

第2章 素地調整(1) ブラスト・粗面管理 その1

黒木 裕志郎*

8. 概要

ブラストやパワーツールを用いて鋼材表面などに粗面を形成した時の、その粗度を管理する方法について今回は考えてみたい。たとえば JIS Z0313-7、表面粗さの試験評価で規定されている、「b) 比較板との比較方法」では、ISO 8503-1 で規定する比較板により評価することになっているが、この比較板では、Sa 2.5 と Sa 3 のブラスト加工面においてのみ使用できる旨の記載がある。Sa 1 や Sa 2 の状態では使用できない。この Sa という指標は除錆度と呼ばれるもので、ブラスト処理による仕上げ程度(ミルスケールや錆あるいは塗膜などの除去程度)を示すもので粗さとは直接関係はない。除錆度の確認には、ISO 8501 の追補となる、Rust Grade Book (錆度ブック) と呼ばれるこの写真集を用いる。これら錆度、除錆度に加え処理面の清浄度を示す表面付着塩類の測定や表面付着粉塵の測定方法については、「第3章 素地調整(2) ブラスト等による処理面の清浄度」で一緒に考えたい。

ブラスト処理面の粗さについては、既述のように現場塗装では一般に「比較板との比較方法」が採用されている。しかし、JIS/ISO によれば、特徴として「簡便ではあるが、粗さの概略の範囲を知ることはできない」と記されて

いる。実際に、現場からは「客観的な数値化はできないか？」という要望も多くある。「比較板との比較方法」を補完する現場作業に適した方法として、JIS Z0313-7.f) に「テープ転写方法」がある。この方法が、ブラストやパワーツールで粗面化した表面の粗さ管理に優れていることを示す実験例を紹介したい。

なお、JIS Z0313 では、「粗さの測定は、粗さの測定方法固有の最大高さ (hy) もしくは JIS B0601 に規定する最大高さ (Rz) または十点平均粗さ (Rz_{JIS82}) のいずれかで行う」と記載されている。しかし、現場塗装で多用されている先の比較板の規格値は hy などの最大高さに基づき規定されているので、これを補完する方法も最大高さを表す指標で管理すべきであると考えられる。この点からも、最大高さを測定するためのテープ転写方法は適している。なお、JIS B0601 にも明記されているように十点平均粗さを示す旧 Rz (いわゆる Rz_{JIS}) は JIS B0601 の原規格である ISO 4287 の 1997 年版からすでに削除されているので注意いただきたい。

9. ブラスト比較板

ブラスト比較板の実物例を写真-12 に示す。使用方法の概要は以下の通りである。

- ① 均一な光線のもとで、検査対象のブラスト処理面に比較板を密着させる。
- ② そして、ブラスト処理面と ISO ブラスト比較板とを、目視、もしくは、7 倍以下の拡大鏡で相互の粗さを比較し、ISO ブラ

* くるき ゆうしろう コーテック(株)
カスタマーサポート部

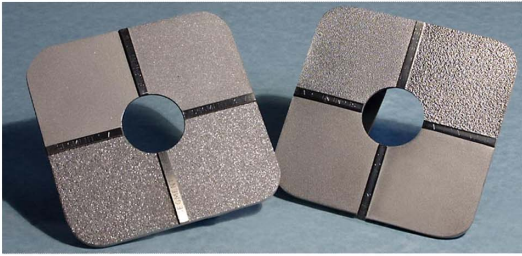


写真-12 ブラスト比較板(例)

スト比較板の4段階に区分けられた粗さと比べて、どれと同等なのか、あるいはどれとどれの間にあるかを調べる。

JIS/ISOで規定されているブラスト板にはGとSの2種類がある。Gはグリット(角ばった研削材)によるブラスト処理面用で、Sはショット(丸い形状の研削材)によるブラスト処理面用である。なお、ケイ砂はGに分類されているものの、平成19年4月に適用から除外されている(サンドブラストは、特定粉塵発生源に規定され、密閉する設備または局所排気装置を設置することが義務づけられている)。

比較板の規格は、JIS Z0313の備考にあるように、「粗さ測定方法固有の最大高さ h_y 」というパラメータで示されており、この比較板では断面顕微鏡観察方法で得られた最大高さが用いられている。

