザー①	パルスレーザー②	CW レーザー		
型式	QF-100	QF-1000	LZK-1000		
最大レーザー出力	100W	1000W	1000W		
中心波長	$1064\pm10\mathrm{nm}$	$1064 \pm 10 \mathrm{nm}$	1080±5nm		
レーザーモード	パルス	パルス	CW		
ビーム径	_	_	25.7μm		
パルスエネルギー	1mJ	100mJ	_		
パルス周波数	5-500kHz	5-50kHz			
パルス幅	パルス幅 150ns		_		
ピーク出力	ピーク出力 6000W		1000W		

表 4.2.2 レーザー発振器の仕様

(2) 計測機器

レーザー処理前には膜厚計測,温度測定を,レーザー処理中には温度計測を,レーザー処理後には CT 鋼に対してのみ色彩計測を実施した。以下,計測に使用した機器の仕様を示す.

a) 膜厚計測

サンコウ電子研究所製電磁式膜厚計(型式: SL-2C Pro-2) を使用した.

b) 温度計測

エー・アンド・デイ製赤外線放射温度計(型式: AD-5616) を使用した.

c) 色彩計測

コニカミノルタ製色彩色差計(型式: CR-400)を使用した. JIS Z 2358「レーザー照射処理面の除せい(錆)度測定方法」に準拠した.

4.2.3 試験用塗料

レーザークリーニング処理を含む各種表面処理を行った試験体に対して, 塗膜の密着性を確認 するため以下の塗料を使用した.

(1) 耐久性試験

a) 有機ジンクリッチペイント

ジンクリッチペイントは、重防食塗装系の防食下地として、非常に重要な役割を果たしており、 JIS K 5553「厚膜形ジンクリッチペイント」として規格化されている。ジンクリッチペイントは透 過する水分により腐食電池が形成されると、高濃度に配合された亜鉛末が鉄素地に代わって腐食 すること(亜鉛の犠牲防食作用)で、優れた防せい(錆)性を示す。

無機ジンクリッチペイントは主として新設塗装仕様の防食下地として使用され、有機ジンクリッチペイントは塗替え塗装仕様の防食下地として使用される。今回の試験では、さびの発生した既設鋼構造物に対してレーザークリーニング処理を行ったのち、塗替え塗装を行うことを想定しており、試験片処理面との付着性および防せい(錆)性を確認するため、JISK 5553「厚膜形ジンクリッチペイント」2種適合品である有機ジンクリッチペイントを適用することとした。

試験体作製にあたっては JIS K 5553「厚膜形ジンクリッチペイント」での試験体作製方法に準拠し、各試験体に対して、塗膜の厚さが $75\pm10\mu m$ となるよう、吹付塗り(エアスプレー塗り)で塗装を行った.

b) 変性エポキシ樹脂塗料

変性エポキシ樹脂塗料は主にエポキシ樹脂にエポキシ樹脂以外の変性樹脂をブレンドした塗料である.変性エポキシ樹脂塗料は、変性樹脂の種類等によって差はあるものの、変性樹脂により被塗面への濡れ性を良好にすること及びエポキシ樹脂の内部応力を緩和することにより、悪素地や旧塗膜への付着性を向上させる、あるいはさび面へのなじみを良くするという特徴を活かし、途替え用途での適用が多い.

そのため、レーザークリーニング処理された試験板との付着性および環境遮断による防せい(錆)性を確認するため、塗替え用途での実績も多い JIS K 5551「構造物用さび止めペイント」として規格化されている C 種 1 号の強溶剤系変性エポキシ樹脂塗料 (2 液形)を使用した.

試験体作製にあたっては JIS K 5551「構造物用さび止めペイント」での試験体作製方法に準拠し、各試験体に対して、途膜の厚さが 55~65μm となるよう、吹付途り(エアスプレー途り)で途

装を行った.

c) 没水部用エポキシ樹脂塗料

没水部用エポキシ樹脂塗料は、水資源の確保や災害の予防のために建設されたダム・堰などの 社会資本の保全を目的に適用されている.これらの諸設備は防食の観点から見ると非常に厳しい 環境に設置されており、防せい(錆)・防食などの塗料技術により、これらの設備の機能を保ち、 常に良好な状態にしてゆくことが社会的にも強く要請されている.

かつては、防食性・耐水性などに優れたタールエポキシ樹脂塗料が 2000 年ごろまで広く使用されていたが、タールエポキシ樹脂塗料に含まれるコールタールによる健康被害への懸念から使用が抑制され、JIS 規格(JIS K 5664)も 2009 年に廃止された.

現在は、コールタールを含まないタールフリー変性エポキシ樹脂塗料が使用されることも多いが、今回の試験では、公益社団法人日本水道協会規格 JWWA K 135「水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法」に適合し、水処理設備等での使用実績も多い没水部用エポキシ樹脂塗料を使用した.

試験体作製にあたっては JWWA K 135 に規定されている試験体作製要領,ならびに使用した没水部用エポキシ樹脂塗料の施工方法を参考に,各試験体に対して,塗膜の厚さが 2 回塗りで 300 ~400μm となるよう,吹付塗り (エアスプレー塗り)で塗装を行った.

(2) 屋外暴露試験

a) 小型, 中型試験体

各耐久性試験と同じ方法で腐食させ、表面処理を行った試験体を使用し、試験体の下半分に下塗りとして有機ジンクリッチペイントを $75\pm10\mu m$ となるよう吹付塗り(エアスプレー塗り)で塗装を行ったのち、変性エポキシ樹脂塗料を 1 回あたりの膜厚が $55\sim65\mu m$ となるよう吹付塗り(エアスプレー塗り)を 2 回行った。それぞれの塗装間隔は 24 時間とした。試験体の塗装は、NEXCO 試験方法 第 4 編 構造関係試験方法に記載の試験法 404-2009 塗料の暴露耐候性試験方法に準拠した 6.

b) CT 試験体

表面処理を行った鋼材に対し,表 4.2.1 に示す塗装仕様にて試験体の塗装を行った.鋼道路橋防食便覧(平成 26 年)の外面用塗替え塗装仕様では,鋼橋の LCC,環境対応,景観上への配慮などから,ブラスト工法で素地調整(素地調整程度 1 種)を行う Rc- I 塗装系,動力工具等で下地処理(素地調整程度 2 種)を行う Rc- I 塗装系において,下塗りには弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料,上塗りには弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗を使用することとなっている 7.

しかし、今回試験を行う鴨川暴露試験場は、高架橋の桁下にあり、直射日光や直接の降雨に晒されることも少ないため、上塗り塗料には耐候性の優れたふっ素樹脂塗料上塗を使用せず、JIS K 5659「鋼構造物用耐候性塗料」A 種上塗り塗料 3 級規格適合品のポリウレタン樹脂塗料を使用することとした。また、下塗りに用いる有機ジンクリッチペイントおよび変性エポキシ樹脂塗料は先に記載した耐久性試験に使用した塗料を使用した.

4.3 評価方法

4.3.1 レーザー処理表面評価方法

表面評価方法は、基本的には、3.3 節に準拠する. 一部、異なる部分を以下に記載する. 対象の試験体は、表4.2.1 のR1 からR3 の3条件のそれぞれ「-16」の記載のある試験体番号の小型

試験体を使用した.

(1) 表面観察

3.3 節と同様に、全体および中央付近をカメラ(キヤノン製 EOS Kiss X8i)を用いて撮影した.

(2) 表面粗さ計測

図 4.3.1 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 3D 形状測定機 (キーエンス 製 VR-3200 (ステージ部), VR-3000 (コントローラ部)) を用い計測した。計測長さ 20mm とし、計測結果は Ra および Rz にて評価した。

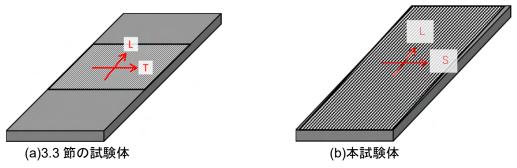


図 4.3.1 表面粗さ計測の位置

(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 IT-300, JED-2300) を用い、表面観察、酸素量・Fe 量の計測および各条件の比較を行った. 材料の採取位置を図 4.3.2 に示す. 表面観察は観察方向からとした.

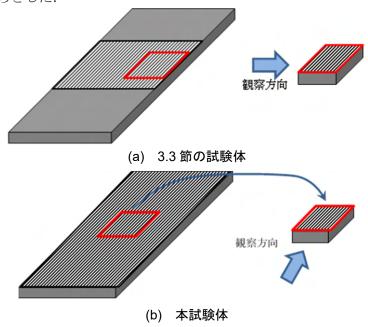


図 4.3.2 SEM 観察の位置

4.3.2 耐久性試験方法および評価方法

(1) 耐久性試験方法

各仕様塗装完了後,室温にて 14 日間養生して試験片とし,塩水噴霧試験,複合サイクル試験,温度勾配試験にて耐久性を評価した.各試験 n=3 にて試験を実施した.なお,塩水噴霧試験及び複合サイクル試験に供する試験片には,下半分の位置に,JIS K 5600-7-1 の 6.5 (スクラッチの付け方)によって素地に達するクロスの切り込みきずをつけて試験に供した(図 4.3.3 参照).

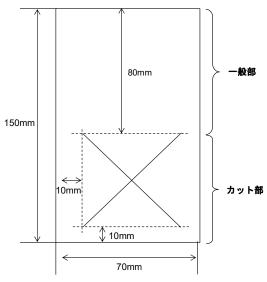


図 4.3.3 促進試験用試験体

以下に各種試験内容詳細を示す.

a) 塩水噴霧試験

耐中性塩水噴霧性とは、金属素材またはめっきや塗装鋼材等の試験体を、規定濃度の塩化ナトリウム水溶液を霧状にして吹き込んだ装置内に入れて、その耐食性を評価する試験である。通常の使用環境では、耐食性の評価をするのに長い試験時間が必要になる。試験時間を短くするための促進試験の一つとして耐中性塩水噴霧性があるが、実際の使用環境では様々な腐食要因が関係するため、耐塩水噴霧性試験の結果を実際の使用環境に対する直接の指標とすることはできない。しかしながら、塗料または塗装系の品質のチェックを行うための試験方法として、現在も広く実施されており、この試験方法は JIS K 5600-7-1 に規定されている。

JIS K 5600-7-1 に準拠し, 試験を 2000 時間実施した. 試験条件を表 4.3.1 に示す. 試験後, 試験体を取り出して流水で洗い, 2 時間以上室内に静置して, 水分を乾燥させた後, 試験体の評価を行った.

スプレーキャビネット内部の温度	35±2℃
試験溶液の塩化ナトリウム濃度	$50 \pm 10 \text{g}/1$
試験溶液のpH	6.5~7.2
溶液捕集の平均速度	水平捕集面積80cm ² に対し1~2ml/h

表 4.3.1 耐中性塩水噴霧性試験の試験条件

b) 複合サイクル試験

複合サイクル試験は、屋外暴露と比較的相関性が高い耐久性試験である。塩水噴霧に加え、乾燥・湿潤の工程を組み合わせ、これらのサイクルを繰り返すことで、屋外暴露環境により近い条件を再現することができる試験方法であり、JIS(日本産業規格)、JASO(日本自動車規格)をはじめ、ISO(国際標準化機構)規格等で規定されている。

JIS K 5600-7-9 に準拠し、塗料の耐久性試験として一般的な JIS K 5600-7-9 付属書 1 (規定) のサイクル D (1 サイクル:塩水噴霧 $30\pm2^{\circ}$ 0.5 時間→湿潤 $95\pm3^{\circ}$ RH 1.5 時間→熱風乾燥 $50\pm2^{\circ}$ 2 時間→温風乾燥 $30\pm2^{\circ}$ 2 時間)にて試験を実施し、サイクル数は 240 サイクルとした。使用した複合サイクル試験装置を図 4.3.4 に示す.



(a) 試験装置の外観



(b) 試験槽内の様子

図 4.3.4 複合サイクル試験装置

c) 温度差耐水試験

温度差耐水試験とは温度勾配を作り、実際の塗膜側と鋼板側の温度差よりも厳しい温度差を付与する促進試験方法である、塗装鋼板の付着安定性や耐久寿命の推定のために実施される.

塗装鋼板が水に接している場合,高温側の塗膜の熱の拡散方向と,水の塗膜内部の透過方向が一致するため,水の塗膜内部への透過が促進され,早期に塗装鋼板に膨れが発生し,付着強度が低下することもある.温度差浸透現象の模式図を図 4.3.5 に示す.

今回の試験では、耐水性を短期間で確認するために、各種レーザークリーニング処理を行った 試験体に没水部用エポキシ樹脂塗料を目標膜厚で塗装し、一定期間養生した後、試験装置に設置 した. 試験装置の概要を図 4.3.6 に、外観を図 4.3.7 に示す. 水温は、試験面を 40° C、裏面を 20° C に設定し、 20° C の温度勾配を作り、試験を 2° 6 週間実施することにより、処理条件の違いによる 耐久性を評価した.

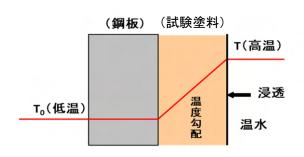


図 4.3.5 温度差浸透現象の模式図

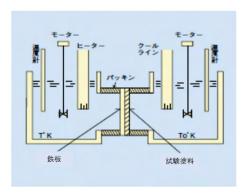
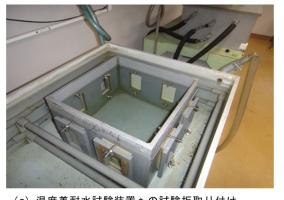


図 4.3.6 温度差試験装置の概要



(a) 温度差耐水試験装置への試験板取り付け (試験面:内槽側(高温側))



(b) 試験の様子(内槽:40°C, 外槽:20°C)

図 4.3.7 温度差試験装置の外観

d) 屋外暴露試験

実際の鋼道路橋などでは、腐食が特定部位に集中して発生することが多く、橋梁全体に同程度の腐食損傷が発生することはほとんどない。腐食が発生しやすい箇所として、降雨による付着塩分の洗浄がほとんどなく、飛来海塩や凍結防止剤による塩分が蓄積しやすい箇所があげられる⁸⁾. それらの条件を踏まえ、実環境に近く、かつ厳しい腐食環境で防食性能を確認するため、一般財団法人土木研究センター鴨川暴露試験場にて屋外暴露試験を行うこととした。鴨川暴露試験場は、千葉県鴨川市の国道 128 号線坂下高架橋の桁下にあるため、降雨が直接試験体にかかることが少なく、海岸線からの離岸距離も 150m 程度と非常に近い。そのため、各種表面処理方法の違いによる腐食変状の差を早期に、かつ顕著に発生させることが可能な暴露環境である⁴⁾.

中型の試験体は、図 4.3.8 に示すように、中央部に JIS K 5600-5-6 で規定されている単一刃を用い、素地に到達するよう切り込み傷を付けた. NEXCO 試験方法 第 4 編 構造関係試験方法に記載の試験法 404-2009 塗料の暴露耐候性試験方法では、試験体下半分の有機ジンクリッチペイント塗装部のみに切り込み傷を付けるが、今回の試験では下塗りの有機ジンクリッチペイント未塗装部にも切り込み傷を付け、傷からのさびおよび膨れの幅を測定するとともに、目視によって、塗膜のさび、膨れ、割れおよび剥がれの有無を観察することとした。なお、裏面については評価を行わないものとした.

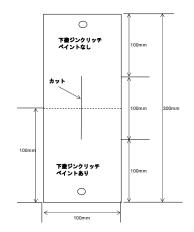


図 4.3.8 屋外暴露試験用試験体

CT 試験体は、レーザークリーニング処理等により表面処理を行った後、図 4.3.9 に示すように塗り分け、全面を塗装することで、有機ジンクリッチペイントの有無による防食性能、鋼材面ごとの腐食度合の違いを確認することとした。試験体作製時の状況および試験体塗装完了後の外観を図 4.3.9 に示す。



(a) 涂挂前



(b) 第1層:有機ジンクリッチペイント塗装(鋼材右側)



(c) 第2層:変性エポキシ樹脂塗料(赤さび色)塗装(鋼材左側)



(d) 第2層:変性エポキシ樹脂塗料塗装(鋼材右側)



(e) 第3層:変性エポキシ樹脂塗料(グレー)塗装(全面)



(f) 塗装完了後の試験体の外観 (手前側:有機ジンクリッチペイント塗装部)

図 4.3.9 屋外暴露試験用 CT 鋼製作状況と塗装完了後の試験体の外観

(2) 評価方法

a) 外観観察

評価時間ごとに試験体上部(一般部)の外観観察を実施し、塗膜に異常(さび、膨れ、割れおよび剥がれ)が確認された場合は記録した。また、写真撮影を行った。

b) スクラッチ部の評価

塩水噴霧試験及び複合サイクル試験において、クロスの切り込みきずをつけた部位は、評価時間ごとに切り込みきずの片側及び両側における最大さび幅を測定し、記録した.

c) 付着力試験

本試験は、端子を塗膜面に接着剤で接着し、垂直引張力による引張試験を行い、塗膜の付着力を求める試験である。また、垂直引張力で剥離することにより、素地と塗膜の間の最も付着力の弱い部分から剥離するため、塗装系の付着性に関する弱点を明らかにすることができる試験である。

各耐久性試験において試験前と試験終了後に、JIS K 5600-5-7 に準拠したプルオフ法により、試験体上部(一般部)の塗膜と試験板との付着強度(破壊強さ)を計測するとともに、剥離界面の状態(破壊の形態)を目視により評価した.

4.4 鋼板および CT 鋼のレーザー処理結果

4.4.1 施工試験結果

(1) レーザー処理条件, 膜厚測定結果および温度測定結果

鋼板および CT 鋼のレーザー処理条件を表 4.4.1~表 4.4.3 に示す. レーザー出力 1000W の場合は、レーザー処理後 50W で再処理を行った. また次項で表面評価を行う試験体の処理前後の写真を図 4.4.1 にまとめる. それ以外は、付録 A.2 に添付する.

