素地調整条件と塗膜性能に関する一考察*

森 稔** 橋 田 泰***

A Study on the Relation between the Efficiency of Paints and the Condition of Surface Preparation

by

Minoru MORI and Yasushi HASHIDA

(Technical Research Laboratory, Kawasaki Dockyard Co., Ltd., Kobe)

Surface preparation is believed to be fundamentally the most important factor that affects the efficiency of paint. In recent years the sand blast cleaning method has been increasingly adopted in the special marine coating system. The blast condition consists of three factors as follows.

P_B : The pressure at gage in kilogram per sq. cm. (Discharging the abrasive in a stream of high pressure air.)

V_B : The velocity of movement of blast cleaning nozzle in cm. per sec.

N_B : The number of repeated blast cleaning when P_B and V_B are constant.

Experiments have been performed in order to investigate the relation between the efficiency of zinc silicate paint for its anticorrosive function and the blast condition, and the following results have been obtained as pointing to the way to raise the efficiency of the paint for its anticorrosive purposes.

(1) The relation between N_R per sq. cm. and the blast condition can be expressed by

$$N_R/\text{cm}^2(\text{TP-1}) = 116.3747 + 0.3466 V_B + P_B(3.6555 P_B - 38.0895) - 4.5806 N_B$$

$$N_R/\text{cm}^2(\text{TP-2}) = 23.0572 + 0.0927 V_B + P_B(0.8327 P_B - 8.2335) - 0.9123 N_B$$

where N_R/cm^2 : the number of pinpoint rusting per sq. cm.

TP-1: the steel surface with millscale before the sand blast cleaning.

TP-2: the steel surface treated by shot blast and having zinc rich epoxy type shop primer applied to it before the sand blast cleaning.

(2) The effect of P_B on the efficiency of the paint is estimated at 60~70 per cent. P_B is the condition of prime importance to promote the efficiency of zinc silicate paint for anticorrosive purposes. Pressure of 6 kilogram per sq. cm. is required in this case.

(3) V_B has but little to do with the efficiency of paint by itself. It is important, however, relative to the interaction of P_B and V_B . The following rate of velocity of transition of blast nozzle is required under P_B of 6 kilogram per sq. cm.

$$V_B = 10 \text{ cm/sec for TP-1}$$

$$V_B < 40 \text{ cm/sec for TP-2}$$

(4) N_B has little to do with the efficiency of the paint when P_B and V_B are constant.

(5) When P_B , V_B and N_B are constant, high efficiency of zinc silicate paint is obtained by the use of TP-2 before the sand blast cleaning. (Received Apr. 15, 1968)

1 緒 言

鋼板の表面に塗装した塗膜の防食性能は、塗料の種類、素地調整、塗装膜厚または塗装回数、塗装条件および塗装環境の影響を受ける。この中でも素地調整の効果が大きく浅原氏によればその寄与率は50%といわれている。

被塗面の素地調整方法には各種の手段があり、造船

所では塗料の種類、適用する場所などの状況に応じて使い分けているが、近年特殊塗装の素地調整としてサンドブラスト処理が採用されるようになった。これはロイドをはじめ各国の船級協会が認定した耐久性のよい塗料を施工すれば、船体および構造部材のコーロジョンマーシを減少できるようになり、塗料による防食効果が重要な意味をもつようになったためである。

塗膜の防食性能に及ぼす素地調整の効果については各種の報告があり、粗度あるいは表面形状と塗膜性能の関係、素地調整手段と塗膜の付着性の関係などが明らかにされているが、素地調整条件が塗膜性能に及ぼ

* 原稿受理 昭和43年 4月15日

** 正 会 員 川崎重工業(株)技術研究所 神戸市生田区東川崎町2丁目

*** 川崎重工業(株)技術研究所 神戸市生田区東川崎町2丁目

す影響については不明である。特殊塗装の素地調整面積は通常 $10^4 \sim 10^5 \text{m}^2$ もあり、調整面の形状を詳しくチェックすることは不可能であるから、現場での作業管理は素地調整条件でコントロールするしかない。本研究ではサンドブラスト条件と塗膜の防食性能についてその関係を明らかにし、特殊塗装現場での適切な素地調整条件を決めることが目的である。