比較板には、 h_y の中央値が示されている。グリット用は25, 60, 100, 160 μm の4面、ショット用では25, 40, 70, 100 μm の中央値を持つそれぞれ4つの区分で構成されている。

なお、評価対象となるブラスト加工面は、除錆度がSa 2 1/2以上で仕上げられた面ではなくてはならず、仕上げ程度が不十分であると、本来の粗さ以外の要素により視覚的变化を生じてしまい、正しい評価は行えない。

さて、JIS Z0313では、素地調整用のブラスト面の粗さの測定では、 h_y のほかに、JIS B 0601に規定する「(輪郭曲線)の最大高さ」であるRz(粗さ曲線からX軸方向の基準長さを抜き出し、その最大の山高さと最大の谷深さの和)による測定も認めている。

「比較板との比較方法」は、目視による評価であるので、両者の違いは問題になる差異ではないかもしれないが、写真-12のブラスト比較板の実物サンプルのメーカーであり、機械加

工面の見本板との比較法を主導してきたRubert社では、Rzで表記されたブラスト比較板も用意している(写真-13参照)。

(1) IMO 塗装性能基準

PSPCと呼ばれるIMO 塗装性能基準では、たとえば、Sa 2 1/2で、30~75 μm の間、参考規格は、ISO 8501-1とISO 8503-1.3と規定されている。

ISO 8501-1は、JISではZ0313-4にある「さび度の評価」と「除錆(せい)度の評価」となり、ISO 8503-1-3は、JISではJIS Z0313-7「表面粗さの試験評価」の「b)比較板との比較方法」となっている。

(2) 鋼道路橋防食便覧

ブラスト表面処理後の表面粗度の確認は、標準見本板などを用いて目視により確認するのが一般的であると書かれているので、IMO 塗装性能基準と同様に比較見本板を使用するのが一般的である。また、同便覧には粗さ測定器としてJIS Z0313に規定された方法とも記されている。

10. テープ転写法

(1) JIS Z0313-7.f) テープ転写方法

① 手順

既述のように「比較板との比較方法」はJIS/ISOにも記されているように、「簡便ではあるが、粗さの概略の範囲を知ることしかできない」特徴を持つ。このため、何らかの問題が生じた時に、客観性や記録に基づく説明が難しくなる。これを補完する現場適用にJISに適した方法としてZ0313では「テープ転写方法」を定

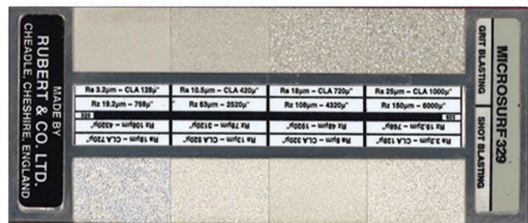


写真-13 RzおよびRaによる表示がされたブラスト比較板(例)

【注】本例では上段4片がグリッド用で下段4片がショット用。たとえば、グリッド用はRa値では3.2, 10.5, 18, 25 μm , Rz値だと19.2, 63, 108, 150 μm の4片で構成されている。

めている。

テープ転写方法は、レプリカテープと呼ばれるテープの特殊な発泡体部分にブラスト面の表面形状をそのままそっくり転写させ、その転写したものを測定する方法である。その具体的な手順は以下になる。発泡体の厚みは測定対象のブラスト処理面の粗さより少し厚めのものを使用する、粗さ範囲別に数種類のレプリカテープが用意されている。

- 1) 発泡体を下にして、ブラスト処理面にレプリカテープを置く。
- 2) テープ中央の透明なフィルムを通して、ブラスト面の最も高い山の頂上のいくつか貫通してきて、いくつかの黒い点として見えるまで、先端が丸くなっているこすりつけ棒で、テープをブラスト面にこすりつける。
- 3) テープを剥がし、専用のマイクロメーターで測定し、そこから基板の厚さを引いて、素地の最大高さ(hy)を求める。

