

第 I 編 塗装の劣化、局部腐食

1. はじめに

現在、供用中の鋼橋は道路橋、鉄道橋合わせて約10数万橋である。これらの鋼橋は、高度成長期に建設されたものが多く、21世紀初頭には経年40年～50年を超え老朽化した橋梁が急増し、そのための投資も年々増加ことが予想される。一方、橋梁の建設については、厳しい財政事情が続く中でライフサイクルコスト（LCC）の低減が必要不可欠であり、今後の更新をも含めてその建設および維持管理コストの低減を図りながら長寿命化を進めて行く必要がある。

鋼橋は、自重が軽く強靱で耐震性および急速施工等に優れた特徴を有している。反面「腐食」と言う欠点も持つている。従って鋼橋のメンテナンスコストの中で防錆、防食が大きなウエイトを占めている。

鋼橋の防錆、防食対策は塗装により行われているのが一般的である。塗膜が健全な間は腐食現象が発生しない。従って塗装の維持管理は、適切な塗り替え塗装を行うことにより、塗膜の健全性を保持することが大切である。

塗膜は、大気中に暴露されると経年とともに劣化が進行する。次第に光沢や防錆性能が徐々に失われ、変退色に始まり、点錆、われ、ふくれ、はがれ等が生じる。その結果、鋼橋に腐食が発生する。塗膜の劣化は、架橋箇所や環境や塗装の種類等により大きく異なるが、部位によっても差異が生じるのが一般的である。

塗膜が劣化し局部的に腐食の進行が早い箇所として、塵埃や雨水の貯まりやすい支承付近、桁端部および部材の集中している箇所およびリベット、ボルト等の集中するファスナー部がある。特に、塩分の付着しやすい地域では特に著し進行する。このような箇所での局部的な腐食は断面を減少させ耐久性が損なわれ、しいては安全性も左右することになる。従ってこのような箇所、部位で十分な施工を行うのはもちろんのこと、きめ細かい維持管理を行うことが大切であろう。また、新橋の設計時には、水やゴミが溜まらない構造や環境に応じた防錆方法を採用し、状況により、部分的に重塗装をするなどの配慮が重要である。

本項では、鋼橋の延命化を阻害する塗膜の劣化、局部腐食についての診断と評価について事例をもとにまとめたものである。なお、腐食し易い箇所、部位等を図にした「腐食マップ」は、第III編を参照されたい。

表1-2 評価基準一覧表（その1）

	日本鋼構造協会指針			日本道路公団（本四公団）			首都高速道路公団			鉄道総合技術研究所（判定法P）		
	評価	状 況	塗替え時期の判定	評価	状 況 (合計評点の平均値)	塗替え時期の判定	評価	状 況	塗替え時期の判定	評価	状 況	塗替え時期の判定
ラ ン ク	0	異常又は劣化が進み、塗膜の存在価値を失っている。	-	I	塗膜面にさび、ひびわれ、はがれが発生し、塗膜効果が全く失効している。 (70~100)	緊急な塗替えが必要	A	-	-	P-I	評点32以上	塗替え終期
	1	異常又は劣化は相当進み、塗膜は機能の極限に達しているか、すでに超えている。	-	II	点さびが多く発生し、ひびわれ、さび、はがれが部分的に発生しているが、一部活膜も残っている。 (40~70未満)	早急な塗替えが必要	B	錆あるいはフクレ、ワレ、ハガレ、変退色が塗膜全面に発生しており、その総面積が全体面積の30%以上の場合。	-	P-II	評点31~24	早急に塗替えを実施する
	2	異常又は劣化はやや見られるが、塗膜機能は維持している。	-	III	塗膜にほとんどさびはないが、光沢減退チョーキングが著しく、上塗り塗膜が消失している部分もある。 (20~40未満)	適時な塗替えが必要	C	錆あるいはフクレ、ワレ、ハガレ、変退色が塗膜全面に発生しており、その総面積が全体面積の30%~10%の場合。	-	P-III	評点23~16	塗替えの適正時期
	3	異常又は劣化が全く認められない、もしあったとしても極めて局部的でしかも微少なため、塗膜の機能から無視し得る程度のものである。	-	IV	塗膜にほとんど異常がない。 (20未満)	調査を継続	D	小さな錆あるいはフクレ、ワレ、ハガレ、変退色が全面に点在しており、その総面積が全体面積の10%以下の場合。	-	P-IV	評点15~8	必要な場合のみ塗替える
							Q	特に異常な損傷がある場合。	-			
備考 (評価方法など)	各調査項目に対して上記4段階の評価を行う。さびの評価のなかで、塗膜の塗替えを目的とする調査の場合は評価点が1になったとき（さび発生面積0.3%を超えたとき）を塗替え時期としている。さびの評価はさび発生限度標準図と対比して評価点をつける。			塗替えを実施するの可否かの判定は、さび、はがれの特定の要因によるもの、または総合評価によるものとする。 特定の要因による場合 さび…部位の評点が20点程度を超える場合は、塗替えの考慮が必要である。 はがれ…現地状況等をふまえ、著しく美観が損なわれている場合は、塗替えを考慮するものとする。			塗替え時期の判定に対する記述はない。			判定法Qでは、写真見本台帳のQと照合しながら各部位ごとに調べた塗膜劣化状態を鉄けた全体として、劣化度Q-I~IVの4段階に分ける。判定法P、Qとも劣化度II~IIIを塗替え時期としている。 (なお、判定法Qを適用するものについては主として部分的に塗替え塗装が実施される。)		
				・さび 0~40点 ・はがれ 0~30点 ・ひびわれ 0~10点 ・白亜化 0~10点 ・環境条件 0~10点	計 100点							

表 1 - 2 評価基準一覧表 (その 2)

土木研究所資料 橋梁点検要領(案)

		損傷が耐荷力, 耐久力に与える影響	
		大	小
位置あるいはパターン (X)	区分	-	-
	具体的事例	-	-
深 さ (Y)	区分	塗装がハガレている。	塗装が変色している。
	具体的事例	桁, 高欄の塗装が剥離している。	桁, 高欄等の塗装が劣化のため変色している。
拡 が り (Z)	区分	全 体 的	局 部 的
	具体的事例	鋼部材全体に塗装の劣化が及んでいる。	鋼部材の塗装の劣化が局部的である。

判定区分	一 般 的 状 況
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
O.K	点検の結果から、損傷は認められない。

判定区分

Y	Z	全部材
大	大	III
	小	IV
小	大	IV
	小	OK

鋼道路橋塗装便覧

塗り替え時期の判定

		はがれの程度			
		1	2	3	4
さびの程度	1	①		②	
	2	①		②	
	3	②		③	
	4			③	

- ① 当面塗替える必要はない。
- ② 数年後に塗替えを計画する。
- ③ 早い時期に塗替えを検討する。

定期点検では、塗膜外観を調査し塗膜の状態を標準写真等と対比して4段階(1.健全, 2.ほぼ健全, 3.劣化している, 4.劣化が著しい)に評価する。

(1) さび

さびは標準写真と対比して4段階に評価する。

(2) はがれ

はがれは塗膜にとっては重大な欠陥であり、塗膜の外観上の問題に止まらず塗膜の防錆性の低下に直結する。標準写真と対比して4段階に評価する。

表 1 - 3 点検の種別・方法および頻度

建設省	日本道路公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	本州四国連絡橋公団	J R 東日本旅客鉄道
<p>1. 通常点検 車または徒歩による目視 一般国道(指定区間内):1回/日 " (その他):重要度等 によって 決定</p> <p>2. 定期点検 橋面上, 橋梁下から橋梁細部 にわたって行う。 定期巡回時を原則とするが 1回/年が望ましい。</p> <p>3. 異常点検 上記の点検で発見された損傷 の詳細や異常事態が発生した 場合等に行われ, 方法は点検 内容による。</p>	<p>1. 日常点検 車から確認できる範囲で目視 頻度は1回/日</p> <p>2. 定期点検 徒歩にて可能な限り接近目視 A. 管理区間全体の構造物を 全般的に点検 1回/年 B. 個々の構造物の状況を細 部に渡って点検 1回/年</p> <p>3. 臨時点検 日常点検, 定期点検を補完す るために, 必要に応じて行い 方法はその都度決定する。 塗装に関しては3年に1度</p>	<p>1. 日常点検 車にて目視または車上感覚に よって行う。 路上:1回/日, 夜1回/週 高架下:1回/週</p> <p>2. 定期点検 点検計画に基づき, 接近目視 や計器を用い細部にわたって 行う。 (1) 高架下の徒歩による点検 1回/年:第三者に支障を与 える損傷を早期に発見する ために行う。 (2) 工事用足場上からの点検 (3) 橋脚および梁上の点検 1回/10年:工事用足場上か らの点検のときに行う。 (4) HTB の点検 1回/10年</p> <p>3. 臨時点検 異常事態により損傷が生じた 場合, あるいはそれが予想さ れる場合</p>	<p>1. 日常点検 目視または車上感覚によっ て行う。 路上:1回/週(点検車にて) 路下:1回/月(徒歩にて) 水上部:1回/年(船にて)</p> <p>2. 定期点検 長期点検計画に基づき, 接近 目視や計器を用い細部にわた って行う。 頻度は1回/5~7年で5年を 標準サイクルとする。</p> <p>3. 臨時点検 上記の点検で発見された損傷 の原因の究明, 補修の要否, 補修工法の決定および異常事 態の対処等を目的として行 い, 方法はその都度決定する。</p>	<p>1. 日常点検 目視または車上感覚によっ て行う。 A. 1日1回(車にて巡視) B. 1月1回(徒歩にて巡視)</p> <p>2. 定期点検 構造物ごとに周期を定めてい る。 A. 基本点検:目視または簡単 な測定で細部の状態をみる。 B. 精密点検:計器による高度 な測定を行い安全度の判定 をする。</p> <p>3. 臨時点検 必要によってその都度行う。 目的に応じて下記の種類があ る。 A. 基本点検 B. 精密点検 C. 災害点検</p>	<p>1. 全般検査 - 保線区で実施 主に徒歩巡回による目視検 査で行う。 (1) 定期 1回/2年 (2) 不定期 必要に応じて</p> <p>2. 個別検査 - 土木技術セ ンターで実施 精度の高い健全度の判定を行 って, 原因の究明や措置の方 法など総合的な判断を行うも ので, 目視や計器等によって 行う。 全般検査の点検結果Aランク 判定について行う。</p>
<p>「道路橋補修便覧」 S54.2 (社) 日本道路協会 発行</p>	<p>「点検の手引き」 S60.3 「維持修繕要領」 S63.5</p>	<p>「土木構造物点検要領」 S57.3</p>	<p>「道路構造物の点検標準」 (土木構造物編) S60.9</p>	<p>「土木構造物点検要領」 S58.11</p>	<p>「建造物保守管理の標準・同解 説」 (財団法人鉄道総合技術 研究所) S62.3</p>

4) 塗替えフロー

これらの実施、結果の評価より塗り替え塗装が行われることになるが、次に一般的な塗り替えフローの一例を図1-1に示す。

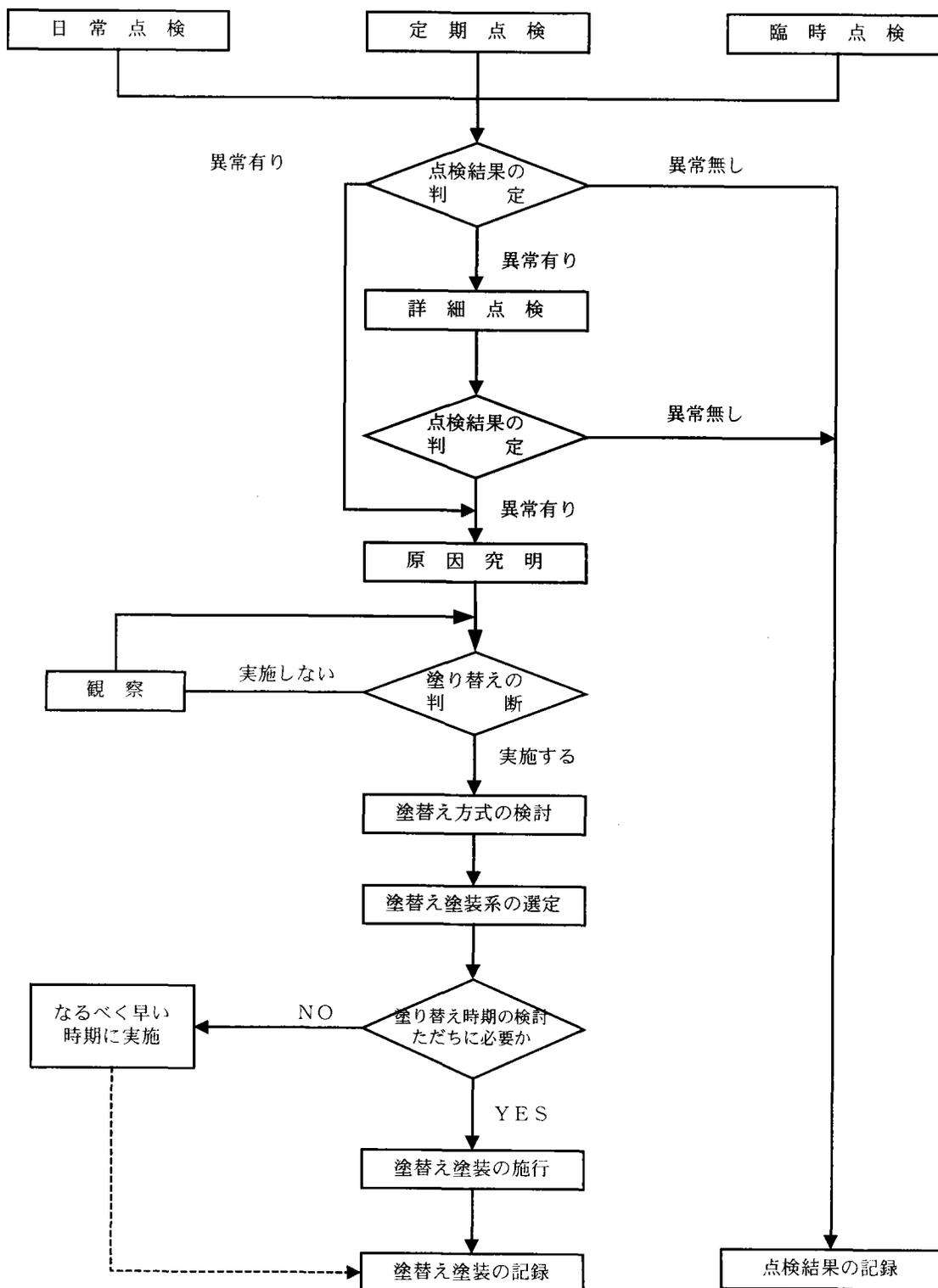


図1-1 塗替え塗装のフローの例

2.2 各評価基準について

2.2.1 日本鋼構造協会指針の評価基準

ここでは計器による調査項目は除いた。

1) さび

さび発生調査は調査対象面に発生しているさびを全対象とし、標準図と対比しながら評価を行い評価点で表す。一般に調査は部位別に分けて径間ごとに評価する。

表1-4はさびの評価点、図1-2はさび発生限度標準図を示す。

表1-4 さびの評価点

評価点 (RN)	発生状態	
	発生面	外観状態
3	$X < 0.03$	異常なし。 誰が見ても外観的にはさびが認められないか、さびらしきものがあったても無視し得る程度のもの。
2	$0.03 \leq X < 0.3$	僅かにさびが見られる。 さびが観察される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。
1	$0.03 \leq X < 5.0$	明らかにさびが見られる。 誰が見ても発錆部分が多く、何らかの処置をほどこさなければならない状態。
0	$5.0 \leq X$	見かけ上ほぼ前面にわたってさびがみられる。早急に塗料を塗り直さなければならない状態。