筆者は以前にサンドブラスト条件と鋼表面形状について報告したが、その後数種類の塗料を選び既報と同じブラスト条件での塗膜の防食性能を検討したので、その中からジンクシリケート塗料の実験結果を選び以下に報告する。

2 実 験

2・1 供試塗料および塗装要領

本実験では供試塗料としてジンクシリケート塗料を選んだ。塗料組成の概略、塗装膜厚、塗付量などは Table I に示した。また試験片への塗装はエアスプレー法によった。

2・2 試験片

試験片の形状は Fig. 1 に示した。試験片の材質は SS 41 軟鋼を用い、被調整面にはミルスケールが付着したままの試験片 TP-1（以後省略して TP-1 と呼ぶ）と、ショットブラスト処理によりミルスケールを除去し、ジンクリッチエポキシプライマーを 0.5 ミル塗装した試験片 TP-2（以後省略して TP-2 と呼ぶ）の 2 種類とした。TP-1 は被塗装部が素材のままの場合を、TP-2 は被塗装部を造船用鋼材として一次処理した場合をそれぞれ仮定した。

なお試験片の枚数は Table II から

$$3(V_B \text{ の水準}) \times 3(P_B \text{ の水準}) \times 3(N_B \text{ の水準}) \\ \times 2(\text{TP の水準}) = 54 \text{ 枚}$$

である。

Fig. 1. Shape and dimension of test piece.

2・3 素地調整方法

2・3・1 サンドブラスト処理 塗装前の素地調整（以下省略して素地調整と呼ぶ）はサンドブラスト法によった。ブラスト法というのは、高圧空気の流れて研掃材をのせて被調整面に打ち当て、その衝撃エネ

ギによって表面に付着している異物を除去することである。この場合の衝撃エネルギーは(1)式で示される。（ただし研掃材のかたさ、形状などの効果を無視する）

$$K \cdot E = \frac{1}{2} m v^2 \tag{1}$$

$K \cdot E$: Abrasive impact energy

m : True mass of the particle

v^2 : Square of the particle velocity

ブラスト処理を実施するには、ある質量 m をもち適当な粒度分布を示す研掃材と、それを被調整面に打ち当てるための高圧空気が必要である。(1)式での v は供給空気のゲージ圧力 P_B によって制御し、 m は研掃材の種類、粒度などによって決まる。また、素地調整に必要な単位面積あたりの総衝撃エネルギーは、研掃材を被調整面に打ち当てる時間によって決まるが、通常ブラスト用ノズルの移動速度 V_B （以下省略して V_B と呼ぶ）によってコントロールする。もし、 V_B および P_B を一定にすれば総衝撃エネルギーは(2)式で示される。

$$\text{Total } K \cdot E = \frac{1}{2} N_B \cdot m v^2 \tag{2}$$

N_B : Number of blasting

2・3・2 サンドブラスト装置 本実験で使

Fig. 2. Diagram of continuous type sand blast cleaning tank.

この装置では、A に貯蔵した研掃材をBから供給した圧縮空気の流れによってGで混合し、Hを通してIから噴射する。研掃材の噴射量は、バルブCの調節によって変えた供給空気のゲージ圧力 P_B （以下省略して P_B と呼ぶ）でコントロールした。サンドブラスト処理はノズルと被調整面の距離を一定に保ちながら研掃材を被調整面に打ち当て、ノズルをある一方向に連

Table I. Test paint.