表 4.4.1 鋼板および CT 鋼のレーザー処理条件 (パルスレーザー出力 100W:R1)

		施	工前 さ	び厚 (μ	m)	試験) (°	C)	処理
試験体 番号	試験体 寸法	1	2	3	平均	施工前	施工中 最高温度	上昇 温度	時間 (s)
P100-1		70	85	60	72	9.3	20.7	11.4	98
P100-2		90	70	65	75	9.6	25.5	15.9	62
P100-3		80	65	90	78	9.8	24.4	14.6	61
P100-4		60	50	45	52	11.1	25.1	14.0	57
P100-5		60	85	50	65	11.5	19.1	7.6	58
P100-6		60	50	50	53	12.8	19.5	6.7	60
P100-7		80	70	55	68	14.3	20.1	5.8	55
P100-8	.1. ##1	90	70	75	78	12.1	26.9	14.8	60
P100-9	小型	80	75	70	75	12.1	26.4	14.3	68
P100-10	1	55	60	60	58	12.9	26.2	13.3	63
P100-11	1	80	90	50	73	12.9	18.3	5.4	49
P100-12	1	70	110	75	85	12.6	23.2	10.6	57
P100-13	1	70	75	75	73	11.1	21.1	10.0	53
P100-14	1	75	100	75	83	10.1	18.9	8.8	63
P100-15	1	70	65	75	70	9.9	19.1	9.2	70
P100-16	1	75	110	80	88	10.5	20.6	10.1	56
P100-1 300		60	85	70	72	15.9	41.0	25.1	136
P100-2 300	中型	50	50	80	60	19.3	34.4	15.1	161
P100-3 300	1	100	100	55	85	19.9	31.9	12.0	145
P100 CT	CT	190	160	110	153	21.1	67.0	45.9	840

表 4.4.2 鋼板および CT 鋼のレーザー処理条件 (パルスレーザー出力 500W: R2)

		施工	前さ	び厚 (μm)	試懸	β体温度 (°	C)	処理
試験体 番号	試験体 寸法	1)	2	45	平均	施工前	施工中 最高温度	上昇 温度	時間 (s)
P500-1		45	55	45	48	14.6	88.1	73.5	26
P500-2		40	80	60	60	15.3	120.0	104.7	21
P500-3		50	45	45	47	15.3	85.9	70.6	23
P500-4		30	50	45	42	16.0	72.0	56.0	21
P500-5		40	55	50	48	16.7	85.6	68.9	23
P500-6		35	45	55	45	16.8	84.9	68.1	20
P500-7		60	60	50	57	17.5	91.2	73.7	16
P500-8	.1 2001	45	35	55	45	17.1	75.6	58.5	16
P500-9	小型	35	60	80	58	17.4	79.0	61.6	14
P500-10		55	65	50	57	17.5	89.6	72.1	15
P500-11		50	40	35	42	22.1	57.1	35.0	15
P500-12		60	60	40	53	25.4	93.4	68.0	14
P500-13		50	50	35	45	25.4	93.4	68.0	12
P500-14		60	50	50	53	28.8	91.7	62.9	20
P500-15		55	50	65	57	30.4	90.2	59.8	14
P500-16		50	60	65	58	29.0	83.6	54.6	16
P500-1 300		75	60	65	67	11.9	61.6	49.7	36
P500-2 300	中型	60	40	60	53	12.5	64.0	51.5	29
P500-3 300		45	45	45	45	13.8	69.6	55.8	25
P500 CT	CT	230	110	50	130	30.9	279.0	248.1	2100

表 4.4.3 鋼板	およひCT	鋤のレ-	ーサー処埋条件	F (バルス	レーザー出力	1000W: R3)
------------	-------	------	---------	--------	--------	------------

		施コ	こ前 さ	び厚 (μm)	試馴		C)	試馴		C)	処理時間	(s)
試験体	試験体						1000W処理時			50W処理時		1000777	50777
番号	寸法	1	2	3	平均	施工前	施工中 最高温度	上昇 温度	施工前	施工中 最高温度	上昇 温度	1000W 処理時	50W 処理時
P1000-1		55	65	65	62	28.5	90.9	62.4	35.4	46.6	11.2	11	10
P1000-2		50	55	55	53	28.7	77.4	48.7	34.4	41.8	7.4	10	6
P1000-3		55	60	55	57	29.0	56.9	27.9	31.3	38.9	7.6	8	7
P1000-4		60	65	50	58	29.8	63.5	33.7	31.8	36.0	4.2	8	5
P1000-5		35	30	35	33	30.9	50.3	19.4	34.3	37.6	3.3	9	5
P1000-6		65	45	60	57	31.1	78.9	47.8	35.3	49.5	14.2	10	7
P1000-7		60	65	55	60	33.1	68.0	34.9	36.5	42.3	5.8	9	8
P1000-8	小型	45	55	25	42	33.4	60.6	27.2	36.5	42.5	6.0	10	7
P1000-9	小至	60	50	55	55	32.9	71.3	38.4	33.8	43.6	9.8	9	6
P1000-10		70	60	50	60	33.1	96.9	63.8	36.7	46.9	10.2	10	7
P1000-11		50	50	60	53	32.5	72.3	39.8	34.2	44.6	10.4	9	7
P1000-12		50	50	60	53	43.8	59.3	15.5	34.4	43.2	8.8	9	6
P1000-13		30	25	65	40	32.4	58.1	25.7	37.6	41.5	3.9	9	6
P1000-14		80	35	60	58	32.3	73.7	41.4	37.8	49.5	11.7	10	7
P1000-15		65	65	65	65	32.2	78.7	46.5	34.7	44.7	10.0	11	5
P1000-16		50	50	65	55	31.9	51.3	19.4	33.9	37.9	4.0	10	6
P1000-1 300		32	35	55	41	32.3	85.5	53.2	37.3	44.7	7.4	23	14
P1000-2 300	中型	50	55	30	45	31.4	89.6	58.2	39.6	47.3	7.7	24	15
P1000-3 300		75	35	60	57	35.8	105.4	69.6	34.2	42.7	8.5	22	14
P1000 CT	CT	180	160	110	150	29.5	161.2	131.7	35.8	53.2	17.4	2700	600



(a) パルスレーザー出力 100W 処理前



(c) パルスレーザー出力 500W 処理前



(e) パルスレーザー出力 1000W 処理前



(b) パルスレーザー出力 100W 処理後



(d) パルスレーザー出力 500W 処理後



(f) パルスレーザー出力 1000W 処理後

図 4.4.1 鋼板のレーザー処理前後の表面状態例

(2) 色彩計測

レーザークリーニング処理後の CT 鋼に対し、目視および色彩計により評価した 9 . ブラスト工法による素地調整程度 1 種で旧塗膜およびさびを除去した鋼材およびディスクサンダーを用いて素地調整程度 2 種にてさびを除去した鋼材と比較した。同一 CT 鋼材内でも差が見られたため、代表的な 2 箇所を測色し、JIS Z 2358(レーザー照射処理面の除錆度測定方法)に基づき L*a*b*表色系および Yxy 表色系で記録した結果を表 4.4.4 に示す 10).

ブラスト 表面処理条件 R1 R2 R4 表面処理後の CT鋼外観 近接 測色箇所 n1n2 n1n2 n1n2 n1n1n2 64.91 52.81 53.42 31.50 62.37 32.28 42.00 28.50 48.91 32.33 48.97 35.03 L*a*b* 表色系 0.75 1.53 3.12 6.61 0.68 1.78 1.96 0.74 1.64 0.51 0.38 1.99 2.15 3.66 7.71 9.57 4.64 2.25 6.71 0.17 5.19 -1.00 -0.25 2.51 21.44 30.84 7.21 12.50 5.65 17.52 17.57 33.93 20.88 6.87 7.23 8.52 Yxy表色系 0.31680.32370.33950.37290.32340.3250 0.3387 0.3133 0.33010.31120.31010.32590.3257 0.3356 0.3457 0.3277 0.3231 0.3374 0.3158 0.3307 0.3150 0.3156 0.3234 0.3201 2号 1号 2号 1号 1号 5号 2号 色見本番号 および 2号 および 2号 および および および (目視評価) 3号 2号 2号 1号 1号 2号 1号 1号

表 4.4.4 CT 鋼の表面処理状態 (測色値と目視評価による分類)

4.4.2 表面評価結果

(1) 外観

レーザー照射後の表面状態の比較を**図 4.4.2** に示す。**図 4.4.2(a)**は,前章で実施した結果(試験体番号: K100P)で,レーザー照射痕が規則的に残る金属光沢があるのに対して,今回の試験体の**図 4.4.2(b)~(d)**は,スキャニング方向に痕があり,かつ黒色に変色している状態であった.

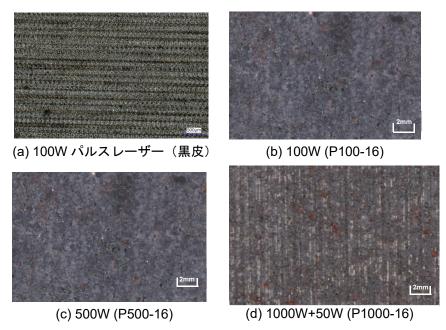


図 4.4.2 表面状態の比較

(2) 表面粗さ

表面粗さ計測結果として、3章で実施した黒皮の結果(青色)と今回(赤色)との比較を図4.4.3 にまとめる。今回得られた結果の方が、Ra、Rz および計測方向に関わらず、表面粗さが粗いことがわかる。しかし、前章のCWレーザー1000Wの結果と今回の結果では、大きな有意差は認められなかった。また、今回の試験体の中では、P100が最も滑らかであることがわかった。

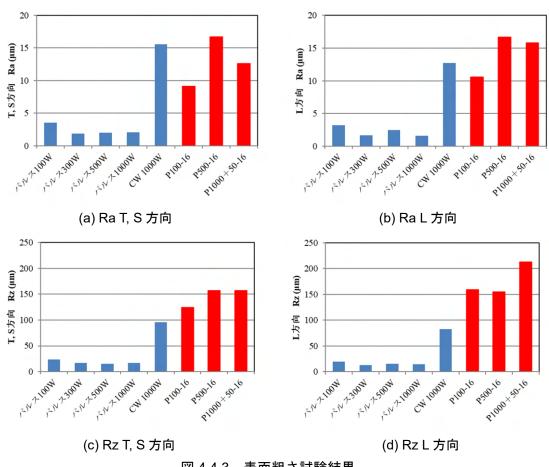


図 4.4.3 表面粗さ試験結果

(3) 表面層の成分分析

深さ方向への酸素量および Fe 量の計測結果を図 4.4.4 および図 4.4.5 に示す。これらの結果から前章の試験体と比較して,一定の O 量を持つ領域が確認できることから酸化被膜がはっきりと形成されており,成分分析結果からもその状態が判別可能である。また,図 4.4.5 の SEM 観察画像からもわかるように酸化被膜の厚さは場所によって大きく異なる。

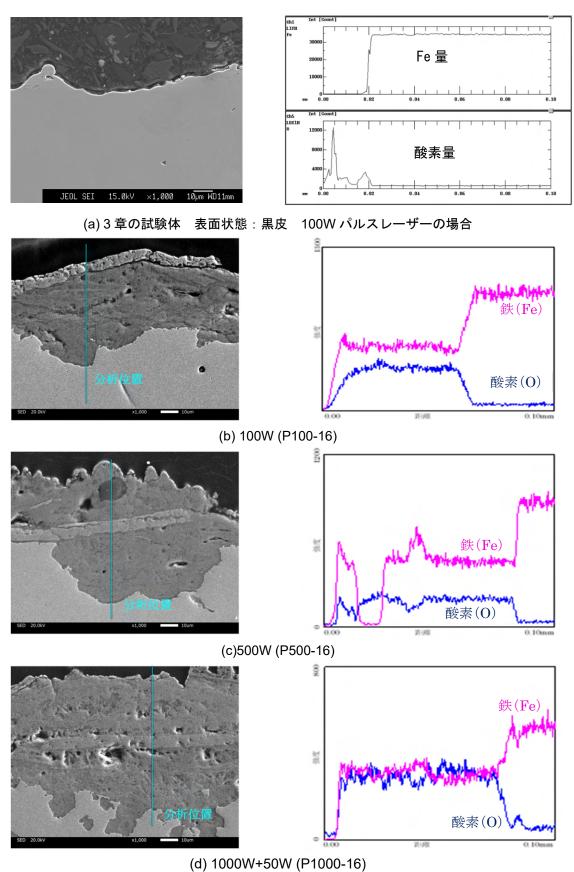


図 4.4.4 成分分析結果の比較

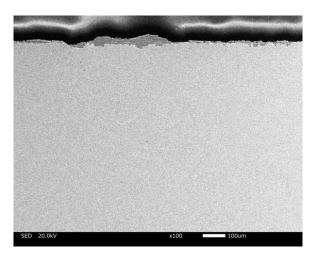


図 4.4.5 酸化被膜の SEM による観察 (試験体: P100-16)

4.5 耐久性試験結果

1年間の屋外暴露により作成したさび鋼板を各種レーザー処理した板と比較素地調整板に各種 塗料を塗装し、塩水噴霧試験、複合サイクル試験、温度勾配試験の各種耐久性試験実施した結果 を以下に報告する。また、土研センター・鴨川暴露場で実施した屋外暴露試験の2年経過時の結 果も報告する。

4.5.1 初期付着強度

耐久性試験及び各種素地への塗装した試験体の初期付着強度を測定した。塗装前の素地状態を**図 4.5.1** に示す. また,初期の付着強度測定結果を**表 4.4.1** に示す. 初期付着強度を比較検討の基準とする.

素地調整の基準となるブラスト,ディスクサンダー,黒皮鋼板での付着強度は,ディスクサンダーのエポキシ没水用の $3\,N/mm^2$ を除き,全て $4\,N/mm^2$ 以上の付着強度があることが確認できた.また,レーザー処理による付着強度も平均的に良好な結果を得た.初期付着強度は,鋼構造物塗膜調査マニュアル $^{11)}$ の評点(アドヒージョンテストの評価点では $2\,N/mm^2 \le X$ は0 点, $1.0 \le X < 2.0\,N/mm^2$ は1 点)において,R1 のエポキシ下塗を除き,全て0 点と問題のない付着強度であった.

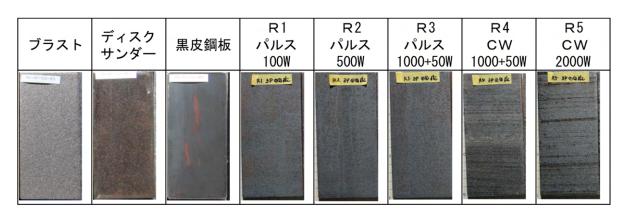
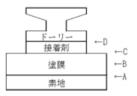


図 4.5.1 塗装前の試験体素地調整状態

表 4.5.1 初期付着強度

試験塗料		ブラスト	ディスク	黒皮鋼板	レーザー照射条件						
武 歌 坐 科	n	ノラスト	サンダー	未及艸伮	R1	R2	R3	R4	R5		
	1	5.8N/mm2	5. 2N/mm2	5.9N/mm2	4.1N/mm2	4. 2N/mm2	5. 2N/mm2	5. 2N/mm2	4.9N/mm2		
有機ジンク	備考	B:80 C:20	A:80 D:20	B:70 C:30	A:90 B:10	A:40 B:60	A:20 B:80	A:10 B:90	A:10 B:90		
エポキシ	1	4.0N/mm2	4.7N/mm2	4.1N/mm2	1.8N/mm2	2.6N/mm2	4.6N/mm2	3.8N/mm2	4.0N/mm2		
下塗	備考	C:90 D:10	A:30 C:40 D:30	C:50 D:50	A:30 D:70	A:5 C:15 D:80	A:80 D:20	C:25 D:75	C:10 D:90		
エポキシ	1	4.4N/mm2	3.0N/mm2	4.7N/mm2	4.8N/mm2	3.1N/mm2	4.7N/mm2	5.0N/mm2	5.1N/mm2		
エポキシ ―― 没水部用 備	備考	C:40 D:60	A:70 D:30	C:90 D:10	A:15 B:30 C:55	A:20 B:35 C:45	A:15 B:80 C:5	C:70 D:30	A:5 B:35 C:60		



4.5.2 塩水噴霧試験

有機ジンクリッチペイントを塗装した試験体を塩水噴霧 1000 時間実施し、付着力試験を実施した後の試験体の外観を図 4.5.2 に、付着強度および錆幅を表 4.5.2 に示す. R1 から R3 のパルスレーザーは他の処理よりクロスカットの錆幅が大きく、付着強度も低い傾向がある. さらに No.3 の試験体では一般面に錆膨れの発生が確認できた. R4 と R5 の CW レーザーはブラスト処理程度の防錆性能を有していることが確認できた.

付着試験後の剥離面は,ブラストとディスクサンダーでは有機ジンク層内剥離となっているが, R1 から R3 のパルスレーザーでは素地と有機ジンク間での剥離が確認でき,鋼材面に錆の発生を確認した.一般面にも点錆の発生が確認された.

エポキシ下塗を塗装した試験体に対し塩水噴霧を 1000 時間実施し、付着力試験を実施した後の 試験体の外観を図 4.5.3 に、錆幅および付着強度を表 4.5.2 に示す、錆幅は有機ジンクリッチペイ ントより全体的に大きい傾向にある。また、一般部でも点錆の発生が確認できる板があった。こ れは、有機ジンクリッチペイントとエポキシ下塗の防錆力の違いによるものと考える。

エポキシ下塗試験体の場合,いずれの試験体も付着力は 3N/mm² 以上あり、問題ないレベルであることが確認できるが、ブラスト板とレーザーケレン板の鋼材面に錆の発生が見られた.

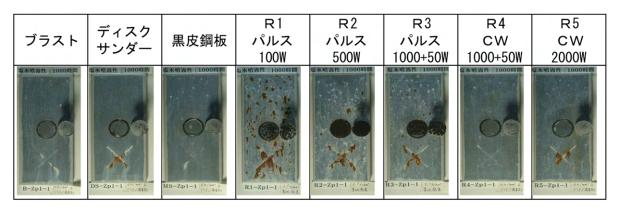


図 4.5.2 塩水噴霧 1000 時間後の外観 (有機ジンク)

表 4.5.2 塩水噴霧試験後の錆幅および付着強度

(a) 錆幅

試験項目 ;塩水噴霧性(錆幅・外観)

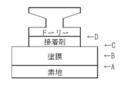
※錆幅;片側/両側. 白さびは錆幅に含まない.

=+ F-> /2 /L	=+ FA >> W1		ブラスト	ディスク	ER #26945			レーザー照射条件	ŧ	
試験条件	試験塗料	n	ノラスト	サンダー	黒皮鋼板	R1	R2	R3	R4	R5
		1	3/4mm	3/6mm	2/3mm	11/12mm	8/11mm	6/7mm	0/0mm	5/5mm
1000	有機	2	0/0mm	2/5mm	0/0mm	5/10mm	3/10mm	4/10mm	0/0mm	1/4mm
時間	ジンク	3	1.5/2.0mm	0.5/1mm	0/0mm	3/5mm	3/5.5mm	6.5/8mm	1. 5/2. 5mm	1. 5/2mm
		備考				一般部錆膨れ	一般部錆膨れ	一般部錆膨れ		
		1	3/4mm	3/5mm	4/6mm	5/7mm	4/7mm	4/6mm	3/6mm	3/5mm
1000	エポキシ	2	5/5mm	3/5mm	5/8mm	4/5mm	4/5mm	4/5mm	3/6mm	3/5mm
時間	下塗	3	6/11mm	6.5/11.5mm	5/9mm	8. 5/15mm	7. 5/12mm	7. 5/12. 5mm	6/9mm	7/11.5mm
		備考	一般部錆	一般部錆		一般部錆	一般部錆	一般部錆		一般部錆

(b) 付着強度

試験項目 ; 塩水噴霧性 (付着強度)

 訊 映 垻 日	;塩水唄務性	(1) 宿5	k度)							
試験条件	試験塗料	-	ゴニフィ	ディスク	田中細七			レーザー照射条件	‡	
武聚米 什	武 映 坐 科	n	ブラスト	サンダー	黒皮鋼板	R1	R2	R3	R4	R5
			6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	2.7N/mm2	3.7N/mm2	3.3N/mm2	6N/mm2	6N/mm2
		1	B:45 C:50 D:5	B:10 C:90	B:10 C:80 D:10	A:80 B:20	A:100	A:90 C:10	A:5 B:45 C:50	B:95 D:5
1000	1000 有機 時間 ジンク		5.6N/mm2	5.8N/mm2	5.8N/mm2	2.4N/mm2	2.8N/mm2	2.0N/mm2	5.6N/mm2	5.8N/mm2
		2	B:80 C:20	A:10 B:60 C:30	B:80 C:20	A:100	A:95 B:5	A:100	B:70 C:30	A:5 B:65 C:30
		2.4N/mm2	2.1N/mm2	2.0N/mm2	1.0N/mm2	1.7N/mm2	2.1N/mm2	1.8N/mm2	2.0N/mm2	
		3	C:95 D:5	C:100	C:100	A:60 C:40	A:40 C:60	A:40 C:60	A:5 C:80 D:15	C:100
			6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2
		1	A:50 B:50	A:60 B:40	A:5 B:80 C:10 D:5	A:60 C:40	A:35 B:65	A:25 B:75	C:95 D:5	C:95 D:5
1000	エポキシ		5.9N/mm2	6.0N/mm2	5.9N/mm2	5.8N/mm2	5.8N/mm2	5.8N/mm2	5.9N/mm2	5.8N/mm2
1000 エホキン		B:60 C:40	A:20 B80	B:100	A:90 B:10	A:60 B:40	A:70 B:30	A:15 B:85	A:65 B:35	
		5.9N/mm2	3.5N/mm2	5.9N/mm2	3.1N/mm2	4.1N/mm2	4.1N/mm2	4.1N/mm2	4.1N/mm2	
	3	A:30 B:30 D:40	A:40 B:30 D:30	B:75 D:25	A:40 B:15 C:10 D:35	A:40 B:50 D:10	A:45 B:10 D:45	B:25 D:75	A:10 B:50 D:40	



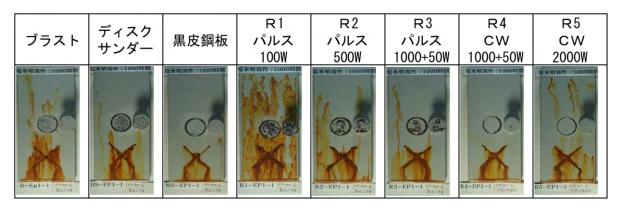


図 4.5.3 塩水噴霧 1000 時間後の外観 (エポキシ下塗)

4.5.3 複合サイクル試験

有機ジンクリッチペイントを塗装した試験体に対し複合サイクル試験(240 サイクル)を実施し、付着力試験を実施した後の試験体の外観を図 4.5.4 に、錆幅および付着強度を表 4.5.3 に示す. 試験結果は、3 体でばらつきがみられるが、パルスレーザーの R1 から R3 は錆幅が若干大きい傾向があり、R1 は付着強度も低い傾向が見られた. 付着力試験後、ディスクサンダーやレーザーケレンでは鋼材素地に錆の発生が確認でき、これは、素地調整で残存した錆が促進されたと考えられる. レーザーケレンの R1 から R5 は、一般部の白錆の発生が多く確認されるがジンクによる犠牲防食が働いたものと考える.