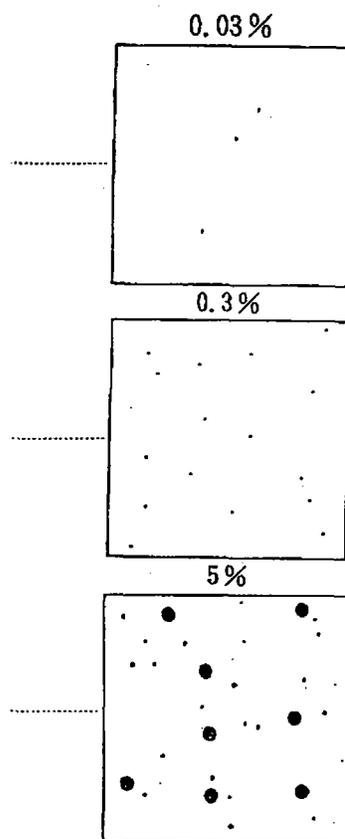


図1-2 さびの発生限度標準図

2) はがれ

調査に当たっては、日本塗料検査協会のはがれ標準図 図1-3を参照して、表1-5の評価点に置き替えて評価する。

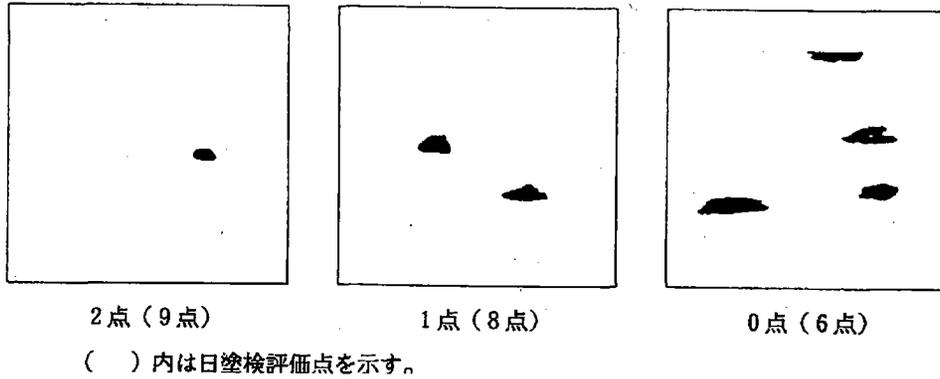


図1-3 はがれ標準図

表1-5 はがれ評価点

評価点(RN)	日塗検評価点	はがれ発生面積(%)
3	10	0
2	9	$0 < X \leq 0.5$
1	8	$0.5 < X \leq 2.0$
0	6以下	$2.0 \leq X$

3) 白亜化(チョーキング)

外観評価に際しては、あらかじめ塗膜表面を指先などでこすり、白亜化であることを確認してから初期の色に該当する標準色見本帳(日本塗料工業会)などと比較して評価する必要がある。

表1-6 白亜化評価点

評価点(RN)	日塗検評価点	はがれ発生面積(%)
3	8点	ほとんど変化なし
2	6点	僅かに白っぽい
1	4点	かなり白っぽい
0	2点	ほとんど真っ白である

4) わ れ

調査に当たっては、日本塗料検査協会のわれ標準図 図1-4を参照して表1-7の評価点に置き換えて評価する。

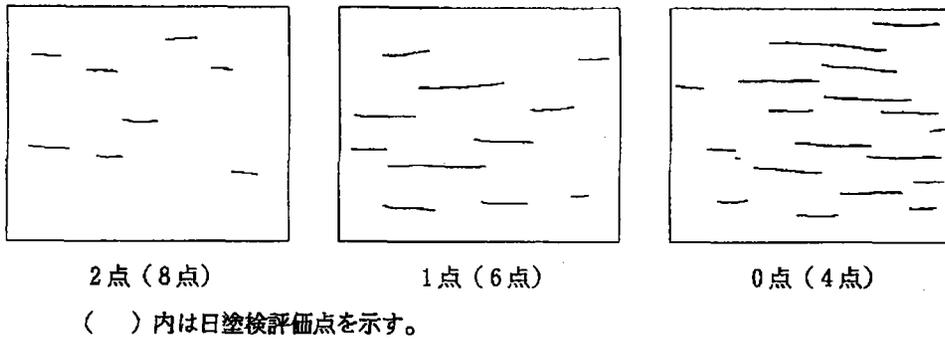


図1-4 われ標準図

表1-7 われ評価点

評価点(RN)	日塗検評価点
3	10
2	8
1	6
0	4以下

5) ふくれ

ふくれ発生評価に用いる標準図は 図1-2(さび標準図)を引用する。

表1-8 ふくれ評価点

評価点(RN)	発生状態	
3	発生している面積(%)	$X < 0.03$
2	同上	$0.03 \leq X \leq 0.3$
1	同上	$0.3 < X \leq 5.0$
0	同上	$5.0 \leq X$

6) 変退色

初期の色に相当する標準色見本帳と塗膜色の差の程度を変退色グレースケール(JIS L 0804)を用いて評価する。評価点は表1-9による。

表1-9 変退色の評価点

評価点(RN)	変退色の程度	グレースケール
3	初期と比べてほとんど変化なし	$4 \leq X$
2	初期に比べて変化している	$3 \leq X < 4$
1	初期と比べて著しく変化している	$2 \leq X < 3$
0	初期のいろをほとんどとどめていない	$X < 2$

7) 汚 れ

塗膜表面の汚れを水又は洗剤を用いて10×10cmの面積を抜き取り、その洗浄面と周囲の汚れた面との差をグレースケールと比較することにより汚れの程度を評価する。塗膜の汚れの評価点は表1-10による。

表1-10 汚れの評価点

評価点(RN)	汚 れ の 程 度	グレースケール
3	汚れはほとんどなし	$4 \leq X$
2	やや汚れあり	$3 \leq X < 4$
1	中程度の汚れあり	$2 \leq X < 3$
0	汚れは著しい	$X < 2$

8) 傷

調査に当たっては日本塗料工業会のわれ標準図 図1-4を参照して表1-7の評価点に置き換えて評価する。

2.2.2 日本道路公団の評価基準

評 点

各評点は1スパン1部材毎に平均値を記入する。

1) さび

さびの評点は表1-11によるものとする。また面積率は図1-5を参考としている。

表1-11 さびの評点

評 点	状 況
4 0	錆の発生が調査箇所面積の3%以上にみられる。
3 0	” 1%以上～3%未満にみられる。
2 0	” 0.3%以上～1%未満にみられる。
1 0	” 0.1%以上～0.3%未満にみられる。
0	異常が認められない。

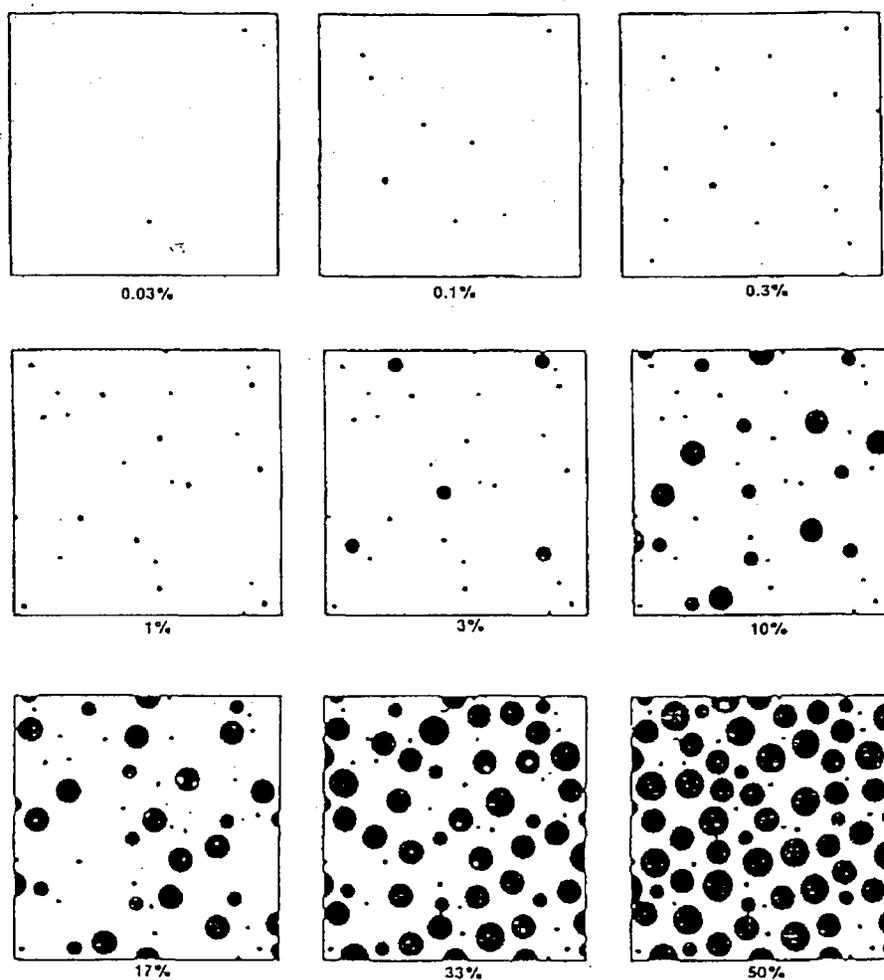


図1-5 塗膜劣化の比率

[アメリカ鋼造物協会 (S. S. P. C.) 塗装仕様書(1964)
塗装した鋼表面の錆発生程度の標準評価方法]

2) はがれ

表 1-12 はがれの評点

評 点	状 況
30	はがれの発生が調査箇所面積の33%以上にみられる。
24	17%以上～33%未満にみられる。
18	10%以上～17%未満にみられる。
12	3%以上～10%未満にみられる。
6	3%未満にみられる。
0	異常が認められない。

3) ひびわれ

表 1-13 ひびわれの評点

評 点	状 況
10	ひびわれが著しい。
5	ひびわれが発生している。
0	異常が認められない。

4) 白亜化

表 1-14 白亜化の評点

評 点	状 況
10	チョーキングが発生しており塗色が確認できない。
5	チョーキングは発生しているが塗色は判別できる。
0	異常が認められない。

5) 環境条件

環境条件の評点は景観的に重要であるかどうかによって表 1-15 のとおりとする。

表 1-15 環境条件の評点

評 点	環 境	景 観
10	工場地帯および都会地	重 要
8	海上および海岸	”
6	田園・山間地	”
4	工場地帯および都会地	普 通
2	海上および海岸	”
0	田園・山間地	”

2.2.3 (財)鉄道総合技術研究所の評価基準

1) 判定法P

以下の手順で劣化度の判定を行う。

検査対象けたの構造と部材区分

構造種別により検査対象部材を区分する。

表1-16 鉄桁の構造による評点の換算率

けたの構造	検査対象部材	換算率
トラス、アーチ	上、下弦材、料材(垂直材)、縦・横けた	8/5
スルーガーダ	上・下フランジ、腹板、縦・横けた	
ビーム、デッキガーダ、ラーメン、トラフガーダ、合成けた	上・下フランジ、腹板	8/3
鋼橋脚	主構、その他	1

各部材別に塗膜劣化状態の評価

上記、部材区分別に「塗膜劣化状態の評価とその評点」により評点をつける。

評価	評点	塗膜劣化状態
AA	5	全面に著しいさびが発生し、塗膜がほとんど残存しない状態
A1	4	全面にわれ、はくり、さびが発生しているか、部材の大部分に錆が発生し、防錆効果か失効し、さびが立体的に進行しつつある状態
A2	3	かなり大きな点さびが点在しているか、小さい点さびが全面に存在している状態
B	2	大きい点さびが点在しているか、点さびが全面にわたって少し点在している状態
C	1	塗膜に発錆はほとんどないが、白亜化が著しいか、白亜化と層間はくりが著しく進行して、上塗り塗膜が消失している状態
S	0	異常なし

部材別ウェイトによる塗膜評価

鋼橋脚の場合のみ表1-17によりウェイト付けする。

表1-17 鋼橋脚部材のウェイト

部材	ウェイト	部材	ウェイト
主柱と梁	7	その他	1

注) 主柱と梁およびその他の部材で塗膜劣化状態を評価し、主柱と梁の評点×7+その他の部材の評点=鋼橋脚の評点になる。

鉄けたの構造別に換算した評点

- ・例えば、スルーガーダの場合
各部材において劣化状態が、上フランジA2、下フランジA1、腹板B、縦桁B、横桁Aとすると表1より評点の総合
 $= 3 + 4 + 2 + 2 + 3 = 14$
- ・表1-17よりスルーガーダの換算率8/5を乗じて $14 \times 8/5 = 22.4$

塗膜劣化度の評価

表1-18により劣化度をランク付けする。

表1-18 塗膜劣化度

劣化度	P-I	P-II	P-III	P-IV
鉄桁の評点	32以上	31~24	23~16	15~6

- 劣化度P-I 塗替え終期。
- 劣化度P-II 早急に塗替えを実施する。
- 劣化度P-III 塗替えの適正時期。
- 劣化度P-IV 必要な場合のみ塗替える。

2) 判定法Q

判定法Qでは、写真見本帳のQと照合しながら各部材ごとに調べた塗膜劣化状態を鉄けた全体として、劣化度Q-I～IVの4段階に分ける。

塗膜の塗替時期は、各部材ごとに調べた塗膜劣化状態を全体的に評価して、次の4段階に分ける。

劣化度Q-I：部分的にさびおよびふくれがかなり発生した場合

劣化度Q-II：部分的にさびおよびふくれがある程度生じた場合

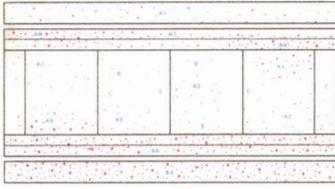
劣化度Q-III：部分的にさびおよびふくれが少し生じた場合

劣化時Q-IV：上塗り塗膜のみにはく離などの欠陥がかなり生じた場合および美観が著しく損なわれた場合

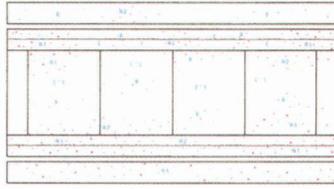
判定法P、Qとも劣化度II～IIIを塗替え時期としている。(なお、判定法Qを適用するものについては主として部分的に塗替塗装が実施される。)

劣化見本を次ページに示す。

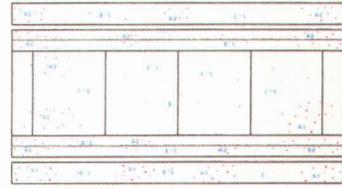
劣化見本



劣化度Ⅰ (6ページ参照)

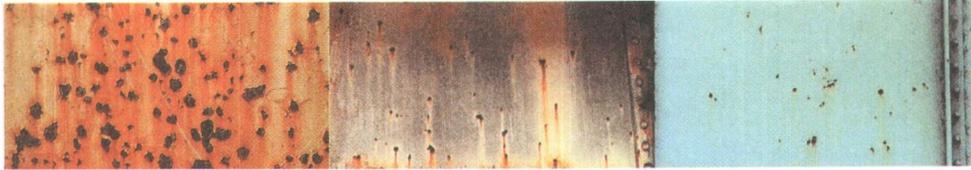


劣化度Ⅱ (7ページ参照)



劣化度Ⅲ (8ページ参照)

判定法Pの見本



A A (10ページ参照)

A 1 (11ページ参照)

A 2 (12ページ参照)



B (13ページ参照)

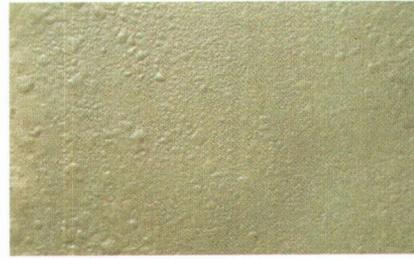
C (白亜化, 14ページ参照)

C (層間はくり, 15ページ参照)