なお、マイクロメーターは、一般のものではなく、転写面を潰してしまわないように締め付け力が制御された専用のものを使う。

以上の手順をイラストで示すと第8図のようになる。

実際にレプリカテープを用いてブラスト面を転写している様子を写真-14に、また専用のマイクロメーターで転写部を測定している様子

を写真-15に示す。

② 再測定が指定される範囲

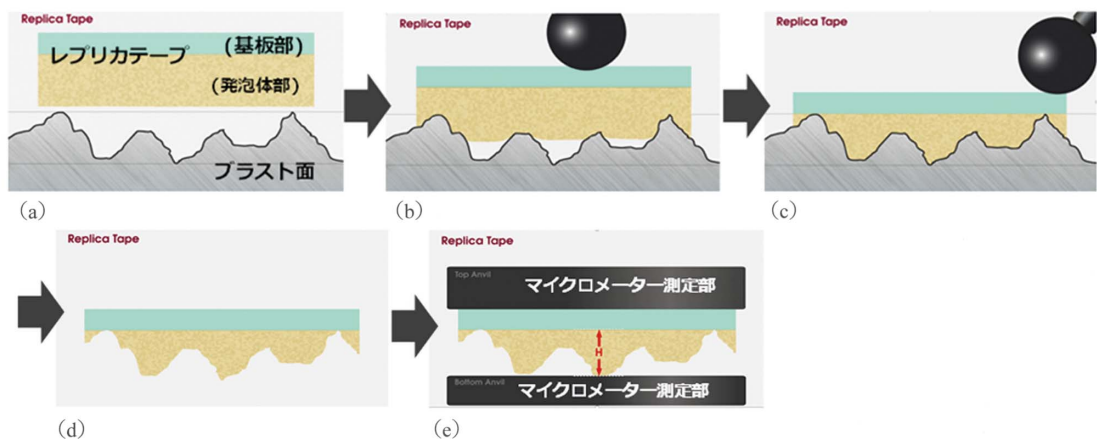
1) 再測定の理由

最も多用するレプリカテープの種類は「Xコース」と「コース」で、それぞれ測定範囲は38～115 μmと20～64 μmとなっている。両者の測定範囲より小さいレンジには12～25 μm用のコースマイナースと、大きなレンジには116～127 μm用のXコースプラスが用意されている。

最も多用されるXコースとコースのどちらのテープにも、38～64 μmのレンジの部分に、(C+XC)/2 という表記がされている。これはたとえば、コースで38～64 μmの測定結果になった場合にはXコースで再度測定し、やはり同じように38～64 μmの測定結果になった場合には、その2つの平均値を、測定結果として記載するよという指示である。Xコースで38～64 μmの測定結果になった場合には、同様に今度はコースで再度測定し、2つの平均値を記載することになる。

測定した結果が表示された範囲になったら、指示されたレンジの異なるテープでもう1度測定しなければ、測定精度は確保されないの注意が必要である。その理由を以下に記す。

レプリカテープは、各テープの測定範囲の中央付近で最も精度が高くなり、残念ながら両端付近では精度が低くなるという特性がある。こ



第8図 テープ転写法の手順

注 (b) こすりつけ棒で発泡体をブラスト面に押し付ける、(c) ブラストの山の頂上が基板部に到達(基板中央の透明部より頂上が黒い点として見える)、(d) 発泡体に転写されたブラスト面、(e) 専用のマイクロメーターで測定する。



写真-14 レプリカテープにプラスト面を転写



写真-15 専用のマイクロメーター (例)

れを図で示すと第9図のようになる。そのため、コースとXコースは、38～64 μmの“オーバーラップ”といわれる範囲をお互いに持つことになり、高くズレがちなコースと低くズレがちなXコースの両方で測定することによりはじめてそのズレを打ち消しあうことができる。

図中の延長された直線化範囲については次項で説明する。

この理由をイラストで、Xコースを用いて説明すると第10図のようになる。

第10図(a)に示すXのコースの測定範囲の下限に近い50 μmでは、発泡体は強く圧縮されその後解放される。これに対して第10図(b)に示す測定範囲の中間付近の75 μmの粗さでは発泡体は適度に圧縮され良好に転写される。第10図(c)測定に示す範囲の上限に近い100 μmでは、転写部の頂点(プラスト面の谷底の転写部)となる発泡体への圧縮は弱く、そのた