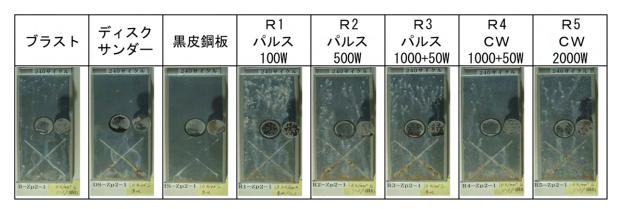


図 4.5.4 複合サイクル試験 240 サイクル後の外観(有機ジンク)

表 4.5.3 複合サイクル試験後の付着強度および錆幅

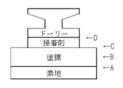
(a) 錆幅

ſ	試験条件	=+ 配金型	試験塗料 n ブラスト ディスク		ディスク	黒皮鋼板	レーザー照射条件				
	武炭米 什	武贵坐科	n	ノノスト	サンダー	未及到似	R1	R2	R3	R4	R5
Ī	サイクル		1	0/0mm	3/3mm	0/0mm	1/1mm	2/3mm	3/3mm	1/2mm	1/2mm
	D	有機 ジンク	2	0/0mm	0/0mm	0/0mm	0/0mm	0/0mm	0/0mm	0/0mm	0/0mm
	240 с	,,,	3	0.5/1mm	1/1.5mm	0.5/1mm	2. 5/4mm	1. 5/2. 5mm	1. 5/2. 5mm	1/2mm	1/2mm

(b) 付着強度

試験項目 ;複合サイクル試験(付着強度)

=+ 50 友 /4	=+ F4 44 W		-i 1	ディスク	用中侧杆			レーザー照射条件	ŧ	
試験条件	試験塗料	n	ブラスト	サンダー		黒皮鋼板 R1		R3	R4	R5
			6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	3. 2N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2
	サイクル 有機 D ジンク 240 c	1	B:15 C:85	A:30 B:50 C:20	B:25 C:25 D:50	A:50 C:50	A:5 B:5 C:80 D:10	A:20 C:70 D:10	C:90 D:10	A:10 B:65 C:25
サイクル			6.0N/mm2	5.5N/mm2	6.0N/mm2	3.1N/mm2	5.1N/mm2	5.7N/mm2	5.8N/mm2	5.8N/mm2
_		2	B:100	A:20 B:80	B:90 C:10	A:15 B:50 C:25	A:15 B:40 C:45	A:15 B:30 C:55	B: 75 C: 25	B:5 C95
			1.8N/mm2	1.7N/mm2	1.6N/mm2	2.0N/mm2	2.0N/mm2	2.0N/mm2	1.8N/mm2	2.0N/mm2
		3	C:100	C:100	B:5 C:95	A:5 C:95	B:10 C:90	B:10 C:85 D:5	C:100	C:100



4.5.4 温度勾配試験(20°C-40°C)

没水部用エポキシ塗料を塗装した試験体に対して、温度勾配試験を実施し、付着力試験を実施した後の試験体の外観を図 4.5.5 に、付着強度を表 4.5.4 に示す。当初 2 週間の予定で温度勾配試験を実施したが、外観変化が少なかったため、試験体番号 n=2 では 4 週間、n=3 では 6 週間の試験を実施した。図 4.5.5 は、2 週間後 (n=1) の外観のみ示している。

付着力試験では、著しい付着強度の低下は見られなかったが、CW レーザーの R4 と R5 で一部 に塗膜の膨れが確認された。また、ディスクサンダーやレーザーケレンでは、鋼素地に錆の発生 が確認できた。

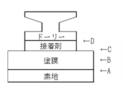
ブラスト	ディスク サンダー	黒皮鋼板	R1 パルス 100W	R2 パルス 500W	R3 パルス 1000+50W	R4 CW 1000+50W	R5 CW 2000W
温度光試験 2週間 65/5475 7性2月 65	温度差試験 2週間	製度差減験 2週間 をかから 7年2月の2	温度差試験 2週間	製度差減機 2 20 ml	温度差試験 2週間	温度差試験 2週間	温度及試験 2週間
39/20 3 31/20 30 B-UW3-1	54/42/5 \$4/72/6 DS-UW3-1	MS-UW3-1	1 2 1 /m² hea. 19 90 R1-UW3-1	17.7 mm 5.1.7 mm 8.2.2 mm R2-UW3-1	S. Visional has Shart R3-UW3-1	1 2 2 7 mm 1 1 2 6 6 3 1 1	9.78 June 1 2n/3≅ 100 R5-UW3-1

図 4.5.5 温度勾配試験 2 週間後の外観 (没水部用エポキシ)

表 4.5.4 温度勾配試験後の付着強度

試験項目	: 温度勾配試験 (20-40℃	(付着強度)
	;温度勾配試験(20一40 C	// (竹宿蚀度)

試験条件	試験塗料			ディスク	田中細七	レーザー照射条件					
武聚宋 什 武聚坐科	n	ブラスト	サンダー	黒皮鋼板	R1	R2	R3	R4	R5		
			6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	5.6N/mm2	5.5N/mm2	4.8N/mm2	5.3N/mm2	2. 2N/mm2	
		,	B:90 C:10	A:30 B:70	B:90 C:10	A: 15 B: 70 C: 15	A:20 C:70 D:10	A:10 C:55 D:35	A:10 C:80 D:10	A:100	
		'	6N/mm2	6N/mm2	6N/mm2	4.8N/mm2	4.7N/mm2	5.4N/mm2	5.4N/mm2	4.1N/mm2	
n =1 2週間 n =2 4週間 n =3	エポキシ 没水部用		B:85 C:15	A:75 B:25	B:80 C:15 D:5	A:10 B:60 C30	A:5 B:30 C:55 D:10	A:5 B:40 C:30 D:20	B:40 C:20 D:40	A:100	
		備考							一般部膨れ	一般部膨れ	
			6N/mm2	5.5N/mm2	6N/mm2	5.6N/mm2	5.5N/mm2	5.0N/mm2	5.5N/mm2	5. 2N/mm2	
			B:80 C:20	A:100	A:30 B:70	A:40 B:60	A:50 B:50	A:15 B:50 C:35	B:15 C:85	A:45 B:55	
6週間			6N/mm2	5.5N/mm2	6N/mm2	4.8N/mm2	4.7N/mm2	5. 2N/mm2	5.3N/mm2	4.1N/mm2	
			B:80 C:20	A:100	A:20 B:80	A:35 B:65	A:40 B:60	A:25 B:35 C:40	B:100	A:5 B:95	
		3	3.6N/mm2	3.0N/mm2	3.1N/mm2	4. 2N/mm2	3.5N/mm2	2.8N/mm2	3.3N/mm2	3.0N/mm2	
			B:75	A:15	B:30	A:45	A:10 B:55	A:20	B:50	B:25	
			D:25	B:85	D:70	B:40 D:15	C:20 D:15	B:20 D:60	D:50	D:75	



4.5.5 屋外暴露試験

2020 年 8 月 3 日の架設後半年の状態, 2020 年 12 月 25 日の架設後約 1 年の状態, および 2022 年 2 月 7 日の架設後 2 年の状態を報告する. 半年後の外観写真は図 4.5.6 と図 4.5.7, 約 1 年後

の外観写真は図 4.5.8 と図 4.5.9, 2 年後の外観写真は図 4.5.10 と図 4.5.11 に示す。また、半年後と 2 年後では、錆幅と膨れ幅を評価しており、その結果を表 4.5.5 と表 4.5.6 に、錆幅と膨れ幅の試験条件ごとの平均値を図 4.5.12 に示す。

試験体は1年後までは一般部での変状は何れの条件でも発生していないが、2年後ではパルスレーザーの100Wと500Wで膨れが確認できた.有機ジンクなし部分のカット部における錆幅や膨れは、比較試験体(表4.2.1のレーザー処理以外の試験体)と同等の幅になっている.有機ジンクありの部分では、ブラスト処理では錆や膨れはあまり発生していないが、レーザー処理試験体は錆や膨れが発生しているものが多く、錆幅が大きくなっている.半年後と1年後では大きな錆幅や膨れの進行はないと判断できるが、2年後では、有機ジンクありのカット部の錆汁が一般部へ広がっている事が確認できる.

CT 鋼のブラスト処理やディスクサンダー処理では、1年経過時に錆や膨れの発生は殆どなかったが、2年経過で全体的に端部の錆発生が目立ってきている。CT 鋼のレーザー処理は、有機ジンクありの部分でも錆や膨れの発生が進行していることが確認でき、CW レーザー1000+50Wは全体に錆発生が見られた。試験体によって半年では多く見られなかった試験体端部の錆が、1年後に発生、もしくは広がっていて、2年経過では錆の発生が更に進行していることが確認できる。ブラスト処理の CT 鋼は、錆の発生が他の試験体と比較して最も少ない。レーザー処理の中では、パルスレーザー500W(R2)とパルスレーザー100+50W(R3)の試験体が比較的良好な結果を維持している。



左から B-④-1 から DS-④-2



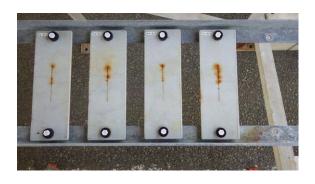
左から DS-④-3 から R1-④-1



左から R1-④-2 から R2-④-3

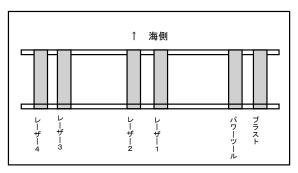


左から R3-④-1 から R4-④-2



左から R4-④-3 から R4-④-6

図 4.5.6 暴露試験体半年後の外観(2020年8月8日撮影)



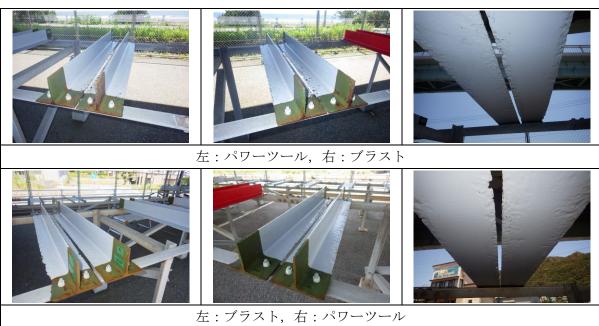
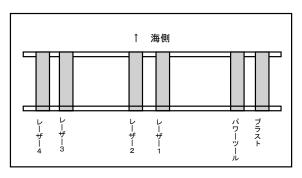




図 4.5.7 暴露試験体 CT 鋼半年後の外観(2020 年 8 月 8 日撮影)(その 1)



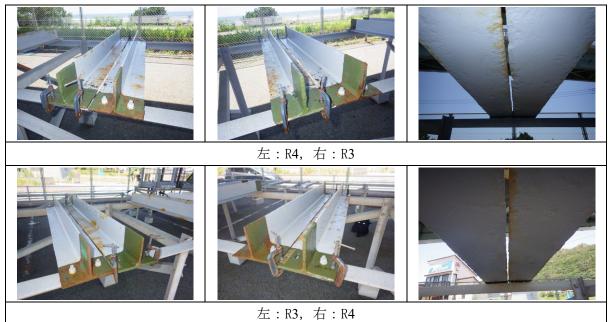
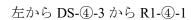


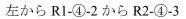
図 4.5.7 暴露試験体 CT 鋼半年後の外観(2020 年 8 月 8 日撮影)(その 2)



左から B-④-1 から DS-④-2







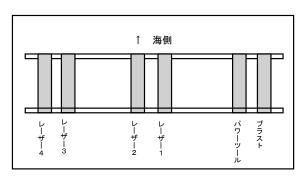


左から R3-④-1 から R4-④-2



左から R4-④-3 から R4-④-6

図 4.5.8 暴露試験体 1 年後の外観(2020年 12月 25日撮影)









左:パワーツール,右:ブラスト







左:ブラスト,右:パワーツール







左:R2,右:R1

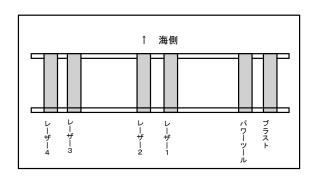






左:R1,右:R2

図 4.5.9 暴露試験体 CT 鋼 1 年後の外観(2020 年 12 月 25 日撮影)(その 1)









左:R4,右:R3

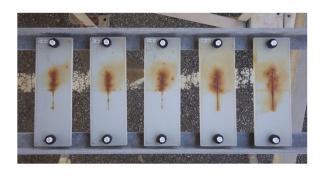






左:R3,右:R4

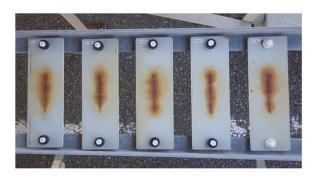
図 4.5.9 暴露試験体 CT 鋼 1 年後の外観(2020 年 12 月 25 日撮影)(その 2)



左から B-④-1 から DS-④-2



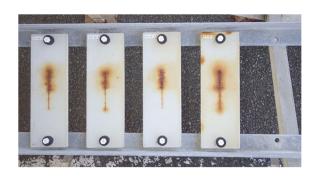
左から DS-④-3 から R1-④-1



左から R1-④-2 から R2-④-3

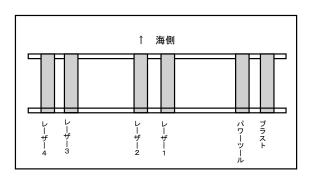


左から R3-④-1 から R4-④-2



左から R4-④-3 から R4-④-6

図 4.5.10 暴露試験体 2 年後の外観(2022 年 2 月 7 日撮影)



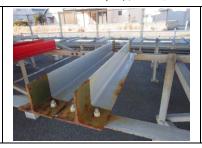






左:パワーツール,右:ブラスト







左:ブラスト,右:パワーツール







左:R2,右:R1

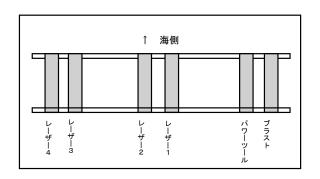






左:R1,右:R2

図 4.5.11 暴露試験体 CT 鋼 2 年後の外観(2022 年 2 月 7 日撮影)(その 1)



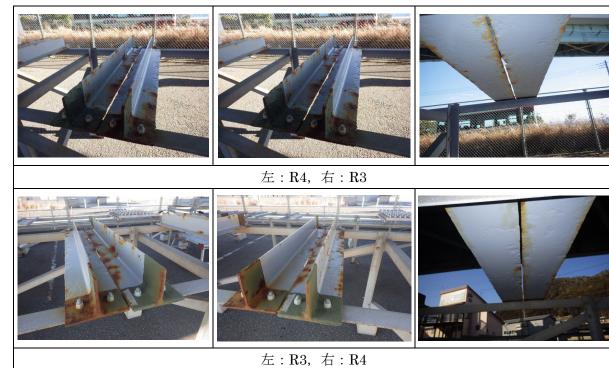


図 4.5.11 暴露試験体 CT 鋼 2 年後の外観(2022 年 2 月 7 日撮影)(その 2)

表 4.5.5 暴露試験体半年後と 2 年後の錆幅および膨れ計測結果

鴨川暴露場 評価結果 ~試験板~

塗装仕様: <有機ジンクリッチペイント (75μm) > エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm x 2)

評価基準: さび JISK 5600-8-3 膨れ JISK 5600-8-2

<暴露開始日:2020年1月27日>

	試験板No		暴露6ヵ月後 (調査日:2020年8月.3日)			暴露1年後				暴露2年後 (調査日:2022年2月.7日)							
素地調整方法		ジンク	一般部			ト部 k大:mm)	一般部		カット部 (片側最大:mm)		一般部		カット部 (片側最大:mm)				
			さび	膨れ	その他	さび	膨れ	さび	膨れ	その他	さび	膨れ	さび	膨れ	その他	さび	膨れ
	B-(4)-1	なし	Ri0	0	なし	0.5	3.5						Ri1	0	なし	7	9
	D - 0	あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	2	0
ブラスト(グリット)	B-(4)-2	なし	Ri0	0	なし	0.5	3.5						Ri1	0	なし	10	10
RzJIS50 μ m	- 0 -	あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	0	0
	B-4)-3	なし	Ri0	0	なし	0.5	3.0						Ri1 [~] 2	0	なし	11	12
		あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	0	0
	DS-4-1	なし	Ri0	0	なし	0.5 >	5.0						Ri0	0	なし	11	14
		あり	Ri0 Ri0	0	なし	0	10						Ri0 Ri0	0	なし	0	2
ディスクサンダー	DS-4-2	なし あり	Ri0	0	なしなし	0.5	0						Ri0	0	なしなし	11 0	20 7
		なし	Ri0	0	なし	0.5	10						Ri0	0	なし	7	21
	DS-4-3	あり	Ri0	0	なし	0.5	0						Ri0	0	なし	1	8
		なし	Ri0	0	なし	0.5	5.0						Ri0	0	なし	14	25
	MS-4-1	あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	0	6
黒皮鋼板	@ .	なし	Ri0	0	なし	0.5	5.0						Ri0	0	なし	1	18
	MS-4-2	あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	1	4
	MS-(4)-3	なし	Ri0	0	なし	0.5	11						Ri0	0	なし	0	17
	MS-(4)-3	あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	0	6
	R1-(4)-1	なし	Ri0	0	なし	1.0	2.0						Ri1	4(S2)	なし	7	5
	KI 🐠 I	あり	Ri0	0	なし	0.5 >	2.0						Ri0	4(S2)	なし	3	4
パルスレーサ゚ー	R1-(4)-2	なし	Ri0	0	なし	0.5	1.0						Ri1	4(S2)	なし	5	5
100W	0 -	あり	Ri0	0	なし	0.5 >	1.5						Ri0	0	なし	4	4
	R1-4)-3	なし	Ri0	0	なし	1.0	1.5						Ri0	4(S2)	なし	12	4
		あり	Ri0	0	なし	0.5 >	1.0						Ri1	0	なし	2	4
	R2-4)-1	なし	Ri0	0	なし	0.5	1.0						Ri1	4(S2)	なし	11	4
パルスレーサー		あり	Ri0	0	なし	0.5 >	2.0						Ri0	0	なし	3	6
500W	R2-4)-2	なし	Ri0	0	なし	0.5	2.0						Ri0 Ri0	3(S2) 0	なし	8	3
		あり なし	Ri0 Ri0	0	なし なし	0.5 >	2.5						Ri1	4(S2)	なしなし	11	6
	R2-4)-3	あり	Ri0	0	なし	0.5 >	1.0						Ri0	0	なし	4	5
		なし	Ri0	0	なし	1.0	2.5						Ri0	0	なし	12	5
	R3- 4)-1	あり	Ri0	0	なし	0.5 >	3.5						Ri0	0	なし	3	3
パルスレーザー	0	なし	Ri0	0	なし	0.5	2.0						Ri0	0	なし	13	4
1000+50W	R3- 4 -2	あり	Ri0	0	なし	0.5 >	1.5						Ri0	0	なし	4	3
	D0 (*) *	なし	Ri0	0	なし	0.5	4.0						Ri0	0	なし	10	5
	R3- 4 -3	あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	0	4
	R4-(4)-1	なし	Ri0	0	なし	1.0	5.0						Ri1	0	なし	16	16
	rv+ (4)−1	あり	Ri0	0	なし	0	2.0						Ri0	0	なし	0	2
	R4-4-2	なし	Ri0	0	なし	0.5	6.0						Ri1	0	なし	12	12
	11.7 - 2	あり	Ri0	0	なし	0.5 >	0						Ri0	0	なし	1	1
	R4- 4 -3	なし	Ri0	0	なし	0.5 >	6.0						Ri1	0	なし	10	10
CWV-#*-		あり	Ri0	0	なし	0	0						Ri0	0	なし	0	1
1000+50W	R4-4)-4	なし	Ri0	0	なし	0.5	5.5						Ri1	0	なし	8	8
	_	あり	Ri0	0	なし	0	0					<u> </u>	Ri0	0	なし	0	1
	R4- 4 -5	なし	Ri0	0	なし	0.5	4.0						Ri1	0	なし	8	8
		あり	Ri0	0	なし	0	0					<u> </u>	Ri0	0	なし	0	0
	R4- ④ -6	なし	Ri0	0	なし	1.0	5.0						Ri1	0	なし	7	9
		あり	Ri0	0	なし	0.5 >	1.0					<u> </u>	Ri0	0	なし	2	5