判定法Qにおける塗膜劣化状態



点さび



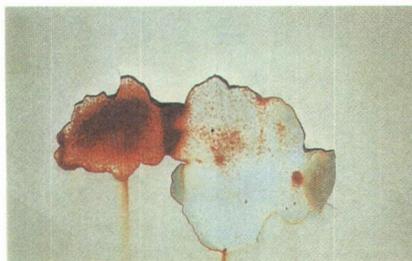
ふくれ



ふくれさび



はくり



はがれさび



白亜化

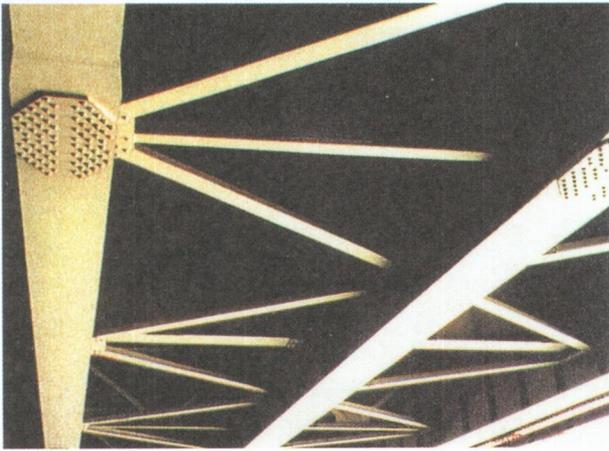
2.2.4 鋼道路橋塗装便覧の評価基準

さび、はがれ共に標準写真等と対比して4段階に評価する。

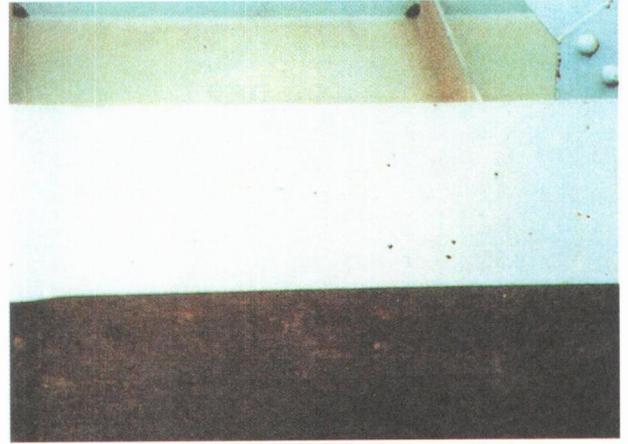
- 1) 本写真帳は、鋼道路橋塗装の定期点検時に行うさびとはがれの程度の評価に適用する。
- 2) さびとはがれの評価は橋梁にできるだけ近づき、部位別に標準写真と対比して行う。
- 3) 鈹桁のさびは、フランジ下面、腹板、添節部、部材の角度や端部、対傾構や斜材および支承などの部位別に、それぞれ4段階に分類した標準写真と対比して評価する。
- 4) 箱桁、トラス桁のさびは、それぞれの標準写真と対比して評価するが、鈹桁と共通する部材は鈹桁の標準写真と対比して評価する。
- 5) はがれは4段階に分類した標準写真と対比して評価する。
- 6) 塗膜の劣化程度の4段階評価は次のように行う。
 - 評価1：健全
 - 評価2：ほぼ健全
 - 評価3：劣化している
 - 評価4：劣化が著しい
- 7) 塗替時期の判定は、部位別のさびとはがれの評価結果から橋梁全体の塗膜劣化程度を評価して行う。