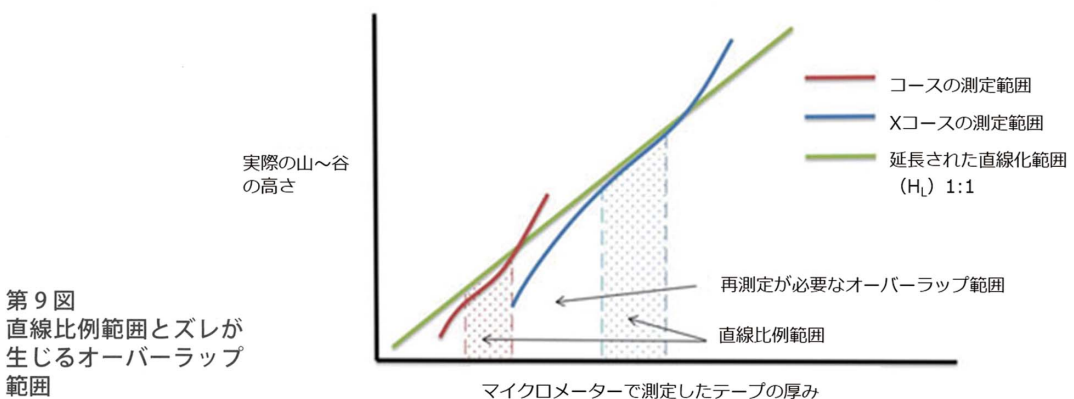
め、マイクロメーターによりはさまれた時にわずかに圧縮される可能性がある。

2) 再測定を不要にする直線化補正機能の利用

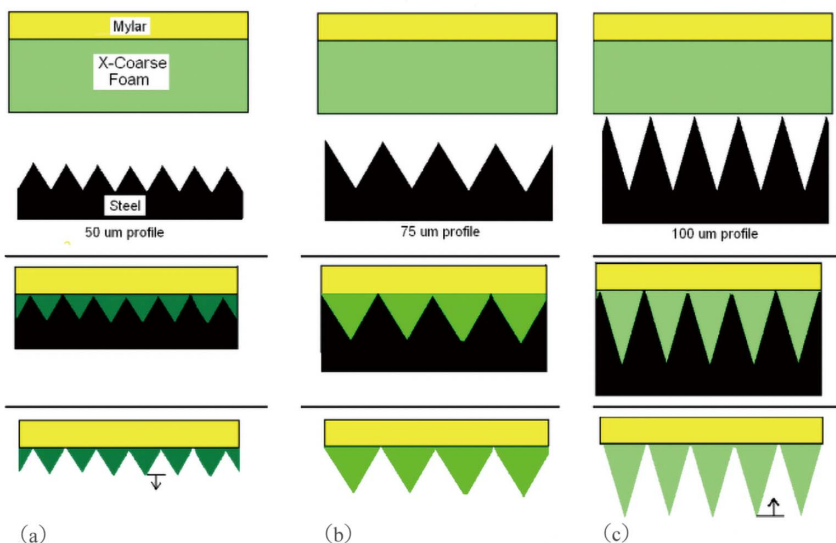
第9図で示したオーバーラップ範囲を、補正計算して直線化した状態にして値を表示する機能を持つデジタルマイクロメーターが出現したのでその例を写真-16に示す。オーバーラップ範囲における再測定は不要になるので便利である。なお、このデジタルマイクロメーターはISO 8503-5、ASTM D4417 Method C、NACE RP0287 および SSPC-PA17 に適合している。

(2) レプリカテープによる測定結果と付着性(プルオフ法)との関係(実験例)

レプリカテープによるH値とプルオフ法による付着値との関係を示す実験例を次に紹介したい。この実験は米国で行われたため、付着値の単位は psi (1,000psi ≒ 6.9MPa) で示されてい



第9図 直線比例範囲とズレが生じるオーバーラップ範囲



第10図
レプリカテープの特性

る。また山谷の高さの単位は、mil (1mil \approx 25.4 μ m) が使用されているが、 μ m に変換して表示した。

Roper 氏らによる論文¹⁾は、「著者らの経験から、広範な標準的工業用塗料に最適な鋼鉄素地のプラスト処理面の山谷の高さは2~3mils (50~75 μ m)」であるとの理論が示されている。この第11図の試験結果は、この仮説を肯定するものであると考えられる。最も高い付着強度は2~3milの範囲で観察され、第10図のようにプロファイルの高さが75 μ m (3mils) を超えると付着強度は減少した(第12図参照)。