表 4.5.6 暴露試験体 CT 鋼半年後と 2 年後の錆幅および膨れ計測結果

鴨川暴露場 評価結果 ~CT試験体~

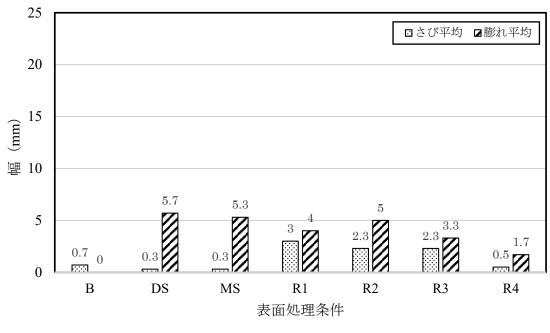
<暴露開始日:2020年1月27日>

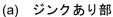
素地調整方法	ジンク有無	評価	暴露6ヵ月後 (調査日: 2020年8月.3日)					暴露2年後 (調査日:2022年2月.7日)				
			1	2	3	4	(5)	1	2	3	4	5
		さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0
	なし	膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ブラスト(ク゛リット゛)		その他	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	エッジさび	エッジさび
RzJIS50 μ m		さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0
	あり	膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		その他	なし	なし	なし	なし	なし	エッジさび	なし	なし	なし	なし
		さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri1	Ri0	Ri0	Ri0	Ri1
	なし	膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
=* . 7 b#\ b*		その他	なし	なし	なし	なし	なし	エッジ2点さび	なし	エッジ3点さび	エッジさび	エッジさび
ティスクサンダー		さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0~1
	あり	膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		その他	なし	なし	なし	エッジ2点さび	エッジ2点さび	なし	なし	なし	エッジさび	エッジさび
	なし	さび	Ri 1	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri 1	Ri0	Ri1	Ri1	Ri1
		膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
パルスレーザー		その他	エッシ 孔食部さび	なし	エッジ 2点さび	エッジ1点さび さび1点	エッジ1点さび	エッジさび	なし	エッジさび	エッジさび	エッジさび
100W	あり	さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0
		膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		その他	もらいさび1点	なし	なし	エッジ1点さび	エッジ1点さび	なし	なし	なし	なし	なし
	なし	さび	Ri0	Ri 0~1	Ri 0~1	Ri 0~1	Ri0	Ri 1	Ri1	Ri1	Ri1	Ri1
		膨れ	0	0	0	0	0	2(S4)	2(S2)	2(S2)	0	0
ハ°ルスレーサ*ー		その他	なし	2点さび	2点さび	1点さび	なし	エッジさび	エッジさび	エッジさび	エッジさび	エッジさび
500W	あり	さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0~1
		膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		その他	なし	なし	なし	エッジ1点さび	エッジ1点さび	エッジさび	なし	なし	エッジさび	エッジさび
		さび	Ri 0∼1	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri 1~2	Ri0	Ri1	Ri0	Ri1
	なし	膨れ	0	0	0	0	0	2(S3)	0	0	0	0
ハ°ルスレーサ*ー		その他	2点さび	なし	なし	エッジ1点さび	エッジ1点さび	エッジさび	なし	エッジさび	エッジさび	エッジさび
1000+50W		さび	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri1
	あり	膨れ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		その他	1点さび	なし	1点さび	エッジ1点さび	エッジ1点さび	エッジさび	なし	エッジ 1 点さび	エッジ1点さび	エッジ 1点さび
		さび	Ri 1~2	Ri 1	Ri 1	Ri 2	Ri0	Ri 2	Ri 1~2	Ri 1~2	Ri 2~3	Ri1
	なし	膨れ	0	0	0	0	0	0	2(S3)	2(S3)	2(S2)	2(S2)
CWL-#*-		その他	さび10点	さび15点	さび10点	さび多	エッジ多数さび	エッジさび	エッジさび	エッジさび	エッジさび	エッジさび
1000+50W		さび	Ri 1~2	Ri 2	Ri 2	Ri 1~2	Ri0	Ri 3	Ri 3	Ri 3	Ri 2	Ri1
	あり	膨れ	0	0	0	0	0	3(S3)	2(S2)	3(S3)	1(S2)	2(S2)
	6,7	その他	さび約20点	①、②間、 多数さび	なし	なし	エッジ多数さび	エッジさび	エッジさび	エッジさび	エッジさび	エッジさび

塗装仕様: <有機ジンクリッチペイント (75μm) > エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm x 2) ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (30μm) ポリウレタン樹脂塗料上塗 (25μm)

評価基準: さび JIS K 5600-8-3 膨れ JIS K 5600-8-2 評価位置 : 海側からみて ② ③ ① 4 ⑤

端部から100mmは評価対象外





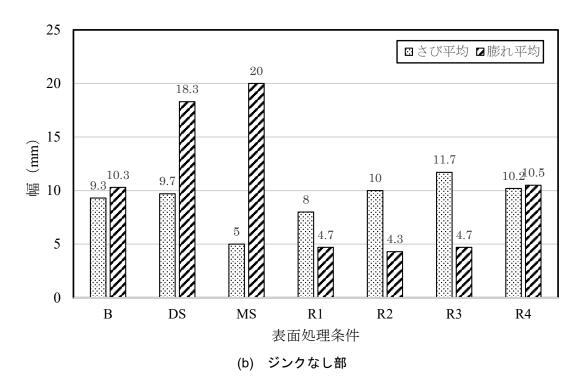


図 4.5.12 暴露試験体 2 年後の錆幅および膨れ幅平均

4.6 まとめ

未処理黒皮鋼板と, 錆板をブラスト処理, ディスクサンダー処理, レーザー処理(5条件)した 試験体に対して各種適用塗料を塗装し, 塩水噴霧試験, 複合サイクル試験, 温度勾配試験, 屋外 暴露試験を実施した.

塩水噴霧試験では、レーザー処理の R1, R2, R3 で、有機ジンクリッチペイントの場合は錆幅と付着強度が、エポキシ下塗りの場合は錆幅が、ブラスト処理やディスクサンダー処理より耐久性の劣る結果となった。複合サイクル試験では、R1 が付着強度について、R3 が錆幅について、ブラスト処理やディスクサンダー処理より耐久性の劣る結果となった。温度勾配試験では、レーザー処理試験体で、ブラスト処理やディスクサンダー処理と比較して、大きく付着強度が劣る結果となるものはなかった。

鴨川暴露試験2年では、鋼板試験体の有機ジンクリッチペイントがない部分において、各種レーザー処理試験体は、ブラスト処理とディスクサンダー処理と同じ程度の錆発生であったが、有機ジンクリッチペイントがある部分では、R1、R2、R3は、ブラスト処理とディスクサンダー処理より錆発生が悪い結果となった。CT試験体では、有機ジンクリッチペイント有無に関係なく、レーザー処理試験体の腐食耐久性がブラスト処理やディスクサンダー処理と比較して、劣る傾向が見られた。特に、R4は全体的に錆発生が多い傾向が見られた。レーザー処理試験体の腐食耐久性が、ブラスト処理やディスクサンダー処理に比べて劣る傾向が見られた理由として、レーザーによる除錆の際に発生する酸化皮膜の影響、レーザー処理で錆が完全に除去できていないまま塗装した可能性、レーザー処理後に塗装するまでのインターバルによる戻り錆の可能性などが考えられるが、現状では、最も影響を与えた原因は特定できていない。

今後も、屋外暴露試験の継続調査を行い、実環境での耐久性を明らかにしていく予定である.

第5章 まとめと今後の課題

5.1 まとめ

5.1.1 レーザークリーニング処理を施した鋼板の表面評価結果

本試験ではレーザー照射方式と照射条件をパラメータとして、除錆度や酸化皮膜などの表面の 状態、表面粗さを比較した、その結果、以下のことが明らかとなった.

- (1) レーザークリーニング処理前の表面状態で比較した場合,黒皮,ブラスト,塗装の3種類において,処理後の表面状態や表面粗さに大きな差はなかった.
- (2) レーザー照射方式で比較すると、パルスレーザーを用いるより CW レーザーを用いた方が表面は粗くなる傾向にあった. これは、CW レーザーは鋼表面が溶融していたためと推察される.
- (3) レーザークリーニング処理後の表面層の酸素量に関しては、ブラスト処理面を 1000W パルスレーザーで処理した場合が多くなった。この原因は今一度調査する必要がある。また、塗装表面をパルスレーザーで処理した場合、塗膜種類による酸素量の差はみられなかったが、CW レーザーで処理した場合、塗膜が厚い C 系塗装において、酸素量が多くなる傾向にあった。

5.1.2 レーザークリーニング処理を施した鋼板の塗装耐久性試験結果

レーザークリーニング処理面に対する塗装の適否を検証するため、腐食鋼材の補修を模擬して、 腐食鋼材のレーザークリーニング処理後に塗装を施した試験体を用い、塩水噴霧試験、複合サイクル試験、温度勾配試験、屋外暴露試験を行った.

- (1) 腐食鋼材のレーザークリーニング処理後の表面粗さは、CW レーザーで処理した表面の方が 粗い傾向があった.
- (2) 塗装耐久性試験の結果,付着強度や錆,膨れにおいて,顕著な差は確認されなかったが,試験内容によっては,ブラスト処理よりレーザー処理の耐久性が劣る結果が出ることが確認された.現時点では,この原因を究明できていないが,レーザークリーニング処理による除錆の際に発生する酸化皮膜が耐久性に影響を与えている可能性やレーザークリーニング処理で錆が完全に除去できていなかった可能性などがその要因として考えられる。また,今回の試験では,レーザークリーニング処理後,防錆処理を行って塗装工場まで輸送しており,処理後すぐに塗装ができていないという試験体製作上の条件の違いも考えられる。

5.2 今後の課題

(1) レーザークリーニングの適用箇所による使用機材の最適化

本試験では、鋼板のレーザークリーニング処理による除錆効果について、再塗装の面から基礎的なデータを得ることができた。今後、本技術を実用化するためには、レーザークリーニング技術が持つ非接触加工、自動化のしやすさ、静粛性能といった特徴を利用し、狭隘部や夜間工事への適用など、目的に応じた工事適用箇所を選定する必要がある。また、それに応じた使用機材及び施工条件の選定を行うことが効率的である。

例えば、広大な平面部への施工速度が要求される素地調整と、コーナーやスカラップのような 狭隘部でグラインダー処理が困難な場所への適用では、施工条件だけでなく装置システムの概念、 投資効果が大きく変わるため、適用箇所に応じて最適な試験を行い評価する必要がある.

(2) 現場におけるレーザー安全性の確保と作業および評価の自動化

現場でレーザークリーニングを実施する場合、レーザーによる障害を防止するため、レーザー 管理区域の設定など、安全予防策を十分に講じる必要がある。特に、平面部への適用を想定した 場合、装置システム全体として、安全面・施工面の両方を考慮した装置設計を行うことが不可欠 と考えられる。

(3) レーザークリーニング処理後の塗装耐久性

今回の試験結果では、ブラスト処理よりレーザー処理の結果が悪い場合が見られたが、データのばらつきも確認されたため、今後、試験数を増やし、塗装耐久性を定量的に評価していく必要があるとともに、レーザー処理の塗装耐久性がブラスト処理に比べて劣る場合は、その要因を把握し、改善策を検討していく必要がある.

また、屋外暴露試験に関しては、今後も継続調査を実施して劣化進行状態の確認を行い、レーザー処理試験体と比較試験体との違いを確認していくことで、耐久性評価を行う必要がある.

【参考文献】

- 一般社団法人日本鋼構造協会:一般塗装系塗膜の重防食塗装系への塗替え塗装マニュアル、 JSS IV 11-2014, p.114, 2014.
- 2) 関西鋼構造物塗装研究会: 改訂 わかりやすい塗装のはなし 塗る, p. 114, 2014.
- 3) 日本道路協会:鋼道路橋防食便覧, p. Ⅱ-138, 2014.
- 4) 片脇清士,中野正則,安波博道,落合盛人,中島和俊:鴨川暴露試験場の開設〜鋼橋塗替えにおける防食技術や施工技術の確立に向けて〜,土木技術資料,Vol.57-1,pp.60-63,2015.
- 5) 藤井堅, 北根安雄, 中野正: 鋼材表面の素地調整としてのレーザーケレンの適用性, 橋梁と 基礎, Vol.52, No.10, pp. 31-34, 2018.
- 6) 東日本高速道路株式会社,中日本高速道路株式会社,西日本高速道路株式会社: NEXCO 試験方法 第 4 編 構造関係試験方法 令和 2 年 7 月, pp.9-11, 2020.
- 7) (公社)日本道路協会:鋼道路橋防食便覧,2014.
- 8) 土木学会:鋼構造シリーズ 30 大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策, pp.3-10, 2019.
- 9) (一財) 日本規格協会: JIS Z 2358「レーザー表面処理面の除せい(錆) 度測定方法」, 2019.
- 10) コニカミノルタ株式会社:楽しく学べる知恵袋-色色雑学, https://www.konicaminolta.jp/knowledge/color, 2021.
- 11) (一社) 日本鋼構造協会:鋼構造物塗膜調査マニュアル, JSS IV03-2018, 2018.

付録

A. データ集

以下に、3.4節の表面評価結果のデータと4.4節のレーザー処理前後の表面状況をまとめる.

A.1 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

A.1.1 表面観察

(1) 黒皮

試験体番号	全体	拡大(中央付近)
K100P	Smm	Total State of the Control of the Co
K300P	Sm	en e
K500P	Som	
K1000P	SEC	4. 1757 3.4 1 1 2 min
K1000C	Sont	

(2) ブラスト

試験体番号	全体	拡大(中央付近)
BL100P		Sogum
BL300P	Smm	SOURT
BL500P	Stron	5000000
BL1000P	Sin	
BL1000C	Sma	A Somm

(3) 塗装 A 系

試験体番号	全体	拡大(中央付近)
A100P	STORE	
A300P	Since	3500,000
A500P	SKET	500µm
A1000P	Sma	Soon Soon
A1000C		

(4) 塗装 B 系

試験体番号	全体	拡大(中央付近)
B100P	Sizes	
B300P	STATE	- 100 miles (100 miles
B500P	Section	500 _m m
B1000P	Some	± 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
B1000C		

(5) 塗装 C 系

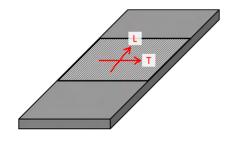
試験体番号	全体	拡大(中央付近)				
C100P	din	200/10				
C300P	Street, Street	200µm.				
C500P	STOT	500mg				
C1000P	STEE	500um				
C1000C	Marin Carlotte Carlot	550000				

A.1.2 粗さ計測結果

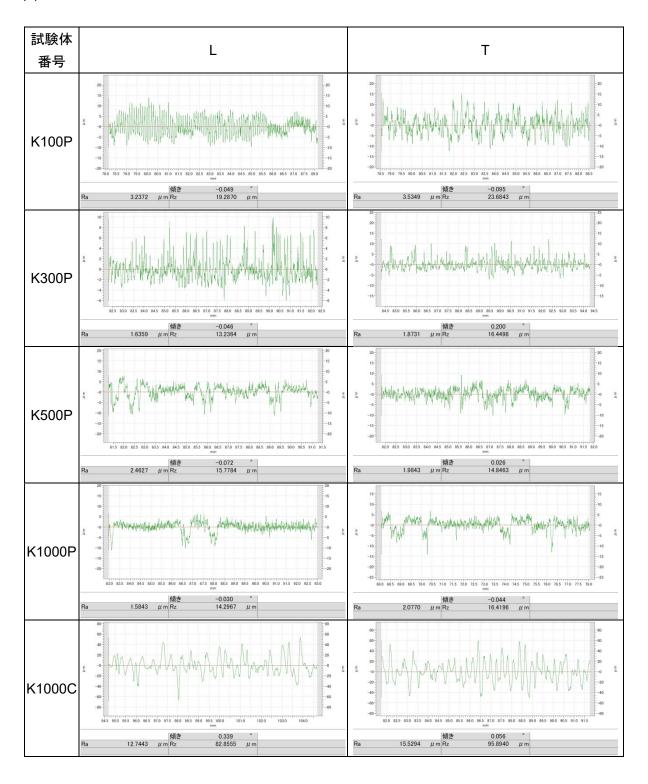
各試験体の表面粗さの計測結果を、表 A.1.1 にまとめる。詳細データは、次ページ以降にまとめる。レーザーの操作方向はT方向である。

表 A.1.1 表面粗さ計測結果のまとめ

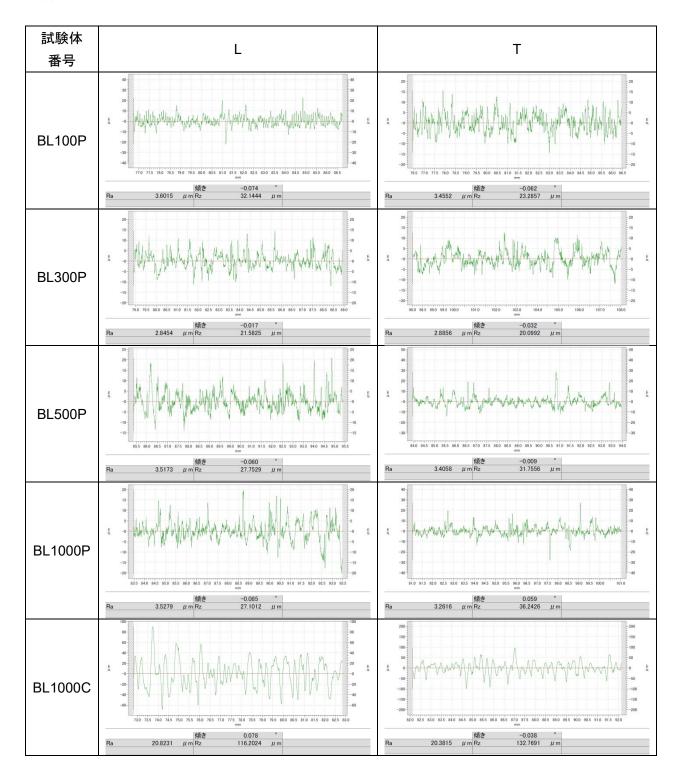
試験体番号		L	Т			
武 崇 冲留与	Ra	Rz	Ra	Rz		
K100P	3.2372	19.2870	3.5349	23.6843		
K300P	1.6359	13.2364	1.8731	16.4498		
K500P	2.4627	15.7784	1.9843	14.8463		
K1000P	1.5843	14.2967	2.0770	16.4196		
K1000C	12.7443	82.8555	15.5294	95.8940		
BL100P	3.6015	32.1444	3.4552	23.2857		
BL300P	2.8454	21.5825	2.8856	20.0992		
BL500P	3.5173	27.7529	3.4058	31.7556		
BL1000P	3.5279	27.1012	3.2616	36.2426		
BL1000C	20.8231	116.2024	20.3815	132.7691		
A100P	4.3895	32.6734	4.7793	36.4240		
A300P	2.6828	19.1575	1.8342	14.9634		
A500P	2.8177	22.9873	1.4986	15.0863		
A1000P	2.8675	22.9023	3.6735	33.1094		
A1000C	7.9140	52.7286	14.2557	103.8865		
B100P	4.7304	32.6938	4.1550	28.6896		
B300P	3.3879	28.1873	2.9534	31.1297		
B500P	2.8803	27.7226	3.2850	22.8783		
B1000P	3.5965	32.1792	3.2771	30.7176		
B1000C	13.7783	82.6446	16.3711	107.3982		
C100P	3.4556	22.3072	3.8405	29.0716		
C300P	2.8602	23.4290	4.4535	40.0811		
C500P	2.0729	22.9527	2.9608	31.7316		
C1000P	3.0622	36.8157	3.7749	43.6733		
C1000C	16.9834	104.4468	16.2026	94.9220		