次ページ以降に”塗膜劣化程度標準写真”を示す。

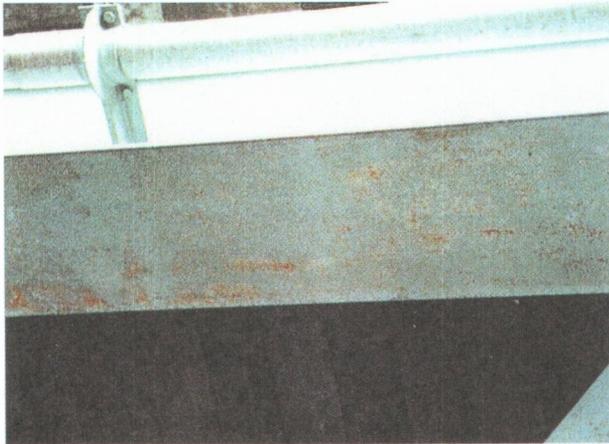
1. さ び 1.1 鋳桁下フランジ下面



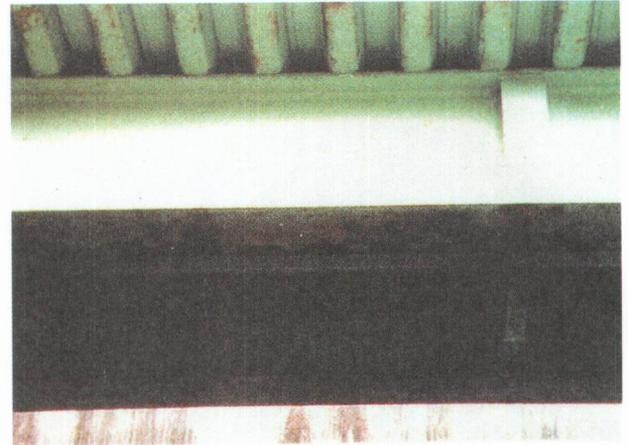
評価 1



評価 2



評価 3

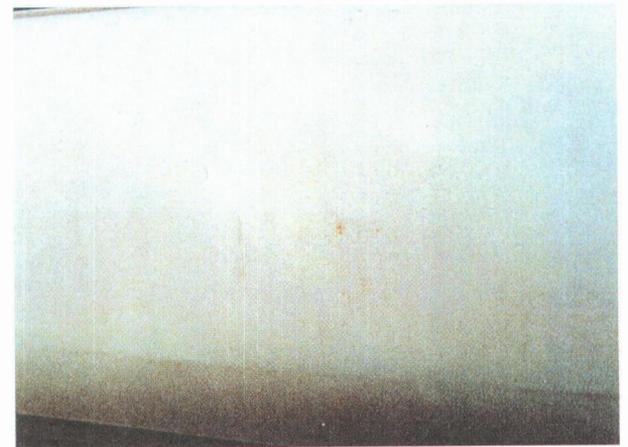


評価 4

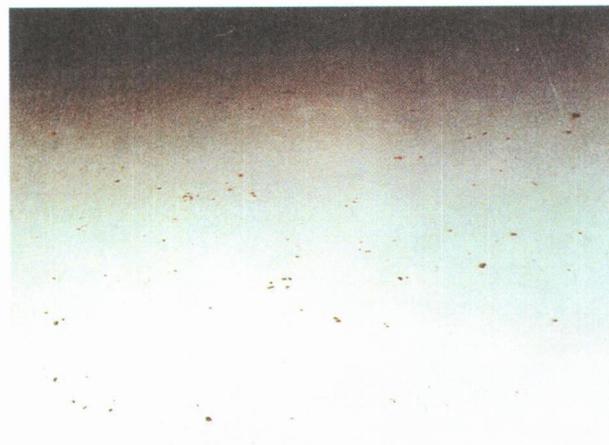
1.2 鋳桁腹板



評価 1



評価 2

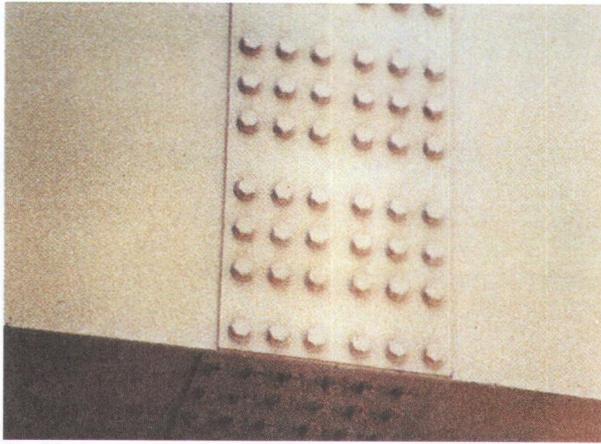


評価 3

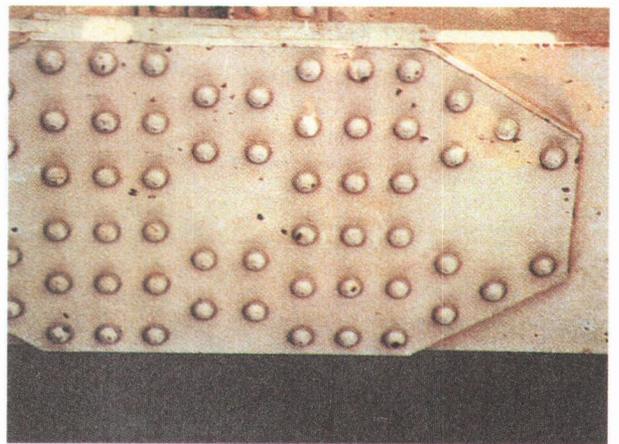


評価 4

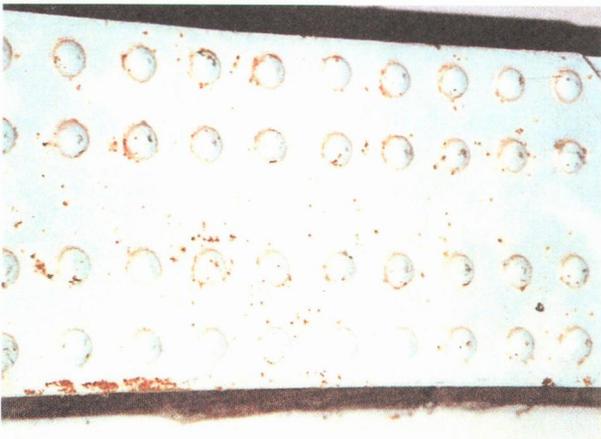
1.3 板桁添接部



評価 1



評価 2



評価 3



評価 4

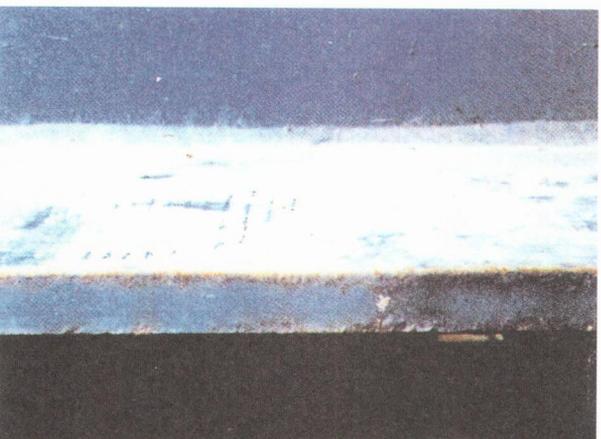
1.4 板桁部材の角部、端部



評価 1



評価 2



評価 3

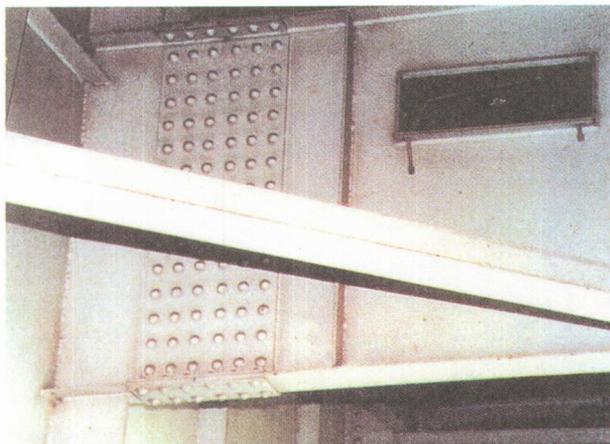


評価 4

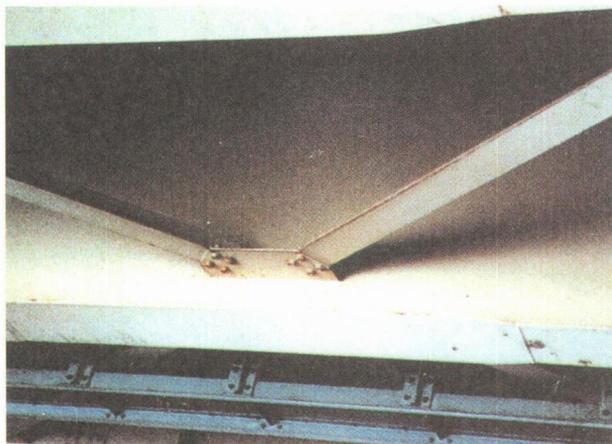
1.5 鉸桁対傾構, 斜材



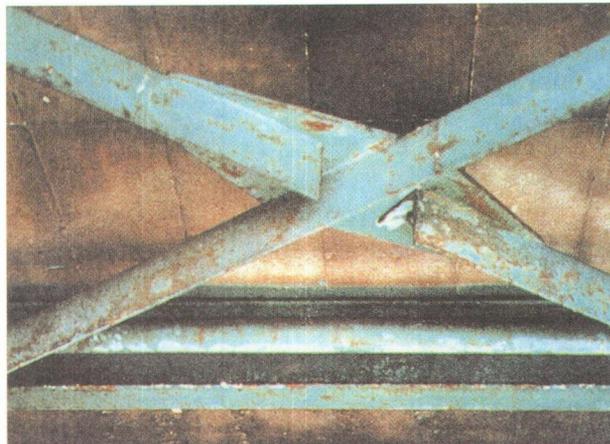
評価 1



評価 2

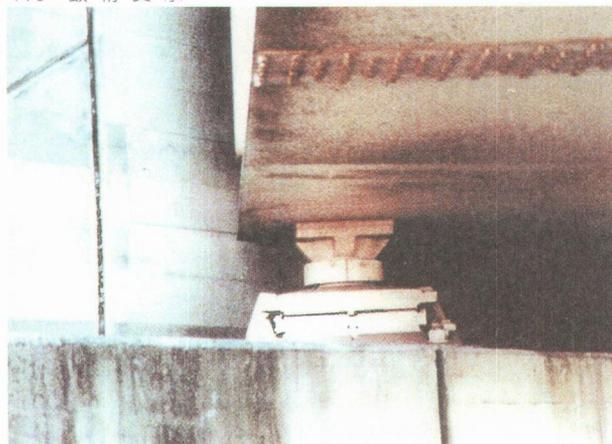


評価 3



評価 4

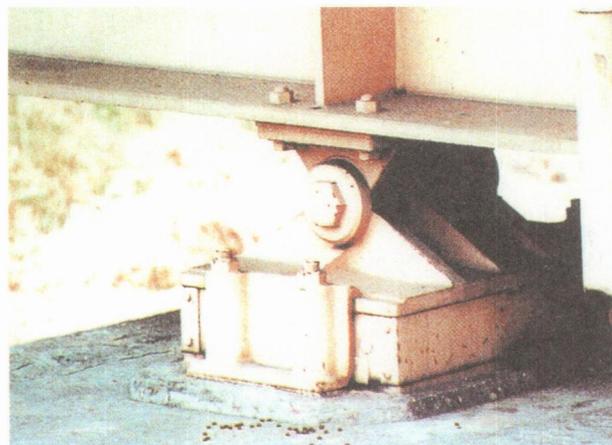
1.6 鉸桁支承



評価 1



評価 2



評価 3

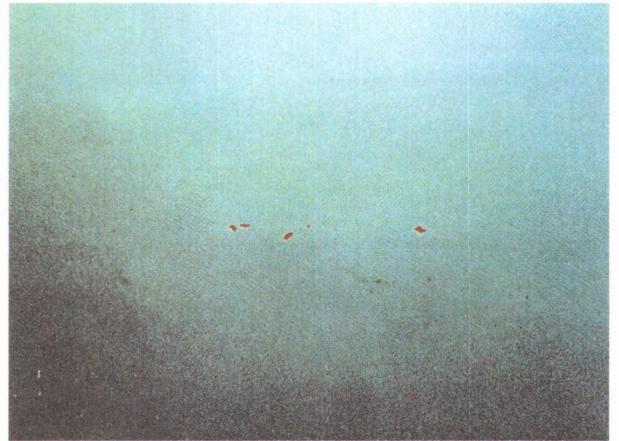


評価 4

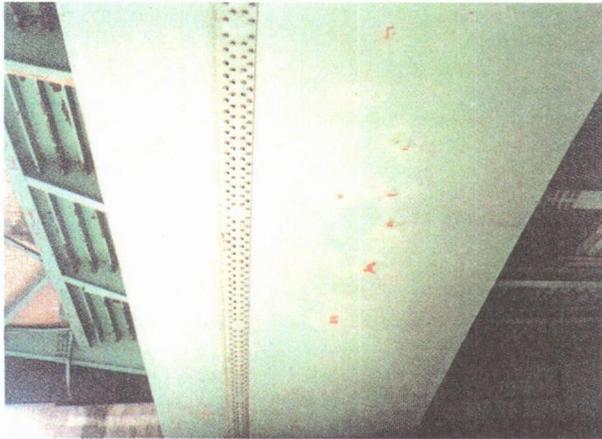
1.7 箱桁



評価 1



評価 2

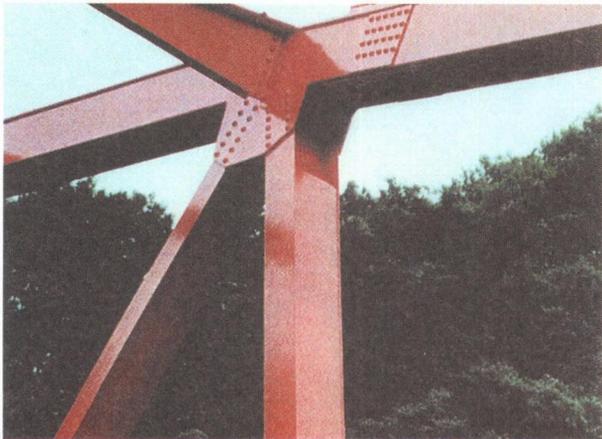


評価 3

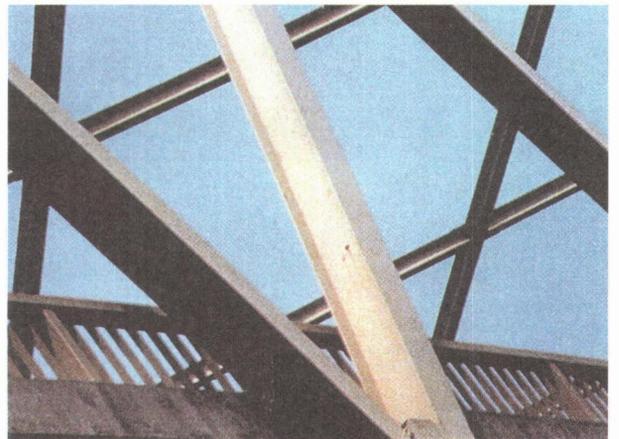


評価 4

1.8 トラス桁



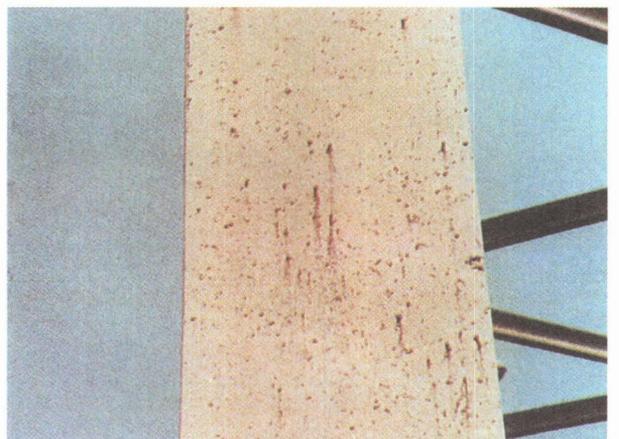
評価 1



評価 2

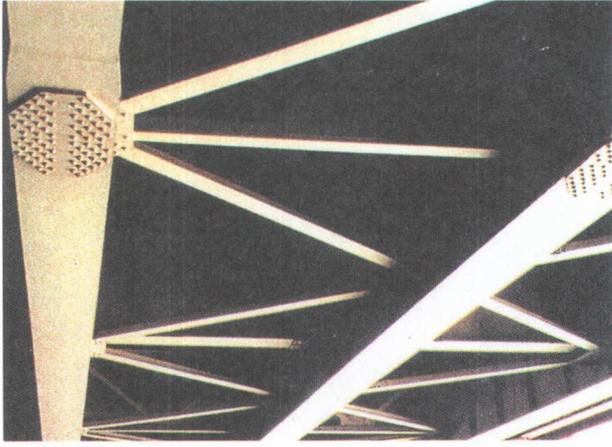


評価 3



評価 4

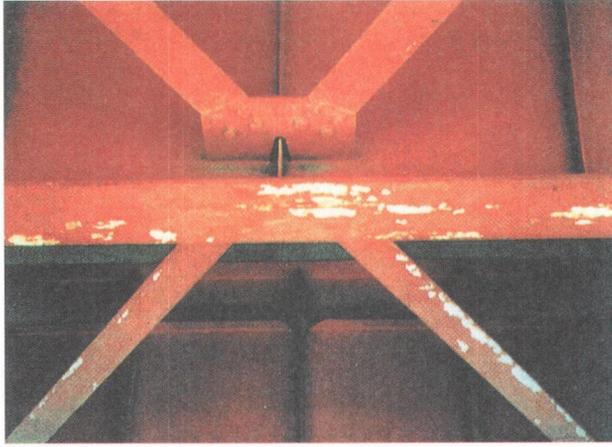
2. はがれ



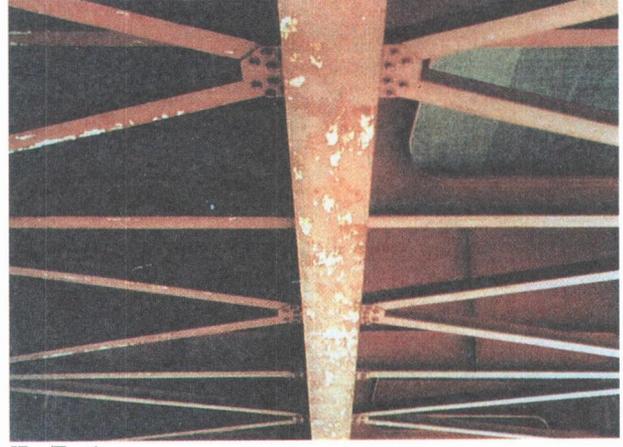
評価 1



評価 2



評価 3



評価 4

2.3 新しい点検診断技術

ここでは新しい点検診断技術の動向について紹介する。

		概 要
土木研究所	COMS 塗膜診断技術	<p>開発されているシステムは次の3つのシステムで構築されている。</p> <p>COMS-1 塗膜劣化標準写真帳を現場で塗膜と対比しながら目視観察で得られた点検データを入力すると、「総合診断」、「防錆視点からの判断」、「美観視点からの判断」、「部分補修に関する判断」、「水洗いに関する判断」を行うシステム</p> <p>COMS-2 塗膜の残存寿命を予測するシステム</p> <p>COMS-3 塗り替え塗装仕様を選定するシステム</p>
日本道路公団試験研究所	鋼橋の塗膜劣化診断システム Paint View	<p>コンピューターによる画像処理技術を利用することにより、点検員の経験の有無に関係なく塗膜の劣化現象を定量的に評価すると共に、塗膜表面の顕在劣化から塗膜下腐食を推定し、塗膜の余寿命を診断するエキスパートシステムである。</p>
鉄道総合研究所	橋梁塗装維持管理システム ペン太くん	<p>鋼橋補修業務を支援するパソコンレベルによるシステム。塗り替えまでの検査を2ないし3回に減らすと共に、適時塗り替えによる効率的な管理を目指している。このため、橋梁の諸元や塗装履歴、劣化状態の検査結果を連結したデータベースを構築すると共に、塗膜劣化の寿命予測を組み合わせ、検査計画や工事計画を作成する。</p>
関西ペイント	塗膜診断システム JAST	<p>コンピュータを使用した塗膜診断エキスパートシステムである。アウトプットされる情報は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在の塗膜劣化状態 ・塗膜劣化推移の予測 ・塗り替え塗装の必要性の判定 ・最適塗り替え仕様の選定とコストパフォーマンス情報

3. 延命化塗装方法

3.1 塗装仕様

1) 新設橋塗装

- ・少数主桁橋、箱桁橋等の部材数の少ない橋は全工場塗装として、塗膜品質の向上、施工性の改善および建設費の縮減を計る。
- ・下塗りは、有機ジンクリッチペイントの使用により、無機ジンクリッチペイントで必要だったミストコートを省略し、塗装回数を減らすことができる。
- ・全工場塗装の場合、膜厚が柔らかい塗装系は不向きなので、上塗り塗料を、一般地域ではポリウレタン樹脂塗料、環境の厳しい地域ではフッ素樹脂塗料とする必要がある。また、耐久性のある塗装系を採用することにより、塗装の塗り替え周期を伸ばすことができる。

表1-19 全工場外面塗装仕様例

	工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗膜厚 (μm)
4 回 塗 り	1次素地調整	ブラスト処理 ISO 8501-1 Sa2 1/2		
	1次プライマー	機能性プライマー	200	17
	2次素地調整	一般部 SPSS Ss, 溶接部・発錆部 ISO Sa2 1/2		
	第1層	有機ジンクリッチペイント	700	75
	第2層	厚膜エポキシ樹脂塗料下塗	540	120
	第3層	ポリウレタン樹脂塗料中塗	170	30
	第4層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	140	25
3 回 塗 り	1次素地調整	ブラスト処理 ISO 8501-1 Sa2 1/2		
	1次プライマー	機能性プライマー	200	17
	2次素地調整	一般部 SPSS Ss, 溶接部・発錆部 ISO Sa2 1/2		
	第1層	有機ジンクリッチペイント	700	75
	第2層	厚膜エポキシ樹脂塗料中塗	565	125
	第3層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	280	50

2) 塗り替え塗装

- ・1種ケレン（ブラスト）が可能な場合は、下塗りを防錆能力の高い厚膜形ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料とし、延命化を計る。
- ・2種ケレン（パワーツール）の場合は、錆がくぼみ等に残存するので、遮断機能の高い変性エポキシ樹脂塗料を下塗りとして採用し、延命化を計る。
- ・塗り替え塗装の上塗りは、塗り替え周期の長期化を目的とし、ポリウレタン樹脂塗料またはフッ素樹脂塗料を採用する。

表1-20 塗り替え外面塗装仕様例

素地調整	工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗膜厚 (μm)
1種	第1層	有機ジンクリッチペイント	700	75
	第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	300	60
	第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	300	60
	第4層	ポリウレタン樹脂塗料中塗	170	30
	第5層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	140	25
2種	第1層	有機ジンクリッチペイント	300	30
	第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60
	第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60
	第4層	ポリウレタン樹脂塗料中塗	140	30
	第5層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	120	25
3種	第1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60
	第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60
	第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	60
	第4層	ポリウレタン樹脂塗料中塗	140	30
	第5層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	120	25

3) 局部補修塗装

- ・ 局部の錆の除去は困難なので、超厚膜型の塗料で外部と遮断する。
- ・ 超厚膜型の塗料として、エポキシ樹脂塗料、エポキシ樹脂ガラスフレーク塗料が使用されている。

表1-21 局部補修用外面塗装仕様例

素地調整	工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗膜厚 (μm)
2種	第1層	エポキシ樹脂プライマー	120	30
	第2層	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	1000	300
	第3層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	120	25

3.2 素地調整方法

現在、鋼橋の素地調整として主に用いられている方法の比較を表1-22に示す。

表1-22 素地調整の方法とその長所・短所

方 法		長 所	短 所	対 策
サンドブラスト	乾式	<ul style="list-style-type: none"> ・ミルスケール、赤錆、汚れが完全にとれる。 ・複雑な形状のものでも処理できる。 ・現場での処理が可能である。 ・研掃剤が安価である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂、ちり、ほこりの飛散が著しい。 ・研掃剤の回収使用ができない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺のものにカバーをする。 ・飛散防止を必要とする場合はオーニングする。
	湿式	<ul style="list-style-type: none"> ・ミルスケール、赤錆、汚れが完全にとれる。 ・複雑な形状のものでも処理できる。 ・砂、ちり、ほこりの飛散がほとんどない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水を使うので赤錆が出やすい。 ・廃水処理が必要。 ・乾式に比べ能率が悪い。 ・研掃剤の回収使用ができない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水の中に防錆剤を混入する。
バキュームブラスト		<ul style="list-style-type: none"> ・ミルスケール、赤錆、汚れが完全にとれる。 ・ほこりの飛散がほとんどない。 ・研掃剤の循環使用ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・凹凸の多い部分や角の部分では、ほこりの吸収ができない。 ・他のブラストと比べ能率が悪い。 ・設備が大きいので、車線規制もしくは大掛かりな足場が必要。 	
ショット(グリッド)ブラスト(遠心式)		<ul style="list-style-type: none"> ・ミルスケール、赤錆、汚れが完全にとれる。 ・研掃剤の循環使用ができる。 ・サンドブラストと比べ衛生的である。 ・人手がかからず大量に処理できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・単純な形状の物しか処理できない。 ・錆落し後長時間放置するので再び赤錆が出やすい。 ・設備費が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・部位により手打ちとなる。 ・1次防錆塗装をする。
ディスクサンダー		<ul style="list-style-type: none"> ・安易に利用できる。 ・能率も比較的よい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な形状のものは処理しにくい。 ・固着したミルスケールの除去は難しい。 	

その他、粉塵を生じにくいフェロアロイスラグ系研削材の採用例も最近報告されている。

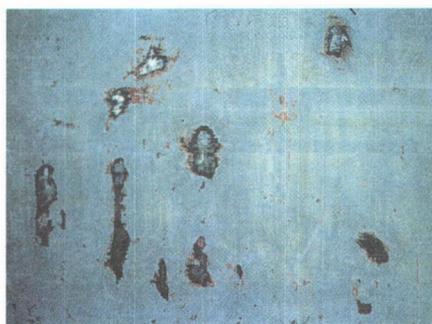
次ページに素地調整の程度見本を示す。

素地調整の見本

(ブラスト法は除く)



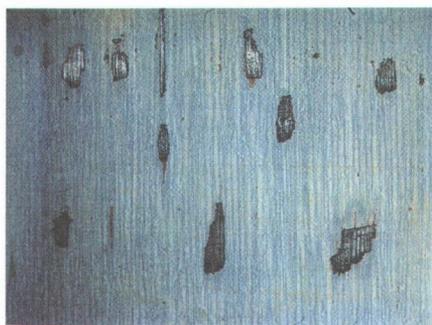
No.1
替ケレン-1
動力工具を用いて、できるだけ完全にさびや旧塗膜を除去した程度。
〔除錆度-3〕
（白い部分は鉄の金属光沢、その他は素地鉄。）



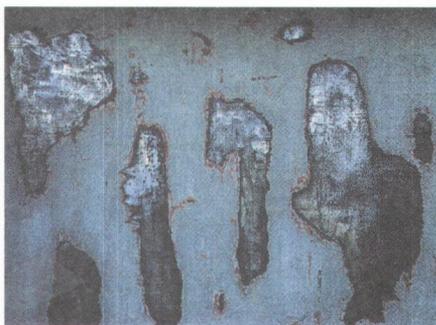
No.5
替ケレン-3
全面に動力工具をあて、劣化塗膜やさびを除去した程度。但し、替ケレン-2より素地露出面積は少ない。
〔除錆度-3〕
（白い部分は鉄の金属光沢、その他は素地鉄。茶色部分は下塗り残存塗膜、灰色部分は上塗り残存塗膜。）



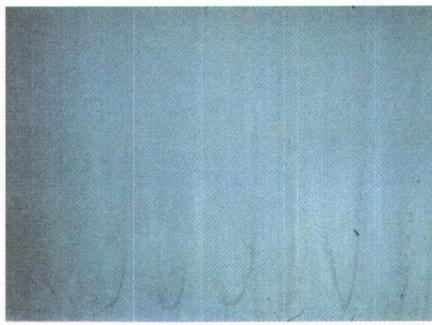
No.2
替ケレン-1
手工具を用いて、できるだけ完全にさびや旧塗膜を除去した程度。
〔除錆度-3〕
（白い部分は鉄の金属光沢、その他は素地鉄。）



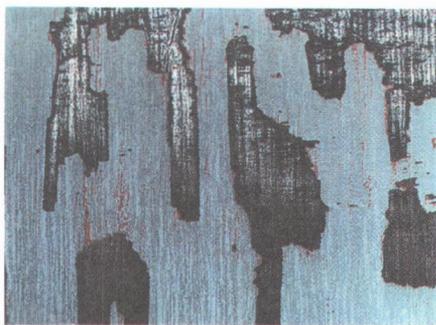
No.6
替ケレン-3
全面に手工具をあて、劣化塗膜やさびを除去した程度。但し、替ケレン-2より素地露出面積は少ない。
〔除錆度-3〕
（白い部分は鉄の金属光沢、その他は素地鉄。茶色部分は下塗り残存塗膜、灰色部分は上塗り残存塗膜。）



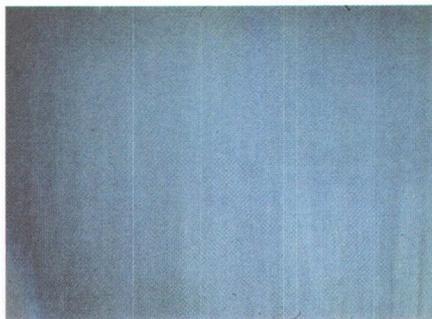
No.3
替ケレン-2
全面に動力工具をあて、劣化塗膜やさびを除去した程度。
〔除錆度-3〕
（白い部分は鉄の金属光沢、その他は素地鉄。茶色部分は下塗り残存塗膜、灰色部分は上塗り残存塗膜。）