Name of paint	Pigment	Vehicle	Covering rate (g/m ² /coat)	Number of coat	Film thickness (mil/coat)
Zinc silicate paint	Zinc powder	Ethyl silicate	1 130	1	5.0±0.5

続して移動させることにより行なった。このような操作で被塗装面に付着しているミルスケール、さび、その他異物を除去した。

2・3・3 問題点として取り上げた因子 本実験ではブラストノズルの移動速度 V_B 、ブラストするための供給空気圧力 P_B 、 V_B および P_B を一定にした場合の繰返しブラスト回数 N_B の3因子を取り上げた。各因子に対する水準の割り付けは Table II に示した。

Table II. Condition of sand blast cleaning.

Factor	Level
V_B · Velocity of sand blast nozzle(cm/sec)	$V_{B1}=10$ $V_{B2}=40$ $V_{B3}=70$
P_B · Pressure of supplied air (kg/cm ²)	$P_{B1}=1.0$ $P_{B2}=3.5$ $P_{B3}=6.0$
N_B · Number of repeated blast cleaning	$N_{B1}=1$ $N_{B2}=3$ $N_{B3}=5$

2・3・4 一定条件とした因子 サンドブラスト条件は、Table II に示した3因子がすべてではない。しかし本実験では V_B 、 P_B 、 N_B の影響を効果的に検出するためその他の条件は一定にした。おもなものをあげると次のとおりである。

- (1) 被調整面とブラストノズルの距離 30 cm
- (2) 被調整面とブラストノズルの角度 90度
- (3) ブラストノズルの内径 10 mm
- (4) ブラストノズルの移動方向 直線一方向
- (5) ブラストノズルの移動幅 20 mm
- (6) 研掃材の種類 銅鋳滓
- (7) 研掃材の粒度

Table III に示した。

2・4 試験の方法

サンドブラストにより素地調整した試験片には、Table I の仕様でジンクシリケート塗料を塗装し、10日間室内乾燥後 10 000 時間の塩水噴霧試験を実施した。試験機は市販のものを使用し、噴霧条件は JIS Z 2371によった。

2・5 試験片の観測方法

鋼製試験片に塗装した塗膜の防食性能の評価方法には各種の方法があるが、本実験では塗膜の性能を定量的に扱いたいため、試験片の全面に発生した点さび (Pinpoint rusting) の数を測定して単位面積あたりの点さび数 N_R/cm^2 で示した (以後省略して N_R と呼

ぶ)。このような方法は、塗膜の防食性能の一般的な表示方法として適当でないが、塩水噴霧時間が経過するとともにジンクシリケート塗膜上には点さびだけが発生し、ふくれ (Blistering)、はく離 (Peel off) およびその他の欠陥が現われなかったので、本実験にかぎり妥当であると考えている。

3 実験結果および考察

3・1 点さび数 N_R/cm^2 測定結果

塩水噴霧試験 10 000 時間後に発生した各試験片の N_R/cm^2 を Table IV (a), (b) に示した。この表では

Table IV. Number of pinpoint rusting after 10 000 hr of salt spray test.

(a) TP-1

Sand blast condition		Number of pinpoint rusting(N_R/cm^2)		
		N_B 1	N_B 2	N_B 3
V_B 1	P_B 1	70 000	40.000	8.800
	P_B 2	2 300	1.530	0 821
	P_B 3	0.001	0.001	0 001
V_B 2	P_B 1	100 000	50.000	45.300
	P_B 2	11 372	7.210	4.000
	P_B 3	0.075	0.070	0.065
V_B 3	P_B 1	100 000	82 100	71 000
	P_B 2	22 220	18 510	12 340
	P_B 3	2.100	1 500	0.840

(b) TP-2

Sand blast condition		Number of pinpoint rusting(N_R/cm^2)		
		N_B 1	N_B 2	N_B 3
V_B 1	P_B 1	8.890	5.431	1.010
	P_B 2	0 089	0.078	0 005
	P_B 3	0 001	0.001	0.001
V_B 2	P_B 1	14.220	10.610	8 720
	P_B 2	0.752	0.410	0 071
	P_B 3	0.005	0.001	0.001
V_B 3	P_B 1	28.400	18.460	12 600
	P_B 2	3.560	1 680	0.751
	P_B 3	0.089	0 030	0.005

Table III. Blast cleaning sand number and screening tolerance percent of total sample by weight for each pertinent screen.