50 μ m (2mils) 以下のプロファイルの山谷の高さのサンプルは採取されていないが、プロファイルの高さの減少に伴い、付着力レベルが減少し始めると推論される。

この論文ですでに述べたように、75 μ m (3mils) 以上のプロファイルでは、塗料が基材のプラスト表面を完全に覆い、濡れ性を確保することができないため、付着力が低下し始めると推論される。2mils 以下のプロファイル山谷の高さでは、アンカー効果を得るのに十分なプロファイルがないため、付着性が低下し始めると推測される。

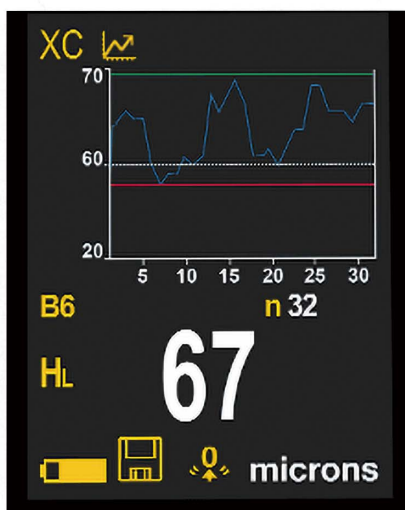
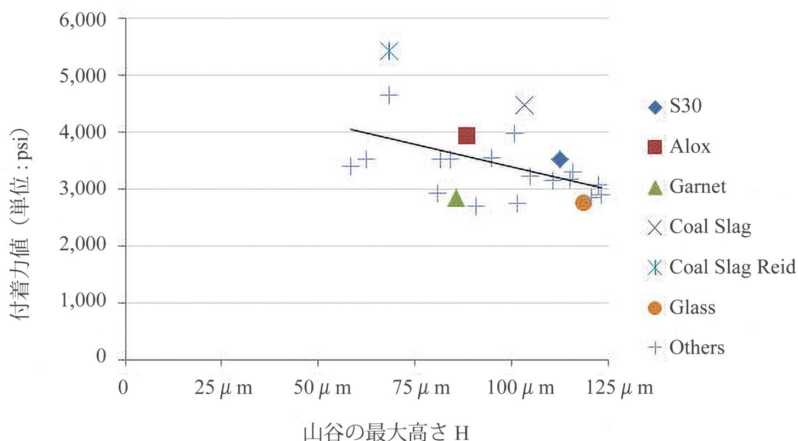


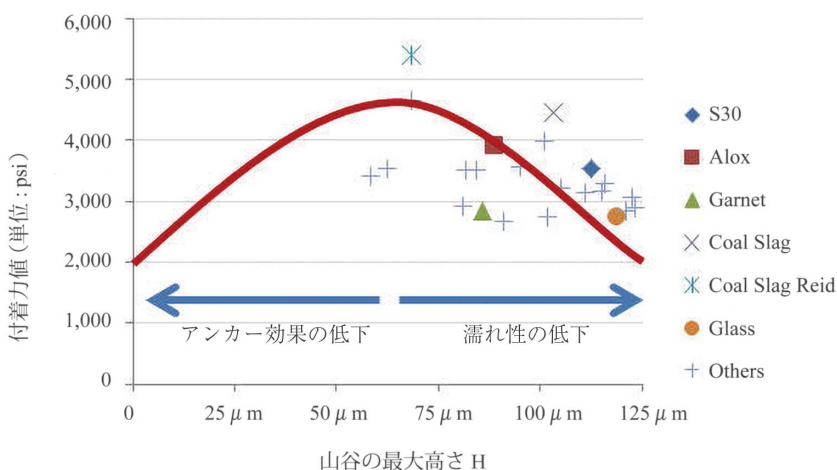
写真-16
直線化のための補正した値を表示する機能を持ったデジタルマイクロメーター(左)と表示部分の拡大画像の例(右)

注 H_L は Linearized peak height を意味していて、表示値が補正したものであることを示している。ちなみに補正する前の値を表示させた場合には H_L が H に変わる。