No.7
替ケレン-4
全面に動力工具（ワイヤブラシ・バフ掛け）をあて、清掃した程度。
（灰色部分は上塗り残存塗膜。）



No.4
替ケレン-2
全面に手工具をあて、劣化塗膜やさびを除去した程度。
〔除錆度-3〕
（白い部分は鉄の金属光沢、その他は素地鉄。茶色部分は下塗り残存塗膜、灰色部分は上塗り残存塗膜。）



No.8
替ケレン-4
全面に手工具（ダスター刷毛・網状研磨具等）をあて、清掃した程度。
（灰色部分は上塗り残存塗膜。）

3.3 ブラスト装置

鋼橋の維持管理において、塗装は非常に重要な問題である。長期に良好な維持管理が出来るか否かは、塗装の出来不出来にかかっている。発生の原因は素地調整の良否、および塗装の良否によるが、素地調整は極めて重要である。鋼橋の素地調整の方法として、ブラスト、動力工具による方法がある。素地調整の品質から言えばブラストが優れているが、粉塵の発生、研掃材(砂)の回収等、施工に当たっては公害、設備面からの問題も多い。

現橋の維持補修のためにブラストを適用した場合、上記の問題を少しでも緩和できる装置がないか調査した。

1)バキュームブラスト装置 (図1-6)

研掃材を繰り返し使用でき、粉塵等が飛散しない。ただし、作業ホースの長さにより処理効率が落ちると思われる。動力は圧縮空気 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 、挟隘な桁の裏側まで作業できるかは疑問。現地への移動はトラック輸送が可能。

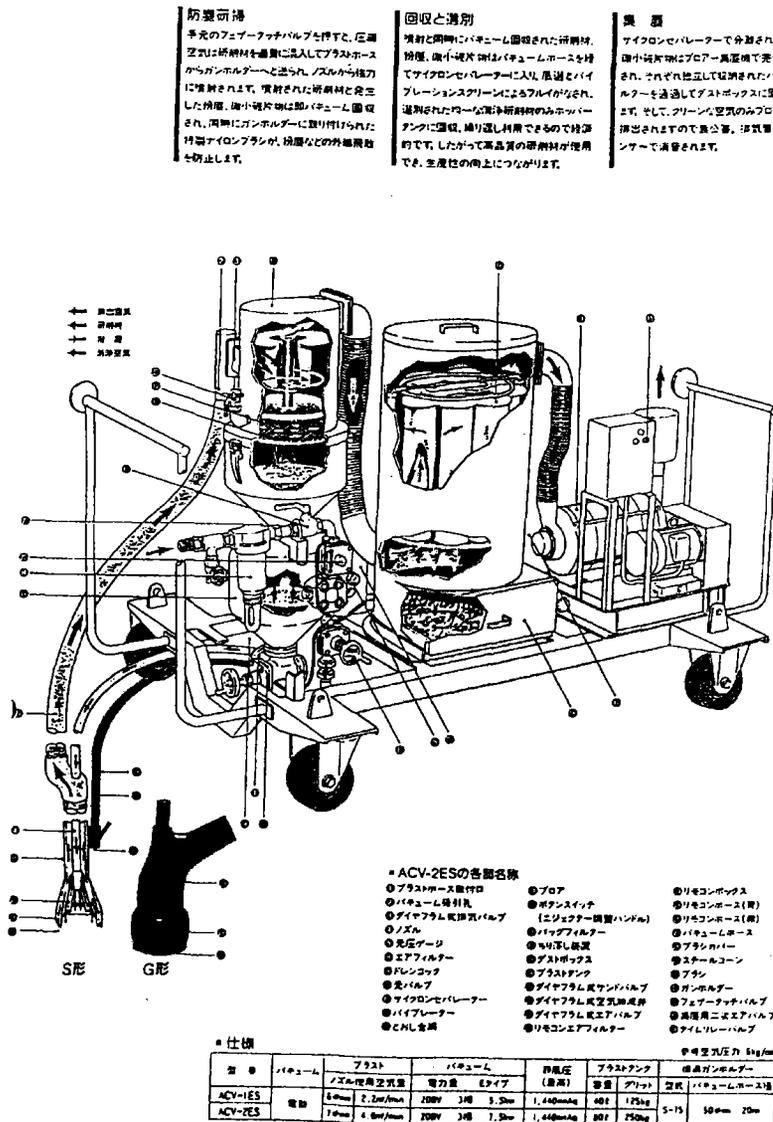


図1-6 バキュームブラスト装置

2) 小型バキュームブラスト装置 (図1-7)

持ち運び可能なバキュームブラスト装置. スポット的な研掃については適用の可能性があるとされる. 作業効率はあまり良くないものと思われる.

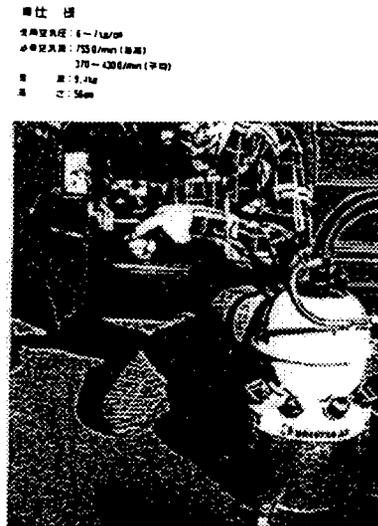


図1-7 小型バキュームブラスト装置

開発例の一つとして、クリーンブラスト工法の資料を巻末に示す。

3) ウェットブラスト装置 (図1-8)

粉塵の発生を防止するためブラスト噴射に合せ、水を噴霧状にして外側より包み、粉塵の飛散防止を図っている。なお、水が乾燥するまでに発生する錆を防止する目的で防錆材を混入している。

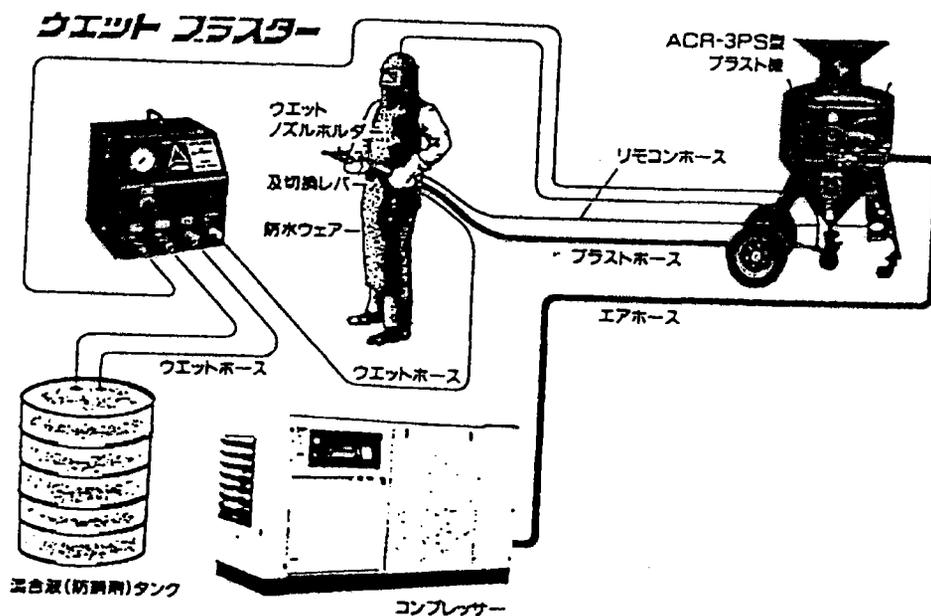


図1-8 ウェットブラスト装置

3.4 その他

塗装以外の方法として、下記の方法が採用されている。

1) 防錆処理高力ボルト

通常、海上部の長大橋等に用いられている高力ボルトである。ボルト部は塗膜がのりにくく、錆が生じやすい部位なので、耐食性を確保するため防錆処理高力ボルトを採用する例もある。

2) 高力ボルトの防錆キャップ

ボルト頭やナット部は、塗膜がのりにくく、錆が生じやすいので部位なので、気化性防錆材を含む樹脂製の防錆キャップを被せた例もある。

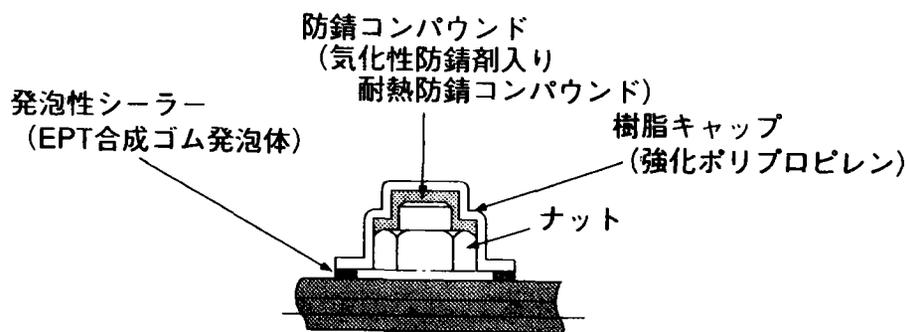


図1-9 防錆キャップ構造

3) 防食テープ

鋼構造プラントの防錆のため商品化された防食テープにより補修を行った例がある。この方法は、ペテロラタムを主成分としたマッシュックにより間隙部の充填および異形部の成形を行い、この上から耐食性・耐候性に優れたテープを貼り付ける。

4) 鳥害対策

鳩のフンは、酸性が強く腐食性があり、塗膜の劣化を促進させるため、鳥害対策の設置が増加している。採用例として、プラスチック製の剣山、マンホール開口部のゴムカバーまたはネット等が挙げられる。

5) 水洗い

海岸地域では、飛来塩分の付着および結露等で、鋼橋やRC床版に悪影響を与えている。このような状況下で、塗り替えサイクルの延命化を図るため、高圧水による洗浄例もある。水洗いを行うことにより、1～2年程度塗り替え時期を延ばすことができるとの報告がなされている。

4. 事例紹介

腐食損傷事例(1/3)

番号	分類	環境	形式	竣工年月日	調査・補修	損傷箇所	損傷部位	損傷状態	損傷原因	補修方法	写真番号		
1	鉄道橋	市街地	鉸桁	S. 3(1928)		枕木下	上フランジ 上面	φ50の孔、3箇所	湿潤状態による		写真-5		
2			鉸桁	S. 37(1962)		桁端	主桁腹板・対傾構		湿潤状態による(空調設備の排出蒸気の充満した状況)	対傾構、横構の部材取り替え(事例2')	写真-6		
3		田園	鉸桁	T. 元(1912)	H. 9(1997)	中央部	垂直補剛材(下端)	断面欠損	材端での水の滞水・こぼ面塗装不				
4		海岸	鉸桁	1920年代前半	H. 4(1992)	桁端・内面	主桁腹板、下フランジ	主桁内側の腹板下方、下フランジに著しい腐食、一部に孔食	海塩粒子の付着、外面は雨により塩分が流され腐食が少なかった。	腐食部の腹板と下フランジを切断撤去し新規腹板を補強添接板で挟む構造(事例55)			
5	鉄道橋	市街地	トラス	S. 40頃(1965)	H. 6(1994)	ローラー支承	ローラー	移動機能低下	ゴミの堆積	清掃・防錆剤を充填(事例10')	写真-25		
6	道路橋	田園	鉸桁	S. 44(1969)	H. 10(1998)	ピン、ローラー支承	ローラー・アンカ-ボルト径の減少	移動機能低下	伸縮装置からの漏水・滞水				
7			鉸桁	S. 44(1969)	H. 10(1998)	ピン、ローラー支承	ローラー	移動機能低下	伸縮装置からの漏水・滞水				
8	道路橋	市街地	鉸桁	S. 44(1969)	H. 7(1995)	桁端	上下フランジ、腹板	上フランジの断面欠損、腹板下フランジの板厚減少	RC床版端部打ち下ろし損傷部からの漏水、遊離石灰付着		写真-7		
9			鉸桁・橋脚	S. 42(1967)	H. 3(1991)	桁端・橋脚			錆の発生・塗装はがれが多数発生	伸縮装置からの漏水による汚れの付着			
10			鉸桁	S. 42(1967)	H. 2(1990)	桁端	下横構	排水孔セットの板厚減少		排水孔跡からの雨水の浸入			
11			鉸桁	S. 44(1969)	H. 3(1991)	桁端	対傾構・下横構	断面欠損・板厚減少		伸縮装置・及びRC床版端部の損傷による漏水、遊離石灰の付着		写真-8	
12			鉸桁	S. 42(1967)	H. 2(1990)	中央部	腹板、下フランジ	板厚減少		排水桁からの漏水			
13			鉸桁	S. 44(1969)	H. 9(1997)	桁端・支承	上下フランジ、腹板・支承	板厚減少による強度低下が明らか・著しい断面欠損		伸縮装置からの漏水・補剛材による滞水		写真-2	
14			鉸桁	S. 30(1955)	H. 7(1995)	桁端・支承	下フランジ、腹板下端・支承	著しい板厚減少・支承機能低下		伸縮装置からの漏水・補剛材による滞水			
15			鉸桁	S. 44(1969)	H. 7(1995)	桁端・支承	上下フランジ、腹板・支承	著しい板厚減少		伸縮装置からの漏水			
16			鉸桁	S. 52(1977)	H. 6(1994)	桁端	腹板、下フランジ・支承(耐候性)	層状剥離		伸縮装置からの漏水		写真-29	
17			鉸桁	S. 42(1967)	H. 2(1990)	桁端	ラテラル、ガセット	断面欠損・板厚減少		主桁腹板排水孔跡からの雨水の浸入		写真-32	
18			鉸桁				中央部・下面	主桁添接部近傍	上フランジ 下面の塗膜の剥離、腐食		RC床版の損傷による漏水		
19			鉸桁			H. 7(1995)	中央部、下面、外面	上フランジ	腐食深さ7mm		床版打ち継ぎ目不良によるひび割れ部分からの漏水		
20			鉸桁	S. 39(1964)			桁端	腹板	腹板下端の腐食が著しい。一部断面が欠損	伸縮装置、床版端部からの漏水	あて板による溶接補強、伸縮装置の改善は見られない。(事例53)	写真-1	
21			鉸桁			H. 5(1993)	桁端	横桁、下横構	著しい腐食(断面ほとんど無し)			写真-9, 11	
22			鉸桁			H. 9(1997)	桁端	横構	著しい腐食(断面ほとんど無し)		ガセットプレート全面取替、リベットをH. B. Tに取替(事例67)		
23			鉸桁			H. 10(1998)	中央部	桁継ぎ部(リベット含む)、横桁添接部、垂直補剛材	垂直補剛材下端は孔食状態	伸縮装置、RC床版部からの漏水	プレート補強、リベットをH. T. Bに交換、横桁添接は分割して付け替え(事例75)		
24			鉸桁(ラーメン)	S. 33(1958)	H. 9(1997)	ヒンジ部	ゲルバ-ヒンジ部	ゲルバ-部周辺にだけ錆による損傷		伸縮装置からの漏水		写真-4	
25			工業地帯	鉸桁	S. 45(1970)	H. 9(1997)	桁端・支承	耐震連結装置・腹板・下フランジ・支承	耐震連結の板厚減少腹板、下フランジには膨れ・断面欠損		伸縮装置からの漏水		
26				鉸桁	S. 44(1969)	H. 元(1989)	桁端	支承	アンカ-ボルトのほとんどが破断	伸縮装置からの漏水		写真-26	
27				鉸桁	S. 38(1963)	H. 8(1996)	桁端	主桁・支承部	腹板下端に亀裂の発生	錆による腐食と応力集中			
28	海岸	鉸桁	S. 34(1959)		桁端・中央部	対傾構・補剛材	断面欠損が著しい	飛来塩分の付着による		写真-31			
29		鉸桁	S. 46(1971)	H. 4(1992)	上面	下フランジと腹板との隅肉溶接部、腹板	下フランジと腹板との隅肉溶接部に腐食による断面欠損、断面欠損量は最大で9mm、腹板には小豆大の孔	海からの飛来塩分による	L形の補強材を下フランジ、腹板角部に高力ボルトにより取付、欠損部にエポキシ樹脂接着材を充填した後高力ボルトを締め付けた(事例59)	写真-3			
30	道路橋・耐候性	海岸	鉸桁(耐候性、化成処理)	S. 50(1975)	H. 6(1994)	外面・中央部	腹板(特に内桁腹板)・V補剛材	板厚減少1.1mm、層状剥離	海風・直接水しぶきを常に浴びる。		写真-28		
31		田園	鉸桁(耐候性、化成処理)	S. 56(1981)	H. 7(1995)	桁端・下面	添接板下フランジボルト・桁端部腹板、下フランジ	ボルトの剥離錆、桁端水みち部に剥離錆	伸縮装置からの漏水・化成処理不足		写真-30		
32		山間部	日桁(耐候性、化成処理)	S. 60(1985)	H. 7(1995)	桁端・排水	支承アンカ-部(耐候性)・排水管	アンカ-、排水管の腐食が著しい	火山灰成分のしみ出した水の影響				