S. A. E. No. system	High limit screen		Nominal screen		Low limit screen	
	Sand retained (% max.)	Screen No. & aperture	Sand retained (% min.)	Screen No. & aperture	Sand to pass (% max.)	Screen No. & aperture
S-330	0	16 (0.0469)	75	20 (0.0331)	15	30 (0.0232)

N_R/cm^2 をサンドブラスト条件 P_B , V_B , N_B ごとに分類し, 素地調整する前の状態が TP-1 の場合(a)図に, TP-2 の場合(b)図に示してある。

3・2 分散分析結果

各サンドブラスト条件ごとに得られた N_R/cm^2 は, TP-1, TP-2 ごとに 3 元配置法で分散分析し F 検定, 寄与率, 信頼限界などを求めた。その結果を Table V (a), (b)に示した。

Table V. Contribution rate (%) of sand blast condition which affects the zinc silicate paint performance.

(a) When TP-1

Factor	s. s	d. f.	m. s.	F	ρ (%)
V_B	1 945.05	2	972.53	19.12	** 6.70
P_B	20 712.99	2	10 356.50	203.59	** 72.89
P_B (Linear term)	(1)	(17 581.25)	(345.61)	(**)	
P_B (Second term)	(1)	(3 131.82)	(61.57)	(**)	
N_B	1 555.86	2	777.93	15.29	** 5.33
$V_B \times P_B$	1 484.13	4	371.03	7.29	** 5.08
$V_B \times N_B$	120.65	4	30.16	0.59	
$P_B \times N_B$	2 134.80	4	533.70	10.51	** 7.37
e	406.95	8	50.87		
Total	28 360.43	26			

(b) When TP-2

Factor	s. s	d. f.	m. s.	F	ρ (%)
V_B	141.72	2	70.86	33.11	** 10.48
P_B	813.02	2	406.51	189.96	** 61.10
P_B (Linear term)	(1)	(650.52)	(352.26)	(**)	
P_B (Second term)	(1)	(162.52)	(81.26)	(**)	
N_B	60.54	2	30.27	12.56	** 4.36
$V_B \times P_B$	192.53	4	48.13	22.49	** 14.31
$V_B \times N_B$	16.30	4	4.08	1.91	
$P_B \times N_B$	84.84	4	21.21	9.91	** 6.19
e	17.08	8	2.00		
Total	1 326.03	26			

ジンクシリケート塗料をサンドブラストによる素地調整後塗装した場合, $V_B \times N_B$ の交互作用を除いたすべての条件が, 塗膜の点さび発生に影響を与える有意な要因として, 信頼度99%で検出された。寄与率の大きいものから各要因を順位づけると(3)および(4)式のようになる。

TP-1 の場合

$$P_B > P_B \times N_B > V_B > N_B > P_B \times V_B \quad (3)$$

TP-2 の場合

$$P_B > P_B \times V_B > V_B > P_B \times N_B > N_B \quad (4)$$

この中では P_B の寄与率が TP-1 の場合72.89%,

TP-2 の場合61.10%あり, 他の要因と比較して特に大きかった。 P_B 以外の順位は, それぞれの寄与率が小さいのでたいした意味をもたない。

3・3 供給空気圧力の影響

3・3・1 N_R/cm^2 と P_B の関係 供給空気圧力と点さび数の関係は Fig. 3 に示した。両者の関係は二次曲線で示され (Table V の P_B 二次の項参照), N_R/cm^2 の値は P_B の増加に伴い減少した。

