



耐候性鋼材の橋梁への適用に関する 共同研究報告書（Ⅱ）

— 暴露試験片の第一回化学分析調査結果 —

昭和63年1月

建設省土木研究所
(社)鋼材倶楽部
(社)日本橋梁建設協会

Copyright © (1988) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

耐候性鋼材の橋梁への適用に関する 共同研究報告書（Ⅱ）

— 暴露試験片の第一回化学分析調査結果 —

建設省土木研究所
(社)鋼材倶楽部
(社)日本橋梁建設協会

要 旨

耐候性鋼材は、橋梁に適切に用いることによって初期投資、維持管理の両面で経済性に富むことが知られているが、その適用方法についてはまだ明確にされていない。本共同研究はこれらの点を明らかにして、耐候性鋼材を橋梁に適用するための設計・施工要領を作成することを目的としており、長期的な全国暴露試験を含む各種検討を昭和56年度より11カ年間の計画で実施している。本報告書は、その共同研究の中間報告として全国暴露試験の第一回（暴露1年目）化学分析調査の結果をとりまとめたものである。

キーワード：橋梁、耐候性鋼材、暴露試験

ま え が き

建設省土木研究所，社団法人日本橋梁建設協会および社団法人鋼材倶楽部は，共同して「耐候性鋼材の橋梁への適用に関する研究」を昭和56年度より行っている。

昭和57年度は，全国41地点での耐候性鋼材の暴露試験が満1年を経過したことから当初の計画通り一部の試験片を回収し腐食調査を行った。

本資料はこの第1回回収分の試験片の化学分析調査結果をとりまとめたものである。

建設省 土木研究所

社団法人 日本橋梁建設協会

社団法人 鋼材倶楽部

目 次

ま え が き	
1. 暴露試験計画の概要	1
2. 暴露試験の概要	3
2.1 耐候性鋼材の種類	3
2.2 暴露試験片	3
2.3 暴露地点	4
3. 調査方法	10
4. 調査結果と考察	11
4.1 外観調査結果	11
4.2 フェロキシル試験結果	12
4.3 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察結果	19
4.4 EPMAによるさび層の断面観察結果	25
4.5 さびの化学分析結果	32
5. ま と め	39
あ と が き	40
(附属資料)	
さび分析に関する調査要領 (昭和57年度)	43

1. 暴露試験計画の概要

橋梁上部構造に耐候性鋼材を裸使用した場合、将来にわたって塗装を必要としないため、大幅な経済性を期待できる。耐候性鋼材を裸使用できるための条件は、鋼材表面に安定さびを生じることであるが、現時点では、どのような環境下におかれた耐候性鋼材が安定さびを生じるかは、必ずしも明確ではない。

耐候性鋼材は鋼材の種類だけでなく橋梁の設置される周囲の気象などの環境、構造部位によって安定さびの形成状態が異なり、その耐食性状が異なることが予想される。

このため、建設省土木研究所、(社)日本橋梁建設協会、(社)鋼材倶楽部は、耐候性鋼材の橋梁での適用基準を明らかにすべく、長期的な共同研究を実施することとした。56年度は、まず、耐候性鋼材の全国的な適用基準を明らかにすべく、小型試験片による暴露試験を全国41カ所で開始した。

昭和57年度は当初計画通り暴露試験片の第一回収を行い詳細な腐食調査をした。

本資料では、重量分析や化学分析などの腐食調査のうち試験片の化学分析調査結果をとりまとめたものである。

なお、現在暴露中の試験片は、今後、暴露開始3年目（昭和59年度）、5年目、7年目、9年目に回収され調査される予定である。

表－１ 暴露試験片化学成分含有量

符号	表 面	鋼 種	化 学 成 分 (wt%)									概 要
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Nb	
A	裸	S M50	0.17	0.32	1.39	0.016	0.012	—	—	—	—	普通鋼の比較材 Ceq = 0.41
B	裸	S M A50 A W 〔中央値狙い〕	0.12	0.39	0.90	0.008	0.006	0.36	0.61	0.22	0.014	新 JIS・化学成分の中央値 Ceq = 0.41
C	裸	S M A50 A W 〔下限値狙い〕	0.11	0.20	0.68	0.014	0.010	0.30	0.51	0.13	—	新 JIS・化学成分の下限値 Ceq = 0.34
D	裸	P-Cu-Cr-Ni	0.06	0.36	1.26	0.091	0.006	0.34	0.35	0.30	Ti; 0.015 V; 0.05	JIS G 3144「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」の「P」を0.070～0.150%として耐候性能の向上を計り、同時に溶接性、靱性および溶接継手性能改善のため、「C」を0.08%以下とし、「Ti」を0.005～0.05%添加した溶接構造用高リン型耐候性鋼板。 Ceq = 0.37
E	裸	P-Cu	0.06	0.53	1.42	0.085	0.004	0.32	—	—	0.02 Ti; 0.02	高「P」系の耐候性の効果に着目して、しかも、海塩粒子の多い環境（洋上部、飛沫部、多湿部）での腐食や海水中における孔食に対して耐食性を向上させたもの。溶接性を改善するため、「C」=0.10%以下と低炭素系にしている。 Ceq = 0.32
F	表面処理 (ウェザーコート法)	S M A50 A W 〔中央値狙い〕	0.11	0.34	0.85	0.016	0.009	0.35	0.56	0.14	V; 0.05	ウェザーコート1000とプレバレンの被膜の2層からなり、ウェザーコート1000被膜は耐候性鋼表面を化成処理（化学反応）し、生成した複合リン酸塩を主成分とする結晶性無機質の被膜。プレバレン被膜はウェザーコート1000被膜の上に吹付、又は塗布した多孔質の有機皮膜（アクリル樹脂）で、通気、通水性に富む。 Ceq = 0.38
G	表面処理 (NKコート)	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	SO ₄ ²⁻ 、Cl ⁻ 等腐蝕性イオンを吸着する上塗層と鉄イオンを被膜中に閉じ込めて、錆汁の流出を防止する下塗層からなり、ショップ・プライマーと同様に処理が出来る施工性の良い錆安定化処理剤。
H	表面処理 (N処理)	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	N処理による生成被膜は、Nプライマー及びN上塗りの2層からなり、いずれも吹付又は塗布作業による。Nプライマーは被膜中のリン酸などを含有し、ウォッシュプライマーに近い組成のもので、N上塗りはアクリル樹脂塗料。
I	表面処理 (RSコート)	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	処理被膜は1層からなり、ウレタン樹脂塗料に添加物を加えて、鉄イオンを被膜中に吸い上げ、錆汁の流出を防止し、錆安定化する。チョコレート色。

2. 暴露試験の概要

2.1 耐候性鋼材の種類

暴露試験の対象とした鋼材は耐候性鋼材 4 種類（B～E）と比較材としての普通鋼 1 種類（A）であり、一部に耐候性鋼材に表面処理したもの（F～I）を加えている（表－1）。

2.2 暴露試験片

(1) 試験片の形状

1) 1 枚の試験片の大きさ

100 × 150 × 8 (mm) 942 g

2) 試験片の表面仕上げ

- a. 裸試験片：表・裏・側各面共，ブラスト仕上げし，表面粗さは50 S 以下とする。
- b. 表面処理試験片：a 項と同一条件で仕上げしたものに，50 μ 程度の処理被膜を付けるものとする。

重量（全数）と表面粗さ（一部）を測定した。

3) 試験片の番号表示

番号表示要領

- 文 字：5 mm 角の大きさ
- 方 法：刻印打刻
- 文字桁数：6 桁
- 位 置：右上隅，表面側

(2) 暴露試験片の番号

暴露試験片には一連の番号が刻印してある。

1) 試験片番号表示

試験片の番号表示は 6 桁とし，内容はつぎのとおり。

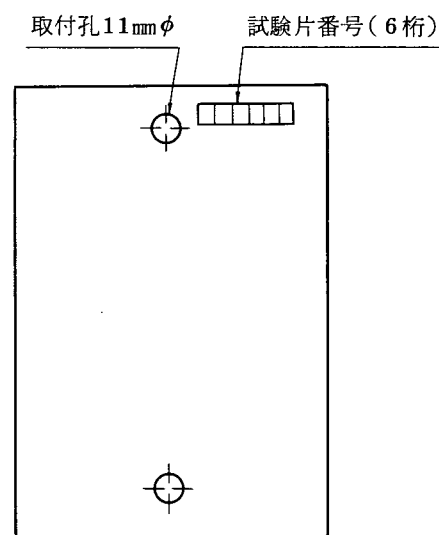
1 桁目：鋼種及び表面処理種類

A	B	C	D	E	F	G	H	I
鋼 種					表面処理			

2・3 桁目：橋の番号

01 ————— 41

4 桁目：暴露年数



図－1 暴露試験片

1	2	3	4	5	6
1 年	3 年	5 年	7 年	10 年	予備

◦ 表面処理材は、4, 5, 6 の 3 枚とする。

5 桁目：暴露方向

V	H
垂直方向	水平方向

6 桁目：繰返し数

1	2
№ 1	№ 2

◦ 部位別試験の場合は、2・3 桁目に次の番号を用いる。

51, 61, 71 ——— 山 側

52, 62, 72 ——— 海 側

2.3 暴露地点

全国暴露試験の第一の目的は、様々な環境条件下での安定さび発生状況を見ることにある。このため、暴露地点はできるだけ多種多様な環境条件をもつことが望ましい。また、試験片取付け、取外しの容易さも条件となるために、以下のような条件で、各地方建設局（北海道開発局、沖縄総合事務局を含む）に試験片を取付ける橋梁の選定を依頼した。

架台設置場所の選定

各地方建設局 4 カ所程度を標準に、次に示す原則に可能な限り合致する橋梁を選定する。

- 橋梁形式は、多主げたの上路プレートガーダーとする。
- 次の条件に合った橋梁を各 1 橋程度選定する。

- 1) 河口部で塩分の影響が強い橋梁
- 2) 山間部で塗装条件がよい橋梁
- 3) 一般都市部の橋梁
- 4) その他、特殊な条件をもつ橋梁

たとえば、工業地帯で SO₂ 濃度が高い。

きわめて多湿である。

- 架台の取付け（内げた間に取付ける）が可能であること。できれば検査路等があることが望ましく、ない場合でも板をはり渡す等により容易に架台取付け位置に接近できること。
- 事務所による点検が容易に行えること。
- 当面、架替え計画がないこと。周辺の環境条件が大幅に変化する可能性が少ないこと。

表－２ 暴露試験取付け橋梁

	番号	橋 梁 名	設 置 場 所	環 境 条 件	備 考
北海道	1	石狩河口橋	国道231号 石狩町地区	石狩湾に面し海岸部	部位別試験片 の取付け
	2	豊平橋	国道36号 札幌市地区	札幌市内・都市部	
	3	滝笛橋	国道276号 千歳市地区	支湖側・山間部	
	4	母恋高架橋	国道36号 室蘭市地区	室蘭市内・工業地帯太平洋岸	
東北	5	高城大橋	国道45号 松島町地区	松島湾に面し海岸部	
	6	大洞橋	国道48号 東根市地区	宮城－山形県境近く・山間部	
	7	名取大橋	国道4号 仙台市地区	仙台市内・都市部	
関東	8	大峰沢橋	国道17号 利根郡新治村地区	三国峠側・山間部	
	9	新上江橋	国道16号 大宮市地区	大宮市内・田園部	
	10	海老川大橋	国道357号 船橋市地区	東京湾に面し工業地帯	
	11	尾張屋橋	国道16号 横浜市地区	横浜市内・都市部	
北陸	12	新組跨線橋	国道8号 長岡市地区	長岡市内・都市部	
	13	米山大橋	国道8号 柏崎市地区	日本海に面し海岸部（塩害問題）	
	14	千保川橋	国道8号 高岡市地区	高岡市内・工業地帯	
	15	常浪橋	国道49号 津川町地区	新潟－福島県境近く・山間部	
中部	16	蛤橋	国道41号 古川町地区	高山附近・山間部	部位別試験片 の取付け
	17	新緑橋	国道42号 御浜町地区	熊野灘に面し海岸部	
	18	呼続大橋	国道1号 名古屋市地区	名古屋市内・都市部	
	19	四日市高架橋	国道23号 四日市市地区	四日市市・工業地帯	
近畿	20	有田大橋	国道42号 有田バイパス	紀伊水道に面し海岸部	
	21	山上橋	国道161号 大津市地区	琵琶湖近く・山間部	
	22	五条大橋	国道1号 京都市地区	京都市内・都市部	
	23	西淀川高架橋	国道43号 大阪市地区	大阪市・工業地帯	
中国	24	浜村橋	国道9号 気高郡宝木地区	山陰・日本海に面し海岸部	
	25	江の川橋	国道9号 江津市地区	〃	
	26	三次大橋	国道54号 三次市地区	三次市附近・山間部	
	27	泉田高架橋	国道2号 岡山市地区	岡山市内・都市部	
	28	新霞橋	国道2号 倉敷市地区	倉敷市・工業地帯	
四国	29	溪道橋	国道32号	香川－徳島県境近く・山間部	部位別試験片 の取付け
	30	小野川橋	国道33号 松山市地区	松山市内・都市部	
	31	安田川橋	国道55号 安田町地区	土佐湾に面し海岸部	
	32	肱川橋	国道56号 大州市地区	大州盆地内・きわめて多湿	
九州	33	木崎大橋	国道220号 宮崎市地区	日向灘に面し海岸部	
	34	西の谷橋	国道210号 玖珠郡檜原地区	大分県・山間部	
	35	十郎川橋	国道202号 福岡市地区	福岡市近郊・都市部	
	36	中央高架橋	国道3号 北九州市地区	北九州市・工業地帯	
沖縄	37	塩屋大橋	国道58号	塩屋湾に面し海岸部	
	38	世富慶歩道橋	国道58号 名護市地区	名護湾に面し海岸部	
	39	石平橋	国道330号 沖縄市地区	南部・山間部	
	40	兼城橋	国道329号	〃	
土研	41	南横断4－2号橋	土木研究所内道路	筑波田園部	