腐食損傷事例(2/3)

番号	分類	環境	橋種	竣工年月日	調査・補修	損傷箇所	損傷部位	損傷状態	損傷原因	補修方法	写真番号	
33	道路橋	田園部	箱桁	S.36(1961)		桁端	箱内面下フランジ、端がけ下端	桁端部全面の腐食、腐食代-7.5mm	湿潤状態による(伸縮装置からの漏水)			
34			市街地	箱桁	S.42(1967)	H.2(1990)	中央部・支承	腹板外面	板厚減少	RC床版からの漏水		
35				箱桁	S.42(1967)	H.10(1990)	桁端	耳桁上下フランジ腹板	板厚減少(上フランジが特に顕)	RC床版・高欄部からの漏水		
36			箱桁	S.42(1967)	H.9(1997)	桁端・内面	下フランジ、縦・横リブ、腹板	腐食による減厚(減肉厚は平均33%、最高68%に達した)	鳩糞の堆積、雨水の滞水	縦リブは新規部材に取替、腹板はコーナプレート(の取付、雨水侵入防止のため桁端に密閉がけ取付(事例63))	写真-14	
37		工業地帯	箱桁	S.42(1967)	H.元(1989)		箱桁内部下フランジ面全体	塗装面の劣化	鳩によるふん害		写真-15	
38		海岸	箱桁		H.3(1991)	中央部・下面・外面	鋼床版・主桁	剥離、腐食、特にHTBの腐食進行	海からの飛来塩分による			
39			箱桁	S.38(1963)	H.7(1995)	桁端、下面、内面	下フランジ	排水装置下に腐食大	桁部から漏水、飛来塩分		写真-12,13	
40		道路橋	山間部	トラス	S.35(1960)	H.10(1998)		中間支点上横桁	中間支点上横桁腹板上縁にクラック(4箇所)	縦桁の変形に伴い、横桁の面外変形の繰り返し		
41		道路橋	田園部	トラス	S.48(1973)	H.5(1993)	上面・下面	床桁上下フランジ、下横構がセット局部	断面欠損量最大で5.5mmに達していた	床版からの漏水により湿潤状態になる。遊離石灰等の堆積による	上フランジ補強材の取付、下横構は新規部材と交換、高力ボルトは防錆キャップの取付(事例57)	写真-10
42	市街地		トラス	T.13(1924)		内面・外面	トラス下弦材格点部	格点がセット部内外部の腐食、リベットの腐食	RC床版による密閉が不充分のため湿潤状態	格点部のコンクリート撤去、グレーチングで解放状態とする。リベットをH.T.B、腐食部はリブプレートの溶接で断面補強、がセット内部は重防食塗装を実施(事例71)	写真-22	
43			トラス	S.43(1968)		外面	斜材の床版埋め込み部	境界面の腐食による斜材破断	凍結防止剤の散布	斜材と床版を縁切りし、水が貯まらない構造に補修	写真-33	
44	海岸		トラス	S.12(1937)		全体	床組	床組は全体に腐食、フランジ断面減少、腹板も島状に発生(孔食状態)	塩害	腐食部のガス切断、プレートの溶接補修(事例69)	写真-21	
45			トラス	S.12(1937)		全体	上弦材、がセット	端部に多く進行、海側より山側に多く発生	塩害	腐食部を切断しプレートを溶接補修(事例73)		
46	道路橋		市街地	橋脚	S.44(1969)	H.7(1995)	内面	横梁下フランジ・HTB	板厚減少	結露・雨水の侵入		
47				橋脚(門型)	S.44(1969)	H.7(1995)	内面	横梁HTB	HTBゆるみ	結露現象の繰り返し		写真-18
48				橋脚(門型)	S.44(1969)	H.7(1995)	外面	基部、防食板	腐食進行、塗装剥離	防食板上面での滞水・車の飛石による塗装剥離		
49				橋脚(門型)	S.44(1969)	H.7(1995)	内面	マンホール部・ダイヤフラム	フケ・カレ	マンホールからの雨水の侵入		
50		橋脚(門型)		S.44(1969)	H.7(1995)	内面	横梁・柱		結露現象による水滴・滞水13cm		写真-19	
51		橋脚(門型)		S.44(1969)	H.7(1995)	内面	隅角部内面全体	板厚減少	結露			
52		橋脚(門型)		S.44(1969)	H.7(1995)	内面	横梁・HTB	著しい板厚減少	結露		写真-17,20	
53		橋脚(門型)		S.40(1965)	H.7(1995)	内面	横梁・HTB	著しい板厚減少	結露			
54		橋脚(門型)		S.44(1969)	H.7(1995)	上面・外面	横梁上フランジ、腹板	板厚減少	伸縮装置の損傷による漏水、滞水		写真-16	
55		ラーメン橋脚	S.38(1963)	H.9(1997)	上面	上フランジ添接板、リベット	添接板の腐食、リベットの頭がほとんど無い部位があり	伸縮装置部からの漏水	リベットをH.T.Bに交換、摩擦係数0.2と考え足りない本数を外側に追加。(事例51)			
56	歩道橋	市街地	標準桁			階段・支柱	階段踏み板、支柱	蹴上げ部腐食により孔	塗装間隔の長期化・雨水による		写真-24	
57	自転車専用橋	市街地	斜張橋	S.48(1973)	S.60(1985)	上面	メインケーブル	建設後12年で全長に渡って発錆(平行線ケーブル、PWS127)ワイヤラッピング上方では腐食膨張によりケーブル径が1.3倍に膨	雨水の浸透	防錆効果の高いワイヤ-として、最表面層をステンレスとしたロックコイルワイヤ-との取替(事例61)	写真-23	
58	道路橋	市街地		S.30後半(1955)	H.2(1990)	ローラ-支承	ローラ-	移動機能に支障	伸縮装置からの漏水によりローラ-内部へのゴミの堆積	ゴム支承に交換(事例6')		
59			コンクリート橋	S.30後半(1955)	H.元(1989)	BP支承	上査下面、外面の発錆	支承機能停止		ゴム支承に交換(事例7')		
60			コンクリート橋	S.30後半(1955)	H.元(1989)	ローラ-支承	ローラ-	移動機能に支障	ゴミの堆積	ステンレス系のローラ-査に交換(事例8')		
61			海岸	コンクリート橋	S.40後半(1965)	H.8(1996)	BP支承	上査下面、外面の発錆	移動機能停止・サイドブロック損		ゴム支承に交換(事例9')	
62	道路橋・伸縮装置上面	田園部		H.元(1989)	H.9(1997)	上面	伸縮装置	浮き錆の発生(一部剥離)	除雪した雪の路肩部、中心部に留置した		写真-27	
63	道路橋・補修事例	田園部	鉸桁			主桁	リベットによる組み合わせ部材の下フランジ	断面欠損		欠損部の上側にL形鋼H.T.Bにより取り付け下フランジの肩代わり		
64			鉸桁(耐候性)			中央部	主桁、補剛材、対傾構	腐食	床版水抜き孔からの漏水	内面塗装を施工するが再度腐食発生、耐候性で腐食した部分のみ内面塗装を施工		
65		市街地	アーチ				アーチリブ、支柱、対傾構、横構、縦桁、ほとんどの部材	著しい腐食	雨水の滞留	著しい部材は再製作、あて板による補強、溶接盛りによる補修、パテ詰め等で雨水の溜まりにくい構造に改造		

腐食損傷事例(3/3)

番号	分類	環境	形式	竣工年月日	調査・補修	損傷箇所	損傷部位	損傷状態	損傷原因	補修方法	写真番号
66	海外の 道路橋・ 補修事例	田園部	吊橋	S.40(1965)	S.55,56 (1980,1981)	上面	ハンガー 定着部	点状腐食 面状腐食 塗装の層間剥離	定着部への水の侵入 塗装の脆化	ハンガーの再塗装 保護カバーの更新	写真-34
67		工業地帯	斜張橋	S.40(1965)	S.57,58 (1982,1983)	上面	斜ケーブル	斜ケーブル下面に発錆 塗装の劣化(一部完全剥離)	橋面用の熔融塩が飛散 腐食を促進させる反応性の高い工場排気物	ケーブル内部の隙間へ防食材料を注入	
68		田園部	斜張橋	S.42(1967)	S.58(1983)	主塔基部	PC鋼棒	防食用充填材の流出	架設中におけるシース管損傷 シース管内の目詰まり	注入材を注入するとともに空気、水を排出	
69		田園部	吊橋	S.29(1954)	S.60(1985)	アンカレイジ	ケーブル	ケーブルの発錆、錆傷痕 塗装の剥離	水抜き孔(排水口)未設置による滞水	排水ポンプの設置 環境に適した塗料で再塗装	写真-35
70		田園部	吊橋	S.34(1959)	S.45(1970)頃 H.10(1998)	上面	ケーブル	ケーブルの破断	橋面用の熔融塩が飛散 メッキされていない鋼線を使用していた	ケーブルの置き換え	
71		海岸部	斜張橋	S.49(1974)	S.52(1977)頃	上面	ケーブル	腐食による膨れ上がり	コーティングの施工不良による水の浸透 橋面用の熔融塩が飛散	ケーブルの置き換え	