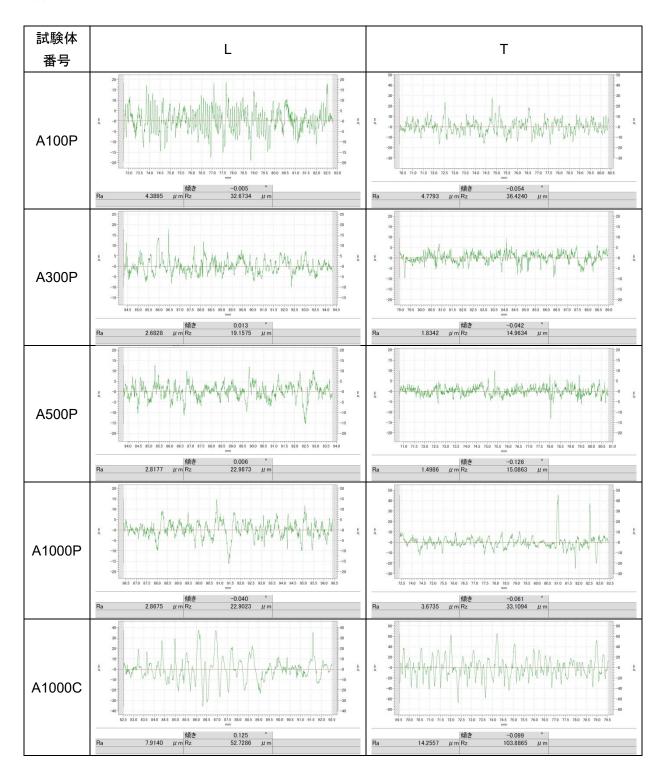
(4) 黒皮



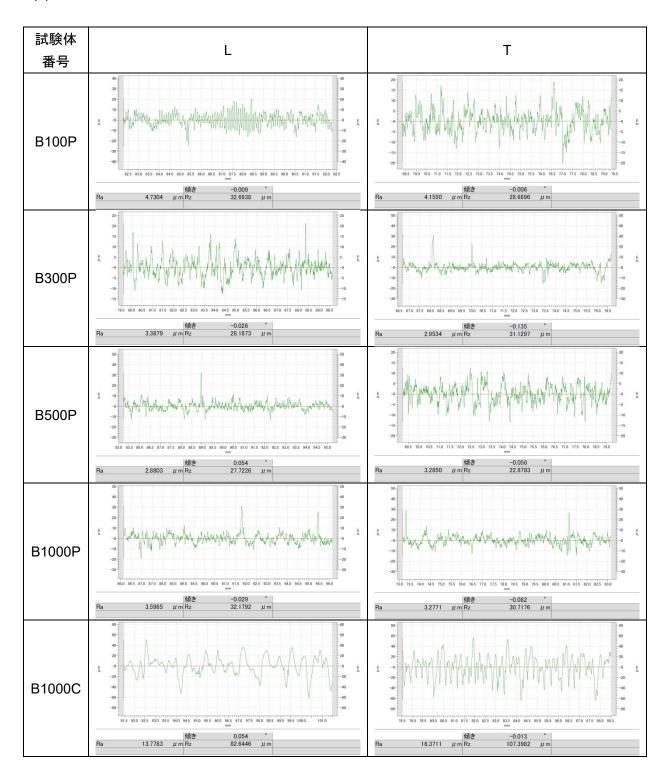
(5) ブラスト



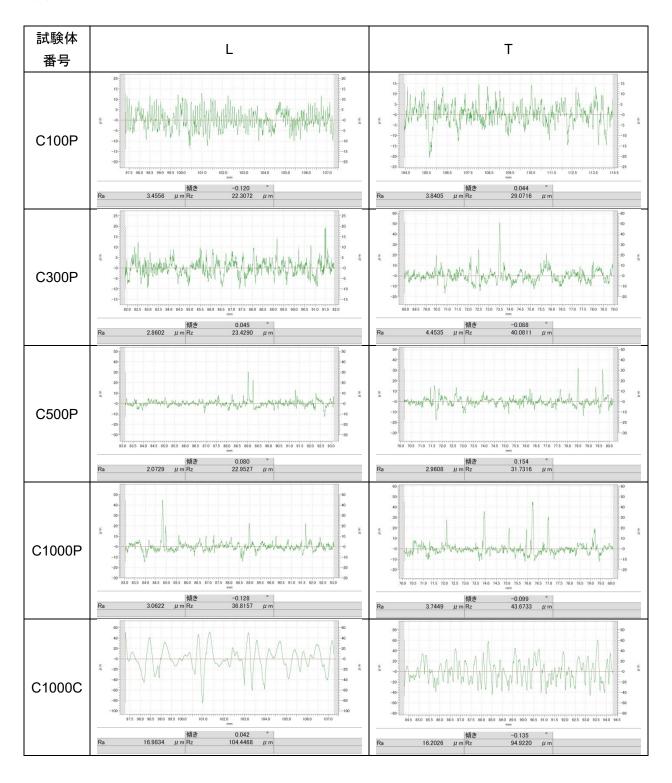
(6) 塗装 A 系



(7) 塗装 B 系

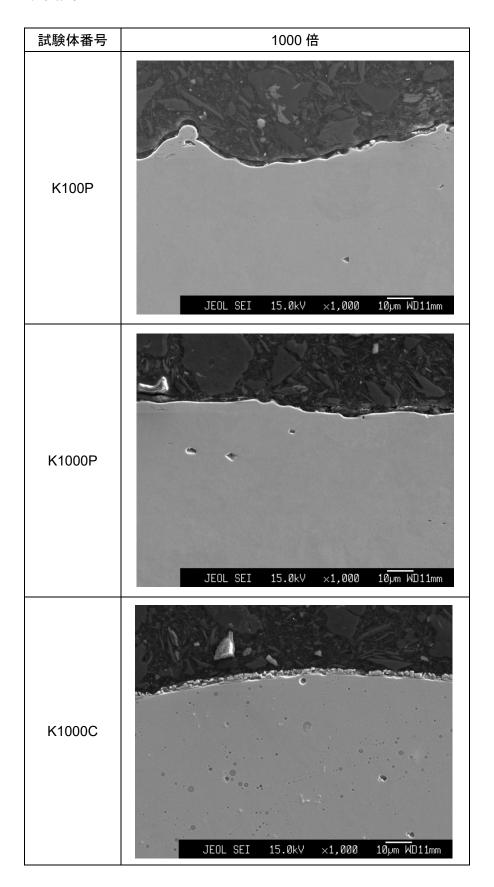


(8) 塗装 C 系

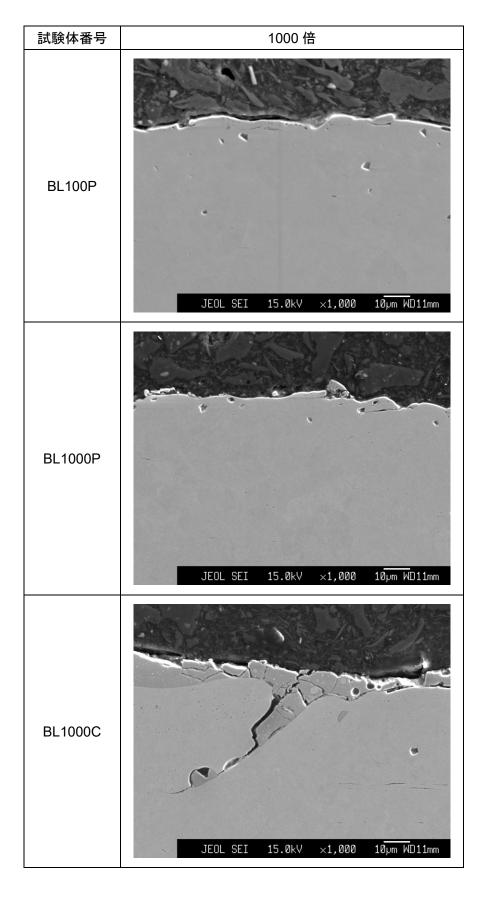


A.1.3 SEM 観察結果

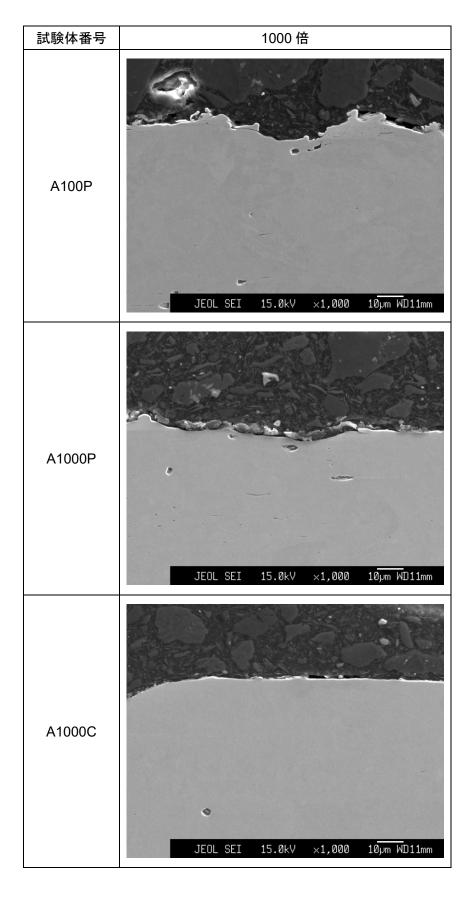
(1) 黒皮



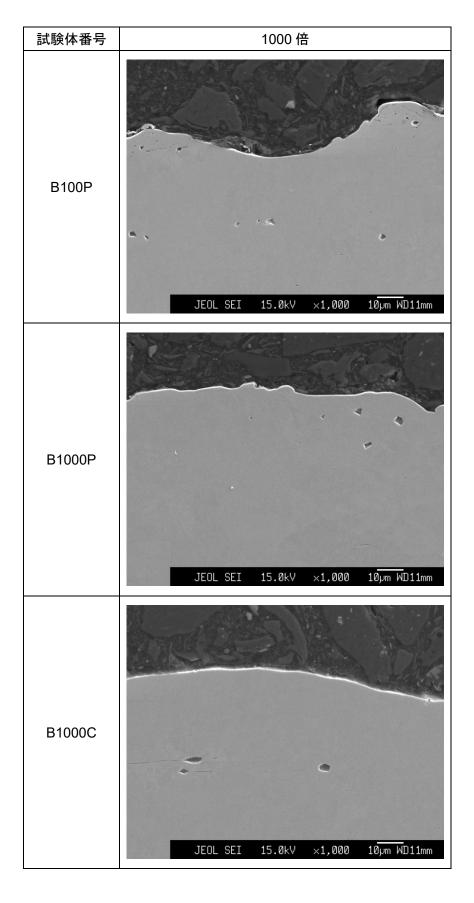
(2) ブラスト



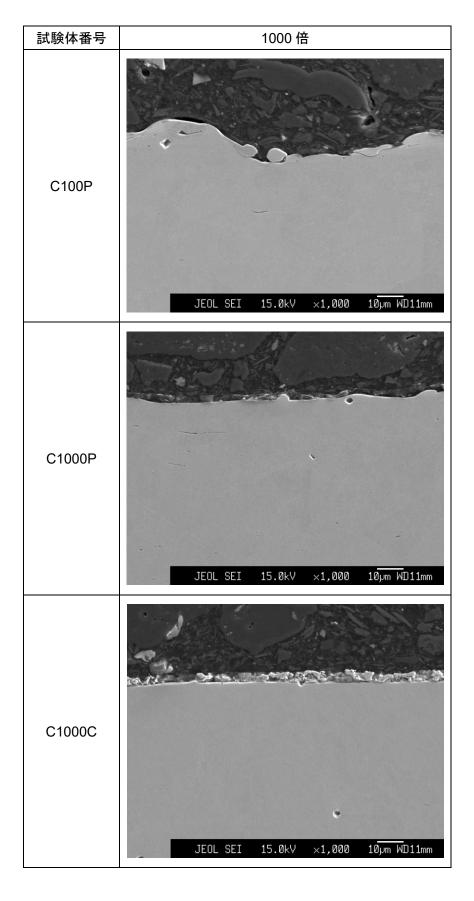
(3) 塗装 A 系



(4) 塗装 B 系

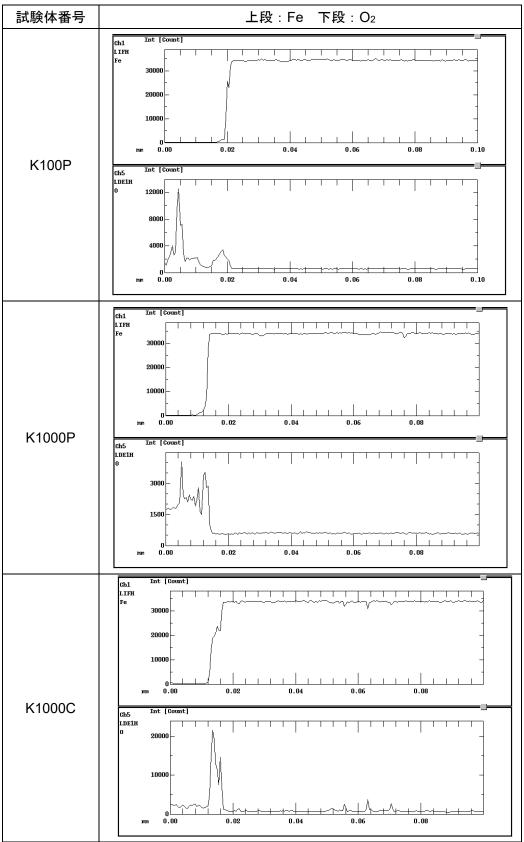


(5) 塗装 C 系

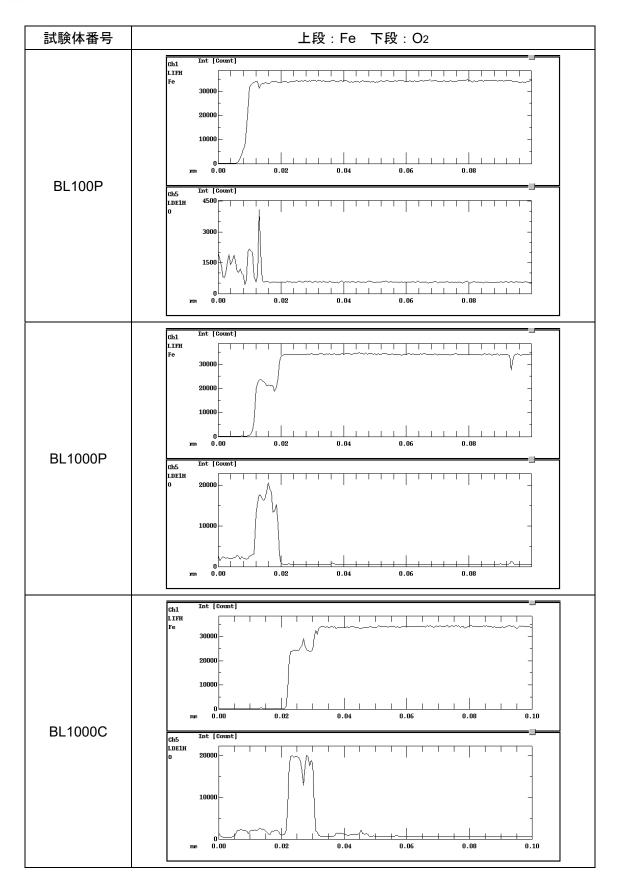


A.1.4 成分分析結果

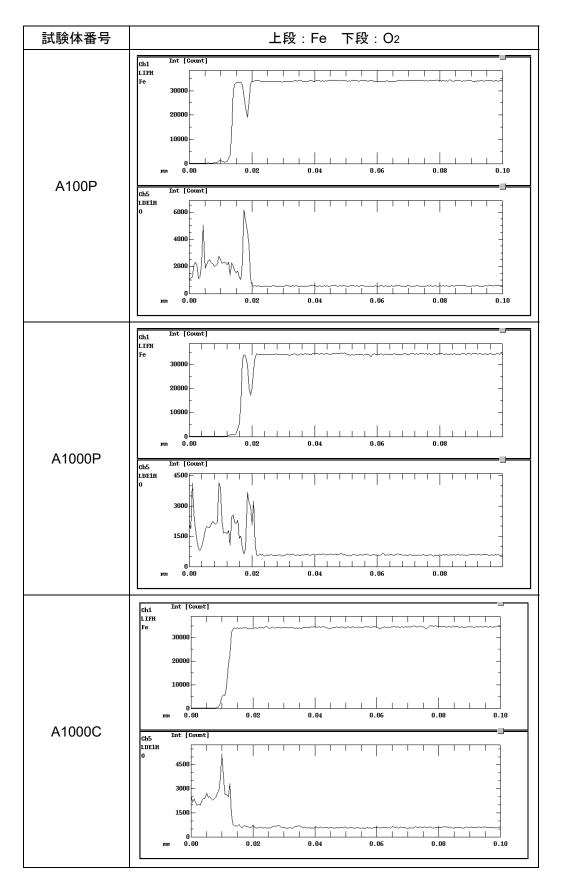
(1) 黒皮



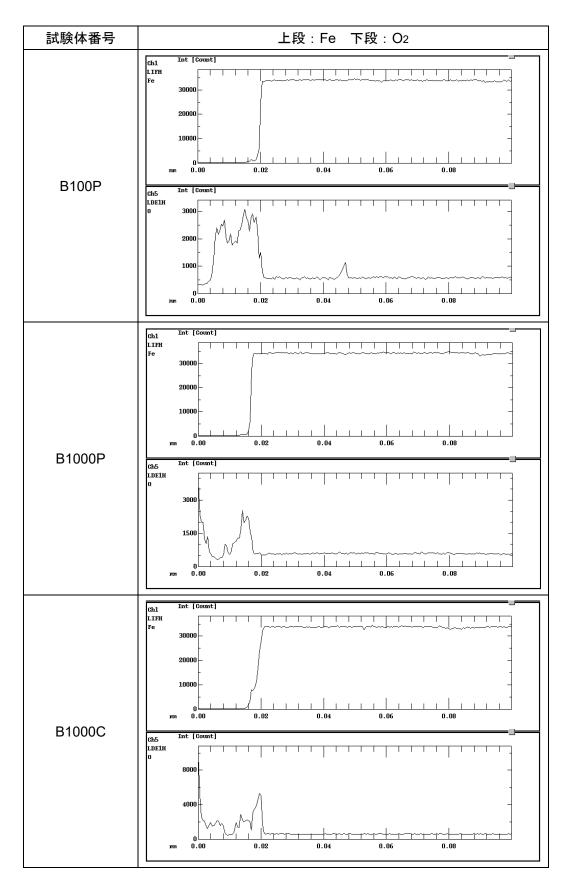
(2) ブラスト



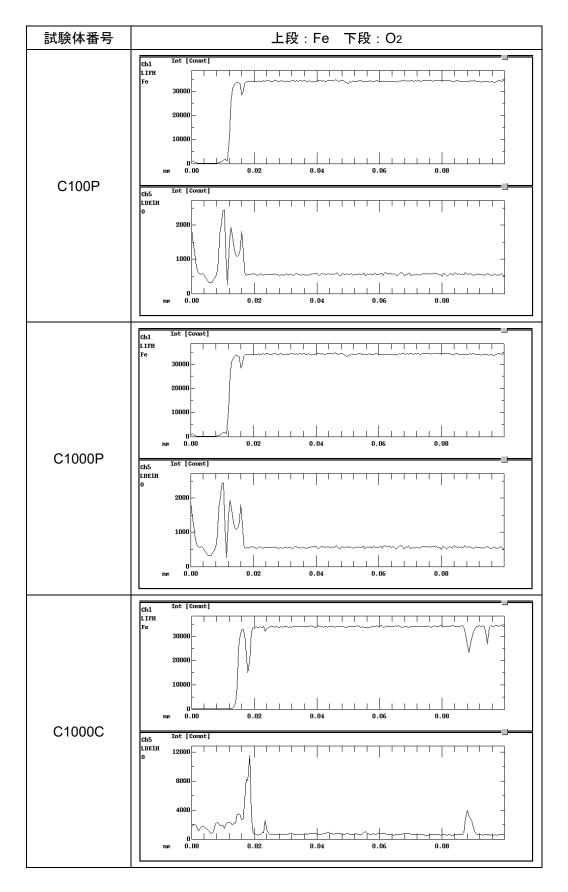
(3) 塗装 A 系



(4) 塗装 B 系



(5) 塗装 C 系



A.2 鋼板および CT 鋼のレーザー処理後の試験体写真

A.2.1 レーザー出力 100W の場合

P100-1, P100-5, P100-8, P100-10, P100-14, P100-16, P100-1 300, P100-1 CT の 8 種類の試験体について以下の写真を、工事写真台帳 パルスレーザー100W にまとめる.