この結果，表－２に示す41橋（土木研究所構内の１橋を含む）が選定され，暴露試験片の取付けが行われることになった。対象とする41橋は，図－２に示すようにほぼ全国すべての環境条件を代表しており，実験目的から見て十分な成果が期待できるものである。

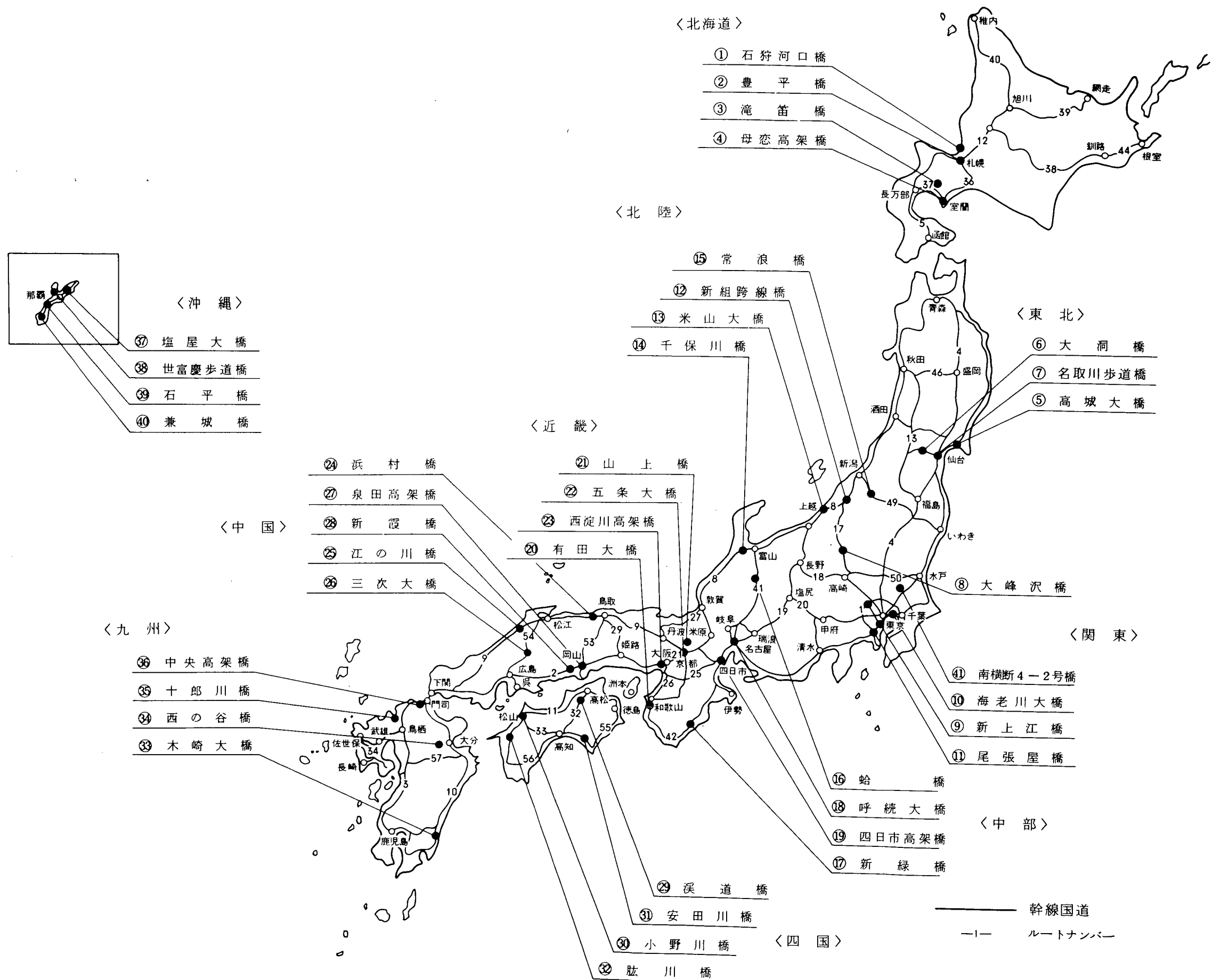


図-2 耐候性鋼材暴露試験実施場所



さびの色調，粗密，色むら，さび安定化の程度については，標準写真をもとに点数でもって評価している。

(2) フェロキシル試験

フェロキシル液の呈色反応によって，さび層のピンホール数を測定し，さび層の緻密さを測定しようとするものである。

(3) 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察

偏光顕微鏡を用いてさび層の断面を観察し，非偏光層の状況から，安定さび層の厚さや形成層分を測定する。

(4) EPMAによるさび層の断面観察

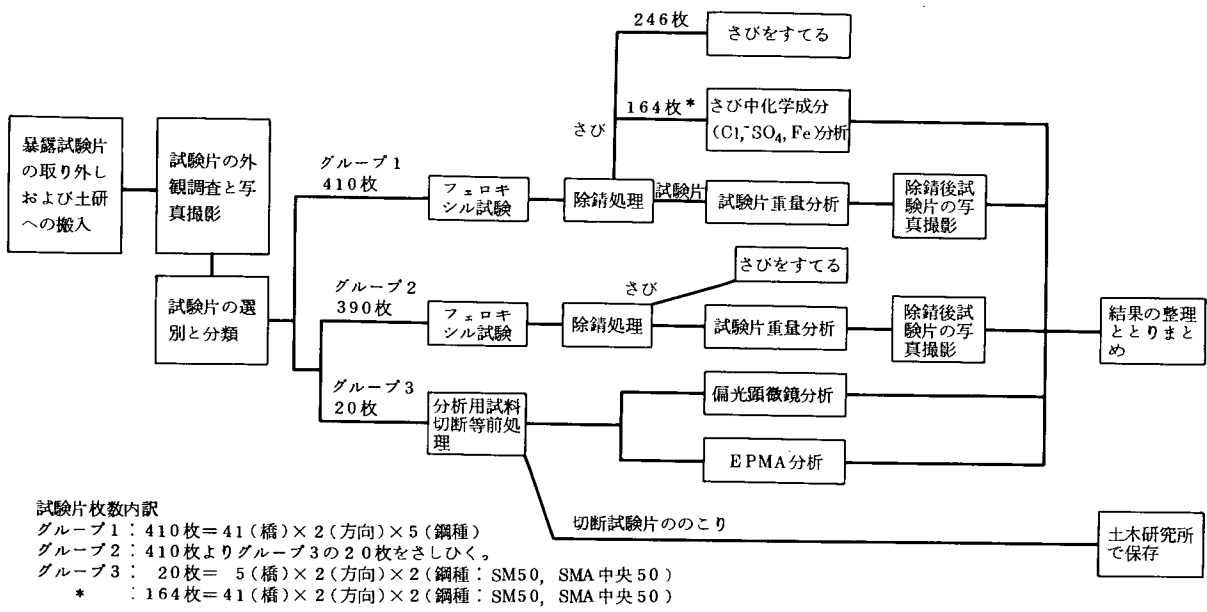
EPMA（微量元素分析装置を備えた走査型電子顕微鏡）を用いて，さび層断面の主要7元素の濃度を測定し，安定さび生成を判断する。

(5) さびの化学分析

さび中の腐食因子である塩素および硫黄の量を測定し，試験環境の腐食性の指標を得る。

3. 調査方法

試験片の調査項目とフローを図－3に示した。



図－3 調査のフロー（昭和57年度）

暴露後の試験片の調査方法を以下に述べるが、調査の詳細は、附属資料「さび分析に関する調査要領」を参照して頂きたい。

(1) 外観調査方法

搬入直後の試験片 820 枚について外観調査（57年10月5日）を行った。あわせてカラー写真記録を行った。

外観調査項目	(1) さびの色調 (2) さびの粗密 (3) さびの色むら (4) セロテープによるさび剥離試験 (5) さび安定化の程度
--------	--

4. 調査結果と考察

4.1 外観調査結果

外観調査結果をまとめて表－4.1(1)に示した。

さびの外観調査項目のなかでの相互関係は、色調とさび安定化の程度が良好であったが、他の調査項目間の関係は明確ではない。

まだ暴露期間が短いこともあり、今後の調査が必要なので、ここでは記録をとどめるのみとする。

表－4.1(1) 外観調査結果

	番号	橋 梁 名	色 調	粗 密	色 む ら	セロテープ	さび安定化
北海道	1	石 狩 河 口 橋	4	4	3	2	3
	2	豊 平 橋	2	5	3	3	2
	3	滝 笛 橋	3	3	3	3	3
	4	母 恋 高 架 橋	3	2	3	3	3
東北	5	高 城 大 橋	3	4	3	3	4
	6	大 洞 橋	3	3	3	3	3
	7	名 取 大 橋	3	4	3	3	3
関東	8	大 峰 沢 橋	3	3	3	3	3
	9	新 上 江 橋	3	4	3	3	3
	10	海 老 川 大 橋	3	4	3	3	3
	11	尾 張 屋 橋	3	4	3	3	3
北陸	12	新 組 跨 線 橋	4	4	3	3	4
	13	米 山 大 橋	1	1	1	1	1
	14	千 保 川 橋	3	4	3	3	3
	15	常 浪 橋	3	3	3	3	3
中部	16	蛤 橋	3	3	3	3	3
	17	新 緑 橋	4	2	2	1	1
	18	呼 続 大 橋	2	5	3	3	2
	19	四 日 市 高 架 橋	3	4	3	3	3
近畿	20	有 田 大 橋	3	4	3	3	3
	21	山 上 橋	3	4	3	3	3
	22	五 条 大 橋	2	5	3	3	2
	23	西 淀 川 高 架 橋	2	5	3	3	2

	番号	橋 梁 名	色 調	粗 密	色 む ら	セロテープ	さび安定化
中 国	24	浜 村 橋	1	1	1	1	1
	25	江 の 川 橋	3	4	3	3	3
	26	三 次 大 橋	3	4	2	3	3
	27	泉 田 高 架 橋	2	5	3	3	2
	28	新 霞 橋	2	5	3	3	2
四 国	29	溪 道 橋	3	3	3	3	3
	30	小 野 川 橋	3	4	3	3	3
	31	安 田 川 橋	4	2	3	1	4
	32	肱 川 橋	3	4	3	3	3
九 州	33	木 崎 大 橋	1	1	1	2	1
	34	西 の 谷 橋	3	3	3	3	3
	35	十 郎 川 橋	5	4	3	3	4
	36	中 央 高 架 橋	2	5	3	3	2
沖 縄	37	塩 屋 大 橋	1	1	1	3	1
	38	世 富 慶 歩 道 橋	4	2	3	2	4
	39	石 平 橋	4	4	3	3	4
	40	兼 城 橋	4	4	2	3	4
土研	41	南横断4-2号橋	3	4	3	3	3

4.2 フェロキシル試験結果

フェロキシル試験は、800枚の試験片の表裏両面について実施した。評価基準は5分類とし、鋼種A、B、C、D、E、各々について評価した。

表－4.2(1)～(5)にフェロキシル試験結果の評価を示す。

なお、次の5橋については、さびの層状剥離が生じていたため、すべて“評価値1”としてまとめた。

№13 米 山 大 橋 №17 新 緑 橋
 №24 浜 村 橋 №33 木 崎 大 橋
 №37 塩 屋 大 橋

結果を要約すると次のとおりである。

① 海浜地区№13、17、24、33、37は、さびの層状剥離が生じていた。

② 表－4.2(6)に鋼種別評価比較一覧を示す。

№1、7、9、10、11、12、19、31、35、38は、さびの緻密性が低い、鋼種間のレベルは同じである。

これらは、外観観察のさび安定化の進み具合と一致している。

③ 表－4.2(7)に環境別評価比較一覧を示す。

山岳地区で、外観観察と合致しにくい、他の地区では比較的合致している。

表- 4.2 (1) フェロキシル試験結果(1)

鋼 種 : A

番号	試 験 片								評 点					評 価
	H1F	H1B	H2F	H2B	V1F	V1B	V2F	V2B	1	2	3	4	5	
1	4	4	4	3	4	4	4	4			1	7		4
2	4	2	3	2	3	2	3	2		4	3	1		2/3
3	4	3	3	2	3	3	3	2		2	5	1		3
4	4	3	4	3	3	4	3	3			5	3		3
5	4	3	3	3	3	3	3	3			7	1		3
6	3	3	4	2	3	3	3	3		1	6	1		3
7			4	3			3	3			3	1		3
8	3	3	3	2	3	2	3	2		3	5			3/2
9	4	3	4	3	3	3	4	3			5	3		3/4
10	5	4	4	3	4	4	3	4			2	5	1	4
11	4	3	3	3	3	3	3	3			7	1		3
12	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
13	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
14	4	3	3	3	3	3	3	3			7	1		3
15	2	2	2	3	2	2	3	2		6	2			2
16	2	2	2	2	3	3	2	2		6	2			2
17	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
18	3	3	3	3	3	3	3	3			8			3
19	3	3	3	3	3	3	3	3			8			3
20	4	3	3	3	3	3	3	3			7	1		3
21	2	2	3	2	3	2	2	2		6	2			2
22	3	3	2	3	3	2	2	2		4	4			2/3
23			3	2			3	2		2	2			2/3
24	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
25	4	3	4	2	3	3	3	3		1	5	2		3
26	2	4	2	4	3		3	2		3	2	2		2/3
27	2	3	3	2	3	3	2	2		4	4			2/3
28	3	2	3	3	2	2	2	3		4	4			2/3
29	3	2	2	2		3	2	2		5	2			2
30	3	2	3	3	3	2	2	2		4	4			2/3
31	3	3	5	5	4	4	4	5			2	3	3	4/5
32	3	3	3	3	2	2	2	2		4	4			2/3
33	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
34	3	2	3	3	3	2	2	3		3	5			3/2
35	4	4	3	3	4	4					2	4		4
36	4	3	2	2	4	3	3	3		2	4	2		3/2/4
37	1	1	1	1	1	1	1	1	8					
38	4	4	5	4	4	4	4	4				7	1	2
39			4	3			3	3			3	1		3
40	4	3	5	3	3	4	3	4			4	3	1	3/4
41	3	3	4	3	3	3	3	3			7	1		3