また, 同じ P_B での N_R/cm^2 比 TP-2/TP-1 を比較すると, $P_B=1 \text{ kg/cm}^2$ のとき約1/5, $P_B=3.5 \text{ kg/cm}^2$ のとき 1/10, $P_B=6 \text{ kg/cm}^2$ のとき約 1/35 となり, P_B を増加させることにより等比級数的に N_R/cm^2 値が減少した。したがって, ジンクシリケート塗料の防食性能を向上させるためには, P_B を 6 kg/cm^2 にとり被調整面には造船所で一次処理した鋼板を使用することが有効な手段であるといえる。

Fig. 3 Relations between pinpoint rusting of steel surface coated with zinc silicate paint and gage pressure on sand blast cleaning

3・3・2 点さび発生の原因 点さび発生 の原因として次の要因が考えられる。

(1) 異物の残存の影響: サンドブラストによる素地調整を実施した場合, 異物の除去率は P_B の増加に伴って大きくなる⁸⁾。これに対しジンクシリケート塗膜に発生する点さび数は, Fig. 3 に示したとおり, P_B の増加に伴って減少しているから, 点さびの発生には異物の残存が関与している。

ただし, 同じ異物でも残存物がミルスケールの場合点さびの発生数が多い。これはミルスケールの電位が軟鋼より貴であるため水分の存在によって両者の間に電位差を生じ, 軟鋼部に腐食反応を起こさせるからであろう。また, 残存物がジンクシリケート塗料の場合は軟鋼より卑な電位をとるため, ミルスケールの場合とは反対に点さびの発生数は少ない。それにもかかわらず点さび数が残存ジンクリッチプライマーに比例し

て発生したのは、ワニスにエポキシ樹脂を用いているため、残存量が多いとジンクシリケート塗料との附着性が低下し、その部分が発さびの原因となるからであろう。

(2) 粗度の影響：サンドブラストによる素地調整を実施した場合、調整面の粗度は P_B の増加に伴い大きくなる⁸⁾。その範囲は TP-1 の場合 $30 \sim 50 \mu$ 、TP-2 の場合 $40 \sim 60 \mu$ である。これに対し点さびの発生数は Fig. 3 に示したとおり P_B の増加とともに減少した。

粗度と塗膜の防食性能との関係は Rowland, J. C. によれば反比例するといわれているが、本実験では粗度の増加に伴って点さび数が減少した。これは上記のような粗度の範囲では、粗度より異物の残存が点さびの発生に影響を与えることを示している。

3.4 交互作用について

V_B および N_B は、単独ではたいした効果がないので交互作用として以下に示す。

3.4.1 $V_B \times P_B$ の交互作用 $V_B \times P_B$ の交互作用は Fig. 4 に示した。この図から N_R/cm^2 は V_B と P_B の選び方によって変化することがわかる。交互作用の原因は $P_B = 6 \text{ kg/cm}^2$ のとき、TP-1 の場合 N_R/cm^2 に対する V_B のこの配が他の二つに比較して大きくなったこと、TP-2 の場合 N_R/cm^2 に対する V_B の変化が他の二つと異なり二次曲線になったことである。

なお、サンドブラスト条件を $P_B = 6 \text{ kg/cm}^2$ 、 $V_B = 10 \text{ cm/sec}$ にすれば $N_R/\text{cm}^2 = 10^{-3}$ となり被調整面の状態に関係のない塗膜の防食性能が得られる。

3.4.2 $N_B \times P_B$ の交互作用 $N_B \times P_B$ の交互作用は、Fig. 5 に示した。この図から N_R/cm^2 は N_B

Fig. 4. Interaction of $V_B \times P_B$ to N_R/cm^2 .