- 1) 施工前表面
- 2) 粗さ計測状況
- 3) 表面温度計測状況
- 4) レーザー処理後表面状況

WG1 レーザークリーニング施工試験

P100

仕様 パルスレーザー100W

屋外施工

施工日 2019.11.07 **天候** 晴 **温度・湿度** 21.6℃・40%

鋼材・試験片	施工前	施工前 さび膜厚(μm)		被試験体温度(°C)		処理時間
150x70x6mm	1	2	3	施工前	照射中最高值	(Sec.)
P100-1	70	85	60	9.3	20.7	98
P100-2	90	70	65	9.6	25.5	62
P100-3	80	65	90	9.8	24.4	61
P100-4	60	50	45	11.1	25.1	57
P100-5	60	85	50	11.5	19.1	58
P100-6	60	50	50	12.8	19.5	60
P100-7	80	70	55	14.3	20.1	55
P100-8	90	70	75	12.1	26.9	60
P100-9	80	75	70	12.1	26.4	68
P100-10	80	60	60	12.9	26.2	63
P100-11	55	90	50	12.9	18.3	49
P100-12	80	110	75	12.6	23.2	57
P100-13	70	75	75	11.1	21.1	53
P100-14	70	100	75	10.1	18.9	63
P100-15	70	65	75	9.9	19.1	70
P100-16	75	110	80	10.5	20.6	56
300x100x6mm						
P100-1 300	60	85	70	15.9	41	136
P100-2 300	50	50	80	19.3	34.4	161
P100-3 300	100	100	55	19.9	31.9	145
CT鋼						
P100 CT	190	160	110	21.1	67	% 840

 備考:
 CT鋼 旧塗膜 塗膜厚

 1100
 1000
 850

[・]赤字試験体 写真記録対象 (P100-8,P100-10 施工完了写真 欠落)

^{・※14}分経過後 施工中断

工事写真台帳

工事名称 WG1 レーザクリーニング施工試験

仕様

パルスレーザー100W

試験体

鋼材150x70x6mm 計16 P100-1 ~ P100-16 鋼材300x100x6mm 計3 P100-1 300 ~ P100-3 300

CT鋼 P100 CT 計 1

施工者 一般社団法人 日本パルスレーザー振興協会



工試験

仕様: パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P100-1 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P100-1 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-1



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-1

45 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-1

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:9.3℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-1

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:9.3℃



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-1

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 施工対表面 最高 温度 20.7℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-1

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 20 .7℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

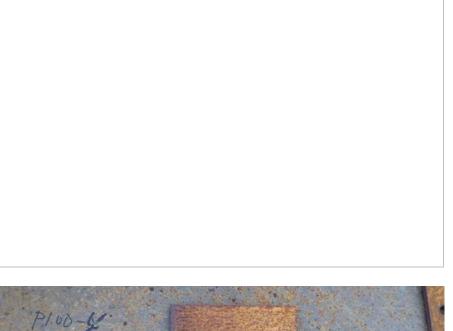
施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

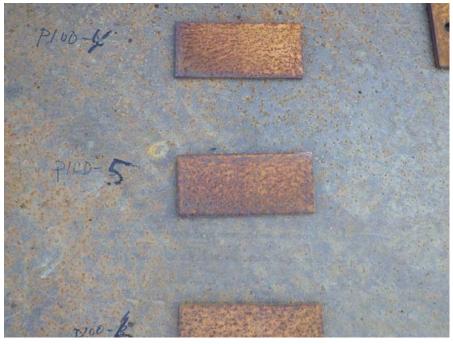
試験片名:P100-1

写真タイトル:施工完了 コメント: 処理時間 98秒



工試験





工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P100-5 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P100-5 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-5

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 60・85

• 50 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-5

写真タイトル:錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 60・85

• 50 μm



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-5 写真タイトル: 照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント: 11.5℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-5

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 19 .1℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

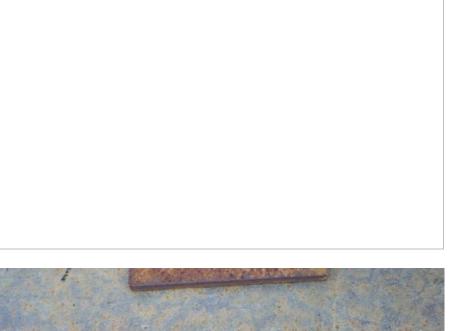
仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

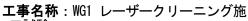
試験片名: P100-5 写真タイトル:施工完了 コメント: 処理時間 58秒



工試験

上記録 仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P100-5 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 58秒





工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P100-5 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 58秒





工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P100-8 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-8

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 90・70 ・75 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-8

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 90・70 ・75 μm



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P100-8 写真を別では、照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:12..1℃



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-8 写真タイトル: 照射状況 及び 照射中表面温度測定状況 コメント: 照射中 表面 最高温度 26

処理時間 60秒



工試験

仕様: パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P100-10 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P100-10 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-10



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-10

-60 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-10

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定状況 コメント:12..9℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-10

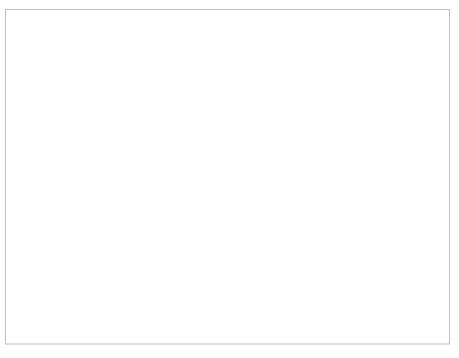
写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 26

. 2°C

処理時間 63秒





工計験 仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P100-14 写真タイトル:施工前



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P100-14 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-14

写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 70・100 ・75 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-14

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 70・100 ・75 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-14

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:10.1℃



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-14 写真タイトル: 照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 18 .9℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-14 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 63秒



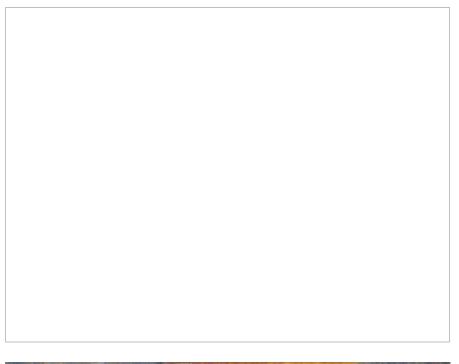
工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-14 写真タイトル:施工完了 コメント: 処理時間 63秒





工計験 仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P100-16 写真タイトル:施工前



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P100-16 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-16

写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 75・110

-80 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-16

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 75・110

-80 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-16

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:10.5℃



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-16 写真タイトル: 照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 20 .6℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-16 写真タイトル: 施工完了



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー100W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P100-16 写真タイトル:施工完了



工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P100-1 300 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P100-1 300 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P100-1 300

60 • 85



工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm

試験片名: P100-1 300



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P100-1 300

写真タイトル: 照射前 試験片 表面 温度測定 状況

コメント: 15.9℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P100-1 300

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 41



工試験

仕様:パルスレーザー100W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P100-1 300 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 136秒



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

上記録 仕様:パルスレーザー100W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P100-1 300 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 136秒



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P100 CT 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P100 CT 写真タイトル:錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 190・16

0·110 μm 旧塗膜厚 3点測定 1100·1000·850

 μ m



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT

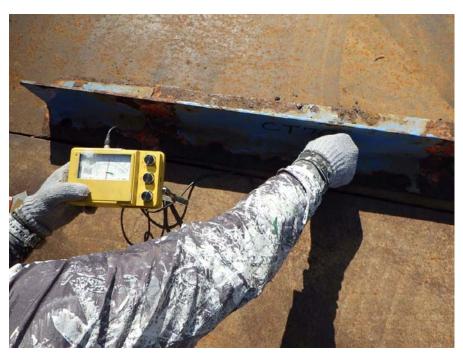
写真タイトル:錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 190・16

0 · 110 μm

旧塗膜厚 3点測定 1100・1000・850

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 190・16

0・110 μm 旧塗膜厚 3点測定 1100・1000・850

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT

写真タイトル:錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 190 • 16

0 · 110 _ μ m

旧塗膜厚 3点測定 1100・1000・850

 μ m

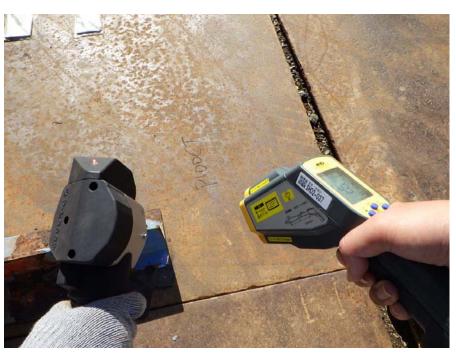


工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P100 CT 写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント: 21.8℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 67 °C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT 写真タイトル: 照射状況



工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 14分経過後 施工

中断



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT 写真タイトル:施工完了

コメント:処理時間 14分経過後 施工中断



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー100W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P100 CT 写真タイトル:施工完了

コメント:処理時間 14分経過後 施工

中断

A.2.2 レーザー出力 500W の場合

P500-1, P500-5, P500-8, P500-10, P100-14, P500-16, P500-1 300, P500-1 CT の 8 種類の試験体について以下の写真を、工事写真台帳 パルスレーザー500W にまとめる.

- 1) 施工前表面
- 2) 粗さ計測状況
- 3) 表面温度計測状況
- 4) レーザー処理後表面状況

WG1 レーザークリーニング施工試験

P500

仕様 パルスレーザー500W

屋外施工

施工日 2019.11.07 **天候** 温度・湿度 22°C・40%

鋼材・試験片	施工前	う さび膜厚	(<i>µ</i> m)	被試験体	温度(°C)	処理時間
150x70x6mm	1	2	3	施工前	照射中最高値	(Sec.)
P500-1	45	55	45	14.6	88.1	26
P500-2	40	80	60	15.3	120	21
P500-3	50	45	45	15.3	85.9	23
P500-4	30	50	45	16	72	21
P500-5	40	55	50	16.7	85.6	23
P500-6	35	45	55	16.8	84.9	20
P500-7	60	60	50	17.5	91.2	16
P500-8	45	35	55	17.1	75.6	16
P500-9	35	60	80	17.4	79	14
P500-10	55	65	50	17.5	89.6	15
P500-11	50	40	35	22.1	57.1	15
P500-12	60	60	40	25.4	93.4	14
P500-13	50	50	35	25.7	72.9	12
P500-14	60	50	50	28.8	91.7	20
P500-15	55	50	65	30.4	90.2	14
P500-16	50	60	65	29	83.6	16
300x100x6mm						
P500-1 300	75	60	65	11.9	61.6	36
P500-2 300	60	40	60	12.5	64	29
P500-3 300	45	45	45	13.8	69.6	25
CT鋼		_				
P500 CT	230	110	50	30.9	279	% 2100

備考:

CT鋼	旧塗膜	È 膜厚
900	700	650

· 赤字試験体 写真記録対象

・※35分経過後 施工中断

工事写真台帳

工事名称 WG1 レーザークリーニング施工試験

仕様

パルスレーザー500W

試験体

鋼材150x70x6mm 計16 P500-1 ~ P500-16 鋼材300x100x6mm 計3 P500-1 300 ~ P500-3 300

CT鋼 P500 CT 計 1

施工者 一般社団法人 日本パルスレーザー振興協会



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-1 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-1 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-1



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-1

45 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-1

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定j状況 コメント:14.6℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-1

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 88

. 1°C



工試験

上記録 仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-1 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 26秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

上記録 仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-1 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 26秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-5 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-5 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-5



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-5

•50 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-5

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント: 16.7℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-5

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 85

. 6°C



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-5 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 23秒



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

上記録 仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-5 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 23秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-8 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-8 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-8



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-8

55 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-8

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント: 17.1℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-8

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 75

. 6°C



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-8 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 16秒



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

上記録 仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-8 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 16秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-10 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-10 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-10



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-10

55 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-10

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定j状況 コメント: 17.5℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-10

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 89

. 6°C



工試験

仕様:パルスレーザー500W

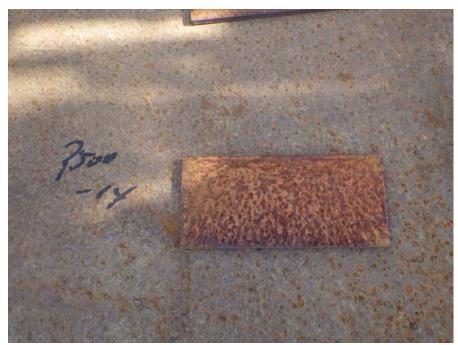
施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-10 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 15秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

上記録 仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-10 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 15秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-14 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P500-14 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-14



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-14

•50 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-14

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定j状況 コメント:28.8℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-14

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 91

. 7°C



工試験

仕様:パルスレーザー500W

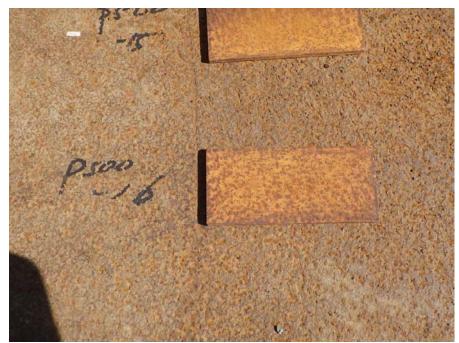
施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-14 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 20秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

上記録 仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-14 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 20秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-16 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-16 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー500W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-16



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-16

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 50・65

·60 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-16

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:29℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様: パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P500-16

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 83

. 6°C



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P500-16 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 16秒



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P500-16 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 16秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P500-1 300 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P500-1 300 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P500-1 300



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm

試験片名: P500-1 300

65 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P500-1 300

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:11.9℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P500-1 300

写真タイトル:照射状況 及び 照射

中表面温度測定状況

コメント: 照射中 表面 最高温度 61



工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P500-1 300 写真タイトル: 施工完了 コメント: 処理時間 36秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P500-1 300 写真タイトル:施工完了 コメント:処理時間 36秒



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 C T鋼 試験片名: P500 CT 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W

施工対象: 錆 旧塗膜 C T 鋼 試験片名: P500 CT 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 230・11

 $0.50 \mu m$

旧塗膜厚 3点測定 900·700·650

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 230・11

0 • 50 μm

旧塗膜厚 3点測定 900・700・650

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT

0·50 μm

旧塗膜厚 3点測定 900·700·650

 μ m



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT

写真タイトル:錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 230・11

 $0.50 \, \mu \, \mathrm{m}$

旧塗膜厚 3点測定 900·700·650

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 230・11

0・50 μm 旧塗膜厚 3点測定 900・700・650

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

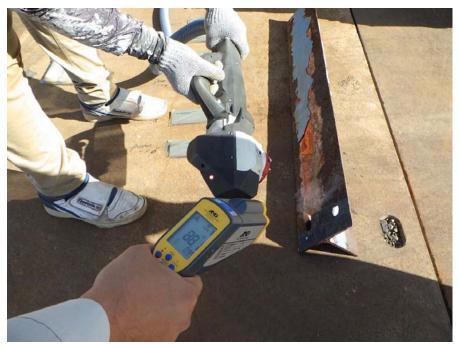
仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:30.9℃





工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P500 CT 写真タイトル:照射状況 及び 照射 中表面温度測定状況 _________

コメント: 照射中 表面 最高温度 27

9°C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT 写真タイトル: 照射状況



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT 写真タイトル: 照射状況



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT 写真タイトル: 施工完了

コメント:施工35分(21000秒)経過後

施工中断



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT 写真タイトル:施工完了

コメント:施工35分(21000秒)経過後

施工中断



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象:錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P500 CT 写真タイトル:施工完了

コメント:施工35分(21000秒)経過後

施工中断



工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼 試験片名: P500 CT 写真タイトル: 施工完了 コメント: 施工35分(21000秒) 経過後

施工中断



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザー500W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼 試験片名: P500 CT 写真タイトル: 施工完了 コメント: 施工35分(21000秒) 経過後

施工中断

A.2.3 レーザー出力 1000W の場合

P1000-1, P1000-5, P1000-8, P1000-10, P1000-14, P1000-16, P1000-1 300, P1000-1 CT の 8 種類の試験体について以下の写真を、工事写真台帳 パルスレーザー1000W+50W にまとめる.

- 1) 施工前表面
- 2) 粗さ計測状況
- 3) 表面温度計測状況
- 4) レーザー処理後表面状況

WG1 レーザークリーニング施工試験

P1000+50

仕様 パルスレーザー1000W+50w

屋外施工

施工日 2019.11.07 **天候** 温度・湿度 24°C・33%

鋼材・試験片	施工前	施工前 さび膜厚(μm)		1000w被試験体温度(°C)		50w被試験体温度(°C)		1000w処理時間	50w処理時間
150x70x6mm	1	2	3	施工前	照射中最高値	施工前	照射中最高値	(Sec.)	(Sec.)
P1000+50-1	55	65	65	28.5	90.9	35.4	46.6	11	10
P1000+50-2	50	55	55	28.7	77.4	34.4	41.8	10	6
P1000+50-3	55	60	55	29	56.9	31.3	38.9	8	7
P1000+50-4	60	65	50	29.8	63.5	31.8	36	8	5
P1000+50-5	35	30	35	30.9	50.3	34.3	37.6	9	5
P1000+50-6	65	45	60	21.1	78.9	35.3	49.5	10	7
P1000+50-7	60	65	55	33.1	68	36.5	42.3	9	8
P1000+50-8	45	55	25	33.4	60.6	36.5	42.5	10	7
P1000+50-9	60	50	55	32.9	71.3	33.8	43.6	9	6
P1000+50-10	70	60	50	33.1	96.9	36.7	46.9	10	7
P1000+50-11	50	60	50	32.5	72.3	34.2	44.6	9	7
P1000+50-12	50	50	60	32.8	59.3	34.4	43.2	9	6
P1000+50-13	30	25	65	32.4	58.1	37.6	41.5	9	6
P1000+50-14	80	35	60	32.3	73.7	37.8	49.5	10	7
P1000+50-15	65	65	65	32.2	78.7	34.7	44.7	11	5
P1000+50-16	50	50	60	31.9	51.3	33.9	37.9	10	6
300x100x6mm									
P1000+50-1 300	32	35	55	32.3	85.5	37.3	44.7	23	14
P1000+50-2 300	50	55	30	31.4	89.6	39.6	47.3	24	15
P1000+50-3 300	75	35	60	35.8	105.4	34.2	42.7	22	14
CT鋼									
P1000+50 CT	180	160	110	29.5	162.3	35.8	53.2	※2700	600

 備考:
 CT鋼
 旧塗膜
 塗膜厚

 950
 850
 950

· 赤字試験体 写真記録対象

·※45分経過後 施工中断

工事写真台帳

工事名称 WG1 レーザークリーニング施工試験

仕様 パルスレーザー1000W+50W

鋼材150x70x6mm 計16 P1000+50-1~ 試験体 鋼材300x100x6mm 計3 P1000+50 300-1~ CT鋼計1 P1000+50 CT

施工者 一般社団法人 日本パルスレーザー振興協会



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-1 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-1

写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 55・65 ・65 μm



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-1

65 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-1

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定j状況 コメント: 28.5℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-1