表-4.2(2) フェロキシル試験結果(2)

鋼 種 : B

番号	試 験 片								評 点					評 価
	H1F	H1B	H2F	H2B	V1F	V1B	V2F	V2B	1	2	3	4	5	
1	5	4		4	4	4		4				5	1	4
2	4	2	4	2	2	2	3	2		5	1	2		2
3	4	4	4	2	3	4	4	2		2		5		4
4	4	4	4	2	4	4	2	4		2		6		4
5	4	4	4	4	4		4	3			1	6		4
6	4	3	4	2	2	2	2	2		5	1	2		2
7			4	4			4	4				4		
8		2	2	2	2	2	2	2		7				2
9	4	4	4	4	4	3	4	4			1	7		4
10	5	4	4	4	4	4	4	4				7	1	4
11	4	3	4	4	4	4	3	3			3	5		4
12	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
13	1 ⁴	1 ⁴	1	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	8					1
14	4	4	4	4	4	4	2	2		2		6		4
15	4	2	4	2	2	2	2	2		6		2		2
16	3	2	3	2	2	3	2	2		5	3			2
17	1 ³	1 ⁴	1	1	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	8					1
18	3	3	2	3	3	4	3	4		1	5	2		3
19	4	4	4	3	3	3	2	2		2	3	3		3/4
20	4	4	4	3		4	4	3			2	5		4
21	4	3	4	3	3	3	3	3			6	2		3
22	4	3	3	3	3	4	3	3			6	2		3
23			4	3			3	3			3	1		3/4
24	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
25	4	3	4	3	4	4	4	3			3	5		4/3
26	3	4	3	4	4	3	4	2		1	3	4		4/3
27	4	3	4	2	3	3	2	2		3	3	2		2/3
28	3	3	2	2	3	2	2	3		4	4			2/3
29	3	2	2	2	2	2	2	2		7	1			2
30	3	3	4	4	3	3	3	3			6	2		3
31	5	5	5	5	4	4	4	5				3	5	5
32	4	3	4	3	2	4	2	3		2	3	3		3/5
33	1 ⁴	1 ⁴	1	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	1	1 ⁴	8					1
34	3	3	4	3	3	3	2	3		1	6	1		3
35	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
36	4	3	3	2	4	2	2	2		3	3	2		2/3
37	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
38	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
39			5	3			3	2		1	2		1	
40	5	3	5	4	3	2	4	4			2	4	2	4
41	3	2	3	2	2	2	3	3		4	4			2/3

表－ 4.2 (3) フェロキシル試験結果(3)

鋼 種 : C

番号	試 験 片								評 点					評 価
	H1F	H1B	H2F	H2B	V1F	V1B	V2F	V2B	1	2	3	4	5	
1	4	4	4	4	4	4	4	5				7	1	4
2	2	3	4	2	2	2	2	2		6	1	1		2
3	4	2	5	3	3	3	4	4		1	3	3	1	3/4
4	3	2	4	3	3	3	4	4		1	4	3		3/4
5	4	2	4	4	2	2	3	3		3	2	3		2/3/4
6	3	2	4	2	2	2	3	3		4	3	1		2/3
7	4	3	5	4	4	3	4	4			3	5	1	4/3
8	2	2	4	4	3	2	3	3		3	3	2		2/3/4
9	4	4	4	5	4	3	4	4			1	6	1	4
10	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
11	4	3	4	4	3	2	4	4		1	2	5		4/3
12	4	4	4	5	4	4	5	5				5	3	4/5
13	1 ²	1 ²	1 ²	1	1	1	1	1	8					1
14	4	3	4	4	2	2	4	4		2	1	5		4/3
15	3	2	4	3	3	2	3	3		2	5	1		3/2
16	3	2	4	3	2	2	3	3		3	4	1		3/2
17	1 ²	1	1	1 ⁴	1	1	1	1	8					1
18	4	4	4	4	2	3	4	4		1	1	6		4
19	4	3	4	4	3	3	4	4			3	5		4/3
20	4	4	4	4	4	2	3	4		1	1	6		4
21	4	3	4	4	3	3	3	4			4	4		4/3
22	3	3	3	4	3	3	2	4		1	5	2		3
23	4	4	4	2	4	4	3	2		2	1	5		4/3
24	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
25	4	3	4	2	2	2	2	2		5	1	2		2/3
26	3	5	3	5	4	2	4	3			3	2	2	3/4/5
27	4	4	4	2	4	3	4	2		2	1	5		4/3
28	3	2	3	4	3	3	3	4		1	5	2		3
29	3	3	3	3	2	3	3	3		1	7			3
30	4	4	4	4	4	3	3	4			2	6		4
31	2	4	4	4	4	4	4	4		1		7		4
32	4	3	3	2	3	3	3	2		2	5	1		3/2
33	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
34	4	4	2	2	2	2	2	2		6		2		2/4
35	4	5	4	5	5	4	4	4				5	3	4/5
36	3	4	2	4	3	3	2	4		2	3	3		3/4
37	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
38	3	4		4	4	5	4	2		1	1	4	1	4
39	5	4	4	4	4	4	3	4			1	6	1	4
40	5	4	5	4	4	5	4	5				4	4	4/5
41	4	4	4	4	3	4	3	4			2	6		4

表－4.2(4) フェロキシル試験結果(4)

鋼 種 : D

番号	試 験 片								評 点					評 価
	H1F	H1B	H2F	H2B	V1F	V1B	V2F	V2B	1	2	3	4	5	
1	4	5	4	5	5	5	5	5				2	6	4
2	2	2	2	2	2	2	2	2		8				2
3	5	4	5	4	2	4	2	4		2		4	2	4/5
4	5	4	4	2	4	4	2	4		2		5	1	4
5	4	4	4	4	4	4	3	4			1	7		4
6	4	2	4	2	2	2	2	2		6		2		2
7	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
8	2	2	2	2	2	2	2	2		8				2
9	4	4	4	4	3	4	4	3			2	6		4
10	4	4	5	4	4	4	4	4				7	1	4
11	4	4	4	2	2	4	2	4		3		5		4/2
12	5	5	5	4	4	4	4	5				4	4	4/5
13	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
14	4	4	4	4	4	4	2	4		1		7		4
15	4	2	4	2	2	2	2	2		6		2		2
16	2	2	4	2	2	2	2	2		7		1		2
17	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
18	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
19	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
20	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
21	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
22	4	4	4	4	3	3	3	3			4	4		4/3
23	4	3	4	3	3	4	4	4			3	5		4/3
24	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
25	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
26	3	5	4	5	4	3	4	2		1	2	3	2	4/3/5
27	4	3	4	3	4	4	3	4			3	5		4/3
28	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
29	4	4	4	2	2	2	3	2		4	1	3		2/3
30	4	4	4	4	4	4	4	4				8		4
31	4	4	4	4	4	4	5	4				7	1	4
32	4	3	4	3	2	3	4	3		1	4	3		3/2
33	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
34	3	2	2	2	2	3	2	2		6	2			2
35	4	5	4	4	4	4	3	4			1	6	1	4
36	3	3	2	4	4	3	2	2		3	3	2		3
37	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
38	4	5	4	5	4	5	5	5				3	5	5
39	5	4	5	4	3	4	4	4			1	5	2	4
40	5	4	5	4	4	4	3	4			1	5	2	4
41	4	3	3	2	2	2	2	2		5	2	1		2

表-4.2(5) フェロキシル試験結果(5)

鋼 種 : E

番号	試 験 片								評 点					評 価
	H1F	H1B	H2F	H2B	V1F	V1B	V2F	V2B	1	2	3	4	5	
1	4	4	5	4	4	4	4	4				7	1	4
2	3	3	4	4	2	2	4	3		2	3	3		3/4
3	3	2	5	4	2	2	3	3		3	3		1	2/3
4	4	2	4	2	2	2	3	4		4	1	3		2/4
5	3	2	4	3	2	2	3	4		3	3	2		2/3
6	3	2	3	3	2	2	2	2		5	3			2/3
7	3	2	4	3	2	2	4	4		3	2	3		2/4
8	3	2	3	2	2	2	2	2		6	2			2
9	2	2	4	4	2	2	3	4		4	1	3		2/4
10	4	3	4	4	4	4	4	4			1	7		4
11	3	2	3	2	2	2	3	4		4	3	1		2/3
12	4	4	4	4	2	3	4	5		1	1	5	1	4
13	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
14	3	2	4	4	2	2	3	4		3	2	3		2/4
15	3	2	3	2	2	2	3	3		4	4			2/3
16	3	2	2	2	2	2	2	2		7	1			2
17	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
18	4	4	3	3	3	3	3	3			6	2		3
19	3	3	4	4	2	3	4	4		1	3	4		4/3
20	2	2	2	2	2	2	2	2		8				2
21	2	2	2	2	2	2	2	2		8				2
22	2	2	2	2	2	2	2	2		8				2
23	4	3	4	4	3	4	3	4			3	5		4/3
24	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
25	4	2	4	2	2	2	4	2		5		3		2/4
26	2	4	3	4	3	2	4	2		3	2	3		2/3/4
27	4	3	4	3	3	3	3	3			6	2		3
28	2	2	4	2	2	2	4	2		6		2		2
29	2	2	3	2	2	2	2	2		7	1			2
30	3	4	3	2	3	3	4	2		2	4	2		3/4/2
31	5	5	4	4	4	4	4	4				6	2	4
32	4	4	4	2	3	3	3	4		1	3	4		4/3
33	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
34	3	2	2	2	2	2	2	2		7	1			2
35	4	4	4	4	3	4	4	5			1	6	1	4
36	2	2	3	4	2	3	3	3		3	4	1		2/4
37	1	1	1	1	1	1	1	1	8					1
38	4	4	3	4	5	4	4	4			1	6	1	4
39	4	2	4	2	2	3	3	2		4	2	2		2/3
40	5	2	5	3	2	3	4	4		2	2	2	2	2~5
41	2	2	4	4	2	2	3	4		4	1	2		2/4

表-4.2(6) 鋼種別評価比較一覧表

橋梁No	鋼 種						(外観) さび安定
	A	B	C	D	E	平均	
①	1	4	4	4	5	4	④
	2	2/3	2	2	2	3/4	2
	3	3	4	3/4	4/5	2/3	?
	4	3/4	4	3/4	4	2/4	3
②	5	3	4	2/3/4	4	2/3	3
	6	3	2	2/3	2	2/3	②
	7	3	4	4/3	4	2/4	④
③	8	3/2	2	2/3/4	2	2	②
	9	3/4	4	4	4	2/4	④
	10	4	4	4	4	4	④
④	11	3	4	4/3	4/2	2/3	④
	12	4	4	4/5	4/5	4	④
	13	1	1	1	1	1	1
	14	3	4	4/3	4	2/4	4
⑤	15	2	2	3/2	2	2/3	②
	16	2	2	3/2	2	2	②
	17	1	1	1	1	1	1
	18	3	3	4	4	3	3
③	19	3	3/4	4/3	4	4/3	④
	11	3	2/3	4	2	3/4	3
⑥	20	3	4	4	4	2	?
	21	2	3	4/3	4	2	?
	22	2/3	3	3	4/3	2	3
	23	2/3	3/4	4/3	4/3	4/3	4
⑦	24	1	1	1	1	1	1
	25	3	4/3	2/3	4	2/4	3/4
	26	2/3	4/3	3/4/5	4/3/5	2/3/4	?
	27	2/3	2/3	4/3	4/3	3	?
⑧	28	2/3	2/3	3	4	2	?
	29	2	2	3	2/3	2	3
	30	2/3	3	4	4	3/4/2	?
	31	4/5	5/4	4	4	4	4
⑨	32	2/3	3/4	3/2	3/4	4/3	3
	33	1	1	1	1	1	1
	34	3/2	3	2/4	2	2	②
	35	4	4	4/5	4	4	④
⑩	36	3/2/4	2/3	3/4	3	3/4	③
	37	1	1	1	1	1	1
	38	4	4	4	5	4	④
	39	3	3/4	4	4	2/3	?
	40	3/4	4/5	4/5	4	2~5	?