第 11 図
テープ転写法で測定された 25 枚の鉄素地試験片のブラストの山谷の高さと付着力との関係



第 12 図
テープ転写法で測定された山谷の高さと付着力との関係と、仮説に基づいた傾向とそれを裏付ける結果



(3) レプリカテープを利用したブラスト面の分析 (最新技術動向)

① 3次元の分析

レプリカテープに残されたブラスト面の立体的コピーは、現物見本として保存することができる。ブラスト面そのものを分析することは難しくても、その立体面をコピーしたテープであれば、取り扱いが格段に容易になる。このテープを使って光学的に分析しようという方法が考案された。その測定器の例を写真-17に示す。

この測定器は次の規格に適合している。

ISO 8503-5, JIS Z0313 (JIS Z0313-7.f) テープ転写方法。原規格は ISO 8503-5), American Society for Testing and Materials : ASTM D4417, National Association of Corrosion Engineers : NACE SP287, Society for Protective Coatings : SSPC-PA 17, SSPC-SP5, SP6, SP10, SP11-87T,

さらに The American Society of Mechanical Engineers (アメリカ機械学会：世界でも最も古くから規格策定を行ってきた組織の1つで、約600種類の基準と規格を持つ) : ASME B46

測定部には光源と受光部があり、山が高く発泡体が圧縮された部位ほど光は透過するという基本原理により、透過光強度と発泡体の厚みとのアルゴリズムを利用して、レプリカテープの測定面(=ブラスト面のコピー)の3次元(3D)画像を作成するものである。なお、レプリカテープは2Dによる分析では通常品でよいが、3Dによる分析ではより均一な断面を持つオプティカルグレード品を使う必要がある(写真-18参照)。

なお、測定手順は、①手順と同じである。

② ピーク数・ピーク密度

1) ピーク数・ピーク密度とは



写真-17 2D および 3D 分析をする測定器

1974年、Keane氏は、塗装のためにブラスト加工された下地は、山のピークから谷底までの距離(H)を測定するだけでは完全に特徴を示すことはできないと論じた。この論文は、Hの他にもう1つの重要なパラメータ、すなわち単位長さ当たりのピーク数(ピーク数-Pc)または単位面積当たりのピーク数(ピーク密度-Pd)があることの重要性を唱え始めていた、現場での意見を支持するものとなった。この論文では、鋼材表面の付着面積を増やすだけでなく、ピーク数を増やすと、その領域の表面角度が大きくなると説明している。これにより、塗膜には引張応力よりもせん断応力がかかるようになる。せん断応力は引張応力よりも総じて高いため、結果的に塗膜の付着強度が向上するのである。もちろん、塗布した塗膜は100%素地と接して濡れ性を確保していなければならない。

第13図は、塗膜の付着性能を理解するうえ

で、ピーク高さとピーク密度の両方が重要である理由を示すためプロファイルを簡略化して示した例である。この2つの表面は異なる形状をしているが、山谷の高さの測定値は同じとなる。

2) ピーク密度と付着性の関係

第14図のようにピーク密度と付着性には強い相関がある。ピーク数が塗膜性能に関係するというRoper氏らの仮説を補強する結果となった。彼らの論文では、「ブラスト表面を完全に覆う(濡れ性を確保することのできる広範囲標準的工業用塗料に最適な鋼板の表面プロファイルは、110~150peaks/in(40~60peaks/cm)のピーク数」であると決定づけている。

3Dレプリカテープを光学的に測定しピーク密度を求め、それと付着性との相関を取ったものが、第15図である。本試験で得られた結果はRoper氏らの仮説と符合する。したがって、あるピーク密度を超えると、付着強度とピーク密度の間に観察された正の関係は持続しないと推測される。

11. パワーツール(電動工具)による表面形状(表面プロファイル)について

(1) 表面形状の測定のために用いたパワーツール(電動工具)

パワーツールあるいはハンドパワーツールは、下地処理に使用される携帯型の電動工具で、基本的に3つに分類できると思われる(写真-19参照)。

- 衝撃式クリーニングツール(エアニードルスケーラー / Air needle scaler など)
- 回転式クリーニングツール(ブリストルクリーナー / Bristle cleaner など)
- 回転式衝撃クリーニングツール(ロート