腐食事例

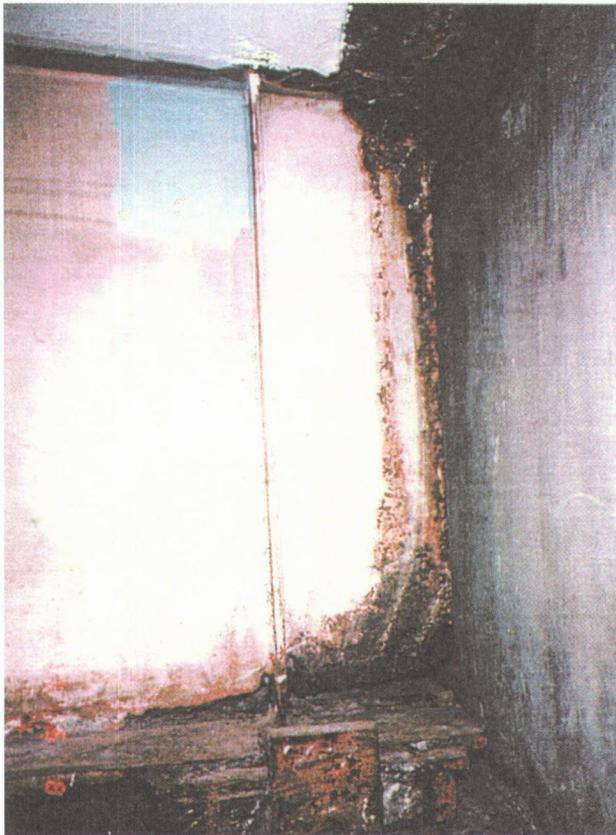


写真-1 鈑桁端部腐食事例



写真-2 鈑桁端部腐食事例



写真-3 鈑桁腹板下端腐食事例

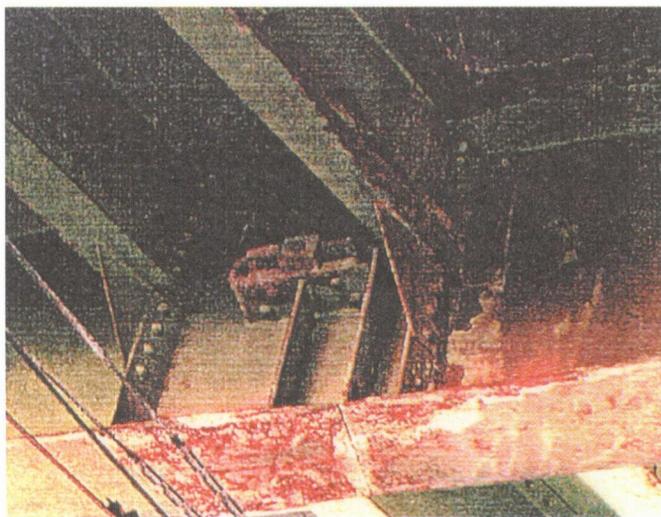


写真-4 鈑桁架違い部腐食事例

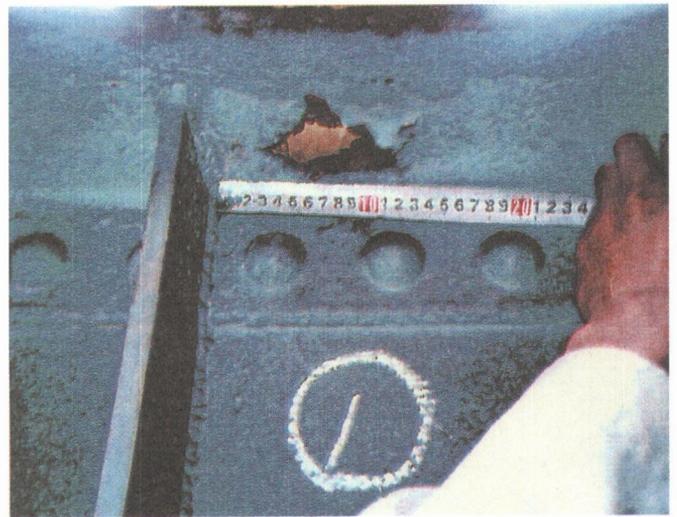


写真-5 鉄道橋孔食事例



写真-6 対傾構の腐食事例



写真-7 横桁の腐食事例

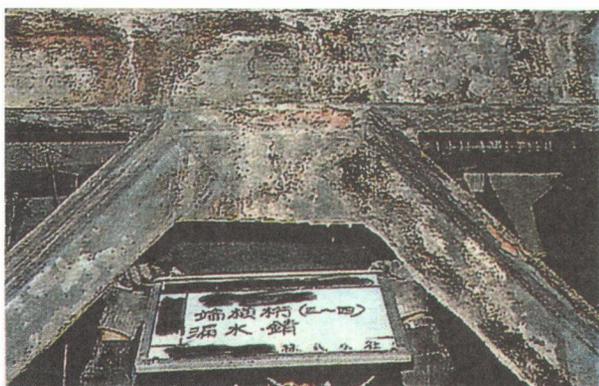


写真-8 端対傾構の腐食事例



写真-9 対傾構の腐食事例

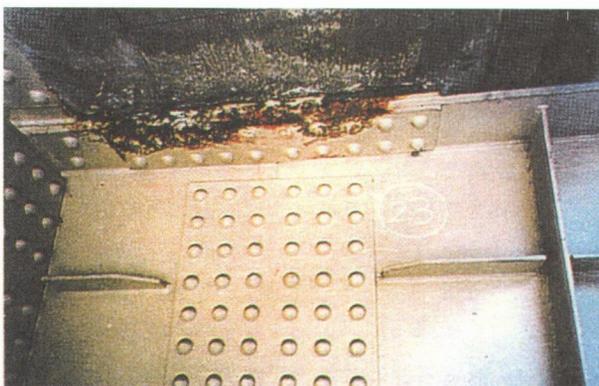


写真-10 横桁の腐食事例

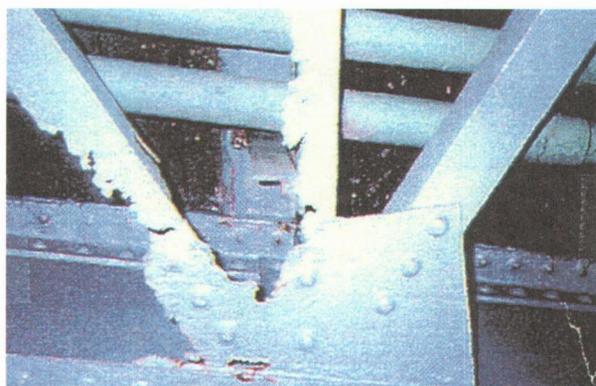


写真-11 横構の腐食事例

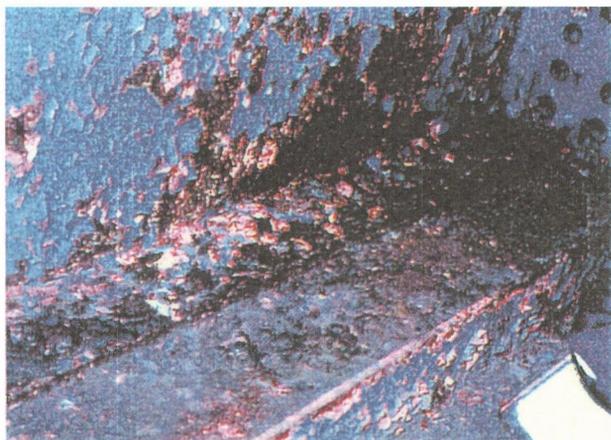


写真-12 箱桁内面腐食事例



写真-13 箱桁外面腐食事例



写真-14 橋脚内面腐食事例



写真-15 鳩害による箱桁内面腐食事例



写真-16 橋脚外面腐食事例



写真-17 橋脚内面腐食事例



写真-18 橋脚内面継手部腐食事例



写真-19 橋脚内面滞水状況



写真-20 橋脚内面腐食事例

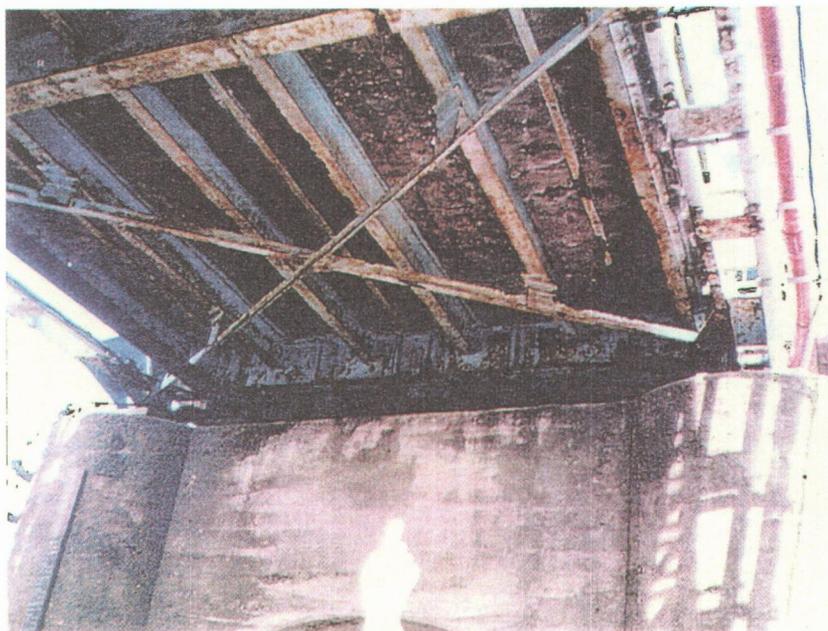


写真-21 トラス桁，縦桁横構腐食事例

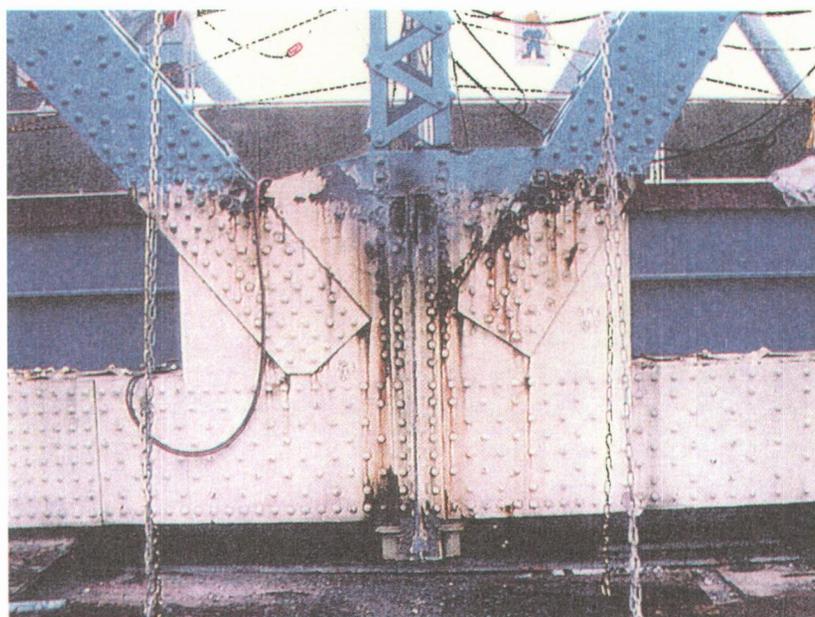


写真-22 トラス桁格点部腐食事例

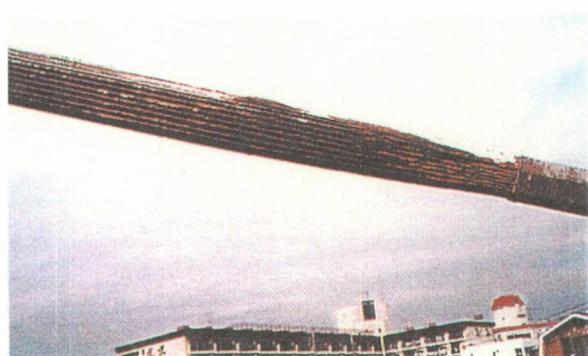


写真-23 斜張橋ケーブル腐食事例

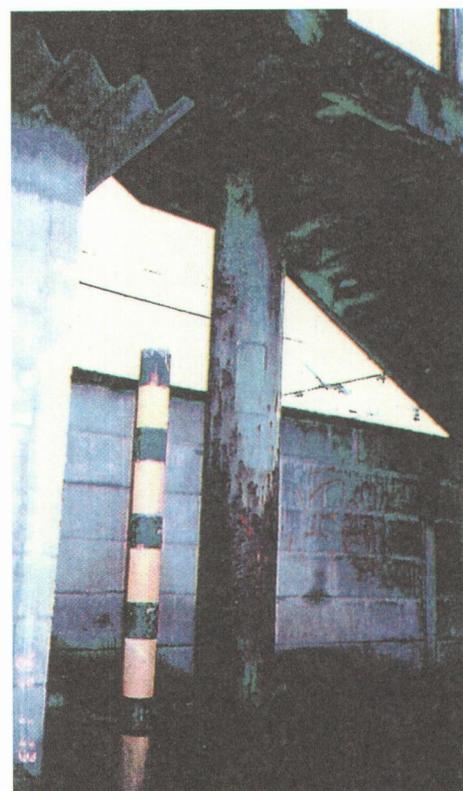


写真-24 横断歩道橋脚腐食事例



写真-25 ローラー支承腐食事例



写真-26 線支承腐食事例



写真-27 伸縮継手腐食事例

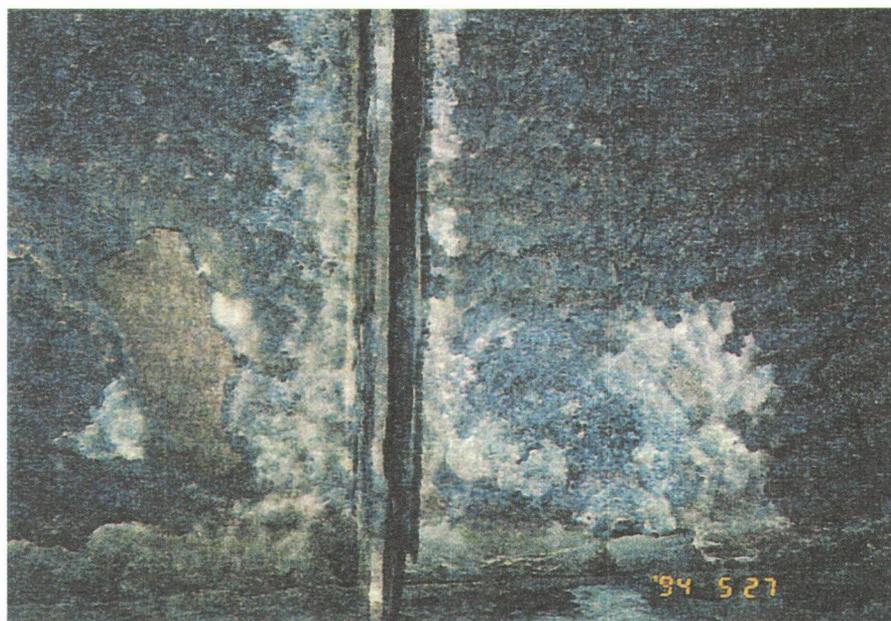


写真-28 耐候性鋼材腐食事例

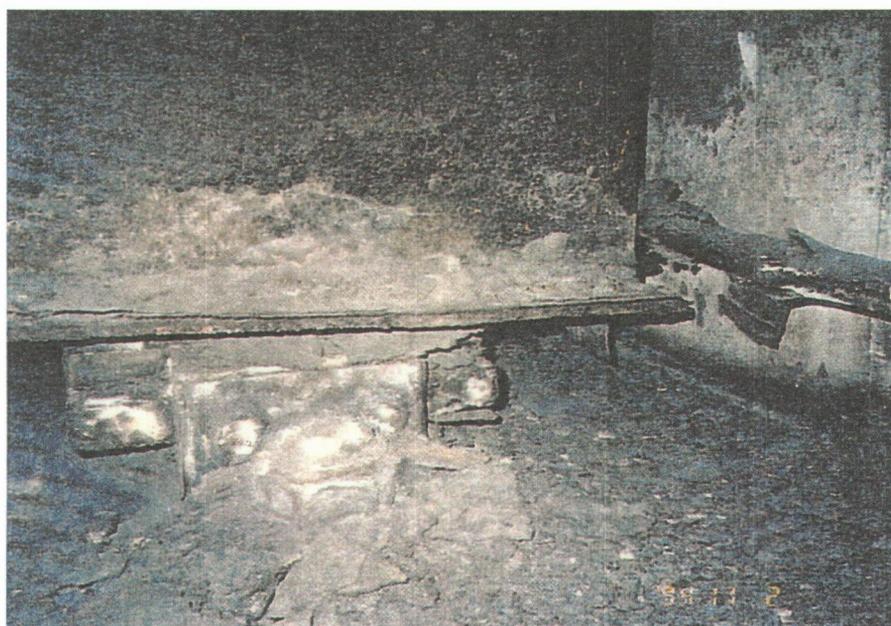


写真-29 耐候性鋼材端部腐食事例

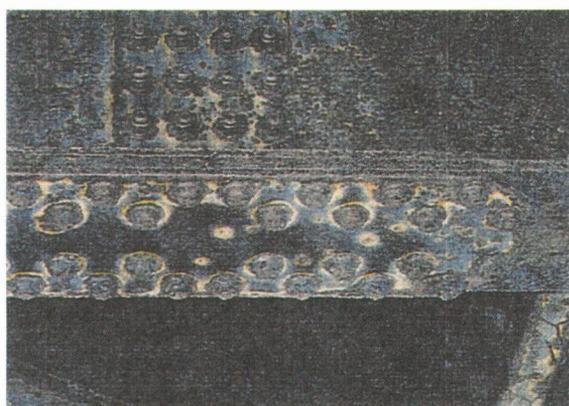


写真-30 耐候性鋼材継手部腐食事例



写真-31 対傾構の腐食事例



写真-32 ラテラルガセットの腐食事例



写真-33 トラス斜材の腐食事例

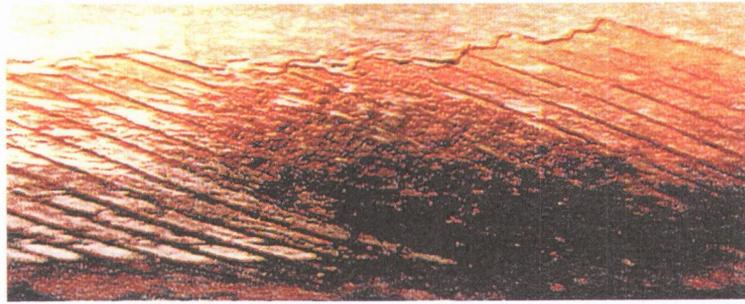


写真-34 既存の防錆塗料が剥離し、外側鋼線部に孔食が見られる



写真-35 ケーブル上面における腐食形成

5. 新設橋への提言

5.1 前項までのまとめ

前項までに述べた、当WGの活動成果の要点をあらためて以下に列記し、考察を加えてみる。

- 1) 塗膜の劣化・局部腐食は橋梁形式によって多少の違いはあるものの、集中して発生する部位がある。このことから、維持管理方法あるいは新設時に防錆上配慮すべき部位とその対策について合理的に実施あるいは決定することができるといえる。
- 2) 新設橋梁で設定される塗装系は、橋梁管理者が規定している標準に基づいて設置環境や耐用年数（必ずしも明確ではないが一般に60年から明石海峡大橋のように100年を期待されているものがある）などにより、一般環境から厳しい環境と腐食環境の程度に応じて決定されている。箱桁のように桁の外側・半密閉内面によって塗装仕様が異なる場合、あるいは支承が垂鉛めっきされる場合はあるが、上記のように腐食等が集中する部位については局部的に重防食仕様を適用することは極めて少ない。もちろん構造・形状面での配慮がなされている事例は多いが、必ずしも効果的とはいえないようである。
- 3) 維持管理の面では、JR各社、公団等においては維持管理に関して点検要領が整備され実施されているものの、地方自治体で管理している橋梁も同様の密度で管理されているとはいえない。また、この種の点検も、日常点検、定期点検および臨時点検に区分されて実施されているが、特に、日常・定期での点検項目と実施頻度については重点管理志向という点で合理的に決定されているがどうか検討の余地がありそうである。
- 4) 補修塗装では、ブラスト処理などの1種ケレンが望ましいが、橋梁の立地条件やコストの面で問題があり素地調整がネックになる場合が多い。ブラスト処理を行っても現場条件や管理面の不備で期待する素地調整面が得られず早期に発錆した例もある。この様な場合に、超厚膜型塗料であるエポキシ樹脂やガラスフレーク塗料が使用されている例があるが、上記②項との関連で、この種の重防食塗装仕様を局部的に新設時に適用することも必要である。

5.2 橋梁以外の鋼構造物の防食工法

橋梁以外の鋼構造物で参考になるものとして、同じ土木構造物である水門扉・水圧管、海洋構造物などがある。これらの構造物ではステンレス鋼（あるいはこれと鋼とのクラッド材）の使用などの材質面以外にも電気防食やライニング施工などいろいろな工法が採用されている。橋梁でも橋脚構造や海上橋梁でこれらの工法が採用されているが必ずしも、一般的とは言えない。もちろんこれらは次項で述べる橋梁のライフ

サイクルコストとの兼ね合いで決定されるので橋梁に直ちに適用できるわけではないとしても、防食という観点からは参考にすべきである。

海洋構造物は極めて過酷な環境条件で使用され、大型で固定式の構造物では安全上保守点検が困難な場合がある。また、腐食環境は海上大気部、飛沫帯、干満帯、海中部海底土中部に区分されている。このような特殊性を考慮して、その防食工法は以下のように多彩なものとなっている。

- ① 重防食塗装
 - ・厚膜型無機ジンクリッチペイントにエポキシまたはタールエポキシ樹脂塗料の塗り重ね
 - ・エポキシ樹脂塗料にポリウレタンまたはふっ素樹脂塗料の塗り重ね
 - ・ガラスフレーク入りポリエステルまたはエポキシ樹脂塗装など
- ② 有機ライニング
 - ・ポリエチレン樹脂ライニング
 - ・無溶剤型超厚膜エポキシ樹脂またはポリウレタンライニング
 - ・FRPライニング
 - ・ゴムライニング
 - ・防食テープ
 - ・ペトロラタムライニングなど
- ③ 無機ライニング
 - ・モルタルライニングなど
- ④ 金属ライニング
 - ・ステンレス鋼、アルミニウム、モネルメタル、チタンなどの耐食性金属ライニング
- ⑤ クラッド鋼
 - ・ステンレス、チタンなど
- ⑥ 金属溶射
 - ・亜鉛、アルミニウムまたはこれら混合溶射
- ⑦ 電気防食または上記塗装・ライニングとの併用

5.3 ライフサイクルコストと維持管理

橋梁を含めた鋼構造物では、維持管理のための点検マニュアルの整備は充分とはいえない。これは、維持管理の重要性がいわれてきた反面、これの不備による構造物としての致命的な事故の発生が極めて稀であること、鋼材に対する補修が比較的容易にできること、あるいは点検そのものに対する管理者側の認識の不足などがあるものと考えられる。

本来メンテナンスフリーが望ましいと考えられるが、現状の防食技術や性能からは

全くのメンテナンスフリーになるかは疑問であり、いたずらにイニシャルコストを掛けても耐用年数とライフサイクルコストからすると合理的でない場合がある。従って、最近では維持管理を実施して長寿命化を図り結果としてライフサイクルコストを低減させる方向が考えられている。