表-4.2(7) 環境別評価比較一覧表

		フェロ キシル	さび 安定	合否
海 岸 1	①	4	3	○
	5	3	4	○
	13	1	1	⊖
	17	1	1	⊖
	20	3	3	—
	24	1	1	○
	25	3/4	3	○
	③①	4	4	○
	33	1	1	⊖
	37	1	1	⊖
工業地帯 2	③⑧	4	4	○
	4	3	3	○
	⑩	4	3	○
	14	4	3	○
	⑬	4	3	○
	23	4	2	△
	28	?	2	—
都 市 3	③⑥△	3	2	△
	2	2	2	○
	⑦	4	3	○
	⑪	4	3	○
	⑫	4	4	○
	18	3	2	△
	22	2	3	△
	27	?	2	△
	30	?	3	△
	③⑤	4	4	○
四 国 4	40	?	4	△
	⑨	4	3	○
	32	3	3	○
山 岳 5	41	3	3	○
	3	?	3	—
	⑥	2	3	△
	⑧	2	3	△
	⑮	2	3	△
	⑮	2	3	△
	21	?	3	—
	26	?	3	—
	29	3	3	○
	③④	2	3	×
	39	?	3	—

4.3 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察結果

下記の試験片について、観察を行なった。

鋼 種	橋 梁	暴 露 方 向	7	23	24	37	39
A (SM 50)		水平方向暴露	A07 1H1	A23 1H1	A24 1H1	A37 1H1	A39 1H1
		垂直 "	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1
B (SMA50) W		水平 "	B07 1H1	B23 1H1	B24 1H1	B37 1H1	B39 1H1
		垂直 "	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1

偏光顕微鏡の直交ニコル下では、光学的異方体の部分は偏光を示して赤色にみえ、一方光学的等方体の部分は偏光を示さないで、黒色となる。

Fe₃O₄ (マグネタイト) は、立方晶で光学的等方体であり、また非晶質物質も光学的等方体である。大気暴露のさびの中にはかなりの量の Fe₃O₄ および非晶質物質が存在することが報告されており、これらのことから偏光顕微鏡で黒色にみえる非偏光層は、結晶性 Fe₃O₄ と非晶質物質から構成されていると考えられている。

また耐候性鋼の安定さびの観察において鋼表面に接した連続的な非偏光層の存在が認められることから、この連続的な非偏光層が耐候性鋼の安定さびの腐食抑制作用の要因であると考えられている。すなわち、この非偏光層は緻密で水や酸素を透過しにくいいため、後続の腐食反応が起きにくくなると考えられている。

今この観察では、上記の考えにしたがい、鋼表面に連続的な非偏光層が形成されているかどうかという観点から、さび層中の非偏光層の割合、位置、連続性の各項目について表－4.3(1)に示すような3段階の評価を行い、さらにそれらの結果の総合として安定さびの形成の程度を3段階で評価した。

例えば写真1は非偏光層の割合、位置、連続性についての評価が最も悪い場合であり、さび安定化の程度は最も劣ると評価した。

表－4.3(1) 非偏光層の割合、位置、連続性の評価基準

項目	評 価	非 偏 光 層 の 状 況
割 合	○	さび層のほとんどの部分が非偏光層である。
	△	さび層のかなりの部分が非偏光層である。
	×	非偏光層の量はごく少ない。
位 置	○	鋼表面のほとんどの部分が非偏光層でおおわれている。
	△	鋼表面のかなりの部分が非偏光層でおおわれている。
	×	鋼表面はほとんど非偏光層でおおわれている。
連 続 性	○	非偏光層の横方向のつながりは非常によい。
	△	" かなりよい。
	×	" 非常に悪い。

表－ 4.3 (2) 安定さびの形成程度の評価基準

評 価	安 定 さ び の 形 成	非 偏 光 層 の 状 況	例
○	さびの安定化が最も進んでいる	耐候性鋼の安定さびの状況とかなりよく似ている	写 真 3
△	さびの安定化がかなり進んでいる	” 多少似ている	” 2
×	さびの安定化が遅れている	” まったく似ていない	” 1

以上の評価基準を用いて、各試験所さびを評価した結果を、表－ 4.3 (3)に示す。

表－ 4.3 (3)から明らかなように大部分の試験片では安定さびは形成していないと判断される状況であり、鋼種（普通鋼，耐候性鋼），試験環境（橋梁架設場所），暴露方向（垂直，水平）などによるさび安定化の状況の違いははっきりしなかった。

また、さび層の厚さは、ほとんどの場合 100 μm 以下であった（安定化と共に厚くなるわけではなく、ふつう＜100 μm ）。

A 241 H1

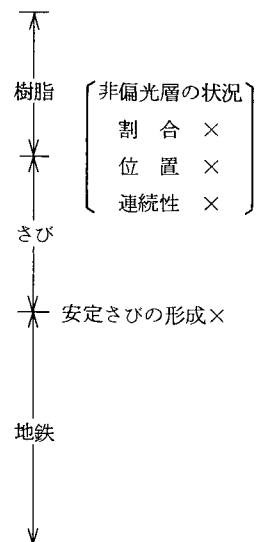


写真1 浜村橋（中国），普通鋼，水平ポンチの反対面（×400）

B 391 V1

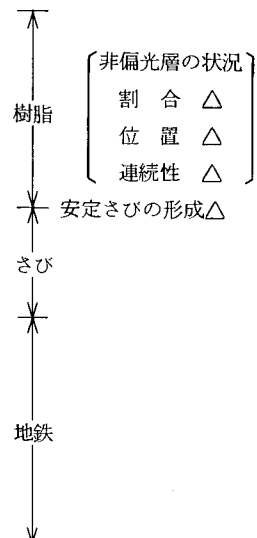
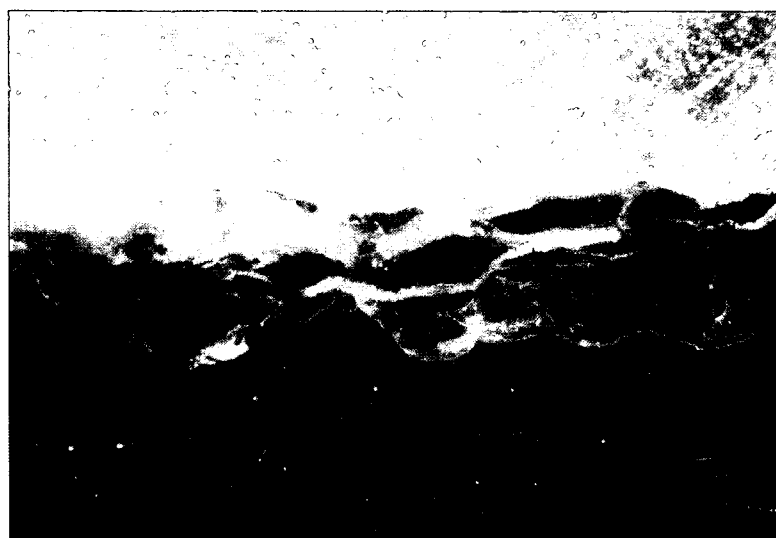


写真2 石平橋（沖縄），耐候性鋼，垂直ポンチの反対面（×400）

A 371 V1

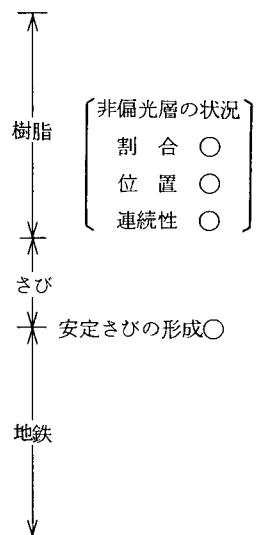


写真3 塩屋大橋（沖縄），普通鋼，垂直ポンチの反対面（×400）

表－ 4.3 (3) 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察結果（その１）

橋 梁 名	暴露方向	面	鋼 種	さびの 位 置	さび層の厚さ (μm)	非 偏 光 層 の 状 況			安定さび の 形 成
						割 合	位 置	連続性	
名 取 大 橋	水 平	対空面	普 通 鋼	1	25～65	○	△	△	△
				2	43～93	△	△	△	△
"	"	対地面	"	1	18～53	×	×	×	×
				2	13～55	×	×	×	×
"	"	対空面	耐候性鋼	1	18～63	△	△	×	△
				2	20～65	△	△	×	△
"	"	対地面	"	1	25～50	×	×	×	×
				2	15～40	×	×	×	×
"	垂 直	A	普 通 鋼	1	35～70	×	×	×	×
				2	50～88	×	×	×	×
"	"	B	"	1	70～95	×	×	×	×
				2	50～90	×	×	×	×
"	"	A	耐候性鋼	1	15～73	△	×	×	×
				2	0～25	×	×	×	×
"	"	B	"	1	18～58	△	×	×	×
				2	8～30	△	×	×	×
西淀川高架橋	水 平	対空面	普 通 鋼	1	18～63	△	△	△	△
				2	8～55	△	△	△	△
"	"	対地面	"	1	8～63	△	○	○	△
				2	3～38	△	○	○	△
"	"	対空面	耐候性鋼	1	18～50	△	△	○	△
				2	33～55	○	△	○	△
"	"	対地面	"	1	25～65	△	△	△	△
				2	10～45	×	△	×	×
"	垂 直	A	普 通 鋼	1	13～83	○	○	○	○
				2	13～50	○	○	○	○
"	"	B	"	1	15～100	○	○	○	○
				2	3～50	○	○	○	○
"	"	A	耐候性鋼	1	33～75	△	△	△	△
				2	10～50	△	○	○	○
"	"	B	"	1	0～43	×	△	△	△
				2	3～35	△	○	○	○

表－ 4.3(4) 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察結果（その２）

橋 梁 名	暴露方向	面	鋼 種	さびの 位 置	さび層の厚さ (μm)	非偏光層の状況			安定さび の形 成
						割 合	位 置	連続性	
浜 村 橋	水 平	対空面	普 通 鋼	1	50～88	△	×	×	×
				2	55～113	△	△	△	△
"	"	対地面	"	1	30～55	×	×	×	×
				2	50～118	△	△	△	△
"	"	対空面	耐候性鋼	1	5～63	△	×	△	×
				2	50～95	×	×	×	×
"	"	対地面	"	1	8～45	△	△	△	△
				2	3～30	×	×	×	×
"	垂 直	A	普 通 鋼	1	25～150	×	△	×	×
				2	3～63	×	×	×	×
"	"	B	"	1	50～100	△	△	△	△
				2	13～50	△	△	△	△
"	"	A	耐候性鋼	1	8～43	△	△	○	△
				2	5～25	△	△	△	△
"	"	B	"	1	3～28	△	△	△	△
				2	43～75	○	△	△	△
塩 屋 大 橋	水 平	対空面	普 通 鋼	1	38～75	△	×	×	×
				2	20～55	△	×	×	×
"	"	対地面	"	1	18～55	×	×	×	×
				2	45～90	○	○	○	○
"	"	対空面	耐候性鋼	1	15～125	×	×	×	×
				2	40～100	×	×	×	×
"	"	対地面	"	1	30～100	×	×	×	×
				2	25～100	×	×	×	×
"	垂 直	A	普 通 鋼	1	18～68	△	×	△	×
				2	13～75	○	△	△	△
"	"	B	"	1	25～85	○	△	△	△
				2	28～75	○	○	○	○
"	"	A	耐候性鋼	1	30～83	○	△	○	△
				2	58～113	○	△	○	△
"	"	B	"	1	113～150	○	○	○	○
				2	63～100	○	×	○	×

表－ 4.3 (5) 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察結果（その 3）

橋 梁 名	暴露方向	面	鋼 種	さびの 位 置	さび層の厚さ (μm)	非 偏 光 層 の 状 況			安定さび の 形 成
						割 合	位 置	連続性	
石 平 橋	水 平	対空面	普 通 鋼	1	70 ～ 115	○	△	△	△
				2	75 ～ 125	○	△	△	△
"	"	対地面	"	1	25 ～ 88	△	△	×	△
				2	25 ～ 55	△	○	×	△
"	"	対空面	耐候性鋼	1	15 ～ 63	△	×	×	×
				2	55 ～ 85	○	×	△	×
"	"	対地面	"	1	20 ～ 45	△	×	×	×
				2	13 ～ 40	△	×	×	×
"	垂 直	A	普 通 鋼	1	25 ～ 70	△	△	△	△
				2	25 ～ 68	△	△	×	△
"	"	B	"	1	25 ～ 65	△	△	△	△
				2	33 ～ 80	△	○	△	△
"	"	A	耐候性鋼	1	5 ～ 38	△	△	△	△
				2	5 ～ 33	×	×	×	△
"	"	B	"	1	13 ～ 40	△	△	×	△
				2	30 ～ 55	△	△		△

（注 1） 面：A ポンチによる刻印のある面

B ポンチによる刻印のない面

（注 2） さびの位置 1, 2 任意の 2 箇所

（注 3） 普 通 鋼：鋼種記号 A（SM50）

耐候性鋼： " B（SM50 AW）

4.4 EPMAによるさび層の断面観察結果

下記の試験片について、観察を行なった。

鋼 種 \ 橋 梁	暴 露 方 向	7	23	24	37	39
A（SM 50）	水平方向暴露	A07 1H1	A23 1H1	A24 1H1	A37 1H1	A39 1H1
	垂直 "	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1
B（SMA 50 W）	水平 "	B07 1H1	B23 1H1	B24 1H1	B37 1H1	B39 1H1
	垂直 "	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1	" 1V1

測定結果を表－ 4.4 (1)～(2)に示した。結果を要約すると次のとおりである。

① 鋼 種 (SM50)

Si, S の濃縮が認められる。

② 鋼 種 (SMA50W)

Cr, Si, Cu, S の濃縮が認められる。濃縮が最も顕著なのは Cr 及び Si で, Cu は部分的に濃縮しているものが多い。

③ S, Cl の含有量について

S は, 橋 24, 37 では少ない。Cl は, どの橋でも認められるが, 橋によって差がある。また, 一般に Cl は水平材の方が, 垂直材よりも若干多い傾向がある。

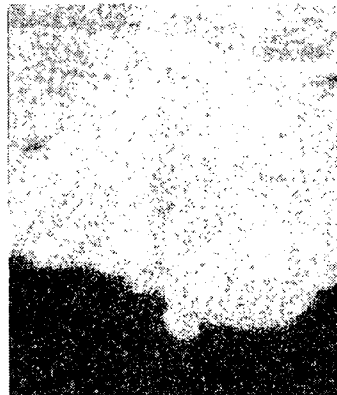
B. S. E.