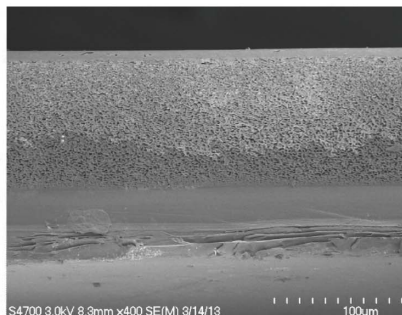
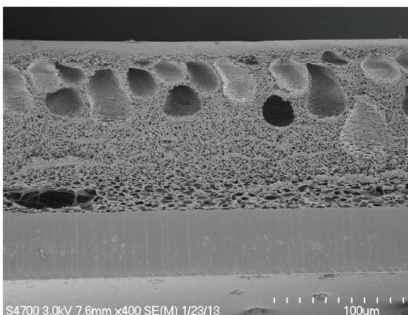
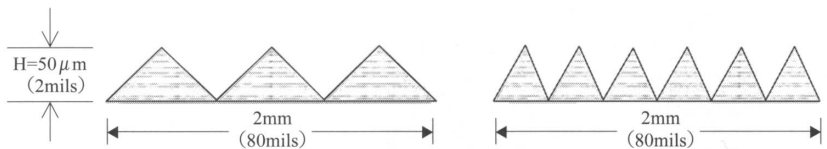


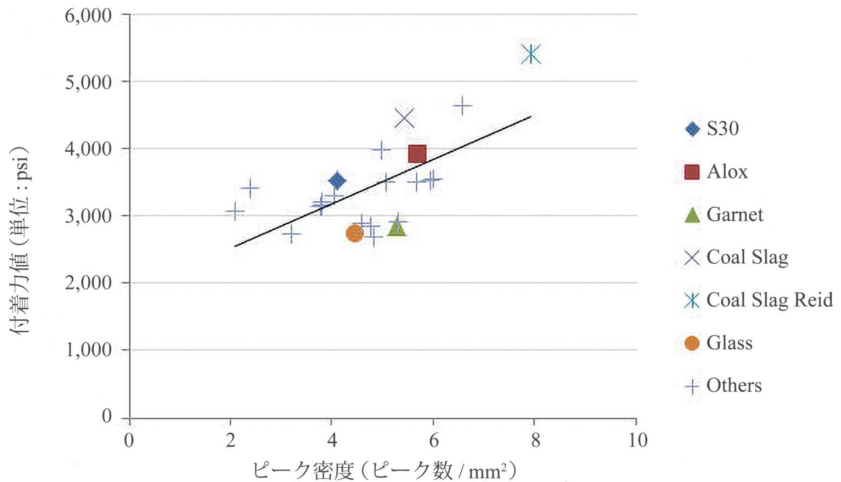
写真-18
レプリカテープの断面顕微鏡写真(左:通常品, 右:オプティカルグレード品)

第 13 図
同じ山谷の高さである
ピーク密度が異なる例



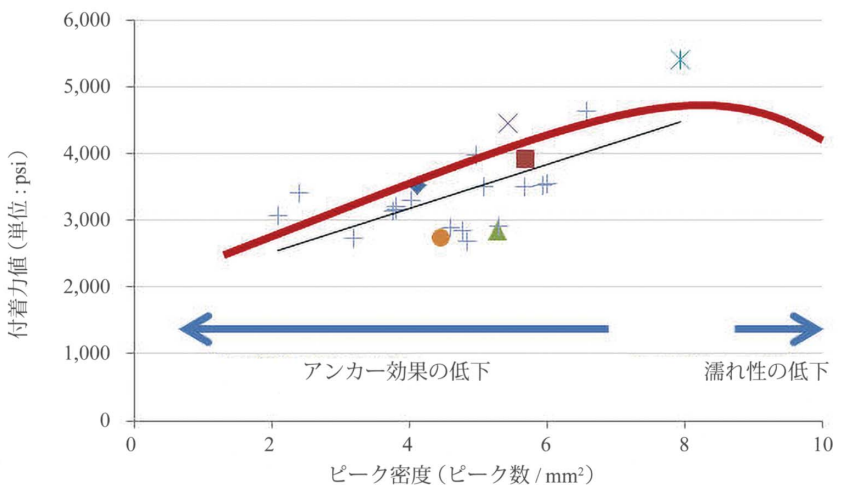
出典：J.D.Keane, J.A.Bruno「Surface Profile for Anti-Corrosion Paints」, SSPC, 1974 年