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:照射中 表面 最高温度 90

. 9°C



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-1

写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:50W 照射前 表面温度 35.4

 $^{\circ}$ C

照射中 表面 最高温度 46.6℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-1

写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 11秒 50W 処理時間 10秒



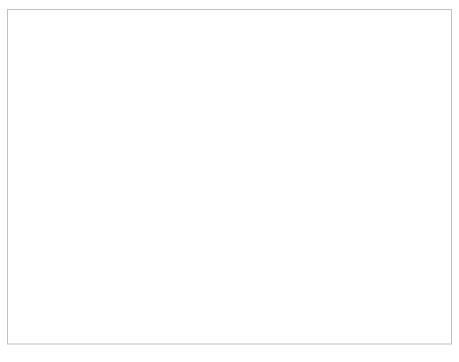
工事名称:WG1 レーザークリーニング施

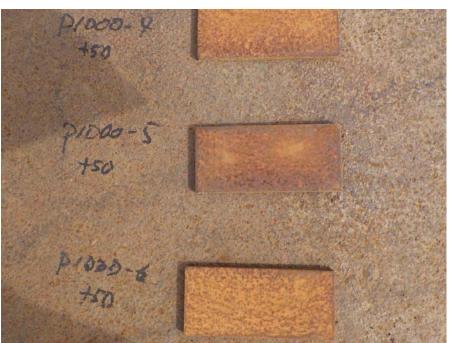
工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-1 写真タイトル:施工完了

コメント: 1000W 処理時間 11秒 50W 処理時間 10秒





工試験



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W

施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P1000+50-5 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P1000+50-5

35 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-5

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 35・30

35 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-5

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:28.5℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P1000+50-5

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高 温度 50.3℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

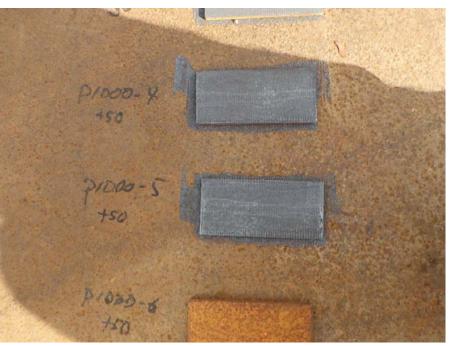
仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P1000+50-5

写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況 コメント:50W 照射前 表面温度 34.3

照射中 表面 最高温度 37.6℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

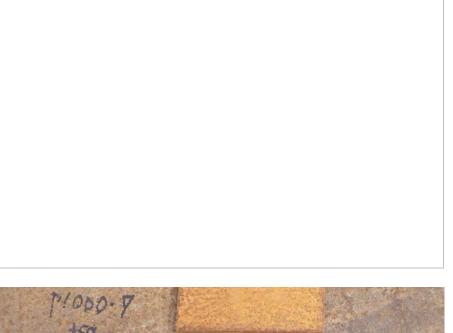
試験片名: P1000+50-5 写真タイトル:施工完了

コメント: 1000W 処理時間 9秒 50W 処理時間 5秒



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-5 写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 9秒 50W 処理時間 5秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P1000+50-8 写真タイトル:施工前





工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P1000+50-8 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-8

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 45・55 ・25 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-8

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 45・55 ・25 μm



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-8 写真タイトル: 照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント: 33.4℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-8

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高 温度 60.6°C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-8

写真タイトル:50W 照射前 試験片

表面温度測定」状況 コメント:36.5℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

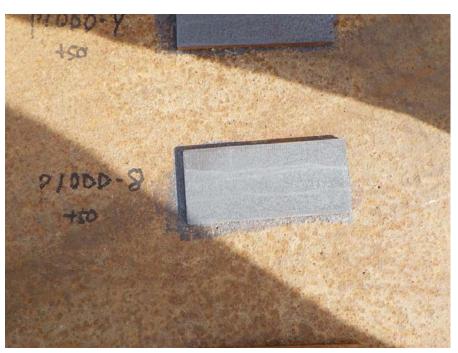
試験片名: P1000+50-8

写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:50W 照射中 表面 最高温

度 42.5°C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名:P1000+50-8

写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 10秒 50W 処理時間 7秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

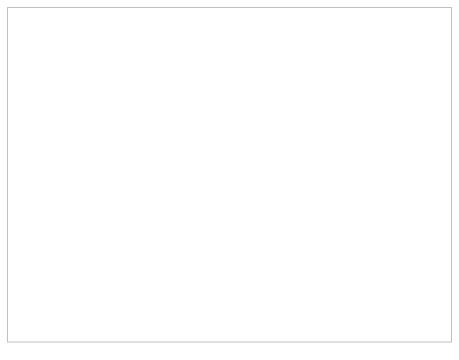
工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-8 写真タイトル:施工完了

コメント:1000W 処理時間 10秒

50W 処理時間 7秒





工計験 仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-10 写真タイトル:施工前



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P1000+50-10 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-10

•50 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-10

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 70・60

 $-50 \mu m$



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-10

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:33.1℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-10

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高

温度 96.9℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-10

写真タイトル:50W 照射前 試験片

表面温度測定j状況 コメント:36.7°C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-10

写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:50W 照射中 表面 最高温

度 46.9℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

記験片名:P1000+50-10 写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 10秒 50W 処理時間 7秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-10 写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 10秒 50W 処理時間 7秒



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-14 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-14 写真タイトル:施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-14

写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 80・35 ・60 μm



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-14

-60 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-14

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定j状況 コメント:32.3℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-14

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高

温度 73.7℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-14

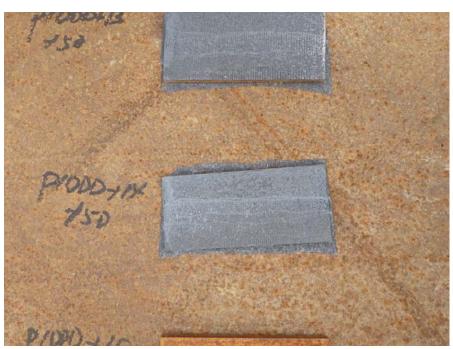
写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:50W 照射前 表面温度 37.8

 $^{\circ}$ C

照射中 表面 最高温度 49.5℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-14

写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 10秒 50W 処理時間 7秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

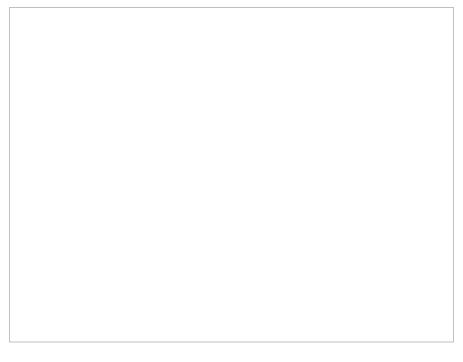
工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-14 写真タイトル:施工完了

コメント:1000W 処理時間 10秒

50W 処理時間 7秒





工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-16 写真タイトル:施工前



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名: P1000+50-16 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-16

-60 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-16

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 50・50

-60 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-16

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:31.9℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-16

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高 温度 51.3°C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-16

写真タイトル:50W 照射前 試験片

表面温度測定」状況

コメント:50W 照射前 表面温度 33.9 ℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

試験片名: P1000+50-16

写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:50W 照射中 表面 最高温 度 37.9℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 150x70x6mm

記験片名:P1000+50-16 写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 10秒 50W 処理時間 6秒

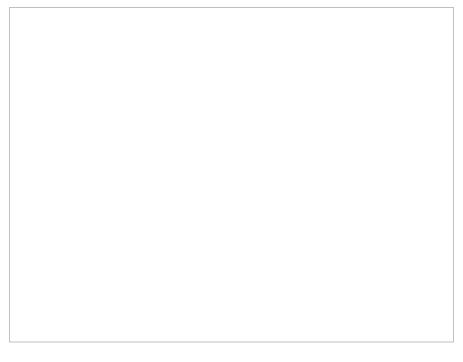


工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 150x70x6mm 試験片名:P1000+50-16

写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 10秒 50W 処理時間 6秒





工計験 仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P1000+50-1 300 写真タイトル:施工前



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P1000+50-1 300 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm

試験片名:P1000+50-1 300 写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 32・35

55 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P1000+50-1 300

写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 32・35 ・55 μm



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P1000+50-1 300

写真タイトル:照射前 試験片 表面

温度測定」状況 コメント:32.3℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm

試験片名: P1000+50-1 300

写真タイトル: 1000W照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高 温度 85.5℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm

試験片名: P1000+50-1 300 写真タイトル:50W 照射前 試験片

表面温度測定」状況

コメント:50W 照射前 表面温度 37.3 °C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P1000+50-1 300

写真タイトル:50W 照射状況 及び

照射中表面温度測定状況

コメント:50W 照射中 表面 最高温

度 44.7℃



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名: P1000+50-1 300 写真タイトル: 施工完了 コメント: 1000W 処理時間 23秒 50W 処理時間 14秒



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

上 武 映 仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 鋼材 300x100x6mm 試験片名:P1000+50-1 300 写真タイトル:施工完了 コメント:1000W 処理時間 23秒 50W 処理時間 14秒





上事名物・IIII レ / / / / / 工試験 仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象:錆 旧塗膜 CT鋼 試験片名:P1000+50 CT 写真タイトル:施工前



工事名称: WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 C T鋼 試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 C T鋼 試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 施工前



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W

施工対象: 錆 旧塗膜 C T鋼 試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 施工前

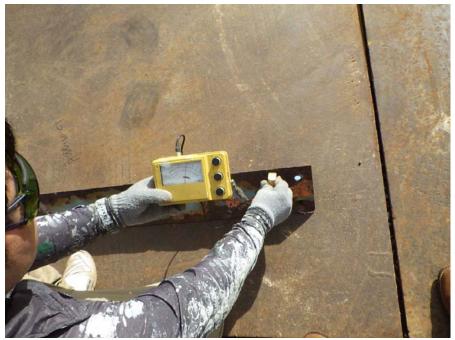


工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 施工前



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル:錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 180・16

0·110 μm 旧塗膜厚 3点測定 950·850·950

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 180・16

0・110 μm 旧塗膜厚 3点測定 950・850・950

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル: 錆膜厚測定状況

コメント: 錆膜厚 3点測定 180 - 16

0 110 <u>μ</u> m

旧塗膜厚 3点測定 950·850·950

 μ m



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P1000+50 CT 写真タイトル: 錆膜厚測定状況 コメント: 錆膜厚 3点測定 180・16

0·110 μm 旧塗膜厚 3点測定 950·850·950

 μ m



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル: 照射前 試験片 表面 温度測定 状況

コメント: 29.5℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 1000W照射状況



工試験

仕様: パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 照射状況 及び

中表面温度測定状況

コメント: 1000W 照射中 表面 最高 温度 162.3°C



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル: 1000W 照射完了 コメント: 1000W 処理時間 45分経過後 照射中断



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル: 1000W 照射完了 コメント: 1000W 処理時間 45分経過後

照射中断



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P1000+50 CT 写真タイトル:50W 照射状況 コメント:50W 照射前 表面温度 35.8

 $^{\circ}$ C

照射中 表面 最高温度 53.2℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT

写真タイトル:50W 照射状況 コメント:50W 照射前 表面温度 35.8

°C

照射中 表面 最高温度 53.2℃



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル:施工完了

コメント:50W 処理時間 10分



工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P1000+50 CT 写真タイトル:施工完了 コメント:50W 処理

処理時間 10分



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W

施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼 試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 施工完了 コメント: 50W 処理時間

処理時間 10分



工事名称:WG1 レーザークリーニング施

工試験

仕様:パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼

試験片名:P1000+50 CT 写真タイトル:施工完了 コメント:50W 処理

処理時間 10分



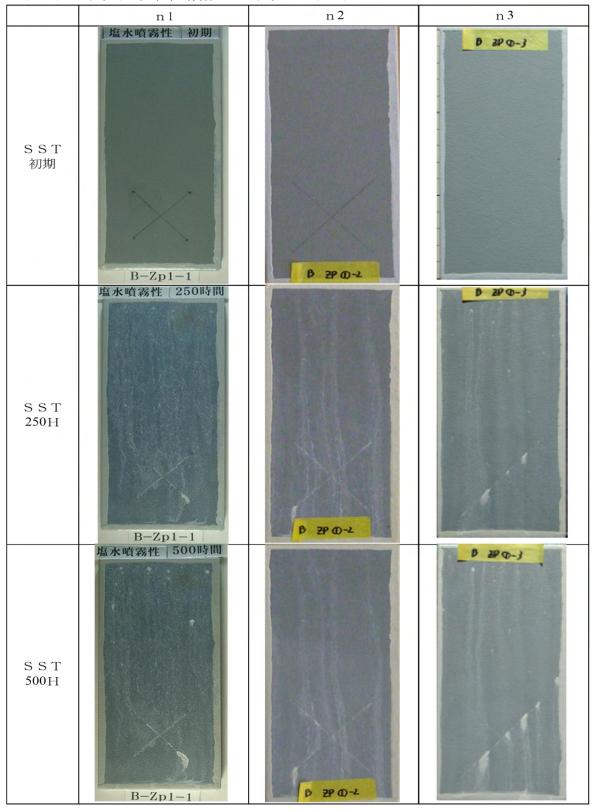
工事名称: WGI レーザークリーーング 工試験 仕様: パルスレーザ-1000W+50W 施工対象: 錆 旧塗膜 CT鋼 試験片名: P1000+50 CT 写真タイトル: 施工完了 コメント: 50W 処理時間 10分

B. 塩水噴霧試験および複合サイクル試験 試験体外観

B.1 塩水噴霧試験

B.1.1 有機ジンクリッチペイント

ブラスト グリッド (B) /有機ジンクリッチペイント



ブラスト グリッド (B) /有機ジンクリッチペイント

	/ リット (B) / 有機シンク n1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 B-Zp1-1	β 2 9 Φ-2	0 200-3
SST 1000H	塩水噴霧性 1000時 B-Zp1-1	p 29 0-2	2.4MPa
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 B-Zp1-1 のM/sent ≤ 257/炎流	身 29 の-2 5.6N/mm2 ジンク凝集	2.4MB

耐中性塩水噴霧性

ディスクサンダー(DS)/有機ジンクリッチペイント

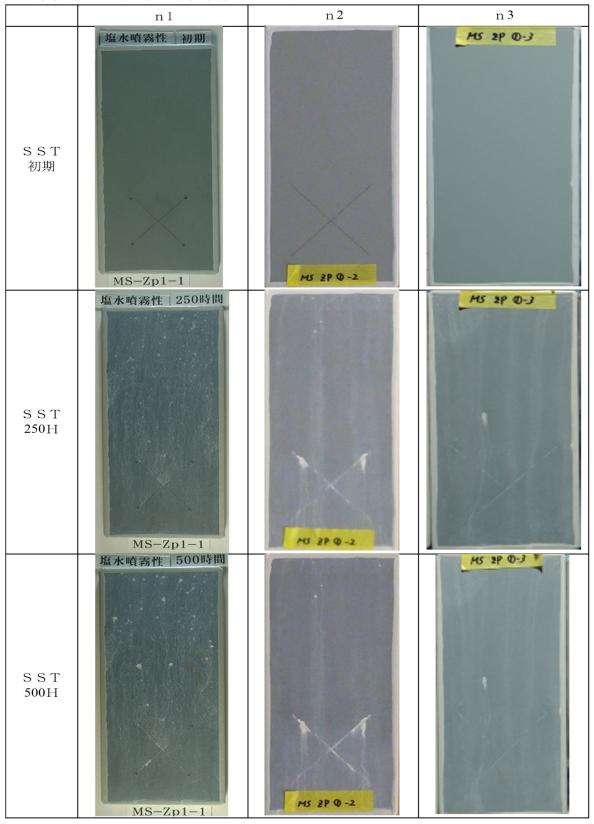


ディスクサンダー (DS) /有機ジンクリッチペイント

	n l	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 DS-Zp1-1	P5 ZP O-2	D2 Sh D-7
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間	P5 2P Q-2	21 MP2
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 DS-Zp1-1 ON/sun S 253/ 块粉	5.8N/mm2 ジンク製集/素地剥離	21 MP2

耐中性塩水噴霧性

黒皮鋼板(無処理)(MS)/有機ジンクリッチペイント



黒皮鋼板(無処理) (MS) /有機ジンクリッチペイント

黒皮鋼板(n1	n2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 MS-Zp1-1	AS 2P Q -2	MS 2P 0-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 MS-Zp1-1	AG 2P Q -2	2.0 MPa
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 MS-Zp1-1 6N/mm² S 257/度配	AS 2P Q-2 5.8N/mm2 ジンク凝集	2.0 MPa

耐中性塩水噴霧性

パルスレーザー100W (R1) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
SST 初期	塩水噴霧性 初期 R1-Zp1-1	R1 2P 0-2	RI 2P 00-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間	RI 2P 0-2	RU 2P 0-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間	RI 2P 0-2	RI 2PO-3

パルスレーザー100W (R1) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間	RI 2P 0-2	RI 2P 0-3
S S T 1000H	a永噴霧性 1000時間	RI 2P 0-2	RI 2P D-3
引張試験結果	塩水噴霧性 1000時間 R1-Zp1-1 2/2 / // / 李水 茨朱	RI 2P 0-2 2.4N/mm2 素地剥離	RI 2P D-3

耐中性塩水噴霧性

パルスレーザー500W (R2) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 R2-Zp1-1	R2 2P 0-2	Rz ap m-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R2-Zp1-1	R2 2P 00-2	
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R2-Zp1-1	R2 2P 00-2	W. 80.3

パルスレーザー500W (R2) /有機ジンクリッチペイント

	n1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 R2-Zp1-1	R2 2P 0-2	Rz ap n J
SST 1000H	塩水噴霧性 1000時間	R2 2P 00-2	RZ EP O J
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R2-Zp1-1 3.7% Acc 4 m 表 *	R2 即 0-2 2.8N/mm2 素地刺離	I.7HB

耐中性塩水噴霧性

パルスレーザー1000+50W (R3) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 R3-Zp1-1	K3 240-5	RJ 2PO-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R3-Zp1-1	R3 2PQ-2	KJ 29-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間	RJ 2PQ-2	K3 50-3

パルスレーザー1000+50W (R3) /有機ジンクリッチペイント

	n1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間	N NO-2	N 2P Ø -3
S S T 1000H	a水噴霧性 1000時間	R3 EPO-2	PS EP 0-3
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R3-Zp1-1 3.3 M/m² 3.3 M/m² 3.2	以 2PQ-2 2.0N/mm2 素地刺離	PS EPO-3

耐中性塩水噴霧性

CWレーザー1000+50W (R4) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
SST 初期	塩水噴霧性 初期 R4-Zp1-1	(ra 3ba)-5	AY BPO-J
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R4-Zp1-1	[14 3pa)-2	K5 240-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R4-Zp1-1	[LS Z120] -2	K4 200 3

CWレーザー1000+50W (R4) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間	R& EpQ-2	R4 3PO-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 R4-Zp1-1		A4 2PO-3
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R4-Zp1-1 6 N/sun* ミンテア/皮が	RS 2Pの-2 5.6N/mm2 ジンク数集	AY 3PO-3

耐中性塩水噴霧性

CWレーザー2000W (R5) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 R5-Zp1-1	R5 EPO-2	P4- 200-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R5-Zp1-1	R5 270-2	At 200-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R5-Zp1-1	Rt 200-2	At 200-3

CWレーザー2000W (R5) /有機ジンクリッチペイント

	- 2000 W (R3) / 有機シン n1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 R5-Zp1-1	R\$ 8P0-2	Rt 800-3
	塩水噴霧性 1000時間	RESTRICTION OF THE PARTY OF THE	Rt 200-3
SST 1000H	R5-Zp1-1	At 2PO-2	20 MPa
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R5-Zp1-1 6N/xm² ≤ 257/皮術	Rt ZPO-2 5.8N/mm2 ジンク凝集/素地剥離	2.6 MP2

B.1.2 エポキシ樹脂塗料下塗

耐中性塩水噴霧性

ブラスト グリッド (B) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 B-Ep1-1	B EP O-L	B EP Q-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間	B EP O-2	B EP 0.3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 B-Ep1-1	B EP O-2	B EP 0-3

ブラスト グリッド (B) /エポキシ樹脂塗料下塗

	フリット (B) / エホギン(i	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 B-Ep1-1	B EP O-Z	B EP 0-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 B-Ep1-1	B EP O-Z	EP D.3
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 B-Ep1-1 6N/ma*≤ ませ/下並	5.9N/mm2 工术凝集/ 素地刺離	B EP 0-3 5:9 MPA