Fe

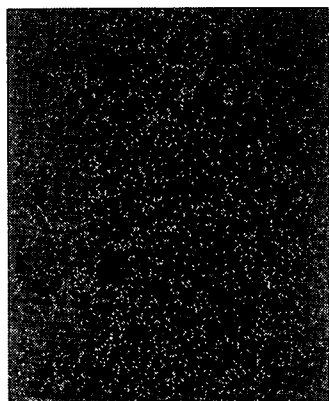


O

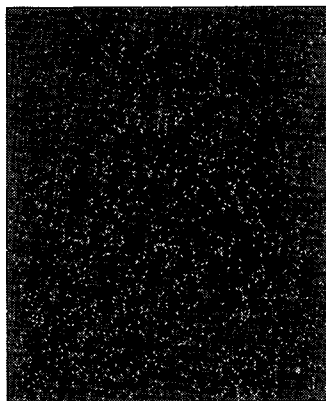


20 μ m

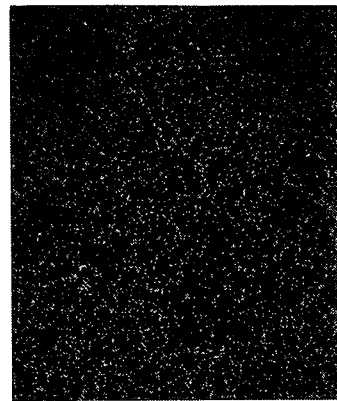
Cr



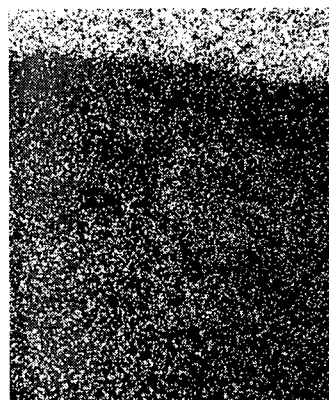
Ni



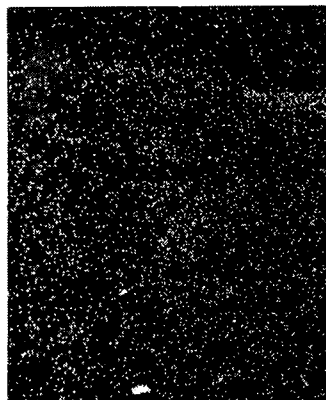
Cu



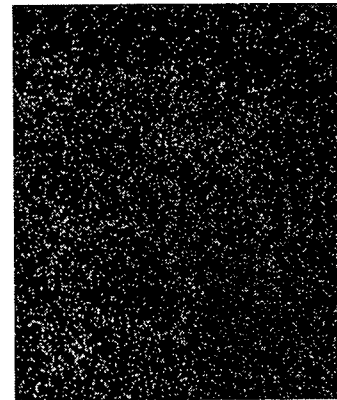
Si



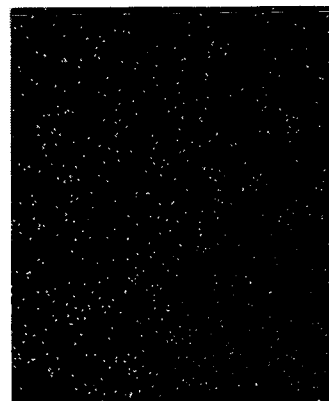
S



Cl

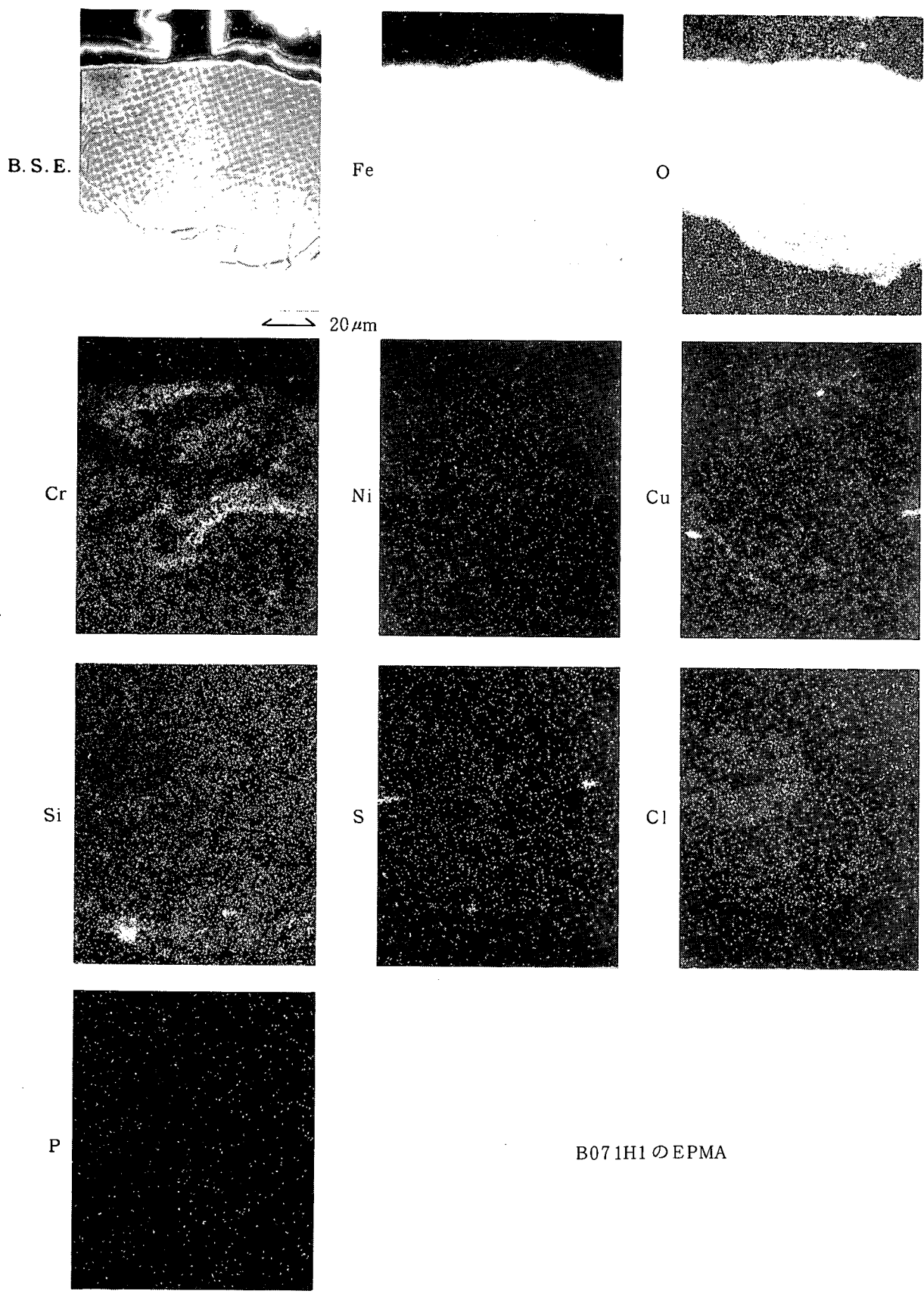


P



A071H1 の EPMA

写真- 4.4(1) EPMAによる面分析測定結果 (A07 1H1)



B07 1H1 の EPMA

写真 - 4.4(2) EPMAによる面分析測定結果 (B07 1H1)

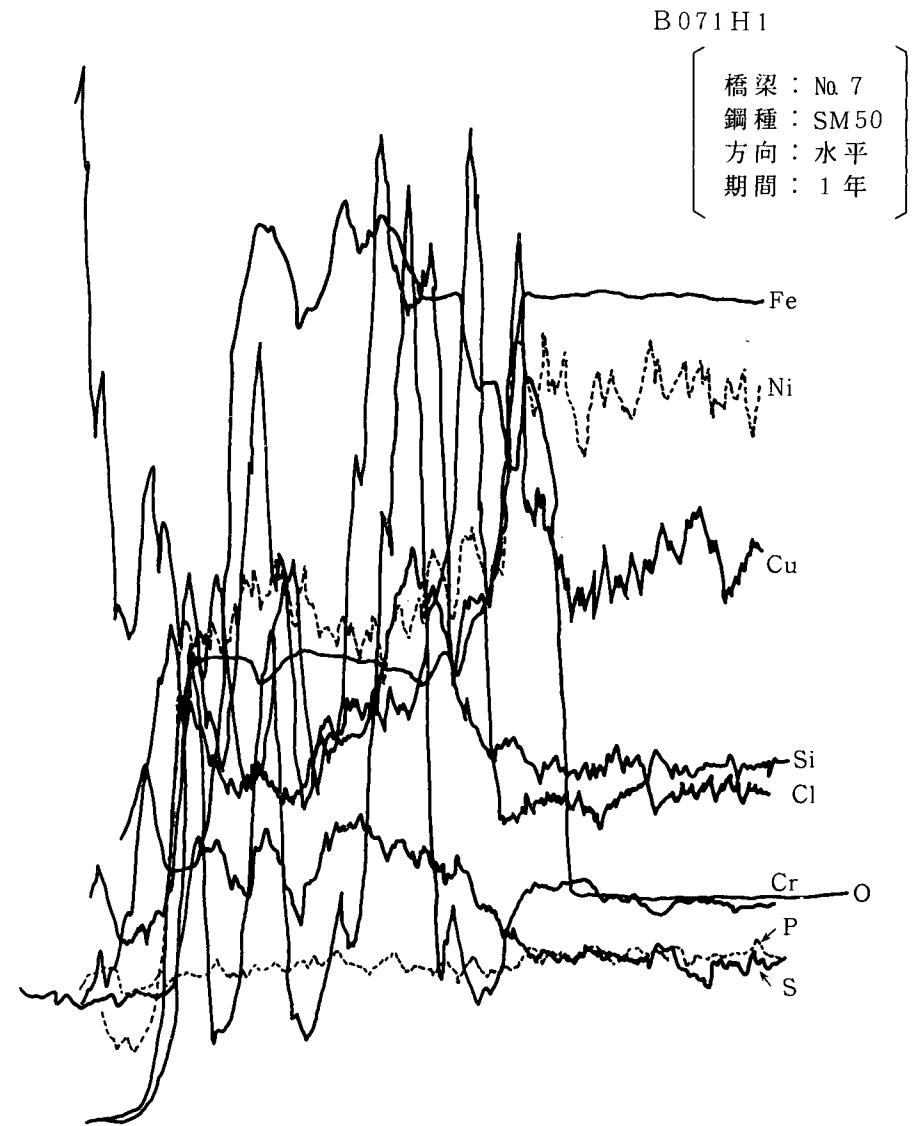
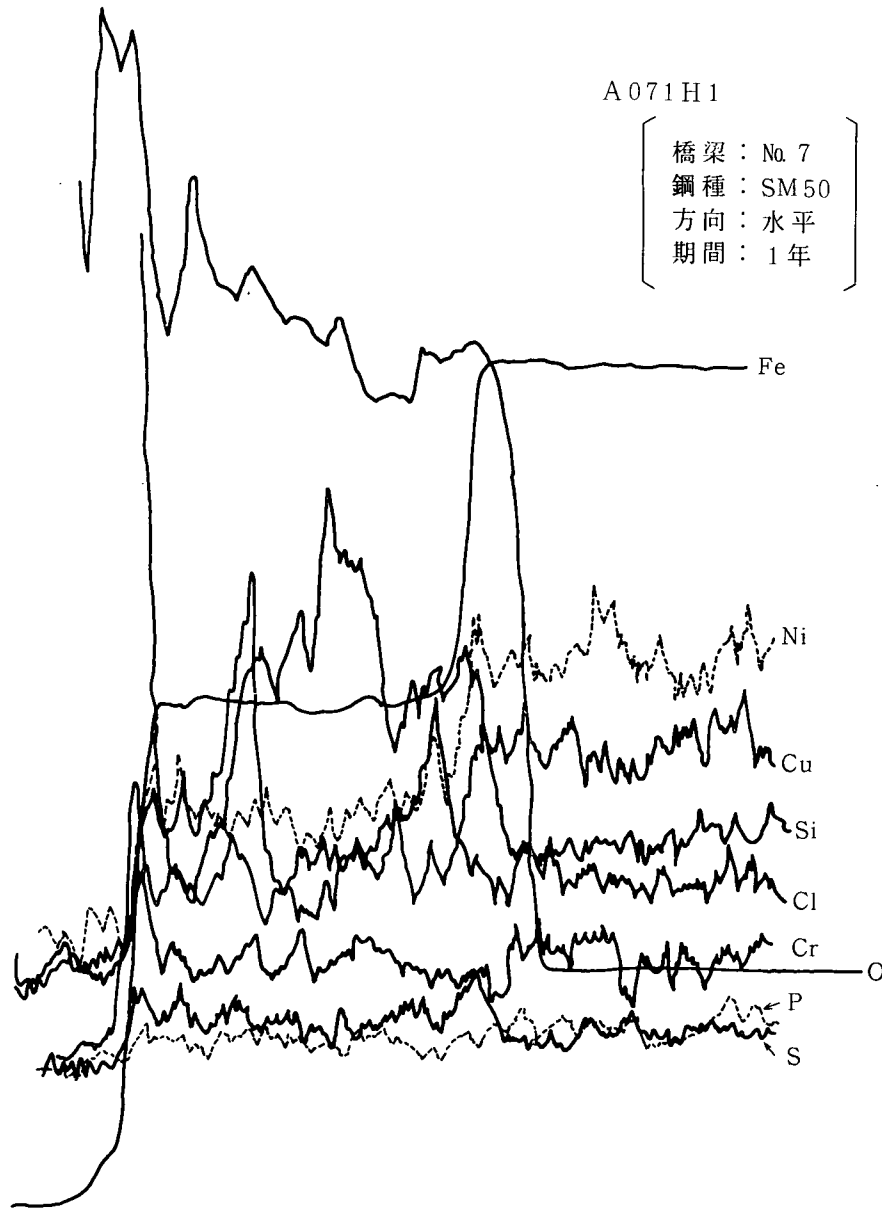


図-4.4(1) EPMAによる線分析測定結果 (A07 1H1 及びB07 1H1)

表－ 4.4 (1) さび層中元素の挙動 (E P M A ; 面分析)

錆中元素 試験片記号	Cr	Ni	Cu	P	Si	S	Cl
A07 1H1							
" 1V1					○ ?	○ ?	
B07 1H1	◎		○部分的			○	○
" 1V1	◎				○部分的	○	○部分的
A23 1H1					○	○	○部分的
" 1V1	○ ?					○	
B23 1H1	◎		○部分的			○	◎
" 1V1	◎		○ "		○	○	
A24 1H1	◎				○		○部分的
" 1V1	◎				○		
B24 1H1	◎		○部分的		○ ?		○
" 1V1	◎				◎		○
A37 1H1					○		
" 1V1					○ ?		
B37 1H1	◎	○部分的	○部分的		○		○
" 1V1	◎	○ "	○ "				
A39 1H1					○部分的	○ ?	◎
" 1V1					○		○
B39 1H1	◎				○		○部分的
" 1V1	◎				○		○