第 14 図
ピーク数と付着性の関係



出典：H.J.Roper, R.E.F.Weaver, J.H.Brandon「The Effect of Peak Count or Surface Roughness on Coating Performance」, Journal of Protective Coatings and Linings, June 2005, pp.52-64

第 15 図
ピーク密度と付着性の関係



ピーンスケーラー / Roto peen scaler など)
鋼材表面に対してブラストで形成されたプロファイル / 表面形状の測定に関連する規格はあるが、パワーツールで加工された表面形状の測定に関する研究や指針はあまりないようである。

ここでは、表面形状パラメータを決定するための 3 つの一般的な測定方法 (写真 - 20 参

照) = 触針式粗さ計, デプスマイクロメーター (ASTM D4417-B に適合。U.S.Navy NSI 009-32, Navy NAVSEA 009-32, US Navy NAVSEA PPI 63101-000 などに採用), レプリカテープとレプリカテープリーダー (専用マイクロメーター) を検証し, パワーツールで加工した表面に対する有効性を評価してみたいと思う。この実験では, 鋼鉄製テストパネルにエアニードル



写真-19
下地処理に使用される
携帯型パワーツール

(a) エアニードルスケーラー (b) ブリistolクリーナー (c) ロートピンスケーラー



(a) 触針式粗さ計 (b) マイクロメーター (c) レプリカテープ・レプリカテープリーダー

写真-20
表面形状パラメータを
決定するための測定方
法

スケラー、ブリストルクリーナー、ロートピンスケーラーを使用して形成した表面形状／表面プロファイル进行调查した。

塗装をする前に、鋼材の表面を清浄化するためにパワーツールが頻繁に使用される。プラストを施した表面の形状は、レプリカテープ、携帯用触針式粗さ計あるいは米国などではデブスマイクロメーターも加わって日常的に測定されているが、塗装の専門家でも、エアニードルスケーラー、ブラシクリーナー（ブリストルクリーナー）、ロートピンスケーラーなどのパワーツールで形成された表面形状に対する最適な測定方法について明確な見解を持たないことが多いようである。プラストによる衝撃は、表面全体に複雑でランダムなパターンを作り出す一方で、パワーツールで形成された表面形状は反復パターンを示すようになるため、適切な粗さ（＝山谷の高さ）とピーク密度の測定に大きな課題が生じる。

2015年2月に書かれたレポートで、D. Beamish²⁾は、プラストされた鋼材表面の重要な表面プロファイルパラメータを決定するためにレプリカテープを使用する方法を説明し、これらのパラメータをブルオフ付着強度に関連づけた。具体的には、レプリカテープによる測定によって、他の測定方法よりも多くの情報が得られること、そして、ピーク密度(Pd)と展開

面積比(Sdr)を決定できること、それらがブルオフ付着値に直接関連していることを論じている。さらに、レプリカテープを用いて測定した表面パラメータは、共焦点顕微鏡や触針式粗さ測定法などのプラストプロファイルの確立された測定技術と密接な相関があることが示されている。

なお、一定のエリアを定めた時に、それを展開した場合の面積＝表面積が、決めた一定のエリアの面積に対してどれだけ増大しているかを表す。完全に平らな面のSdrは0となり、表面に凹凸や傾斜があるとSdrは大きくなる。

ここでは、この分析をさらに進め、プラスト加工されたプロファイルの表面パラメータを測定するだけでなく、さまざまなパワーツールで形成された表面形状の全体像を測定するためのレプリカテープの適合性を判断するものである。

《参考文献》

- 1) H.J. Roper, R.E.F. Weaver, and J.H. Brandon 「The Effect of Peak Count or Surface Roughness on Coating Performance」, Journal of Protective Coatings and Linings, June 2005, pp.52-64
- 2) D. Beamish 「Replica Tape-Unlocking Hidden Information」, Journal of Protective Coatings and Linings, February 2015, pp.1-6