と P_B の選び方によって変化することがわかる。交互作用の原因は、TP-1 の場合 P_B によって N_R/cm^2 に対する N_B の曲線の状態が異なるためであるが、TP-2 の場合 $P_B = 6 \text{ kg/cm}^2$ のとき N_R/cm^2 に対する N_B のこの配が他の二つと比較して大きくなったためである。しかし交互作用としての効果は小さい。

Fig. 5. Interaction of $N_B \times P_B$ to N_R/cm^2

3.5 ブラスト前の被調整面の影響

サンドブラスト条件の P_B 、 V_B および N_B がそれぞれ一定のとき、 N_R/cm^2 の値は常に

$$\text{TP-1 の } N_R/\text{cm}^2 > \text{TP-2 の } N_R/\text{cm}^2 \quad (5)$$

である。

3.6 N_R/cm^2 に対するブラスト条件の回帰方程式

交互作用を無視した場合の N_R/cm^2 に対する P_B 、 V_B および N_B の回帰方程式は次のようである。

被調整面が TP-1 の場合

$$N_R/\text{cm}^2 = 116.3747$$

$$+ 0.3466 V_B + P_B(3.6555 P_B - 38.0895) - 4.5806 N_B \quad (6)$$

被調整面が TP-2 の場合

$$N_R/\text{cm}^2 = 23.0572$$

$$+ 0.3466 V_B + P_B(0.8327 P_B - 8.2335) - 0.9123 N_B \quad (7)$$

3.7 N_R/cm^2 と衝撃エネルギーとの関係

(2)式に示した総衝撃エネルギーの $N_B \cdot v^2$ を比較値として横軸にとり、点さび数 N_R/cm^2 を縦軸にとって Table IV の値をプロットすると Fig. 6 (a), (b) のようになる。両図から $10^1 < N_B \cdot v^2 < 10^3$ の範囲では、総衝撃エネルギーが同じであってもブラスト条件の選び方によって N_R/cm^2 がかわることを示している。ジンクシリケート塗料の安定した防食性能を得るには、供給空気圧力を 6 kg/cm^2 にし、 $N_B \cdot v^2 > 10^3$ にしな

Fig. 6. Relation between pinpoint rusting of TR-1, 2 coated with zinc silicate paint and $N_B \cdot v^2$.

ければならない。

4 結 言

以上の実験結果から、サンドブラスト条件とジンクシリケート塗料の防食性能について次の結論が得られた。

(1) 塗膜の防食性能に対し最も大きな影響を与えるブラスト条件は、研掃材を被調整面に打ち当てるための供給空気圧力であり、 6 kg/cm^2 が必要である。

(2) ブラストノズルの移動速度は供給空気圧力につぐ重要な要因で、安定した塗膜の防食性能を得るには $P_B = 6 \text{ kg/cm}^2$ のとき、被調整面がミルスケール付きプレートの場合 $V_B = 10 \text{ cm/sec}$ 、造船用鋼材として一次処理したプレートの場合 $V_B < 40 \text{ cm/sec}$ にすることが必要である。

(3) 繰返しブラスト回数は、被調整面に対する総衝撃エネルギーを増加させるだけで、防食性能の向上にはあまり寄与しない。

(4) 安定した塗膜の防食性能を得るには、上記サン

ドブラスト条件で素地調整を実施することのほかに、造船用鋼材として一次処理したプレートを被塗面に使用することがよい。

参 考 文 献

- 1) 浅原照三, 塗装の技術, **1**, 5 (1966).
- 2) Rowlands, J. C., J. ISI, **199**, 329 (1961).
- 3) 青木敬雄, 島田 実, 技術研究所報告(電力中央研究所) No. 65012 (1965).
- 4) Truelove, R. K., J. Oil Colour Chem. Ass., **49**, 57 (1966).
- 5) Wilson, R. W., and J. J. Zonsveld, North East Coast Institution of Engineers & Shipbuilder, **78**, 277(1962).
- 6) Andersson, B., "Fatipex", No. 45, 45 (1966).
- 7) Dannenberg, H., Am. Chem. Soci., **20**, 15 (1960).
- 8) 中井啓美, 片倉秀雄, 森 稔, 橋田 泰, 川崎技報, No. 29, 19 (1966).
- 9) Bigos, J., Corrosion, **15**, 428 t (1959).