表－ 4.4 (2) さび層中元素の挙動（ E P M A ； 線分析 ）

錆中元素 試験片符号	Cr	Ni	Cu	P	Si	S	Cl
A07 1H1					◎	○	○
" 1V1					◎	◎	
B07 1H1	◎		◎		◎	○	◎
" 1V1	◎					◎	◎
A23 1H1					◎	◎	◎部分的
" 1V1					◎	◎	○ "
B23 1H1	◎		○		◎	◎	◎部分的
" 1V1	◎		◎		◎	◎	○
A24 1H1					◎		◎
" 1V1					◎	○部分的	◎部分的
B24 1H1	◎	○ ?	◎部分的		◎		◎部分的
" 1V1	◎		◎ "		◎		◎ 表面のみ
A37 1H1					◎		◎
" 1V1						◎ ?	◎
B37 1H1	◎	◎	◎		◎		◎部分的
" 1V1	◎	◎	◎部分的		◎		
A39 1H1					◎	◎	◎
" 1V1					◎	○	
B39 1H1	◎				◎		○
" 1V1	◎				◎	◎	○

備考： ◎ 濃縮 大
 ◎ " 中
 ○ " 小
 無記号 " なし

4.5 さびの化学分析結果

さび中の化学成分の分析値について次の計算を行った。

$$\text{Fe (g)} = \text{測定値 (g)} - \text{ブランク値 (g)}$$

$$\text{S (mg)} = \text{ " (mg)} - \text{ " (mg)}$$

$$\text{Cl (mg)} = \text{ " (mg)} - \text{ " (mg)}$$

$$\text{S/Fe (\%)} = \text{S} \div \text{Fe} \times 100 \quad (\text{さび中の S の濃度})$$

$$\text{Cl/Fe (\%)} = \text{Cl} \div \text{Fe} \times 100 \quad (\text{さび中の Cl の濃度})$$

ブランク値を表－4.5(1)に示す。

計算結果を表－4.5(2)に示す。

表－4.5(1) Fe, S, Cl のブランク値

鋼 種	脱さび処理時間 (min)	Fe (g)	S (mg)	Cl (mg)
耐 候 性 鋼	10	1.18	0.3	1.06
"	20	1.73	0.6	0.87
"	30	1.28	0.8	0.87

表 - 4. 5 (2)

橋梁 番号	橋 梁 名	暴露 方向	鋼 種 A							鋼 種 B						
			処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe	処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe
			(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)
0 1	石狩河口橋	H	30	102	847	28.1	74.03	0.33	0.87	30	8.9	7.17	23.9	51.93	0.33	0.72
		V	30	7.68	5.95	21.2	29.23	0.35	0.49	30	9.58	7.85	27	53.43	0.34	0.68
		平均														
0 2	豊 平 橋	H	20	238	(0.65)	17.5	4.54	(2.69)	0.69	20	2.46	0.73	25.3	5.1	(3.4)	0.69
		V	20	187	(0.14)	13.9	2.61	(9.92)	1.86	20	1.85	0.12	18.4	3.73	(15.3)	3.10
		平均														
0 3	滝 笛 橋	H	20	3.76	2.03	8.0	10.43	0.39	0.51	20	4.73	3.0	8.9	13.33	0.29	0.44
		V	20	2.78	1.05	5.3	5.13	0.50	0.48	20	3.51	1.78	5.3	5.44	0.29	0.30
		平均														
0 4	母恋高架橋	H	20	7.56	58.3	30.1	45.73	0.51	0.78	20	6.86	5.13	29.8	26.73	0.58	0.52
		V	20	6.01	4.28	26.5	18.33	0.61	0.42	20	5.5	3.77	23.9	16.87	0.63	0.44
		平均														
0 5	高 城 大 橋	H	20	4.69	2.96	10.3	14.73	0.34	0.49	20	5.16	3.43	9.4	15.43	0.27	0.44
		V	20	4.28	2.55	8.9	8.71	0.34	0.34	20	4.36	2.63	7.5	8.24	0.28	0.31
		平均														
0 6	大 洞 橋	H	10	2.07	0.89	5.3	3.79	0.59	0.42	10	2.58	1.4	4.4	4.97	0.31	0.35
		V	10	2.07	0.89	3.3	1.68	0.37	0.18	10	2.54	1.36	4.7	3.04	0.34	0.22
		平均														
0 7	名 取 大 橋	H	20	4.47	2.74	12.0	7.09	0.43	0.25	20	6.09	4.36	22.8	14.03	0.52	0.32
		V	20	4.06	2.33	12.2	8.83	0.52	0.37	20	4.95	3.22	19.2	11.43	0.59	0.35
		平均														

表 - 4.5 (3)

橋梁 番号	橋 梁 名	暴露 方向	鋼 種 A							鋼 種 B						
			処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe	処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe
			(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)
08	大 峰 沢 橋	H	10	189	0.71	6.7	466	0.94	0.65	10	185	0.67	7.5	3.73	1.11	0.55
		V	10	187	0.69	5.6	292	0.81	0.42	10	1.73	0.55	7.8	3.29	1.41	0.59
		平均														
09	新 上 江 橋	H	20	4.57	2.84	20.3	14.33	0.71	0.50	20	5.2	3.47	23.1	17.93	0.66	0.51
		V	20	3.84	2.11	18.9	11.83	0.89	0.56	20	5.18	3.45	24.8	18.03	0.71	0.52
		平均														
10	海老川大橋	H	30	9.02	7.29	45.7	42.43	0.62	0.57	30	9.37	7.64	43.2	37.63	0.56	0.49
		V	30	6.58	4.85	30.6	28.93	0.63	0.59	30	7.18	5.45	36.8	23.63	0.67	0.43
		平均														
11	尾 張 屋 橋	H	20	3.8	2.07	5.5	13.73	0.26	0.66	20	4.61	2.88	20.0	16.23	0.69	0.56
		V	20	3.27	1.54	8.9	10.53	0.57	0.68	20	3.94	2.21	20.3	20.43	0.91	0.92
		平均														
12	新組跨線橋	H	20	10.2	8.47	29.0	46.83	0.34	0.55	20	11.6	9.87	30.9	53.93	0.31	0.54
		V	20	7.61	5.88	20.0	28.63	0.34	0.48	20	8.46	6.73	28.7	30.03	0.42	0.44
		平均														
13	米 山 大 橋	H	30	20.2	18.47	36.8	368.13	0.19	1.99	30	21.5	19.77	36.9	393.13	0.18	1.98
		V	30	12.7	10.97	17.1	150.13	0.15	1.36	30	15.1	13.37	19.4	157.13	0.14	1.17
		平均														
14	千 保 川 橋	H	20	4.24	2.51	18.1	13.43	0.72	0.53	20	5.34	3.61	18.9	14.63	0.52	0.40
		V	20	3.82	2.09	15.9	9.33	0.76	0.44	20	4.44	2.71	18.4	9.53	0.67	0.35
		平均														

表 - 4. 5 (4)

橋梁 番号	橋 梁 名	暴露 方向	鋼 種 A							鋼 種 B						
			処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe	処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe
			(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)
1 5	常 浪 橋	H	10	282	164	1.1	634	0.06	0.38	10	335	217	5.0	782	0.23	0.36
		V	10	242	124	0.8	37	0.06	0.29	10	29	172	4.2	432	0.24	0.25
		平均														
1 6	蛤 橋	H	20	25	0.77	6.9	348	0.89	0.45	20	347	174	142	423	0.81	0.24
		V	20	19	0.17	2.7	133	158	0.78	20	264	0.91	8.3	367	0.91	0.40
		平均														
1 7	新 緑 橋	H	30	22.1	20.37	23.1	109.13	0.11	0.53	30	22.4	20.67	23.4	106.13	0.11	0.51
		V	30	7.8	6.07	1.1	436.3	0.01	0.71	30	15	132.7	11.5	104.13	0.08	0.78
		平均														
1 8	呼 続 大 橋	H	20	291	1.18	24.9	7.23	2.11	0.61	20	388	2.15	31.3	8.35	1.45	0.38
		V	20	285	1.12	21.9	53.2	1.95	0.47	20	335	1.62	24.1	6.99	1.48	0.43
		平均														
1 9	四 日 市 高 架 橋	H	20	42	24.7	23.5	11.93	0.95	0.48	20	48.3	3.1	22.7	12.33	0.73	0.39
		V	20	39.2	2.19	24.4	9.07	1.11	0.41	20	42.6	2.53	31.0	10.33	1.22	0.40
		平均														
2 0	有 田 大 橋	H	20	4	2.27	16.1	12.03	0.70	0.52	20	4.65	2.92	14.1	15.03	0.48	0.51
		V	20	3.27	1.54	9.9	21.13	0.64	1.37	20	3.96	2.23	12.7	9.93	0.56	0.44
		平均														
2 1	山 上 橋	H	20	3.68	1.95	13.0	8.38	0.66	0.42	20	4.39	3.2	15.5	11.03	0.48	0.34
		V	20	2.73	1.00	8.0	7.01	0.8	0.701	20	3.9	2.17	7.2	7.83	0.33	0.36
		平均														

表 - 4.5 (5)

橋梁 番号	橋 梁 名	暴露 方向	鋼 種 A							鋼 種 B						
			処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe	処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe
			(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)
2 2	五 条 大 橋	H	20	259	086	14.1	6.49	163	0.75	20	3.47	1.74	385	8.19	221	0.47
		V	20	246	0.73	13.3	4.94	182	0.67	20	3.11	1.38	227	6.18	1.64	0.44
		平均														
2 3	西 淀 川 高 架 橋	H	20	321	148	40.2	14.43	2.71	0.97	20	4.2	2.47	435	13.23	1.76	0.53
		V	20	2.73	1.00	35.2	10.13	3.52	1.01	20	3.92	2.19	21.6	10.23	0.98	0.46
		平均														
2 4	浜 村 橋	H	30	27.0	25.27	66.7	763.13	0.26	3.01	30	31.8	30.07	63.3	914.13	0.21	3.04
		V	30	18.0	16.27	44.9	599.13	0.27	3.68	30	18.1	16.37	44.2	701.13	0.27	4.28
		平均														
2 5	江 の 川 橋	H	20	5.19	3.46	19.4	22.13	0.56	0.63	20	5.98	4.25	235	22.83	0.55	0.53
		V	20	5.21	3.48	1.8	17.23	0.51	0.49	20	5.19	3.46	24.9	15.93	0.71	0.46
		平均														
2 6	三 次 大 橋	H	30	485	3.12	5.2	11.63	0.16	0.37	30	5.13	3.4	6.9	12.43	0.20	0.36
		V	30	3.17	1.44	2.7	5.7	0.18	0.39	30	3.29	1.56	9.9	7.91	0.63	0.50
		平均														
2 7	泉田高架橋	H	20	3.19	1.46	34.4	11.33	2.35	0.77	20	3.72	1.99	38.8	10.63	1.94	0.53
		V	20	3.29	1.56	31.3	7.42	2.00	0.47	20	3.25	1.52	33.8	6.37	2.22	0.41
		平均														
2 8	新 霞 橋	H	20	3.17	1.44	20.0	5.91	1.38	0.41	20	3.25	1.52	22.4	6.12	1.47	0.40
		V	20	2.95	1.22	15.8	3.95	1.29	0.32	20	2.54	0.81	20.8	4.39	2.56	0.54
		平均														

表 - 4.5 (6)

橋梁 番号	橋 梁 名	暴露 方向	鋼 種 A							鋼 種 B						
			処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe	処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe
			(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)
29	溪 道 橋	H	10	2.02	0.84	4.1	1.85	0.48	0.22	10	2.56	1.38	6.6	3.04	0.47	0.22
		V	10	1.98	0.80	0.3	2.21	0.03	0.27	10	1.82	0.64	1.6	1.17	0.25	0.18
		平均														
30	小 野 川 橋	H	20	3.64	1.91	17.4	9.13	0.91	0.47	20	3.98	2.25	22.4	10.23	0.99	0.45
		V	20	3.03	1.30	16.3	5.75	1.25	0.44	20	4.1	2.37	17.7	7.67	0.74	0.32
		平均														
31	安 田 川 橋	H	30	17.0	15.27	398	125.13	0.26	0.81	30	16.2	14.47	41.5	160.13	0.28	1.10
		V	30	11.2	9.47	338	77.13	0.35	0.81	30	12.5	10.77	36.5	98.63	0.33	0.91
		平均														
32	肱 川 橋	H	20	3.0	1.27	8.2	6.11	0.64	0.48	20	3.6	1.87	14.2	8.79	0.75	0.47
		V	20	2.5	0.77	1.6	4.58	0.20	0.59	20	3.4	1.67	14.0	5.57	0.83	0.33
		平均														
33	木 崎 大 橋	H	30	10.3	8.57	18.9	64.03	0.22	0.74	30	8.69	6.96	17.3	51.93	0.24	0.74
		V	30	8.48	6.75	15.6	49.53	0.23	0.73	30	8.82	7.09	20.0	54.73	0.28	0.77
		平均														
34	西 の 谷 橋	H	10	2.31	1.13	7.8	2.98	0.69	0.26	10	2.71	1.53	9.8	4.41	0.64	0.28
		V	10	2.06	0.88	6.6	2.67	0.75	0.30	10	2.44	1.26	8.6	3.23	0.68	0.25
		平均														
35	十 郎 川 橋	H	20	9.7	7.97	46.3	63.73	0.58	0.79	20	8.12	6.39	24.2	52.23	0.37	0.81
		V	20	8.08	6.35	40.1	52.63	0.63	0.82	20	7.59	5.86	17.8	47.53	0.30	0.81
		平均														

表 - 4.5 (7)