このような意味で今後ますます維持管理は重要になると考えられるが、ミニマムコストで目的（長寿命化）を達成するためには、ポイントを押さえた管理が必要であり橋梁毎の点検マニュアルの必要性が大きくなるものとする。このことは、他方で性能規定や製品安全の観点からも橋梁製造者として、管理者あるいはコンサルタント会社と共同で維持管理のための点検マニュアルを整備し、それぞれの役割分担と責任の所在を明確にすることが社会通念上あるいは契約社会への移行の中で要求されるようになるとも考えられる。そして、橋梁構造物の維持管理が単に延命化のみならず、安全性を含む性能を保証し本来の意味での社会資本として存在させるためには、評価の客観性・アカウンタビリティが必要であり、そのための第三者評価機関の設置なども必要ではないかと考える。

5.4 新設橋への提言

1) 局部防食方法の選定

橋梁は周囲の環境との調和が重要である。このため、防食設計は景観設計と無関では成り立たなくなるものとする。支承などの付属品を除けば、防食方法は設置環境条件で決定されるように、橋梁全体として設計され景観上も適当といえる。しかしながら腐食・劣化条件からすると4-1 1) で述べたように、局部的にその進行度合いが異なり、維持管理上からはこのような部分については、より防食性能の優れた工法を新設時から適用するのが合理的と考える。道路公団のI系塗装仕様では従来のA系より防食性能をあげているので局部的な問題発生は従来より減ると思われるが、エポキシ・ポリウレタン系の塗装仕様なので、下塗りにエポキシ系の厚膜塗装などを塗装しても、中塗り・上塗り塗装仕様で全体を塗装すれば景観上の問題ない。局部的に重防食塗装やライニング工法を適用する場合のライフサイクルコストは試算していないので、不用意にはいえないが塗り替え周期は確実に長くなることから判断しても有効と考える。今後、ライフサイクルコストの評価方法として統一的なルール確立が期待される場所である。

2) 防食方法の選定

橋梁のライフサイクルコストから合理的な防食方法を選定する場合、前項の局部的な適用のほかに、全体として最適な方法を選定する必要がある。現行規定では選択の自由度は少ないかもしれないが、性能規定との関連で個々の橋梁の利便性と耐用年数を前提条件に設置環境や維持管理の密度を考慮したコストミニマムの防食方法を適用することがますます重要になるものとする。

防食方法は、4-2項で述べたものも含め表1-23に示すように多くの種類がある。図中、の方法は橋梁にも適用可能と判断するものであり、これらの中より適当な方法を選定することになるが、防食技術に対する設計技術者のより一層の理解が必要かもしれない。また、表1-24は防食方法を決定する場合の判断因子をまとめたものであり参考として掲示した。

3) 橋梁毎の点検マニュアルと点検記録の整備

一般に機械やプラントあるいは電気設備は、個々に取扱い・点検マニュアルが整備されている。もちろん橋梁とは機能が異なり、異常が発生すれば突然に暴走・爆発・火災・感電などの事故につながる危険性が高いので、操作や点検には注意を払っているとはいえる。しかしながら、長期にわたって安全に使用するという目的は同じであるものの、橋梁はより長期にわたって不特定多数の第三者に対してその性能を保持しなければならないので、4-3項で述べたように、この種のマニュアル整備は必要と考える。合わせて、点検記録を含む維持管理に係わるデータベースを、橋梁全体および個々の橋梁について整備し、橋梁の状態に応じた適切な維持管理システムを構築することも急がれるものとする。

表 1 - 23 防錆・防食方法の細分化

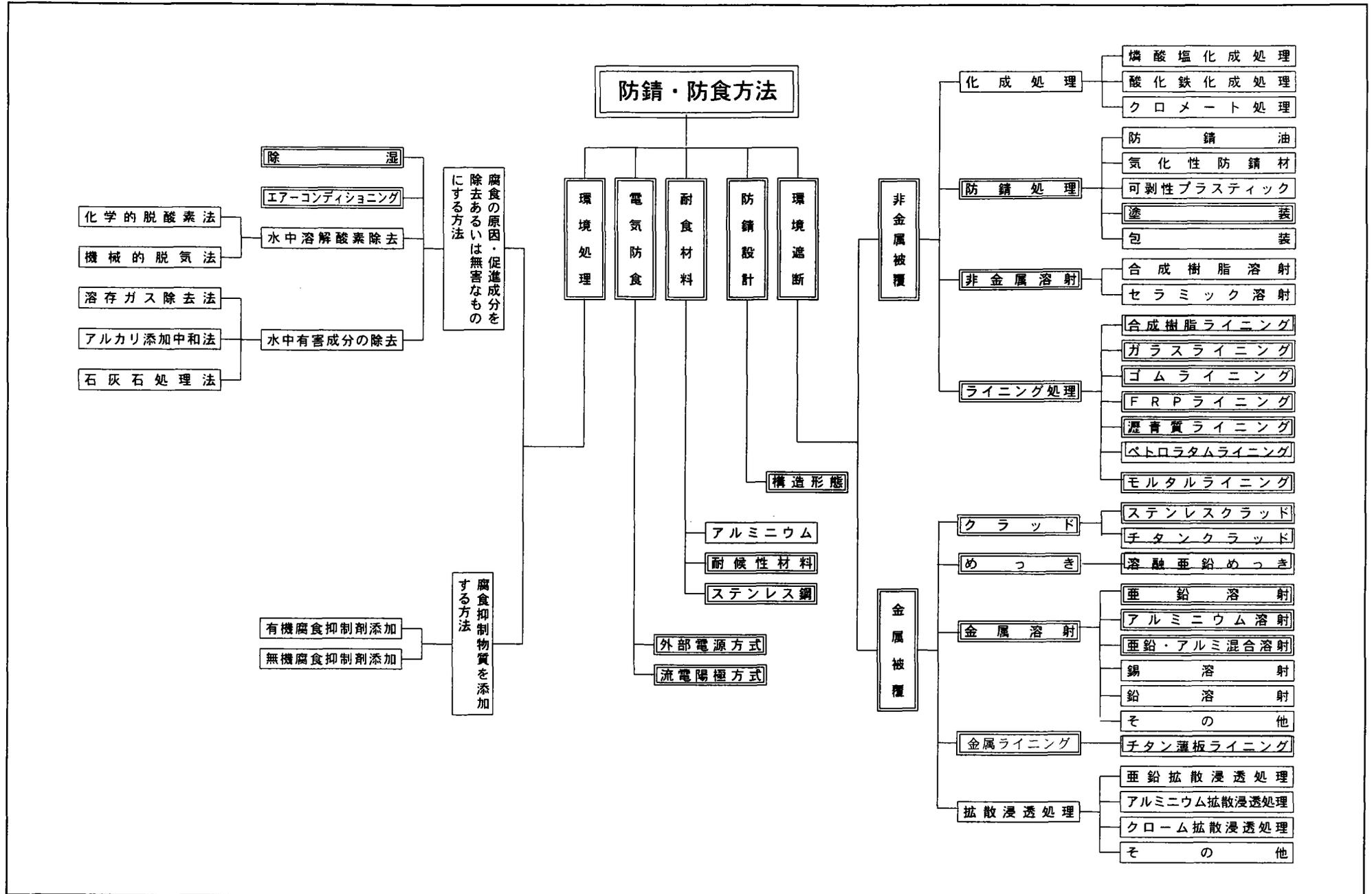


表-24 防食方法決定要件

決定のための要件	決定項目			決定要件の意味	決定要件による判断基準
	防食法	防食系	防食工程		
① 環境条件	○	○		構造物の設置場所あるいは用途における周辺環境状態	決定のための不可欠要件であり仕様決定の基本要件
② 設置条件	○	○		環境条件を細分化したもので設置位置の詳細状況	要件①を補強、明確にするための基本要件
③ 腐食形態	○			予想される腐食の範囲と発生原因により全面か局部を指定	全面腐食か局部腐食かにより仕様を決定する要件
④ 適用可能橋型式	○	○		防食法系と適用橋型式又は付属品との適用性	適用実績の有無によらず適用可能性を与える要件
⑤ 部位	○	○	○	所定の防食法, 系, 工程を適用する対象物の部位	一般部以外の特殊な部位に応じた仕様を決定する要件
⑥ 形状・寸法制限	○	○		防食施工する場合に対象物によって制限される形状及び寸法	仕様によっては本要件が決定的となる場合がある
⑦ 材質	○	○		防食を施される対象物の材質特性	材質によって適用可否が決定される仕様がある
⑧ 耐用・期待年数	○	○	○	あらかじめ経験的に推定できる防食効果継続期間	防食法, 系, 工程によって耐用・期待年数が異なる
⑨ 補修可能性	○	○	○	防食施工後の補修が可能か否かを示す	処理形態に応じて防食法, 系, 工程を決定する要件
⑩ 表面状態		○	○	防食性能を大きく左右する素地表面の状態を示す	表面状態によって適用可否又は配慮が異なる仕様がある
⑪ 皮膜性能		○	○	防食皮膜が発揮する性能	環境条件に直接対応する不可欠要件
⑫ 施工性	○	○	○	施工の難易度、あるいは施工条件を示す特性	仕様によっては施工性が大きく異なる場合がある
⑬ 施工場所	○		○	施工場所として、工場又は現場を区分する要件	施工場所によって適用性の異なる仕様がある
⑭ 合計膜厚		○	○	防食性皮膜の合計厚さを示す	合計膜厚により耐用・期待年数が変化する
⑮ 実績有無	○		○	当該仕様の橋梁製品への適用の有無を示す	実績有無により経験事項の有無、適用の可否を評価
⑯ 価格	○	○	○	当該仕様のイニシャルコストの合計額	価格の高、普通、安によって仕様決定が行なわれる場合の要件
⑰ ライフサイクルコスト	○	○	○	イニシャルコストと維持管理費等を含めたランニングコストの相対比較	耐用年数とライフサイクルコストの関係で決定

- ① 防食法決定 … 防食方法の大又は中項目を決定するもの。例えば、塗装かめっきかあるいは電気防食かなど。
- ② 防食系決定 … ①で決定された防食法について中又は小項目を決定するもの。例えば、塗装であればフタル酸系かふっ素系か、又、めっきであれば熔融亜鉛めっきかニッケルめっきかなど。
- ③ 防食工程決定 … 特に塗装あるいはライニング処理のように同一防食系（塗装系）でも塗り重ね等の工程が異なり、防食効果も異なるような場合に、工程を決定するもの。

(参考文献)

番号	文献名	出典名	著者	発行年月日
1	鋼道路橋塗装便覧	日本道路協会		1990.6
2	点検の手引	日本道路公団		1985.3
3	維持修繕要領	日本道路公団		1988.5
4	土木構造物点検要領	首都高速道路公団		1982.3
5	鋼橋塗装設計施工基準(一部改訂)	首都高速道路公団		1997.4
6	道路構造物の点検標準	阪神高速道路公団		1985.9
7	鋼構造物塗装設計施工基準	JR総合技術研究所		1993
8	海峡部橋梁塗替塗装要領	本州四国連絡橋公団		1997.1
9	塗膜診断技術に関する共同研究報告書(Ⅰ)	土木研究所 共同研究報告書第45号		1990.7
10	橋梁点検要領(案)	土木研究所資料		1988.7
11	鋼構造シリーズ⑦ 鋼橋における劣化現象と損傷の評価	土木学会		1996.10
12	鋼橋の維持管理のための設備	土木学会		1987.3
13	鋼橋の劣化現象と損傷の評価	土木学会論文集No501	鋼構造委員会	1994.10
14	JSSCレポートNo19 鋼構造物の寿命に関する調査	日本鋼構造協会		1991.8
15	JSSCレポートNo25 鋼橋塗装調査マニュアル	日本鋼構造協会		1993.5
16	JSSCレポートNo28 さび面塗料小委員会最終報告	日本鋼構造協会		1994.9
17	JSSCレポートNo30 鋼橋塗装ライフサイクル調査研究最終報告	日本鋼構造協会		1994.11
18	JSSCレポートNo31 鋼橋塗装の評価技術(その1)	日本鋼構造協会		1995.9
19	JSSCレポートNo45 鋼橋塗装の評価技術(その2)	日本鋼構造協会		1998.10
20	鋼構造物の防錆防食塗装 JSSC No20	日本鋼構造協会	西村 田人	1996
21	鋼材の耐食性と鋼橋梁の長期耐久性	第2回 鋼構造と橋に関する シンポジウム論文報告集	紀平 寛	1999.8
22	橋梁技術者のための塗装ガイドブック	日本橋梁建設協会		1996.4
23	鋼橋防食のQ&A	日本橋梁建設協会		1994.4
24	防錆・防食特集一防錆・防食技術への取り組みーその1、 鋼橋における腐食の調査と補修	日本橋梁建設協会		2000.1
25	全工場塗装の提案と施工上の留意点	第22回鉄構塗装 技術討論会発表予稿集	瀬下次朗他	1999.10
26	第3回アジア太平洋溶融亜鉛めっき国際会議講演集 特集号 鋼構造物の溶融Zn-0~30%Al合金めっきの耐食性評価	日本溶融亜鉛鍍金協会	高田 幸士、畑野 剛志他	1996.11
27	防錆防食ことはじめ(Part 1)	橋梁と基礎	村越 潤、名取 暢	1993.4
28	防錆防食ことはじめ(Part 2)	橋梁と基礎	村越 潤、名取 暢	1993.5
29	鋼橋の腐食とその原因	橋梁と基礎	村越 潤、名取 暢	1993.6
30	乾燥空気による箱桁内防食ー新尾道大橋ー	橋梁と基礎	金子、内藤、溝上	1999.5
31	電気防食と電気防食設計指針(案)について	橋梁と基礎	片脇 清	1986.6
32	鋼橋塗装の実態調査	鋼橋塗装Vol26,No4	福島 稔	1998.12
33	鋼橋塗装のライフサイクルについて(上)	鋼橋塗装Vol18,No2	片桐、横山、明石、森山	
34	鋼橋塗装のライフサイクルについて(下)	鋼橋塗装Vol18,No3	片桐、横山、明石、森山	
35	最近の亜鉛めっき面用塗料	鋼橋塗装Vol18,No3	日本鋼橋塗装専門会	
36	鋼橋塗装の実態調査	鋼橋塗装Vol18,No4	松田哲夫、藤原 博他	
37	鋼道路橋の塗装面積及び適用塗装系の統計(上)	鋼橋塗装Vol18,No1	日本鋼橋塗装専門会	
38	鋼道路橋の塗装面積及び適用塗装系の統計(下)	鋼橋塗装Vol18,No2	日本鋼橋塗装専門会	
39	長期防錆塗装5年経過塗膜の調査報告	鋼橋塗装Vol9,No3	高久 洋	
40	長期防錆塗装10年経過塗膜の調査報告	鋼橋塗装Vol14,No1	稲葉 泰一	
41	長期防錆塗装15年経過塗膜の調査報告	鋼橋塗装Vol18,No4	稲葉 泰一	
42	長期防錆塗装20年経過実橋調査報告	鋼橋塗装Vol23,No3	安井 敏之	
43	土木技術者のための塗装の話	土木施工18巻8号	吉田 真一	1997.5
44	鋼橋桁の高水圧による飛来塩分除去対策	EXTEX NEWS	JH九州支社	1999.9
45	産業分野別に見た防錆技術ー橋梁ー	防錆管理Vol.43,No7	日本防錆技術協会	1999.7
46	産業分野別に見た防錆技術ー海洋構造物ー	防錆管理Vol.43,No7	日本防錆技術協会	1999.7
47	大鳴門橋関連区間陸上部橋梁の塗膜劣化調査	本四技報	中元 雄治	1994.4
48	長期防錆型塗装の塗膜劣化メカニズム解明へのアプローチ	本四技報	中元 雄治	1994.10
49	鋼橋の腐食部補修事例	横河ブリッジ技報 No.25	古閑俊之	1996.1
50	腐食部材の健全度評価に関する研究	横河ブリッジ技報 No.27	大野、名取、稲田	1998.1
51	最近の鋼橋の防錆・防食塗装	石川島播磨技報	平井陽一、高垣 孟	1995
52	塗膜剥離現象の一例と原因推定	東骨技報No.41	入部 孝夫	
53	腐食・防食データブック	丸善	(社)腐食防食協会	1995.6
54	橋と塗装 橋を美しくまもる	山海堂	片脇 清	1996.6