耐中性塩水噴霧性

ディスクサンダー (DS) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 DS-EP1-1	D2 EP 0-2	DS EP Ø-J
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 DS-EP1-1	DS EP 0-2	DS EP O-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 DS-EP1-1	DS EP O-2	D5 EP 00-3

ディスクサンダー (DS) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧件 750時間 DS-EP1-1	DS EP Q-2	DS EP 00-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 DS-EP1-1	D2 E5 0-5	DS EP 00-J
引張試験 結果	DS-EP1-1 6N/mar ≤ 青地/下坡	DS EP 0-2 6.0N/mm2 工术凝集/素地刺離	J.S.MPA

耐中性塩水噴霧性

黒皮鋼板(無処理) (MS) /エポキシ樹脂塗料下塗

黒皮鋼板(無処理) (MS) / エボギ n1	n 2	n3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 MS-EP1-1	NO EP O-Z	MS EP O-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 MS-EP1-1	PT EP O-2	PG AP 0-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 MS-EP1-1	AS EP Q-2	AS EP 0-3

黒皮鋼板(無処理) (MS) /エポキシ樹脂塗料下塗

無反劑似	n 1	ン側厢室科下室 n2	n3
S S T 750H	三水噴霧性 1000時間 MS-EP1-1	POS EP Q-Z	MS EP (I)-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 MS−EP1−1	PO EP Q-2	AS EP O-3 S.SMP2
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 MS-EP1-1 6N/aa*≤ ****	「 5P の-2 5.9N/mm2 エポ凝集	ESMPA

耐中性塩水噴霧性

パルスレーザー100W (R1) /エポキシ樹脂塗料下塗

	サー100W (R1) /エボキ n1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 R1-EP1-1	RI EP D-2	RI EP O-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R1-EP1-1	RI EP 0-2	RI EPO-J
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R1-EP1-1	RI EP O-2	RI EP O-J

パルスレーザー100W (R1) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n2	n3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 R1-EP1-1	RI EP 0-2	RI EPO-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 R1-EP1-1	RI EP 0-2	RI EP 0-3 3.1 MP2
引張試験結果	塩水噴霧性 1000時間 R1-EP1-1 SN/mar ≤ \$12/下世	R/ EP 9-2 5.8N/mm2 素地刺離/エボ凝集	RI EP 0-3 3.1 MP2

耐中性塩水噴霧性

パルスレーザー500W (R2) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性 初期 R2-EP1-1	R2 EP 0-2	RZ EPO-J
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間	R2 EP 0-2	
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間	R2 EP0-2	R2 EPO

パルスレーザー500W (R2) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 R2-EP1-1	R2 EPO-2	RZ EPO-JA
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 R2-EP1-1	R2 EP 0-2	R2 EPO-3 Q3 MPA
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R2-EP1-1 5N/mat ≤ 青北/下流	R2 FPの-2 5.8N/mm2 素地剥離/エボ凝集	R2 EPO-3 43 MP2

耐中性塩水噴霧性

パルスレーザー1000+50W (R3) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n2	n 3
S S T 初期	度水噴霧性 初期 R3-EP1-1	P3 EP 0-2	R3 EP O-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R3-EP1-1	P3 Ep O-2	RI EPO-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R3-EP1-1	R3 Ep 0-2	N EPOS

パルスレーザー1000+50W (R3) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 R3-EP1-1	R3 Ep 0-2	R3 EP O-3
S S T 1000H	[永噴霧性] 1000時間	R3 EP 0-2	RI EPO-J 3.8HPA
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R3-EP1-1 6N/ma*≤ まル/下並	R3 EP 0-2 5.8N/mm2 素地剥離/エポ凝集	3.5HP2

耐中性塩水噴霧性

CWレーザー1000+50W (R4) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n 2	n 3
S S T 初期	塩水噴霧性「初期」 R4-EP1-1	Ry 5P00-2	R9 EPQ-3
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R4-EP1-1	RY EPO -2	R4 - 6P@-3
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R4-EP1-1	Ay EPO -2	10-170-3

CWレーザー1000+50W (R4) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n 1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間	Ry EPO -2	Ry EPO-3
S S T 1000H		Ry EPO-2	RY EPO-3 4-1 MR
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R4-EP1-1 6N/m² < x½/均衡	Ry EPO -2 5.9N/mm2 工术凝集/素地剥離	RY EPO-3 4-1 MR

耐中性塩水噴霧性

CWレーザー2000W (R5) /エポキシ樹脂塗料下塗

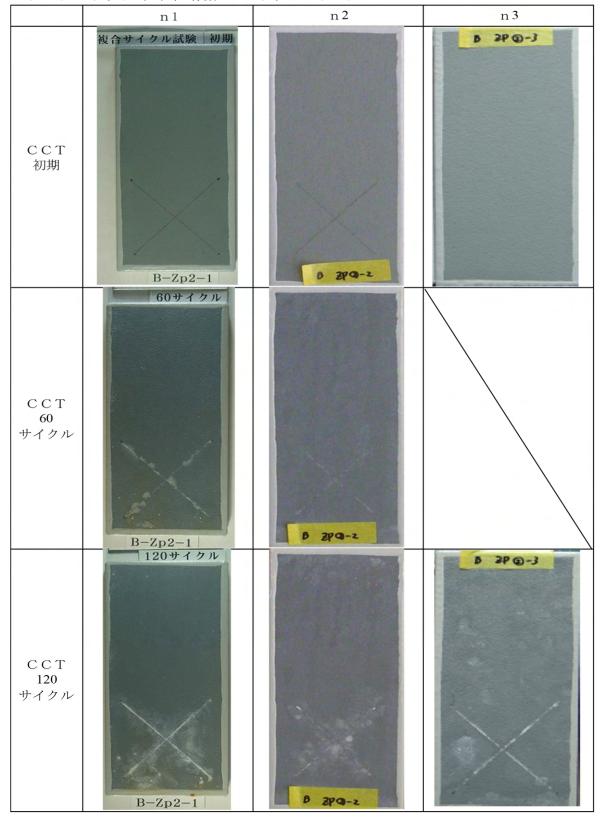
	n1	n 2	n 3
SST 初期	「塩水噴霧性 初期	RE EPO-2	St Ebo-7
S S T 250H	塩水噴霧性 250時間 R5-EP1-1	NE EPO-2	PS LY OF J
S S T 500H	塩水噴霧性 500時間 R5-EP1-1	24 EP 0 - 2	RS EVO-3

CWレーザー2000W (R5) /エポキシ樹脂塗料下塗

	n1	n 2	n 3
S S T 750H	塩水噴霧性 750時間 R5-EP1-1	RE EPO-2	Rts Epon-3
S S T 1000H	塩水噴霧性 1000時間 R5-EP1-1	Rt EPO-2	RS EPO-3 S.3HPa
引張試験 結果	塩水噴霧性 1000時間 R5-EP1-1 6N/m S 12½/時春旬	ルチ SPの-2 5.8N/mm2 エポ凝集/素地剥離	RS EPO-3 5.3MPa

B.2 複合サイクル試験

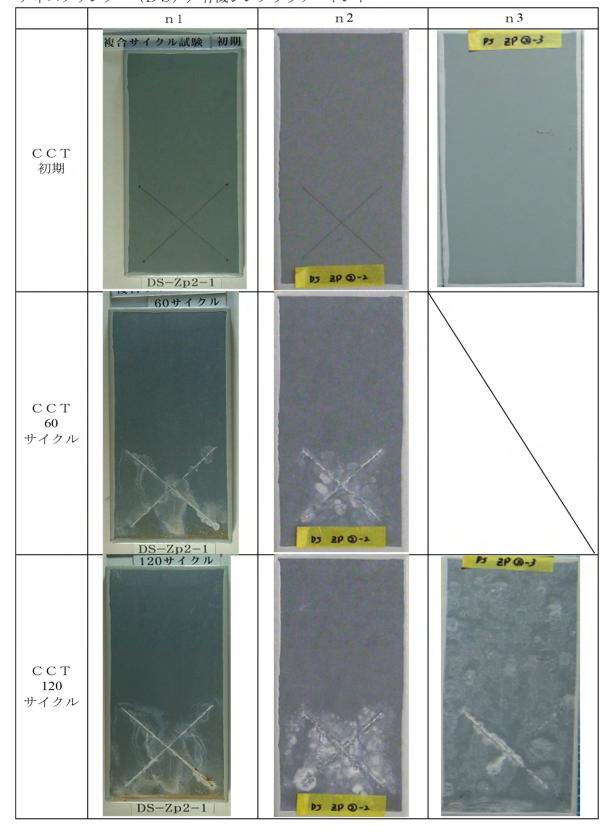
ブラスト グリッド(B)/有機ジンクリッチペイント



ブラスト グリッド (B) /有機ジンクリッチペイント

	/ リット (B) / 有機ンシッ n1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	180サイクル B-Zp2-1	B 2PQ-2	
CCT 240 サイクル	B-Zp2-1	B 2P9-2	B 2P @-3
引張試験 結果	B-Zp2-1 6N/mm ² ≤ >フ2/流流	B 2PQ-2 6.0N/mm2 ジンク凝集	1. SMPa

複合サイクル腐蝕性試験 ディスクサンダー (DS) / 有機ジンクリッチペイント

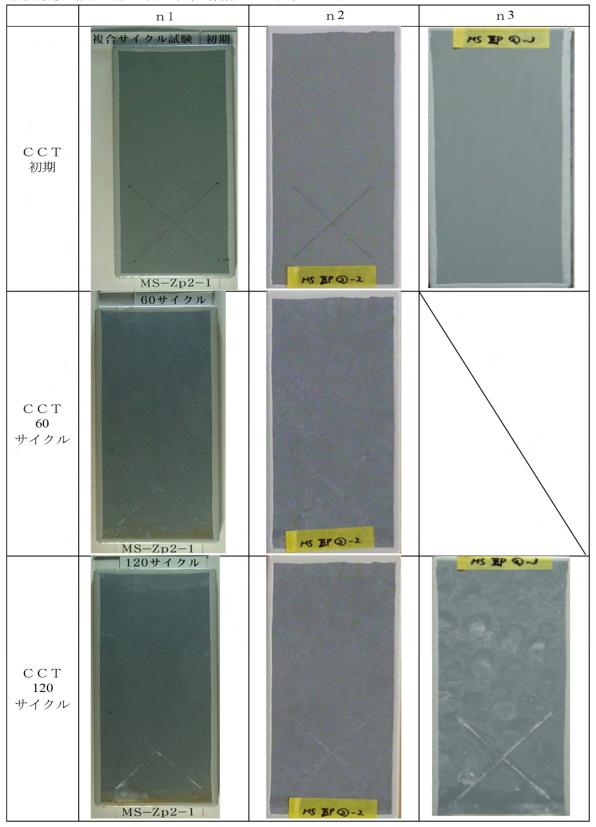


ディスクサンダー (DS) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	180サイクル DS-Zp2-1	P3 2P ℚ-1	
CCT 240 サイクル	DS-Zp2-1	D7	PS 2P @-3
引張試験 結果	DS-Zp2-1 6 N/m² \\ 3 ***	by ap ②-2 5.5N/mm2 ジンク凝集/素地剥離	PS EP @-3

複合サイクル腐蝕性試験

黒皮鋼板(無処理)(MS)/有機ジンクリッチペイント



黒皮鋼板(無処理) (MS) /有機ジンクリッチペイント

	(無处理) (MS) / 有機2	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	180サイクル MS-Zp2-1	HS BFQ-2	
CCT 240 サイクル	240サイクル MS-Zp2-1	NS 290-2	MS TP Q-J
引張試験結果	1S-Zp2-1 6 N/mx * 全	MS 270-2 6.0N/mm2 ジンク凝集	AS EP Q-J

複合サイクル腐蝕性試験

パルスレーザー100W (R1) /有機ジンクリッチペイント

	-サー100W(R1)/有機シ n1	n 2	n 3
C C T 初期	複合サイクル試験「初期 R1-Zp2-1	N 3P Q-2	N TO 3
CCT 60 サイクル	R1-Zp2-1	PI 2P 20-2	
CCT 120 サイクル	120サイクル 120サイクル	N 2P D-2	RI PP D-J

パルスレーザー100W (R1) /有機ジンクリッチペイント

	n1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	180サイクル R1-Zp2-1	RI 29 00-2	
CCT 240 サイクル	R1-Zp2-1	ki 560-7	RI PP S
引張試験 結果	R1-Zp2-1 3.2N/mmz 素ペ/ジッフ	料 2PQ-2 3.1N/mm2 ジンク凝集/素地刺離	EL PO-3

複合サイクル腐蝕性試験

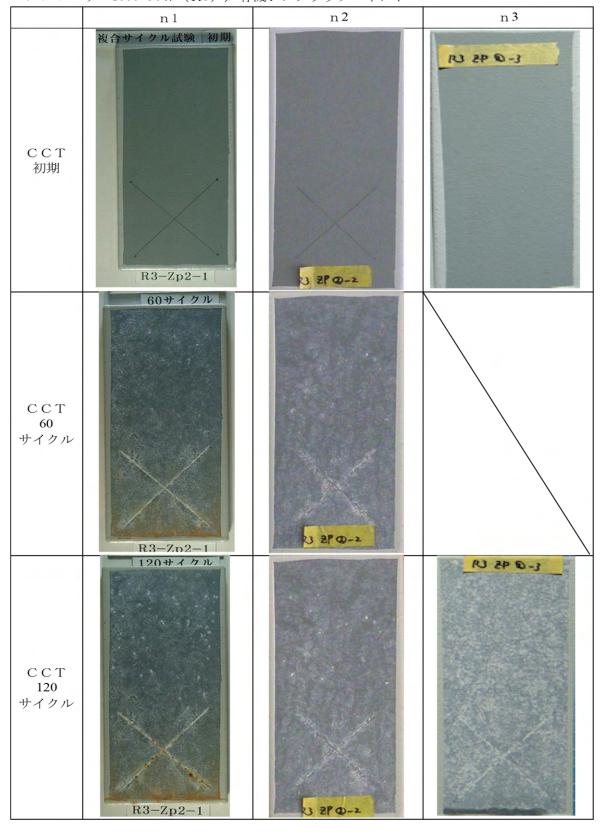
パルスレーザー500W (R2) /有機ジンクリッチペイント



パルスレーザー500W (R2) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	R2-Zp2-1	R2 2P00-2	
CCT 240 サイクル	R2-Zp2-1	R2 2PQ-2	Rt 20-3
引張試験 結果	R2-Zp2-1 6 N/ant をシップ/ 機能	Rz 程の-2 5.1N/mm2 ジンク凝集/素地剥離	Rt 20-3 25 MPa

複合サイクル腐蝕性試験 パルスレーザー1000+50W (R3) / 有機ジンクリッチペイント



パルスレーザー1000+50W (R3) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	R3-Zp2-1	R3 28 Q-2	
CCT 240 サイクル	R3-Zp2-1	J3 24 € - 2	E-0 48 CS
引張試験 結果	R3-Zp2-1 6 N/wごと	P3 PP②-2 5.7N/mm2 ジンク凝集/素地刺離	Z.OMPa

複合サイクル腐蝕性試験

CWレーザー1000+50W (R4) /有機ジンクリッチペイント

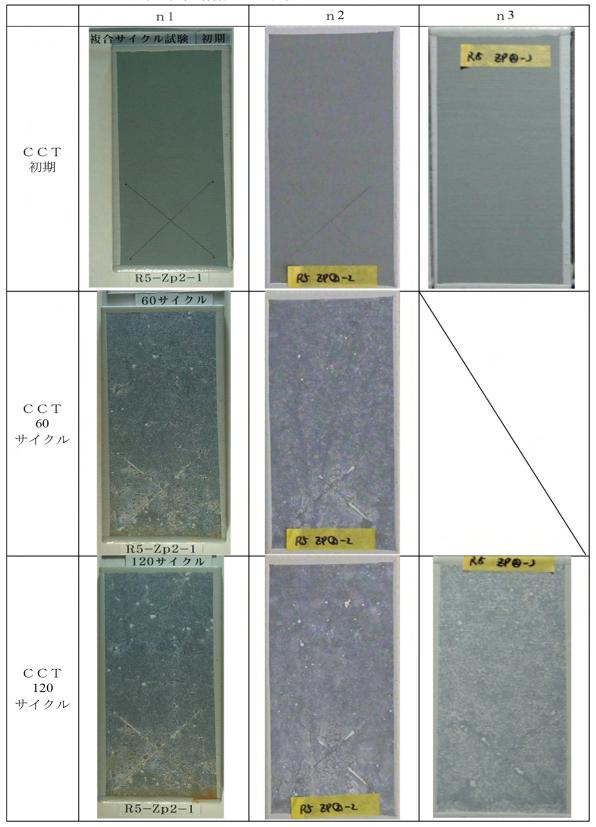
	n 1	n 2	n 3
C C T 初期	複合サイクル試験 初期	R9 2P @-2	E- 0045 +A
C C T 60 サイクル	R4-Zp2-1	R4 2P 9-2	
CCT 120 サイクル	120サイクル R4-Zp2-1	RY ZP Q-Z	KY 34/0)-3

CWレーザー1000+50W (R4) /有機ジンクリッチペイント

	n 1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	180サイクル R4-Zp2-1	RY ZP Q-2	
CCT 240 サイクル	R4-Zp2-1	RY 2P 0-2	RV PPO-3
引張試験 結果	R4-Zp2-1 6 N/age 5	Ry 2P 〇-2 5.8N/mm2 ジンク凝集/素地剥離	AV APO-3 1.8 MPa

複合サイクル腐蝕性試験

CWレーザー2000W (R5) /有機ジンクリッチペイント



CWレーザー2000W (R5) /有機ジンクリッチペイント

	- 2000 W (R3) / 有機シン n1	n 2	n 3
CCT 180 サイクル	180サイクル R5-Zp2-1	RS 2800-2	
CCT 240 サイクル	R5-Zp2-1	R5- 28/00-2	<u>₹</u> \$ ₹ ₽® −2
引張試験結果	R5-Zp2-1 O N/om ² ≤ シンプ/ 報報	R5 28'Cs-2 5.8N/mm2 ジンク凝集/素地剥離	3.000pa

C. 用語集

C.1 レーザー出力に関する定義

本報告書で用いた用語の定義は,以下のようである.

(1) レーザー出力

パルスレーザーにおいて、レーザー発振器が出射するレーザー出力は、**図 C.1.1** に示すような時間的変化を持っており各パルスの平均した出力.

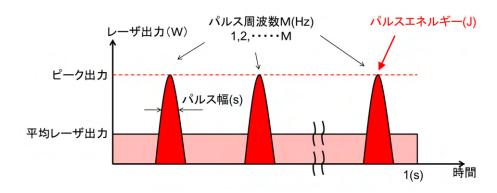


図 C.1.1 パルスレーザーにおけるレーザー出力の時間的変化の概念

(2) パルスエネルギー

図 C.1.1 に示すような 1 パルスが持つエネルギー.

(3) パルス幅

1パルスが出射されている時間.

(4) パルス周波数

レーザーのパルスが出射される周波数. または繰り返し周波数とも呼ばれる.

C.2 レーザークリーニング施工に関する定義

(1) スポット径

スポット径は、図 C.2.1 に示すように、ピークパワー密度から 1/e²(13.5%)に落ちたときの強度における幅である。最小スポット径は、図 C.2.2 に示すように、ビームウェストと呼ばれる焦点位置においてもっともビーム径が小さくなる場所のスポットの直径を示す。本稿では、最小スポット径をスポット径と記載する。



図 C.2.1 スポット径の定義

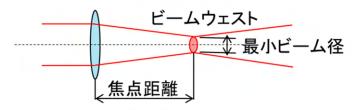


図 C.2.2 最小スポット径の定義

(2) エネルギー密度/パワー密度

エネルギー密度は、加工材料表面において単位面積に加えられる1パルスのエネルギー、パワ 一密度はその単位時間当たりのエネルギー密度を示す.

(3) 焦点外し距離

試験体表面とレーザーの焦点位置との距離であり、その方向は図 C.2.3 のように定義する.

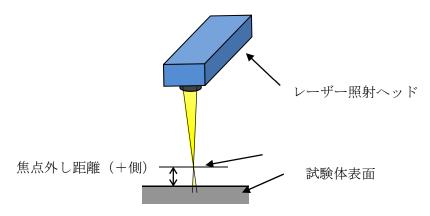


図 C.2.3 焦点外し距離の定義