橋梁 番号	橋 梁 名	暴露 方向	鋼 種 種 A							鋼 種 種 B						
			処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe	処 理 時 間	Fe 補正前	Fe 補正後	S	Cl	S/Fe	Cl/Fe
			(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(分)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(%)	(%)
3 6	中央高架橋	H	20	3.06	1.33	26.1	4.76	1.96	0.35	20	2.64	0.91	17.5	6.16	1.92	0.67
		V	20	2.35	0.62	15.3	6.4	2.46	1.03	20	2.31	0.58	13.1	2.86	2.25	0.49
		平均														
3 7	塩谷大橋	H	30	98.5	96.77	107.9	1549.13	0.11	1.60	30	96.5	94.77	113.6	1129.13	0.11	1.19
		V	30	75.2	73.47	81.4	1079.13	0.11	1.46	30	104.6	102.87	120.2	916.13	0.11	0.89
		平均														
3 8	世 富 慶 歩 道 橋	H	30	11.8	10.07	1.98	80.23	0.19	0.79	30	13.6	11.87	25.9	83.93	0.21	0.70
		V	30	8.84	7.11	1.84	37.93	0.25	0.53	30	12.2	10.47	20.9	64.03	0.19	0.61
		平均														
3 9	石 平 橋	H	20	6.94	5.21	25.0	25.83	0.47	0.49	20	7.67	5.94	47.9	32.83	0.80	0.55
		V	20	5.40	3.67	22.6	13.83	0.61	0.37	20	6.17	4.44	46.3	18.43	1.04	0.41
		平均														
4 0	兼 城 橋	H	30	6.88	5.15	0.5	26.93	0.00	0.52	30	7.06	5.33	7.2	22.23	0.13	0.41
		V	30	5.18	3.45	- 0.3	15.93	0.00	0.46	30	5.10	3.37	9.2	14.73	0.27	0.43
		平均														
4 1	南 横 断 4 - 2 号橋	H	20	3.28	1.55	2.4	7.39	0.15	0.47	20	3.06	1.33	10.3	5.6	0.77	0.42
		V	20	2.68	0.95	5.2	4.03	0.54	0.42	20	3.04	1.31	8.1	5.29	0.61	0.40
		平均														

5. ま と め

暴露年数がまだ1年ということもあって、耐候性鋼材が安定化するための時間がまだ不足であるといえるが、耐候性鋼材の全国暴露試験第一回腐食調査のうち試験片の化学分析調査結果について得られた知見は、次の通りである。

(1) 外観調査結果によれば、調査項目相互の関係が明確でない点があり、外観調査評価手法にはさらに工夫が必要である。

(2) フェロキシル試験結果によれば、外観観察のさび安定化の進み具合とさび緻密性が相関性があるようである。

(3) さび層の断面観察

偏光顕微鏡による観察によれば、まだ大部分の試験片では、さび層が安定化していないと判定された。なお、さび層の厚さは100 μm 以下であった。

E P M Aによる観察によれば、耐候性鋼材のさび層には Cr および Si の濃縮が顕著である。

Cu は部分的に濃縮していることがある。

(4) さび中の化学成分

化学成分の分析結果が得られたので、環境調査結果との関係を求めることにしている。

あ と が き

本調査時点は、暴露開始1年経過したのみであったため、本報告では、調査要領を明示し、これにもとづく調査結果を記録するにとどめた。

今後に予定している定期的な追跡調査によって、耐候性鋼材の耐食性がより明確になることが期待される。

なお、この共同研究を実施している、建設省土木研究所、(社)日本橋梁建設協会、(社)鋼材倶楽部の担当者の氏名は以下の通りである。

建設省土木研究所	橋梁研究室	佐 伯 彰 一	(56.4～)
"	"	金 井 道 夫 *	(56.4～58.4)
"	"	西 川 和 廣 *	(57.4～)
"	"	大 塩 俊 雄 *	(56.4～58.4)
"	"	佐 藤 和 徳 *	(58.4～)
"	化学研究室	森 芳 徳 *	(56.4～)
"	"	片 脇 清 *	(56.4～)
(社)日本橋梁建設協会	"	長谷川 鏐 一	(56.4～)
"	"	菅 野 照 造	(57.4～)
"	"	下 瀬 健 雄	(56.4～)
"	"	庄 司 吉 弘	(56.4～)
"	"	矢 野 久 元 *	(56.4～)
(社)鋼材倶楽部	"	小 島 久次郎	(56.4～57.4)
"	"	荒 木 桂 蔵	(56.4～)
"	"	清 水 健 次	(56.4～)
"	"	井 上 昭 彦	(56.4～)
"	"	三 浦 正 美	(56.4～57.6)
"	"	木 村 京 次	(57.4～)
"	"	久 野 忠 一 *	(56.4～)
"	"	桑 辺 行 正 *	(56.4～)
"	"	鳥 井 康 司 *	(56.4～)
"	"	松 島 巖 *	(56.4～)
"	"	三 浦 尚 人 *	(56.4～)
"	"	渡 辺 常 安 *	(56.4～)
"	"	石 沢 隆 生	(56.4～57.3)

(社) 鋼材倶楽部	化学研究室	福原幸雄	(58.4～)
"	"	田中明広	(56.4～)
"	"	三上尚人	(56.4～)

注) *は「さび分析幹事会」幹事

この研究を実施するにあたり、建設省各地方建設局、北海道開発庁、沖縄総合事務局の下記の方々には大変な御協力を頂いた。この場をかりて、厚く御礼を申し上げる次第である。

北海道開発庁	札幌新道建設工事々務所	三浦智	(56.4～)
"	札幌道路事務所	切石堯	(56.4～)
"	"	東海林繁	(56.4～)
"	室蘭道路事務所	高木実	(56.4～)
建設省	仙台工事々務所	佐藤誠孝	(56.4～58.6)
"	"	人間川武	(58.7～)
"	山形工事々務所	渋谷真一	(56.4～58.3)
"	"	渡辺繁	(58.4～)
"	高崎工事々務所	楳清一郎	(56.4～57.3)
"	"	茨木浩好	(57.4～)
"	大宮国道工事々務所	飯島均	(56.4～)
"	千葉"	福島正一	(56.4～)
"	横浜"	佐藤汎	(56.4～)
"	長岡"	野崎彦造	(56.4～)
"	富山工事々務所	藤田和俊	(56.4～58.3)
"	"	出戸端久登志	(58.4～)
"	新潟国道工事々務所	吉田紘一	(56.4～57.10)
"	"	高橋公夫	(57.11～)
"	高山国道工事々務所	衰島英明	(56.4～)
"	紀勢"	松井勝重	(56.4～58.3)
"	"	岡本一男	(58.4～)
"	名古屋国道工事々務所	中島駿	(56.4～)
"	三重工事々務所	加藤和昭	(56.4～57.10)
"	"	水守安二	(57.10～)
"	和歌山工事々務所	岸田明雄	(56.4～)
"	滋賀国道工事々務所	山本哲男	(56.4～57.3)
"	"	谷口正一	(57.4～)
"	京都国道工事々務所	石田健六	(56.4～57.9)
"	"	田中義孝	(57.10～)
"	大阪国道工事々務所	久保幸男	(56.4～)
"	鳥取工事々務所	足本定春	(56.4～)

建設省	浜田	小林修	(56.4~57.4)
"	"	田中隆昭	(57.4~)
"	三次工事々務所	篠原知己	(56.4~58.10)
"	"	村上則男	(58.10~)
"	岡山国道工事々務所	大月浩	(56.4~58.10)
"	"	篠原知己	(58.10~)
"	"	鈴木秀章	(56.4~58.3)
"	"	椋代頼正	(58.4~)
"	香川工事々務所	大塚満敏	(56.4~58.4)
"	"	大喜多孝雄	(58.4~)
"	松山工事々務所	楠目孝夫	(56.4~)
"	土佐国道工事々務所	片岡正彦	(56.4~)
"	大州工事々務所	河渕久	(56.4~58.3)
"	"	片岡浩史	(58.4~)
"	宮崎工事々務所	平木香	(56.4~)
"	大分	後田勇	(56.4~)
"	福岡国道工事々務所	緒方良一	(56.4~)
"	北九州	浅田敏光	(56.4~)
"	北陸技術事務所	蓑和保男	(57.10~)
沖縄総合事務局	北部国道工事々務所	五十川俊一	(56.4~58.4)
	"	村元悟	(58.4~)
	南部国道工事々務所	渡辺良夫	(56.4~)
	"	仲松徳修	(56.4~)

さび分析に関する調査要領（昭和57年度）

1. 暴露試験片外観写真撮影方法	45
2. 暴露試験片の外観調査方法	47
3. フェロキシル試験方法	49
4. 腐食量測定方法	50
5. 暴露試験片表面あらさの測定方法	52
6. 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察方法	53
7. E P M Aによるさび層の断面分析方法	55
8. さびの化学分析方法	57
9. 除錆試験片表面あらさの測定方法	59

1. 暴露試験片外観写真撮影方法

1.1 概 要

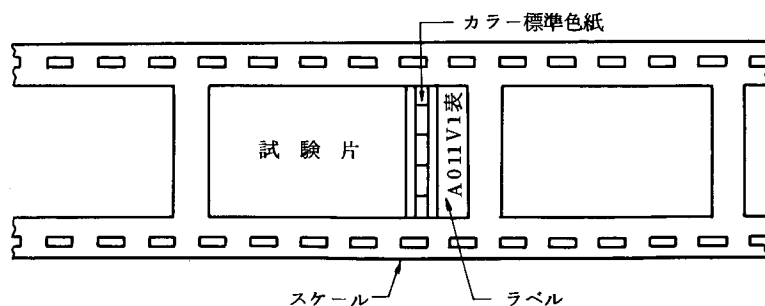
この方法は、暴露試験地点より取り外した試験片を屋内で撮影するときに適用する。

1.2 使用機器、材料

- (1) カ メ ラ：35 mm 自動露出計、レリーズ付
- (2) レ ン ズ：マクロレンズ（55 mm）
- (3) 撮 影 架 台：カメラと被写体の位置が固定できるもの
- (4) 照 明 装 置：カラー用電球 100 V 500 W 4 個
（例 リフレクターフラット PRF）
- (5) 試験片ホルダー：試験片バックをツヤ消し緑色とし、平面板
- (6) カラー標準色紙：Eastman Kodak Company 製
- (7) 試験片ラベル：素地がコバルト色、文字は
- (8) 使用フィルム：コダカラーⅡ（ASA100，ディライト用）36 枚どり
コダクローム（ASA64，太陽光用）36 枚どり

1.3 撮影条件

(1) 構 図



35 mm のフィルムにほぼ一杯の大きさに撮影する。

(2) 照 明

カラー用電球 4 個を用いて、試験片の周囲に照明の焦点がくるように電球を配し、試験片の影が生じないように調整する。

(3) シャッタースピード

自動露出計により露出条件を確認の上設定する。

写真撮影条件（除せい前試験片）

- 1) 使用カメラ ボディ（ニコンFⅡフォトミック）
 レンズ（ニッコールマクロ 55 mm）
- 2) シャッター速度（1／30秒） シボリ 5.6
- 3) 接写用撮影架台使用，カメラと被写体との距離約 50 cm
- 4) 照明装置はカラー用電球 100 500 W 4 個使用
- 5) 試験片ホルダーはバックはブルー，刻印番号は白ヌキ数字
- 6) カラー標準紙は Eastman Kodak Company 製
- 7) 使用フィルム コダカラーⅡ（ASA 100，デイライト用）36 枚どり

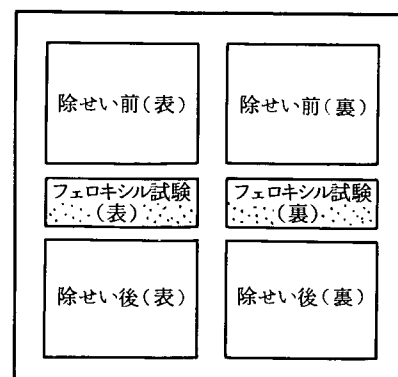
1.4 写真撮影条件（除せい後試験片）

- 1) 使用カメラ ボディ（ニコンFⅡフォトミック）
 レンズ（ニッコールマクロ 55 mm）
- 2) シャッター速度（1／60 秒） シボリ 5.6
- 3) 接写用撮影架台使用，カメラと被写体との距離約 50 cm
- 4) 照明装置は電球 100 V 500 W 4 個使用
- 5) 試験片ホルダー 前記と同一
- 6) 使用フィルム 富士フィルム 白黒 36 枚どり

1.5 写真の整理

A 4 の台紙に右図のように除せい前後の写真を貼り，その
中間にフェロキシル試験紙をはりつける。

写真のはりつけは，両面テープを用いる。



2. 暴露試験片の外観調査方法

室内へ搬入直後（できるだけ早い機会に），さびの状況が変化しないうちに，次の項目について外観調査を行う。

外観調査項目	① さびの色調
	② さびの粗密
	③ さびの色むら
	④ セロテープによるさび剥離
	⑤ さび安定化の程度

2.1 さびの色調

評 点	試 験 片 表 面 の 外 観
5	さびの色は濃いかっ色である。
4	さびの色は濃い色で赤紫色がかっている。
3	さびの色はかっ色である。
2	さびの色はうすいかっ色である。
1	特異な色をしている。

2.2 さびの粗密

評 点	試 験 片 表 面 の 外 観
5	全体に細かいさびが全面を均一におおっている。
4	ほぼ均一なさびであるが，粒状の斑点がある。
3	さびは密であるが，部分的に綿くずのような白むらがある。
2	全体にあらいさびである。
1	特異なさびの様相である。

2.3 さびの色むら

評 点	試 験 片 表 面 の 外 観
3	さびは均一であり，ほとんど色むらが無い。
2	色むらが若干あり，黄色さびなどが出ている。
1	色むらが顕著である。

2.4 セロテープによるさび剥離試験

セロファンテープ 住友スリーエム株式会社製，メンディングテープ 810
18 mm×30 m

を使用して試験片表面に貼付した後，テープをひきおこすようにしてはがし，テープについているさび付着状況を観察した。

評 点	テ ー プ 付 着 物
3	細かなうきさびだけでさび剥離量が少ない。
2	さび剥離量がやや多い。
1	大きなうきさびがあり，さび剥離量が多い。

2.5 さび安定化の程度

評 点	試 験 片 表 面 の 外 観
4	もっともさび安定化がすすんでいる。
3	さび安定化がすすんでいる。
2	さび安定化がおくれている。
1	もっともさび安定化がおくれている。

3. フェロキシル試験方法

3.1 概 要

さび層の安定化の程度は、さび層の緻密さに相関している。

このフェロキシル試験は、さび層のピンホールを通して試験液が地鉄と反応し、青色斑点を呈するのを利用するものである。

この呈色数や斑点の大・小をチェックし、耐候性鋼材表面のさび層の安定度を評価する。

3.2 試 験 液

試験液は1 l ガラス容器に純水（電気抵抗が $50 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ 以上のものを用いる）を700 ml 入れる。次いで、フェロシアン化カリウム（試薬特級）10 g，フェリシアン化カリウム（試薬特級）10 g，塩化ナトリウム（試薬特級）60 gを順次溶解させた後、全量を純水で1000 ml とする。

3.3 試験方法

1. 試験片の浮さびや付着さびをナイロンブラシで軽く清浄した後、エチルアルコールをガーゼに含ませ、チェック部分を軽く清浄し、鋼表面の付着物を完全に除去する。
2. 試験面にフェロキシル液を含ませた定性ろ紙（8 cm×8 cm）を、試験片に貼付する。この時にチェック部分に気泡が出来ないように小さな刷毛で上から押える。
3. 試験時間は7分とする。

3.4 評価方法

フェロキシル試験による青色斑点は、さび層の緻密さの大小に比例する。安定したさび層ほど、青色斑点が小さく数が少ない。

フェロキシル試験結果とさび層の安定化状況との相関については、未だ確立したものがないので、ここでは、フェロキシル試験結果の判定、評価方法は、次の評点を定め評価した。

評 点	観 察 結 果	備 考
1	さび層の剥離で対象外	観察対象外
2	斑点，多数あり，多い。	4 分 類 評 価
3	同上よりやや小さく，少ない。	
4	同上よりやや小さく，少ない。	
5	最も青色斑点の少ないもの。	

4. 腐食量測定方法

4.1 概 要

暴露後の試験片を除錆処理した後に重量を測定し腐食量を求める。

4.2 除錆処理と秤量

(1) 除錆処理

クエン酸二アンモニウム精製水溶液 10 wt %中にインヒビター（住友化学製イビット# 560）を 0.3 %添加し、2 l 容器中に試験片 2 枚、液温 $90^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ で処理を行う。

(2) ブランク試験

暴露前保存用予備試験片を使い、10分、20分、30分の3段階でブランク試験を行う。

(3) 除錆処理後の試験片後処理

水道水による水洗い、次に純水に10秒程度浸漬し、ガーゼで拭き取り乾燥させる。

(4) 秤 量

1) 室温まで冷却後 0.01mgまで秤量する。

2) 秤量後の防錆包装は気化性防錆袋、ポリエチレン袋の2重包装を行う。

4.3 重量測定結果の表示方法

(1) 内 容

指定用紙に項目別数値を記入する。

1) 試験片No	
2) 暴露年数	I
3) 初期重量 (g)	A
4) 除錆後重量 (g)	B
5) 除錆処理時間 (分)	
6) ブランク減量 (g)	C
7) 腐食重量減少 (g)	D
8) 各試験片表面積 (cm^2)	E
9) 腐食量 mg / cm^2	F
10) 平均板厚減少量 (mm)	G
11) 腐食速度 mm / year	H
12) 普通鋼との比 (100 に対し)	

(2) 計 算 式

腐食重量減少 (D) , 腐食量 (F) , 平均板厚減少量 (G) , 腐食速度 (H) の計算式は以下の通りである。

$$D = A - (B - C)$$

$$F = D \div E \times 10^3$$

$$G = F \div \rho \div 10, \quad \rho = 7.85$$

$$H = G \div I$$

5. 暴露試験片表面あらかの測定方法

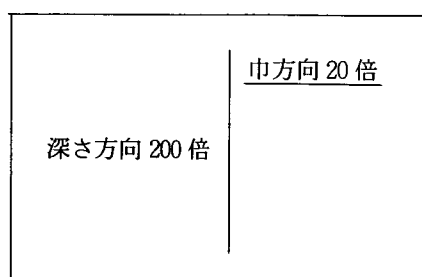
5.1 概 要

暴露後の試験片の表面あらかの変化を測定する。

5.2 測定機種

触 針 式 （小坂式 SE-4A）

5.3 チャート測定倍率



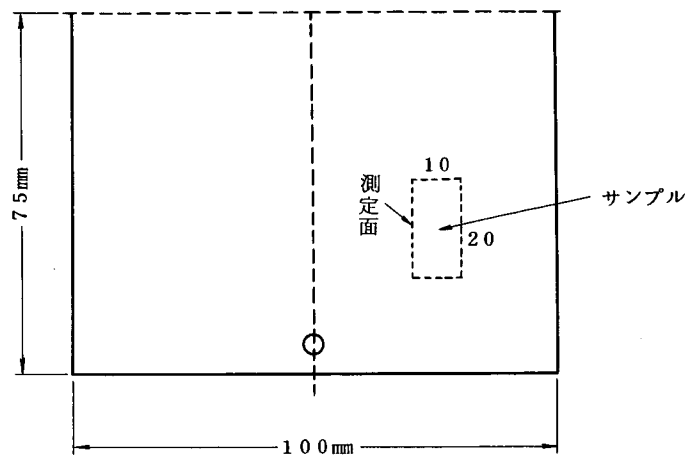
6. 偏光顕微鏡によるさび層の断面観察方法

6.1 概 要

偏光顕微鏡を用いて、さび層の断面を観察し、非偏光層の状況から、安定さびの形成を評価する。

6.2 試験片よりサンプルの採取

試験片を切断し、供試材を採取する。



6.3 使用機器

- エメリー・ペーパー研摩：BUEHLER社製 AUTO MET
- バ フ 研 摩 ：神鋼電機製 振動研摩機
 琢磨用アルミナ（丸本工業製 No. 2000）
- カラー写真撮影 ：ユニオン光学製 Varsamet
 UNION 5069（カメラつき）
 （カラーフィルム、フジカラーF II ASA100）
- 埋 め 込 み ：笠井商工製 AERO PRESS
 〔熱硬化性樹脂（丸本工業製）を使用〕

6.4 方 法

- ① 8 t×10×20mmのサンプルをアルミはくで包み、さびが脱落しないようにする。
- ② アルミはくで包んだサンプルを1インチ径の熱硬化性樹脂に埋込む（樹脂硬化条件 120～140℃、3～5分、1～3気圧）。

- ③ エメリーペーパー（＃ 250 から順次＃ 1500 まで）で研磨後，バフ研磨を行う。
バフ研磨時の研磨剤には，アルミナを使用する。
- ④ 偏光顕微鏡でサンプルの断面を観察し，あわせてカラー写真撮影を行う。

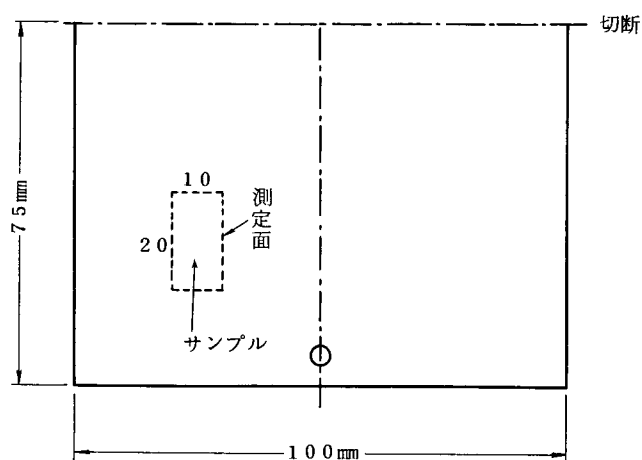
7. E P M Aによるさび層の断面観察方法

7.1 概 要

E P M Aを用い、さび層断面の8元素の濃縮度を測定し、安定さび生成判断の参考とする。

7.2 試験片よりサンプルの採取

試験片を切断し、サンプルを採取する。



7.3 方 法

(1) サンプル採取

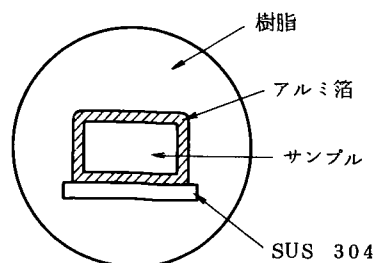
試験片より $8 \pm 10 \times 20$ mmのサンプルを採取し、表裏が判別できるように右上角を研削する。

なお、切断にあたっては油などつけない。

- ① 切取り位置：水平材は番号のない下面
垂直材は番号のある内面 } を切り取る

② 樹脂埋こみ及び研磨

サンプルをアルミ箔で包み、SUS 304 呂をつ
けて埋めこみ、アルミナ研磨する。



- (2) 樹脂埋めこみ 熱硬化性樹脂を使用
(3) 研 磨 エメリーペーパーで研磨後、バフ研磨を行う
(4) 測定条件

イ) 装 置：島津 EMX－SM 6 型

ロ) 測定条件

① 面 分 析	15 kV	0.03 μ A	}	試 料 速 度：50 μ m/min チャード速度：50 μ m/min
② 線 分 析	15 kV	0.1 μ A		

(5) 測 定

イ) 測定元素(8 元素)

Cr, Ni, Cu, P, Si, S, Cl

ロ) 測定位置

さび層と地鉄の境界を測定する。

ハ) 測定倍率

測定倍率 1000 倍で面及び線分析を行う。

ニ) 記 録

写真(面分析)，チャート(線分析)

8. さびの化学分析方法

8.1 概 要

さび中に含まれる化学成分のうち、腐食因子である塩素(Cl)および硫黄(S)の量を測定する。これらの部分は、環境の腐食性の指標となる。なお、あわせてさびの量を求めるために全鉄量(Fe)を測定する。

8.2 試 料

試験片をクエン酸二アンモニウム溶液で脱錆処理し、脱せい後の試験片を取除く。その溶液をポリエチレンびんに入れたものを、試料とする。

8.3 分析方法

(1) 前 処 理

試料を遠心分離またはろ過により、溶液と固型物とに分離する。固型物は水で洗浄し、その洗液は溶液に加える。固型物を乾燥させ、その重量を測定したのち粉碎する。溶液に水を加えて基準体積とする。

(2) 固型物の分析

1) Fe

固型物の一定量を分取し、JIS M 8212「鉄鉱石中の全鉄定量方法」中の「三塩化チタン還元重クロム酸カリウム適定法」により、Feを定量する。

結果の表示は、全固型物中のFe量(g)で表わす。

2) S

固型物の一定量を分取し、JIS M 8127「鉄鉱石中のいおう定量方法」中の「熱分解よう素酸カリウム適定法」により、Sを定量する。

結果の表示は、全固型物中のS量(mg)で表わす。(注1)

(注1) 試料中にClが無視できない量ふくまれるときは、脱塩素管をつけ、脱塩素処理を行う。

3) Cl

固型物の一定量をアルミナるつばにはかりとり、過酸化ナトリウムを加えて、低温で熔融する。この融成物を、水で抽出し、ろ過洗浄したのち、ろ液+洗液を硝酸で中和する。この溶液について硝酸銀滴定法またはチオシアン酸第二水銀吸光々度法によりClを定量する。結果の表示は、全固型物中のCl量(mg)で表わす。

8.4 溶液の分析

(1) Fe

溶液の一定量を分取し、塩酸を加えて加熱後冷却し、定容とする。この溶液を原子吸光々度法ま

または ICP 発光分光分析法により Fe を定量する。

結果の表示は、全溶液中の Fe 量 (g) で表わす。

(2) S

溶液の一定量を分取し、過酸化水素水を加えて、加熱する。この溶液中の S の定量は、硫酸バリウム重量法または比濁法で行う。

結果の表示は、全溶液中の S 量 (mg) で表わす。

(3) Cl

溶液の一定量を分取し、硝酸銀滴定法またはチオシアン酸第二水銀法により、Cl を定量する。

結果の表示は、全溶液中の Cl 量 (mg) で表わす。

(4) 結果の表示

分析結果の表示は、各成分ごとに固型物、溶液の各々で定量した量の合計で表わす。

9. 除錆試験片表面あらさの測定方法

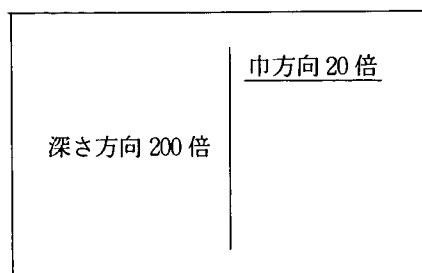
9.1 概 要

除錆後の試験片の表面あらさの変化を測定する。

9.2 測定機種

触 針 式 （小坂式 SE-4A）

9.3 チャート測定倍率



耐候性鋼材の橋梁への適用に関する
共同研究報告書（Ⅱ）
—暴露試験片の第一回化学分析調査結果—

共同研究報告書第 7 号
昭和63年1月(1988)
建設省土木研究所
(社)鋼材倶楽部
(社)日本橋梁建設協会

要 旨

耐候性鋼材は、橋梁に適切に用いることによって初期投資、維持管理の両面で経済的に富むことが知られているが、その適用方法についてはまだ明確にされていない。本共同研究はこれらの点を明らかにして、耐候性鋼材を橋梁に適用するための設計・施工要領を作成することを目的としており、長期的な全国暴露試験を含む各種検討を昭和56年度より11カ年間の計画で実施している。本報告書は、その共同研究の中間報告として全国暴露試験の第一回（暴露1年目）化学分析調査の結果をとりまとめたものである。

キーワード：橋梁，耐候性鋼材，暴露試験

郵便はがき

を四十円切
さい。て下手

305-□□

建設省土木研究所

橋梁研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 11

No. 11

配布先氏名

配布先住所

土木研究所共同研究報告書第 7 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印